ถังบรรจุของเหลวซึ่งติดตั้งอยู่กับที่ในรูปแบบทรงกระบอกในแนวนอน

(Fixed Storage Tank in the Form of Horizontal Cylinder)

ถังสำรองขนาดใหญ่รูปทรงแนวตั้ง

(Storage Tank in the Form of Vertical Cylinder)

เล่ม 2

สำนักงานกลางชั่งตวงวัด
Central Bureau of Weights & Measures
กรมทะเบียนการค้า

ถังบรรจุของเหลวซึ่งติดตั้งอยู่กับที่ ในรูปแบบทรงกระบอกในแนวนอน

(Fixed Storage Tank in the Form of Horizontal Cylinder)

ถังสำรองขนาดใหญ่รูปทรงแนวตั้ง

(Storage Tank in the Form of Vertical Cylinder)

เล่ม 2

เรียบเรียงโดย

วีระศักดิ์ วิสุทธาธรรม

สาธิต ชูสุวรรณ

สำนักงานกลางชั่งตวงวัด

Central Bureau of Weights & Measures

คำนำของผู้เรียบเรียง

จากผู้เรียบเรียงได้มีโอกาสเข้ารับการฝึกอบรมหลักสูตร "Calibration of the Volume in Storage Tanks" ซึ่งจัดโดย Deutsche Akademie fur Metrologie (DAM) ณ เมือง Munich และ Ingolstadt ประเทศสาธารณรัฐเยอรมันนั้น ผู้เรียบเรียงได้พิจารณาและชั่งใจว่าจะเรียบเรียงหนังสือเล่มนี้หรือไม่ เนื่องจากในปัจจุบันสำนักงานกลางชั่งตวงวัด ยังไม่ได้มีกฎกระทรวงหรือระเบียบสำนักงานกลางชั่งตวงวัดเพื่อกำกับดูแลในเรื่องที่บรรจุเนื้อหาในเล่มนี้แต่อย่างใด

แต่อย่างไรก็ตามหากสำนักงานกลางชั่งตวงวัด มีความพร้อมและมีความจำเป็นที่ต้องกำกับดูแลงานตามในเนื้อหาที่กล่าวไว้ในเล่มนี้เมื่อใด ก็ถือว่าหนังสือเล่มนี้เป็นการเตรียมพร้อมของอนาคตที่จะมีและเกิดขึ้นในภายภาคหน้า ซึ่งในประเทศที่พัฒนาแล้วได้เข้ามากำกับดูแลในเรื่องดังกล่าวอย่างใกล้ชิดแล้วเป็นเวลานานแล้ว สำหรับประเทศไทยนั้นเท่าที่ทราบยังมีหน่วยงานรัฐหน่วยงานหนึ่งที่ได้กำกับดูแลในเรื่องนี้อยู่นานแล้วเช่นกันแต่สำหรับสำนักงานกลางชั่งตวงวัดก็คงต้องทำการปรับตัวกันต่อไป ด้วยเหตุนี้จึงขอจำกัดเนื้อหาของเล่มนี้ภายใต้ขอบเขตของงานชั่งตวงวัดตามข้อกำหนดของกฎหมาย (Legal Metrology) เท่านั้น

หนังสือเล่มนี้แบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่แรก ถังบรรจุของเหลวซึ่งติดตั้งอยู่กับที่ในรูปแบบทรงกระบอกในแนวนอน (Fixed Storage Tank in the Form of Horizontal Cylinder) หรือเรียกว่า "ถังบรรจุของเหลวในแนวนอน (Horizontal Storage Tank)" ส่วนที่ 2 ถังสำรองขนาดใหญ่รูปทรงแนวตั้ง (Storage Tank in the Form of Vertical Cylinder) ซึ่งครอบคลุมถึงเฉพาะถังสำรองที่จัดเก็บผลิตภัณฑ์ที่ความดันบรรยากาศ (Atmospheric Pressure Tank (0 psig)) และที่ความดันต่ำ (Low Pressure Tank (0 – 2.5 psig)) ที่อุณหภูมิจัดเก็บ

การสอบเทียบ (Calibration) หรือการตรวจสอบให้คำรับรอง (Verification) ถังบรรจุของเหลวซึ่งติดตั้งอยู่กับที่ในรูปแบบทรงกระบอกในแนวนอน (Fixed Storage Tanks in the Form of Horizontal Cylinders) และถังสำรองขนาดใหญ่รูปทรงแนวตั้ง (Storage Tank in the Form of a Vertical Cylinder) ก็ต่อเมื่อถังทั้ง 2 ประเภทอยู่ภายใต้เงื่อนไขที่ว่า ถังทั้ง 2 ประเภทได้ถูกออกแบบ และ/หรือ ใช้งานด้วยวัตถุประสงค์เพื่อเป็นเครื่องมือสำหรับวัดปริมาตรของเหลวเพื่อการซื้อขายแลกเปลี่ยนสินค้าหรือการคิดคำนวณภาษีอากรได้ใช้ค่าปริมาตรของถังดังกล่าว ดังนั้นจึงไม่ครอบคลุมถึงถังที่ใช้ในขบวนการผลิต เป็นต้น

ปกติแล้วการแบบการวัดปริมาตรของเหลวที่ดำเนินไปทุกวันนี้เราพบว่าหากเป็นการจ่ายหรือวัดปริมาตรในปริมาณจำนวนน้อยๆ การวัดแบบไดนามิกส์ (Dynamic measurement) ด้วยพวกมาตรวัด turbine meter, positive displacement meter, หรือ coriolis mass flow meter จะให้ผลถูกต้องและน่าเชื่อถือเท่ากับหรือสูงกว่าการวัดแบบสเตติก (Static measurement) คือการวัดระดับของเหลวภายในถังสำรองก่อนและหลังจากจ่ายหรือรับของเหลวเข้าถังสำรองก่อนถูกแปลงไปเป็นค่าปริมาตรด้วยตารางสอบเทียบประจำถังสำรอง แต่ในทางกลับกันหากเป็นการซื้อขายคราวละจำนวนมากๆภายในครั้งเดียวเช่นการจ่ายของเหลวออกจากถังสำรองหรือสูบอัดของเหลวเข้าถังสำรองจากเรือบรรทุกแล้วการวัดแบบสเตติก (Static measurement) จะให้ผลการวัดที่มีความแม่นยำสูงกว่าการวัดแบบไดนามิกส์ (Dynamic measurement) ดังนั้นในการเลือกวิธีการวัดปริมาตรจึงต้องพิจารณาหลายปัจจัยที่เข้ามาเกี่ยวข้องตลอดจนธรรมชาติของลักษณะการทำงานนั้นๆ ด้วย

เหมือนเช่นเคย ต้องตระหนักเสมอว่าเทคโนโลยีมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ฉะนั้น จำเป็นต้องยอมรับการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นและเรียนรู้เพิ่มเติมอยู่ตลอดเวลา ผู้เรียบเรียงหวังเป็นอย่างยิ่งว่าหนังสือเล่มนี้จะเป็นประโยนช์แก่ข้าราชการชั่งตวงวัดและผู้ที่มีความสนใจ

ผู้เรียบเรียง

ส่วนที่ 2

ถังสำรองขนาดใหญ่รูปทรงแนวตั้ง

(Storage tank in the form of a vertical cylinder)

สารบัญ

ส่วนที่ 2 ถังสำรองขนาดใหญ่รูปทรงแนวตั้ง (Storage tank in the form of vertical cylinder)

บทที่ 1 ความรู้พื้นฐานถังสำรองขนาดใหญ่รูปทรงแนวตั้ง (Storage Tank in the Form of a Vertical Cylinder) 1

- การจัดเก็บผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมเหนือพื้นดิน (Above ground storage) 2
- การจัดเก็บผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมใต้พื้นดิน (Under ground storage) 4
- ประเภทของถังสำรองขนาดใหญ่รูปทรงแนวตั้งแบ่งตามชนิดของหลังคาถัง 6
- ปัจจัยที่ใช้ในการพิจารณาในการออกแบบ 32
- ข้อมูลประจำถังสำรองบน Name plate 32
- ปัญหาที่อาจพบได้กับถังสำรองขนาดใหญ่รูปทรงแนวตั้ง 34

บทที่ 2 ศัพท์ทางเทคนิคและนิยาม (Terminology and Definition) 63

บทที่ 3 ภาพรวมการวัดปริมาตรถังสำรอง 73

- รูปแบบของผลผิด (Type of error) 74
- แหล่งหรือสาเหตุของผลผิด (Sources of error) 76
- การบิดเบี้ยวของตัวถัง (Tank distortion) 77

บทที่ 4 เตรียมการก่อนสอบเทียบ 81

- การกำหนดและการเลือกวิธีการทดสอบหรือสอบเทียบถังสำรอง (Selection of the calibration method) 82
- การเตรียมความพร้อมของถังสำรองก่อนทำการสอบเทียบ 84

บทที่ 5 การวัดระดับของเหลวด้วยมือ (Manual Level Gauging) 87

- ก่อนขึ้นถังสำรองขนาดใหญ่รูปทรงแนวตั้ง (Prior to approaching the tank) 87
- เมื่อถึงถังสำรอง (At the tank) 90
- การวัดระดับความสูงอ้างอิง (Reference height) 91

- การหาระยะวัด Dip 92
- ระดับความสูง (Ullage or Height) 95

บทที่ 6 การหาปริมาตร Sump 97
(How to determine the sum volume)
- การกำหนดระดับของแผ่นระดับอ้างอิง (Dip Plate) 98
- การเตรียมระบบมาตรวัด (Metering system) หรือ แบบมาตรา 98
- การหาปริมาตรของ SUMP 99

บทที่ 7 การทดสอบแบบเปียก 105
(Wet Calibration)

บทที่ 8 การทดสอบแบบแห้ง 115
(Dry Calibration)
- การหาเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกถังสำรองโดยการวัดเส้นรอบวงภายนอกถังสำรอง (Determination of the diameter by measuring the circumference) 116
- การหาความยาวของเส้นรอบวงภายนอกผนังถังสำรองที่ผนังชั้นสูงถัดขึ้นไปด้วยการทิ้งดิ่ง (Plumbing method) 123
- การหาปริมาตร Sump (Determination of sump volume) 135
- คำนวณการขยายตัวของถังสำรองเมื่อระดับความสูงของของเหลวเพิ่มขึ้น (Calculation of expansion at increasing liquid levels) 135
- การสอบเทียบหาน้ำหนักหลังคาถังฝาลอย (Calibration of the weight of the floating roof) 138

บทที่ 9 ผลการทดสอบและการแสดงผล 143
(Testing Results and Their Evaluation)

บทที่ 10 ตัวอย่างผลการสอบเทียบถังสำรองแบบแห้ง 145

บทที่ 11 มาตรวัดความยาวแบบอัตโนมัติสำหรับวัดความสูงของระดับของของเหลวในถังสำรอง (Automatic Level Gauge) 171
- Mechanically operated float gauge 175
- Electrically powered servo-operated gauge 182
- Radar Level gauging หรือ Radar Level Transmitters 194

and Gauges
- Electrical capacitance level gauges 219
- Bubbler gauges 219
- Ultra-Sonic and Sonic level gauges 220

บทที่ 12 หลักการติดตั้ง ALG 223
(Installation Principles)
- ตำแหน่งที่ติดตั้ง ALG (Location of ALG) 223
- ข้อแนะนำสำหรับการติดตั้ง (Installation recommendation) 224

บทที่ 13 อิทธิพลที่มีต่อผลผิดในการวัด ALG 241
- ตารางการสอบเทียบถังสำรอง (Tank calibration table) 241
- ระดับของเหลวภายในถังสำรอง (Product level) 242
- อุณหภูมิภายในถังสำรอง (Temperature) 244
- ความหนาแน่นสัมพันธ์ (relative density) 245
- ขั้นตอนการคำนวณหาผลผิดของการวัดปริมาตรของเหลวภายในถังสำรอง 245

ภาคผนวก 249

เอกสารอ้างอิง 253

บทที่ 1

ความรู้พื้นฐาน
ถังสำรองขนาดใหญ่รูปทรงแนวตั้ง
(Storage tank in the form of a vertical cylinder)

ก่อนที่เข้าเนื้อหาการตรวจวัดปริมาตรถังสำรองขนาดใหญ่รูปทรงแนวตั้ง (Storage tank in the form of a vertical cylinder) นั้นจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องเข้าใจภาพรวมและการแยกแยะประเภทการใช้งานถังสำรองขนิดต่างๆ ตลอดจนส่วนประกอบของถังสำรอง อีกทั้งต้องเข้าใจหลักการทำงานของอุปกรณ์ประจำถังและส่วนประกอบต่างๆที่มีอยู่ประจำถังสำรองดังกล่าว ทั้งนี้เพื่อจะได้เข้าใจในเนื้อหาและกฎเกณฑ์ที่มี และทราบเหตุผลที่แท้จริงของการที่จะต้องกำหนดกฎเกณฑ์นั้นๆ นอกจากนี้ในการปฏิบัติงานในภาคสนามจำเป็นต้องแก้ไขปัญหาหน้างานอยู่ตลอดเวลา การเข้าใจในสิ่งที่ทำงานด้วยนับว่าเป็นการได้เปรียบอยู่ขั้นหนึ่งเช่นกัน และเรื่องที่สำคัญมากที่สุดในความคิดของผู้เรียบเรียงนั้นคือการทำงานที่สำเร็จลุล่วงและได้ผลงานที่ถูกต้องตามวิชาชีพนั้นไม่เพียงพอ แต่ต้องปฏิบัติงานด้วยความปลอดภัยต่อชีวิตและทรัพย์สินของตัวเจ้าหน้าที่และผู้ที่เกี่ยวข้องด้วย

การตรวจวัดปริมาตรถังสำรองขนาดใหญ่รูปทรงแนวตั้งเป็นเรื่องที่ต้องใช้เวลาในการดำเนินการที่ยาวนานพอสมควร ค่าใช้จ่ายในการตรวจวัดปริมาตรก็สูงเช่นกันดังนั้นหากดำเนินการผิดพลาดไปการที่จะเริ่มดำเนินการใหม่เป็นเรื่องที่ต้องหลีกเลี่ยง เนื่องจากบริษัทหรือหน่วยงานที่มีถังสำรองขนาดใหญ่รูปทรงแนวตั้งจำเป็นต้องใช้เงินลงทุนและเวลาที่เสียไปด้วยจำนวนมากเกินความจำเป็น บริษัทหรือหน่วยงานดังกล่าวจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องใช้งานถังสำรองที่มีอยู่อย่างจำกัดและให้มีประสิทธิภาพมากที่สุดในการจัดการ ยิ่งสูญเสียเวลาไปเพราะต้องทำการหยุดใช้งานถังสำรอง (shut down) เป็นระยะเวลายาวนานเท่าไรนั้นหมายถึงจำนวนเงินที่ยิ่งสูญเสียไปเท่านั้น เพราะการหยุดใช้ถังสำรองไม่เพียงแต่กระทบขั้นตอนการผลิต, การสำรองคงคลัง แต่ยังส่งผลถึงการเสียค่าใช้จ่ายเนื่องจากมีกิจกรรมต่อเนื่อง เป็นต้น ดูรูปที่ 1

รูปที่ 1 ลานถัง (tank farm) ปกติจะเห็นอยู่ริมทะเล หรือริมแม่น้ำเพื่อสะดวกต่อการขนส่ง

ในการจัดเก็บผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม เช่น น้ำมันดิบ หรือ Intermediate and refined products หรือสารเคมีต่างๆ ข้อจำกัดในการจัดเก็บไม่ว่าในเรื่องของการระเหย (volatility) ของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการจัดเก็บ, อุณหภูมิหรือความดันต่างก็มีผลต่อการออกแบบถังสำรองด้วยเหตุนี้จึงมีถังสำรองที่แตกต่างกันหลากหลายทั้งรูปแบบและขนาดของถังสำรองรวมทั้งวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างถังสำรองดังกล่าวด้วย แต่อย่างไรก็ตามเราพอแบ่งพิจารณาตามลักษณะการจัดเก็บผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมที่เป็นของเหลวออกเป็น 2 รูปแบบหลักใหญ่ๆ คือ

1. การจัดเก็บผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมเหนือพื้นดิน (Above ground storage) จากลักษณะการจัดเก็บเหนือพื้นดิน จึงมีปัจจัยใหญ่ที่สำคัญที่ต้องพิจารณาถึงก็คือ การระเหยกลายเป็นไอของของเหลวที่ต้องการจัดเก็บและความดันที่ต้องการจัดเก็บ

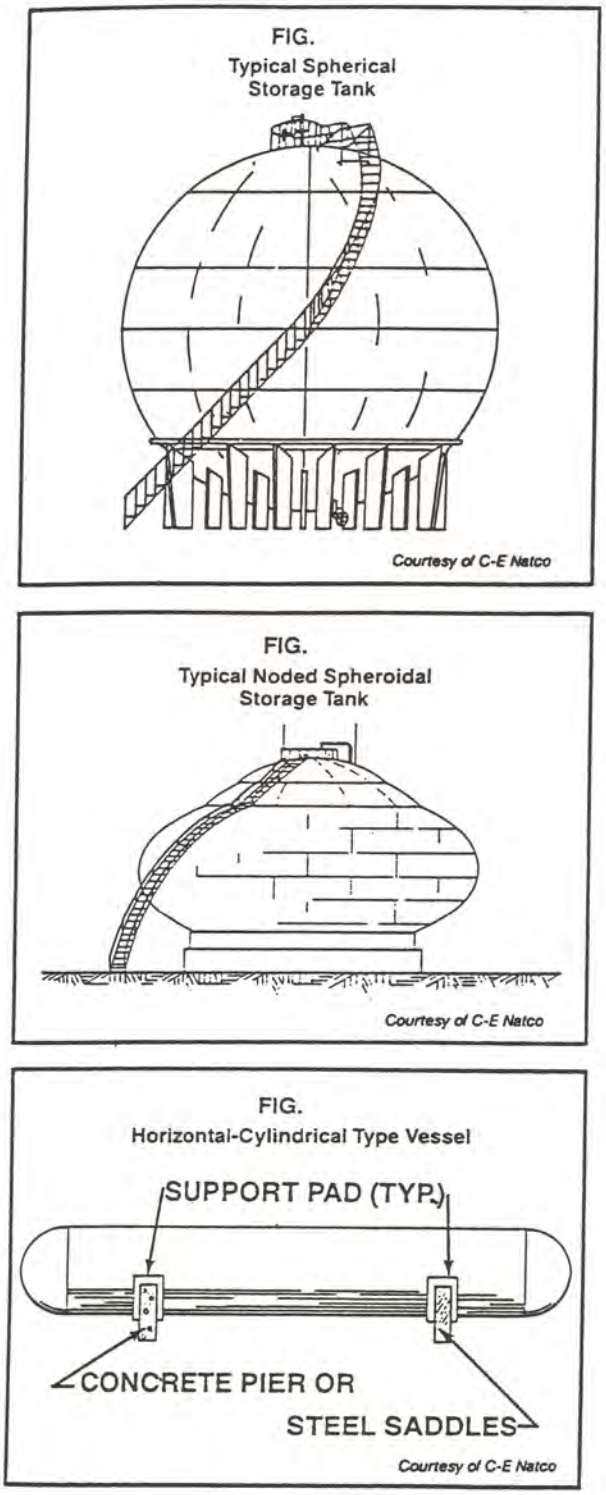
1.1) **Atmospheric Pressure Tank (0 psig)** ถังสำรองได้รับการออกแบบมาเพื่อจัดเก็บสิ่งที่บรรจุภายในถังสำรองที่ความดันบรรยากาศ รูปแบบของถังสำรองขนาดใหญ่รูปทรงแนวตั้งมักจะถูกได้รับการพิจารณาในการออกแบบเพื่อจัดเก็บดังกล่าว และมีขนาดตั้งแต่ขนาดเล็กสามารถจัดเก็บถังสำรองไว้ภายในอาคารจนถึงถังสำรองขนาดใหญ่ที่จัดเก็บภายนอกอาคารกลางแจ้ง พื้นที่เปิดโล่ง

1.2) **Low Pressure Tank (0 – 2.5 psig)** ถังสำรองที่ออกแบบมาเพื่อที่สามารถจัดเก็บ Intermediate and refined products ด้วยความดันก๊าซภายในถังสำรองตั้งแต่ความดันใกล้เคียงความดันบรรยากาศจนถึงความดันก๊าซภายในถังสูงเท่ากับ 2.5 psig รูปแบบของถังสำรองนี้โดยทั่วไปมีรูปร่างทรงกระบอกกลม พื้นถังเป็นแผ่นเรียบ โดยมีหลังคาเป็นทรงโดมหรือเอียงลงมา โครงสร้างโดยทั่วไปจะถูกออกแบบด้วยการเชื่อมประกอบของโลหะแผ่นจำนวนมากเข้าด้วยกัน อย่างไรก็ตามถังสำรองที่ถูกสร้างด้วยการเชื่อมต่อโครงสร้างถังด้วย Bolted (น็อต) ก็ยังคงมีอยู่บ้างเพื่อใช้ในการจัดเก็บของเหลวที่ความดันใกล้บรรยากาศ นอกจากนี้ถังสำรองเพื่อใช้เก็บผลิตภัณฑ์ของเหลวด้วยความเย็นต่ำ (refrigerated storage tanks) เป็นการจัดเก็บที่ความดันภายในถังที่ใกล้บรรยากาศประมาณ 0.5 psig เช่นการจัดเก็บก๊าซโปรเพนและก๊าซมีเทนด้วยความเย็นต่ำที่ −42 °C จนก๊าซดังกล่าวมีสภาพเป็นของเหลวก็จัดอยู่ในถังสำรองประเภทนี้ด้วย

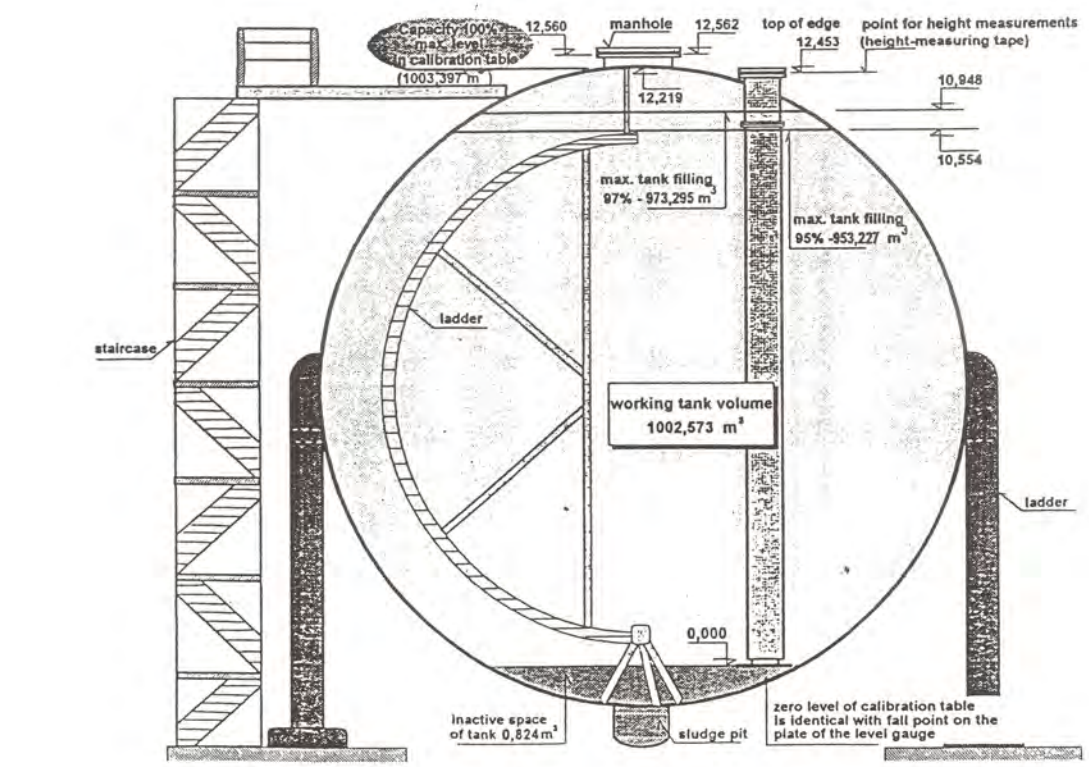
1.3) **Medium Pressure Tank (2.5 – 15 psig)** ปกติเป็นถังสำรองที่ออกแบบมาเพื่อจัดเก็บผลิตภัณฑ์ที่มีการระเหยสูง (high volatility Intermediate products) หรือของเหลวที่ไม่สามารถจัดเก็บในถังสำรองที่มีความดันต่ำ รูปร่างของถังสำรองชนิดนี้มีทั้งเป็นรูปร่างทรงกระบอกกลม พื้นถังเป็นแผ่นเรียบ โดยมีหลังคาเป็นทรงโดมหรือเอียงลงมา ส่วนใหญ่ถังสำรองชนิดนี้จะถูกเชื่อมประกอบด้วยแผ่นโลหะ นอกจากนี้ยังมีรูปทรงทรงกลม (Sphere) เป็นรูปทรงที่เหมาะกับการจัดเก็บที่ความดันไม่เกิน 15 psig หรือใกล้เคียง ดูรูปที่ 2

1.4) **High Pressure Tanks (above 15 psig)** ถังสำรองชนิดนี้ออกแบบมาเพื่อจัดเก็บผลิตภัณฑ์ refined products หรือ fractionated components ที่ความดันสูงกว่า 15 psig การประกอบของถังสำรองเป็นการเชื่อมโลหะเข้าด้วยกัน การออก

แบบและการประกอบติดตั้งทั้งหมดต้องเป็นไปตามข้อกำหนด ASME Code, Section VIII ถังสำรองชนิดนี้มีรูปร่างได้ทั้งที่เป็นถังรูปทรงกลม (Sphere tank) และ ถังทรงกระบอก (cylindrical tank) เช่นถังสำรองรูปทรงกลมใช้เก็บก๊าซ LPG ด้วยความดันจัดเก็บ (operating pressure) ประมาณ 13 barg ซึ่งที่ความดันดังกล่าวก๊าซ LPG อยู่ในสถานะเป็นของเหลว ดูรูปที่ 2

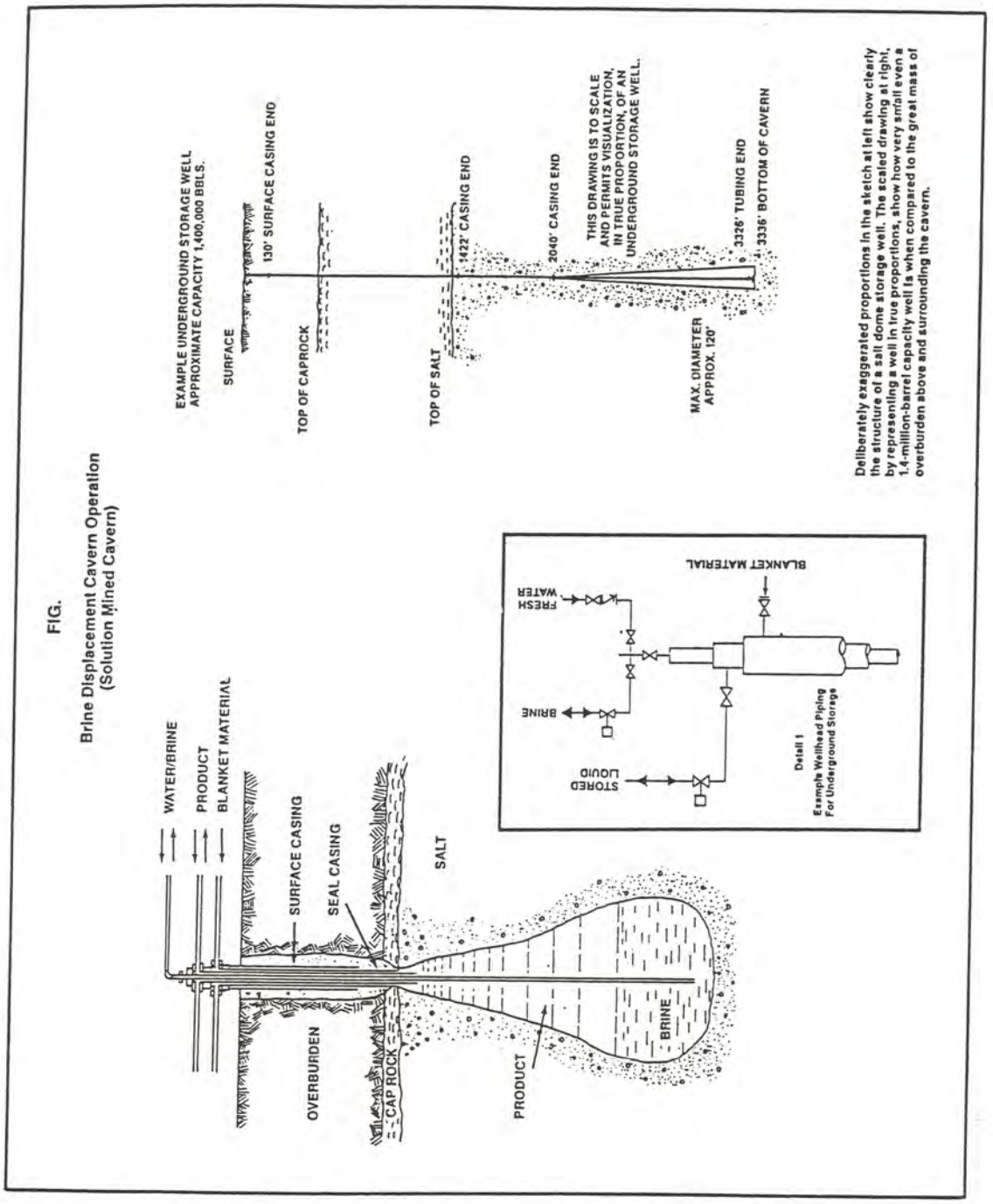


รูปที่ 2 ถังสำรองรูปทรงต่างๆ และสามารถใช้เก็บผลิตภัณฑ์ที่ความดันสูง



รูปที่ 2 (ต่อ) ถังสำรองรูปทรงต่างๆ และสามารถใช้เก็บผลิตภัณฑ์ที่ความดันสูง

2. การจัดเก็บผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมใต้พื้นดิน (Under ground storage) ส่วนใหญ่เป็นการจัดเก็บก๊าซซึ่งอยู่ในรูปของเหลวและมีความดันไอสูง จัดเก็บภายใต้พื้นดินใน conventionally mined or solution mined caverns การจัดเก็บนับเป็นเรื่องความเชี่ยวชาญเฉพาะทาง ดูรูปที่ 3



รูปที่ 3 การจัดเก็บผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมใต้พื้นดิน

รูปที่ 4 เป็นตารางสรุปลักษณะการจัดเก็บผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมบางชนิดไว้ ทั้งในรูปแบบที่เป็นการติดตั้งถังสำรองเหนือพื้นดินและใต้พื้นดิน ตลอดจนความแตกต่างของความดันในการจัดเก็บด้วย นับเป็นข้อมูลพื้นฐานที่ดีสำหรับภาพรวมของการทำงานกับผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม

	Storage				
	Atmospheric Pressure†‡	0 to *2.5 psig†‡	2.5 to 15 psig‡	Above 15 psig§	Underground
Crude Oils	X	X	X	–	X
Condensate	X	X	X	X	X
Oils	X	X	–	–	X
Natural Gasoline	X	X	X	–	X
Butanes	–	Xo	Xo	X	X
Propane	–	Xo	Xo	X	X
Raw NGLs	–	Xo	Xo	X	X
Ethane	–	Xo	Xo	X	X
Petrochemicals	–	Xo	Xo	X	X
Natural Gas	–	–	–	X	X
LNG	–	Xo	Xo	X	–
Treating Agents	X	X	–	–	–
Dehydration Fluids	X	X	–	–	–
Specialty Chemicals	X	X	X	–	–
Solid Materials	X	–	–	–	–
Water	X	–	–	–	–

* Some Materials may require a slight positive pressure to exclude air, oxygen, and/or water, and conserve valuable/toxic vapors. API specifications 12D and 12F may also apply.
† API Standard 650 governs
‡ API Standard 620 governs
§ ASME Unfired Pressure Vessel Code, Section VIII governs
o Refrigerated only

Note: Vacuum conditions may exist and must be considered in tank design. Examples: low ambient temperatures or evacuating without relieving.

รูปที่ 4 ตารางสรุปการจัดเก็บผลิตภัณฑ์ตามชนิดของผลิตภัณฑ์และความดัน

ในเนื้อหาต่อไปนี้เราให้ความสนใจเฉพาะถังสำรองที่จัดเก็บผลิตภัณฑ์ที่ความดันบรรยากาศและที่ความดันต่ำ หรือ Atmospheric Pressure Tank (0 psig) และ Low Pressure Tank (0 – 2.5 psig) นั่นเอง ซึ่งในที่นี้ก็คือ ถังสำรองขนาดใหญ่รูปทรงแนวตั้ง (storage tank in the form of a vertical cylinder) ซึ่งต่อไปนี้เราเรียกย่อๆ ว่า "ถังสำรอง" โดยถังสำรองดังกล่าวถูกออกแบบมาเพื่อให้ทำงานและสามารถจัดเก็บผลิตภัณฑ์ที่มีความดันไอจริงๆ (true vapor pressure) ที่อุณหภูมิจัดเก็บมีค่าต่ำกว่าความดันบรรยากาศหรือใกล้เคียง

ความดันไอ (true vapor pressure) คือความดันบนผิวหน้าของของเหลวโดยเกิดจากไอของของเหลวนั้นๆ และจะแปรเปลี่ยนตามอุณหภูมิของของเหลว

ผลิตภัณฑ์ที่ถูกจัดเก็บด้วยถังสำรองจัดเก็บผลิตภัณฑ์ที่ความดันบรรยากาศและที่ความดันต่ำ เช่น crude oil, heavy oils, gas oils, furnance oils, naphtha, gasoline, และสารเคมีที่มีการระเหยต่ำ ดังนั้นถังสำรองประเภทนี้จำเป็นได้รับการออกแบบและจัดให้มีอุปกรณ์ (ดูรูปที่ 11) ที่ป้องกันความดันภายในถังสูงจนเกินไปหรือมีสูญญากาศมากเกินไปเมื่อเทียบกับความดันบรรยากาศภายนอกถังให้มีค่าต่างกันไม่เกิน 2-3 ounces per sq. in. (0.14 - 0.21 psi)

ประเภทของถังสำรองขนาดใหญ่รูปทรงแนวตั้งแบ่งตามชนิดของหลังคาถัง

เมื่อพิจารณาลงในรายละเอียดเพิ่มมากขึ้นการแบ่งประเภทของถังสำรองขนาดใหญ่รูปทรงแนวตั้งก็มีด้วยกันหลากหลาย เช่นแบ่งตามการติดตั้งว่าเป็นแบบติดตั้งถาวรหรือแบบสามารถ

เคลื่อนที่ย้ายไปไหนได้หรือหากแบ่งตามสถานที่ติดตั้งก็แบ่งเป็นแบบที่ติดตั้งภายนอก, ภายในอาคาร, ใต้พื้นดินหรือกึ่งใต้พื้นดิน (Semi-underground) หรือ นอกชายฝั่ง (off-shore) เป็นต้น หรือแบ่งตามชนิดหลังคาถัง ในปัจจุบันถังสำรองขนาดใหญ่รูปทรงแนวตั้ง (Storage tank in the form of a vertical cylinder) ที่ได้รับการออกแบบถังสำรองเพื่อจัดเก็บผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมเหนือพื้นผิวดินและจัดเก็บผลิตภัณฑ์ที่ความดันตั้งแต่ 0 – 2.5 psig ได้รับความนิยมที่จัดแบ่งออกตามชนิดของหลังคาถังซึ่งแต่ละชนิดมีความสามารถในการรักษาสภาวะการกลายเป็นไอ (vapor-saving efficiency) ได้ดีมากน้อยแตกต่างกันออกได้ 3 รูปแบบหลักด้วยกันคือ

1. Fixed Roof Storage Tanks

ถังสำรองชนิดนี้มีพื้นถังได้ทั้งที่ขนานราบกับพื้นหรือเป็นพื้นถังเอียงอาจจะเป็นรูปกรวย (conical) หรือโค้งมน (hemispherical) โดยส่วนปลายยอดสูงสุดของรูปกรวยจะอยู่บริเวณจุดศูนย์กลางของถังสำรอง หรือในทางกลับกันนั้นพื้นถังอาจเอียงเป็นรูปกรวยโดยส่วนปลายยอดเป็นจุดต่ำสุดที่บริเวณจุดศูนย์กลางของถังสำรอง ส่วนตัวหลังคาถังสำรองจะเป็นรูปกรวยเชื่อมติดกับผนังถังชั้นบนสุด และมีโครงสร้างเหล็กเป็นเสาค้ำรองรับน้ำหนักของหลังคาถัง รอยต่อเชื่อมระหว่างหลังคาถังกับผนังถังชั้นบนสุดนับเป็นจุดที่อ่อนแอของตัวถังสำรองชนิดนี้ ดังนั้นหากความดันภายในถังสำรองสูงเกินกว่าความดันออกแบบภายในถัง บริเวณส่วนดังกล่าวของถังสำรองจะได้รับความเสียหายก่อนที่ถังสำรองจะพังลงไป ดังนั้นถังสำรองชนิดนี้จึงมีอุปกรณ์ประจำถังที่เรียกว่า breather valve หรือ PV Vent (ดูรูปที่ 11) ใช้ป้องกันความดันภายในถังสำรองที่สูงมากและต่ำมากกว่าที่กำหนดออกแบบไว้ เมื่อมีการใช้งานถังโดยความดันภายในถังสำรองจะมีมากขึ้นเมื่อมีการจ่ายของเหลวเข้าถังสำรอง การปั่นป่วนของเหลวภายในถังจะก่อให้เกิดการระเหยกลายเป็นไอมากขึ้นส่งผลให้ความดันไอภายในถังสำรองสูงขึ้น หรือในวันที่อุณหภูมิร้อนจัดในช่วงฤดูร้อนก็เป็นสาเหตุทำให้ความดันไอภายในถังสำรองสูงเช่นกัน สำหรับในกรณีที่ความดันภายในถังสำรองลดต่ำลงต่ำกว่าที่กำหนดเกิดขึ้นได้เมื่อมีการดูดของเหลวออกจากถังสำรอง จะต้องมีปริมาณอากาศส่วนหนึ่งเข้ามาแทนที่ปริมาตรของเหลวที่ถูกดูดออกไปหากถังสำรองมีการปิดสนิทมากจนเกินไปไม่มีอากาศจากภายนอกไหลเข้ามาทดแทนทันเวลาเมื่อเทียบอัตราการดูดของเหลวออกจากถังสำรอง หรือเจ้าหน้าที่ดูดของเหลวออกจากถังสำรองด้วยอัตราการไหลที่สูงกว่าอัตราการไหลที่ออกแบบไว้ เป็นต้น ปัญหาความดันภายในถังสำรองที่สูงมากและต่ำมากกว่าที่กำหนดออกแบบไว้จึงถูกแก้ไขและป้องกันด้วย breather valve หรือ PV Vent ที่ถูกติดตั้งอยู่ตรงยอดกึ่งกลางหลังคาถัง ด้วยเหตุนี้หากอุปกรณ์ดังกล่าวไม่ทำงานหรือทำงานผิดปกติที่ออกแบบไว้ ส่งผลให้ถังสำรองอยู่ภายใต้สภาวะที่เสี่ยงต่อความเสียหาย

นอกจากนี้การกำหนดระดับสูงสุดของถังสำรองชนิดนี้ต้องกำหนดไว้ให้ชัดเจนเพื่อความปลอดภัยในทางปฏิบัติด้วย

ถังสำรองชนิดนี้มีการสูญเสียเนื่องจากของเหลวกลายเป็นไอมีค่าสูงมากเมื่อเทียบกับถังสำรอง Floating Roof Storage Tanks ในสัดส่วน 250 : 20

ส่วนใหญ่ใช้ถังสำรองขนาดใหญ่รูปทรงแนวตั้งชนิด Fixed Roof จัดเก็บผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมชนิดที่มีความดันไอต่ำ หรือระเหยช้าเช่น น้ำมันดีเซล

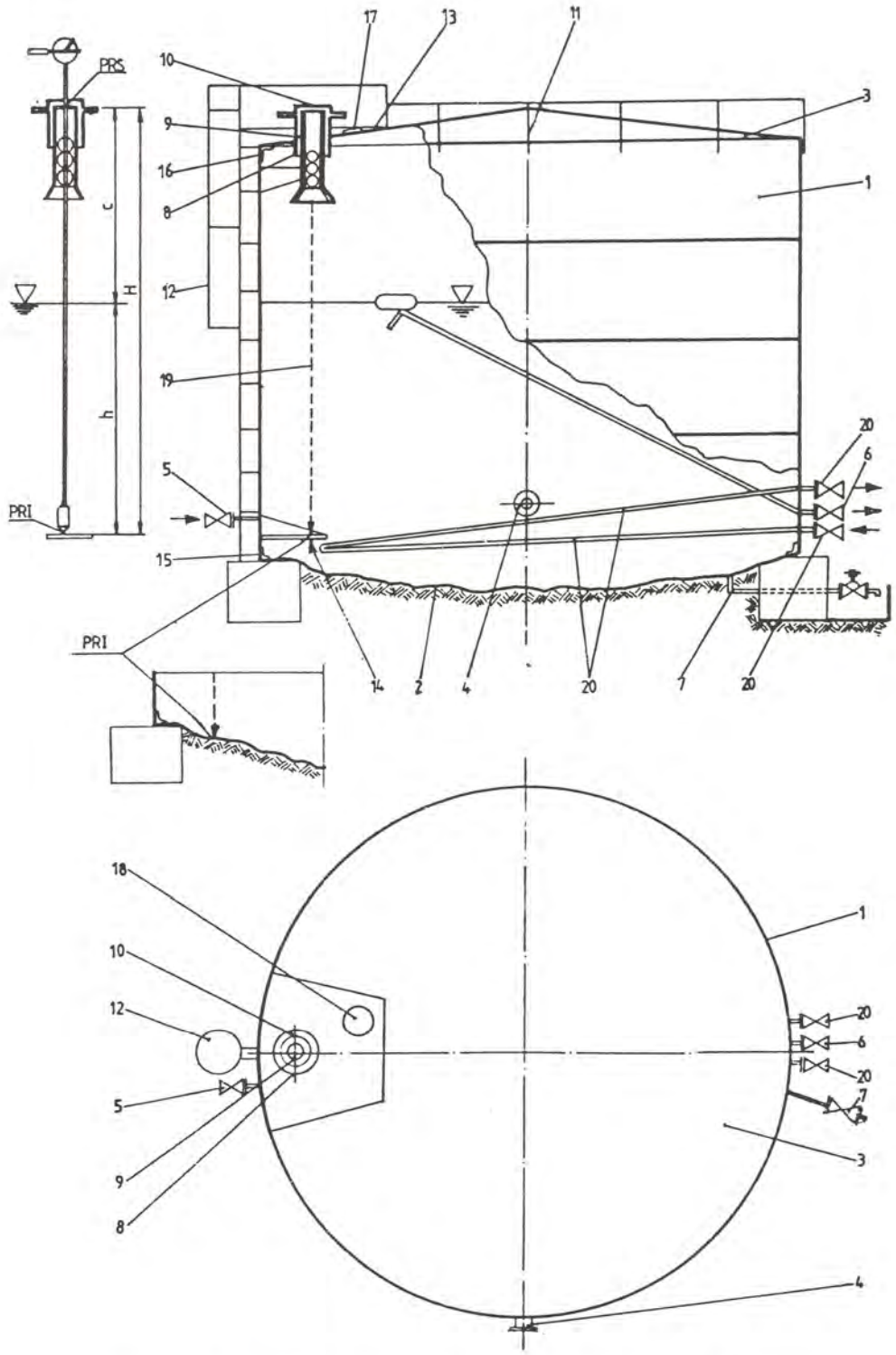


Figure Diagram of a vertical cylindrical tank with fixed roof

1. Shell. 2. Bottom of the tank. 3. Roof. 4. Manhole. 5. Inlet line. 6. Outlet line. 7. Drain line. 8. Gauge hatch. 9. Guide pipe. 10. Lid of the guide pipe. 11. Handrail. 12. Access ladder with guard rail. 13. Measurement platform. 14. Dip plate. 15. Lower angle-irons. 16. Upper angle-irons. 17. Calibration information plate. 18. Opening. 19. Vertical measurement axis. 20. Heating coil. PRS : Upper reference point. PRI : Dipping datum point. H : Reference height. C : Ullage. h : Level of the liquid in the tank.

รูปที่ 5 ถังสำรองขนาดใหญ่รูปทรงแนวตั้งชนิด fixed roof พร้อมอุปกรณ์ประจำถังสำรอง

พอจะแบ่งถังสำรองขนาดใหญ่รูปทรงแนวตั้งชนิด Fixed roof ออกเป็น 3 ประเภทด้วยกัน ตามรูปทรงของหลังคาถังสำรองและในแต่ละประเภทก็จะแบ่งย่อยลงอีกตามความดันจัดเก็บคือ

- Atmospheric Pressure Tank (0 psig) นั้นหมายถึงถังสำรองที่เหมาะสมกับการจัดเก็บผลิตภัณฑ์ที่ความดันบรรยากาศ ดังนั้นจึงมีระบบระบายอากาศแบบ open vents
- Low Pressure Tank (0 – 2.5 psig) นั้นหมายถึงถังสำรองที่ได้รับการออกแบบให้ทนต่อความดันหรือสูญญากาศ (Pressure/vacuum) ภายในถัง ระบบระบายอากาศจึงต้องจัดให้มี pressure/vacuum breather valves ซึ่งออกแบบให้เปิดวาล์วได้เต็มที่ที่ความดันหรือสูญญากาศออกแบบ อีกทั้งควรมีระบบอื่นๆที่สามารถรักษาระดับความสมดุลของความดันภายในถังเพิ่มเติมอีกด้วย

1.1)· **Cone roof tanks** ถังสำรองจะมีหลังคาทรงรูปกรวย ณ จุดกึ่งกลางของหลังคาถังสำรองเป็นส่วนยอดของรูปกรวย ดูรูปที่ 5, 6, 7 การค้ำยันหรือรองรับน้ำหนักของโครงหลังคาถังสำรองชนิดนี้มีด้วยกันหลายรูปแบบ เช่น Self-supporting, Rafter type, Pillar type หรือ Truss type เป็นต้น ขนาดของถังสำรองและความดันทำงานของถังสำรองเป็นไปตามตารางข้างล่างนี้ แต่ไม่ถึงกับเป็นกฎตายตัว

ตารางที่ 1.1 การจัดประเภทขนาดและความดันของถังสำรองชนิด Cone roof tank

	Pressure/Vacuum	**Diameter range**
	mbar	**M**
Atmospheric Pressure	7.5/2.5	ตั้งแต่ 3 จนถึง 48
	7.5/2.5	ตั้งแต่ 54 ถึง 60
Low Pressure (0 – 2.5 psig)	20/6.0	ตั้งแต่ 3 จนถึง 39
	56/6.0	ตั้งแต่ 3 จนถึง 20

1.2) **Dome roof tanks (Circular spherical roof tank)** ดูรูปที่ 8 ถังสำรองรูปแบบนี้เหมาะกับของเหลวที่สามารถเป็นไอได้ง่าย (volatile oils) เนื่องจากโครงสร้างหลังคาถังสำรองแบบนี้สามารถทนความดันภายในสูงกว่า cone roof tank จึงสามารถตั้งค่าความดันของ breather valve ให้สูงกว่าหลังคาถังสำรองแบบ cone roof แต่ราคาในการก่อสร้างก็ย่อมแพงกว่าถังสำรองแบบ cone roof เช่นกัน

ตารางที่ 1.2 การจัดประเภทขนาดและความดันของถังสำรองชนิด Dome roof tank

	Pressure/Vacuum	**Diameter range**
	mbar	**M**
Atmospheric Pressure	7.5/2.5	ตั้งแต่ 15 จนถึง 39
Low Pressure (0 – 2.5 psig)	20/6.0	ตั้งแต่ 15 จนถึง 39
	56/6.0	ตั้งแต่ 15 จนถึง 20

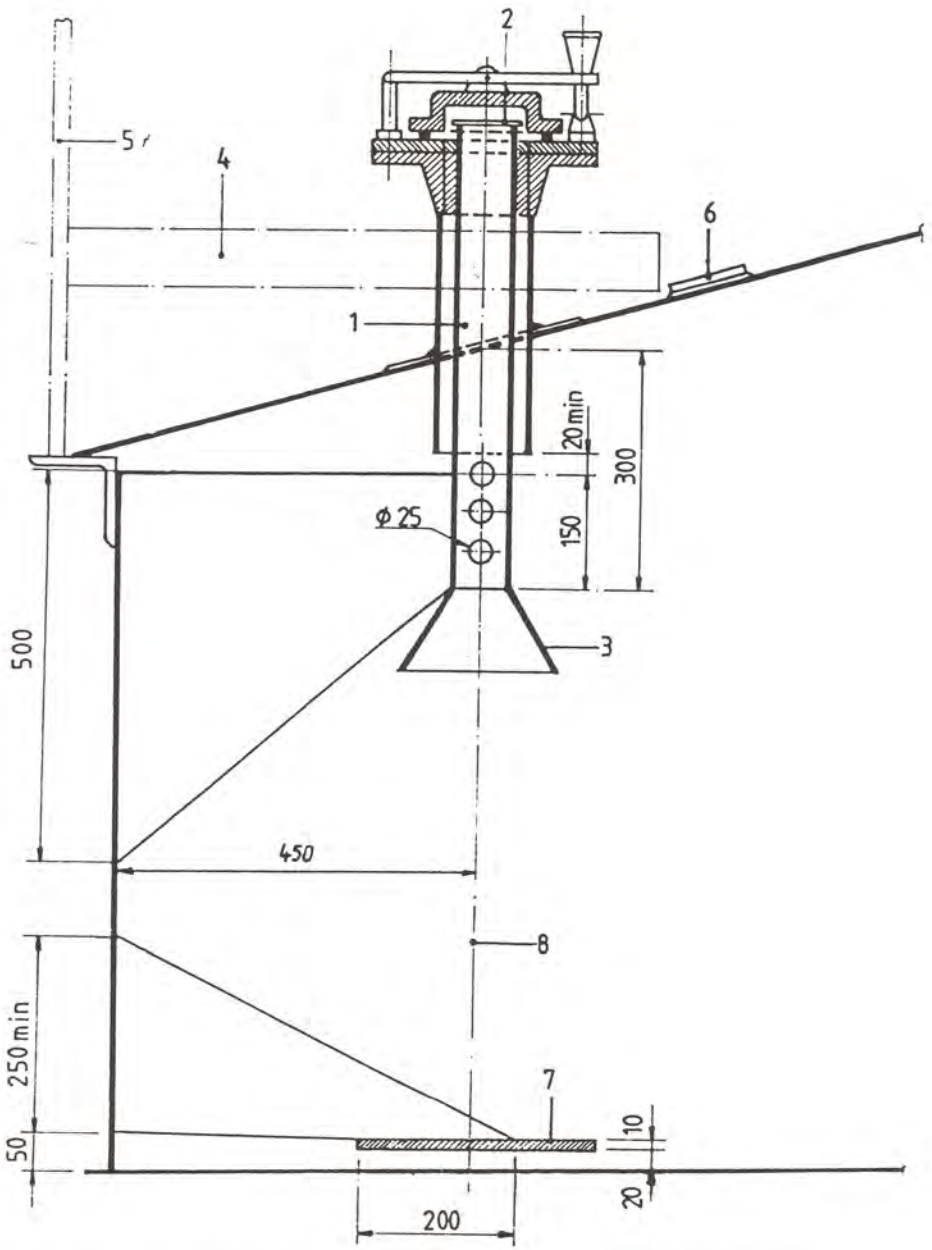


Figure Design details of a guide pipe in a vertical cylindrical tank with fixed roof, of which the deflection when loaded is negligible

1. Guide pipe fixed to the upper part of the body by welded gussets. 2. Gauge hatch. 3. Funnel. 4. Platform. 5. Guard-rail. 6. Calibration information plate. 7. Dip plate (300 × 300 mm) fixed to the shell by welded gussets. 8. Vertical measurement axis. 9. Lid of guide pipe.

รูปที่ 6 การออกแบบติดตั้ง Guide pipe ของถังสำรองขนาดใหญ่รูปทรงแนวตั้งชนิด Fixed roof เมื่อหลังคาแข็งแรงเพียงพอ ไม่เสียรูปทรง

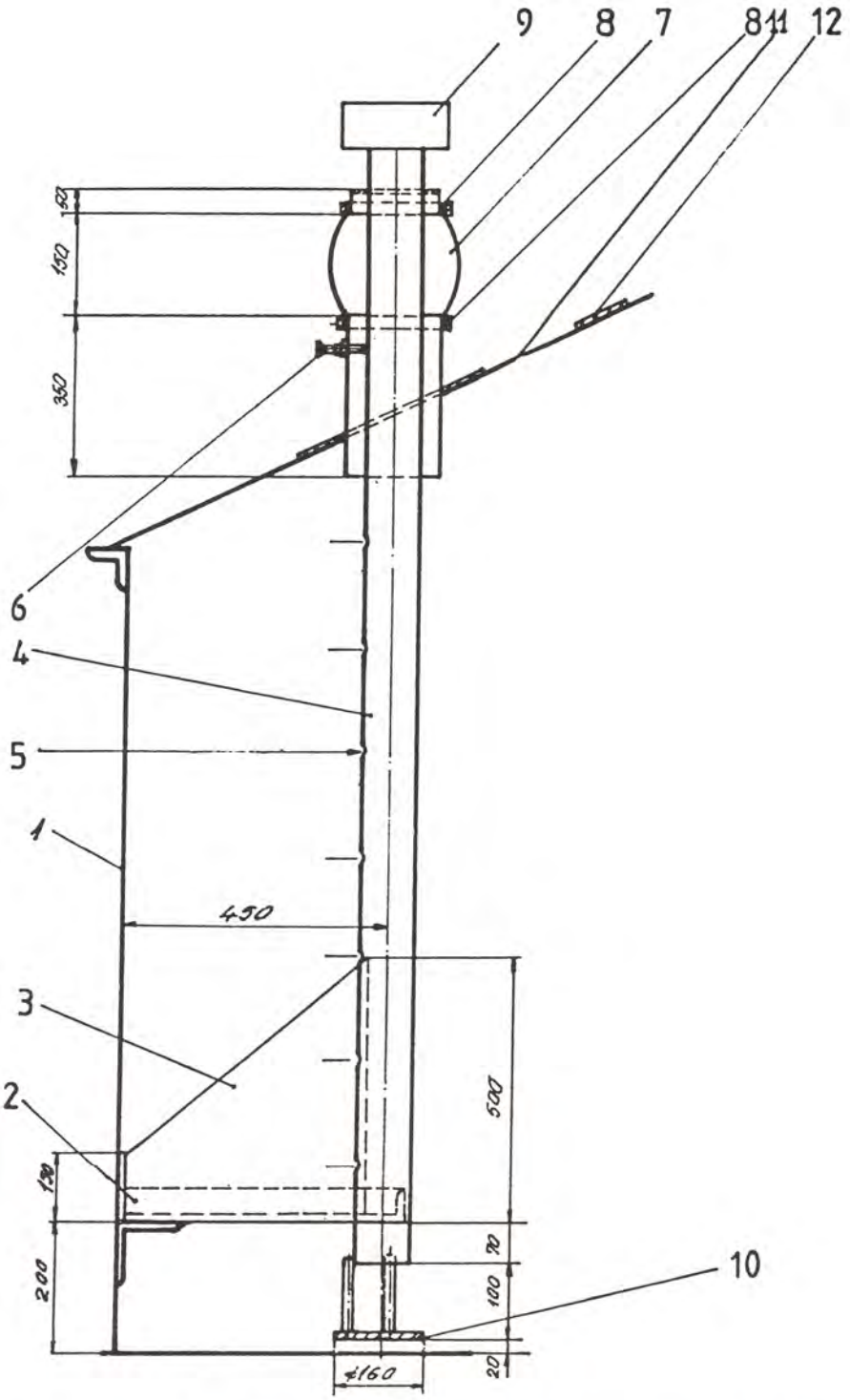


Figure Design details of a guide pipe in a vertical cylindrical tank with fixed roof, of which the deflection when loaded must be taken into consideration

1. Cylindrical shell. 2. L-section. 3. Gussets. 4. Guide pipe and still well ($\varnothing_{int}$ = 100 mm) fixed to the lower part of the body by welded L-section 2 and gussets 3. 5. Holes Ø 25 mm at max. 300 mm pitch. 6. Screw (× 3) to regulate the verticality of the guide pipe. 7. Flexible joint. 8. Screw collar. 9. Lid of guide pipe as in Figures 3 and 4. 10. Dip plate (10 mm thick) fixed to the guide pipe by welded 3/4 round iron. 11. Fixed roof. 12. Calibration information plate.

รูปที่ 7 การออกแบบติดตั้ง Guide pipe ของถังสำรองขนาดใหญ่รูปทรงแนวตั้งชนิด Fixed roof เมื่อหลังคาแข็งแรงไม่เพียงพอ การเสียรูปทรงหลังคาเมื่อใช้งานมีมากพอรบกวนความแม่นย่ำการวัดระดับของเหลวภายในถังสำรอง

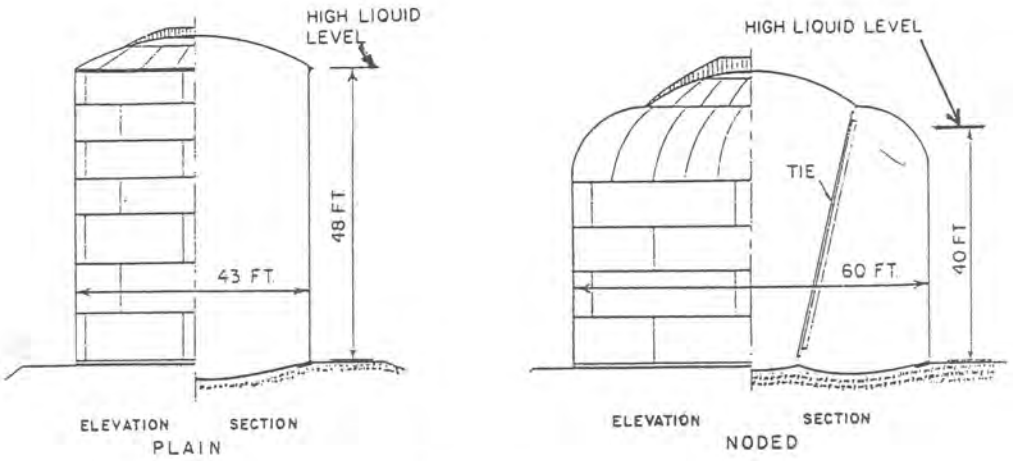


Figure —Drawings of Hemispheriods

รูปที่ 8 ถังสำรองขนาดใหญ่รูปทรงแนวตั้งชนิด Dome roof (Circular spherical roof)

1.3) **Umbrella roof tanks** ค่อนข้างไม่ได้รับความนิยมเท่าที่ควร ดูรูปที่ 9

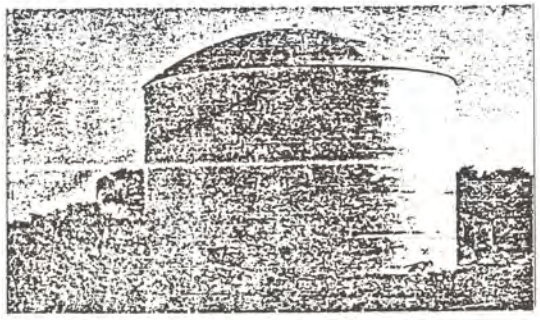
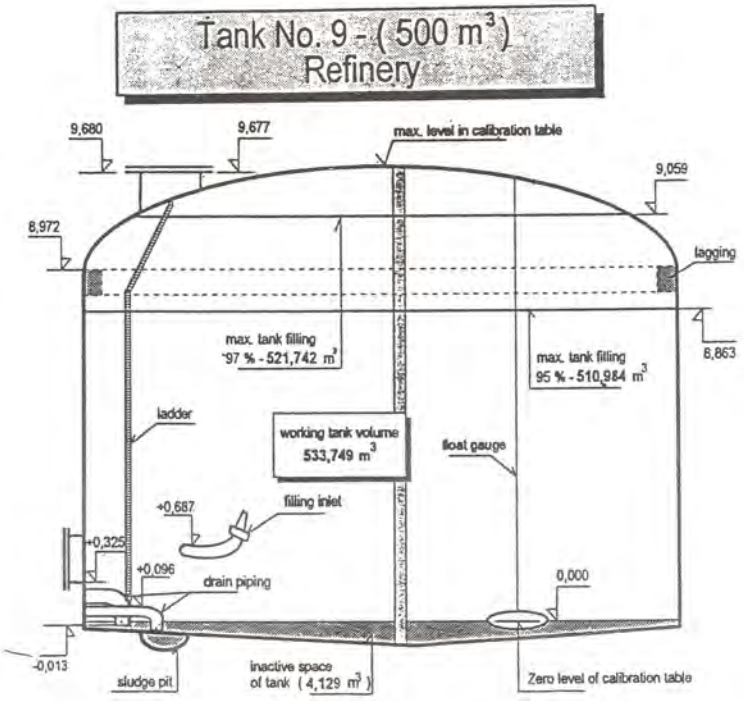


Figure —Umbrella-Roof Tank



รูปที่ 9 ถังสำรองรูปทรง Umbrella-Roof

ส่วนรูปทรงถังสำรองที่อาจแปลกแตกต่างกันออกไป เช่นในรูปที่ 10

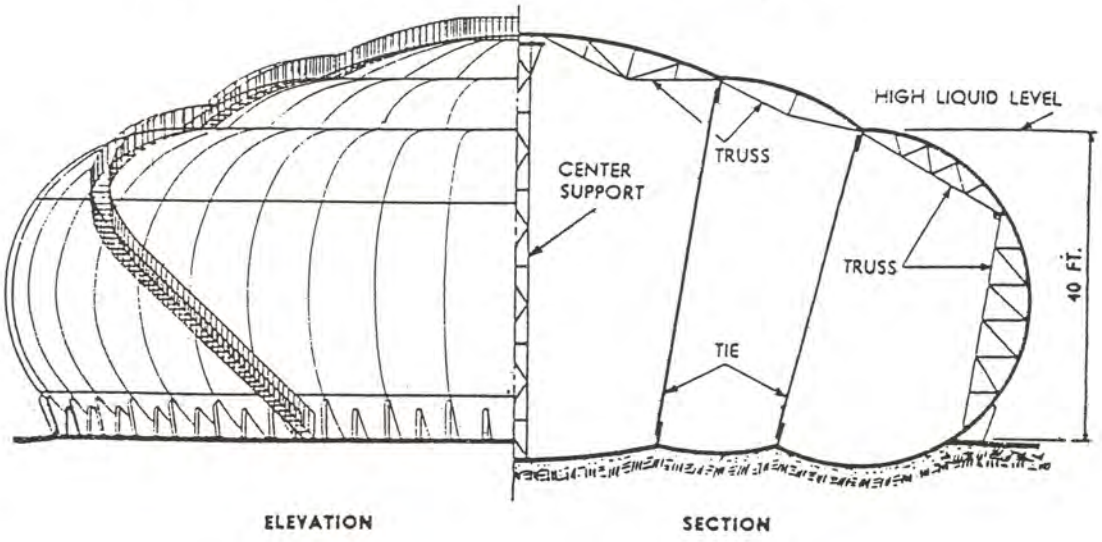


Figure —Drawing of Noded Spheroidal Tank

รูปที่ 10 Noded Spheroidal Tank อีกรูปทรงหนึ่งของถังสำรอง

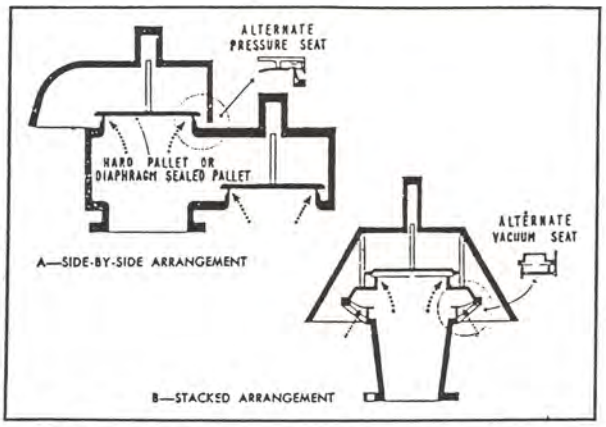


FIG. —Solid Pallet and Diaphragm Pallet Valves.

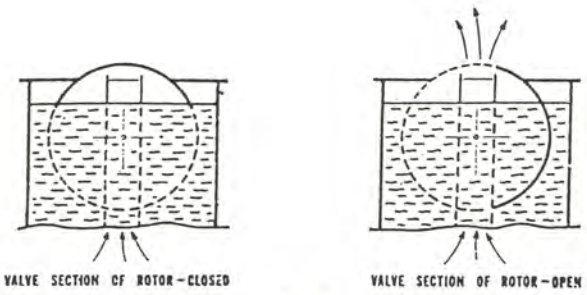


FIG. —High-Capacity Liquid Seal Valve (Type A).

รูปที่ 11 PV vent ซึ่งมีหลักการทำงานที่แตกต่างกัน

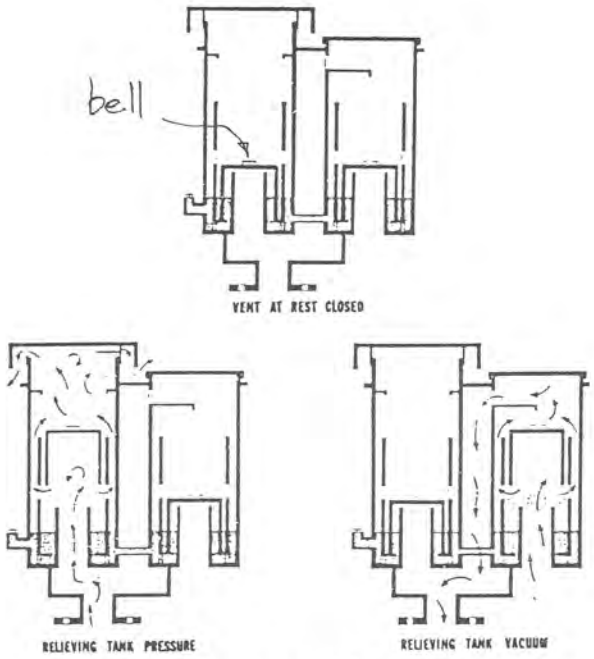
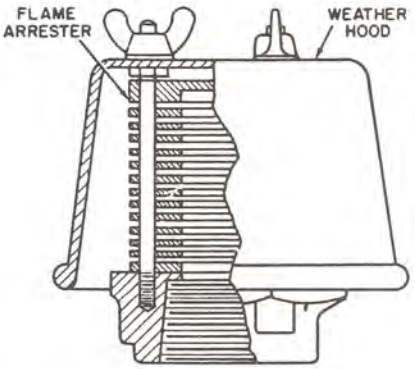
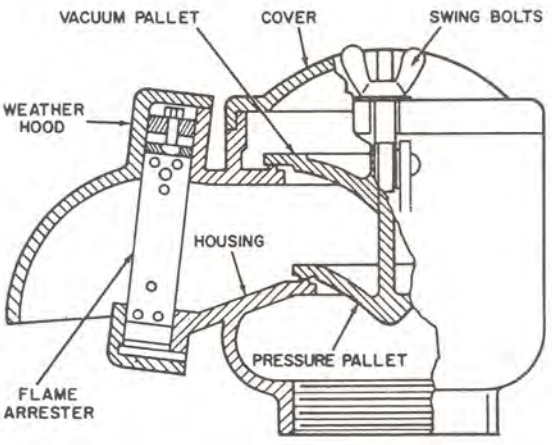


FIG. —Liquid Seal Valve (Type B).

รูปที่ 11(ต่อ) PV vent
ซึ่งมีหลักการทำงานที่แตกต่างกัน



End-of-line flame arrester.



รูปที่ 11(ต่อ) PV vent
ซึ่งมีหลักการทำงานที่แตกต่างกัน

Combination flame arrester/conservation vent.

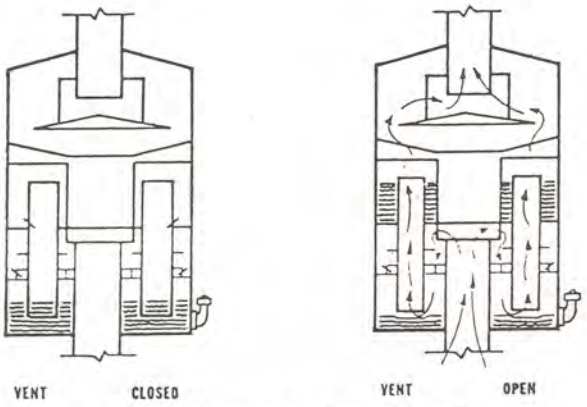


FIG. —Liquid Seal Valve (Type C).

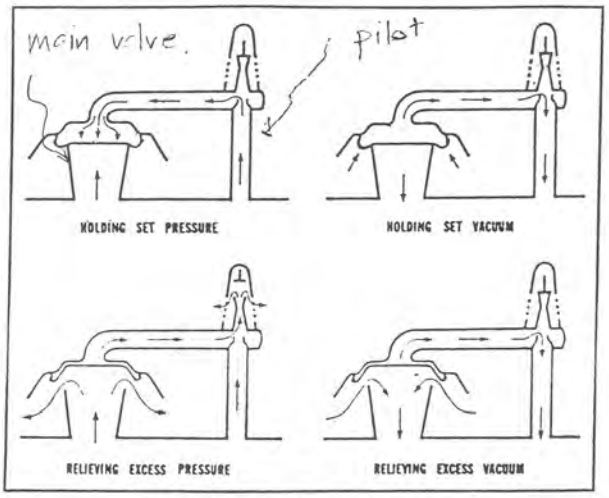


FIG. —Pilot-Operated Valve.

รูปที่ 11 (ต่อ) PV vent ซึ่งมีหลักการทำงานที่แตกต่างกัน

2. Floating Roof Storage Tanks

ถังสำรองชนิดนี้ถูกสร้างให้มีพื้นถังและผนังถังคล้ายกับถังสำรองชนิด Fixed Roof เพียงในส่วนของหลังคาจะประกอบด้วยหลังคาซึ่งขึ้นลงตามระดับของเหลวภายในถังสำรอง โดยหลังคาถังฝาลอยจะอยู่บนของเหลวที่บรรจุอยู่ภายในถังสำรองหรือเรียกว่า "หลังคาถังฝาลอย (Floating roof)" ซึ่งจะมีส่วนที่เรียกว่า pontoon ทำหน้าที่เพิ่มแรงลอยตัวให้กับหลังคาถังฝาลอยและในขณะเดียวกันก็จัดให้มีซีลระหว่างผนังถังกับหลังคาถังฝาลอยเพื่อป้องกันการระเหยของของเหลวที่บรรจุภายในถังสำรอง อีกทั้งป้องกันน้ำฝนหรือหิมะตกเข้าไปภายในถังสำรองในขณะเดียวกันก็ป้องกันไม่ให้ของเหลวภายในถังสำรองดันทะลักขึ้นมาทางช่องว่างขอบรอบถังซึ่งที่มีซีลติดตั้งอยู่เนื่องจากน้ำหนักหลังคาถังฝาลอยกดทับ

จากการที่หลังคาถังฝาลอยแนบชิดติดกับระดับผิวหน้าของเหลวภายในถังสำรองจึงเป็นการลดปริมาตรว่างเปล่าเหนือของเหลวจึงส่งผลทำให้ช่วยลดการสูญเสียเนื่องจากการระเหยกลายเป็น

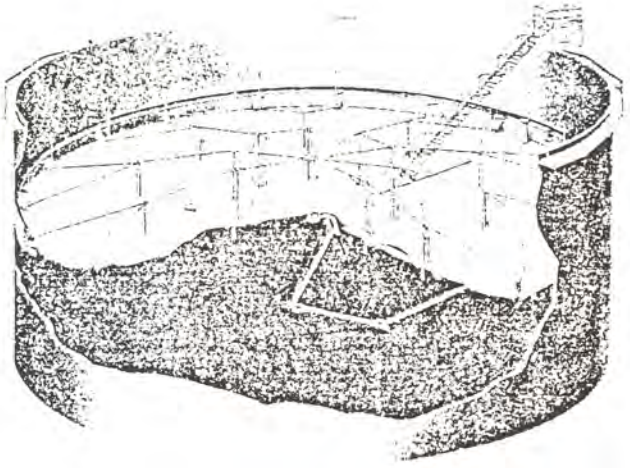


Figure —Pan-Type Floating-Roof Tanks

รูปที่ 12 ถังสำรองหลังคาถังฝาลอยแบบ Pan type

ไอของของเหลวภายในถังสำรองในขณะที่จัดเก็บและในขณะที่ดูด-จ่ายของเหลวเข้า-ออกจากถังสำรอง ลักษณะของหลังคาถังฝาลอย (Floating roof) มีตั้งแต่แบบเรียบง่ายคือเป็นฝาถังเรียบแบบ pan ดูรูปที่ 12 และ 16 ตลอดจนมีการออกแบบปรับปรุงให้ดีขึ้นเป็นแบบ annular-pontoon type (แผ่นเหล็กเชื่อมประกอบเป็นช่องๆ(compartments) ติดต่อกันเป็นวงแหวนรอบตามแนวหลังคาเรียกว่า annular pontoon) ดูรูปที่ 15 และ 16 และแบบ double-deck type ดูรูปที่ 13 และ 16 นอกจากนี้ยังจัดให้มีขารองรับน้ำหนักหลังคาถังฝาลอย (legs) กระจายอยู่ตลอดทั่วหลังคาถังฝาลอย เมื่อระดับของเหลวลดลงต่ำจนถึงระดับหนึ่งขารองรับน้ำหนักหลังคาจะค้ำยันกับพื้นถังและเมื่อของเหลวภายในถังสำรองยังคงถูกสูบออกไปเรื่อยๆระดับของเหลวยิ่งลดลงจนหลังคาฝาถังลอยไม่สามารถเคลื่อนที่ลงตามระดับของเหลวได้อีกต่อไปทำให้มีช่องว่างของอากาศระหว่างฝาถังลอยเกิดขึ้นในช่วงนี้เอง

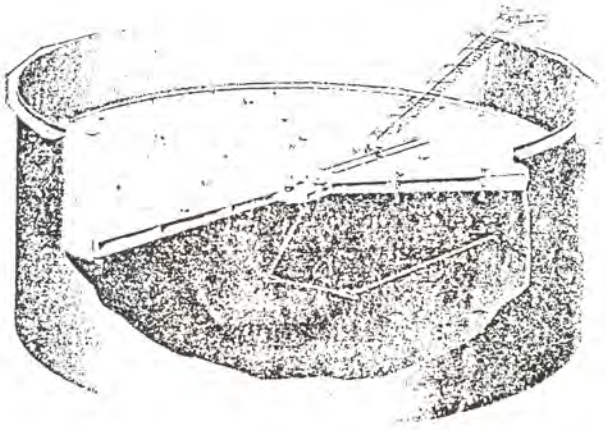
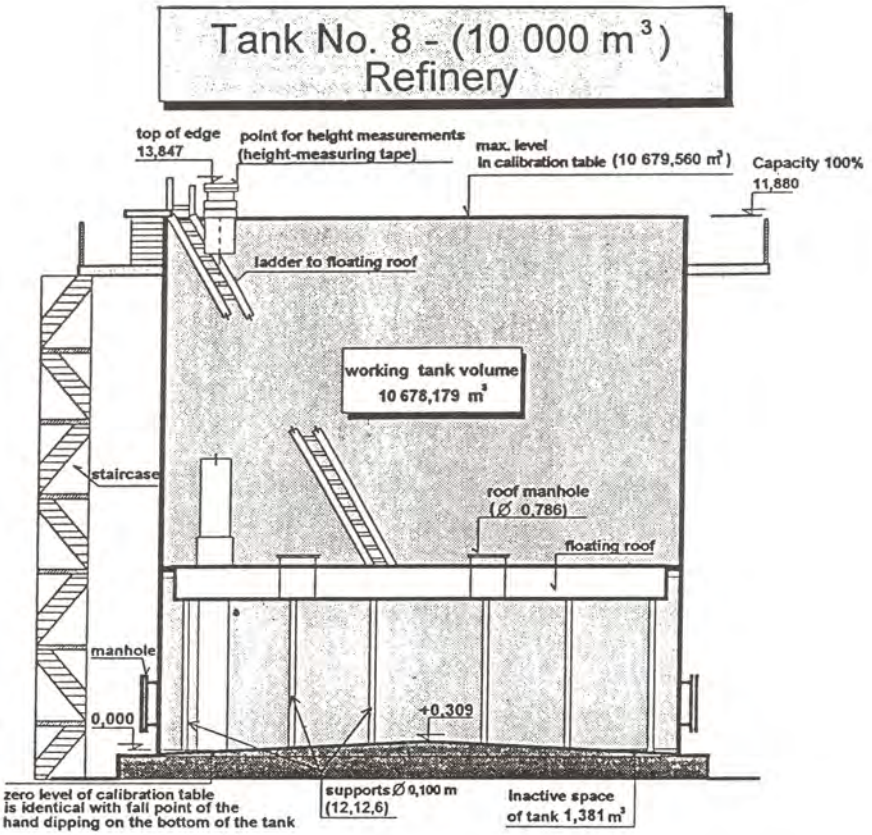


Figure —Double-Deck Floating Roof Tanks

รูปที่ 13 ถังสำรองหลังคาถังฝาลอยแบบ Double Deck type



รูปที่ 14 ภาพตัดถังสำรองชนิดหลังคาถังฝาลอย ขนาดความจุ 10,000 ลบ.ม.

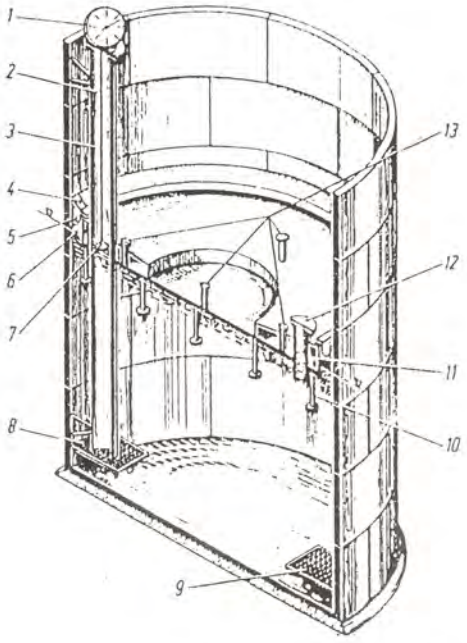


Fig. Schematic representation of a storage tank with pontoon-type floating roof and measuring equipment
(1 = filling height measuring device, 2 = guide and standpipe, 3 = float wire, 4 = cover plate, 5 = gasket, 6 = liquid level, 7 = float, 8 = dipping table 2, 9 = dipping table 1 (principal dipping table), 10 = floating roof supports, 11 = pontoon-type floating roof, 12 = principal dipping point, 13 = air dipping socket).

รูปที่ 15 องค์ประกอบของอุปกรณ์ประจำถังสำรองชนิดหลังคาถังฝาลอย

ปกติแล้วระยะที่ต่ำสุดของขารองรับน้ำหนักหลังคาถังจะค้ำยันพื้นถังและทำให้หลังคาฝาถังลอยอยู่สูงจากพื้นถังประมาณ 1.2 เมตร (4 ฟุต) แต่เนื่องจากขารองรับน้ำหนักหลังคาถังฝาลอยดังกล่าวสามารถปรับระยะขึ้นลงได้ดังนั้นในกรณีที่ต้องการซ่อมแซมหรือตรวจสอบสถาพหรือทำความสะอาดภายในถังสำรองสามารถปรับให้ขารองรับน้ำหนักยกหลังคาฝาถังลอยให้สูงจากพื้นถังได้สูงในระยะที่คนเดินภายในถังสำรองได้สบายโดยไม่ต้องก้มหัว

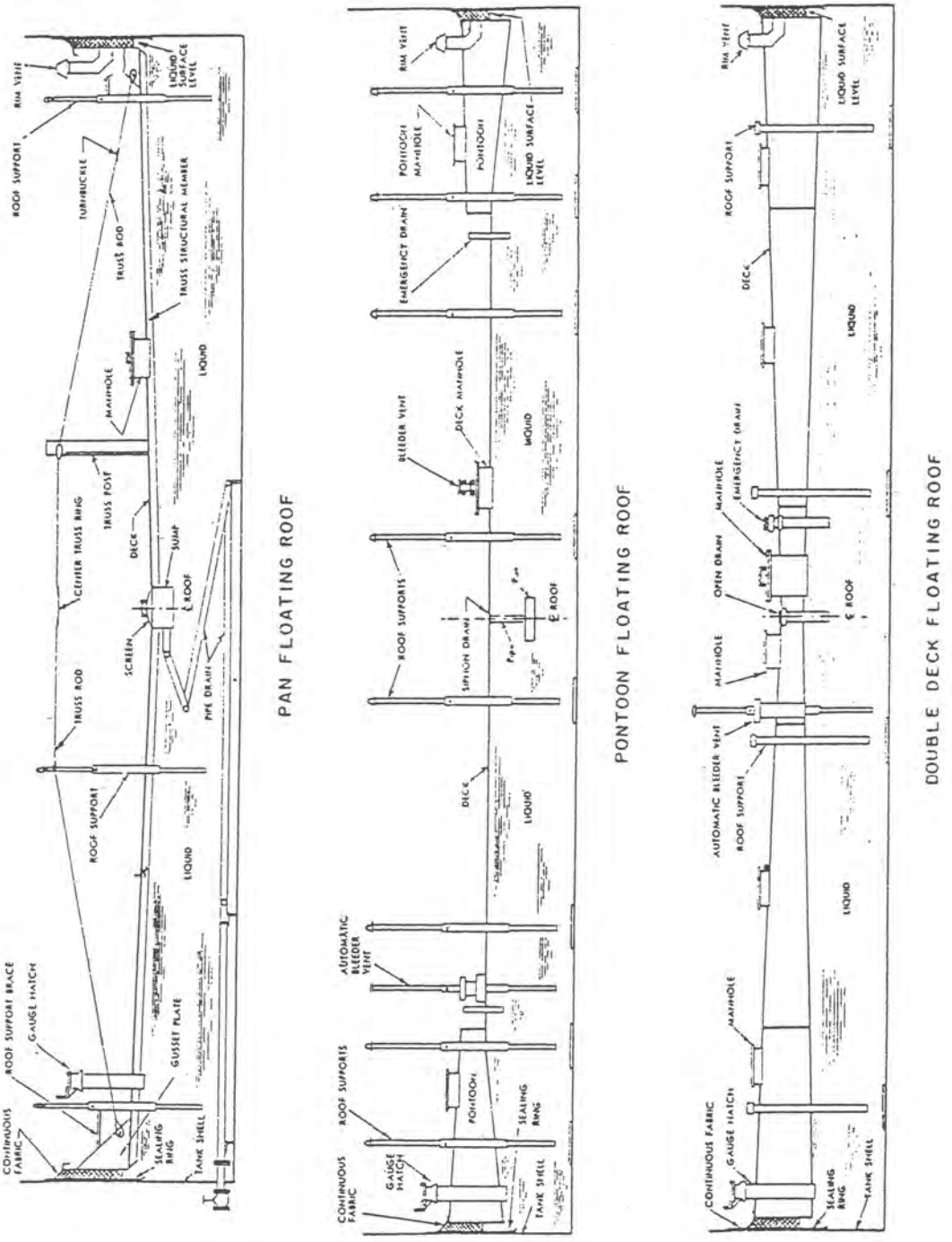


Figure —Cross-Section Sketches of Floating-Roof Tanks Showing the Most Important Features

รูปที่ 16 ภาพตัดถังสำรองชนิดหลังคาถังฝาลอย

- PAN FLOATING ROOF
- PONTON FLOATING ROOF
- DOUBLE DECK FLOATING ROOF

ส่วนใหญ่มักใช้ถังสำรองชนิดนี้สำหรับจัดเก็บผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมชนิดที่มีความดันไอสูง (ระเหยเป็นไอได้ง่าย) เช่น น้ำมันดิบ แต่อย่างไรก็ตามก็ยังมีช่องว่างระหว่างหลังคาถังซึ่งลอยขึ้นลงตามระดับของของเหลวภายในถังสำรองกับผนังถังซึ่งบริเวณช่องว่างดังกล่าวจะมีการป้องกันการระเหยของเหลวหรือการเล็ดรอดของของเหลวออกจากตัวถังสำรองอันเนื่องจากน้ำหนักของหลังคาถังกดลงอยู่บนโดยจัดให้มีซีล (a flexible circumferential covering) ป้องกันอยู่ (ดูรูปที่ 17, 18, 19 และ 20) แต่เนื่องจากถังสำรองขนาดใหญ่รูปทรงแนวตั้งชนิดนี้ถูกใช้และทำงานที่ความดันบรรยากาศไม่สามารถทนต่อความดันสูงมากนักดังนั้นความดันก๊าซภายในถังสำรองจึงสามารถถูกปลดปล่อยออกทางขอบรอบๆของหลังคากับผนังถังได้บางส่วนอย่างอิสระหรือผ่านระบบซีลนั้นเอง

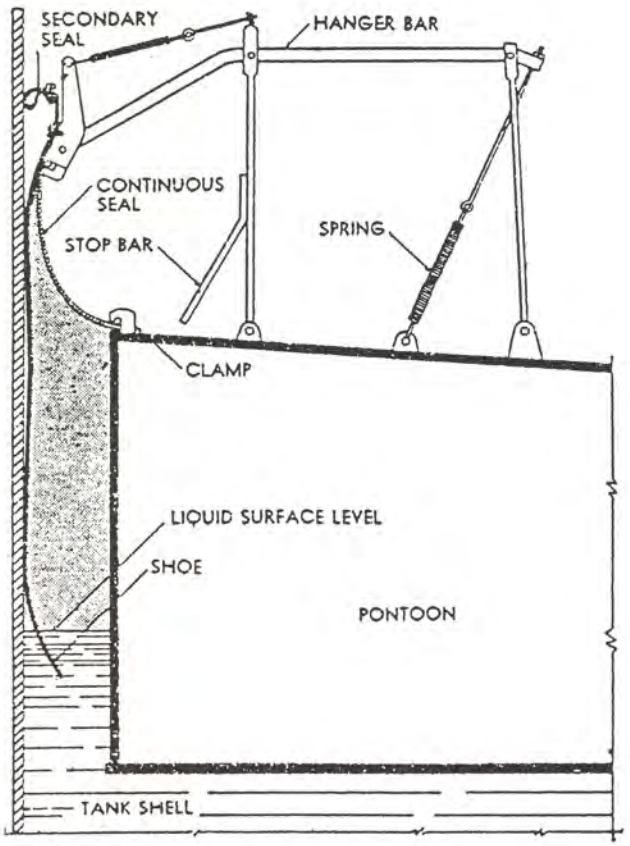
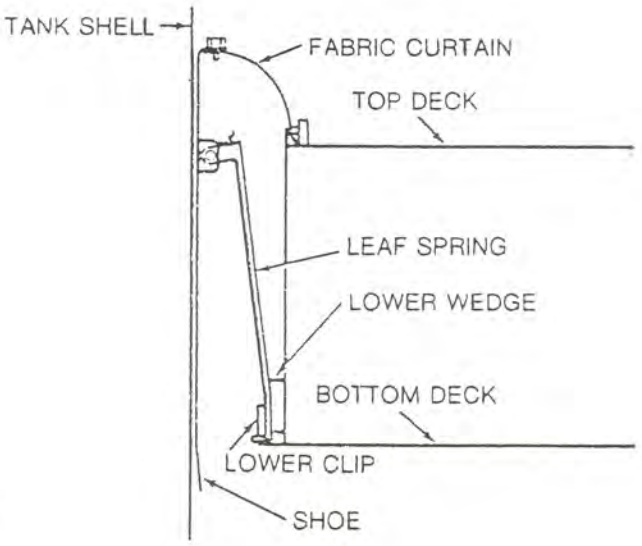


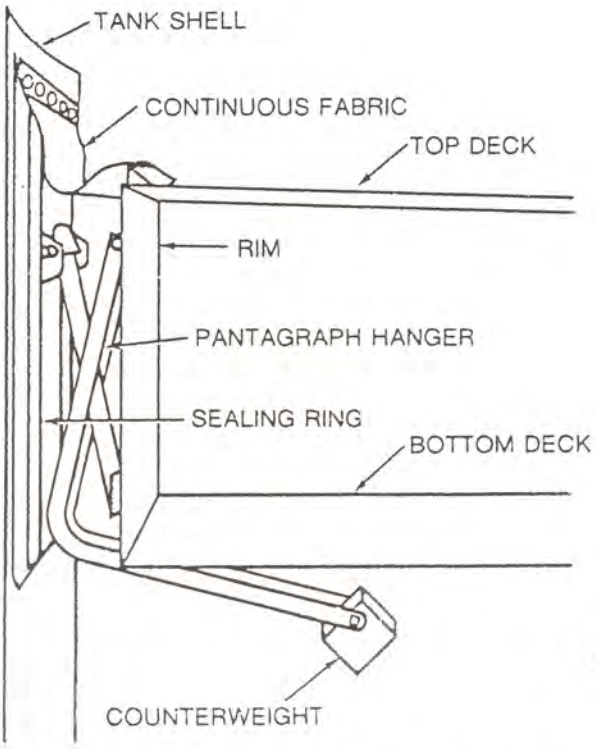
Figure —Floating-Roof Seal Using Coil Springs to Maintain the Seal

รูปที่ 17 ซีลของหลังคาถังฝาลอยกับผนังถัง ชนิด Coil springs ยันผนังถัง



รูปที่ 18 ซีลของหลังคาถังฝาลอยกับผนังถัง ชนิด Leaf springs ยันผนังถัง

Figure —Floating-Roof Seal Using Leaf Springs to Maintain the Seal



รูปที่ 19 ซีลของหลังคาถังฝาลอยกับผนังถัง ชนิด Counterweights ยันผนังถัง

Figure —Floating-Roof Seal Using Counterweights to Maintain the Seal

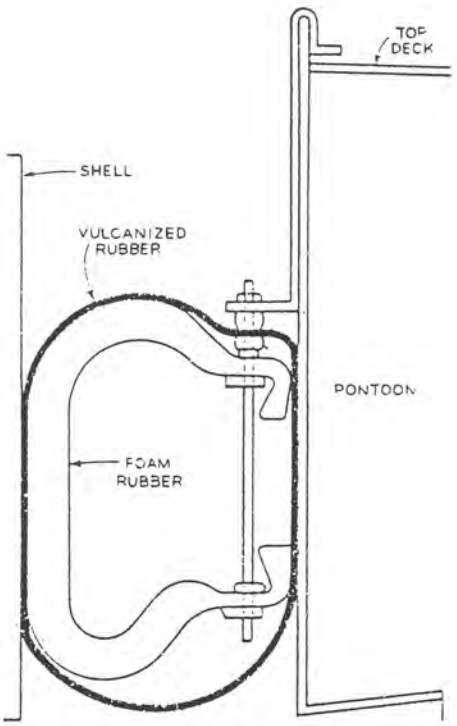
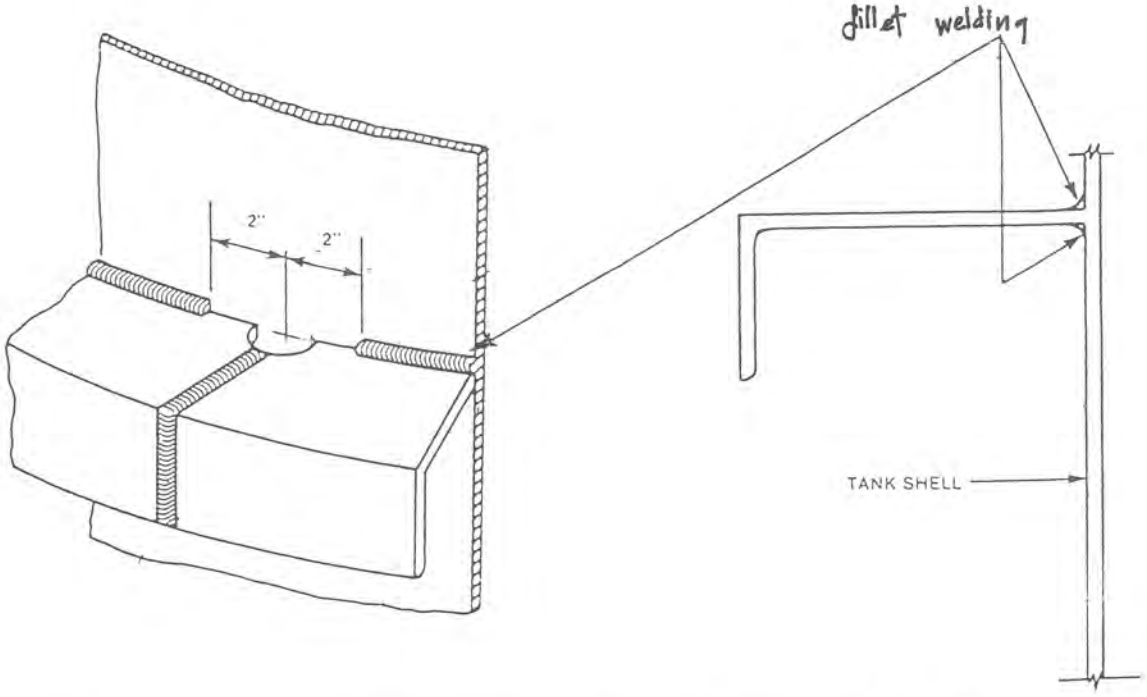


Figure —Floating-Roof Using Resilient Tube-Type Seal

รูปที่ 20 ซีลของหลังคาถังฝาลอยกับผนังถัง ชนิด Resilient tube-type

ข้อเด่นของการก่อสร้างถังสำรองชนิด floating roof ก็คือสามารถก่อสร้างถังได้มีขนาดใหญ่และสามารถบรรจุของเหลวได้มาก พบว่าปกติแล้วถังสำรองชนิดนี้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางตั้งแต่ 15 เมตรขึ้นไป

นอกจากนี้การแทนที่ของเหลวภายในถังสำรองอันเนื่องจากน้ำหนักของหลังคาถังฝาลอย (Floating roof) พอทราบได้ด้วยการสอบเทียบแบบเปียก (wet calibration) แต่ในทางปฏิบัติแล้วความลึกของการจมของหลังคาถังฝาลอยยังคงได้รับอิทธิพลจากแรงลม, น้ำหนักน้ำฝนบนหลังคา หรือในบางสถานที่ก็จะรวมถึงหิมะและน้ำแข็ง ในขณะเดียวกันแรงเสียดทานของซีลซึ่งติดตั้งอยู่บริเวณรอบฝาถังลอยกับผนังถังก็มีผลด้วยเช่นกัน ดังนั้นในการออกแบบหลังคาถังฝาลอยส่วนใหญ่จัดให้มี dipping sockets กระจายตามเส้นรอบวงและกึ่งกลางหลังคาถังฝาลอยอย่างน้อย 4 – 5 sockets เพื่อใช้ในการตรวจสอบระดับความสูงของเหลวภายในถังสำรอง เพื่อพิจารณาและสังเกตว่าหลังคาถังฝาลอยมีการเอียงตัวหรือไม่ อีกทั้งมีประโยชน์ในการสอบเทียบแบบเปียกเพื่อหา air height ซึ่งตามด้วยการหา น้ำหนักของหลังคาถังฝาลอย ซึ่งจะกล่าวในบทต่อไป



รูปที่ 21 Stiffening ring ติดตั้งกับผนังถังโดยรอบถังสำรองเพื่อเพิ่มความแข็งแรงทางโครงสร้าง

3. แบบผสมระหว่าง Fixed Roof Storage Tanks กับ Floating Roof Storage Tanks

โดยจะเป็นถังสำรองที่ภายนอกดูเหมือน fixed roof tanks แต่ภายในติดตั้งด้วย floating roof ดูรูปที่ 22 และ 23 โดยหลังคาถังฝาลอยทำด้วยโลหะ, อลูมิเนียม, พลาสติก หรือวัสดุอื่นๆ ตามความเหมาะสม ทั้งนี้เพื่อช่วยลดการระเหยกลายเป็นไอของผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการจัดเก็บ ถังสำรองชนิดนี้มักได้รับความนิยมกับสถานที่ที่มีหิมะตกหนักหรือฝนตกหนักซึ่งอาจเป็นอันตรายหาก จะเลือกใช้ถังสำรองชนิด floating roof เนื่องจากถังสำรองชนิด floating roof อาจประสบปัญหาของการระบายน้ำฝนออกจากหลังคาถังฝาลอยไม่ทันหรืออุปกรณ์สำหรับใช้ละลายหิมะทำงานไม่ทัน สิ่งเหล่านี้ก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อการจมลงของหลังคาถังฝาลอยได้ แต่หากจะเลือกถังสำรองชนิด cone roof ก็ไม่เหมาะสมเนื่องจากไม่สามารถใช้กับของเหลวที่มีอัตราการระเหยกลายเป็นไอสูง เพราะมีปริมาตรพื้นที่ว่างเหนือของเหลวมากเกินไป

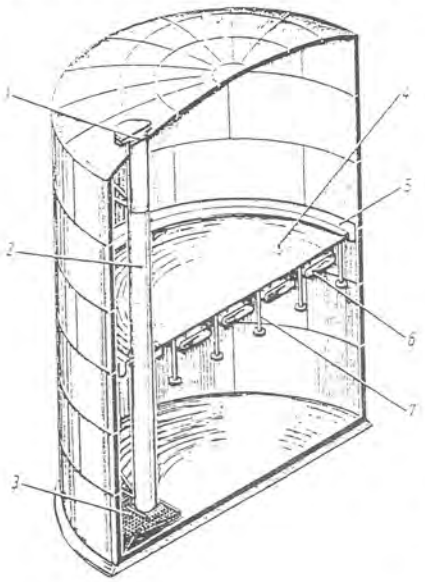
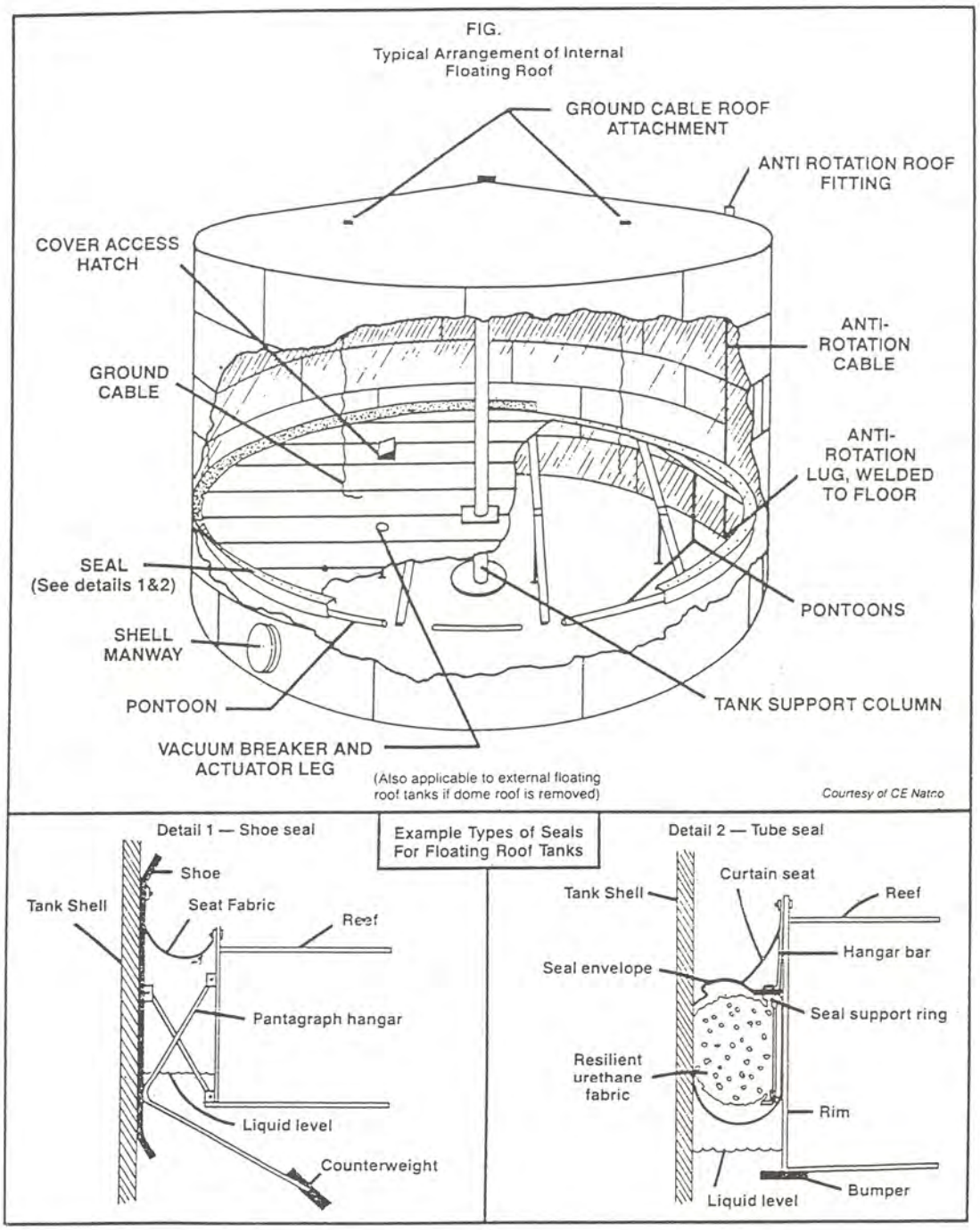


Fig Storage tank with fixed roof and floating floor (1 = crosspiece, 2 = dipping and guide tube, 3 = dipping table, 4 = floating floor, 5 = gasket, 6 = floating pontoon, 7 = floating floor supports)

รูปที่ 22 องค์ประกอบของอุปกรณ์ประจำถังสำรองชนิดผสมระหว่าง Fixed Roof กับ Floating Roof



รูปที่ 23 องค์ประกอบของอุปกรณ์ประจำถังสำรองชนิดผสมระหว่าง Fixed Roof กับ Floating Roof

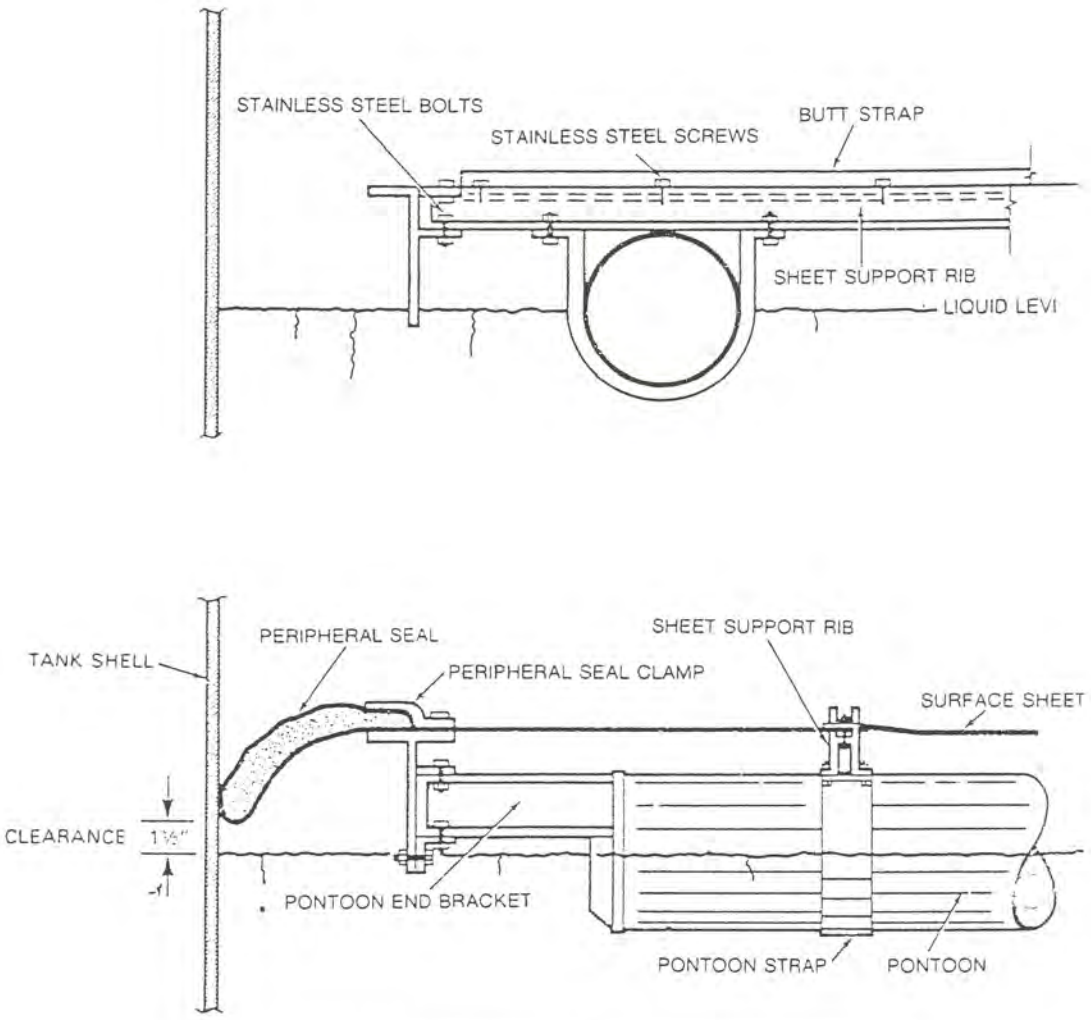
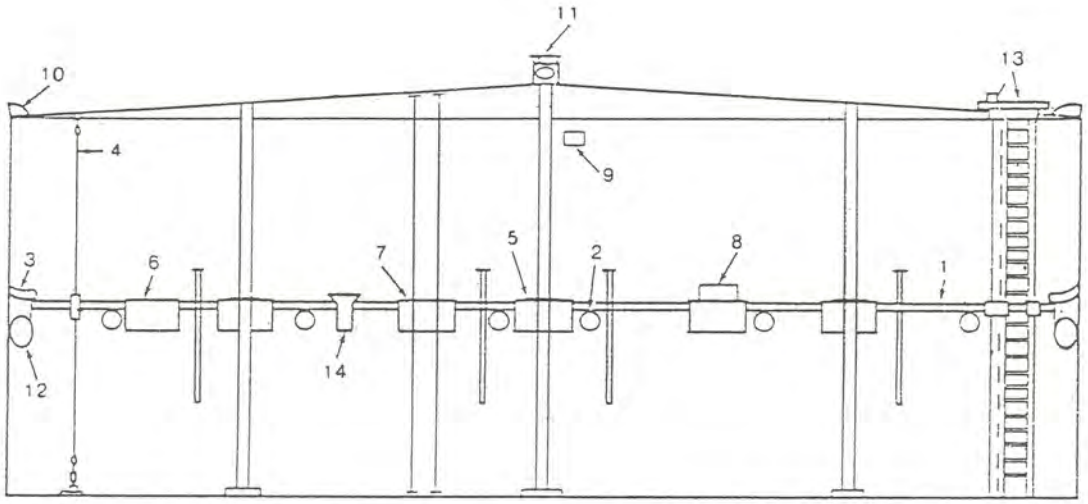


Figure —Typical Seal Arrangement for Metallic Float Internal Floating Roof

รูปที่ 23 (ต่อ) รูปแบบของ seal หลังคาถังฝาลอยภายในถังสำรองชนิดผสมระหว่าง Fixed Roof กับ Floating Roof

ดังนั้นการผสมผสานข้อดีของถังชนิด cone roof กับชนิด floating roof เข้าด้วยกัน การออกแบบก่อสร้างถังสำรองชนิดนี้ไม่ควรมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเกิน 39 เมตรเนื่องจากข้อจำกัดทางด้านโครงสร้าง ผลิตภัณฑ์ที่มักใช้กับถังสำรองชนิดนี้ เช่น NGL (Natural Gas Liquid) รูปแบบต่างๆของถังสำรองชนิดนี้ ดูรูปที่ 24, 25 และ 26

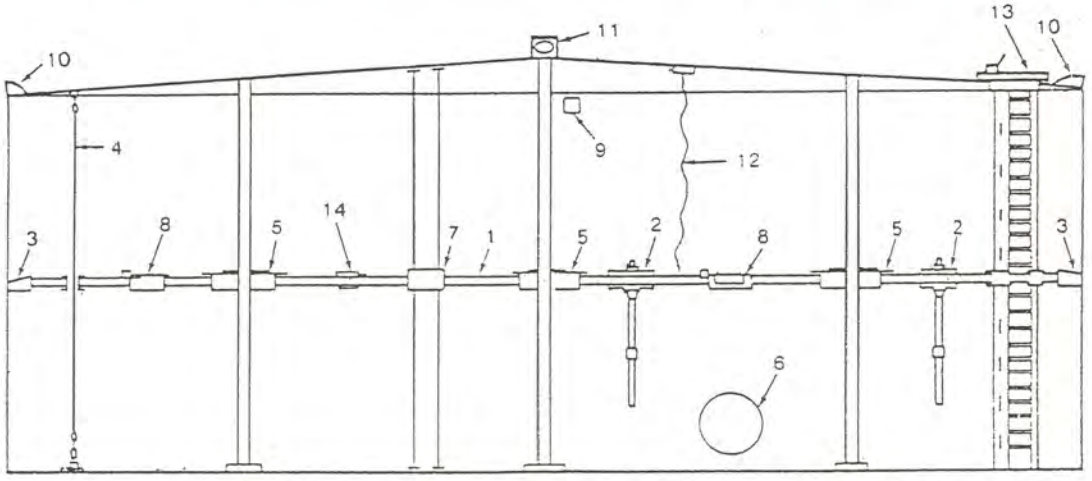
ถังสำรองชนิดนี้มีการสูญเสียเนื่องจากไอมีค่าต่ำมากเมื่อเทียบกับถังสำรอง cone roof storage tanks ในสัดส่วน 1 : 250



1	BASIC COVER	8	VACUUM RELIEF DEVICE
2	SUPPORT LEGS	9	OVERFLOW VENT
3	SEAL	10	PERIPHERAL ROOF VENT
4	ANTI-ROTATION DEVICE	11	CENTER ROOF VENT
5	COLUMN NEGOTIATING DEVICE	12	ANTI-STATIC GROUNDING
6	MANWAY	13	ROOF HATCH
7	GAGE FLOTEWELL	14	GAGE FUNNEL

Figure —Typical Sandwich Internal Floating Roof for API Storage Tank

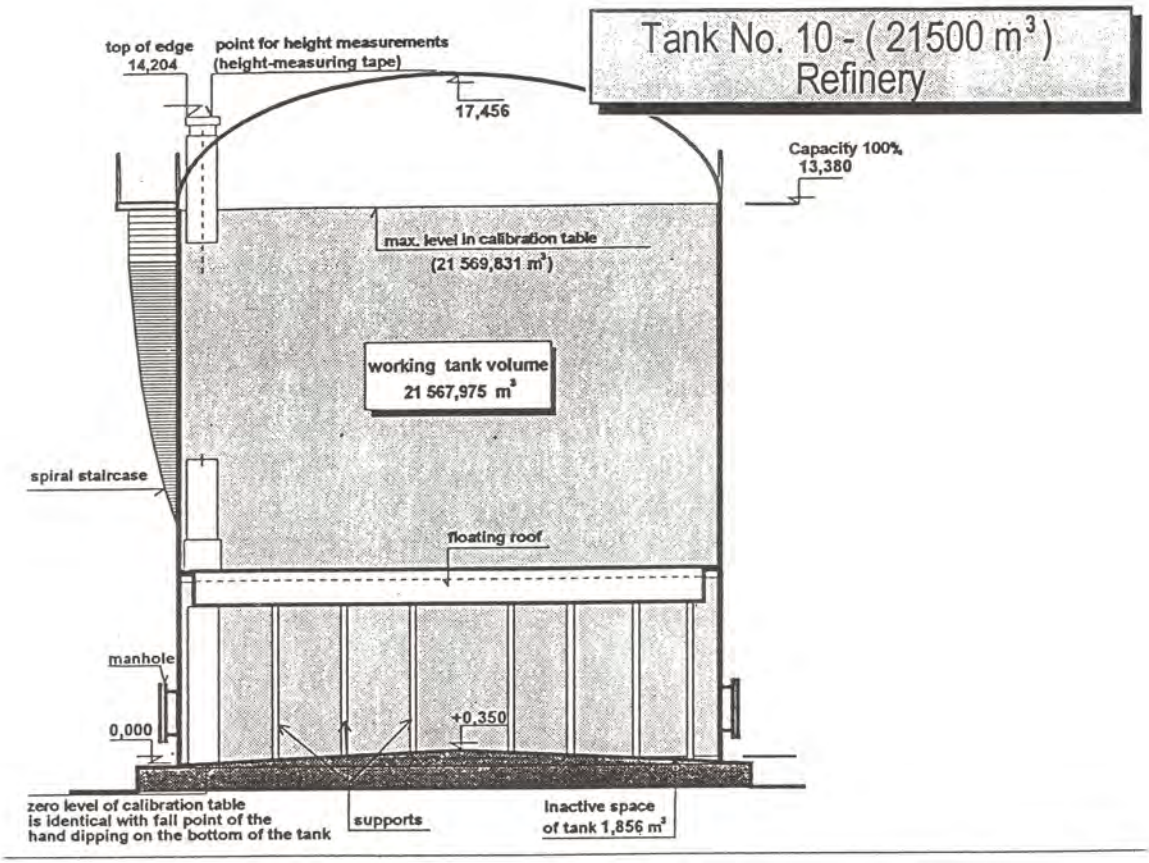
รูปที่ 24 ถังสำรองชนิดผสมระหว่าง Fixed Roof กับ Floating Roof แบบ typical sandwich



1	BASIC COVER	8	VACUUM RELIEF DEVICE
2	SUPPORT LEGS	9	OVERFLOW VENT
3	SEAL	10	PERIPHERAL ROOF VENTS
4	ANTI-ROTATION DEVICE	11	CENTER ROOF VENT
5	COLUMN NEGOTIATING DEVICE	12	ANTI-STATIC GROUNDING
6	MANWAY	13	ROOF HATCH
7	GAGE FLOTEWELL	14	GAGE FUNNEL

Figure —Typical Pan Type for Internal Floating Roof for API Storage Tank

รูปที่ 25 ถังสำรองชนิดผสมระหว่าง Fixed Roof กับ Floating Roof แบบ pan type



รูปที่ 26 ภาพตัดถังสำรองชนิดผสมระหว่าง Fixed Roof กับ Floating Roof ขนาดความจุ 10,000 ลบ.ม.

ถังสำรองชนิด Fixed Roof ค่อนข้างได้รับความนิยมในประเทศที่มีหิมะตกเมื่อเปรียบเทียบกับถังสำรองชนิด Floating Roof กับถังสำรองชนิดแบบผสมระหว่าง Fixed Roof Storage Tanks กับ Floating Roof Storage Tanks แต่ถังสำรองชนิด cone roof ก็มีข้อจำกัดในเรื่องของขนาดถังสำรอง ซึ่งโดยทั่วไปจะมีขนาดใหญ่ไม่มากนักเมื่อเทียบกับถังสำรองชนิด floating roof หากพิจารณาในแง่ของค่าก่อสร้างและค่าใช้จ่ายจาก operating cost ในรูปของ vapor loss สามารถเปรียบเทียบในเชิงสเกลได้ดังในตารางที่ 1.3

ตารางที่ 1.3 ตารางเปรียบเทียบประเภทของหลังคาถังสำรองกับปัจจัยที่เกี่ยวข้อง

	Fixed Roof	Floating Roof	Floating with fixed roof
Construction cost	1	1.25	1.15
Operating cost in term of vapor loss	250	20	1

หากเราแบ่งชนิดของถังสำรองขนาดใหญ่รูปทรงแนวตั้งตามลักษณะโครงสร้างหลังคาและวิธีการรองรับแล้ว พอจัดหมวดหมู่ได้ดังในตารางที่ 1.4

ตารางที่ 1.4 แบ่งชนิดถังสำรองตามลักษณะโครงสร้างหลังคาและวิธีการรองรับโครงหลังคา

ROOF TYPE		Supporting Method
Fixed roof	Conical (Cone roof)	• Self-supporting • Rafter type • Truss type • Pillar type
	Circular spherical (Dome roof)	• Self-supporting • Rafter type • Pillar type • Others
	Umbrella type	• Self-supporting • Others
Floating roof	Single deck type	• Pan type • Annular pontoon type • Center pontoon type • Distributed pontoon type
	Double deck type	• Pan type • Annular pontoon type • Center pontoon type • Distributed pontoon type
Floating roof type with fixed roof, **or** Fixed roof type with floating roof	• Fixed roof	• Pillarless type • Pillar type
	• Floating roof	• Pontoon type • Pan type

จากรายละเอียดดังกล่าวข้างต้นเราจึงพอสรุปประเภทของถังสำรองขนาดใหญ่รูปทรงแนวตั้งและขนาดถังสำรองตลอดจนลักษณะโครงสร้างที่สำคัญของถังสำรองดังกล่าวไว้ในตารางที่ 1.5 TANK DIAMETERS IN METERS ในขณะเดียวกันในการเลือกชนิดและขนาดถังสำรองขนาดใหญ่รูปทรงแนวตั้งให้เหมาะสมกับชนิดของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการจัดเก็บควรสามารถพิจารณาในตารางที่ 1.6 แต่อย่างไรก็ตามในการพิจารณาเลือกขนาดและชนิดของถังสำรองขนาดใหญ่รูปทรงแนวตั้งว่าควรเป็นประเภทใดหรือขนาดใดนั้นจำเป็นต้องคำนึงถึงปัจจัยอื่นๆที่มาเกี่ยวข้องด้วยเช่นกัน เช่น การสูญเสียเนื่องจากการระเหย (evaporation losses), pumping losses, climatic conditions, air pollution, soil conditions รวมทั้ง กฎข้อระเบียบต่างๆของรัฐ

ตารางที่ 1.5 TANK DIAMETERS IN METERS

	3 4 6 8 10 12.5	15 17.5 20	22.5 25 27.5 30 33 36 39	42 45 48	54 60	66 72 78
TYPE OF TANK	AC, LC1, LC2, OT	AC, LC1, LC2 AD, LD1, LD2, F, OT	AC, LC1, AD, LD1, F, OT	AC, F, OT	F, AC, OT	F, OT
TYPE OF ROOF	**CONE ROOFS**					
	Folded sheets	Folded sheets or radial rafters	Internal trusses		Internal trusses special design	Not available
	DOME ROOFS					
	Not available	Radial rafters		Not available		
	FLOATING ROOFS					
	Under special circumstances use may be made of floating roof tanks.	Pontoon type Double deck type may be used only in special circumstances.				Reinforced pontoon type or double deck type
	FIXED ROOFS WITH FLOATING COVERS					
	Under special circumstances use may be made of fixed roof tanks with floating covers. Approved types only.			Not recommended		
Shell plates	Min. 1.5 m. wide Max. 2.0 m wide	Min. 2.0 m. wide Max. 3.0 m wide				
	Min. thickness 6 mm.	Min. thickness 6 mm.	Min. thickness 8 mm.			Min. thickness 10mm.
Bottom plates	Min. thickness 6 mm.					

หมายเหตุ

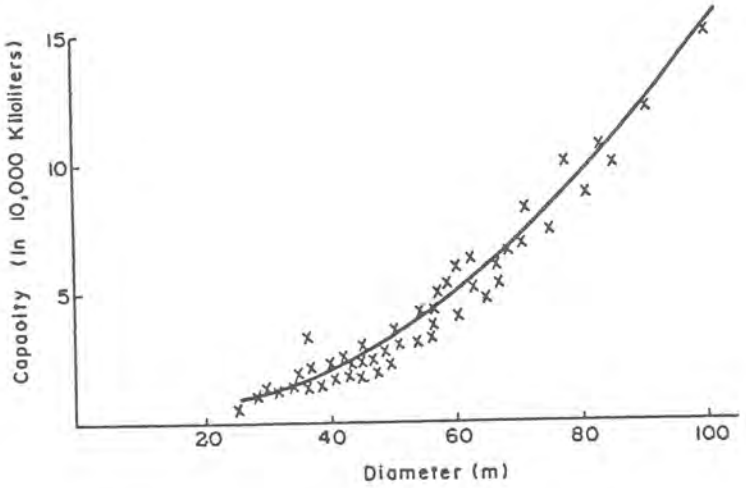
AC = Atmospheric pressure cone roof tank
LC1 = Low pressure cone roof tank (20/6.0 mbar)
LC2 = Low pressure cone roof tank (56/6.0 mbar)
AD = Atmospheric pressure dome roof tank
LD1 = Low pressure dome roof tank(20/6.0 mbar)
LD1 = Low pressure dome roof tank(56/6.0 mbar)
F = Floating roof tank
OT = Open top tank

ตารางที่ 1.6 TANK DIAMETERS IN METERS

	3	4	6	8	10	12.5	15	17.5	20	22.5	25	27.5	30	33	36	39	42	45	48	54	60	66	72	78	
Class I Flash point less than 21 ° C	LC1, LC2						LC1, LC2 LD1, LD2, F			Preferably F LC1 LD1							F			F					
Class II Flash point 21 ° C and higher but less than 55 °C	LC1						LC1 LD1 F			Preferably F LC1 LD1							F (on poor subsoils or for other special conditions AC may be preferred)			F					
Class III+ Unclassified Flash point 55 ° C and higher	AC						AC AD			AC AD							AC			AC Special cases					

NOTE: For tanks up to 39 m. incl., when storing certain class I and II products, a fixed roof with floating cover may be used, especially as an alternative for the Floating type, when rain water penetrating between shell and seal may have and adverse effect on the quality of the product stored.

Fig. Large Tank Diameter and Capacity



รูปที่ 27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพิกัดความจุกับเส้นผ่านศูนย์กลางของถังสำรอง

Tank diameter	Shell plate length
3	1.5 π
4 to 10	2.0 π
12.5 to 30	2.5 π
33 to 114	3.0 π

รูปที่ 28 ข้อแนะนำของความยาวของแผ่นผนังถัง (shell plate) แต่ละแผ่นที่ประกอบเป็นผนังถัง (Shell ring)

NOMINAL CAPACITIES OF STANDARD VERTICAL CYLINDRICAL TANKS

Height in m	Tank diameter in m																								
	3	4	6	8	10	12.5	15	17.5	20	22.5	25	27.5	30	33	36	39	42	45	48	54	60	66	72	78
	Nominal capacities in m^3																							
1	7	12	28	50	78	122	176	240	314	397	490	593	706	855	1 017	1 194	1 385	1 590	1 809	2 290	2 827	3 421	4 071	4 778
2	14	25	56	100	157	245	353	481	628	795	981	1 187	1 413	1 710	2 035	2 389	2 770	3 180	3 619	4 580	5 654	6 842	8 142	9 556
3	21	37	84	150	235	358	530	721	942	1192	1 472	1 781	2 120	2 565	3 053	3 583	4 156	4 771	5 428	6 870	8 482	10 263	12 214	14 335
4	28	50	113	201	314	490	706	962	1256	1590	1 963	2 375	2 827	3 421	4 071	4 778	5 541	6 361	7 238	9 160	11 309	13 684	16 285	19 113
5	35	62	141	251	392	613	883	1202	1570	1988	2 454	2 969	3 534	4 276	5 089	5 972	6 927	7 952	9 047	11 451	14 137	17 105	20 357	23 891
6	42	75	169	301	471	736	1060	1443	1884	2385	2 945	3 563	4 241	5 131	6 107	7 167	8 312	9 542	10 857	13 741	16 964	20 527	24 428	28 670
7			197	351	549	859	1237	1683	2199	2783	3 436	4 157	4 948	5 987	7 125	8 362	9 698	11 133	12 666	16 031	19 792	23 948	28 500	33 448
8			100	226	402	628	981	1413	1924	2513	3180	3 926	4 751	5 654	6 842	8 142	9 556	11 083	12 723	14 476	18 321	22 619	27 369	32 571	38 226
9				254	452	706	1104	1590	2164	2827	3578	4 417	5 345	6 361	7 697	9 160	10 751	12 468	14 313	16 285	20 611	25 446	30 790	36 643	43 005
10				282	502	785	1227	1767	2405	3141	3976	4 908	5 939	7 068	8 552	10 178	11 945	13 854	15 904	18 095	22 902	28 274	34 211	40 714	47 783
11					552	863	1349	1943	2645	3455	4373	5 399	6 533	7 775	9 408	11 196	13 140	15 239	17 494	19 905	25 192	31 101	37 633	44 786	52 561
12					603	942	1472	2120	2886	3769	4771	5 890	7 127	8 482	10 263	12 214	14 335	16 625	19 085	21 714	27 482	33 929	41 054	48 857	57 340
13						1021	1595	2297	3126	4084	5168	6 381	7 721	9 189	11 118	13 232	15 529	18 010	20 675	23 524	29 772	36 756	44 475	52 929	62 118
14						1099	1718	2474	3367	4398	5566	6 872	8 315	9 896	11 974	14 250	16 724	19 396	22 266	25 333	32 063	39 584	47 896	57 000	66 896
15						1178	1840	2650	3607	4712	5964	7 363	8 909	10 602	12 829	15 268	17 918	20 781	23 856	27 143	34 353	42 411	51 317	61 072	71 675
16						1256	1963	2827	3848	5026	6361	7 853	9 503	11 309	13 684	16 285	19 113	22 167	25 446	28 952	36 643	45 238	54 739	65 143	76 453
17							2086	3004	4088	5340	6759	8 344	10 097	12 016	14 540	17 303	20 308	23 552	27 037	30 762	38 933	48 066	58 160	69 215	81 232
18							2208	3180	4329	5654	7156	8 835	10 691	12 723	15 395	18 321	21 502	24 937	28 627	32 571	41 223	50 893	61 581	73 286	86 010
19							2331	3357	4570	5969	7554	9 326	11 285	13 430	16 250	19 339	22 697	26 323	30 218	34 381	43 514	53 721	65 002	77 358	90 788
20							2454	3534	4810	6283	7952	9 817	11 879	14 137	17 105	20 357	23 891	27 708	31 808	36 191	45 804	56 548	68 423	81 429	95 567
21								3711	5051	6597	8349	10 308	12 473	14 844	17 961	21 375	25 086	29 094	33 399	38 000	48 094	59 376	71 844	85 501	100 345
22								3887	5291	6911	8747	10 799	13 067	15 550	18 816	22 393	26 280	30 479	34 989	39 810	50 384	62 203	75 266	89 572	105 123

NOTES: 1 Nominal capacities of tanks are calculated on the assumption that the tank has a flat bottom and is filled to the top of the shell plates.

2 The net capacity of fixed roof tanks should take into account a dead stock at the bottom of approx. 0.5 m and the fact that the maximum safe working level at the top is taken 0.2 m below the top curb angle.

3 The diameter of a floating roof shall at least be equal to its height, see (2.1.3).

4 The net capacity of a floating roof tank is less than the tabulated nominal capacity by approx. 2.0 m of its height. This is because of a dead stock of approx. 1.2 m to keep the roof floating and the fact that the maximum working level at the top is approx. 0.8 m below the top curb angle.
When a wind skirt is applied at the top of the shell the net capacity is less than the tabulated nominal capacity by approx. 1.2 m of its height.

5 The net capacity of a fixed roof tank with a floating cover is considerably less than the tabulated nominal capacity.
A dead stock of approx. 1.6 m is needed to keep the cover floating. For dome roofs and cone roofs up to 12.5 m a maximum safe working level at the top is taken 0.6 m below the top curb angle and for cone roofs over 15 m diameter this max. safe working level is 0.8-2 m below the top curb angle, as the roof trusses protude below the top of the shell.

ตารางที่ 1.7 พิกัดความจุ (Nominal capacity) ของถังสำรองขนาดใหญ่รูปทรงแนวตั้งแบบมาตรฐาน

ปัจจัยที่ใช้ในการพิจารณาในการออกแบบ ถังสำรองขนาดใหญ่รูปทรงแนวตั้งสำหรับเก็บผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม(storage tank in the form of a vertical cylinder) ได้แก่

1) ชนิดและค่าความถ่วงจำเพาะ (specific gravity) ของของเหลวที่ต้องการจัดเก็บ
2) อุณหภูมิที่ต้องการใช้จัดเก็บ และอุณหภูมิของโลหะที่ใช้ ตลอดจนช่วงอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดของการใช้งานหรือโลหะที่ต้องรองรับได้
3) น้ำหนักของของเหลวและความดันไอของของเหลวที่ต้องการจัดเก็บ
4) หากในพื้นที่ที่มีหิมะตกการคำนึงถึงน้ำหนักเนื่องจากหิมะและน้ำแข็งกระทำต่อโครงสร้างถังสำรอง
5) ปริมาณน้ำฝน และการระบายน้ำฝนออกจากหลังคาถัง
6) แผ่นดินไหว
7) แรงลมและความเร็วลมสูงสุด
8) การทรุดตัวของโครงสร้าง (uneven sinking and local sinking of foundation)
9) Negative pressure
10) ค่าที่ยอมให้ได้ของการสึกกร่อน (Corrosion allowance) ของโลหะที่ใช้ก่อสร้างถังสำรองซึ่งมีผลต่อการกำหนดความหนาของผนังถัง พื้นถัง และหลังคา ตลอดจนโครงสร้างต่างๆ ที่สำคัญต่อไป
11) ปัจจัยอื่นๆ ขึ้นต่อความต้องการของผู้ใช้งานถังสำรอง

ข้อมูลประจำถังสำรองบน Name plate

หลังจากทำการก่อสร้างถังสำรองแล้วเสร็จถังสำรองขนาดใหญ่รูปทรงแนวตั้งจะต้องติดตั้ง name plate เพื่อบันทึกข้อมูลที่สำคัญเกี่ยวกับตัวถังสำรองดังกล่าว ด้วยเหตุนี้เราจึงพอทราบข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับถังสำรองได้ด้วยการอ่านจาก name plate API standard 620 ได้กำหนดทั้งขนาดและข้อความและข้อมูลดังแสดงไว้ในรูปที่ 29 โดยตัวอักษรและตัวเลขทั้งหมดต้องสูงไม่น้อยกว่า 5/32 นิ้ว มีรายละเอียดครอบคลุมถึง

1. API standard 620 (มาตรฐานของการก่อสร้างถังสำรองความดันต่ำ)
2. Applicable appendix
3. Year completed
4. Applicable edition and revision number of API Standard 620
5. Nominal diameter and nominal height
6. Nominal capacity
7. Design liquid level
8. Design specific gravity of liquid
9. Maximum test level for hydrostatic test with water
10. Design pressure for gas or vapor space at top of tank
11. Design metal temperature โดยเอาค่าต่ำสุดค่าใดค่าหนึ่งระหว่างค่าอุณหภูมิต่ำสุดของเหลวที่สามารถเก็บได้ กับ API 620 ข้อ 2.2.1
12. Purchaser's tank number

13. Maximum operating temperature ต้องไม่เกิน 200 °F
14. The name of the manufacturer with serial number contact number to identify the specific tank
15. หากมีการทำ thermal stress relief กับส่วนโครงสร้างที่กำหนดไว้ใน API 620, 3.25 หรือ R.7.3 ผู้ผลิตต้องแสดง "SR" ไว้บน name plate ด้วย
16. บ่งบอกชนิดวัสดุของโลหะที่ใช้กับผนังถังแต่ละชั้น

การติดตั้ง name plate ต้องทำการติดตั้งในบริเวณที่ใกล้ถัดจากหรือเหนือบนช่องทางเข้าหลักประจำถังสำรอง (manhole) หรือโลหะเสริมความแข็งแรงของช่องทางเข้าหลักประจำถังสำรอง (manhole reinforcing)

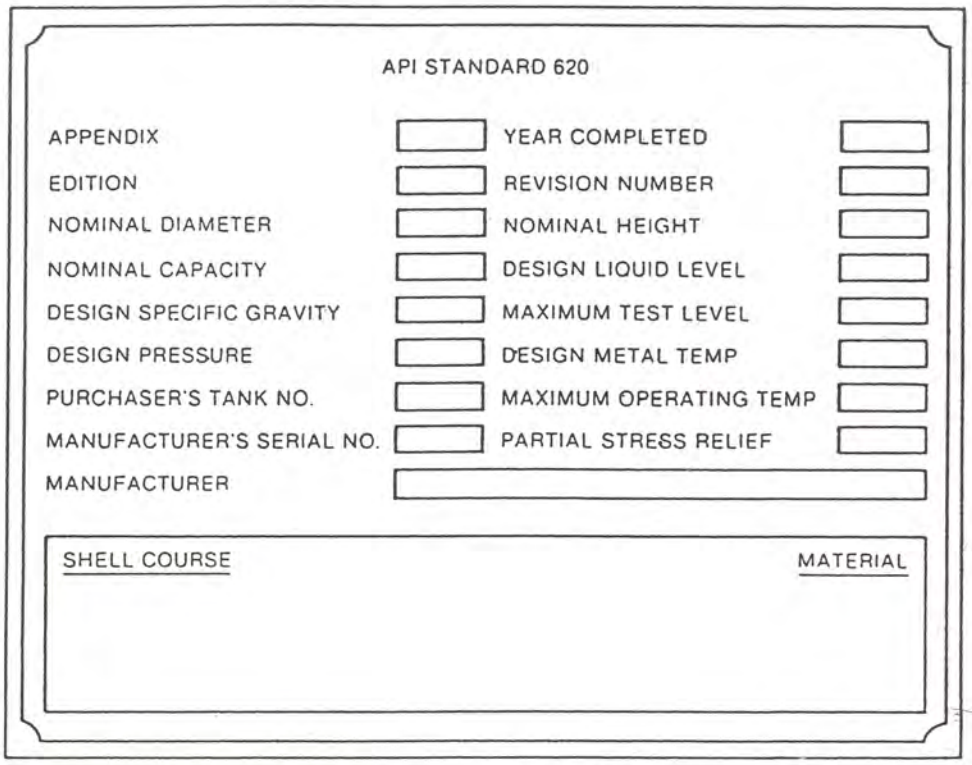


Figure —Nameplate

รูปที่ 29 Name plate ตามข้อแนะนำของ API 620

ปัญหาที่อาจพบได้กับถังสำรองขนาดใหญ่รูปทรงแนวตั้ง

ดูเหมือนหัวข้อนี้อาจไม่เกี่ยวข้องกับการปฏิบัติงานด้านชั่งตวงวัดตามข้อกำหนดกฎหมาย (Legal Metrology) แต่การที่จะปฏิบัติงานกับถังสำรองขนาดใหญ่รูปทรงแนวตั้งไม่ว่าจะต้องมุดเข้าภายในถังสำรองเพื่อตรวจสภาพทั่วไปภายในถังสำรอง, หา deadwood, พิจารณาตำแหน่งและทำการซีล dip plate หากมีน็อตที่สามารถปรับระดับและความสูงขึ้นลงของ dip plate, หรือแม้แต่ในขั้นตอนหา sump ในการสอบเทียบถังสำรองจำเป็นต้องอยู่ภายในถังสำรองเพื่อทำการวัดระดับของน้ำที่สูบอัดเข้าถังสำรอง เป็นต้น หรือปีนขึ้นบนหลังคาถังสำรองเพื่อติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดความเอียงของถังสำรอง, การวัดระดับของน้ำภายในถังสำรองบริเวณ gauge hatch หรือการทำความสะอาดหรือกำจัดน้ำที่อาจหลงเหลือค้างอยู่บนหลังคาถังฝาลอยก่อนการสอบเทียบเริ่มดำเนินการเป็นต้น

ดังนั้นการที่เราทราบข้อบกพร่องหรือปัญหาที่เกิดกับถังสำรองขนาดใหญ่จึงเป็นเรื่องที่ต้องมีความรู้ในบางแง่มุมทั้งนี้เพื่อประโยชน์ในการปฏิบัติงานให้สำเร็จลุล่วงตามความต้องการด้วยความปลอดภัยทั้งตัวเองและบุคคลที่เกี่ยวข้องหรืออาจได้รับผลกระทบจากความเสียหายหรือความไม่ปลอดภัยที่อาจเกิดขึ้นในการปฏิบัติของเรา

1. การลุกลามของไฟเข้าไปในถังสำรอง (Spread of fire to interior of tank, causing explosion)

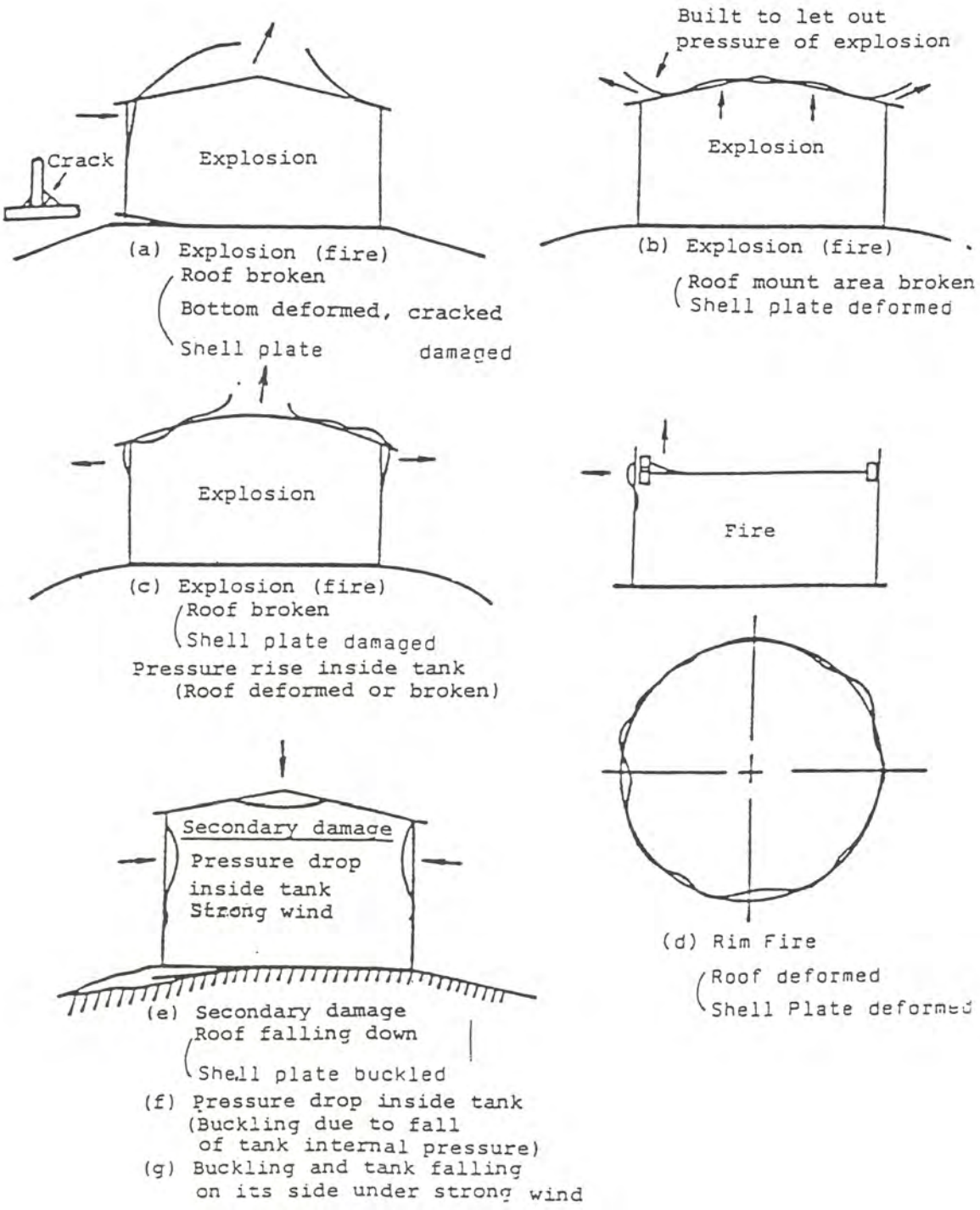
การระเบิดของถังสำรองและการลุกไหม้ของเปลวไฟนั้นอาจเกิดขึ้นได้หากเราไม่ปฏิบัติตามข้อปฏิบัติความปลอดภัยในการใช้พื้นที่ขณะปฏิบัติงาน ปกติแล้วผู้ปฏิบัติงานในบริเวณลานถัง (tank farm) ต้องได้รับการฝึกอบรมด้านความปลอดภัยในการทำงานก่อนที่ได้รับการอนุญาติให้เข้าปฏิบัติงานได้จากเจ้าของลานถังและผู้ที่รับผิดชอบสถานที่ดังกล่าวเสียก่อน

ถังสำรองขนาดใหญ่รูปทรงแนวตั้งประจำลานถังต่างๆมักได้รับการออกแบบให้ถังดังกล่าวสามารถป้องกันการลุกไหม้ของไฟได้ด้วยการติดตั้งระบบ sprinkle เพื่อทำการฉีดน้ำหรือระบบหัวฉีด foam เพื่อปกคลุมพื้นที่ตัวและหลังคาถังสำรอง (ในกรณีที่เป็นหลังคาถังชนิด cone roof) หรือแนวรอยต่อของระหว่างผนังถังกับหลังคาถังฝาลอย (ในกรณีของถังสำรองชนิด floating roof)

เมื่อเกิดการระเบิดในกรณีถังสำรองชนิด cone roof นั้นบริเวณรอยต่อระหว่างของหลังคาถังกับผนังถังชั้นบนสุด จะเป็นบริเวณที่สามารถเกิดฉีกขาดหรือเกิดความเสียเนื่องจากเป็นจุดที่มีความแข็งแรงทางโครงสร้างต่ำมากเมื่อเทียบกับบริเวณแนวเชื่อมอื่นๆ ดูรูปที่ 30 (b)

ในขณะเดียวกันหากเป็นถังสำรองชนิด floating roof บริเวณที่เสี่ยงต่อการระเบิดคือซีลบริเวณขอบฝาหลังคาถังฝาลอยกับผนังถังสำรอง ดูรูปที่ 30 (d) จะทำให้หลังคาถังฝาลอยรวมทั้งผนังถังเสียรูปทรง

รูปแบบและลักษณะของการระเบิดและการติดไฟ ชนิดต่างๆ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 30 เช่น รูปที่ 30 (c) หากการระเบิดรุนแรงอาจทำให้บริเวณยอดหลังคาระเบิดออก ซึ่งจะทำให้ความดันภายในถังสูงมากจนกระทำให้หลังคาและผนังถังเสียหายในรูปแบบต่างๆ



รูปที่ 30 ความเสียหายของถังสำรองที่เกิดจากการลุกไหม้ติดไฟและระเบิด

2. พื้นถังสำรองได้รับความเสียหายเมื่อโครงสร้างฐานรากทรุดตัว (Tank bottom plate broken by sinking, especially partial sinking, of foundation)

การออกแบบก่อสร้างถังสำรองขนาดใหญ่รูปทรงแนวตั้งตามที่ได้กล่าวไว้แล้วก่อนหน้านี้ถึงปัจจัยที่ต้องคำนึงการการออกแบบก่อสร้างนั้น ถึงแม้ถังสำรองถูกออกแบบเพื่อใช้ในการจัดเก็บผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมซึ่งมีค่าความหนาแน่นต่ำกว่าน้ำแต่ในการออกแบบโครงสร้างถังสำรองรวมทั้งฐานรากต้องตั้งอยู่บนสมมุติฐานของการบรรจุถังสำรองด้วยน้ำเนื่องจากถังสำรองดังกล่าวต้องได้รับการทดสอบถังสำรองด้วยการเติมน้ำเข้าถังจนถึงระดับความสูงสุดที่ออกแบบถังสำรองให้บรรจุได้ (hydrostatic test) หลังจากที่ทำการก่อสร้างถังสำรองแล้วเสร็จ การกำหนดฐานรากของถังสำรองจำเป็นต้องได้รับการออกแบบด้วยผู้ชำนาญการและการออกแบบฐานรากของถังสำรองนี้เองมีลักษณะที่แตกต่างกันตามแต่ปัจจัยที่เกี่ยวข้องซึ่งไม่ขอกล่าวในที่นี้

ฐานรากของถังสำรองไม่เพียงทำหน้าที่รองรับน้ำหนักของถังสำรองและของเหลวที่บรรจุอยู่ภายในถังสำรองเท่านั้นแต่รูปแบบการออกแบบฐานรากต้องคำนึงถึงการป้องกันการกัดกร่อนถังสำรองด้วยเช่นกัน การปรับระดับของพื้นฐานสำหรับก่อสร้างถังต้องมีการปรับระดับจนแน่ใจว่าสามารถระบายน้ำออกจากใต้พื้นถังได้หรือป้องกันการไหลของน้ำเข้าใต้พื้นถังสำรองได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อป้องกันการกัดกร่อนพื้นถัง ดูรูปที่ 31 และข้อควรระวังในการปรับระดับของพื้นฐานราก ดูรูปที่ 32

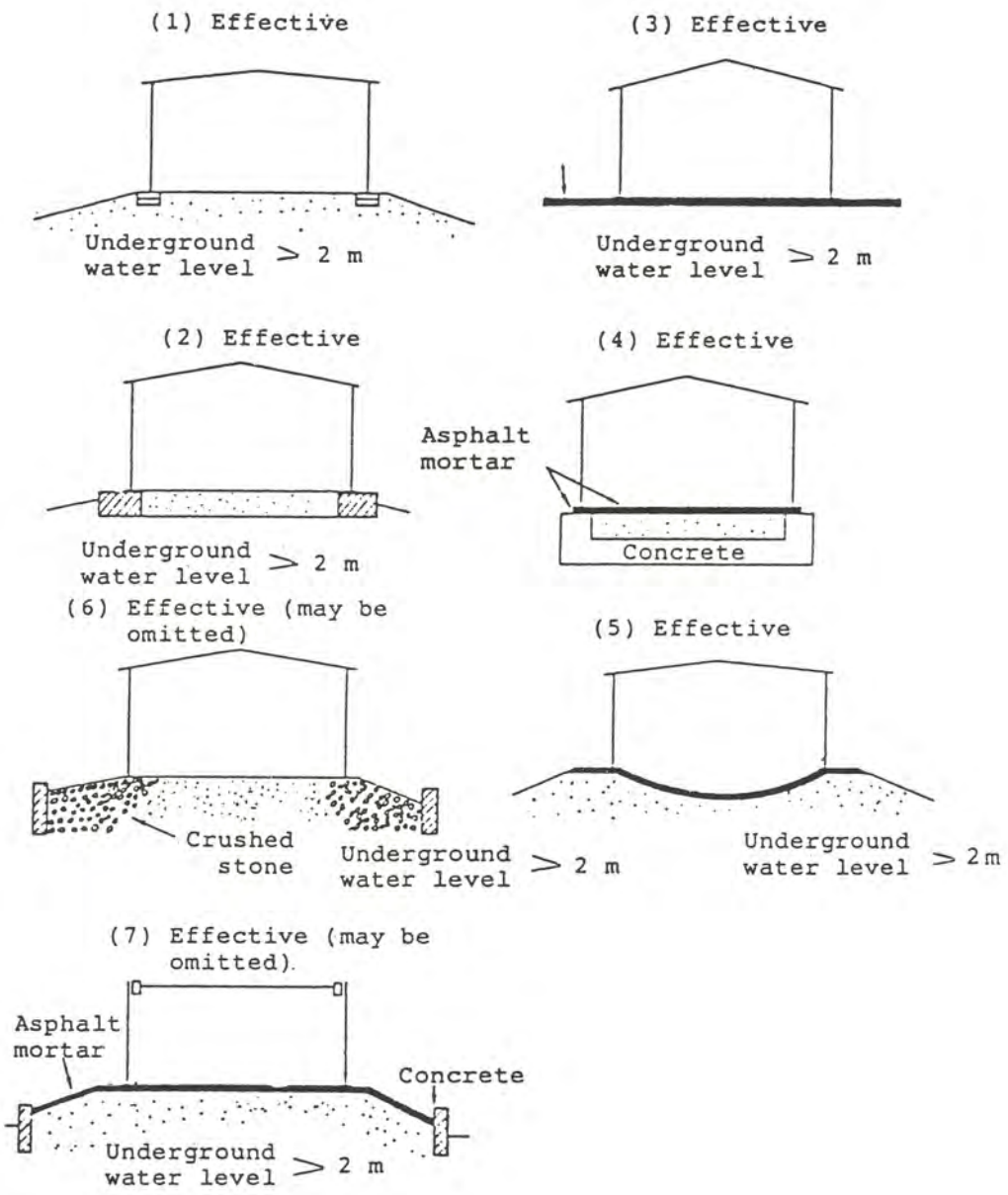
การทดสอบการบดอัดดินไม่ว่าจะเป็นวิธี test boring หรือ test pits หรือใช้ทั้งสองวิธีการต้องให้ผลการทดสอบว่าได้ค่า the allowable maximum soil-bearing valve ตรงตามที่กำหนด

หากเป็นโครงสร้างชนิดคอนกรีตเสริมเหล็กต้องเป็นไปตามข้อกำหนด ACI Standard 318, Building Code Requirement for Reinforced Concrete หรือเทียบเท่า

พอกล่าวลักษณะรูปแบบของฐานรากถังสำรองเป็น

- wall ring คือฐานรากที่ทำด้วยคอนกรีตเสริมเหล็กเป็นวงแหวนตรงกับตำแหน่งที่รองรับผนังถัง (tank shall) ภายในคอนกรีตรูปวงแหวนจะเป็นการบดอัดดินแน่น 90-100% คอนกรีตเสริมเหล็กเป็นวงแหวนจะทำหน้าที่ป้องกันหรือเป็นแนวต้านดินที่ถูกบดอัดภายใต้พื้นถังสำรองเล็ดรอดออกไปส่วนตัว wall ring เองช่วยต้านการการขยับตัวของตัวถังสำรองเนื่องจากความดันไอภายในถังหรือโดนแรงลมที่พัดมากระทบต่อตัวถังสำรอง ดูรูปที่ 31 (2)

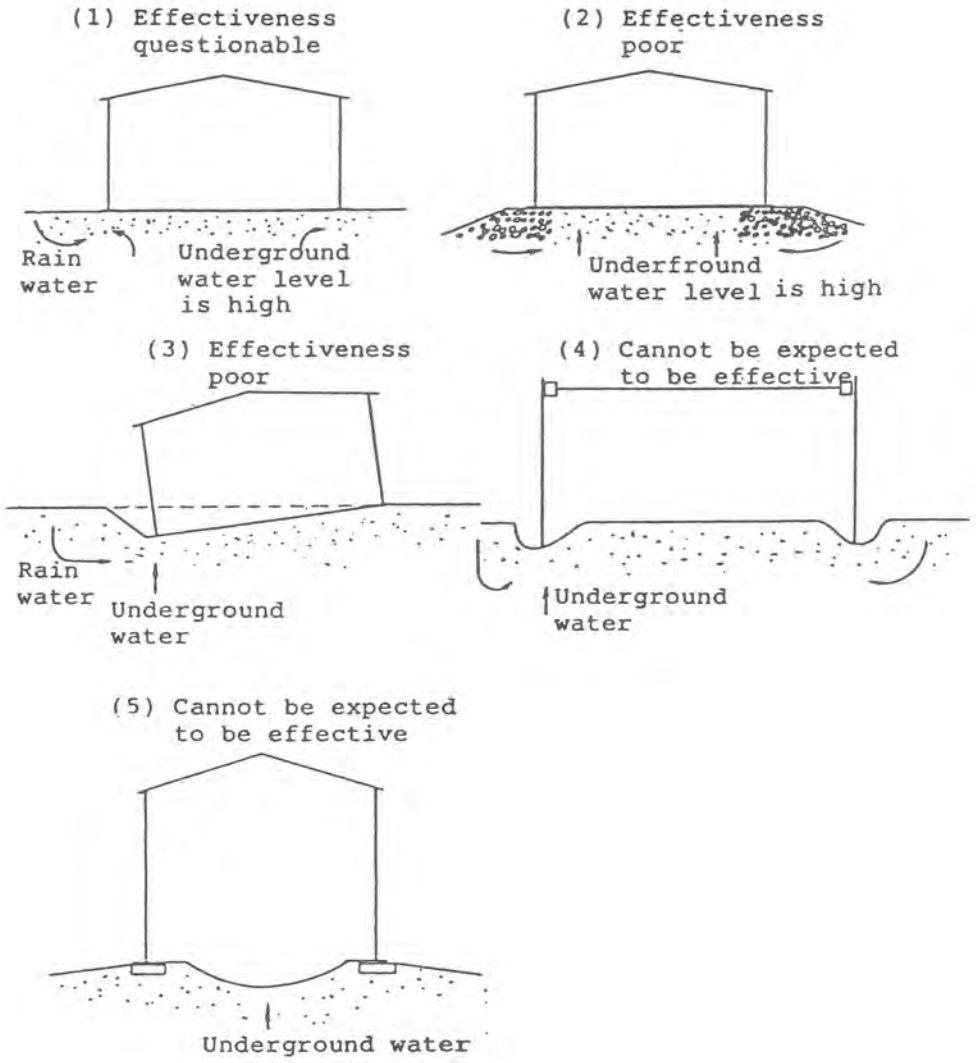
- concrete slab รากฐานที่เป็นคอนกรีตเสริมเหล็กมีความหนามากน้อยขึ้นอยู่กับภาระน้ำหนักที่ต้องรองรับ อาจมีการตอกเสาเข็มอัดแรงข้างใต้คอนกรีตเสริมเหล็กด้วย หรือไม่มีก็ได้แล้วแต่สภาพของการรับน้ำหนักของสภาพดิน ณ สถานที่ก่อสร้าง แต่ระดับหน้าบนสุดของ concrete slab ต้องอยู่เหนือจากระดับพื้นดินที่ปรับระดับ (final grade) อย่างน้อยสุดเท่ากับ 6 นิ้ว
- soil compact เป็นการบดอัดดินแน่น 100% ดูรูปที่ 31 (3)



รูปที่ 31 พื้นฐานของถังสำรองและวิธีป้องกันและระบายน้ำฝนออกจากบริเวณกันถังสำรอง (วิธีการที่ประสบผลสำเร็จ)

- slab concrete with compacted sand inside พื้นรากฐานเป็นคอนกรีตเสริมเหล็กคล้ายเป็นรูปตัว "U" โดยตรงกลางบดอัดด้วยทรายหรือดินอัดแน่น 100% เป็นต้น ดูรูปที่ 31 (4)

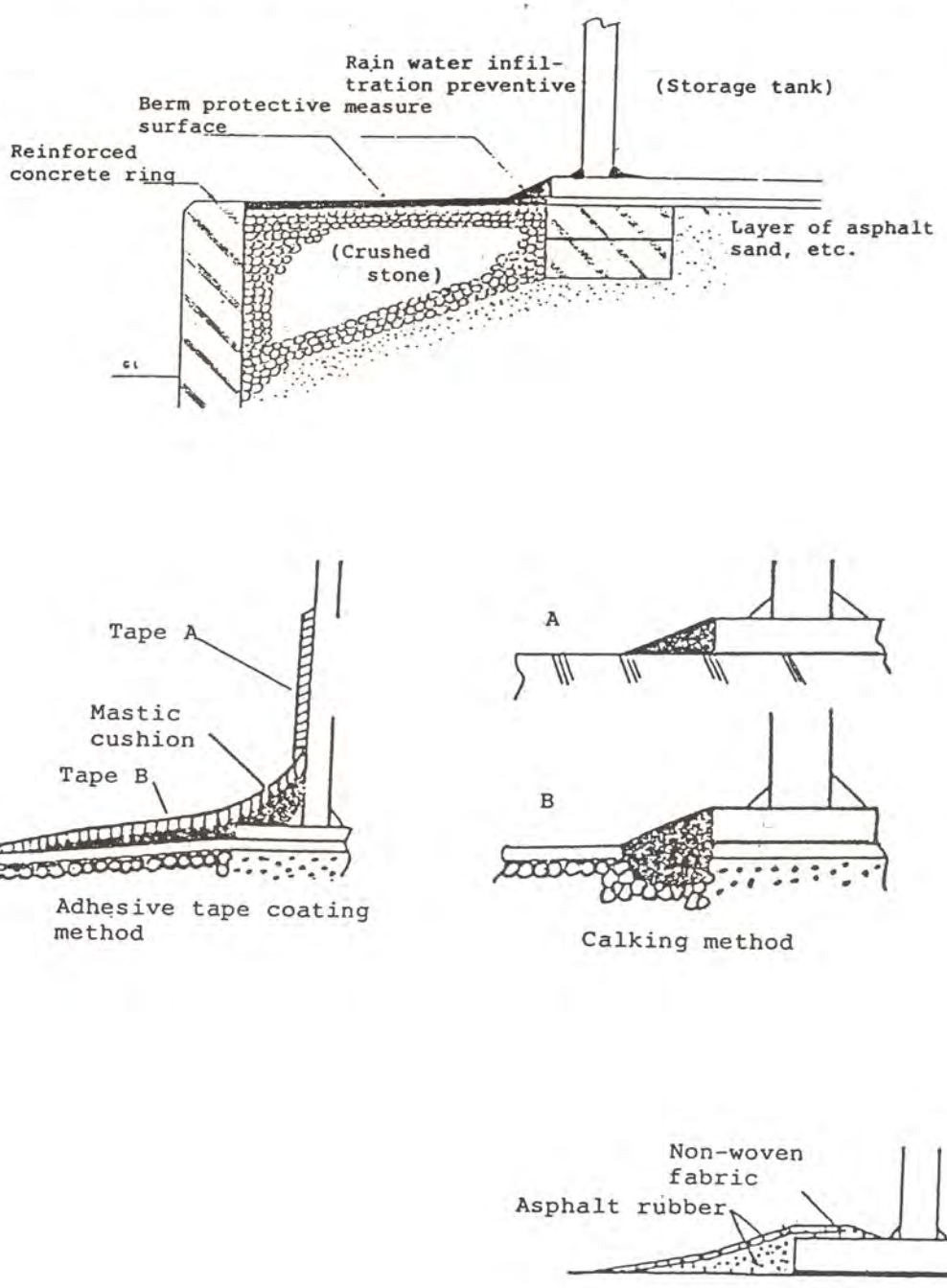
Effectiveness of Rain Water Infiltration Preventive Measures



รูปที่ 32 พื้นฐานของถังสำรองและวิธีป้องกันและระบายน้ำฝนออกจากบริเวณก้นถังสำรอง (วิธีการที่ไม่ประสบผลสำเร็จ)

แต่ไม่ว่าจะเป็นฐานรากแบบใดก็ตาม ระดับที่จะทำการก่อสร้างพื้นถังสำรองต้องอยู่สูงกว่าระดับน้ำใต้ดิน (underground water level) อย่างน้อยที่สุดเท่ากับ 2 เมตร และเพื่อป้องกันการที่ระดับน้ำใต้ดินเพิ่มสูงขึ้นอาจล้นขึ้นมาบริเวณที่เป็นพื้นถังสำรอง การจัดให้บริเวณโดยรอบๆตัวถังสำรองภายนอกสามารถป้องกันน้ำใต้ดินล้นสูงขึ้นมา อีกทั้งให้มีลักษณะการระบายน้ำไม่ว่าน้ำใต้ดินหรือน้ำฝนออกไปจากบริเวณพื้นถังสำรอง (ดูรูปที่ 33 และ 34) ล้วนแล้วมีผลดีต่อโครงสร้างฐานราก และแผ่นเหล็กที่ใช้ทำพื้นถังสำรอง

Fig. Example of Rain Water Infiltration Preventive Measures



รูปที่ 33 ตัวอย่างวิธีป้องกันและระบายน้ำฝนออกจากบริเวณก้นถังสำรอง

FOUNDATION PADS WITH GOOD DRAINAGE CHARACTERISTICS

Figure 1
PAD CONSTRUCTION APEX UP CONE BOTTOM TANKS
(Ringwall Construction Shown)(1)

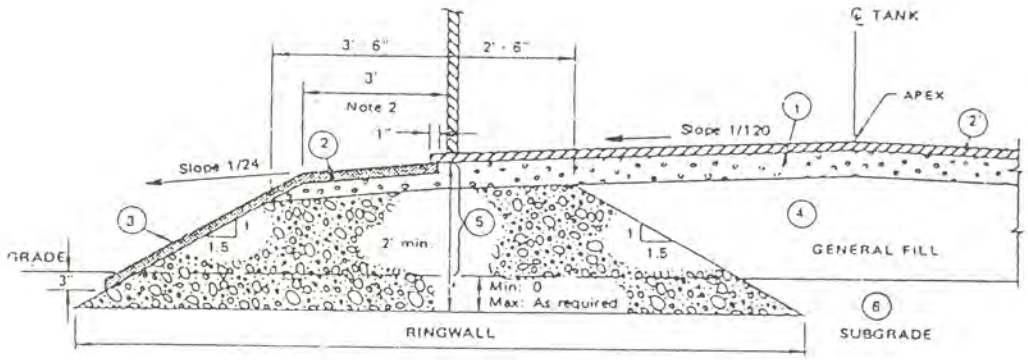
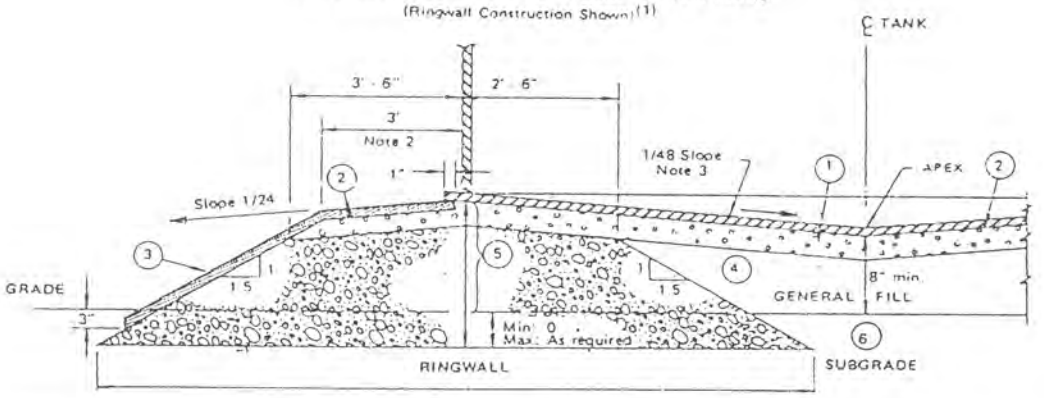


Figure 2
PAD CONSTRUCTION APEX-DOWN CONE BOTTOM TANKS
(Ringwall Construction Shown)(1)



Notes:
(1) For tanks not requiring Ringwalls, all other details remain the same, except General Fill replaces the Ringwall material and starts at Pit Grade level.
(2) For tanks less than 30 ft diameter and 30 ft high, the Berm width shall be decreased to 2 ft.
(3) Specified bottom plate slope (1:48) does not apply for tanks less than 20 ft in diameter.
(4) The crushed stone or gravel ((1) in legend) should extend outward past the annular ring through water test. The necessary amount may be removed to apply the impermeable sand-asphalt mix after the water test.

Legend:
(1) 4 in. of well graded crushed stone or crushed gravel per ASTM D 693 (Table 1), Size Number 6. Size Numbers 7, 56, or 67 are also acceptable, provided that the fine grading requirements to meet dimensional tolerances for tank pad elevations can be met.
(2) Surface voids choked with fine aggregate of gradation Size Number 10 (per ASTM D 693), sprayed with liquid asphalt prime coat per ASTM D 2399 or equivalent.
(3) 1 in. minimum thickness impermeable sand-asphalt mix (apply after water test).
(4) Cohesive or cohesionless compact fill.
(5) No less than 12 in. average around tank perimeter, 8 in. minimum at any point, increased by predicted shell settlement.
(6) Permanent zinc reference electrode.

รูปที่ 34 ตัวอย่างวิธีป้องกันและระบายน้ำฝนออกจากบริเวณก้นถังสำรอง รายละเอียดเพิ่มมากขึ้น

การทรุดตัวของราฐานของถังสำรองจึงเป็นเรื่องใหญ่และอันตรายมาก เช่นเดียวกับฐานรากของตัวตึกอาคารสูงหากมีการทรุดตัว หากทรุดตัวมากจนเกินขอบเขตที่ยอมรับได้ตัวตึกอาคารสูงก็อาจพังครืนลงมาได้ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความสาหัสของการทรุดตัว หากเจ้าหน้าที่ต้องเข้าไปทำงานกับถังที่มีการทรุดตัวหรือการวัดระดับของเส้นรอบวงอ้างอิงมีความลาดเอียงมากจนเกินไป เจ้าหน้าที่ควรพึงระวังและอาจของให้เจ้าของถังสำรองตรวจสอบถึงความแข็งแรงของถังสำรองก่อนได้ ทั้งนี้ตั้งอยู่บนเหตุผลของความปลอดภัยของเจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงาน หากเจ้าหน้าที่พิจารณาแล้วว่าถังสำรองดังกล่าวไม่เหมาะสมเพียงพอต่อการสอบเทียบถังสำรองเพื่อใช้งานในเชิงพาณิชย์ที่เป็นไปตามงานชั่งตวงวัดตามข้อกำหนดของกฎหมาย (Legal Metrology) แล้ว เจ้าหน้าที่ดังกล่าวไม่ควรให้คำรับรองหรือทำการสอบเทียบถังดังกล่าว

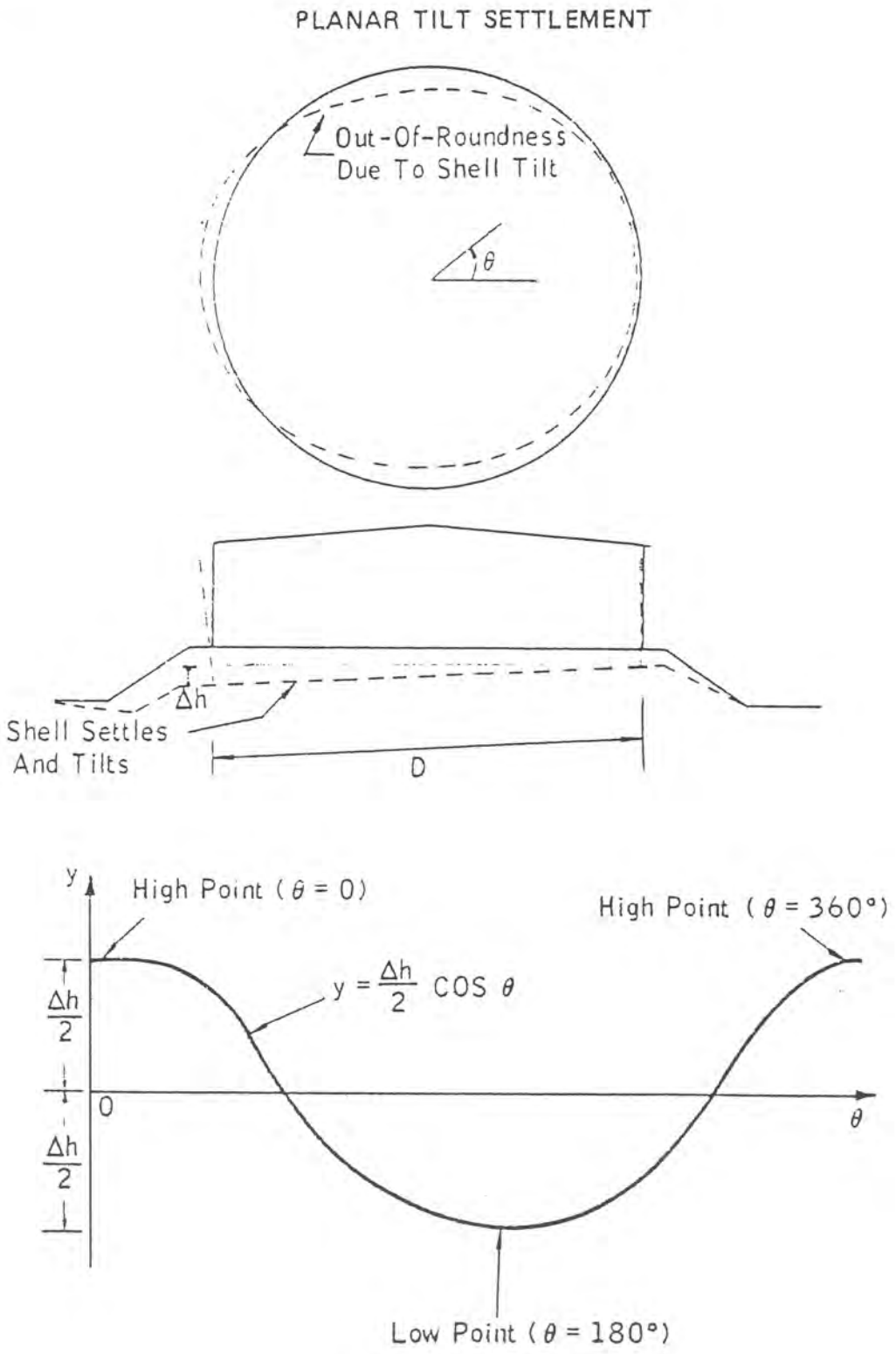
การทรุดตัวของฐานรากมีด้วยกันหลากหลายประเภทและแต่ละประเภทก็มีผลต่อโครงสร้างถังสำรองที่แตกต่างกันเช่นกัน พอจะแบ่งลักษณะการทรุดตัวออกเป็น

a) Overall uniform sinking เป็นการทรุดตัวทั้งพื้นถังสำรองและผนังถังสำรองลงไปในแนวดั้งที่ได้รูปทรงสมมาตรกัน (ดูรูปที่ 35) การทรุดตัวชนิดนี้ไม่ก่อให้เกิดปัญหาในเรื่องความแข็งแรงทางโครงสร้างมากนัก แต่อย่างไรก็ตามยังมันจะทำให้เป็นการเร่งอัตราการกัดกร่อนของพื้นถังสำรองเนื่องจากการทรุดตัวของถังสำรองยิ่งทำให้พื้นถังสำรองลดระดับมาอยู่ในระดับใกล้กับระดับน้ำใต้ดินเพิ่มมากขึ้น หรือเมื่อฝนตกลงมาน้ำฝนที่ซึบซับลงใต้ดินก็มีโอกาสสัมผัสพื้นถังมากยิ่งขึ้น นอกจากนี้อาจมีปัญหาในเรื่องของระบบท่อที่เชื่อมต่อกับถังสำรองอาจมีการเปลี่ยนแปลงและไม่แข็งแรง

รูปที่ 35 เมื่อถังสำรองทรุดตัวลงอย่างสม่ำเสมอราบเรียบเท่ากัน

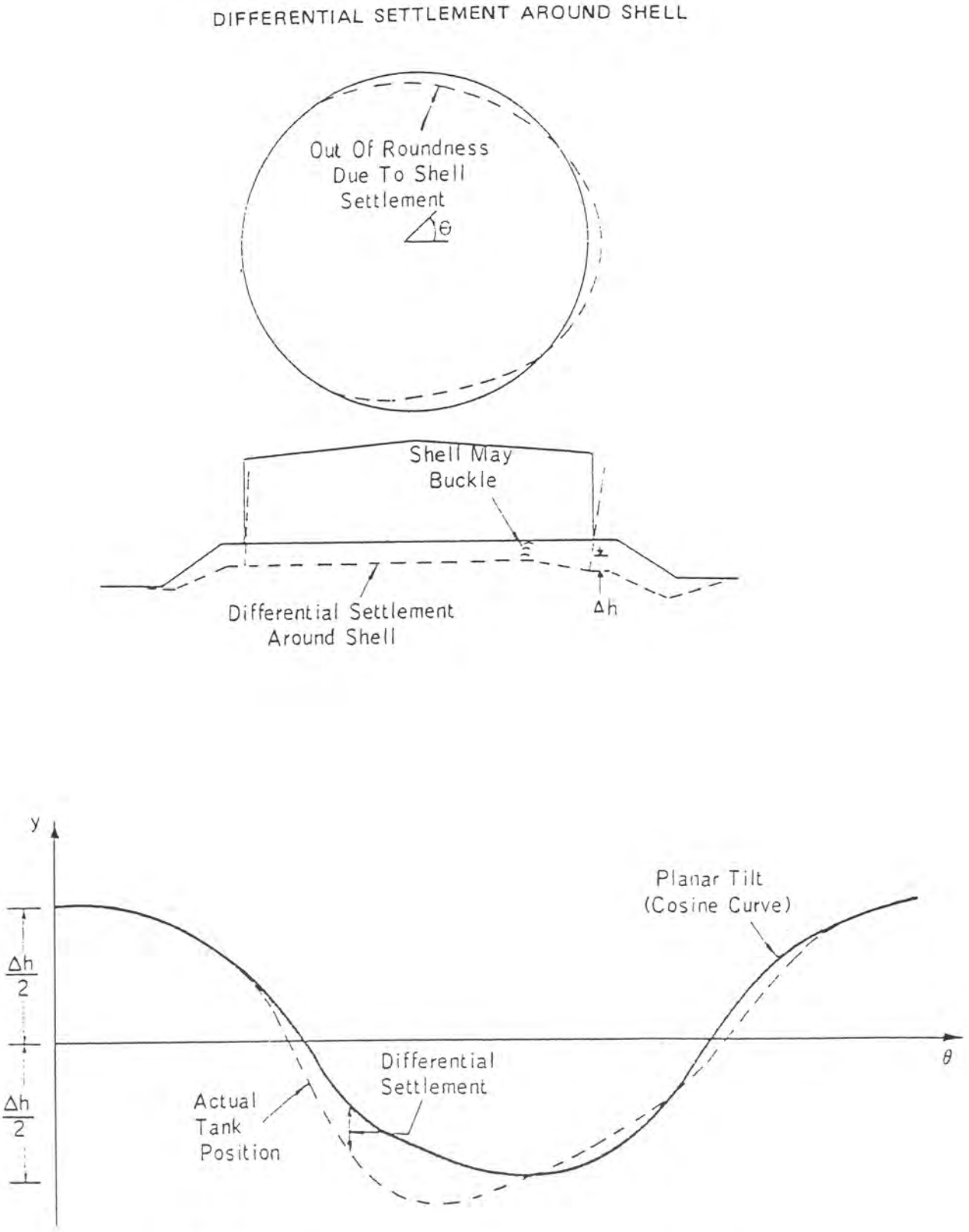
b) Uniform oblique sinking or Planar Tilt ผนังถังมีการเอียงตัวในขณะที่พื้นถังยังคงรูปทรงคงที่แต่เอียงลาดเทด้วยความชันอย่างสม่ำเสมอตลอดช่วงของพื้นถัง ก่อให้เกิดโมเมนต์แรงบิดและ membrane stress component ขึ้นมา เนื่องจากภาระแรงที่เยื้องศูนย์ส่งผลให้ผนังถังเริ่มมีการเสียรูปทรง โดยผนังถังชั้นบนจะสูญเสียสภาพจากเป็นวงกลมกลายเป็นวงรี (ดูรูป

ที่ 36) หากเป็นถังสำรองชนิดหลังคาถังฝาลอยก็จะส่งผลให้การขึ้นลงของหลังคาถังฝาลอยมีการติดขัดกับผนังถัง (ดูรูปที่ 38) นอกจากนี้ระบบท่อที่เชื่อมต่อกับตัวถังสำรองอาจเสียหายด้วยเช่นกัน

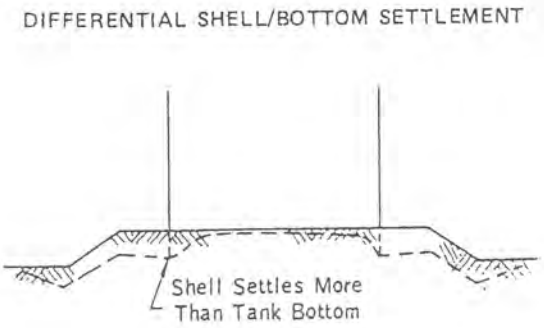


รูปที่ 36 เมื่อถังสำรองทรุดตัวลง โดยพื้นถังยังคงลาดเอียงสม่ำเสมอ

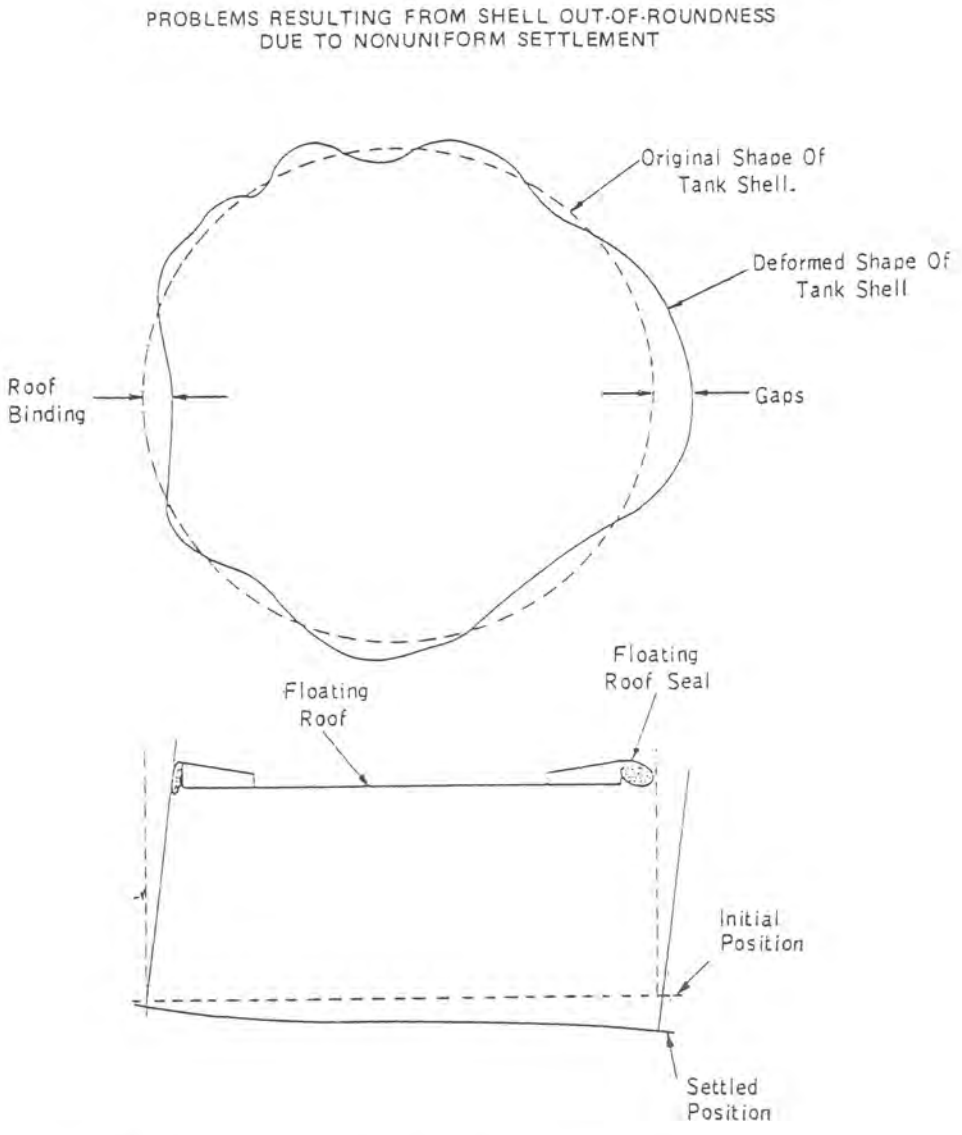
แต่ถ้าหากการทรุดตัวของผนังถังและพื้นถังเกิดมีความแตกต่างกัน (differential settlement) ผนังถังจะมีการทรุดตัวในระดับที่แตกต่างกันรอบๆเส้นรอบวงของถังสำรอง (ดังแสดงในรูปที่ 37) บริเวณผนังถังชั้นบนสุดมีแนวโน้มเป็นวงรี ผนังถังมีแนวโน้มที่อาจพังหักงอลงมาได้



รูปที่ 37 เมื่อถังสำรองทรุดตัวลง แต่พื้นถังทรุดและลาดเอียงไม่สม่ำเสมอ



รูปที่ 37(ต่อ) เมื่อถังสำรองทรุดตัวลง แต่พื้นถังทรุดและลาดเอียงไม่สม่ำเสมอ

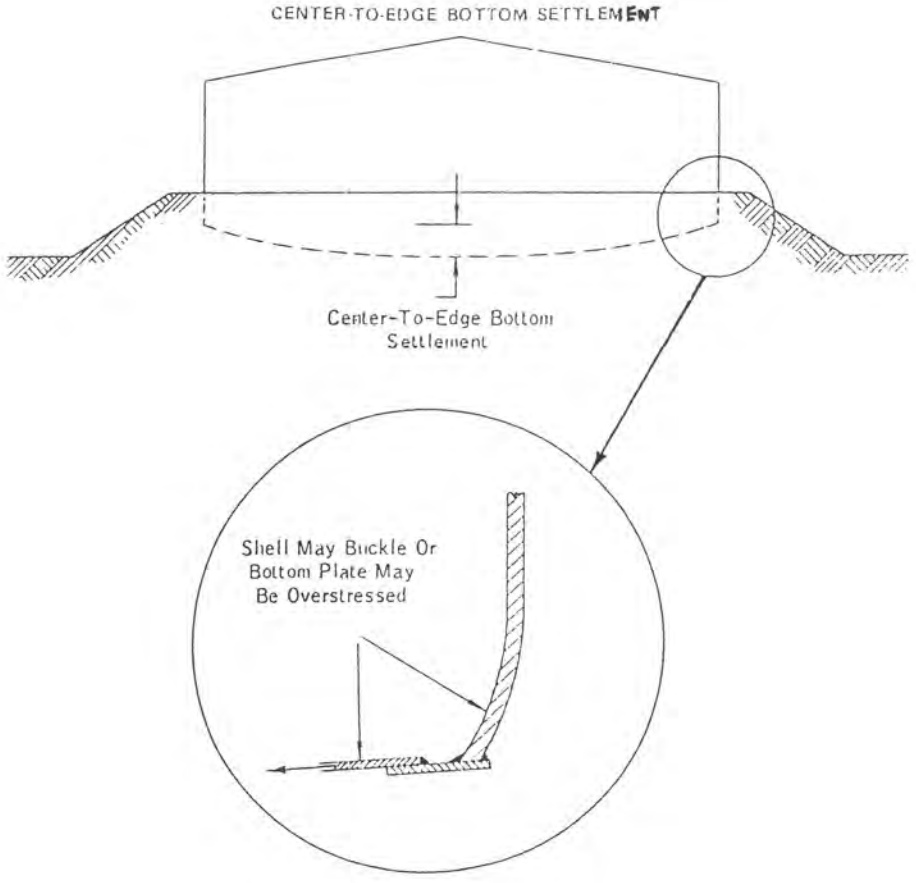


รูปที่ 38 ถังสำรองทรุดตัวอย่างไม่มีทิศทาง เกิดสูญเสียรูปทรงกลม

c) Sinking in circumferential direction directly beneath shell เป็นการเกิดการทรุดตัวของฐานรากบริเวณผนังถังโดยรอบไปตามทิศทางของเส้นรอบวงของถังสำรอง ทำให้ความเป็นทรงกระบอกสูญเสีย เกิดความเครียดทำให้เกิดการฉีกขาดบริเวณแนวเชื่อมโลหะระหว่างผนังถังสำรองกับพื้นถัง (annular plate) การทรุดตัวด้วยลักษณะนี้อาจเกิดจากแผ่นดินไหวหรือพื้นดินบริเวณโครงสร้างบดอัดไม่ดีเพียงพอ หรือเกิดจากการเลื่อนไถลของดินชั้นล่างก็อาจเป็นได้

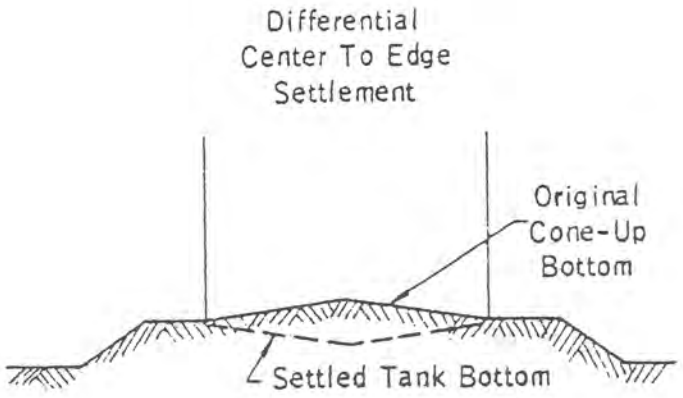
d) Sinking in radial direction directly beneath shell เป็นการเกิดการทรุดตัวของฐานรากบริเวณพื้นถังไปตามทิศทางของรัศมีของถังสำรอง ทำให้ผนังถังและ พื้นถัง (annular plate) มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างทำมุมกับระนาบเดิมของผนังถังสำรองและพื้นถังสำรองตามลำดับ ซึ่งอาจทำมุมเอียงเป็นมุมแหลมหรือมุมป้าน แต่ไม่ว่าทำมุมอย่างไรกับระนาบเดิม การทำให้การรองรับน้ำหนักสูญเสียความสมดุลไป เมื่อผนังถังมีการเอียงตัวพร้อมกับพื้นถังสิ่งที่ตามมาคือเกิดการฉีกขาดของแนวเชื่อม fillet ระหว่างผนังถังชั้นล่างสุดกับพื้นถังสำรอง (annular plate)

e) Sinking of bottom เป็นการทรุดตัวของพื้นถังในส่วนบริเวณกึ่งกลางถังสำรอง (ดูรูปที่ 40) ก่อให้เกิด membrane และ bending stress ในพื้นถัง ผลที่ตามมาทำให้เกิดการ โค้งงอของผนังถังชั้นแรก (shell bottom) หรือพังลงมา ดูรูปที่ 39 นอกจากนี้แนวเชื่อม fillet ระหว่างผนังถังชั้นแรกกับพื้นถัง (annular plate) อาจฉีกขาด, แนวเชื่อมระหว่างแผ่นเหล็กที่ประกอบเป็นพื้นถังฉีกขาด รูปทรงของหลังคาเสียรูป ในกรณีของถังสำรองชนิด Cone roof รอยเชื่อมต่อระหว่างหลังคากับผนังถังชั้นบนสุดเกิดความเสียหาย เป็นต้น



รูปที่ 39 ถังสำรองทรุดตัวจากผนังถังเข้าหาจุดกึ่งกลางถังสำรอง (Center to Edge)

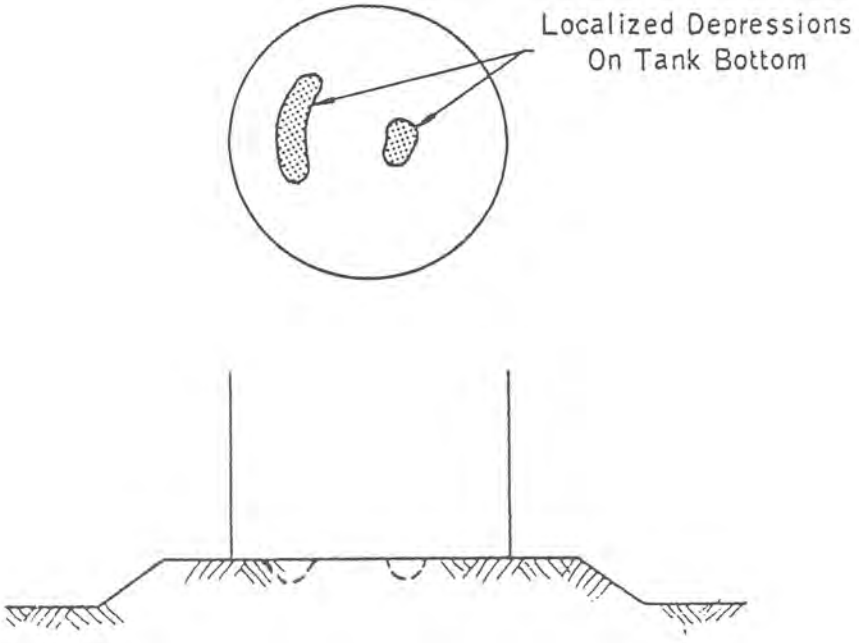
TANK BOTTOM SETTLEMENT



รูปที่ 40 ถังสำรองทรุดตัวจากผนังถังเข้าหาจุดกึ่งกลางถังสำรอง (Center to Edge)

f) Localized differential bottom settlement เกิดจากการบดอัดดินหรือหินที่ใช้เป็นโครงสร้างไม่ดีเพียงพอเท่ากันตลอดพื้นถังสำรอง ดังนั้นการทรุดตัวของพื้นถังดังกล่าวจึงเกิดเป็นกลุ่มๆ บิดเบี้ยวเสียรูปทรงตามโครงสร้างพื้นถังสำรองไม่มากก็น้อย ดูรูปที่ 41

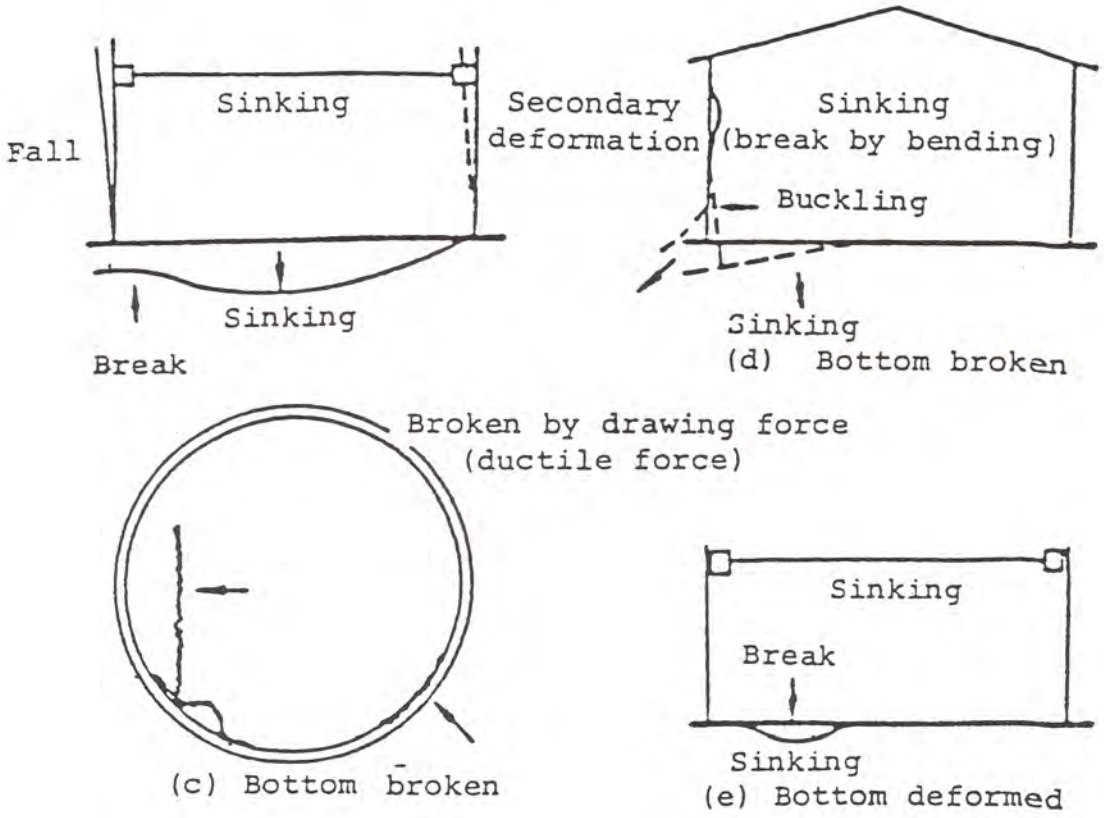
LOCALIZED DIFFERENTIAL BOTTOM SETTLEMENT



รูปที่ 41 ถังสำรองทรุดตัวบริเวณพื้นถังเป็นตำแหน่งบริเวณจำกัด

g) Non-uniform settlement แทบเสียรูปทรงความเป็นถังสำรองไม่ควรใช้งานต่อไปได้ด้วยความปลอดภัย ดูรูปที่ 38

ตัวอย่างของการทรุดตัวของฐานรากที่อาจเกิดขึ้นได้ ดูรูปที่ 42



รูปที่ 42 พื้นถังบางส่วนของถังสำรองมีการทรุดตัว

3. ความเสียหายของถังสำรองเมื่อเกิดแผ่นดินไหว (Bucking of tank shell plate, broken tank corners, and tank overhead structure broken by sloshing of liquids in earthquakes)

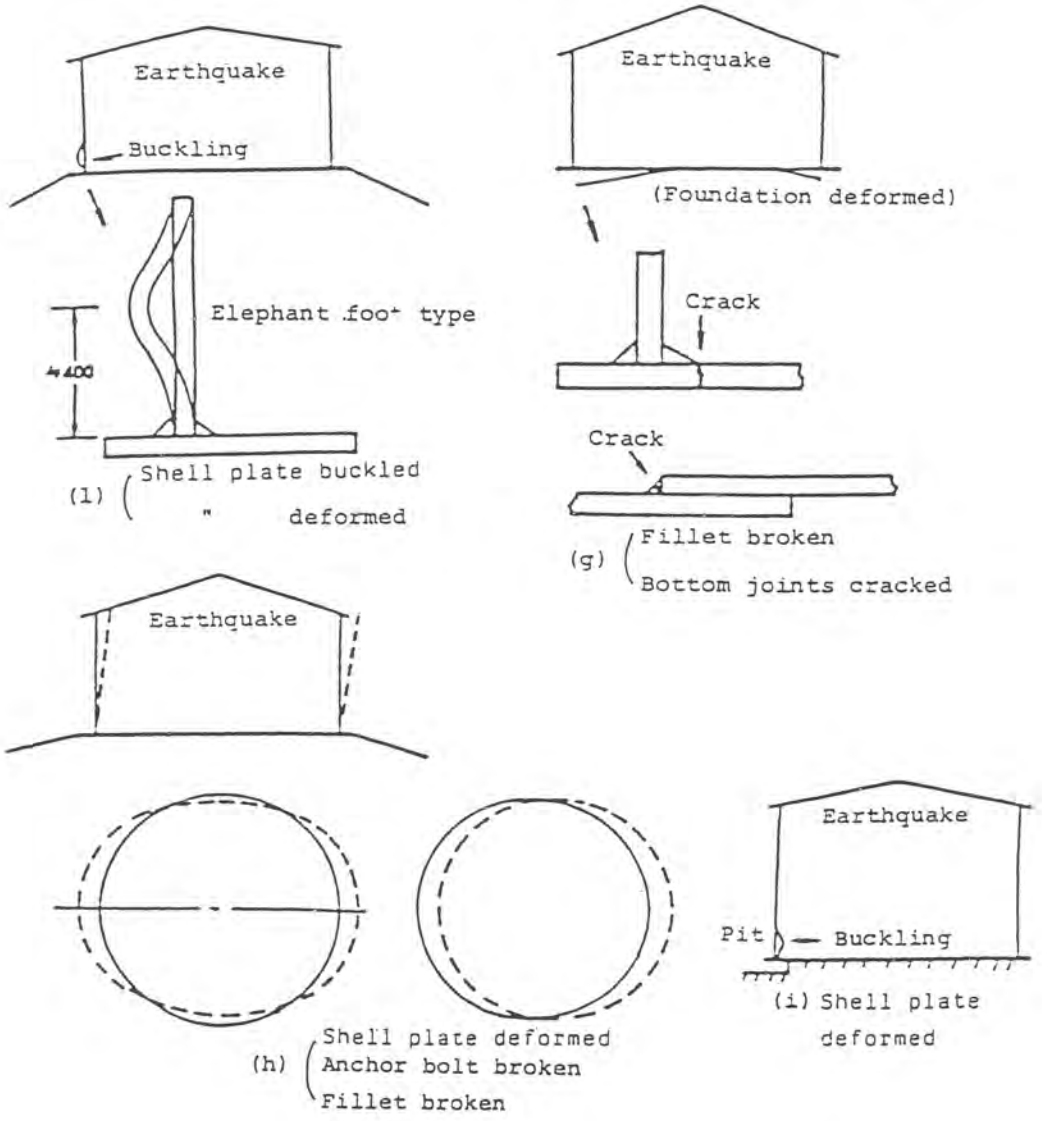
เป็นสาเหตุจากธรรมชาติ แผ่นดินไหว ในการออกแบบถังสำรองข้อมูลของการเกิดแผ่นดินไหวนั้นต่างถูกรวบรวมไว้ประกอบการพิจารณา ดังนั้นปกติแล้วการออกแบบถังสำรองให้สามารถต้านทานต่อแผ่นดินไหวในระดับสูงมากเกินกว่าประวัติของการเกิดแผ่นดินไหวเป็นเรื่องที่กระทำได้แต่จะอยู่ในระดับมากน้อยเพียงใดนั้นขึ้นอยู่กับโอกาสที่จะเกิดกับสถานที่ก่อสร้างนั้นๆด้วยเช่นกัน ในขณะเดียวกันการออกแบบให้ถังสำรองสามารถทนต่อแผ่นดินไหวในระดับที่สูงมากจนเกินไปก็จะทำให้ราคาค่าก่อสร้างเพิ่มสูงเช่นกันจำเป็นต้องใช้ดุลพินิจในการออกแบบ ความเสียหายหลักๆที่อาจพบได้หลังจากเกิดแผนดินกับถังสำรองขนาดใหญ่รูปทรงแนวตั้ง คือ

- การโค้งงอของผนังถังชั้นล่างสุด หรือผนังมีรอยร้าวเนื่องจากการสั่นไปมาของตัวถังสำรอง
- เกิดรอยร้าวบริเวณแนวเชื่อม fillet ระหว่างผนังถังชั้นแรกกับพื้นถัง (annular plate)

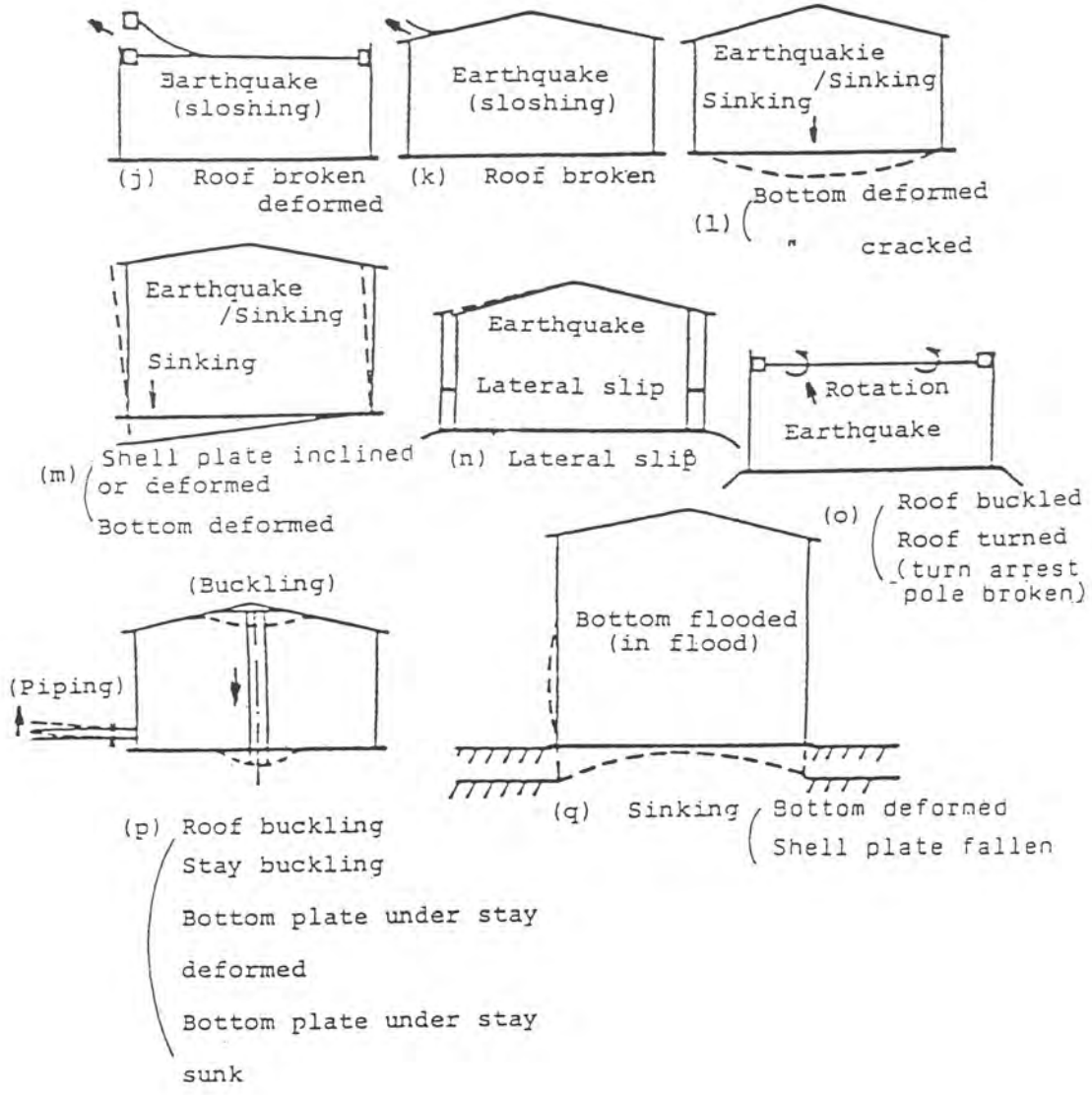
- ผนังถังมีการเสียรูปทรงหรือฉีกขาด
- หลังคาเสียหาย และโดยเฉพาะบริเวณต่อเชื่อมหลังคาถังกับผนังถัง (ในกรณีของถังสำรองชนิด cone roof)
- เกิดการเลื่อนไถลของตัวถังสำรองไปทางด้านข้างด้านใดด้านหนึ่งเอง ผลตามมาคือระบบท่อที่ต่อเชื่อมกับถังสำรองเกิดความเสียหาย
- guide pole ของถังสำรองชนิด floating roof ขาดหัก หลังคาฝาถังสำรองหมุนและพลิก
- ถังสำรองพังทะลายสูญเสียสภาพความเป็นถังสำรอง

สำหรับประเทศไทยการสะสมข้อมูลของแผ่นดินไหวในการออกแบบถังสำรองในบริเวณภาคกลางและภาคตะวันออกจัดให้เป็น Zone 0 คือไม่มีการเกิดแผ่นดินไหว แต่เมื่อเป็นเรื่องของธรรมชาติแล้วใครจะไปรู้ได้?

ดูรูปลักษณะถังสำรองเกิดความเสียได้ในบางรูปแบบเมื่อเกิดแผ่นดินไหว ดังรูปที่ 43



รูปที่ 43 ความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นหลังจากแผ่นดินไหว



รูปที่ 43 (ต่อ) ความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นหลังจากแผ่นดินไหว

4. ผนังถังและหลังคาถังพังแตกแยกเมื่อถูกลมพัดผ่านด้วยความเร็วเกินกว่าค่าที่ออกแบบ (Tank shell plates and roofs broken or cracked under strong wind)

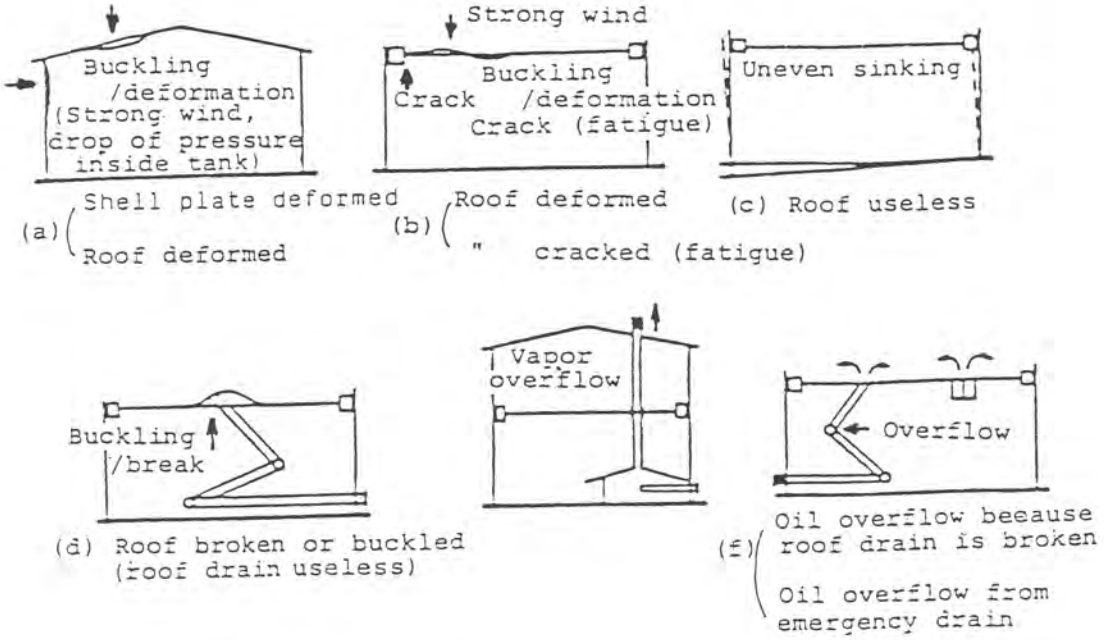
การตรวจสอบและการสะสมข้อมูลที่ถูกต้องตามความเป็นจริงช่วยลดปัญหาการประเมินความเร็วของลมที่พัดผ่านตัวถังสำรองผิดพลาดไป เนื่องจากทั้งทิศทางและความเร็วลมต่างเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล สิ่งกีดขวางธรรมชาติอาจเพิ่มหรือลดความเร็วลมได้ เช่นถังสำรองที่ก่อสร้างอยู่ระหว่างช่องเขาความเร็วก็จะเพิ่มมากกว่าบริเวณหลังเขาหรือที่อับลมทั้งที่บริเวณดังกล่าวห่างไม่ถึง 1 กิโลเมตรก็ตาม นี้ไม่พูดถึงพายุซึ่งก็เป็นเรื่องธรรมชาติอีกเช่นกันแล้วใครจะไปรู้

ความเร็วของลมเมื่อปะทะกับผนังถังก็จะถูกแปลงเป็นความดันหรือแรงดันกดอยู่บนผนังถัง ดังนั้นโครงสร้างที่จับยึดไม่ให้ถังสำรองขยับตัวหรือไม่เสียรูปทรงก็จะถูกคำนวณออกมาในรูปของโครงสร้างและความหนาของเหล็กที่ใช้ทำโครงสร้างจับยึดและผนังถังตลอดจนโครงสร้างอื่นๆ การเผื่อความหนาของเหล็กโครงสร้างหลังจากมีการกัดกร่อนแล้วยังสามารถทนต่อแรงลมได้เป็นเรื่องที่ต้องคำนึงไว้เช่นกัน

ในกรณีถังสำรองชนิด floating roof นั้นเมื่อลมพัดผ่านตัวถังสำรอง แรงดันของลมที่พัดผ่านอาจไปกดลงบนหลังคาถังฝาลอยได้ ซึ่งหลังคาถังฝาลอยอาจมียยับขึ้นลงทำให้ซีลรอบหลังคาฝาลอยบิดเบี้ยวเสียความสามารถในการซีลไปก็ได้ หรืออาจทำให้แนวเชื่อมระหว่าง pontoon กับโลหะหลังคาถังมีรอยแตกร้าวได้

ในส่วนถังสำรองชนิด cone roof หลังคาถังอาจเสียรูปทรงไป

ดูรูปความเสียหายที่อาจเกิดจากความเร็วของลมได้ในรูปที่ 44



รูปที่ 44 ความเสียหายที่อาจเกิดได้เมื่อลมพัดผ่านด้วยความเร็วสูง

5. รอยแตกร้าวบริเวณแนวเชื่อมเนื่องจากความล้า (Cracks due to fatigue in tanks at fillet weld of right angle joint)

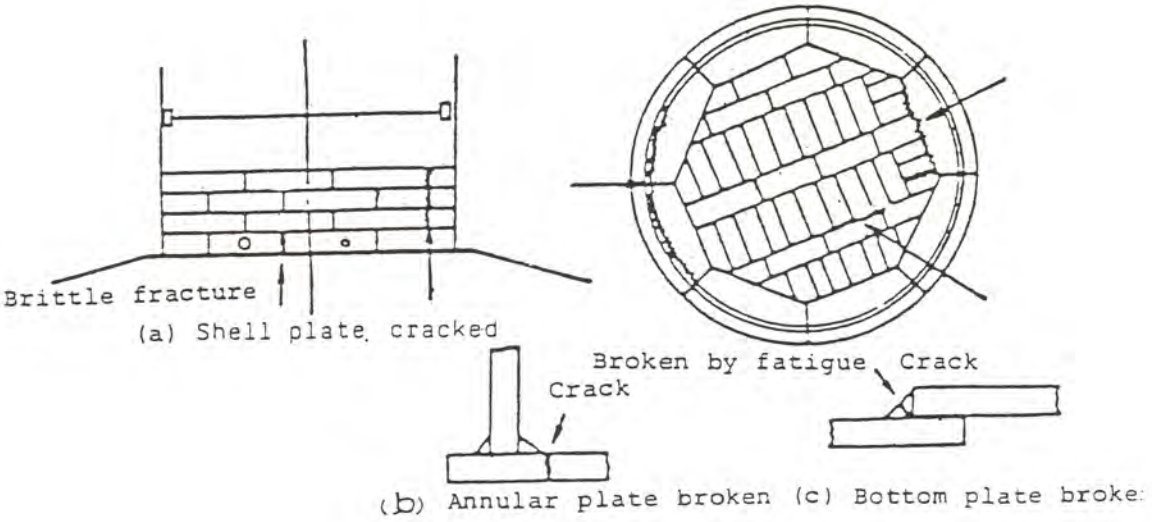
ในการออกแบบการเชื่อมประกอบโลหะแผ่นจำนวนมากเข้าด้วยกันโดยเฉพาะแนวเชื่อมที่เป็นแบบ fillet (เหล็กมาชนกันตั้งฉากและเชื่อมบริเวณชอกที่ตั้งฉาก) การป้องกันความเข้มข้นหรือการกระจุกตัวของความเครียด (stress concentration) บริเวณแนวเชื่อมจำเป็นต้องให้มีน้อยมากที่สุด และในขณะเดียวกันการออกแบบแนวเชื่อมให้มีจำนวนชั้นเชื่อมและขนาดของแนวเชื่อมที่เหมาะสมเพื่อให้สามารถรองรับวงจรแรงที่มากระทำต่อแนวเชื่อมเป็นช่วงระยะเวลาห่างกัน (low cycle movement) เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงระดับของเหลวภายในถังสำรองที่สูงขึ้นและลดลง ทำให้ผนังถังที่เชื่อมกับพื้นถัง (annular plate) ด้วยแนวเชื่อมแบบ fillet ต้องรองรับการขยายตัวของผนังถังเมื่อระดับของเหลวสูงขึ้น และผนังถังคืนสู่สภาพเดิมเมื่อระดับของเหลวลดลงมาถึงระดับหนึ่ง ดังนั้นเมื่อผ่านระยะเวลาไปนานพอสมควรอาจเป็น 10 ปี การล้าของแนวเชื่อมไม่ว่าจะเป็นแนวเชื่อมที่เป็น fillet ภายในหรือภายนอกถังอาจส่งผลให้มีรอยร้าวและปริแตกก่อให้ถังสำรองรั่วได้

การที่ระดับของเหลวภายในถังสำรองมีการขึ้นลงทำให้พื้นถังสำรองมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างตลอดเวลาทุกครั้งที่ระดับของเหลวเปลี่ยน เพราะปกติแล้วพื้นถังไม่ได้เรียบตรงแนบตลอดกับพื้นฐานรากของพื้นถังตลอดเวลาอาจจะเป็นสาเหตุของการเชื่อมประกอบพื้นถังสำรองหรืออาจเป็น

เพราะพื้นฐานถังสำรองมีการทรุดตัวบางเล็กน้อย การที่พื้นถังมีการเปลี่ยนแปลงรูปทรงตลอดเวลา ทำให้โอกาสที่แนวเชื่อมพื้นถังระหว่างส่วนที่เป็น annular plate กับ bottom plate อาจร้าวฉีกขาดได้เช่นกัน ดูรูปที่ 45

การตรวจสอบด้วยวิธี NDT (non-destructive testing) นับเป็นวิธีการที่เหมาะสมในการตรวจสอบแนวเชื่อม fillet ตามแนวเชื่อมต่อของผนังถัง(shell plate) กับพื้นถัง (annular plate) ในช่วงระยะเวลาที่เหมาะสมอาจสามารถลดความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นเพราะสามารถทำการซ่อมแซมแนวเชื่อมได้ทันหรือก่อนที่แนวเชื่อเสียหาย

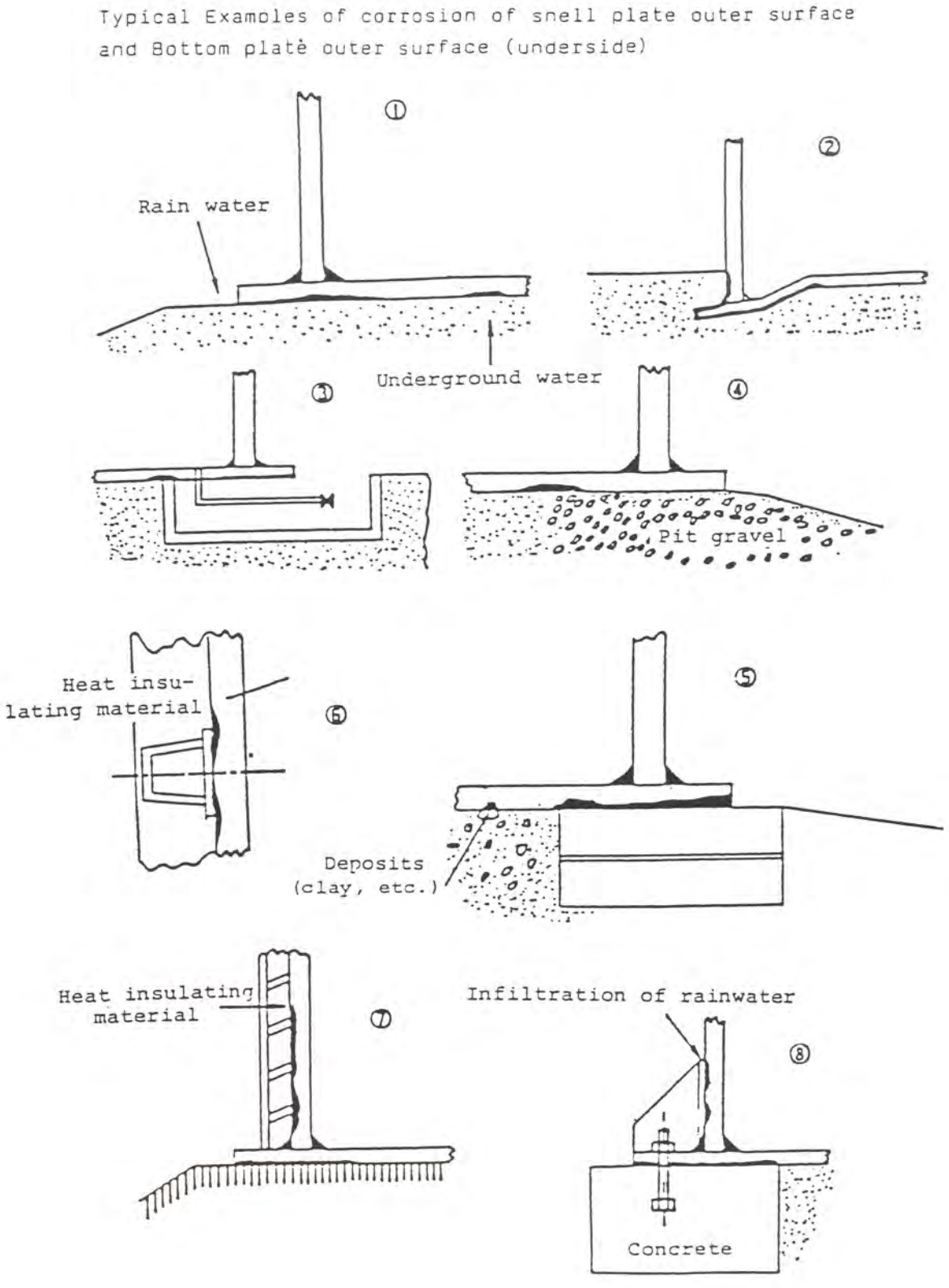
ดูรูปของความเสียหายที่เกิดกับแนวเชื่อมแบบ fillet เนื่องจากความล้าในการใช้งานถังสำรอง ดังในรูปที่ 45



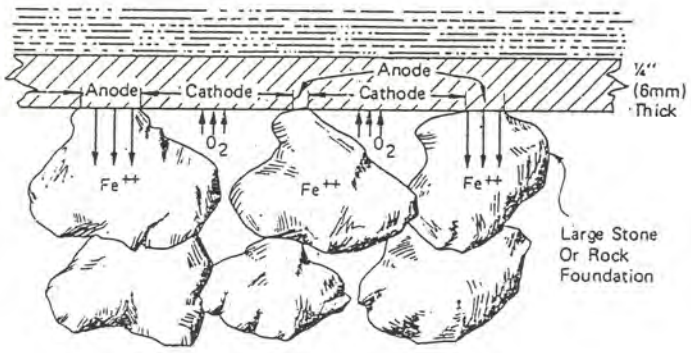
รูปที่ 45 ความเสียหายของถังสำรองเนื่องจากการใช้งานด้วยระยะเวลานาน จนถังสำรองเกิดการล้าบริเวณแนวเชื่อม และ บริเวณ HAZ ของแนวเชื่อม

6. การกัดกร่อนจากภายนอกและจากภายในถังสำรอง (External corrosion and internal corrosion)

ก่อนอื่นเรามาทำความรู้จักกันก่อนว่าองค์ประกอบของการเกิดสนิมมีอะไรบ้าง การเกิดสนิมจะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อมีปัจจัยครบ 3 ประการคือ โลหะ, น้ำหรือความชื้น และอากาศหรือออกซิเจน หากขาดปัจจัยหนึ่งปัจจัยใดการเกิดสนิมจะไม่เกิดขึ้น ดังนั้นโอกาสที่มีการเกิดสนิมจากภายในถังโดยเฉพาะพื้นถังจึงเป็นไปได้น้อย ยกเว้นมีสารเคมีที่ตกค้างมากับของเหลวหรือของเหลวที่จัดเก็บเปลี่ยนคุณสมบัติและทำปฏิกริยากับโลหะที่ใช้ทำพื้นถัง แต่พบว่าถังสำรองส่วนใหญ่ที่มีการกัดกร่อนมักเกิดการกัดกร่อนจากทางภายนอกถังสำรองบริเวณพื้นถังสำรองเป็นบริเวณที่พบได้บ่อยมากเนื่องจากโอกาสที่น้ำฝนหรือน้ำใต้ดินสัมผัสกับโลหะพื้นถัง (ดูรูปที่ 46) การกัดกร่อนดังกล่าวเกิดจากการแลกเปลี่ยนอิเล็คตรอนดังแสดงไว้ในรูปที่ 47 ด้วยเหตุนี้ถังสำรองจึงมีโอกาสที่พื้นถังเกิดสนิมและรั่วได้ง่ายกว่าบริเวณอื่นๆ ในบริเวณที่ถังสำรองรั่วบริเวณพื้นถังเราอาจพอสังเกตเห็นว่าหญ้าในบริเวณดังกล่าวจะตายสีเหลืองซีดและวัชพืชไม่สามารถเจริญเติบโต



รูปที่ 46 ตัวอย่างถังสำรองเสียหายจากการกัดกร่อนบริเวณภายนอกของผนังถังและพื้นถังของถังสำรอง



PITTING CORROSION SEVERE DUE TO UNFAVORABLE ANODE:
CATHODE AREA RELATIONSHIP

OXYGEN CONCENTRATION CELL CORROSION

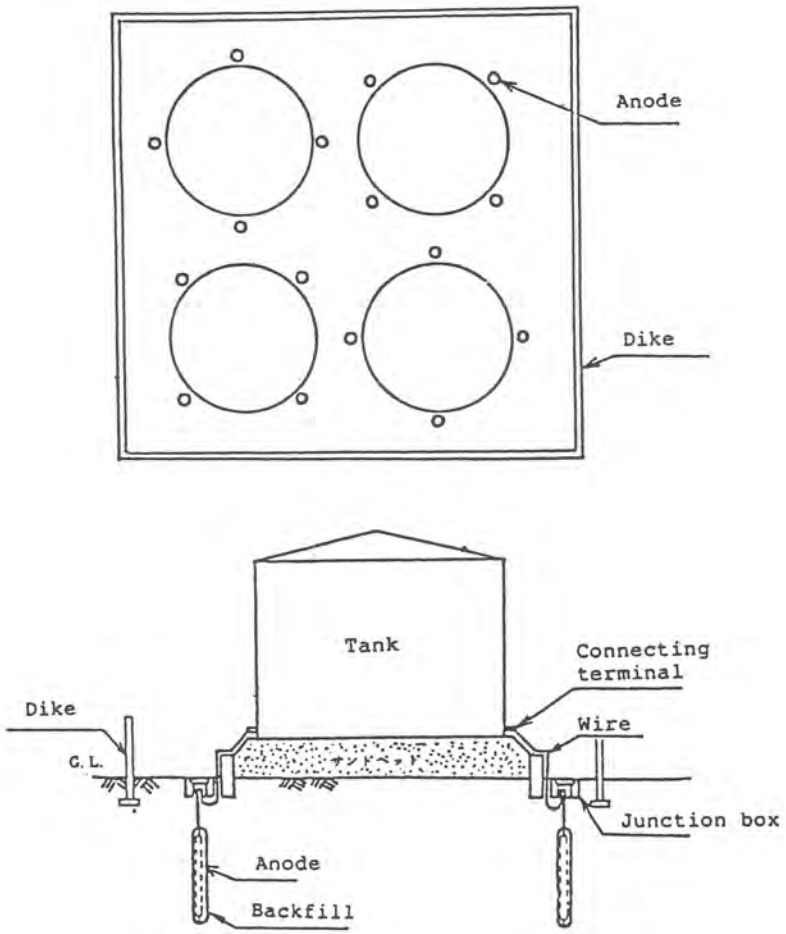
รูปที่ 47 ปรากฏการณ์ของการเกิดสนิมบริเวณภายนอกพื้นถังของถังสำรอง

การกัดกร่อนหรือการเกิดสนิมไม่ว่าเกิดจากภายในหรือภายนอกถังสำรองนับเป็นเรื่องที่ต้องต่อสู้กันอยู่ตลอดเวลาเมื่อเราจำเป็นต้องใช้โลหะสำหรับการจัดสร้างถังสำรองนี้อยู่ ได้มีการพัฒนาต่างๆเพื่อป้องกันการกัดกร่อนไม่ว่าจะมีการทาสีหรือเคลือบพื้นถังด้วยสารเคมีทั้งภายในหรือภายนอกเพื่อป้องกันการกัดกร่อน การป้องกันที่เรียกว่า "Electric Protection" ค่อนข้างได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก ซึ่งพอแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบด้วยกันคือ

- Galvanic anode method
- Outside power source method

ในการที่จะเลือกรูปแบบป้องกันใดต้องแยกพิจารณาข้อดีและข้อเสียและปัจจัยอื่นๆที่เกี่ยวข้องด้วยเช่นกัน สำหรับ Galvanic anode method (ดูรูปที่ 48) นับว่าเป็นวิธีการที่ค่อนข้างดีมากวิธีหนึ่งเหมาะกับถังสำรองที่ไม่ใหญ่มากและกับจำนวนถังสำรองจำนวนน้อย อีกทั้งสามารถฝังแท่ง anode ใต้พื้นถังสำรองได้ด้วย โดยแท่ง anode ที่ฝังอยู่ใต้ดินรองรับการกัดกร่อนแทนพื้นถังสำรอง โดย anode ที่ฝังไว้ทำหน้าที่ปล่อยอิเล็คตรอนออกมาแทนพื้นถังซึ่งทำด้วยเหล็ก แต่เมื่อ anode ซึ่งฝังไว้ใต้ดินจำนวนหลายแท่งมีการกัดกร่อนจนหมดไป พื้นถังสำรองก็จะถูกกัดกร่อนเป็นส่วนต่อไป ในขณะที่ Outside power source method (ดูรูปที่ 49) จะเหมาะสมกับถังสำรองที่มีขนาดใหญ่และมีจำนวนหลายถังสำรองอยู่ในบริเวณเดียวกันในลานถัง อีกทั้งเหมาะสมกับพื้นดินบริเวณถังสำรองมีค่าความต้านทานสูง พบว่าหากความต้านทานของดิน (soil resistance) สูงโอกาสที่พื้นถังจะมีการกัดกร่อนต่ำ ในทางตรงกันข้ามหากความต้านทานของดิน (soil resistance) ต่ำโอกาสที่พื้นถังจะมีการกัดกร่อนสูง

Instance of Tank Bottom Corrosion Prevention
by Galvanic Anode Method



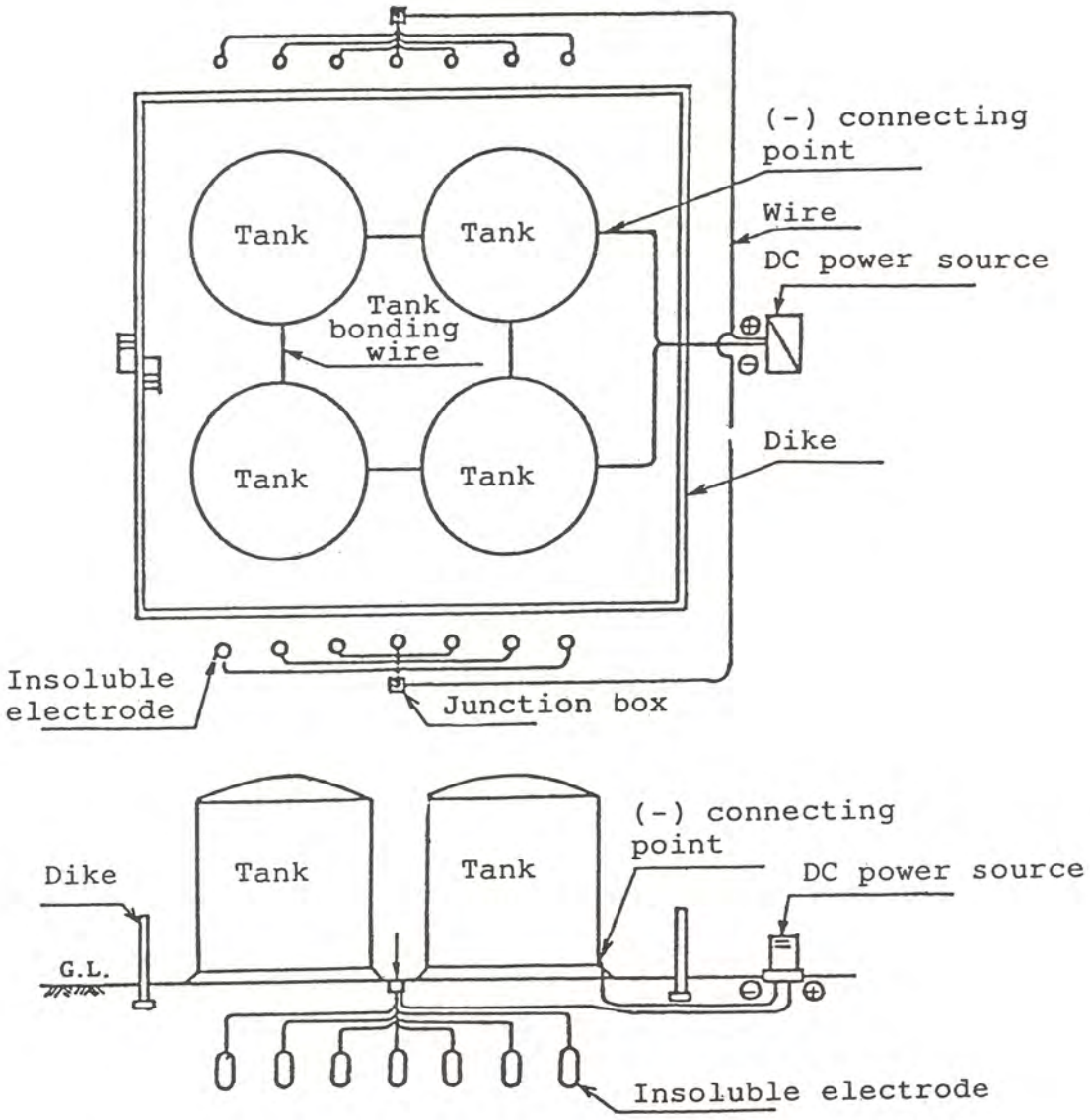
รูปที่ 48 การป้องกันการกัดกร่อนถังสำรองด้วยวิธี Galvanic Anode Method

เพื่อให้ระบบป้องกันการกัดกร่อนด้วยอิเล็คตรอน (electronic corrosion prevention system) ยังคงสามารถทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ การตรวจสอบวงจรและค่าความต่างศักย์ระหว่างตัวถังสำรองกับแท่ง anode ทั้งหมดซึ่งติดตั้งไว้อยู่ใต้ดินบริเวณใกล้หรือใต้พื้นถังสำรองเป็นสิ่งจำเป็น และควรตรวจสอบเป็นระยะเวลาที่เหมาะสมตามบริษัทผู้ออกแบบกำหนด เพราะหากพบว่าค่าความต่างศักย์ระหว่างถังสำรองกับแท่ง anode ต่างกันต่ำกว่าค่าที่กำหนด ควรทำการแก้ไขและติดตั้งแท่ง anode ใหม่เพิ่มเติมต่อไป ดังแสดงไว้ในรูปที่ 50

ดูรูปการกัดกร่อนของถังสำรอง ดังแสดงไว้ในรูปที่ 51

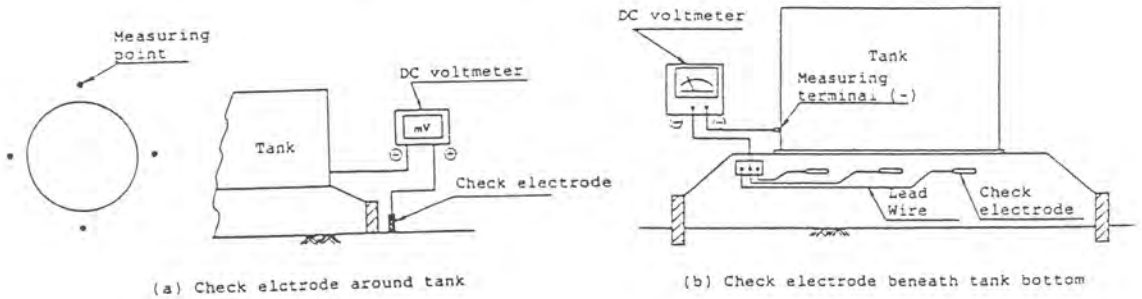
การกัดกร่อนจากทางภายในถังสำรอง ดูรูปที่ 52

Instance of Tank Bottom Corrosion Prevention by Outside Power Source Method

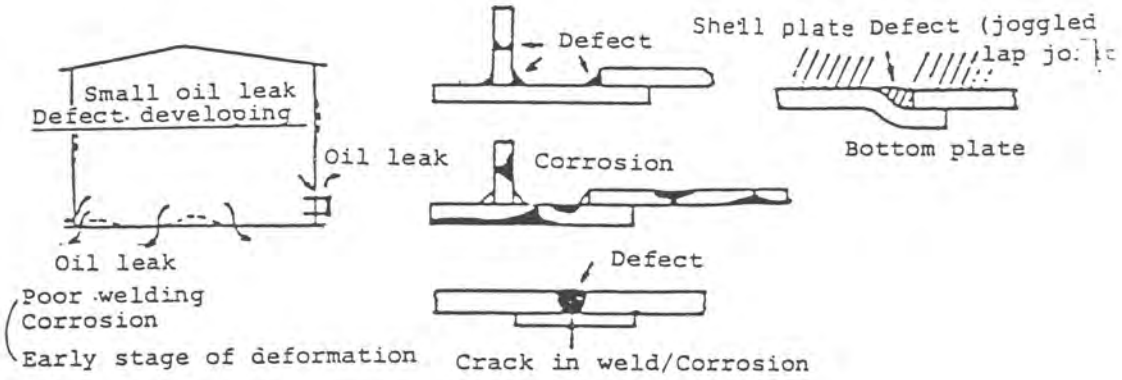


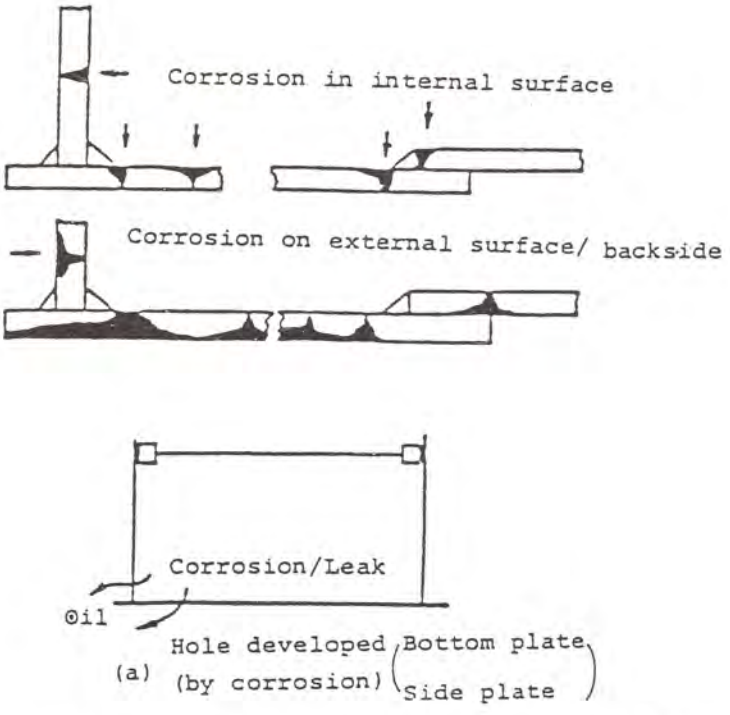
รูปที่ 49 การป้องกันการกัดกร่อนถังสำรองด้วยวิธี Outside Power Source Method

Fig. Tank Bottom Ground Potential Measurement



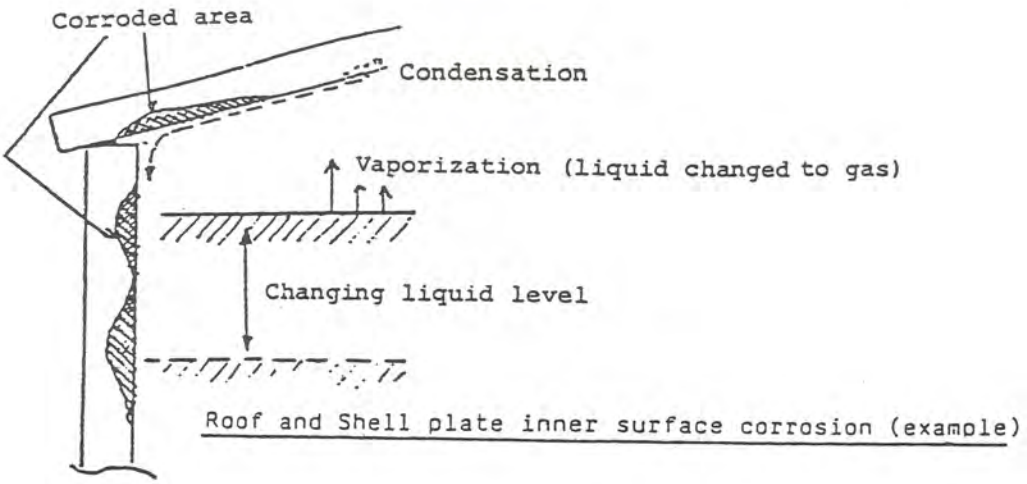
รูปที่ 50 การตรวจสอบค่าความต่างศักย์ระหว่างถังสำรองกับแท่ง Electrodes





รูปที่ 51 ความเสียหายที่อาจเกิดได้เมื่อมีการกัดกร่อนเกิดขึ้น

Bottom plate inner surface corrosion (example)



Corrosion Countermeasure on Inner Surface

รูปที่ 52 ตัวอย่างการกัดกร่อนบริเวณพื้นถัง และหลังคาถังบริเวณภายในถังสำรอง

จากการศึกษาการกัดกร่อนของผนังถังในส่วนข้างในถังสำรอง พบว่าเราอาจพิจารณาการกัดกร่อนออกเป็น 3 ส่วน คือ

- บริเวณผนังถังสำรองชั้นสูงๆ ซึ่งผนังด้านในมีโอกาสสัมผัสกับไอส่วนใหญ่
- บริเวณกึ่งกลางความสูงของถังสำรอง ซึ่งมีโอกาสสัมผัสทั้งที่เป็นไอ และของเหลว
- บริเวณใกล้พื้นถัง ซึ่งโอกาสสัมผัสกับของเหลวเป็นส่วนใหญ่ รวมทั้ง sludge และน้ำ

อัตราการกัดกร่อนของโลหะที่ใช้ทำถังสำรองบริเวณใกล้พื้นถัง ซึ่งโอกาสสัมผัสกับของเหลวเป็นส่วนใหญ่ เมื่อเทียบกันระหว่างพื้นถัง, ผนังถัง และชนิดของเหลวที่ใช้จัดเก็บเราพบว่ามีค่าที่แตกต่างกัน อีกทั้งอัตราการกัดกร่อนก็เปลี่ยนแปลงตามเวลาเช่นกันดังแสดงไว้ในรูปที่ 53, 54, 55, 56, 57 และ 58

Table Maximum Corrosion Rates by Tank Contents (shell bottom stage)

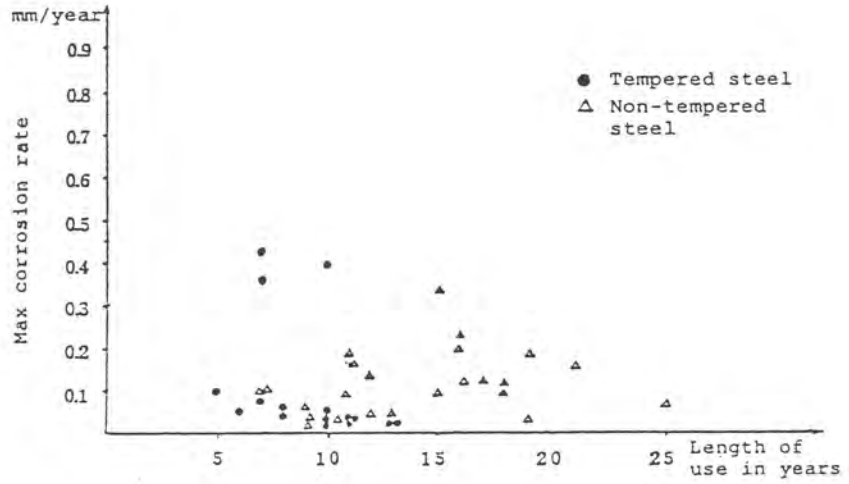
Contents	Material	No of tanks	Heaviest corrosion rate (mm/Yr)	Mean of max corrosion rate (mm/yr)	Mean of use in years
Fuel oil	T	16	0.43	0.11	8.8
	N	23	0.33	0.12	12.3
Crude oil	T	24	0.45	0.18	13.5
	N	10	0.32	0.17	18.7
Gas oil	T	3	0.36	0.30	7.3
	N	8	0.23	0.12	11.9
Kerosene	T	7	0.26	0.17	9.1
	N	7	0.38	0.12	10.7
Gasoline	T				
	N	3	0.33	0.20	13.3
Naphtha	T	3	0.30	0.17	16.9
	N	3	0.10	0.06	11

(106 tanks in total)

T: Tempered steel (HT60, RW50, SPV)
N: Non-tempered steel (SM, SS)

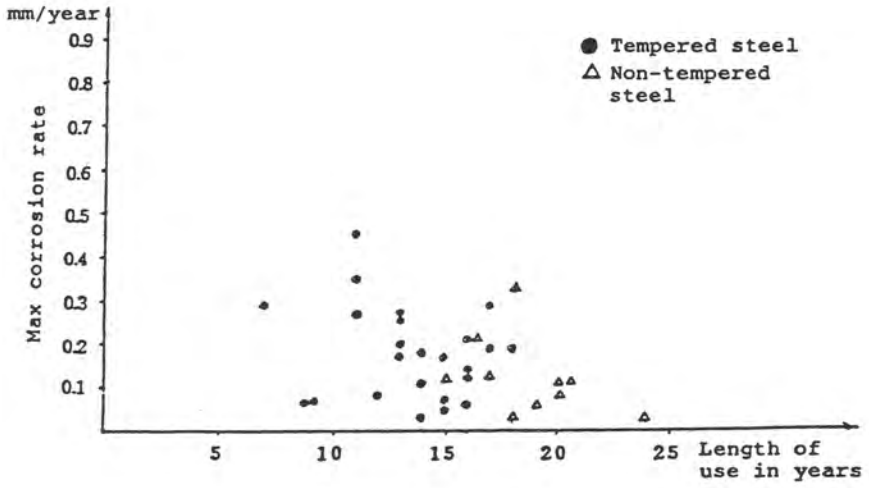
รูปที่ 53 ตัวอย่างอัตราการกัดกร่อนของถังสำรองตามชนิดผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมที่บรรจุและชนิดโลหะที่ใช้ทำถังสำรอง

Fig. Shell Bottom Stage Max Corrosion Rate (Fuel oil)



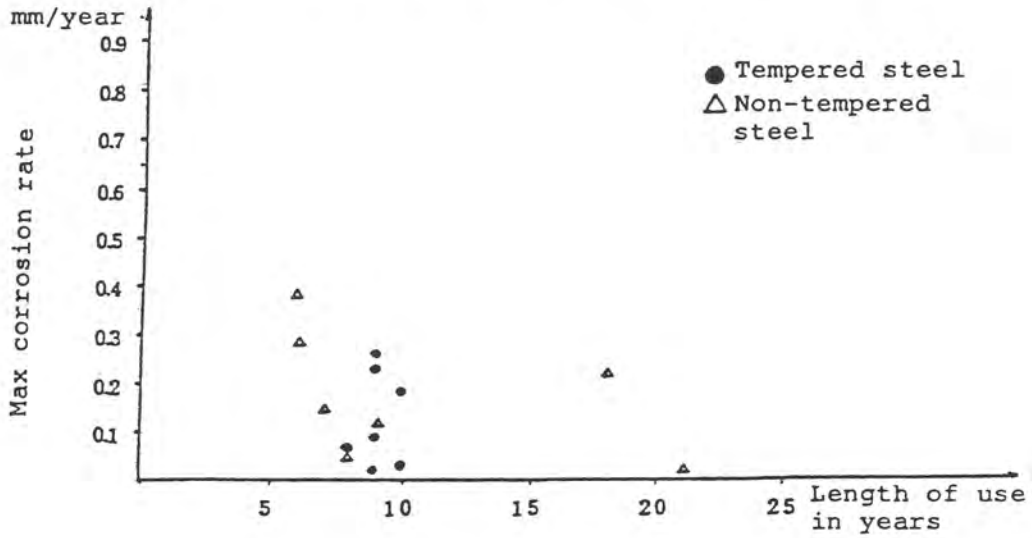
รูปที่ 54 กราฟแสดงอัตราการกัดกร่อนผนังถังชั้นล่างสุด เมื่อถังสำรองบรรจุ Fuel oil

Fig. Shell Bottom Stage Max Corrosion Rate (crude oil)



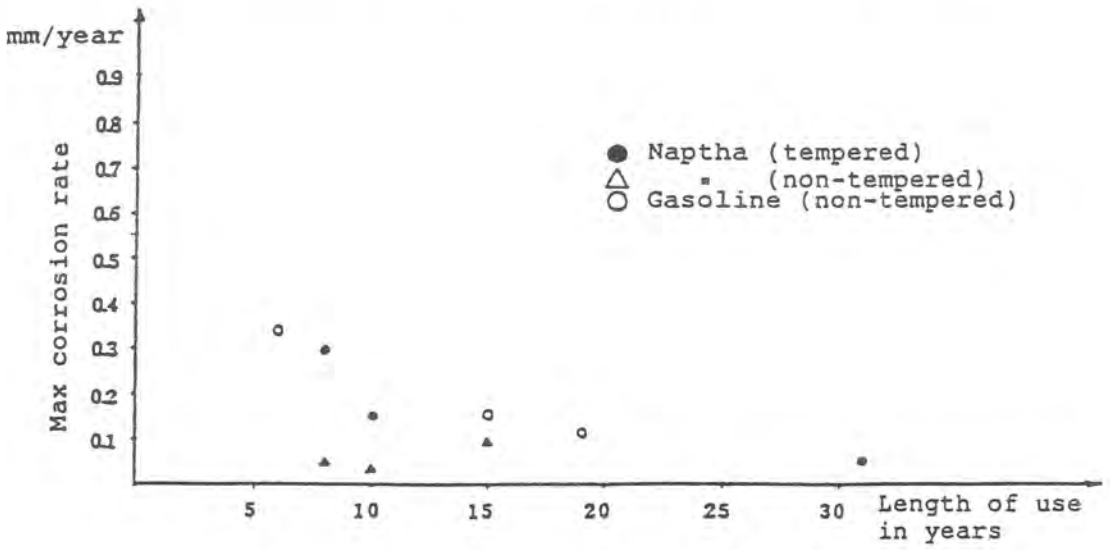
รูปที่ 55 กราฟแสดงอัตราการกัดกร่อนผนังถังชั้นล่างสุด เมื่อถังสำรองบรรจุ Crude oil (น้ำมันดิบ)

Fig. Shell Bottom Stage Max Corrosion Rate (kerosene)



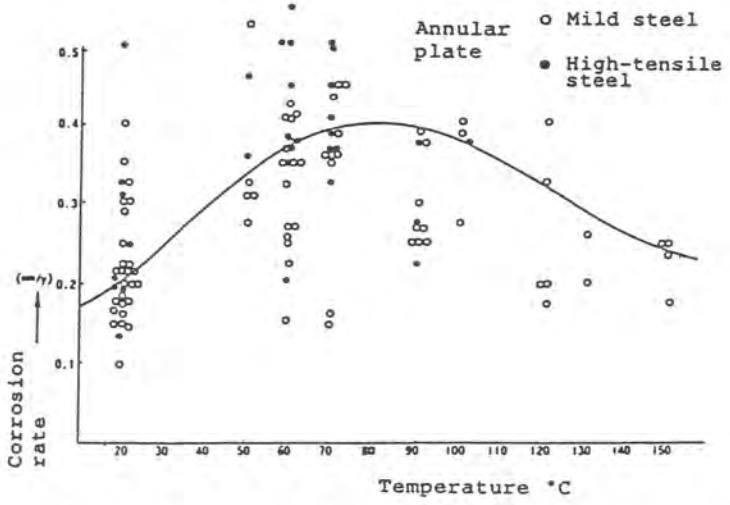
รูปที่ 56 กราฟแสดงอัตราการกัดกร่อนผนังถังชั้นล่างสุด เมื่อถังสำรองบรรจุ Kerosene (น้ำมันก๊าด)

Fig. Shell Bottom State Max Corrosion Rate (gasoline, naphtha)

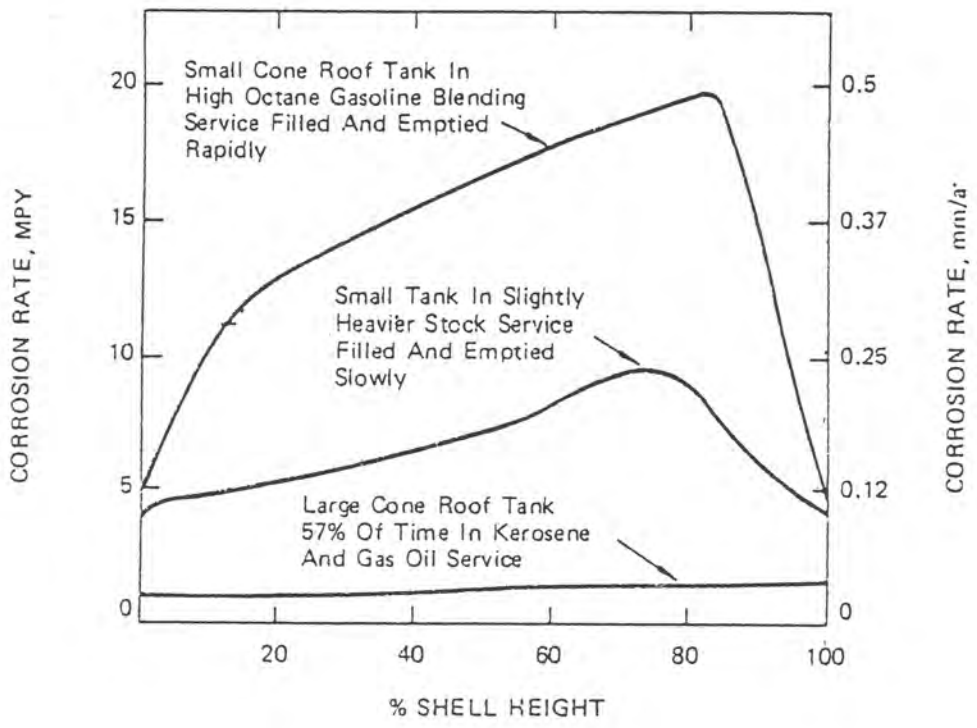


รูปที่ 57 กราฟแสดงอัตราการกัดกร่อนผนังถังชั้นล่างสุด เมื่อถังสำรองบรรจุ Gasoline, naphtha

Fig. Relation between Tank Operating Temperature and Corrosion Rate (bottom underside)
(Maximum corrosion rate. mm/year)



รูปที่ 58 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิทำงานภายในถังสำรองกับอัตราการกัดกร่อนของพื้นถังภายนอกตัวถังสำรอง



รูปที่ 59 อัตราการกัดกร่อนของผนังถังของถังสำรองชนิด Cone roof ซึ่งบรรจุ gasoline กับ heavy distillates

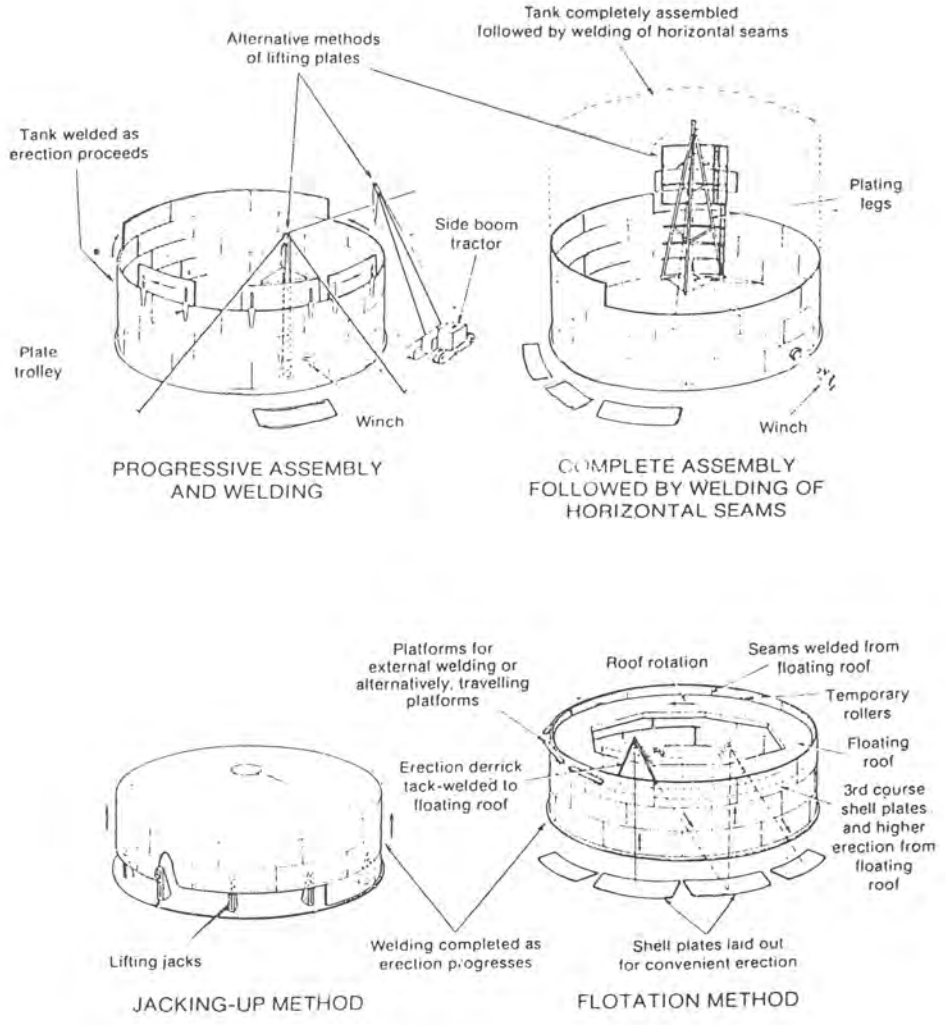
7. ถังสำรองได้รับความเสียหายเมื่ออุปกรณ์ประจำถังสำรองไม่ทำงาน

ในการจ่ายหรือรับผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมเข้าหรือออกจากถังสำรองนั้น สิ่งที่ตามมาขณะทำการดังกล่าวก็คือความดันภายในถังสำรองจะมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น โดยความดันภายในถังสำรองจะมีมากขึ้นเมื่อมีการจ่ายของเหลวเข้าถังสำรองทั้งนี้ก็เนื่องจากการระเหยกลายเป็นไอของของเหลวที่บรรจุอยู่ภายในถังสำรองนั้นเองเกิดเป็นความดันขึ้นภายในถัง และความดันภายในถังสำรองจะมีลดต่ำลงเมื่อมีการดูดของเหลวออกจากถังสำรอง ปกติแล้วจะมีอุปกรณ์ประจำถังสำรองเพื่อใช้สำหรับการระบายความดันที่สูงหรือต่ำจนเกินไปภายในถังเรียกว่า "breathing valve" ปรับระดับความดันภายในถังให้อยู่ภายในค่าที่ออกแบบหากอุปกรณ์ดังกล่าวไม่ทำงานหรือมีสิ่งอุดตันถังสำรองก็อาจทนความดันไม่ได้เกิดระเบิดหรือล้มคลื่นมาก็อาจเป็นได้

การเกิดความดันภวยในถังมากหรือน้อยจนเกินไปอาจเกิดเหตุจากเจ้าหน้าที่ประจำถังสำรองสูบจ่ายของเหลวเข้าออกถังด้วยอัตราการไหลที่สูงกว่าที่กำหนดก็อาจเป็นได้ หรืออาจมีการสูบของเหลวด้วยอัตราการไหลที่กำหนดแต่ในวันเวลาดังกล่าวอุณหภูมิอาจจะสูงหรือต่ำเกินปกติที่คาดไว้ก็อาจเป็นสาเหตุหนึ่งได้เช่นกัน แต่สรุปได้ว่าหลักๆแล้วเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องกับการทำงานที่เกี่ยวกับถังสำรองต้องทำงานด้วยความระมัดระวังในการตรวจสอบค่าอุณหภูมิ ความดันภายในถังสำรอง ตลอดจนการปิดเปิดของวาล์ว หรือการเดินปั๊มด้วยอัตราการไหลที่เหมาะสม เป็นต้น

หากมีปัญหาเกิดทำให้ถังสำรองมีความเสียหาย ไม่ว่าด้วยเหตุผลใดก็ตาม หากผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมซึ่งเป็นของเหลวที่ความดันบรรยากาศและอุณหภูมิแวดล้อมเกิดรั่วไหลออกจากตัวถังสำรอง บริเวณที่ก่อสร้างถังสำรองควรได้รับการออกแบบให้มีคันดินหรือคันคอนกรีต (dike) ที่มีความสูงระดับหนึ่งเพียงพอต่อการจัดกักเก็บและกำจัดขอบเขตการรั่วไหลกระจายออกไปนอกพื้นที่ที่ไม่ต้องการในบริเวณลานถัง และควรจัดให้มีหัวฉีดโฟมติดตั้งอยู่บนคันดินหรือคันคอนกรีตดังกล่าวเพื่อสามารถทำการฉีดโฟมคลุมผิวหน้าของเหลวดังกล่าวเพื่อป้องกันการลุกไหม้ติดไฟและระเบิดตามมา

ดูเหมือนว่าจากการแบ่งปัญหาที่อาจพบได้กับถังสำรองขนาดใหญ่รูปทรงแนวตั้งออกเป็นข้อๆ เพื่อพิจารณานั้น ในความเป็นจริงแล้วปัญหาต่างๆอาจมีความต่อเนื่องและมีผลต่อซึ่งกันและกัน ดังนั้นการพิจารณาปัญหาไม่ควรพิจารณาเพียงด้านใดหรือสาเหตุใดสาเหตุหนึ่งเท่านั้น ควรเปิดใจกว้างรับรู้ถึงความเปลี่ยนแปลงได้ทุกเมื่อ



รูปที่ 60 ตัวอย่างวิธีการประกอบสร้างถังสำรอง

บทที่ 2

ศัพท์ทางเทคนิคและนิยาม

(Terminology and Definition)

เนื่องจากถังสำรองขนาดใหญ่รูปทรงแนวตั้งอาจเป็นเรื่องใหม่สำหรับเจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงานชั่งตวงวัด ดังนั้นจึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งที่เราต้องเข้าใจในความหมายของศัพท์ทางเทคนิคตลอดจนคำนิยามที่เกี่ยวข้องกับงานสอบเทียบถังสำรองขนาดใหญ่รูปทรงแนวตั้ง นอกจากนี้พบว่าการเรียกชื่ออุปกรณ์ หรือศัพท์บางคำยังมีความสับสนกันระหว่างหนังสืออ้างอิงแต่ละเล่ม ด้วยเหตุนี้หากเจ้าหน้าที่ได้ทำความเข้าใจและอ่านหนังสือจากแหล่งอื่นๆก็จะได้ทำการเทียบเคียงกับนิยามซึ่งได้พยายามแปลอยู่ในรูปของภาษาไทยไว้ในที่นี้ หากผิดหรือคลาดเคลื่อนอย่างไรสามารถชี้แจงบอกกล่าวเพื่อสามารถแก้ไขในอนาคตได้เพื่อเป็นประโยชน์ต่อสำนักงานกลางชั่งตวงวัดต่อไป

1. จุดระดับอ้างอิง (Dipping datum point) คือ จุดตัดกันระหว่างแกนวัดตั้งฉาก (vertical measurement axis) กับพื้นผิวด้านบนของแผ่นระดับอ้างอิง(Dip Plate) หรือ พื้นผิวของระดับกันถังเก็บในกรณีที่ถังเก็บไม่มีแผ่นระดับอ้างอิง โดยให้ถือว่าจุดตัดดังกล่าวเป็นจุดเริ่มต้นของการวัดระดับของของเหลวภายในถังเก็บ ดูรูปที่ 61

2. จุดอ้างอิงบนสุดของถังสำรอง (Upper reference point) คือจุดบนสุดของถังสำรองบนแนวแกนวัดตั้งฉาก (vertical measurement axis) โดยเป็นตำแหน่งอ้างอิงของระดับความสูง (Ullage or Height) ปกติมักกำหนดไว้ที่ขอบบนของ dipping socket หรือ gauge hatch ดูรูปที่ 61

3. ระดับความสูง (Ullage or Height) คือระยะความสูงจากผิวหน้าระดับของของเหลวถึงจุดอ้างอิงบนสุดของถังสำรอง (Upper reference point) ดูรูปที่ 61

4. Filling Height คือ เป็นระยะทางตั้งฉากระหว่างแผ่นระดับอ้างอิง (Dip Plate) กับระดับผิวของของเหลวภายในถังสำรอง

5. ระยะวัด (Dip) คือระยะทางในแนวตั้งฉากกับแผ่นระดับอ้างอิง (dip plate) ระหว่างจุดระดับอ้างอิง (Dipping datum point) กับระดับของของเหลว ซึ่งมีความหมายเดียวกับ Filling Height ดูรูปที่ 61

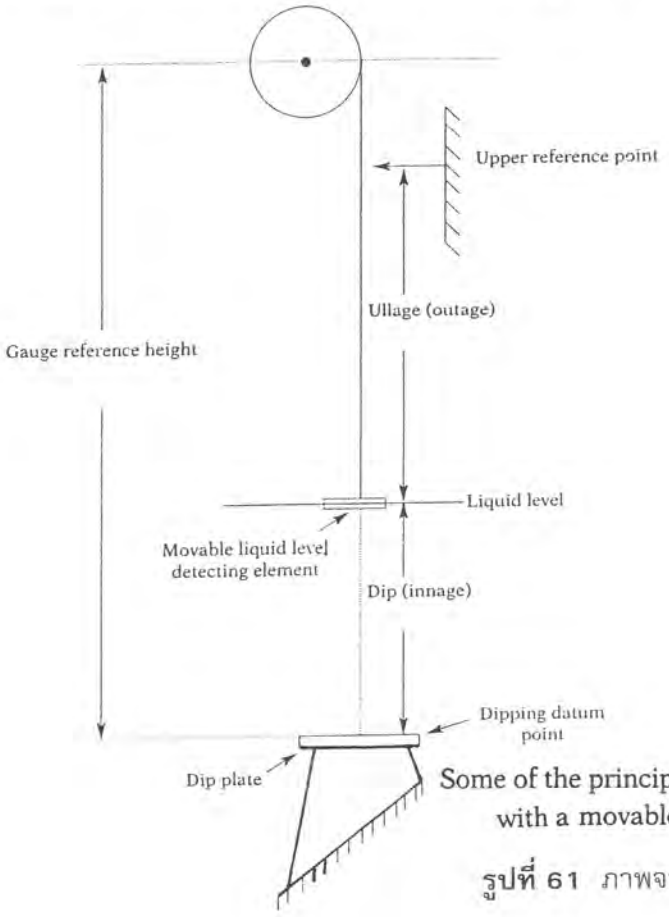
6. แผ่นระดับอ้างอิง (Dip Plate) คือแผ่นซึ่งติดตั้งอย่างถาวรมั่นคงแข็งแรงกับผนังถังสำรองหรือตำแหน่งอ้างอิงที่มั่นคงแข็งแรงภายในถังสำรอง โดยอยู่ตำแหน่งตรงกับ dip hatch (หรือ gauge hatch หรือ slot dipping device หรือ combined vent and dip hatches ขึ้นอยู่กับเอกสารอ้างอิงหรือหน่วยงานที่เกี่ยวข้องเรียกกัน) และมักจะติดตั้งแผ่นระดับอ้างอิงอยู่ในระดับที่สูงกว่าตำแหน่งสูงสุดของพื้นถัง (bottom plate) อยู่ประมาณ 10-15 ซม. ด้วยเหตุผลอย่างน้อย 2 ประการคือ หากติดตั้งให้มีระยะสูงกว่านี้นั้นหมายถึงพื้นที่ใช้สอยภายในถังสำรองลดลงไป อีกประการเนื่องจากเมื่อมีการสูบจ่ายของเหลวเข้าออกถังสำรองอาจมีตะกอนหรือโคลนหรือสิ่งแปลกปลอมที่ไม่พึงประสงค์เข้าอยู่สะสมภายในถังซึ่งเรียกว่า sludge รวมทั้งน้ำ เป็นต้น การติดตั้งแผ่นระดับอ้างอิงให้สูงประมาณ 10-15 ซม. เหนือจุดสูงสุดของพื้นถังทั้งหมด ก็เพื่อให้ปริมาตรการใช้

สอยของถังสำรองไม่เปลี่ยนแปลงไปหาก sludge สะสมมากขึ้นแต่ต้องสะสมไม่เกินความสูงของแผ่นระดับ ดังนั้นการล้างถังสำรองจึงต้องดำเนินการเมื่อเวลาผ่านไป 10-15 ปีหรือช่วงเวลาที่เหมาะสมเพื่อกำจัด sludge หรืออาจล้างถังสำรองก็ต่อเมื่อมีการซ่อมแซมถังสำรองก็อาจเป็นได้ขึ้นอยู่กับปริมาณของ sludge ไปมีผลต่อการปฏิบัติงานและใช้ถังสำรอง

ในส่วนของความหนาของแผ่นระดับอ้างอิงควรหนาอย่างน้อยสุด 6 มม. เพราะหากใช้แผ่นเหล็กบางกว่านี้อาจมีปัญหาในเรื่องของการโก่งงอ ในบางกรณีถังสำรองถูกใช้งานเป็นเวลาหลายปีพบว่าแผ่นระดับอ้างอิงทะลุไปก็มีเนื่องจากการกระแทกของตุ้มถ่วงน้ำหนักของเทปวัดระดับความสูง (Dipping Tape หรือ sounding tape) พร้อมกับการกัดกร่อนเนื่องจากอาจมีน้ำผสมเข้าไปและแยกชั้นตกลงอยู่บริเวณก้นถังสำรองหรือบางครั้งอาจพบว่าจะมีชิ้นส่วนอุปกรณ์เช่น เครื่องวัดอุณหภูมิหรืออุปกรณ์ตักตัวอย่างตกลงไปทับถมอยู่บริเวณดังกล่าวจนทำให้การ dip ถังสำรองกระทำไปด้วยความลำบาก หรือในบางกรณีตะกอนหรือสิ่งสกปรกที่มากับผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ส่งเข้ามาเก็บภายในถังสำรองมีการสะสมตัวจนครอบคลุมแผ่นระดับอ้างอิง ซึ่งในบางประเทศก็จะมีข้อกำหนดให้แผ่นระดับอ้างอิงเจาะเป็นรูบริเวณแนวขอบแผ่นระดับอ้างอิงนอกรัศมีของ still pipe หรือ guide pipe เป็นต้น

ใน filling table กำหนดให้ความสูงของแผ่นระดับอ้างอิงเท่ากับ 0

เพื่อให้สามารถปฏิบัติงานในขณะทำการสอบเทียบหรือหาปริมาตรประจำถังสำรองนั้นการออกแบบและสร้างให้แผ่นระดับอ้างอิงสามารถปรับขึ้นลงได้ ±10 ซม. พร้อมสกรูเจาะเพื่อสามารถรอยลวดผูกซีลได้หลังจากเจ้าหน้าที่ทำการสอบเทียบถังสำรองเป็นที่เรียบร้อย นับเป็นทางออกที่มีความยืดหยุ่นในการสอบเทียบถังได้ด้วย แต่ในประเทศไทยดูเหมือนหลายถังสำรองจะทำการเชื่อม dip plate ตายตัวไม่สามารถปรับระดับสูงต่ำได้



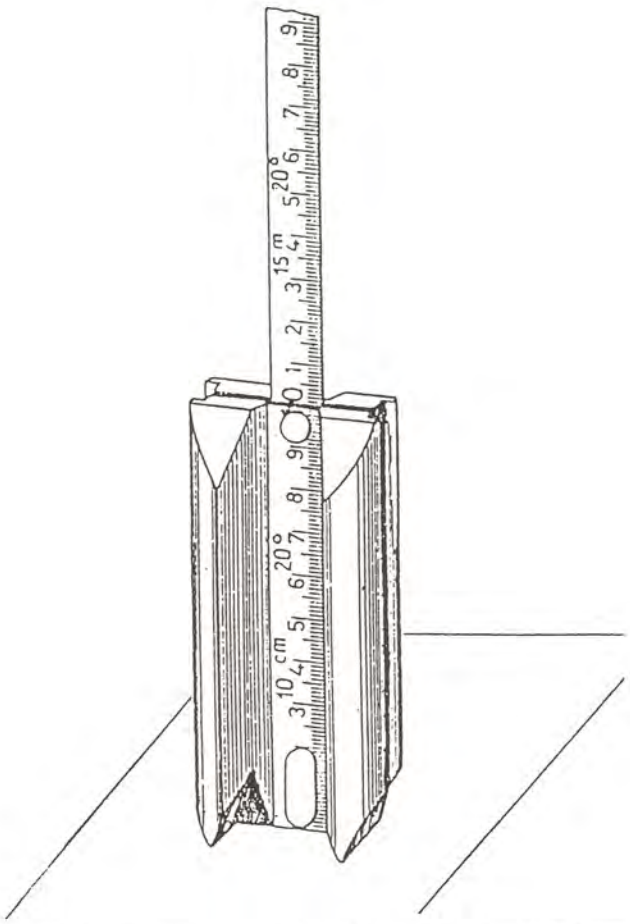
Some of the principal elements of an ALG, shown here with a movable liquid level detecting element

รูปที่ 61 ภาพจาก OIML R 85 แสดงคำนิยาม

7. **เทปวัดระดับความสูง (Dipping Tape)** เป็นสายวัดหรือเทปวัดที่มีหน่วยความยาวเป็นเมตร และควรอ่านละเอียดได้อย่างน้อยสุด 1 มม. บริเวณปลายสายวัดหรือเทปวัดจะประกอบด้วยตุ้มน้ำหนัก ("dip weight" หรือ "gauging bob") ซึ่งมีรูปทรงต่างๆ เช่นทรงกระบอกปลายแหลม หรือเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมพื้นผ้าตันปลายเสมอขนานกับพื้น ดูรูปที่ 74 ทั้งนี้ตุ้มน้ำหนักดังกล่าวจะทำหน้าที่ให้สายวัดมีความตึงคงที่และให้ตั้งฉากกับแผ่นระดับอ้างอิง (dip plate) ทุกครั้งที่ทำการวัดระดับความสูงของเหลวในถังสำรองบางครั้งอาจเรียกเทปวัดระดับความสูงกันคุ้นหูว่า "sounding tape" เนื่องจากเมื่อปล่อยตุ้มน้ำหนักลงไปจนกระทบกับแผ่นระดับอ้างอิงผู้ใช้งานก็จะได้ยินเสียงกระทบทำให้ทราบว่าตุ้มน้ำหนักดังกล่าวได้ลงไปถึงตำแหน่งดังกล่าวแล้ว

ของเหลวที่มีความหนืดสูงควรเลือกใช้ตุ้มน้ำหนัก ("dip weight" หรือ "gauging bob") ที่มีน้ำหนักมากและรูปทรงใหญ่กว่าเมื่อเทียบกับการใช้งานกับของเหลวที่มีความหนืดต่ำกว่า (ดูรูปที่ 74)

สำหรับงานด้านชั่งตวงวัดตามข้อกำหนดกฎหมาย (Legal Metrology) ควรเลือกใช้ตุ้มน้ำหนักถ่วงที่เป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมพื้นผ้าตันปลายเสมอขนานกับพื้น (ดูรูปที่ 75) เพราะลดปัญหาระยะบริเวณที่เป็น hook หรือ swivel joint ของเทปวัดระดับของเหลวที่อาจเปลี่ยนแปลงเมื่อใช้งานไประยะหนึ่ง



รูปที่ 62 เทปวัดระดับความสูงของเหลวภายในถังสำรอง (แนะนำให้ใช้สำหรับงานชั่งตวงวัดที่เป็นไปตามข้อกำหนดของกฎหมาย; Legal Metrology)

8. **Dip Socket** ถือว่าเป็น fitting อย่างหนึ่งประจำถังสำรอง โดยส่วนดังกล่าวจะถูกติดตั้งกับหลังคาถังสำรอง และมักถูกใช้เป็นที่ทำเครื่องหมายเป็นจุดอ้างอิงบนสุดของถังสำรอง (Upper reference point) ประจำถังนั้นๆ และในการ dip เรามักจะพักเทปวัดระดับความสูง (Dipping Tape) ไว้บน dip socket

9. **Dip hatch** หรือ gauge hatch ปกติแล้วทุกถังสำรองจะต้องมี Dip hatch อย่างน้อย 1 ตัว อยู่บนหลังคาถังสำรองซึ่งเป็นท่อทะลุเข้าสู่ภายในถังสำรองได้โดยการติดตั้ง dip hatch หรือ gauge hatch ต้องไม่ติดตั้งให้ dip hatch เคลื่อนที่พร้อมกับผนังหลังคาถัง การวัดระดับของเหลวภายในถังสำรองกระทำ ณ ช่องทางนี้โดยเป็นช่องทางสำหรับหย่อยเทปวัดวัดระดับความสูงของเหลวภายในถังสำรอง ตำแหน่งของ dip hatch ต้องอยู่ตรงกับแผ่นระดับอ้างอิง (dip plate) นอกจากนี้ในบางกรณียังทำการกำหนดระดับอ้างอิงหรือจุดอ้างอิงบนสุดของถังสำรอง (Upper reference point) บน dip hatch นี้ด้วยเช่นกันหรืออาจทำการบันทึกระยะความสูงจากแผ่นระดับอ้างอิงถึงขอบปากบนของ dip hatch หรือเรียกว่า "control height" ซึ่งค่าความสูงดังกล่าวนี้มีประโยนช์ในการปฏิบัติงานจริงในภาคสนามมาก ในบางกรณีจะมีการติดตั้ง free vent เข้ากับ Dip hatch ทั้งนี้เพื่อลดจำนวนที่ต้องติดตั้ง dip hatch ที่อาจมีมากเกินไป ดูรูปที่ 6 และ 16

10. **Height of Empty Space หรือ Empty height** คือ ระยะทางที่ตั้งฉากระหว่างระดับของเหลวกับขอบ (dipping edge) ของ dipping socket

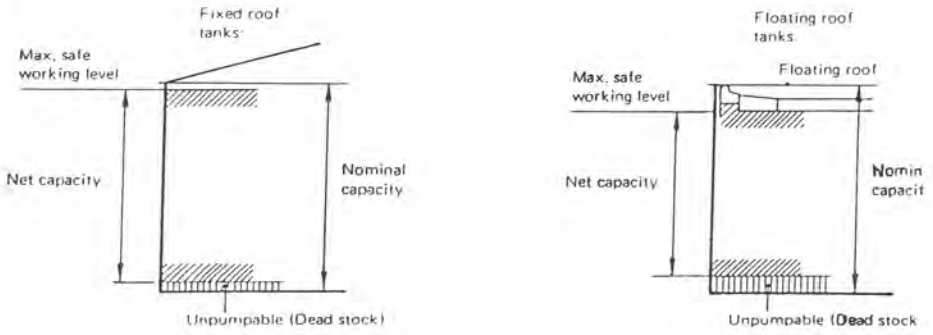
11. **Air Height** สำหรับในกรณีของถังสำรองขนาดใหญ่รูปทรงแนวตั้งชนิดหลังคาถังฝาลอย (floating roof)นั้น ระยะทางที่ตั้งฉากระหว่างระดับของเหลวจนถึง dipping edge ของส่วนที่เรียกว่า dipping openings ซึ่งอยู่บนหลังคาฝาถังลอย

12. **Dip Table** เป็นตารางของผลการ dip แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรบรรจุภายในถังสำรองเทียบกับระดับความสูงของของเหลวภายในถังสำรองซึ่งอาจปรับเปลี่ยนได้ก่อนสรุปผลเป็นตารางการสอบเทียบถังสำรอง (Tank calibration table)

13. **Filing Step** คือปริมาตรของเหลวที่ใส่เข้าไปในถังสำรองระหว่างการวัดผลต่างของระดับของเหลวภายในถังสำรองในแต่ละระดับ

14. **Characteristic Filling Value or l/mm value** เป็นผลลัพธ์ของการหารปริมาตรด้วยความสูงของผนังถังสำรอง (shell ring) เมื่อวัดเทียบกับปริมาตรดังกล่าว แสดงในค่าของ "ลิตร/มม." (l/mm)

15. **Capacity** คือปริมาตรถังสำรองทั้งหมดรวมทั้ง sump volume ที่สภาวะปกติการใช้งานด้วยความปลอดภัย ดูรูปที่ 63



รูปที่ 63 ภาพประกอบคำนิยาม

16. **Capacity table or filling table** เป็นตารางแสดงค่าปริมาตรเมื่อเทียบกับความลึกที่วัดได้ของของเหลวภายในถังสำรอง ที่แต่ละความสูงซึ่งอาจเท่ากันหรือเปลี่ยนแปลง

17. **ตารางการสอบเทียบถังสำรอง (Tank calibration table)** คือตารางที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของระดับของของเหลว (the height of the liquid level) กับปริมาตรที่บรรจุได้ภายในถังสำรองที่ระดับนั้นๆ ภายใต้สภาวะเงื่อนไขจำเพาะ

18. **Plumbing** เป็นวิธีการสำหรับหาความเอียงของผนังถังสำรอง โดยการหาระยะห่างของผนังถังสำรองที่ระดับความสูงแต่ละระดับเทียบในแนวดิ่งตั้งฉากกับพื้นดินอ้างอิงเทียบกับเส้นรอบวงถังสำรองอ้างอิง (reference circumference)

19. **Quantity Filled** คือ ปริมาตรของเหลวที่ถูกใส่เข้าไปในถังเพื่อหาปริมาตรของ sump

20. **สภาวะอ้างอิงการวัด (Reference condition)** คือสภาวะที่กำหนดค่าแน่นอนของปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการวัด เช่นอุณหภูมิ ความดัน เป็นต้น

21. **Floating-Up Zone** สำหรับถังสำรองขนาดใหญ่รูปทรงแนวตั้งชนิดหลังคาถังฝาลอย (floating roof) คือขอบเขตนี้ครอบคลุมตั้งแต่ระดับของเหลวในขณะที่หลังคาถังฝาลอยยืนอยู่บนที่ค้ำยันของหลังคาเอง โดยหลังคาไม่ได้สัมผัสกับของเหลวแต่อย่างใด จนถึงระดับของเหลวเมื่อหลังคาถังฝาลอยเริ่มลอยขึ้นอย่างอิสระและค้ำยันของหลังคาทั้งหมดลอยอยู่เหนือพื้น ภายในขอบเขตดังกล่าวนี้จะมีปริมาตรส่วนหนึ่งที่ไม่สามารถวัดได้เนื่องจากการแทนที่ของเหลวภายในถังสำรองด้วยน้ำหนักของหลังคาถังฝาลอยและแรงเสียดทานระหว่างซีลรอบฝาถังลอยกับผนังถังสำรอง ในขณะความหมายกลับกันเมื่อของเหลวถูกถ่ายออกไปจากตัวถังสำรองก็จะเรียกว่า **Floating-Down Zone**

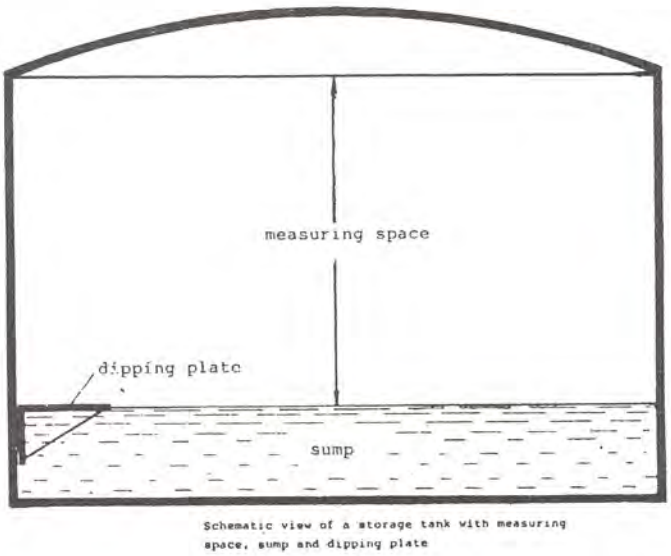
22. **Lowered Position หรือ service position หรือ position of use** เป็นตำแหน่งที่หลังคาถังฝาลอยยืนอยู่บนพื้นถังด้วยขาค้ำยัน (Supporting legs) ของหลังคาถังฝาลอย โดยเป็นตำแหน่งที่ขาค้ำยันถูกปรับระดับให้ระดับความสูงของหลังคาถังฝาลอยอยู่สูงจากพื้นถังต่ำสุด เป็นสภาวะการใช้งานถังสำรองปกติ ทั้งนี้ก็เพื่อให้สามารถใช้สอยปริมาตรถังสำรองให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด หรือสามารถดูดของเหลวออกจากถังสำรองได้มากที่สุดโดยหลังคาถังฝาลอยยังคงอยู่เหนือติดกับระดับของเหลวภายในถังสำรองโดยไม่มีช่องว่างอากาศระหว่างหลังคาถังฝาลอยกับระดับของเหลวภายในถังสำรอง

23. **Lifted Position หรือ cleaning position** เป็นตำแหน่งที่หลังคาถังฝาลอยยืนอยู่บนพื้นถังด้วยขาค้ำยัน (Supporting legs) ของหลังคาฝาถังลอย โดยเป็นตำแหน่งที่ขาค้ำยันถูกปรับระดับให้ระดับความสูงของหลังคาถังฝาลอยอยู่สูงจากพื้นถังสูงสุด ปกติแล้วจะพูดถึงในกรณีหยุดการใช้งานถังสำรองเป็นระดับความสูงของหลังคาถังฝาลอยที่ยอมให้เจ้าหน้าที่เข้าไปปฏิบัติงานภายในถังสำรองไม่ว่าจะหยุดการใช้งานถังสำรองเพื่อทำความสะอาดภายในถังสำรองหรือซ่อมแซมถังสำรองด้วยการเดินอยู่ภายในถังโดยไม่ต้องก้มศีรษะ

24. **Displacement Volume** คือปริมาตรที่ถูกแทนที่ด้วยอุปกรณ์ประจำถังที่ติดตั้งอยู่ภายในถังสำรอง เช่น ระบบท่อ, ขดลวดความร้อน (heating coils), หม้อระบายความร้อน (radiators) ส่วนเสริมสร้างความแข็งประจำถัง (stiffening element), ตัวกวน (agitators), บันได เป็นต้น

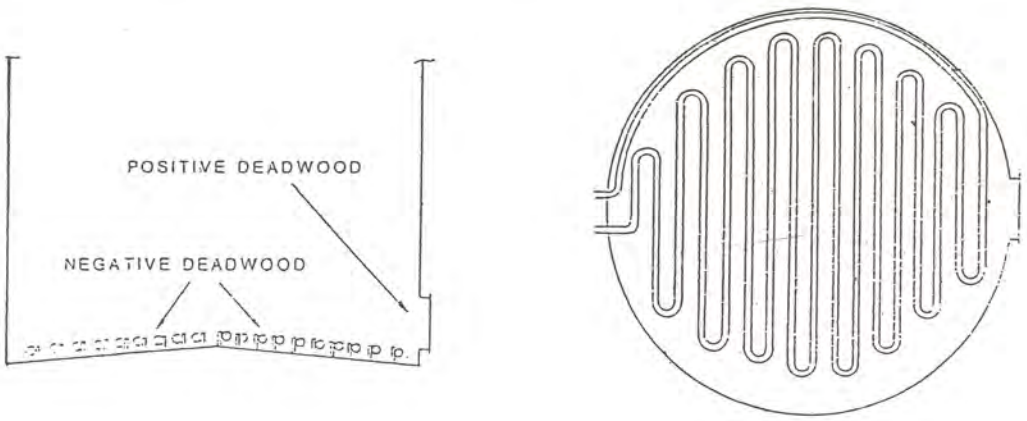
25. **Sump** คือปริมาตรบริเวณก้นถังสำรอง โดยจะไม่มีการหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรกับความสูงของระดับของเหลวแต่อย่างใด โดยปกติแล้วหมายถึงปริมาตรของเหลวตั้งแต่

ก้นถังสำรองจนถึงขอบบนสุดของแผ่นระดับอ้างอิง (dip plate) ดูรูปที่ 64



รูปที่ 64 ภาพประกอบคำนิยาม measuring, sump และ dipping plate

26. **Deadwood** (ดูรูปที่ 65) คือ fitting ใดๆ ที่ประกอบอยู่กับถังสำรองและมีผลต่อปริมาตรของถังสำรอง โดยถ้าหากปริมาตรของ fittings นั้นไปลดปริมาตรบรรจุของถังสำรองเราจะเรียกว่า "Negative deadwood" เช่นท่อระบายน้ำฝนของถังสำรองชนิดหลังคาฝาถังลอย, บันได เป็นต้น ในทางตรงกันข้ามหากปริมาตรของ fittings นั้นไปเพิ่มปริมาตรบรรจุของถังสำรองเราจะเรียกว่า "Positive deadwood" เช่น ทางเข้าถังสำรองหลัก (manhole), บ่อสำหรับใช้ดักน้ำและ sludge (sludge pit) และมีท่องอปลายจุ่มอยู่บริเวณก้นแล้วต่อออกไปนอกถังสำรองเพื่อระบายน้ำออกจากถังสำรอง เรียกว่า "Sump" (ดูรูปที่ 10)



รูปที่ 65 ตัวอย่าง deadwood ในที่นี้จะเป็น heating coils บริเวณพื้นถัง

27. **Stand pipes** ถังสำรองขนาดเล็กจะมีส่วนแสดงระดับของเหลวภายในถังซึ่งสามารถอ่านค่าได้หรือสังเกตุได้จากภายนอกถัง

28. Plate ring คือแผ่นเหล็กแต่ละแผ่นซึ่งได้รับผ่านการม้วนให้ได้ตามขนาดที่ต้องการสำหรับใช้ทำผนังถังสำรอง ขนาดและความยาวของ plate ring ขึ้นอยู่กับขนาดของถังสำรอง ดูรูปที่ 28

29. Shell Ring ในการก่อสร้างถังสำรองส่วนใหญ่แล้วหลังจากทำพื้นฐานรากเพื่อรองน้ำหนักของถังสำรองเสร็จแล้วก็จะเริ่มทำการเชื่อมประกอบพื้นถัง (bottom plates) ซึ่งประกอบด้วยแผ่นเหล็กจำนวนหลายแผ่นเข้าด้วยกันจากนั้นก็จะนำแผ่นเหล็กซึ่งได้รับผ่านการม้วนให้ได้ตามขนาดที่ต้องการหรือเรียกว่า "plate ring" สำหรับใช้ทำผนังถังสำรองจำนวนหลายแผ่นเชื่อมประกอบเข้าด้วยกันเป็นวงกลม โดยจะเริ่มเชื่อมให้แล้วเสร็จแต่ละชั้นเป็นรูปวงแหวนก่อนที่จะเริ่มเชื่อมประกอบผนังถังชั้นต่อไป ด้วยเหตุนี้จึงเรียกผนังถังสำรองแต่ละชั้นซึ่งเปรียบเสมือนเป็นวงแหวนนั้นว่า shell ring ดูรูปที่ 60

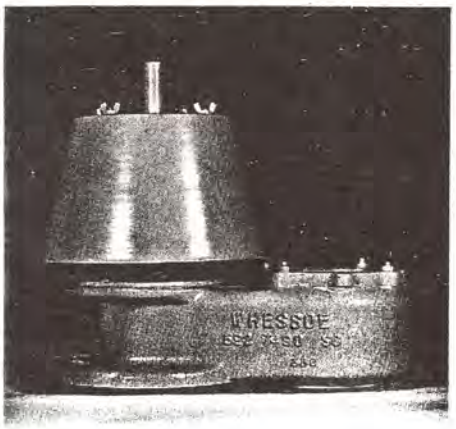
30. Bottom plate พื้นถังสำรองประกอบด้วยแผ่นโลหะจำนวนมากน้อยขึ้นอยู่กับขนาดของถังสำรองเชื่อมติดกันเป็นพื้นถังของถังสำรอง

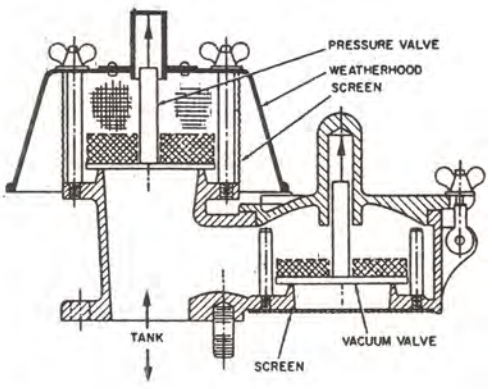
31. Roof plates แผ่นโลหะจำนวนมากน้อยขึ้นอยู่กับขนาดของถังสำรองเชื่อมติดกันเป็นหลังคาถังสำรอง

32. Bottom annular plates หรือ Annular plate เป็นส่วนหนึ่งของพื้นถัง (bottom plate) ส่วนที่รองรับผนังถัง (shell rings) ทั้งหมด โดยปกติแล้วมักจะมีความหนาของแผ่นเหล็กมากกว่า bottom plate

33. Plate ring ผนังถังสำรอง

34. Breather valves and free vents หรือ PV Vent เป็นวาล์วที่ใช้เพื่อรักษาสภาวะความดันและสูญญากาศภายในถังสำรองให้อยู่ที่สภาวะออกแบบ นั่นเท่ากับความดันภายในถังหรือสูญญากาศ (Pressure/vacuum) 20 mbar/6 mbar หรือ 56 mbar/6 mbar สำหรับถังสำรองชนิดความดันต่ำ ในกรณีที่เป็นเฉพาะ free vents อย่างเดียวนั้นเมื่อรวมความสามารถระบายอากาศของ free vents ทั้งหมดแล้วต้องเป็นความสามารถที่จะระบายอากาศได้ ณ สภาวะความดัน (Pressure) 7.5 mbar และที่สภาวะสูญญากาศ(vacuum) 2.5 mbar นอกจากนี้บริเวณด้านทางออกของ Breather valves and free vents อาจทำการติดตั้งตะแกรงตาข่ายป้องกันนกได้แต่ต้องมีความละเอียดไม่มากกว่า 6 mm square ดูรูปที่ 11 และ 66





Conservation vent.

รูปที่ 66 PV- Vent ปกติจะพบเห็นบนหลังคาถังสำรองชนิด Cone roof

35. **Stairways** บันไดทางขึ้นถังสำรอง ส่วนใหญ่จะติดตั้งแนบไปกับรูปทรงลำตัวกระบอกของผนังถังในทิศทวนเข็มนาฬิกา และเป็นด้านที่มีลมพัดแรงผ่านตัวถังสำรอง ต้องไม่เป็นที่อับลม เพื่อไม่ให้มีการสะสมของไอของผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมซึ่งอาจเป็นอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงาน เช่นอาจก่อให้เกิดการระเบิดหรือ อาจสร้างความระคายเคืองแก่ระบบทางเดินหายใจ เป็นต้น

36. **Manholes** คือช่องทางเปิดสำหรับผู้ปฏิบัติสามารถเข้าไปภายในถังสำรอง ทั้งนี้เพื่อใช้ประโยชน์ในกรณีที่กำลังก่อสร้างหรือซ่อมแซม หรือเข้าไปเพื่อทำการล้างถังสำรอง หรือทำการสอบเทียบถังสำรอง เป็นต้น

ส่วนใหญ่ในกรณีของถังสำรองชนิด fixed roof จะมี manhole ขนาด 20 นิ้วแบบ screw-down อยู่บนบริเวณหลังคาและมี manhole ขนาด 24 นิ้วแบบ bolted-cover ติดตั้งอยู่กับ shell ring ชั้นแรก(ผนังถังใกล้พื้นดิน) ดูรูปที่ 10

สำหรับถังสำรองชนิด floating roof นั้นส่วนใหญ่จะมี manhole ขนาด 24 นิ้วแบบ bolted-cover ติดตั้งอยู่กับ shell ring ชั้นแรก(ผนังใกล้พื้นดิน) และมีขนาด 30 นิ้วในกรณีที่ติดตั้งอยู่บนฝาถังลอย หรือในส่วนของ pontoon ของฝาถังลอย ดูรูปที่ 14

37. **Shell nozzles for inlet and outlet** เป็นช่องทางเข้าออกถังสำรองหลักๆ ได้แก่ท่อส่งของเหลวเข้าถังสำรองและท่อจ่ายของเหลวออกจากถังสำรอง ปกติแล้ว shell nozzles ต่างๆจะติดตั้งอยู่บริเวณผนังถัง ยกเว้นในกรณีบางถังที่มีพื้นฐานรากรองรับถังสำรองที่แข็งแรงไม่มีการทรุดตัวก็อาจออกแบบให้มี Bottom nozzles คือท่อรับ-จ่ายของเหลวเข้าออกถังสำรองจะเป็นท่อข้องอต่อเชื่อมมาจากทางด้านใต้ถังสำรองผ่านพื้นถังแทนที่ผ่านผนังถัง ดูรูปที่ 5 (6)

38. **Drainage arrangements** การจัดระบบการระบายน้ำที่อาจผสมอยู่กับผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการจัดเก็บหรืออาจใช้ในการ drain ของเหลวออกจากถังสำรองด้วยเหตุผลที่จะเปลี่ยนชนิดผลิตภัณฑ์ในการจัดเก็บหรือเพื่อทำการซ่อมแซมถังสำรอง ดังนั้นการจัดให้ถังสำรองมีระบบการระบาย (drainage) จึงเป็นเรื่องที่ต้องพิจารณาถึงสภาวะความแน่นของดินหรือฐานรากของถังและการทำงานของถัง ทั้งนี้เพื่อทำการวางแนวท่อต่อเชื่อมระหว่างถังสำรองกับภายนอก รูปแบบการระบายของเหลวจะมีด้วยกัน 2 รูปแบบหลักคือ

- ทำให้พื้นถังเอียงเข้าสู่จุดศูนย์กลางถังโดยทำเป็น center sump หรือพูดอีกนัยหนึ่งคือจุดศูนย์กลางถังสำรองเป็นจุดต่ำสุด
- ทำให้พื้นถังเอียงเทลงจากจุดศูนย์กลางถังออกไปในแนวรอบๆขอบถังหรือผนังถังหรือพูดอีกนัยหนึ่งคือจุดศูนย์กลางถังสำรองเป็นจุดสูงสุด

ยกตัวอย่างเช่นหากจำเป็นต้องใช้ถังสำหรับจัดเก็บผลิตภัณฑ์ที่มีอุณหภูมิเกิน 100 องศาเซลเซียสก็ควรเป็นแบบพื้นถังเอียงเทลงจากจุดศูนย์กลางถังออกไปในแนวรอบๆขอบถังหรือผนังถัง หรือในกรณีที่สภาพดินบริเวณดังกล่าวมีการทรุดตัวคงที่แล้วก็สามารถทำระบบการระบายภายในถังในแบบดังกล่าวก็ได้ โดยปกติความลาดเอียงของพื้นถังจะไม่ควรเกิน 1: 120 และระดับสูงสุดเทียบกับระดับต่ำสุดต้องไม่ต่างกันเกิน 300 mm ในกรณีถังสำรองขนาดใหญ่

39. **Primary roof seal** ในกรณีถังสำรองชนิด floating roof จะเป็นส่วนที่ป้องกันการเล็ดลอดของของเหลวออกจากถังบริเวณของขอบฝาถังลอยกับผนังถัง ซีลนี้เป็นซีลที่สัมผัสโดยตรงกับของเหลวที่จัดเก็บไว้ภายในถังสำรอง ดูรูปที่ 17, 18, 19, และ 20

40. **Secondary roof seals** ในกรณีถังสำรองชนิด floating roof ติดตั้งบริเวณเดียวกับ primary roof seal แล้วแต่การออกแบบ แต่เป็นซีลที่ไม่ได้สัมผัสกับของเหลวภายในถังโดยตรง

อาจมีวัตถุประสงค์ป้องกันฝุ่นหรือสิ่งสกปรกตกลงเข้าไปในถังสำรอง ระบบ Roof seal ของถังสำรองชนิด floating roof อาจมีทั้ง primary และ secondary seal หรืออาจมีเฉพาะ primary seal ทั้งนี้แล้วแต่การออกแบบ ดูรูปที่ 17, 18, 19, และ 20

41. **Supporting legs** หรือ roof supports ในบางครั้งอาจเรียกสั้นๆว่า "legs" ในกรณีถังสำรองชนิด floating roof ขาค้ำยันฝาถังลอยซึ่งติดตั้งกับหลังคาถังกระจายไปทั่วด้วยจำนวนมากพอสมควรขึ้นอยู่กับน้ำหนักของหลังคาถังฝาลอยในการออกแบบ โดยแต่ละขาค้ำยันทำหน้าที่รองรับน้ำหนักของหลังคาฝาถังลอย ขาค้ำยันแต่ละตัวจะมีช่องเจาะสำหรับสอดสลักจำนวนหลายช่องเพื่อสามารถปรับระดับความสูงของหลังคาถังฝาลอยได้ โดยกรณีที่ต้องการซ่อมแซมถังสำรองก็จะทำการสอดสลักในช่องที่เมื่อขาค้ำยันยืนบนพื้นถังแล้วหลังคาฝาถังลอยอยู่ในตำแหน่งสูงสุดทั้งนี้เพื่อสะดวกต่อการปฏิบัติงาน ในขณะเดียวกันเพื่อให้การใช้ถังมีประสิทธิภาพสูงสุด การปรับระดับความสูงของขาค้ำยันของหลังคาฝาถังลอยจะต้องปรับให้หลังคาฝาถังลอยอยู่ในระดับตำแหน่งที่ต่ำสุด ดูรูปที่ 16

42. **Roof drains** ถังสำรองชนิด floating roof จะมีท่อระบายของเหลวจากหลังคาถังสำรองโดยเดินท่อจากหลังคาถังฝาลอยผ่านเข้ามาภายในถังสำรองเพื่อต่อออกไปยังผนังถังโดยมีท่อต่อออกไปยังภายนอกถังสำรองอีกทีหนึ่ง ดังนั้นจึงเรื่องจำเป็นที่ต้องมี check valve เพื่อป้องกันการไหลย้อนกลับของน้ำฝนได้กลับขึ้นหลังคาถังฝาลอยหลังจากถูกระบายออกไป หรือในกรณีที่ท่อระบายของเหลวมีข้อต่อชนิด swivel joint ซึ่งข้อต่อของท่อระบายจะอยู่ภายในถังสำรองดังนั้นหากข้อต่อของท่อระบายเกิดรั่วก็อาจทำให้ของเหลวภายในถังสำรองดันตัวเองเข้าระบบท่อระบายของเหลวขึ้นมายังบนหลังคาหรือระบายออกไปภายนอกถังสำรองได้ นอกจากนี้ไม่ควรติดตั้ง emergency drains (ดูรูปที่ 16) กับถังสำรองชนิด floating roof ที่แบบ pontoon–type roof เช่นกันเนื่องจากปกติแล้วระดับน้ำมันภายในถังสำรองจะอยู่สูงกว่าระดับน้ำฝนบนหลังคาถังฝาลอย (บริเวณขอบหลังคาฝาถังลอย) ดังนั้นเมื่อระดับน้ำฝนบนหลังถังฝาลอยสูงขึ้นจนทำให้หลังคาถังฝาลอยเริ่มจมตัวลงระดับของเหลวภายในถังสำรองก็จะถูกแทนที่ด้วยน้ำหนักของน้ำฝนทำให้มีการทะลักของของเหลวภายในถังสำรองออกมาโดยผ่านขึ้นมาทางซีลขอบฝาถังลอยมาสะสมอยู่บนหลังคาถังฝาลอย ดังนั้นหากมี emergency drains ของเหลวภายในถังสำรองจะถูกระบายออกไปก่อนแทนที่จะเป็นน้ำซึ่งเรื่องที่อันตรายมากทีเดียว

ตารางที่ 2.1 ขนาดของท่อระบายน้ำจากหลังคาถังฝาลอย
สำหรับถังชนิด floating roof

Tank Diameter (m)	Roof Drain Size$_{min}$
Up to 20 m	DN 75
Over 20 m to 60 m	DN 100
60 m or more	DN 150

43. **Guide pole หรือ Level gauge pole** สำหรับถังสำรองชนิด floating roof ส่วนใหญ่จะเป็นท่อขนาดใหญ่พอสมควรทำหน้าที่เป็นตัวคอยกำกับให้ฝาถังลอยเคลื่อนที่ขึ้นลงในแนวดิ่งแนวเดียวคงที่ตลอดเวลา อีกทั้งยังสามารถใช้เป็น dipping socket หรือ gauge hatch ได้อีกด้วย

44. **High-level alarm** อุปกรณ์เตือนเพื่อป้องกันการส่งผลิตภัณฑ์เข้าถังสำรองจนล้นถังสำรอง

45. **Earthing** การป้องกันฟ้าผ่าเป็นเรื่องที่สำคัญเรื่องเรื่องที่ต้องระมัดระวัง การติดตั้งระบบสายกราวด์ประจำถังสำรองจึงเป็นเรื่องที่ขาดไม่ได้ และควรได้รับการตรวจสอบเป็นระยะว่ายังคงอยู่ในสภาพทำงานปกติหรือไม่

บทที่ 3

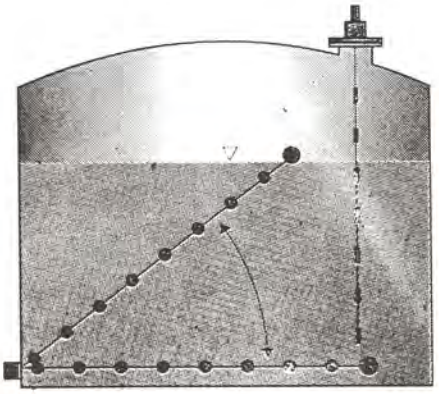
ภาพรวม
การวัดปริมาตรถังสำรอง

ถึงแม้ว่าแนวโน้มของการใช้มาตรวัดปริมาตรของเหลวเพื่อวัดปริมาตรการจ่ายของเหลวผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมลงเรือหรือรถบรรทุกหรือแม้ผ่านระบบเครือข่ายระบบขนส่งทางท่อขนาดใหญ่ด้วยวัตถุประสงค์ในเชิงพาณิชย์เพิ่มขึ้นมากก็ตาม แต่สถานการณ์ในทางปฏิบัตินั้นผู้ขายหรือผู้ซื้อมีการตรวจสอบและยืนยันตัวเลขปริมาตรที่วัดได้จากมาตรวัดปริมาตรของเหลวเทียบกับปริมาตรที่หาค่าได้จากถังสำรองขนาดใหญ่รูปทรงแนวตั้งของแต่ละฝ่ายว่ามีความสอดคล้องตรงกันหรือไม่ นั้นดูเหมือนว่าการให้ความสำคัญของการวัดแบบ static (การวัดปริมาตรจากถังสำรองด้วยการวัดระดับของเหลวแล้วแปลงไปเป็นค่าปริมาตรด้วยตารางสอบเทียบประจำถังสำรอง) ยังได้รับความเชื่อถือสูงมากกว่าการวัดแบบ dynamic (วัดปริมาตรด้วยมาตรวัดปริมาตรของเหลว เช่น PD, Turbine เป็นต้น)

รูปที่ 67 บริเวณลานถัง (tank farm) พร้อมกับท่าเทียบเรือ (jetty) เพื่อการขนถ่าย

ในการหาปริมาตรที่จ่ายเข้าถังสำรองหรือจ่ายออกจากถังสำรองดังกล่าวนั้นวิธีการดังเดิมจะกระทำด้วยการวัดโดยเจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงานประจำถังสำรองของลานถัง (tank farm) ดูรูปที่ 67 นั้นๆ ซึ่งจะเป็นการใช้เทปวัด (sounding tape) พร้อมเทอร์โมมิเตอร์ในการวัดหาอุณหภูมิเฉลี่ยภายในถังสำรองกันที่ระดับแตกต่างกันแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย (ดูรูปที่68) ตลอดจนหาปริมาตรน้ำซึ่งติดมากับการขนถ่ายผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมอาจตกค้างอยู่ที่ก้นถังสำรอง หลังจากได้ตัวเลขที่เกี่ยว

ข้องครบถ้วนข้อมูลดังกล่าวก็จะถูกนำไปคำนวณหาปริมาตรที่มีอยู่ภายในถังสำรองต่อไปด้วยการใช้ประกอบกับตารางการสอบเทียบถังสำรอง (tank calibration table) แต่อย่างไรก็ตามเมื่อเทคโนโลยีได้มีการพัฒนาขึ้นเครื่องวัดระดับของเหลวภายในถังสำรองอัตโนมัติพร้อมตัวตรวจจับวัดอุณหภูมิ (temperature sensors) ที่ติดตั้งที่ระดับความสูงในแต่ระดับได้รับความน่าเชื่อถือและให้ผลการวัดที่มีเสถียรภาพสูงมากยิ่งขึ้น การยอมรับและนิยมใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการเริ่มเพิ่มสูงมากขึ้น



รูปที่ 68 ลักษณะการติดตั้งตัวตรวจจับวัดอุณหภูมิกระจายภายในถังสำรอง วิธีนี้ให้ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยภายในถังสำรองที่ละเอียดดีมากที่สุดวิธีหนึ่ง

ในการวัดปริมาตรภายในถังสำรองด้วยเจ้าหน้าที่ (gauger) นั้นความแม่นยำเที่ยงตรงของผลการวัดหาค่าปริมาตรภายในถังสำรองแทบจะกล่าวได้ว่าขึ้นอยู่กับความสามารถเฉพาะตัวและประสบการณ์ของเจ้าหน้าที่ดังกล่าวและความผิดพลาดของผลการวัดปริมาตรก็มีผลต่อการขาดทุนและกำไรของบริษัทที่ดำเนินกิจการดังกล่าวด้วยเช่นกัน ในแง่ของรัฐก็จะมีผลเสียก็คือภาษีที่รัฐสามารถจัดเก็บได้ครบถูกต้องตามความเป็นจริงขาดหายไป การสูญเสียที่เกิดขึ้นจึงมีผลกระทบทั้งภาคเอกชนผู้ประกอบการที่ต้องสูญเสียไปในแง่ของประสิทธิภาพในการจัดการหรือได้ประโยชน์ในสิ่งที่ไม่ควรรับ ในส่วนผลกระทบต่อภาครัฐก็จะสูญเสียรายได้ในรูปภาษีอากรเพื่อนำไปพัฒนาประเทศชาติ นอกจากนี้อาจมีผลกระทบในเชิงลบต่อสังคมตามมาคือไม่สามารถรักษาสภาวะความเป็นธรรมและสมดุลในทางการค้าในสังคมได้

นอกจากนี้ผลผิดของการวัดปริมาตรจำนวนมากๆในแต่ละคราวหนึ่งนั้น ไม่ใช่เกิดจากเจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงานแต่เพียงปัจจัยเดียวเท่านั้นแต่ยังมีปัจจัยอื่นๆที่ก่อให้เกิดผลผิดในการวัดปริมาตรด้วยเช่นกัน ดังนั้นเราจึงต้องทำความเข้าใจและให้ความสำคัญกับปัจจัยเหล่านั้นด้วย เราพอแบ่งรูปแบบของผลผิด (Type of error) และแหล่งหรือสาเหตุของผลผิด (Sources of error)ได้ว่า

รูปแบบของผลผิด (Type of error)

เราพอแบ่งผลผิดของการวัดปริมาตรคราวละจำนวนมากของผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม เช่นน้ำมันดิบ, ดีเซล หรือเบนซิน เป็นต้น ออกเป็น 3 ประเภทใหญ่ๆด้วยกันคือ

1. ผลผิดกระบวนการวัด (Parasitic Error หรือ Spurious Error) ส่วนใหญ่พบว่าผลผิดชนิดนี้มีค่าสูงมาก ผลผิดกระบวนการวัดเกิดจากผลผิดขณะที่ดำเนินการวัดอยู่อาจเป็นผลจากผู้ทำการวัด เช่น อ่านผลการวัดผิด, เครื่องมืออุปกรณ์ทำงานผิดไปหรือเสียหายอยู่หรืออาจใช้เครื่องมือไม่ถูกต้องเหมาะสมกับลักษณะงาน Spurious error นี้หรือพูดง่ายๆว่าปฏิบัติการวัดด้วยความผิดพลาดพอยกตัวอย่างได้แก่ อ่านค่าตัวเลขบนเทปวัด (sounding tape) ผิดไป เช่นวัดระดับความสูงของเหลวภายในถังสำรองได้จริงเท่ากับ 12.3 เมตรแต่อ่านและบันทึกผลเป็น 13.2 เมตร หรือแม้แต่อ่านตัวเลขบนเครื่องวัดอุณหภูมิผิดพลาดหรืออ่านตัวเลขถูกต้องแต่บันทึกผิดก็เช่นกัน ด้วยเหตุนี้หากเจ้าหน้าที่ที่ทำงานคลุกคลีและเกี่ยวข้องกับการวัดปริมาตรถังสำรองและคำนวณปริมาตรอยู่เป็นประจำและพอทราบข้อมูลเก่าอยู่บ้างตลอดจนติดตามงานมาตลอดเป็นประจำก็พอจะสามารถสังเกตุและตรวจสอบหาผลผิดดังกล่าวได้เนื่องจากผลผิดดังกล่าวค่อนข้างมีค่าจำนวนมากจนอาจพอผิดสังเกตุได้ในขั้นตอนการคำนวณหาปริมาตร ดังนั้นหากทราบปัญหาสาเหตุของผลผิดประเภทนี้เราก็พอสามารถที่จัดการแก้ไขได้ด้วยการจัดระเบียบการปฏิบัติให้แก่เจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงาน โดยจัดให้มีเจ้าหน้าที่อย่างน้อยจำนวน 2 คนทำการวัดระดับความสูงที่อ่านได้จากเทปวัดและเครื่องวัดอุณหภูมิ เพื่อทำการตรวจสอบผลการอ่านค่าซึ่งกันและกันว่าสอดคล้องหรือแตกต่างกันมากเกินความเป็นจริงหรือไม่ ก่อนสรุปผลเพื่อนำตัวเลขดังกล่าวไปคำนวณหาปริมาตรภายในถังสำรอง ด้วยเหตุนี้ผลผิดประเภทนี้ก็สามารถลดลงให้น้อยลงหรือไม่ผิดพลาดได้อีกต่อไป

2. ผลผิดระบบ (Systematic Error) หรือ ค่าอคติ (Bias) เป็นการเบี่ยงเบนจุดการทำงานของเครื่องชั่งตวงวัดอย่างสม่ำเสมอและเป็นระเบียบ หรือเมื่อการวัดกระทำภายใต้สภาวะเงื่อนไขที่ค่าปริมาณกำหนดเหมือนๆกัน แต่ยังคงให้ค่าผลการวัดคงที่ทั้งค่าปริมาณและเครื่องหมายและอาจเปลี่ยนแปลงไปเมื่อเงื่อนไขเปลี่ยนไป ตัวอย่างของผลผิดชนิดนี้ ได้แก่การสอบเทียบถังสำรองไม่มีความแม่นยำถูกต้องเท่าที่ควร ดังนั้นเมื่อทำการวัดและคำนวณปริมาตรภายในถังสำรองจึงให้ผลของปริมาตรมากหรือน้อยเกินความเป็นจริง

หากเราไม่สามารถหาผลผิดระบบได้แต่เมื่อพิจารณาแล้วว่าผลผิดดังกล่าวนี้มีค่าเล็กน้อยเมื่อเทียบกับค่าความไม่แม่นยำเราจะปฏิบัติให้ผลผิดระบบถือเป็นผลผิดสุ่มเมื่อทำการคำนวนหาค่าความไม่แน่นอน แต่ถ้าหากพิจารณาแล้วว่าผลผิดดังกล่าวนี้มีค่ามากเมื่อเทียบกับค่าความไม่แม่นยำให้ประเมินค่าผลผิดระบบและนำไปพิจารณาเมื่อทำการคำนวณหาความไม่แม่นยำของการวัด

ในกรณีของถังสำรองก็เช่นเดียวกัน โดยทั่วไปมักพบว่าผลผิดที่เกิดขึ้นจะผิดพลาดไปในทิศทางเดียว นั้นหมายความว่าหากวัดปริมาตรของถังสำรองแล้วเกิดผลผิดโดยจะแสดงปริมาตรมากเกินความเป็นจริงที่ระดับของเหลวภายในถังสำรองที่ระดับหนึ่งแล้วเมื่อทำการวัดที่ระดับอื่นที่แตกต่างกันออกไปก็จะแสดงปริมาตรเกินความเป็นจริงที่ทุกระดับความสูงของของเหลวภายในถังสำรอง ดังนั้นปกติแล้วไม่ค่อยพบว่าระดับของเหลวถายในถังสำรองที่ความสูงหนึ่งให้ผลผิดปริมาตรมากกว่าค่าปริมาตรจริงในขณะระดับของเหลวถายในถังสำรองที่อีกความสูงหนึ่งที่แตกต่างกันให้ผลผิดปริมาตรน้อยกว่าค่าปริมาตรจริง ด้วยเหตุนี้แม้ว่าเราทำการตรวจวัดระดับความสูงของเหลวภายในถังสำรองด้วยเทปวัดและเครื่องวัดอุณหภูมิด้วยความระมัดระวังและเที่ยงตรงอย่างไรก็ตามก็ไม่สามารถลดผลผิดที่เกิดจากผลผิดของระบบ (system error) ได้

ผลผิดระบบเป็นผลผิดที่เราอาจสามารถหาสาเหตุได้และไม่ได้ เนื่องจากผลผิดระบบนี้จะมีค่าเล็กน้อยยากที่สังเกตุเห็นได้ชัดเจนในการคำนวณอีกทั้งผลผิดระบบมักจะเป็นผลผิดในทิศทาง

เดียวกันจึงให้ผลการคำนวณดูแล้วดีน่าถูกต้อง แต่อย่างไรก็ตามผลผิดระบบดังกล่าวควรได้รับการตรวจสอบและกำจัดผลผิดออกไปจากระบบการวัดปริมาตรของถังสำรอง การหาผลผิดระบบได้โดยการคำนวณหรือโดยใช้วิธีการที่เหมาะสมในการกำจัดค่าผลผิดระบบนี้และการลดขนาดค่าผลผิดแบบนี้ สามารถทำได้โดยการนำค่าผลผิดนี้ไปทำการแก้ไขผลที่ได้จากการวัด การเพิ่มจำนวนครั้งของการวัดระดับของเหลวภายในถังสำรองก็อาจลดผลผิดชนิดนี้ลงได้

3. ผลผิดสุ่ม (Random Error) ค่าผลผิดซึ่งจะเปลี่ยนแปลงไปโดยไม่สามารถคาดคะเนได้ทั้งค่าของปริมาณและเครื่องหมายเมื่อทำการวัดในจำนวนครั้งที่แน่นอนมากจำนวนหนึ่งกระทำที่ปริมาณเดียวกันภายใต้สภาวะการทำงานเดียวกัน ค่าผลผิดแบบนี้มีค่าไม่คงที่และไม่สามารถทราบค่าความผลผิดที่แน่นอนได้ โดยจะมีลักษณะเป็นแบบสุ่ม (Random) เพียงแต่อาจสามารถระบุช่วงขอบเขตที่แน่นอนของค่าผลผิดสุ่มด้วยความมั่นใจระดับหนึ่งโดยใช้หลักการทางสถิติ ว่าหากทำการวัดใดๆภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน (เครื่องวัดเดียวกัน, ผู้ทำการวัดเดียวกัน, สภาวะแวดล้อมเดียวกัน) แล้วผลผิดสุ่มต้องมีค่าไม่เกินช่วงขอบเขตที่แน่นอนนั้นๆ ค่า Random Error อาจจะสามารถทำการลดขนาดของผลผิดได้โดยการเพิ่มจำนวนครั้งของการทดสอบให้มากขึ้น ตัวอย่างผลผิดชนิดนี้ได้แก่ ทำการวัดระดับของเหลวภายในถังสำรองทันทีที่หยุดการสูบของเหลวเข้า-ออกถังสำรองซึ่งระดับผิวหน้าของเหลวภายในถังยังคงมีการปั่นป่วนและไม่นิ่ง ด้วยเหตุนี้เราจำเป็นต้องยอมรับว่าผลผิดดังกล่าวยากที่จะกำจัดออกจากผลการวัดปริมาตรแม้ว่าจะทำการวัดด้วยความรอบคอบหรือทำการวัดซ้ำก็ตาม

แหล่งหรือสาเหตุของผลผิด (Sources of error)

จากที่ได้กล่าวถึงประเภทของผลผิดทั้ง 3 ชนิดมาแล้วต่อไปนี้เรามาดูแหล่งหรือสาเหตุของผลผิดกันบ้าง

1. วัตถุที่ต้องการวัด (Measurement object) ในที่นี้ก็คือผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมซึ่งเป็นของเหลวบรรจุอยู่ภายในถังสำรอง เนื่องจากเป็นการยากที่เราจะสามารถวัดปริมาตรที่ถูกต้องแท้จริงของของเหลวภายในถังสำรองดังกล่าว หากพิจารณาคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมเราพบว่าผลิตภัณฑ์ของเหลวที่มีค่าความหนืด (viscosity) สูงจะมีปัญหามากกว่าผลิตภัณฑ์ของเหลวที่มีค่าความหนืด (viscosity) ต่ำ แต่ในกรณีที่เป็นของเหลวที่สามารถระเหยได้ง่ายหรือมีจุดเดือดต่ำ (volatile products) ก็สร้างปัญหาในการวัดและการปฏิบัติงานได้มากเช่นเดียวกัน

2. เครื่องมือและอุปกรณ์วัด (Measurement instruments) นับเป็นแหล่งหรือสาเหตุที่ก่อให้เกิดผลผิดได้ง่ายอีกสาเหตุหนึ่งและมักพบได้บ่อยเช่นกัน เนื่องจากเจ้าหน้าที่ผู้ทำการวัดปริมาตรภายในถังสำรอง (gauger) โดยปกติแล้วจำเป็นต้องใช้เครื่องมือวัดหลายชนิดด้วยกันเพื่อหาระดับความสูงของเหลวภายในถัง, อุณหภูมิ, ความหนาแน่น เป็นต้นดังนั้นจำเป็นอย่างยิ่งที่เครื่องมือและอุปกรณ์ดังกล่าวต้องมีความเหมาะสมและใช้ได้ด้วยความถูกต้องตามคู่มือการใช้ตลอดจนได้รับการสอบเทียบจากหน่วยงานที่น่าเชื่อถือว่ามีความแม่นยำถูกต้องอยู่ในระดับที่เหมาะสมกับการทำงานในภาคสนามและให้ผลการวัดที่มีผลผิดในระดับที่ยอมรับได้ แต่พบว่าเจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงานในลานถัง (tank farms) ของหลายสถานที่ทำการยังใช้เครื่องมืออุปกรณ์ทำงานที่ไม่เหมาะสมและไม่เพียงพออีกทั้งขาดการได้รับการสอบเทียบในช่วงระยะที่เหมาะสมกับหน่วยงานที่

น่าเชื่อถือ แต่หลังจากการแข่งขันทางการค้ามีมากขึ้นผู้ประกอบการหลายสถานที่เริ่มให้ความสนใจในการที่จัดให้เครื่องชั่งตวงวัดได้รับการสอบเทียบในช่วงระยะเวลาที่กำหนดทั้งนี้ก็เพื่อให้บริษัทหรือหน่วยงานของตัวเองได้รับมาตรฐานตามหลักสากล เช่น ISO 9000 เป็นต้น ก็ดีขึ้นน่ะครับในภาพรวม

3. เจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงาน (Gauger) ซึ่งแน่นอนว่าเป็นสาเหตุที่ไม่อาจละเลยและมีแนวโน้มที่เป็นสาเหตุของผลผิดมากน้อยขึ้นอยู่กับความเข้าใจในการปฏิบัติงานทั้งทางทฤษฎีและภาคปฏิบัติรวมทั้งประสบการณ์ที่มีเพียงพอหรือไม่ พบว่าคุณภาพหรือมาตรฐานของเจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงาน (gauger) ค่อนข้างมีความแตกต่างกันอย่างมากเมื่อเทียบกันไม่ว่าระดับหน่วยงานภายในประเทศหนึ่งหรือระดับระหว่างประเทศและมักพบว่าหากเจ้าหน้าที่ผู้หนึ่งที่มีความสามารถและผลปฏิบัติงานมีความน่าเชื่อถือแล้วตัวเจ้าหน้าที่ดังกล่าวมักถูกใช้ให้ปฏิบัติงานเกินขีดความสามารถซึ่งทำให้สภาพร่างกายล้าและไม่เหมาะสมกับการปฏิบัติงานผลที่ตามมาก็คือผลผิดในการวัดปริมาตรภายในถังสำรอง

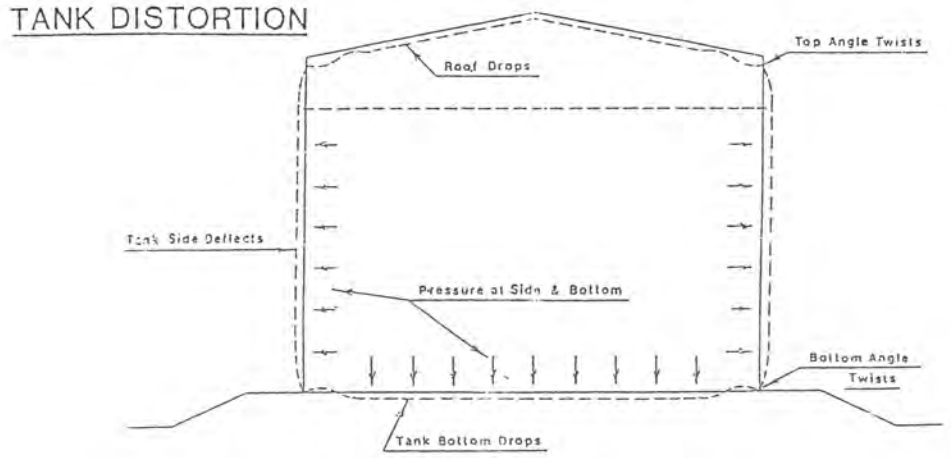
4. สภาพแวดล้อมในการวัด (Measurement environment) ไม่ได้เพียงแต่ครอบคลุมถึงสภาพอากาศ, ฝนตกแดดออก หรือมีลมพัดแรงจัดซึ่งล้วนเป็นสิ่งกีดขวางและเป็นอุปสรรคในขณะทำงานแต่ยังคงรวมไปถึงปัจจัยต่างๆ เช่น สภาพแสงสว่างเพียงพอต่อการปฏิบัติงานหรือไม่ หรือลักษณะการออกแบบบริเวณและตำแหน่งของช่องทางของการหย่อนเทปวัดระดับความสูงของเหลวภายในถังสำรอง (sounding tape) หรือในส่วนของโครงสร้างของตัวถังสำรอง ความมั่นคงของตำแหน่งอ้างอิง (reference point) ไม่ควรมีการเคลื่อนที่ตามหลังคาถังสำรองในแบบที่เป็น cone roof เป็นต้น

นอกจากนี้ยังมีมุมมองที่น่าสนใจอีกหลายมุมมอง เช่น การบิดเบี้ยวของตัวถัง (tank distortion) หรือถังชนิดที่เป็นหลังคาลอย (floating roof tank) ซึ่งมีลักษณะของปัญหาเฉพาะตัว

การบิดเบี้ยวของตัวถัง (Tank distortion)

การที่ถังสำรองมีการบิดเบี้ยวหลังจากบรรจุของเหลวเข้าภายในถังสำรองนั้นยิ่งเพิ่มและเป็นสาเหตุของปัญหาและความแม่นยำของการวัด ลักษณะและรูปร่างของพื้นถังสำรองอาจมีการเปลี่ยนแปลงอย่างมากหลังจากรับน้ำหนักบรรทุกของของเหลวภายในถังสำรองทั้งนี้ขึ้นอยู่กับรูปร่างเดิมของพื้นถังสำรอง, ความหนาของแผ่นเหล็กที่ใช้ทำพื้นถังสำรอง, ความแข็งแรงของโครงสร้างเพื่อรองรับน้ำหนักตัวถังสำรองทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดและรูปแบบของพื้นฐานรากของถังสำรองในแต่ละสถานที่ว่าออกแบบให้รองรับน้ำหนักได้อย่างปลอดภัยที่น้ำหนักบรรจุถังเท่าไร เป็นต้น

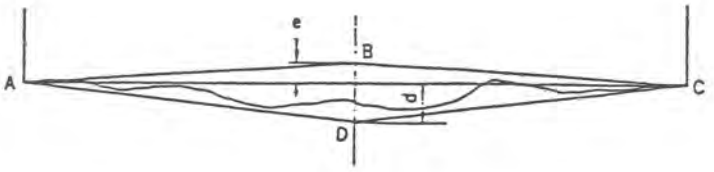
โดยปกติแล้วพื้นถังสำรองจะมีการให้ตัวและยืดหยุ่นอยู่ในระดับหนึ่ง ไม่เป็นพื้นถังที่ราบเรียบสม่ำเสมอตลอดพื้นถังสำรองเนื่องจากพื้นถังสำรองเกิดจากการเชื่อมประกอบของแผ่นโลหะจำนวนหลายแผ่นเข้าด้วยกันการดึงและผลักระหว่างแผ่นเหล็กด้วยกันเองเพราะผลจากขั้นตอนการเชื่อมโลหะแผ่นเข้าด้วยกัน ถึงแม้มีบริษัทผู้เชี่ยวชาญในการเชื่อมจะจัดให้มีขั้นตอนการเชื่อมและรูปแบบการเชื่อมของแผ่นโลหะเพื่อลดการดึงและผลักซึ่งพอสามารถลดการโก่งตัวหรือหดตัวของพื้นถังลงได้ในระดับที่น่าพอใจก็ตาม แต่เมื่อถังสำรองถูกใช้งานไประยะหนึ่งหากโครงสร้างถังสำรองและโครงสร้างฐานรากมีการปรับตัวและทรุดตัวลงไปยังอีกตำแหน่งหนึ่งแล้วพื้นถังสำรองก็จะมีการเสียรูปทรงต่อมาได้เช่นกัน นอกจากนี้ยังพบว่าพื้นถังสำรองยังเปลี่ยนแปลงรูปทรงตามระดับความ



รูปที่ 69 การบิดเบี้ยวของถังสำรองและการเบ่งตัวของผนังถังเมื่อถังสำรองถูกใช้งาน

สูงของเหลวภายในถังสำรองหรือน้ำหนักของของเหลวที่กดทับอยู่ด้วยเช่นกัน ส่งผลให้ผลการสอบเทียบถังสำรองผิดพลาดได้ง่ายหากทำการสอบเทียบแบบแห้ง (dry calibration) ซึ่งจะกล่าวในบทต่อๆไป แต่สามารถลดปัญหาดังกล่าวให้น้อยลงได้หากทำการสอบเทียบแบบเปียก (wet calibration)

Bottom Deformation (d = 2e, e: height by design camber)



รูปที่ 70 การบิดเบี้ยวเสียรูปทรงของพื้นถังที่ไม่เป็นระเบียบ

จากการทดสอบและติดตามผลการสอบเทียบถังสำรองขนาดใหญ่รูปทรงแนวตั้งพบว่าจำนวนมากกว่า 90 % ของการการบิดเบี้ยวพื้นถัง (total floor distortion) ของถังสำรองจะเกิดขึ้นในช่วงตั้งแต่ที่ไม่มีของเหลวภายในถังสำรองจนกระทั่งระดับของเหลวภายในถังสำรองสูง 2 เมตรแรก(วัดจากพื้นถัง) ข้อสรุปดังกล่าวนี้แทบสามารถใช้ได้กับถังสำรองทุกขนาดการบรรจุ และการออกแบบถังสำรอง ด้วยเหตุนี้หากเราสามารถรักษาระดับของเหลวภายในถังสำรองได้ที่ระดับความสูง 2 เมตรจากพื้นถังสำรองตลอดช่วงระยะเวลาการใช้งานถัง เราสามารถลดสภาพหรือผลกระทบของการบิดเบี้ยวของพื้นถังซึ่งก่อให้ตารางการสอบเทียบประจำถังผิดผลาดไปได้

จากข้อสังเกตที่กล่าวไว้ในย่อหน้าที่ผ่านมา เราจึงสามารถนำผลการศึกษาดังกล่าวมาประยุกต์การสอบเทียบถังสำรองขนาดใหญ่รูปทรงแนวตั้งโดยการประสมประสานรูปแบบการสอบเทียบระหว่างการสอบเทียบแบบเปียกกับการสอบเทียบแบบแห้งนั้นคือ เราสามารถทำการสอบเทียบแบบเปียกจนถึงระดับความสูงของเหลวภายในถังสำรองเหนือพื้นถังประมาณ 2 เมตร จากนั้นที่ความสูงถัดขึ้นไปสามารถทำการสอบเทียบแบบแห้งโดยผลผิดจะมีค่าน้อยในขอบเขตที่สามารถยอมรับได้หากถังสำรองมีการบิดเบี้ยว

การบิดเบี้ยวของถังสำรองยังสามารถเกิดกับผนังถัง (tank shell) ได้อีกด้วยโดยเฉพาะถังสำรองชนิดหลังคาลอย (floating roof tank) (รูปที่ 71) ลักษณะการบิดเบี้ยวของผนังถังขึ้นอยู่กับระดับความสูงของของเหลวและความหนาแน่นของเหลวภายในถังสำรองนั้นคือเกิดแรงกระทำแปรผันตามความสูงของเหลว

$$P = \rho gh$$

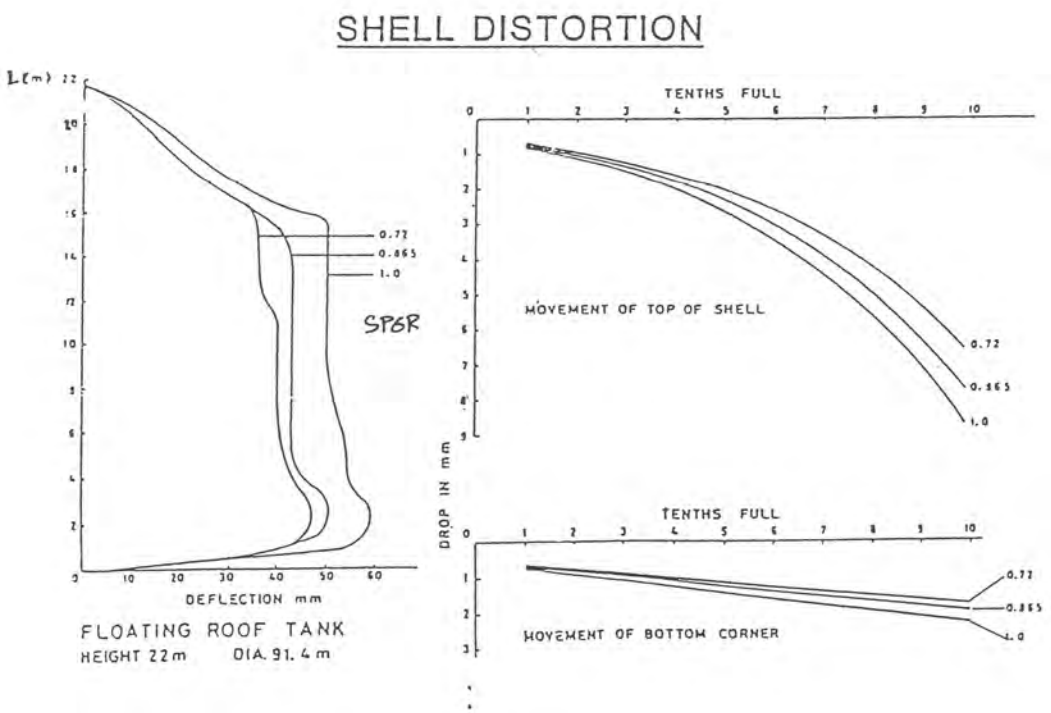
เมื่อ

P = ความดัน

ρ = ความหนาแน่นภายในถังสำรอง

h = ความสูงของเหลวภายในถังวัดจากพื้นถังสำรอง

แต่การสอบเทียบแบบเปียกตลอดช่วงความสูงของถังสำรองชนิดหลังคาลอย (floating roof tank) สามารถลดผลผิดเนื่องจากการบิดเบี้ยวของผนังถังสำรองได้ แต่ต้องให้ความสนใจของตำแหน่งของ dip plate กับ stilling well ว่าเสถียรภาพไม่เปลี่ยนแปลงในทั้งตำแหน่งและระดับ



รูปที่ 71 ผนังบิดเบี้ยวเสียรูปทรงขึ้นอยู่กับระดับความสูงของเหลวภายในถังสำรองและความถ่วงจำเพาะของของเหลวที่บรรจุอยู่ภายในถังสำรอง

ถังสำรองชนิดหลังคาลอย (floating roof tank)

ข้อดีข้อหนึ่งของถังสำรองขนาดใหญ่รูปทรงแนวตั้งที่เป็นหลังคาลอยก็คือ ป้องกันการเกิดหมุนวนเป็นสะดือ (vortex) ในขณะที่ดูดของเหลวออกจากถังสำรองเนื่องจากหลังคาลอยติดอยู่กับผิวหน้าของเหลวตลอดเวลา แต่เนื่องจากฝาถังมีการลอยตัวอยู่บนของเหลวที่บรรจุภายในถังสำรอง ดังนั้นการดูแลบำรุงรักษาจึงมีความจำเป็นและเสียค่าใช้จ่ายสูงด้วยเช่นกัน อีกทั้งการแทนที่ของเหลวด้วยปริมาตรเท่าไรนั้น ตาม ARCHIMEDE's principle จึงขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของของเหลวนั้นๆ ในขณะที่น้ำหนักของหลังคาลอยยังคงที่ตลอดเวลาและไม่สามารถหาค่าปริมาตรที่ถูกแทนที่ได้โดยตรงเพียงสามารถหาค่าได้จากการคำนวณโครงสร้างทั้งหมดเท่านั้น

ถึงแม้ว่าขนาดและจำนวนของโครงสร้างสามารถหาได้จากรูปแบบก่อสร้างจริงของถังสำรองและได้รับการคำนวณจากผู้ก่อสร้างถังสำรองก็ตาม แต่ในทางปฏิบัติแล้วเจ้าหน้าที่ผู้เกี่ยวข้องควรทำการตรวจสอบระยะและขนาดตามรูปแบบว่าสอดคล้องถูกต้องตรงกันหรือไม่ หากไม่เช่นนั้นแล้วอาจก่อให้เกิดผลผิดได้ในขั้นตอนการสอบเทียบหากยึดเอาตัวเลขน้ำหนักที่ได้รับจากผู้ผลิตโดยตรง ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อผ่านเวลาการใช้งานถังสำรองไปแล้วช่วงระยะเวลาหนึ่งแล้วสภาพของหลังคาและน้ำหนักหลังคาลอยก็เปลี่ยนแปลงเช่นกัน ทั้งนี้อาจเกิดจากการสะสมของสนิม, ทราย, น้ำที่ค้างอยู่บนหลังคาหลังจากฝนตก หรือหิมะสำหรับถังสำรองที่อยู่ในบริเวณมีหิมะตก แต่คงไม่ใช่ประเทศไทยกระมัง ด้วยเหตุนี้ในขั้นตอนสอบเทียบถังสำรองจำเป็นต้องตรวจสภาพหลังคาว่าไม่มีอุปกรณ์เครื่องมือใดๆ หรือโครงสร้างใดที่ไม่ใช่ของโครงสร้างของหลังคาลอยตลอดจนน้ำที่ค้างอยู่บนหลังคาก็ต้องกำจัดออกไปให้หมด

หากถังสำรองถูกใช้สำหรับรับและจ่ายของเหลวออกจากตัวถังสำรอง ดังนั้นน้ำหนักของหลังคาลอยก็จะหักล้างกันไป และไม่มีผลต่อการวัดมากนัก แต่ถ้าหากหลังคาลอยซึ่งมีขาหยั่ง (leg support) เกือบสัมผัสกับพื้นถัง หรือเรียกว่าอยู่ใน critical zone น้ำหนักของหลังคาลอยก็มีบทบาทมากในการหาปริมาตรของเหลวภายในถังสำรองเนื่องจากปริมาตรของการแทนที่ด้วยน้ำหนักของหลังคาฝาถังลอยมีบทบาทต่อการคำนวณปริมาตรภายในถังสำรอง

บทที่ 4

เตรียมการก่อนสอบเทียบ

ในการประกอบธุรกิจผลิต, จำหน่าย หรือจัดเก็บผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมเพื่อใช้ด้วยวัตถุประสงค์ที่แตกต่างกันออกไปเป็นปริมาณจำนวนมาก การจัดให้มีถังสำรองขนาดใหญ่รูปทรงแนวตั้งเพื่อไว้ตามวัตถุประสงค์ดังกล่าวเป็นเรื่องที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ อย่างเช่นในกรณีผู้ประกอบการโรงกลั่นน้ำมันซึ่งทำการกลั่นน้ำมันดิบเป็นน้ำมันดีเซล, เบนซิน, น้ำมันก๊าด และอื่นๆ เป็นต้น การจัดหาถังสำรองขนาดใหญ่รูปทรงแนวตั้งที่มีรูปแบบชนิดและขนาดที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับความต้องการในการจัดเก็บ เช่นต้องการถังสำรองชนิดหลังคาถังฝาลอย (floating roof) ใช้จัดเก็บน้ำมันดิบหลังจากซื้อน้ำมันดิบเข้ามาเพื่อสำรองสำหรับป้อนเข้าขบวนการกลั่นอาจมีขนาดใหญ่ 10,000-14,000 ลบ.ม. (60,000 -90,000 barrels) และเช่นกันต้องการถังสำรองชนิด cone roof เพื่อจัดเก็บน้ำมันดีเซลหลังจากผ่านขั้นตอนขบวนการกลั่นเพื่อรอการขายออกไป เป็นต้น ดังนั้นความต้องการที่ทราบว่าปริมาณที่ทำการจัดเก็บหรือทำการจ่ายออกไปจากถังสำรองดังกล่าวจึงเป็นเรื่องสำคัญและจำเป็นอย่างยิ่งในการประกอบธุรกิจของผู้ประกอบการในขณะเดียวกันสำหรับหน่วยงานของรัฐที่ต้องจับเก็บภาษีอากรจากผู้ประกอบการ จึงเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ที่ต้องมีการสอบเทียบถังสำรองที่เกี่ยวข้องทั้งหมดหากใช้ถังสำรองเป็นเครื่องมือสำหรับวัดปริมาตรของเหลวเพื่อการซื้อขาย, แลกเปลี่ยนสินค้า หรือการคิดคำนวณภาษีอากร ได้ใช้ค่าปริมาตรภายในถังสำรอง และนี่เองคือเหตุผลพื้นฐานของการสอบเทียบถังสำรองเพื่อหาตารางสอบเทียบของถังสำรอง

ด้วยหลักการที่ว่า เมื่อทำการบรรจุของเหลวชนิดที่เป็น Newtonian (ของเหลวเป็นไปตามกฎของ Hook เช่น น้ำ, น้ำมันดีเซล, น้ำมันเบนซิล, น้ำมันก๊าด เป็นต้น) เข้าสู่ภาชนะรูปทรงใดๆ โดยไม่มีฟองอากาศ (air pocket) ใดๆค้างอยู่ภายในภาชนะดังกล่าวภายใต้เงื่อนไขที่อุณหภูมิคงที่และไม่คำนึงถึงสัมประสิทธิ์การขยายตัว (tank expansion effect) ของภาชนะเนื่องจากการบรรจุของเหลวชนิดที่แตกต่างกันซึ่งมีค่าความหนาแน่นแตกต่างกันแล้วจะได้ว่า ค่าปริมาตรภายในภาชนะบรรจุจะมีค่าเท่ากันที่ค่าระดับความสูงของเหลวภายในถังสำรองที่เท่ากัน ด้วยเหตุนี้เองเราจึงสามารถใช้ประโยชน์จากข้อสมมุติฐานดังกล่าวได้อย่างกว้างขว้างและน่าเชื่อถือในทางปฏิบัติได้อีกด้วยเนื่องจากในการวัดระยะความสูงของเหลวภายในภาชนะบรรจุนั้นสามารถกระทำได้ด้วยความแม่นยำถูกต้องน่าเชื่อถือจริงในทางปฏิบัติ เพราะเป็นการวัดชนิดมิติเดียวคือ เมตร (m) ดังนั้นจึงใช้ระดับความสูงของของเหลวภายในภาชนะที่วัดได้เทียบกับปริมาตรที่บรรจุแสดงอยู่รูปความสัมพันธ์ด้วยตารางการสอบเทียบภาชนะนั้นๆ ซึ่งในที่นี้ก็คือถังสำรองนั้นเอง

การสอบเทียบถังสำรองจึงเป็นขั้นตอนการดำเนินการด้วยวัตถุประสงค์หาความสัมพันธ์ของปริมาตรที่บรรจุภายในถังสำรองต่อหน่วยความสูงของเหลวที่ต้องการบรรจุนั้นเอง

เพราะการขนส่งไม่ว่าทางบก,ทางน้ำ หรือทางอากาศที่มีข้อจำกัดในเรื่องของขนาดและน้ำหนักที่สามารถขนส่งหรือบรรทุกได้จึงเป็นไปไม่ได้ที่จะทำการสร้างถังสำรองขนาดใหญ่รูปทรงแนวตั้งแล้วบรรทุกส่งมายังสถานที่ที่ต้องการ ดังนั้นการก่อสร้างถังสำรองด้วยการเชื่อมโลหะแผ่นจำนวนหลายๆแผ่นประกอบเข้าเป็นถังสำรองให้ได้ขนาดการบรรจุที่ต้องการ ณ ที่สถานที่ติดตั้งจริง

จึงเป็นเรื่องที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ อีกทั้งเป็นไปไม่ได้เลยที่ถังสำรองจำนวน 2 ถังที่มีขนาดการบรรจุออกแบบไว้เท่ากันมีขนาดการบรรจุจริงเท่ากันหลังจากก่อสร้างแล้วเสร็จ การหาขนาดและระยะต่างๆ ของตัวถังสำรองเพื่อนำไปคำนวณเพื่อหาปริมาตรของถังสำรองสามารถกระทำได้ ซึ่งรายละเอียดสามารถหาได้ในมาตรฐาน API (American Petroleum Institute) แต่สิ่งที่ต้องพึงระมัดระวังนั้นก็คือ ระยะต่างๆที่หาได้จากแบบแปลนอาจไม่เท่ากับระยะจริงในภาคสนาม จึงควรมีการตรวจสอบตัวเลขระหว่างค่าที่อ่านได้จากแบบแปลนก่อสร้างและค่าที่วัดได้จริง ในขณะที่การวัดระยะจริงในภาคสนามก็ต้องระมัดระวังด้วยเนื่องจากหากวัดระยะผิดผลาดเพียงเล็กน้อยอาจส่งผลให้ได้ปริมาตรที่แตกต่างกันจำนวนมากทีเดียวเนื่องจากถังสำรองมีขนาดใหญ่มาก การใช้ผู้ชำนาญการจึงเป็นเรื่องที่ต้องคำนึง

การกำหนดและการเลือกวิธีการทดสอบหรือสอบเทียบถังสำรอง (Selection of the calibration method)

ในการสอบเทียบถังสำรองในหลักการพอแบ่งออกได้ 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ การสอบเทียบแบบเปียก (Wet calibration) และการสอบเทียบแบบแห้ง (Dry calibration)

1. การสอบเทียบแบบเปียก (Wet calibration) การที่ทราบปริมาตรที่แท้จริงของน้ำที่ถูกสูบอัดเข้าถังสำรองด้วยการวัดด้วยระบบมาตรวัด (meter measuring system) หรือ ถังตวงมาตรา (volume standard) พร้อมกับทำการวัดระดับความสูงของน้ำภายในถังสำรองซึ่งวัดด้วยเทปวัดความสูงที่ได้รับการสอบเทียบจากหน่วยงานของรัฐ (precision dip tape หรือ dip rod) เป็นระยะๆ แต่ละปริมาตรน้ำที่ทราบ ทำให้ได้ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความสูงของน้ำภายในถังสำรองเทียบกับปริมาตรแสดงของของเหลวด้วยมาตรวัดหลังจากปรับแก้ไขค่า เราก็จะได้ dipping table

ข้อดี: เป็นการสอบเทียบที่มีสภาวะการทำงานใกล้เคียงกับสภาวะการทำงานจริงของถังสำรองมากที่สุด ดังนั้นโอกาสที่ให้ผลที่น่าเชื่อถือและถูกต้องจึงเป็นไปได้สูง

ข้อเสีย: ค่าใช้จ่ายสูงเนื่องจากจำเป็นต้องใช้น้ำในการสอบเทียบเพื่อสูบอัดเข้าถังสำรองเป็นจำนวนมากอีกทั้งใช้ระยะเวลาดำเนินการหลายวันขึ้นอยู่กับอัตราการไหลของระบบมาตรวัดที่ใช้, แหล่งจ่ายน้ำเพื่อใช้ในการสอบเทียบและขนาดของถังสำรอง เป็นต้น

2. การสอบเทียบแบบแห้ง (Dry calibration) เป็นการสอบเทียบโดยการวัดรูปทรงทางเราขาคณิตของตัวถังสำรอง เพื่อนำไปสู่การคำนวณทางคณิตศาสตร์ ปกติแล้วจะเป็นการวัดระยะภายนอกถังสำรอง เช่นวัดเส้นผ่านศูนย์กลางถังสำรองด้วยทางอ้อมจากการวัดเส้นรอบวงภายนอกถังสำรองแล้วทำการคำนวณหาพื้นที่ภายในตัวถังโดยการหักลบเอาความหนาของผนังถังและความหนาของสีพร้อมค่าที่ยอมรับได้เนื่องจากการความหนาผนังถังอาจลดลงได้เพราะการกัดกร่อนของโลหะเมื่อเวลาผ่านไป จากนั้นจึงหาปริมาตรการบรรจุของถังสำรอง พอสรุปขั้นตอนอย่างคร่าวๆได้ว่า

- หาเส้นรอบวงถังสำรองอ้างอิง (Reference circumference)

- หาเส้นรอบวงถังสำรองที่ระดับความสูงของถังที่แตกต่างกัน โดยที่ผนังถังแต่ละชั้น (shell ring) อาจทำการวัดที่ระดับแตกต่างกัน 2 ถึง 3 ระดับก็ได้ โดยระดับดังกล่าวต้องอยู่ห่างจากแนวรอยเชื่อมต่อของผนังถังที่กำลังวัดอยู่ทั้งแนวรอยเชื่อมบนและแนวรอยเชื่อมล่างของผนังถังที่กำลังวัดอยู่ เหตุที่เราไม่วัดตรงแนวรอยเชื่อมต่อของ shell ring ก็เนื่องจากบริเวณแนวเชื่อมนั้นอาจมีการโกงงอซึ่งอาจให้ผลการวัดมีค่าเกินความเป็นจริงหรือต่ำกว่าเป็นจริงไม่ใช่เป็นค่าตัวแทนของเส้นรอบวงของผนังถังที่ดีได้ ควบคู่กับการทิ้งดิ่งเพื่อหาการเอียงของผนังถังแต่ละชั้นที่ที่ระดับเดียวกันกับที่ทำการวัดเส้นรอบวงของผนังถังชั้นนั้นๆ
- ทำการหาปริมาตร Sump ซึ่งมีขั้นตอนปฏิบัติคล้ายเช่นเดียวกับการสอบเทียบแบบเปียก

เป็นที่น่าสังเกตว่าการสอบเทียบแบบแห้งนั้น ความแม่นยำขึ้นอยู่กับความแม่นยำในการหาค่าเส้นรอบวงถังสำรองอ้างอิง (Reference circumference)

ข้อดี: ใช้เวลาในการสอบเทียบน้อย และค่าใช้จ่ายน้อย

ข้อเสีย: ความน่าเชื่อถือและความถูกต้องน้อยกว่าการสอบเทียบแบบเปียก

นอกจากนี้ยังมีวิธีการสอบเทียบถังสำรองแบบแห้งที่อาจมีชื่อเรียกที่แตกต่างกันออกไป และวิธีการแตกต่างออกไปเช่น

1. **Internal diameters method** เป็นการวัดระยะเส้นผ่านศูนย์กลางภายในตัวถังสำรอง เป็นวิธีการที่ค่อนข้างล้าสมัยไปเสียแล้วไม่เหมาะสมกับขนาดถังสำรองขนาดการบรรจุใหญ่ แต่พอสามารถใช้ได้กับถังสำรองขนาดเล็กและไม่สามารถทำการวัดระยะและขนาดถังได้จากภายนอกด้วยเหตุผลเช่น ภายนอกถังสำรองมีฉนวนกันความร้อนและ/หรือความเย็นอยู่หรือถังสำรองฝังอยู่ใต้ดิน ตัวอย่างของถังสำรองขนาดเล็กดังกล่าวนี้ได้แก่ถังเก็บน้ำมันใต้ดินภายในปั๊มน้ำมันต่างๆ การวัดระยะภายในอาจมีการประยุกต์เอาแสงเลเซอร์ยิงไปตามผนังถังโดยเทียบกับระยะตำแหน่งของจุดที่ยิ่งแล้วนำไปคำนวณด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ หลังจากประมวลผลแล้วสามารถสรุปออกมาเป็นตารางสอบเทียบถังสำรองได้เลย จัดเป็นการสอบเทียบแบบแห้ง (Dry calibration) รูปแบบหนึ่ง

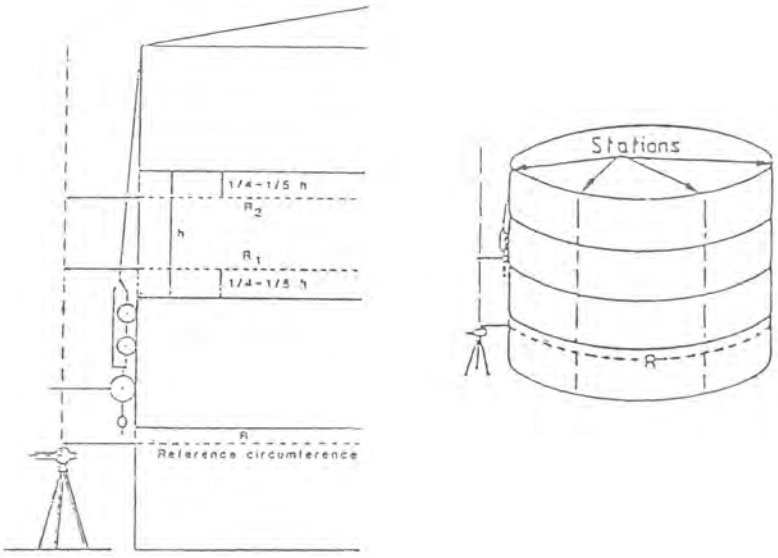
2. **External Strapping Method** เป็นการสอบเทียบแบบแห้งซึ่งจะมีรายละเอียดสอดคล้องกับการสอบเทียบแบบแห้งซึ่งเราจะกล่าวรายละเอียดไว้ในบทต่อๆไป แต่วิธีการดังกล่าวนี้มีข้อเสียอยู่นั้นคือเจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงานจำเป็นต้องปีนป่ายในที่สูงซึ่งค่อนข้างเสียอันตรายบ้างในระหว่างทำการสอบเทียบถังสำรอง

3. **Optical reference line method (Optistrap)** เป็นวิธีการที่ได้รับการพัฒนาจากการสอบเทียบแบบ Internal diameters method กับ External Strapping Method (ดูรูปที่ 72) ประกอบด้วยอุปกรณ์ที่สำคัญคือ

- สายเทปโลหะวัดความยาวพร้อมชุดสปริงและตุ้มน้ำหนักเพื่อรักษาความตึงของสายวัดให้มีค่าคงที่ตลอดเท่ากันในการวัดแต่ละครั้ง

- ชุด optical plummet เป็นกล้องส่องได้ไกลกว่าความสูงของถังสำรอง และปรับขยายได้ชัดเจน พร้อมชุดยึดจับสามารถปรับระดับได้ให้ได้ระดับ เมื่อย้ายจุดวัดตรวจสอบแนวดิ่ง
- ชุด movable scale assembly เป็นชุดที่ได้รับการออกแบบคล้ายกับรถลากมี 4 ล้อ พร้อมมีแท่งแม่เหล็กสามารถดูดผนังถังให้ตัวรถลากเคลื่อนที่ขึ้นลงตามแนวความสูงของถังสำรองได้อย่างมั่นคง บนตัวรถประกอบด้วยแท่งโลหะซึ่งถูกขีดเป็นขั้นหมายมาตราโดยมีขั้นหมายมาตราขีดย่อยต่ำสุด (scale interval) อย่างน้อยอ่านได้เท่ากับ 1 มม. โดยแท่งโลหะซึ่งถูกขีดเป็นขั้นหมายมาตราติดตั้งตั้งฉากกับตัวรถลากและขนานกับระดับพื้นดิน ทั้งนี้ขั้นหมายมาตราหันลงมายังด้านล่างเข้าหาชุด optical plummet โดยชุด movable scale assembly สามารถเคลื่อนที่ขึ้นลงตามผนังถังในแนวดิ่งด้วยการชักลอกด้วยเชือกจากเจ้าหน้าที่ซึ่งอยู่ประจำบนพื้นดินข้างล่าง

OPTICAL REFERENCE LINE METHOD – EQUIPMENT



รูปที่ 72 การสอบเทียบถังสำรองด้วยวิธี Optical reference line method

Optical reference line method (Optistrap) เป็นการสอบเทียบแบบแห้งที่เราจะกล่าวในรายละเอียดในบทการสอบเทียบแบบแห้ง (dry calibration) เนื่องจากเป็นวิธีการที่เหมาะสมกับงานชั่งตวงวัดตามข้อกำหนดของกฎหมาย (Legal Metrology)

การเตรียมความพร้อมของถังสำรองก่อนทำการสอบเทียบ

ไม่ว่าเป็นการสอบเทียบแบบเปียกหรือการสอบเทียบแบบแห้ง การเตรียมความพร้อมดูเหมือนจะมีส่วนคล้ายคลึงกันมากเสียเป็นส่วนใหญ่ แตกต่างกันเฉพาะในรายละเอียดปลีกย่อย

1. เติมน้ำให้เต็มถังก่อนสอบเทียบ (Complete filling prior to testing)

ก่อนที่ดำเนินการสอบเทียบไม่ว่าแบบเปียกหรือแบบแห้งเป็นครั้งแรก จำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องเติมของเหลวในที่นี้ "น้ำสะอาด" จะเป็นตัวเลือกที่ดีที่สุดเป็นเวลาอย่างน้อย 24 ชั่วโมงในกรณีที่ถังสำรองนั้นได้ผ่านการงานมาก่อนแล้วและอย่างน้อย 3 วันสำหรับถังสำรองที่เพิ่งสร้างแล้วเสร็จ โดยให้มีความสูงของระดับน้ำภายในถังสำรองสูงเท่ากับความสูงของการออกแบบเพื่อการบรรจุหรืออาจลดความสูงลดลงได้หากเป็นถังสำรองที่ใช้งานมาเป็นเวลานานขึ้นอยู่กับดุยพินิจ ทั้งนี้ก็เพื่อให้แน่ใจว่าจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงที่ถาวรใดๆเกิดขึ้น เช่น รูปทรงถังสำรองและยังป้องกันอิทธิพลอื่นๆ ส่งผลต่อความแม่นยำในการสอบเทียบ เช่นการเปลี่ยนรูปร่างของถังสำรองภายใต้การใช้งาน, การเปลี่ยนแปลงระดับของถังเนื่องจากโครงสร้างฐานรากรับแรงเต็มพิกัดตามที่ได้ออกแบบ เป็นต้น

2. สถานะของถังสำรอง (state of the tank)

ถังสำรองต้องอยู่ในสภาพที่พร้อมได้รับการสอบเทียบ เครื่องมืออุปกรณ์ทุกชิ้นส่วนภายในถังสำรองต้องได้รับการติดตั้งครบสมบูรณ์และขันยึดติดแน่นสามารถทำงานได้ถูกต้องตามหน้าที่ ไม่ว่าจะเป็นวาล์วและท่อต่างๆ ซึ่งทั้งติดตั้งอยู่ภายในถังสำรองหรือเชื่อมต่อกับถังสำรองภายนอกต้องทำงานได้ไม่รั่วซึมและครบสมบูรณ์ตามแบบแปลนที่กำหนด นั้นหมายถึงหากเป็นถังสำรองที่สร้างแล้วเสร็จอุปกรณ์ต่างๆ ประจำถังสำรองต้องมีอยู่และครบพร้อมสามารถใช้งานถังสำรองได้ทันทีเมื่อสอบเทียบถังสำรองแล้วเสร็จและหากในกรณีที่ถังสำรองหยุดใช้งานเพื่อต้องการซ่อมแซมถัง เช่นเปลี่ยนพื้นถัง (bottom plates) ในการดำเนินการซ่อมถังสำรองอาจทำการถอดท่อทางหรือวาล์วต่างๆเพื่อทำการตรวจสภาพและซ่อมแซมควบคู่กันไปกับการซ่อมถังสำรอง ดังนั้นหากต้องการสอบเทียบถังสำรองอุปกรณ์ต่างๆดังกล่าวต้องถูกนำกลับมาติดตั้งให้พร้อมใช้งานได้ แต่อย่างไรก็ตามงานบางอย่างที่ไม่มีผลต่อการสอบเทียบเช่น งานสีทาภายนอกถังสำรองยังไม่แล้วเสร็จพออนุโลมได้บ้างในทางปฏิบัติ แต่ก็ไม่ควรทำการทาสีควบคู่กับการสอบเทียบถังโดยเฉพาะการสอบเทียบแบบเปียกเพราะจะทำให้ผนังถังสำรองซึ่งทำด้วยโลหะมีอุณหภูมิต่ำและมีความชื้นทำให้คุณภาพของงานสีไม่ดีพออาจมีการหลุดร่อนของสีบนผนังถังก็อาจเป็นได้ นอกจากนี้กิจกรรมต่างๆที่เกี่ยวข้องกับตัวถังสำรองทั้งภายในและภายนอกถังสำรองต้องหยุดดำเนินทั้งหมดหรือสรุปได้ว่า งานสอบเทียบถังสำรองควรจัดให้เป็นงานสุดท้ายของการสร้างหรือซ่อมแซมถังสำรองนั้นเอง

อุปกรณ์ที่สำคัญเช่น dipping plate ต้องได้รับการตรวจสอบว่าถูกติดตั้งแข็งแรงมั่นคงได้ระดับหรือไม่ จัดให้มีน็อตล็อคสำหรับร้อยลวดบีบซีลเพื่อป้องการเปลี่ยนระดับสูงต่ำของ dipping plate

3. การทำความสะอาดถังสำรอง (Tank Cleaning)

ถังสำรองต้องได้รับการล้างทำความสะอาด ต้องไม่เหลือเศษสิ่งสกปรกหรือโคลนตรมค้างอยู่ภายในถังอย่างเด็ดขาด ทั้งบริเวณพื้นถังและผนังถัง รวมทั้งโครงสร้างค้ำยันที่เชื่อมค้างไว้กับโครงสร้างภายในเพื่อช่วยในการก่อสร้างซ่อมแซมถังสำรองและโครงสร้างใดที่ไม่ต้องการหรือไม่ได้ออกแบบไว้ต้องทำการรื้อออกไปให้หมด การเข้าไปภายในถังสำรองหลังจากทำความสะอาดเป็นที่เรียบร้อยตามข้อกำหนดแนะนำของ API และต้องมีสภาพที่เจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงานในภาคสนามสามารถเข้าออกและอยู่ภายในถังสำรองได้อย่างปลอดภัยโดยไม่ต้องใช้เครื่องช่วยหายใจตลอดจนสภาวะภายในถังสำรองต้องไม่อยู่ภายในเกณฑ์ที่ก่อให้เกิดการลุกติดไฟหรือโอกาสจุดติดไฟได้ และเป็นไปตามข้อกำหนดท้องถิ่นหรือของประเทศ

4. การจัดหาอุปกรณ์อำนวยความสะดวกในการปฏิบัติงาน เจ้าของถังสำรองควรให้การอนุเคราะห์ตามความเหมาะสมแก่เจ้าหน้าที่

- การจัดให้มีไฟฟ้าแสงสว่างแบบ Explosion proof
- จัดหาเก้าอี้ บันได
- หากเป็นกรณีของการสอบเทียบแบบเปียกเจ้าของถังสำรองต้องจัดระบบน้ำด้วยปริมาณและคุณภาพเป็นไปตามความต้องการของเจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงาน
- ท่อยางเพื่อการระบายน้ำออกจากถังสำรอง
- อื่นๆ เท่าที่เหมาะสมและจำเป็นต่อการปฏิบัติงาน

นอกจากนี้เจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงานก็ควรเคารพกฎระเบียบความปลอดภัยของสถานที่ที่ทำงานด้วยเช่นกัน เช่นการสวมหมวกนิรภัย รองเท้านิรภัยเป็นต้น

5. เอกสารแบบแปลนที่ควรมี เอกสารต่อไปนี้เป็นเรื่องที่ต้องได้รับการตรวจสอบทำความเข้าใจเพื่อประโยชน์สำหรับการปฏิบัติงาน ตลอดจนเพื่อลดความผิดพลาดและการเสียเวลาที่ไม่จำเป็นออกไป ได้แก่

- แผนที่แสดงตำแหน่งและหมายเลขประจำถัง ตลอดจนตำแหน่งข้อต่อท่อน้ำเพื่อใช้ในการสอบเทียบ และท่อน้ำสำหรับการดับเพลิง

- แบบแปลนถังสำรองที่มีข้อมูลเพียงพอและเกี่ยวข้องกับการทำงาน ซึ่งแบบแปลนที่ใช้ในการก่อสร้างถังสำรองและควรเป็นแบบแปลนชนิดเหมือนสร้างจริง (as built) โดยแบบแปลนดังกล่าวควรครอบคลุมข้อมูลเช่น ขนาดและความหนาของแผ่นเหล็ก annular plate, bottom plates, shell rings, ขนาดและตำแหน่งของ dipping plate, ตลอดจนอุปกรณ์ประจำถังสำรองทั้งภายในถังและภายนอกถัง, ขนาดและตำแหน่งของ manhole, การออกแบบของหลังคาถัง, ท่อ suction และ discharge เป็นต้น
- ในกรณีของถังสำรองชนิดหลังคาฝาถังลอย (floating roof) นั้น แบบแปลนที่ควรทราบได้แก่ รายละเอียดของ floating roof, roof supports หรือ support legs, การปรับระยะของ roof supports, ชนิดและขนาดของ Seals รอบขอบหลังคาถัง, dipping socket, dipping tube, ขนาดและตำแหน่งของ roof drain เป็นต้น นอกจากนี้หากมีผลการคำนวณของน้ำหนักของหลังคาถังสำรองชนิด floating roof ยิ่งดี
- ระบบสายดินประจำถังสำรอง
- นอกจากนี้หากเป็นถังสำรองเก่า ตำแหน่งที่เป็นตำแหน่งระดับอ้างอิงก็ควรได้รับการตรวจสอบด้วยเพื่อตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของระดับว่ามีหรือไม่ เมื่อเทียบกับระดับปัจจุบันเมื่อทำการสอบเทียบ

6. แบบฟอร์มที่จำเป็นในการสอบเทียบ ควรเตรียมไว้ให้พร้อมบันทึกผลการทำงานเช่นแบบฟอร์มการบันทึกทิศและตำแหน่งถังสำรองตลอดจนตำแหน่งสำคัญๆเช่น dipping plate หรือ manhole ในการบันทึกผลการทำงานไม่จำเป็นต้องจะเป็นการบันทึกในรูปแบบของตัวอักษร การวาดรูปคร่าวๆ บ่งบอกตำแหน่งและทิศทาง นับว่าจำเป็นและเป็นข้อมูลอ้างอิงในการปฏิบัติงานในครั้งต่อไปได้อีกด้วยเพราะปกติแล้วถังสำรองหลังจากสอบเทียบถังสำรองแล้วหากถังสำรองไม่มีการรั่วหรือเสียหายก็สามารถใช้งานได้ถึง 10 ปี จึงทำการสอบเทียบใหม่อีกครั้ง

บทที่ 5

การวัดระดับของเหลวด้วยมือ

(Manual Level Gauging)

การสอบเทียบถังสำรองขนาดใหญ่รูปทรงแนวตั้ง ก็ด้วยวัตถุประสงค์เพื่อให้ได้ตารางสอบเทียบประจำถังสำรอง การที่จะได้ตารางสอบเทียบฯ ที่ถูกต้องแม่นยำก็ต่อเมื่อผลการวัดค่าปริมาณที่ต้องการทั้งหลายที่เกี่ยงข้องต่างได้ผลแม่นยำและเมื่อนำผลการวัดดังกล่าวไปคำนวณ ก็กระทำด้วยวิธีการที่ถูกต้อง ทั้งนี้เพื่อให้ได้ผลความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของระดับของเหลวภายในถังสำรองกับปริมาตรของเหลวที่บรรจุจริง การวัดระดับความสูงของเหลวภายในถังสำรองในการสอบเทียบซึ่งกระทำด้วยมือ (เจ้าหน้าที่ฯ) ดูเหมือนว่าสามารถปฏิบัติได้ง่ายไม่ยุ่งยากและให้ค่าถูกต้องแม่นยำ แต่ในทางปฏิบัติภาคสนามแล้วมีหลายปัจจัยมีผลต่อค่าความแม่นยำในการวัดความสูงของระดับของเหลวภายในถังสำรอง ความรู้และความเข้าใจถึงวิธีการวัดระดับของเหลวภายในถังสำรองด้วยมือจึงเป็นเรื่องที่ต้องทำความเข้าใจถึงพื้นฐานการปฏิบัติที่ถูกต้องรวมทั้งได้รับการฝึกฝนจนมีทักษะเพียงพอต่อการปฏิบัติงานจริง นอกจากนี้ยังต้องมีความรู้และความเข้าใจถึงการเลือก sounding tape ที่เหมาะสมกับงานชนิดใดจึงเหมาะสม, สามารถทำการวัดระดับของเหลวภายในถังสำรองทันทีที่การจ่ายของเหลวเข้าหรือดูดออกหรือไม่, การวัดหรือหาตัวแปรอื่นๆเช่นอุณหภูมิของเหลวภายในถังควรทำการวัดกี่จุดและกี่ระดับ เป็นต้น สิ่งเหล่านี้จำเป็นต้องทำความเข้าใจถึงเทคนิคเบื้องต้น แม้แต่ขั้นตอนการปฏิบัติง่ายๆที่อาจก่อให้เกิดข้อผิดพลาดอย่างรุนแรง เช่น การวัดระดับของเหลวในถังสำรองผิดถังก็เป็นเรื่องที่อาจเกิดขึ้นได้ในทางปฏิบัติหากลานถังมีถังสำรองจำนวนมากมาย

นอกจากนี้การรู้และเข้าใจถึงองค์ประกอบโครงสร้างถังสำรองก็เป็นสิ่งที่ต้องทราบ, คำนิยามต่างๆในการวัดและบันทึกผลก็ควรทราบ ไม่เช่นนั้นความผิดพลาดของการบันทึกผลการวัดรวมทั้งการคำนวณหาค่าหลังจากการวัดอาจผิดพลาดได้ด้วยเช่นกัน

จึงสรุปได้ว่าการสอบเทียบถังสำรองแบบเปียกหรือการสอบเทียบแบบแห้งในขั้นตอนที่มีการหา sump ของถังสำรองนั้น จำเป็นต้องเกี่ยวข้องกับการวัดระดับของเหลวภายในถังสำรองด้วยมือเป็นสำคัญและมีผลต่อความถูกต้องแม่นยำอย่างมากในการสอบเทียบถังสำรอง

ก่อนขึ้นถังสำรองขนาดใหญ่รูปทรงแนวตั้ง (Prior to approaching the tank)

ก่อนเจ้าหน้าที่ขึ้นถังสำรองเพื่อทำการวัดระดับความสูงของเหลวด้วยมือภายในถังสำรองจำเป็นอย่างยิ่งที่ควรทราบข้อมูลพื้นฐานและข้อมูลก่อนหน้านี้ของถังสำรองที่ต้องไปทำการวัด ได้แก่

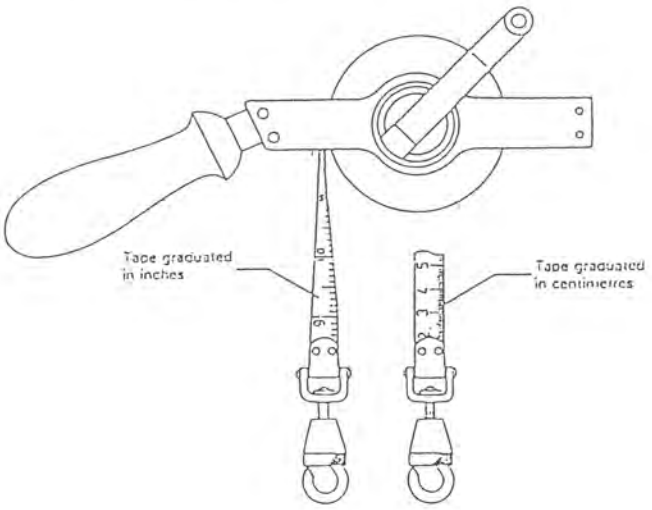
- ตารางสอบเทียบถังสำรอง (tank calibration table) ฉบับเดิมก่อนที่จะทำการสอบเทียบถังสำรอง (ถ้ามี) ซึ่งพอจะให้ข้อมูลทราบถึง reference height, maximum safe filling height, ตำแหน่งที่ทำการวัดระดับ, หมายเลขถังสำรองที่ต้องเดินทางไปวัด,

ชนิดถังสำรองว่าเป็นแบบใด cone roof, floating roof หรือแบบผสมระหว่าง cone roof กับ floating roof เป็นต้น

- การทำความเข้าใจถึงระบบท่อที่ต่อเชื่อมกับถังสำรองรวมทั้งตำแหน่งของวาล์วที่ติดตั้งทั้งหมด เพราะหากตรวจสอบพบว่ามีการรั่วไหลของน้ำออกจากถังสำรองขณะทำการสอบเทียบจะได้ทำการตรวจสอบได้ว่าไหลออกไปในทิศทางใดและสามารถดำเนินการแก้ไขได้ทันการ บนตัววาล์วควรมีเครื่องหมายแสดงตำแหน่งปิด/เปิด ไว้ เพื่อสามารถตรวจสอบสถานะการปิด-เปิดของวาล์วได้ขณะปฏิบัติงาน
- หากถังสำรองประกอบด้วยตัวกวน (agitator) ต้องมั่นใจว่าเครื่องดังกล่าวไม่ได้เปิดเครื่องทำงานอยู่แต่ถ้าหากมีความผิดพลาดมีการเปิดตัวกวนให้ทำงานดังนั้นการวัดระดับของเหลวภายในถังสำรองต้องคอยจนระดับความปั่นป่วนภายในถังสำรองสงบลงและผิวหน้าระดับของน้ำนิ่งเป็นที่พอใจเสียก่อน
- ตรวจสอบสถาพเครื่องมืออุปกรณ์ทำงานทำหมดว่าพร้อมที่ใช้งานได้บรรลุตามความต้องการ ได้แก่

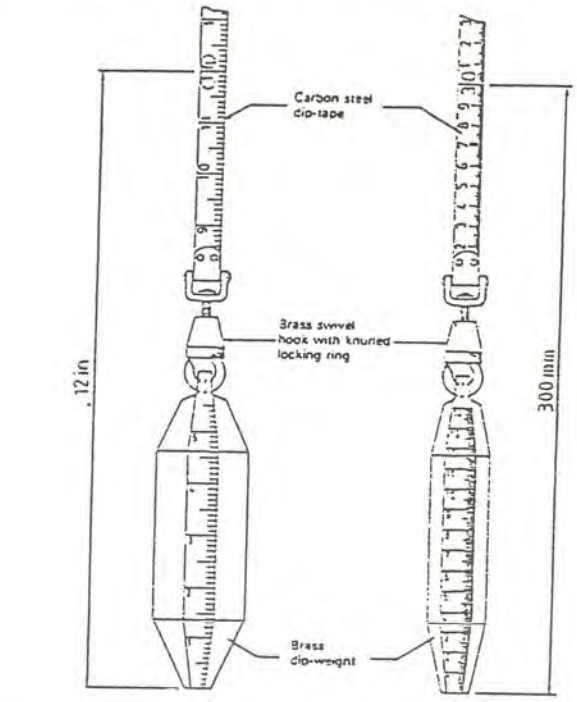
    1. gauging tape หรือ sounding tape มีความยาวเพียงพอต่อความสูงของถังสำรอง, ขั้นหมายมาตราบนเทปต้องชัดเจน ปกติแล้วขั้นหมายมาตราบน gauging tape ควรเป็นการกัดเนื้อโลหะให้เป็นขั้นหมายมาตรา ไม่ควรเป็นแถบเส้นสีเพราะอาจหลุดร่อนได้ หน่วยวัดบนตัวเทปต้องเป็นหน่วยเมตริก (SI unit) แสดงค่าเป็น เมตร, เซนติเมตรและมิลลิเมตร ความยาวทั่วไปของเทปวัดระดับความสูงของเหลวที่ใช้กันยาว 20, 25 หรือ 30 เมตร ตัวเทปทำด้วย mild steel หรือ stainless steel กว้างประมาณ 12 มิลลิเมตร (1/2 นิ้ว) ตัวเทปต้องได้รับการดูแลรักษาไม่สนิม ดูรูปที่ 73

DIP TAPE (GAUGING TAPE)

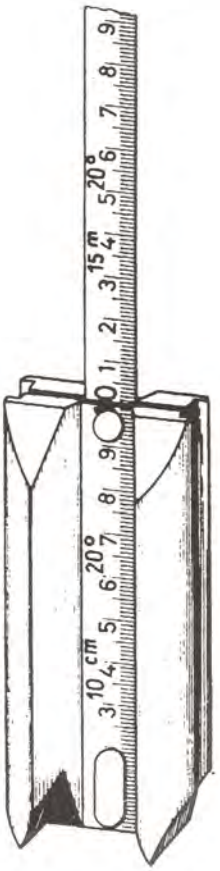


รูปที่ 73 เทปวัดระดับความสูงของเหลวภายในถังสำรองชนิดมีตะขอหมุนได้รอบตัว (swivel joint)

2. สภาพของตุ้มน้ำหนักถ่วง (dip weight หรือ gauging bob) ควรทำด้วยทองเหลือง เพื่อป้องกันการเกิดประกายไปหากเกิดไปกระทบกับโลหะ นอกจากนี้ควรตรวจสอบว่ายึดติดกับตัวเทปด้วยตะขอที่หมุนได้รอบตัว (swiel-hook หรือ swivel-snap) แน่นดีหรือไม่ ขนาดของตุ้มน้ำหนักถ่วงต้องเป็นไปตามข้อกำหนด API และ/หรือ IP และ/หรือ ISO ทั้งนี้ขั้นหมายมาตราบน gauging tape ต้องต่อเนื่องกันกับขั้นหมายมาตราบนตุ้มน้ำหนักถ่วง (dip weight หรือ gauging bob) โดยหมายเลข "ศูนย์" ต้องเริ่มส่วนปลายสุดด้านล่างของตัวตุ้มน้ำหนัก ดูรูปที่ 74 แต่แนะนำให้ใช้เทปวัดระดับความสูงของเหลวที่มีตุ้มถ่วงน้ำหนักยึดติดกับตัวเทป ดูรูปที่ 75



รูปที่ 74 ตุ้มน้ำหนักถ่วงเทปวัดระดับความสูง ตุ้มน้ำหนักถ่วงที่หนักกว่าใช้กับของเหลวที่มีความหนืดสูงกว่า



รูปที่ 75 ตุ้มน้ำหนักถ่วงเทปวัดระดับความสูง (แนะนำใช้)

3. น้ำยาเพื่อใช้แยกแยะระดับของของเหลวภายในถังสำรองกับอากาศ อาจพอใช้สบู่อาบน้ำทดแทนได้เพื่อเป็นการประหยัด
4. เศษผ้าทำความสะอาดตัวเทปวัดระดับความสูงของเหลว
5. เครื่องวัดอุณหภูมิ อ่านละเอียดได้ 0.1 - 0.5 °C

- แจ้งให้เพื่อนร่วมงานทราบก่อนที่ตัวเองจะขึ้นถังสำรองไปทำการวัดระดับของน้ำภายในถัง ทั้งนี้เพื่อป้องกันอันตรายที่อาจเกิดขึ้นได้ เช่นในกรณีที่ต้องลงไปวัดระดับน้ำบนหลังคาฝาถังลอยซึ่งอยู่ในตำแหน่งที่ฝาถังลอยได้ลอยอยู่ใกล้บริเวณพื้นถัง ซึ่งใน

บริเวณดังกล่าวอาจเป็นบริเวณอากาศปิดหรืออาจมีการรั่วไหลหรือมีการระเหยของผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมที่ค้างอยู่บริเวณซีลขอบรอบฝาถังลอยอาจทำให้ขาดออกซิเจนหรือมีออกซิเจนไม่เพียงพอต่อการหายใจซึ่งเป็นอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงาน

- อื่นๆ

เมื่อถึงถังสำรอง (At the tank)

ก่อนที่เจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติจะขึ้นบันไดประจำถังสำรองต้องเดินรอบถังสำรองอย่างน้อย 1 รอบทั้งนี้เพื่อตรวจสอบสภาพโดยรวมของถังสำรองโดยรอบ สิ่งที่ควรให้ความสนใจในเรื่อง

- ตรวจสอบหมายเลขประจำถังว่าเป็นถังสำรองที่ต้องการวัดจริง
- ตรวจสอบระบบสายกราวด์ของระบบถังสำรองว่าสมบูรณ์หรือไม่ หากถังสำรองไม่มีสายกาว์ดต้องรีบแจ้งให้เจ้าของถังดำเนินการแก้ไขปรับปรุงให้สมบูรณ์เพื่อความปลอดภัยของเจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงานสอบเทียบถังสำรอง
- หากถังสำรองที่ต้องทำการวัดประกอบหรือติดตั้งเครื่องวัดระดับความสูงของเหลวอัตโนมัติให้อ่านค่าระดับความสูงบันทึกไว้เป็นข้อมูลเบื้องต้นก่อนทำการวัดระดับด้วยมือและนำเปรียบเทียบกันหลังจากทำการวัดเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ทั้งนี้เพื่อทำการตรวจสอบซ้ำว่าเครื่องวัดดังกล่าวมีความแม่นยำถูกต้องหรือไม่
- ตรวจสอบสภาพหลังคาว่าโครงสร้างมีความแข็งแรงเพียงพอรองรับน้ำหนักของเจ้าหน้าที่หรือไม่ ทั้งนี้ควรมีเจ้าหน้าที่ของผู้ประกอบการที่เป็นเจ้าของถังสำรองร่วมพิจารณาด้วย เนื่องจากหากเป็นถังสำรองมีอายุการใช้งานนานมากอาจถึง 20-30 ปี สภาพของถังสำรองก็ต้องให้ความสำคัญเช่นกัน
- ตรวจสอบตำแหน่งที่ทำการวัด (gauging point) เช่นปกติแล้วถังสำรองแบบ cone roof จะมี 5 gauge hatches คือ 4 ตัวกระจายรอบวงบนหลังคาและอีก 1 ตัวจะอยู่บนส่วนยอดสูงสุดของหลังคาบริเวณตรงกลางถังดังนั้นจะเห็นได้ว่า gauge hatch หรือ dip hatch ที่เป็นตำแหน่งวัดระดับของเหลวมักจะเปิดง่ายและมีรอยหกของของเหลวบริเวณดังกล่าว สำหรับกรณีของถังสำรองชนิด floating roof นั้นจะมีท่อยาวตลอดความสูงของผนังถังพร้อมมีโครงสร้างยึดติดกับผนังถัง ท่อดังกล่าวจะทะลุผ่านหลังคาฝาถังลอยปลายสุดของท่อบริเวณก้นถังสำรองจะตรงกับ dip plate เช่นเดียวกับถังสำรองชนิด cone roof เรียกท่อดังกล่าวว่า stilling well หรือ stand pipe หรือ guide pole ตำแหน่งสำหรับหย่อน gauging tape จึงอยู่บริเวณเหนือบนสุดของผนังถัง
- บันทึกและตรวจทานค่าความสูงอ้างอิง (reference height) ที่ปรากฏบนถังสำรองหรือบริเวณที่เป็น gauge hatch หรือ dip hatch
- ตรวจสอบสภาพน้ำภายในถังสำรองว่ามีการหมุนวน หรือเป็นระลอกมากเกินไปหรือไม่
- ตรวจสอบสภาพทั่วไป เช่นหากเป็นหลังคาถังฝาลอย (floating roof) หากมีน้ำอยู่บนหลังคาให้ทำการระบายออกให้หมด หรือในบางครั้งอาจมีเศษสิ่งสกปรกหรือเศษ

โลหะที่หลงเหลือจากการซ่อมแซมถังหรือในการสร้างประกอบถังสำรอง สิ่งดังกล่าวต้องทำการขนย้ายออกไปให้หมด, ตรวจสอบตำแหน่งของขาค้ำยันว่าอยู่ในตำแหน่งใช้งานหรือซ่อมแซม เป็นต้น

- การติดตั้งถุงลมแสดงทิศทางของลมที่พัดผ่านบริเวณที่ทำการสอบเทียบถังสำรอง หากสามารถติดตั้งได้ก็ดีเพื่อให้ทราบว่าทิศทางใดเป็นทิศทางเหนือลม หากมีอุบัติเหตุเจ้าหน้าที่ควรหลบไปในทิศทางที่ผู้ประกอบการแนะนำและควรอยู่ในทิศทางเหนือลม

การวัดระดับความสูงอ้างอิง (Reference height)

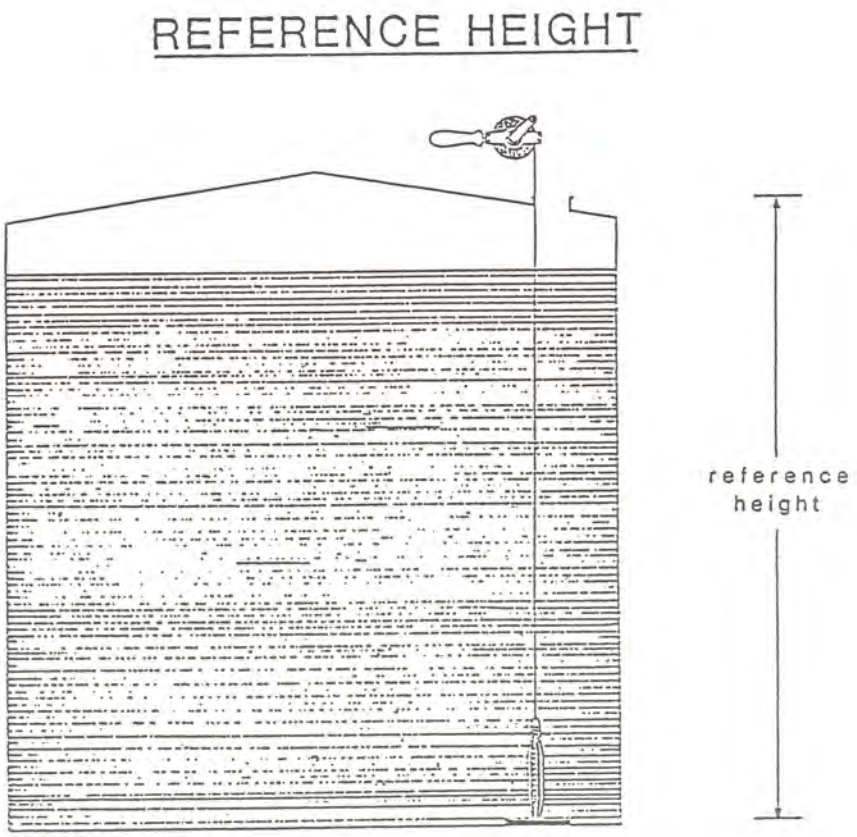
หลังจากผ่านขั้นตอนทั้งหมดดังกล่าวข้างต้น การวัดระดับความสูงอ้างอิงนับว่าเป็นงานแรกของการวัดระดับด้วยมือ ดังนั้นต้องมั่นใจว่า gauging tape หรือ sounding tape พร้อมทั้งตุ้มถ่วงน้ำหนักที่ใช้งานทั้งหมดในภาคสนามต้องได้รับการสอบเทียบจากหน่วยงานของรัฐ หรือหน่วยงานที่น่าเชื่อถือและยอมรับได้ หากไม่ได้รับการสอบเทียบห้ามใช้ gauging tape หรือ sounding tape ในการวัดระดับของเหลวภายในถังสำรองหรือการวัดระดับใดๆเพื่อนำผลไปคำนวณการสอบเทียบอย่างเด็ดขาด

1. เมื่อมาถึงตำแหน่งของ gauge hatch ให้ทำการหย่อนตุ้มน้ำหนักถ่วง (dip weight) และตัวเทปวัดระดับลงไปใน gauge hatch ต้องแน่ใจว่าตัวเทปที่เป็นโลหะได้สัมผัสแนบแน่นกับ gauge hatch ตลอดเวลาที่หย่อน dip weights และ tape เข้าไปในถังสำรอง ทั้งนี้เพื่อป้องกันการปลดปล่อยของไฟฟ้าสถิตย์ (static electricity) ที่อาจเกิดขึ้นได้ อีกทั้งยังช่วยลดการแกว่งตัวของตุ้มน้ำหนักถ่วง
2. หย่อนเทปจนกระทั่งตุ้มถ่วงน้ำหนักสัมผัสกับ dip plate โดยยังคงรักษาความตึงของสายเทปวัดระดับด้วยความเหมาะสมด้วยเช่นกัน สามารถตรวจสอบได้ด้วยการฟังเสียงสัมผัสระหว่างโลหะของตุ้มน้ำหนักถ่วงกระทบกับ dip plate ดังนั้นบริเวณดังกล่าวต้องเงียบพอสมควร ห้ามนำวิทยุไปเปิดเพลงลูกทุ่งเสียงดังไม่ได้น่ะ
3. ทำการอ่านค่าตัวเลขที่ตำแหน่งทำเครื่องหมายเป็น reference height ประจำถังสำรองนั้นๆ พร้อมเปรียบเทียบค่าที่อ่านได้จากเทปวัดระดับของเหลวเทียบกับค่าตัวเลขซึ่งแสดงบน name plate หรือบน gauge hatch ว่าค่าทั้ง 2 ค่านั้นสอดคล้องกันหรือไม่ ***ปกติแล้วตัวเลขค่าที่อ่านได้จากเทปวัดระดับของเหลวจะมีค่าใกล้เคียงกันหรือหากแตกต่างกันกับค่าตัวเลขซึ่งแสดงบน name plate หรือบน gauge hatch ก็ไม่ควรเกิน 10 มม.*** อย่างเช่นในกรณีที่เป็นถังสำรองชนิด cone roof ซึ่งมีขนาดใหญ่นั้น การเปลี่ยนแปลงขนาดหรือถังสำรองมีการขยายตัวหรือทรุดตัวลงเมื่อมีการบรรจุของเหลวเข้าภายในถังสำรองด้วยระดับความสูงระดับหนึ่งได้เช่นกันก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของค่า reference height ที่วัดได้ในขั้นตอนสอบเทียบกับตัวเลขที่แสดงอยู่บน gauge hatch อาจต่างกันได้ ดูรูปที่ 76
4. หากพบว่าค่าความแตกต่างระหว่างค่าที่อ่านจากเทปวัดเทียบกับค่าแสดงบน name plate หรือบน gauge hatch มากกว่าที่กำหนดให้ตั้งข้อสังเกตว่าอาจมีสิ่งกีดขวางไม่ให้ตุ้มน้ำหนักถ่วงสัมผัสกับบน dip plate หากสิ่งกีดขวางเป็นโคลน (sludge) ซึ่งมากับ

การขนถ่ายของเหลวเข้าออกถังสำรองสามารถสังเกตได้จากเสียงที่ตุ้มถ่วงน้ำหนักของสายเทปวัดระดับกระทบกับ dip plate จะเป็นเสียงตึบๆ หรือถูกดูดซับเสียงไปและมีเสียงไม่ก้องกังวานเพียงพอแต่ถ้าหากสิ่งกีดขวางเป็นวัสดุ เช่น dip weight, sample can, thermometer เป็นต้น ซึ่งเกิดจากเจ้าหน้าที่ทำหล่นลงไปในถังสำรองขณะปฏิบัติงานก็อาจจะมีเสียงกังวานเมื่อตุ้มน้ำหนักถ่วงกระทบถูกซึ่งอาจหลอกให้เจ้าหน้าที่เข้าใจผิดก็อาจเป็นได้ซึ่งกรณีดังกล่าวก็ต้องใช้ความสามารถเฉพาะตัวและข้อมูลเดิมว่ามีการบันทึกว่าได้ทำสิ่งของใดตกลงเข้าไปในถังสำรองบ้าง ข้อมูลดังกล่าวก็พอเป็นสิ่งที่ทำให้ผู้ปฏิบัติงานต่อมาพึงระมัดระวังและสังเกตได้เช่นกัน

5. ดำเนินการ ตามขั้นตอน 1 ถึง 3 ซ้ำกันอีกจนครบอย่างน้อย 3 ครั้งเพื่อหาค่า repeatability ของการวัดหาค่า reference height

ด้วยเหตุนี้การวัดหาค่า reference height ก่อนทุกครั้งจึงเป็นเรื่องสำคัญและจำเป็นอีกทั้งให้ทำเครื่องหมายหรือตำแหน่งบน gauge hatch ว่าตำแหน่งใดเป็นตำแหน่งที่หย่อน sounding tape ลงไป ดังนั้นทุกครั้งที่วัดระดับของเหลวภายในถังจะได้ทำการวัดที่จุดเดียวกับจุดที่ทำการวัดหาค่า reference height ที่เดิมทุกครั้ง



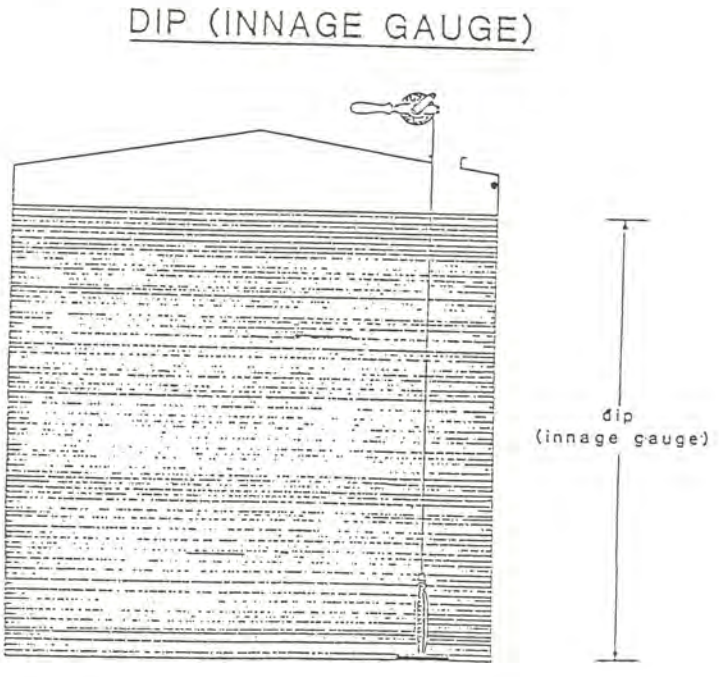
รูปที่ 76 การหาระดับความสูงอ้างอิง (Reference height)

การหาระยะวัด Dip

ระยะวัด (Dip) คือ ระยะทางในแนวตั้งฉากกับแผ่นระดับอ้างอิง (dip plate) ระหว่างจุดระดับอ้างอิง (Dipping datum point) กับระดับของของเหลว หากสับสนควรกลับไปอ่านในศัพท์ทางเทคนิคและนิยาม บทก่อนหน้านี้

ในกรณีที่ทำการสอบเทียบถังสำรองหลังจากเติมน้ำเข้าสู่ถังสำรองครบตามปริมาตรที่กำหนดไว้ในแต่ละครั้ง (filling step volume) จากนั้นรอคอยระยะเวลาช่วงหนึ่งจนมั่นใจว่าระดับน้ำภายในถังสำรองนิ่งแล้วจึงทำการวัดระดับความสูงของน้ำภายในถังสำรอง ในการวัดระดับน้ำภายในถังสำรองพอจะแบ่งออกได้ 2 ช่วงคือช่วงที่ระดับน้ำต่ำกว่า Manhole กับช่วงที่ระดับน้ำสูงกว่าระดับ Manhole ในช่วงที่ระดับน้ำต่ำกว่าระดับ manhole เราสามารถเข้าไปในถังเพื่อวัดระดับของเหลวภายในถังได้โดยเฉพาะขั้นตอนในการหาปริมาตร sump แต่เมื่อหาปริมาตร sump เป็นที่เรียบร้อยแล้วการวัดระดับของน้ำภายในถังสำรองจะกระทำผ่านทาง gauge hatch หรือ dip hatch เนื่องจากเมื่อระดับน้ำสูงเพิ่มมากขึ้นก็จะมีการปิด manhole ดังนั้นเป็นไปไม่ได้ที่เราจะสามารถอ่านค่าผลการวัดระดับของเหลวบน gauging tape หรือ sounding tape ได้โดยตรง อีกทั้งน้ำไม่ทิ้งร่องรอยหรือคราบไว้บน gauging tape ดังกล่าว ดังนั้นจำเป็นต้องหาเทคนิคเข้าช่วยเพื่อให้สามารถแยกแยะแนวระดับความสูงของน้ำที่ปรากฏอยู่บน gauging tape ซึ่งมีเทคนิคหลายวิธีการด้วยกัน เช่น ใช้น้ำยาทาบน gauging tape บริเวณที่คาดหรือประมาณว่าเป็นรอยต่อระหว่างน้ำกับอากาศควรอยู่ ณ บริเวณความสูงนั้นช่วงหนึ่ง น้ำยาดังกล่าวจะทำปฏิกริยากับน้ำและเปลี่ยนสีอย่างเห็นได้ชัด ส่งผลให้เราสามารถจำแนกแนวรอยต่อระหว่างน้ำกับอากาศหลังจากดึง gauging tape ขึ้นมาเราจะทราบระดับความสูงของน้ำภายในถังสำรองได้ หรือเราอาจใช้วิธีการง่ายๆและได้ผลไม่ต่างกันมากนักอีกทั้งเป็นการประหยัดไม่ต้องซื้อน้ำยาดังกล่าวที่มีราคาค่อนข้างแพงเพียงแต่ใช้สบู่อาบน้ำแบบก้อนทาบางๆบน gauging tape บริเวณที่สบู่โดนน้ำจะมีรอยเคลือบของสบู่จางลงไปอย่างเห็นได้ชัดเจนเช่นกัน

สิ่งที่ต้องพึงระวังในกรณีใช้น้ำยา (gasoline finder paste) ต้องทาบน gauging tape ให้เป็นฟิล์มบางๆ ไม่หนาจนเกินไปจนทับขั้นหมายมาตราจนมองขั้นหมายมาตราไม่ได้ ซึ่งหากทาหนาจนเกินไปยังทำให้ของเหลวเกิดการขยายตัวขึ้นด้วยการซึมขึ้นมาทางด้านบนซึ่งทำให้ได้ตัวเลขที่ผิดไปจากค่าที่ควรเป็น ดูรูปที่ 77



รูปที่ 77 การหาระดับความสูงของเหลวภายในถังสำรอง (dip)

วิธีการ Dipping

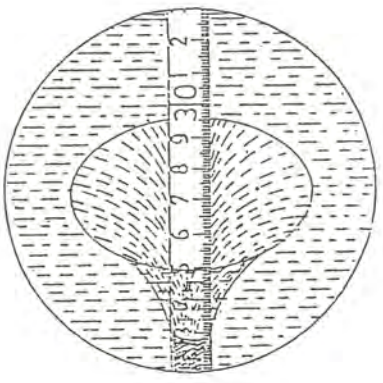
1) ตำแหน่งที่จะหย่อน gauging tape ต้องเป็นตำแหน่งเดียวกับตำแหน่งที่หาระดับความสูงอ้างอิง (reference height) ทั้งนี้เพื่อสามารถทำการวัดที่ตำแหน่งเดิมดังกล่าวซ้ำกันทุกๆครั้ง เรียกเป็นตำแหน่งอ้างอิง (reference position)

2) ทาน้ำยาหรือสบู่บน gauging tape บริเวณที่พอประมาณได้ว่าระดับความสูงของน้ำควรอยู่ที่บริเวณดังกล่าว ไม่ควรทาหนาหรือบางจนเกินไป

3) นำ gauging tape หย่อนลงในถังสำรอง (ในกรณีสอบเทียบถังสำรองแบบเปียก) หลังจากปล่อยน้ำเข้าถังตาม filling step schedule เป็นเวลาช่วงครู่ก่อนวัดระดับความสูง (dip) จริงแต่ต้องจัดให้ gauging tape อยู่ในระดับที่สูงกว่าระดับความสูงอ้างอิงจริงๆ โดยประมาณ 1 เซนติเมตร

4) หลังจากนั้นค่อยๆหย่อน gauging tape ลงไปในถังสำรองและต้องแน่ใจว่าตัวเทปที่เป็นโลหะได้สัมผัสแนบแน่นกับ gauge hatch ตลอดเวลาที่หย่อน dip weights และ tape เข้าไปในถังสำรอง ทั้งนี้เพื่อป้องกันการปลดปล่อยของไฟฟ้าสถิตย์ (static electricity) ที่อาจเกิดขึ้นได้ เมื่อปล่อย gauging tape ลงจนได้ระดับเท่ากับระดับความสูงอ้างอิง (reference height) จากนั้นให้รีบยก gauging tape ขึ้นทันทีอย่างรวดเร็ว เพราะหากปล่อย gauging tape ไปอย่างรวดเร็วอาจเกิดการกระจายของของน้ำภายในถังสำรองมาเปื้อนบน gauging tape ได้และส่งผลให้ได้ผลการวัดระดับผิดพลาด *ความรู้เพิ่มเติม* แต่ในกรณีที่ของเหลวภายในถังสำรองมีความหนืดสูงมากที่อุณหภูมิที่ทำการวัดของเหลวดังกล่าวจะมีความตึงของผิวหน้าของเหลวสูงมากดังนั้นเมื่อปล่อย gauging tape ลงไปจะทำผิวหน้าของเหลวลู่ตาม gauging tape ดังนั้นหลังจากที่ตุ้มถ่วงน้ำหนักสัมผัสกับ dip plate เป็นที่เรียบร้อยแล้วจำเป็นต้องทิ้งเวลาไว้ชั่วครู่เพื่อให้ระดับผิวหน้าของเหลวกลับคืนสภาพเดิมในแนวราบก่อนที่จะดึง gauging tape ขึ้นมาเพื่ออ่านค่าระดับความสูงของเหลวต่อไป ดูรูปที่ 78

5) ***วัดระดับความสูง (dip) ของน้ำภายในถังสำรองซ้ำกันอย่างน้อย 3 ครั้งในแต่ละค่าระดับความสูง ทั้งนี้ผลการวัดระดับความสูงต้องต่างกันไม่เกิน 1 มิลลิเมตร หากผลต่างกันเกินกว่า 1 มิลลิเมตร ให้ทำการวัดใหม่*** แต่ต้องรอจนระดับของน้ำภายในถังสำรองนิ่งจริง



รูปที่ 78 ของเหลวที่ต้องการวัดมีความหนืดสูง ต้องคอยเวลาระยะหนึ่งก่อนดึงสายเทปวัดระดับความสูงขึ้นมาเพื่อคอยให้ของเหลวซึ่งลู่ตัวไปกับสายเทปกลับคืนสู่สภาพระดับเดิม

ระดับความสูง (Ullage or Height)

ระดับความสูง (Ullage or Height) คือ ระยะความสูงจากผิวหน้าระดับของของเหลวถึงจุดอ้างอิง (คือความสูงอ้างอิง) บนสุดของถังสำรอง

ในกรณีที่เราไม่สามารถวัดหาระยะวัด (Dip) หรือระดับความสูงของน้ำภายในถังสำรองเหนือ dip plate ได้เนื่องจากตุ้มถ่วงน้ำหนักไม่สามารถสัมผัสกับ dip plate ได้ เราสามารถหาระยะวัดโดยทางอ้อมด้วยการหาระดับความสูง (Ullage or Height) จากนั้นนำค่านี้ไปลบออกจากระดับความสูงอ้างอิง (reference height) ก็จะได้ค่าระยะวัด (dip) จากความสัมพันธ์ดังสมการข้างล่าง

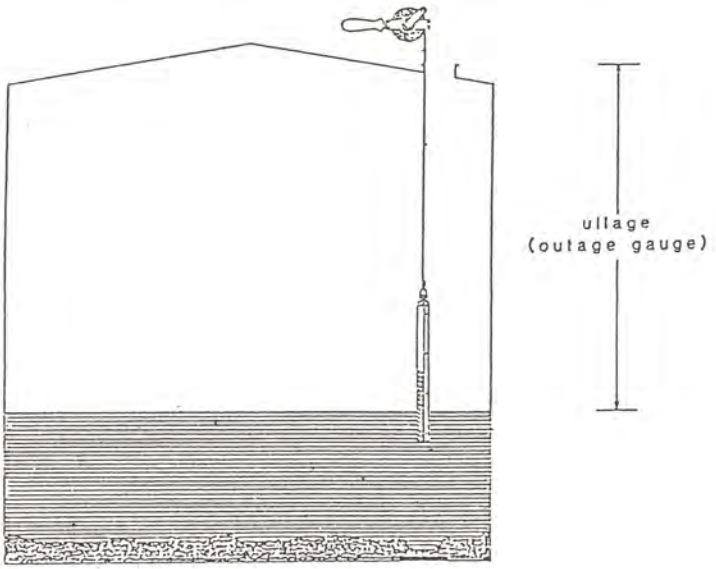
Reference height = Dip + Ullage or Height

การหาระยะระหว่างตำแหน่งอ้างอิงซึ่งมีค่าระดับความสูงอ้างอิง (reference height) กับระดับผิวหน้าของเหลวภายในถังสำรองกระทำโดยใช้ gauging tape เช่นเดียวกับการหาระยะวัด (dip) ดูรูปที่ 79

วิธีการหาระดับ Ullage or Height

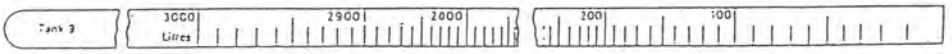
1) กำหนดตำแหน่งที่จะหย่อน gauging tape บน gauge hatch ต้องเป็นตำแหน่งเดียวกับตำแหน่งที่หาระดับความสูงอ้างอิง (reference height) และให้ใช้ตำแหน่งดังกล่าวสำหรับวัดระยะทุกครั้ง เรียกเป็นตำแหน่งอ้างอิง (reference position)
2) ทาน้ำยาหรือสบู่บนตุ้มถ่วงน้ำหนัก ไม่ควรทาหนาหรือบางจนเกินไป
3) หลังจากนั้นค่อยๆหย่อน gauging tape ลงไปในถังสำรองและต้องแน่ใจว่าตัวเทปที่เป็นโลหะได้สัมผัสแนบแน่นกับ gauge hatch ตลอดเวลาที่หย่อน dip weights และ tape เข้าไปในถังสำรอง ทั้งนี้เพื่อป้องกันการปลดปล่อยของไฟฟ้าสถิตย์ (static electricity) ที่อาจเกิดขึ้นได้ เมื่อปล่อย gauging tape ลงจนได้ระดับที่คาดว่าตุ้มถ่วงน้ำหนักสัมผัสกับผิวหน้าของเหลวภายในถังสำรอง อาจจะด้วยการสังเกตหรือระยะคาดคะเนก็ตาม ทำการอ่านค่าตัวเลขระยะบน gauging tape ที่ตำแหน่งอ้างอิง (reference point) ซึ่งทำเครื่องหมายเป็น reference height ประจำถังสำรองนั้นๆ จากนั้นให้รีบยก gauging tape ขึ้นทันทีอย่างรวดเร็ว
4) ทำการบันทึกค่าระยะรอยตัดกันระหว่างของน้ำกับอากาศบนตุ้มถ่วงน้ำหนัก
5) นำค่าตัวเลขระยะบน gauging tape ที่ตำแหน่งอ้างอิง (reference point) ซึ่งทำเครื่องหมายเป็น reference height ประจำถังสำรอง ลบด้วยค่าระยะรอยตัดกันระหว่างน้ำกับอากาศบนตุ้มถ่วงน้ำหนัก ก็คือค่า ระดับความสูง (Ullage or Height)
6) ระยะวัด (Dip) มีค่าเท่ากับ Reference height - Ullage or Height
7) ทำขั้นตอน 1) ถึง 6) ซ้ำกันอย่างน้อย 3 ครั้ง ทั้งนี้***ผลการวัดระดับความสูงต้องต่างกันไม่เกิน 1 มิลลิเมตร หากผลต่างกันเกินกว่า 1 มิลลิเมตร ให้ทำการวัดใหม่*** แต่ต้องรอจนระดับของน้ำภายในถังสำรองนิ่งจริง

ULLAGE (OUTAGE GAUGE)



รูปที่ 79 ในกรณีที่วัดความสูงของเหลว (dip) ไม่ได้ เช่นมี sludge เต็มก้นถังสำรอง ก็อาจหาค่า Ullage แทน

DIP ROD



ULLAGE ROD

รูปที่ 80 แท่งวัดระดับของเหลว (dip rod) และแท่งวัด Ullage (Ullage rod)

บทที่ 6

การหาปริมาตร Sump

(How to determine the sum volume)

จากคำนิยามของ **Sump** คือปริมาตรของถังสำรองบริเวณก้นถังสำรอง โดยจะไม่มีการหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรกับความสูงของระดับของเหลวแต่อย่างใด โดยปกติแล้วหมายถึงปริมาตรของเหลวตั้งแต่ก้นพื้นถังสำรองจนถึงขอบบนสุดของแผ่นระดับอ้างอิง (dip plate) ของเหลวในบริเวณดังกล่าวนี้จะไม่ได้ถูกใช้งานเมื่อมีการใช้ถังสำรองด้วยเหตุผลที่ว่าในการขนถ่ายผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมถูกดำเนินการมาเป็นช่วงๆ ตั้งแต่ต้นทางจนถึงปลายทาง อย่างเช่นน้ำมันดิบ หลังจากถูกขุดเจาะขึ้นมาก็จะถูกสูบอัดผ่านระบบท่อทางซึ่งอาจมีสิ่งสกปรกค้างอยู่ และในขณะเดียวกันภายในเนื้อน้ำมันดิบเองก็อาจมีสิ่งเจือปนมาด้วยเช่นกัน น้ำมันดิบจะถูกสูบอัดเข้ามาเก็บไว้ในถังสำรองเพื่อรอทำการขนถ่ายไปยังสถานที่ที่ต้องการหลังจากมีการซื้อขาย การขนถ่ายอาจเป็นเรือเดินสมุทรหรือระบบท่อทางขึ้นอยู่กับระยะทางและระบบท่อทางที่มีอยู่ ในระหว่างขนถ่ายแต่ละช่วงแต่ละตอนอาจมีการเจือปนสิ่งสกปรกเข้ามาด้วย ดังนั้นเมื่อมาถึงถังสำรอง ณ จุดปลายทางน้ำมันดิบหรือผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมได้หยุดพักนิ่งเป็นเวลานานๆ การตกตะกอนของสิ่งเจือปนจึงเกิดขึ้นและจะสะสมอยู่ที่ก้นถังสำรองนี้เอง หรือบางครั้งหากมีน้ำปนมากับน้ำมันดิบหรือผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมเมื่อเวลาผ่านไปเกิดการแยกชั้นเกิดขึ้นน้ำที่แยกชั้นนั้นก็จะตกลงสู่ก้นถังสำรองเนื่องจากน้ำมีความหนาแน่นมากกว่าน้ำมันหรือผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม นอกจากนี้การบิดตัวหรือการเสียรูปของพื้นถังในลักษณะที่ไม่สามารถคาดเดาได้ส่งผลให้ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความสูงของของเหลวภายในถังสำรองกับปริมาตรของเหลวที่บรรจุภายในถังสำรองช่วงนี้มีความสัมพันธ์ที่ไม่คงที่แน่นอน ด้วยเหตุนี้พอจะกล่าวได้ว่าปริมาตรของ sump จึงไม่ถูกนำมาคิดหรือคำนวณในการใช้สอยถังสำรอง ดังนั้นในการสร้างถังสำรองซึ่งต้องใช้เงินจำนวนมากก็เพื่อให้สามารถใช้สอยปริมาตรภายในถังสำรองให้ได้มากที่สุดเท่าที่จะมากได้จำเป็นต้องออกแบบให้ปริมาตรของ sump มีค่าน้อยที่สุดเท่าที่จะมีได้เช่นกัน

การหาปริมาตร sump เป็นวิธีการที่ต้องดำเนินการไม่ว่าจะทำการสอบเทียบแบบเปียก (Wet calibration) หรือการสอบเทียบแบบแห้ง (Dry calibration) สิ่งที่เราอาจตั้งข้อสงสัยว่าหากเราทำการสอบเทียบแบบแห้งแล้วเราทำไมเราจำเป็นต้องหาปริมาตร sump อีกหรือ พออธิบายด้วยความเข้าใจเบื้องต้นว่า จากลักษณะที่แท้จริงของถังสำรองในทางปฏิบัติแล้ว ไม่ว่าถังสำรองจะมีโครงสร้างพื้นฐานเป็นพื้นคอนกรีตหนาเป็นวงกลมใหญ่กว่าเส้นผ่านศูนย์กลางถัง หรือจะเป็นวงแหวนคอนกรีตเพื่อรองรับส่วนที่เป็นผนังถัง (concrete wall ring) โดยมีส่วนตรงกลางเป็นการบดอัดดินมีความหนาแน่น 100% หรืออาจเป็นการอัดบดดินแน่น 100% ตลอดบริเวณที่พื้นถังสำรองวางอยู่ก็ตาม แต่สิ่งที่พบว่ามีลักษณะคล้ายๆกันก็คือเมื่อใช้งานถังสำรองไปได้ระยะเวลาหนึ่งแล้วพื้นถังจะไม่มีความราบเรียบเหมือนเช่นตอนพึ่งสร้างเสร็จใหม่ๆ และในบางครั้งปัญหาก็เกิดขึ้นจากการเชื่อมพื้นถังเองที่ไม่สามารถทำให้ราบเรียบตลอดทั่วทั้งพื้นถังสำรองเนื่องจากการดึงและยึด

ของแผ่นโลหะขณะที่ถูกเชื่อมเข้าด้วยกันและเมื่อถูกใช้งานไปช่วงระยะเวลาหนึ่งแล้วพื้นถังยิ่งไม่ราบเรียบเพิ่มขึ้นไปอีก สิ่งเหล่านี้จึงเป็นเรื่องที่ยากมากในทางปฏิบัติในการวัดรูปทรงทางเรขาคณิตของบริเวณที่ระดับต่ำลงมาจากแผ่นระดับอ้างอิง (Dip Plate) เพื่อหาปริมาตรใต้ระดับแผ่นระดับอ้างอิง การหาปริมาตร sump ด้วยวิธีที่จะกล่าวในบทนี้จึงเป็นวิธีการที่สะดวกและให้ผลน่าเชื่อถือมากวิธีหนึ่งในทางปฏิบัติโดยเฉพาะงานทางด้านชั่งตวงวัดตามข้อกำหนดกฎหมาย (legal metrology)

การกำหนดระดับของแผ่นระดับอ้างอิง (Dip Plate)

ก่อนที่จะเริ่มทำการหาปริมาตรของ sump ควรสรุประดับความสูงของแผ่นระดับอ้างอิง (dip plate) ให้แน่นอนเสียก่อนเนื่องจากตามข้อกำหนดของ sump นั้นเรากำหนดให้ขอบบนสุดของแผ่นระดับอ้างอิงเป็นขอบเขตสูงสุดของ sump ด้วยเหตุนี้ระดับความสูงของแผ่นระดับอ้างอิงควรเป็นระดับที่อยู่เหนือจุดสูงสุดของพื้นถังทั้งหมดแต่หากกำหนดให้มีระดับสูงเกินไปก็จะไปลดปริมาตรการใช้สอยของถังสำรองดังนั้นจึงจำเป็นต้องหาข้อสรุประหว่างเจ้าของถังและเจ้าหน้าที่ก่อนที่ดำเนินการสอบเทียบต่อไป เมื่อสรุประดับความสูงของแผ่นระดับอ้างอิงได้แล้วเพื่อสะดวกในทางปฏิบัติควร***กำหนดให้ค่า control height หรือ Reference height (ระยะห่างระหว่างตำแหน่งขอบอ้างอิงบน dip hatch กับขอบบนของแผ่นระดับอ้างอิง) มีความสูงอยู่ในรูปของค่าที่เป็นจำนวนเท่าของ 10 ซม.*** จากนั้นจัดและปรับระดับแผ่นระดับอ้างอิงให้ได้ระดับขนานกับพื้นดินอย่างถูกต้องเท่ากันตลอดทั้งแผ่นแล้วให้ทำการล็อคสกรูร้อยลวดผูกซีลให้เรียบร้อย ค่า control height ที่หาได้นี้ยังมีประโยนช์ในการใช้ในการตรวจสอบว่าถังสำรองมีการเปลี่ยนแปลงรูปทรงหรือไม่หรือสามารถตรวจสอบว่าหลังจากใช้งานถังไปช่วงเวลาหนึ่งเกิดการสะสมของ sludge บนแผ่นระดับอ้างอิง (Dip Plate) หรือไม่ ได้อีกด้วย

ในกรณีที่ภายในถังสำรองประกอบด้วย deadwood สูงเกินจากพื้นถัง เราสามารถกำหนดให้ระดับของแผ่นระดับอ้างอิงสูงกว่า deadwood นั้นได้เพื่อลดปัญหาการคำนวณหรือการใช้ถังในโอกาสต่อไป แต่ถ้าหากระดับของ deadwood หรือปริมาตรของ deadwood อยู่สูงกว่าระดับของแผ่นระดับอ้างอิงหลังจากคำนวณหาปริมาตรที่ระดับนั้นได้แล้วต้องเอาปริมาตร deadwood ไปลบออกจากปริมาตรของเหลวที่ระดับความสูงดังกล่าวด้วย

การเตรียมระบบมาตรวัด (Metering system) หรือแบบมาตรา

การหาปริมาตรของ sump ด้วยการหาปริมาตรแทนที่ของของเหลวภายในถังสำรองเป็นวิธีปฏิบัติที่ง่ายและได้ผลแม่นยำน่าเชื่อถือ การวัดปริมาตรที่แทนที่ปริมาตร sumpและการเลือกชนิดของเหลวที่เหมาะสมจึงเป็นเรื่องที่สำคัญ เนื่องจากโดยปกติแล้วถังสำรองมักจะมีขนาดใหญ่ดังนั้นเพื่อความสะดวกและรวดเร็วในการปฏิบัติงานจึงควรเลือกระบบมาตรวัดแบบมาตราเป็นแบบมาตราในการหาปริมาตรของเหลวที่สูบอัดเข้าไปในถังสำรองแทนที่ใช้ prover tanks ซึ่งอาจเหมาะสมกับกรณีที่เป็นถังสำรองขนาดเล็กๆ ส่วนของเหลวที่เหมาะสมกับการทำงานนี้ดูเหมือนไม่พ้น "น้ำสะอาด" เนื่องน้ำมีข้อดีหลายประการเช่น

- ความจุความร้อนมาก (high heat capacity) นั้นหมายถึงหากอุณหภูมิภายในถังสำรองมีการเปลี่ยนแปลงไปหากไม่มากนัก น้ำยังคงรักษาค่าอุณหภูมิของน้ำได้ค่อนข้างคงที่
- มีสัมประสิทธิ์การขยายตัวต่ำ (low coefficient of expansion) ส่งผลให้ปริมาตรของน้ำมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นหรือลดลงค่อนข้างน้อยหากมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ
- การลดปริมาตรเนื่องจากความดัน (low compressibility) กระทำต่อน้ำมีค่าน้อย หรือพูดว่ายุบตัวน้อยมากนั่นเอง
- เป็นของเหลวที่ราคาถูก, หาง่าย, ไม่เป็นอันตรายต่อเจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงาน, เครื่องมือที่ใช้ในการวัดหรือประกอบด้วยราคาไม่สูงเมื่อเทียบกับเครื่องอุปกรณ์ที่ต้องใช้กับของเหลวผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม อีกทั้งง่ายต่อการเก็บรักษา

ระบบมาตรวัดแบบมาตรา (ดูรูปที่ 82 ถึง 88) อย่างน้อยควรประกอบด้วยอุปกรณ์แยกอากาศออกจากน้ำและมีตัวระบายก๊าซ (gas separator with bleeder) หลังจากถูกดักแยกออกจากน้ำโดยตัวระบายก๊าซควรมี gas indicator ประกอบอยู่ด้วยเพื่อสามารถตรวจสอบการระบาย, เครื่องกรองน้ำ, วาล์วปิด-เปิด ก่อนและหลังเข้าชุดอุปกรณ์และวาล์วกันกลับ (check valve) และที่สำคัญคือตัวมาตรวัดชั้นความเที่ยง class 0.5 (OIML R117) ก่อนนำระบบมาตรวัดดังกล่าวนี้มาใช้หาปริมาตรของ sump การตรวจสอบระบบมาตรวัดกระทำเช่นเดียวกับระบบมาตรวัดที่ใช้ในการสอบเทียบถังบรรจุของเหลวในแนวนอน หาอ่านได้ในส่วนก่อนหน้านี้

สำหรับแหล่งน้ำควรเป็นน้ำที่สะอาดมีปริมาตรเพียงพอต่อการปฏิบัติงานซึ่งต้องคำนวณปริมาตรอย่างคราวๆ ว่าต้องการจำนวนกี่ลิตรในการหาปริมาตร sump และการสอบเทียบอื่นที่ต้องการ ที่สำคัญปั๊มที่สูบน้ำเพื่ออัดเข้าถังสำรองโดยผ่านระบบมาตรวัดก่อนนั้นต้องสูบอัดและจ่ายด้วยอัตราการไหลคงที่ทั้งนี้เพื่อให้ได้ผลการวัดปริมาตรของน้ำด้วยระบบมาตรวัดมีค่าแม่นยำและน่าเชื่อถือเพราะหากปั๊มสูบอัดน้ำเข้าถังสำรองผ่านระบบมาตรวัดไม่สามารถรักษาอัตราการไหลให้คงที่ทำให้มาตรวัดของระบบมาตรวัดวัดอัตราการไหลที่แตกต่างกันหลายอัตราและต้องใช้ meter factor หลายค่าขึ้นอยู่กับเวลาและช่วงระยะเวลานั้นๆ ดังนั้นเป็นการยากและใช้เงินมากเกินไปที่ต้องตรวจสอบว่ามีอัตราการไหลเท่าใดใช้เวลานานเท่าใดและที่อัตราการไหลใดใช้ค่า meter factor เท่าใด

การหาปริมาตรของ SUMP

ในทางทฤษฎีเราสามารถสูบน้ำเข้าถังสำรองขนาดใหญ่รูปทรงแนวตั้งได้โดยตรงจนกระทั่งระดับน้ำสูงถึงขอบบนของแผ่นระดับอ้างอิงแล้วเราก็จะทราบปริมาตรได้ด้วยการอ่านค่าที่มาตรวัด หากพิจารณาในทางปฏิบัติแล้วสามารถทำได้เช่นนั้นหรือ? คำตอบว่าเป็นไปได้ยากมากในทางปฏิบัติเพราะเราจะรู้ได้อย่างไรว่า เมื่อใดระดับน้ำสูงเท่าขอบบนของแผ่นระดับอ้างอิงแล้วเราปิดวาล์วและยุติการสูบน้ำเข้าถังสำรองได้ทันที ในเมื่อถังสำรองมีขนาดใหญ่มากและการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำภายในถังสำรองยากต่อการสังเกต อีกทั้งความตึงของผิวหน้าของน้ำยังทำให้เรายากหรือเป็นไปไม่ได้ที่บ่งบอกได้ว่าขณะนี้ระดับน้ำได้ถึงระดับขอบบนของแผ่นระดับอ้างอิงแน่นอน นอกจากนี้ตัวถังสำรองเองก็มีขนาดใหญ่ย่อมแน่นอนว่าเมื่อปล่อยน้ำเข้าถังสำรองแล้วย่อมเกิดระลอกคลื่นอย่างต่อเนื่องและอาจต้องคอยเป็นเวลานานกว่าระลอกคลื่นจะสงบลง ด้วยเหตุนี้หากเรายังจะดื้อ

ดึงที่จะอ่านระดับขณะนั้นจะก่อให้เกิดความผิดพลาดจากอ่านระดับได้มากกว่าหรือเท่ากับ 1 มิลลิเมตร นั้นหมายถึงหากแปลงเป็นปริมาตรแล้วจะมีผลผิดสูงถึงหลายร้อยลิตรทีเดียวและยิ่งเพิ่มสูงมากขึ้นหากถังสำรองมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางยาวมากขึ้น

ยกตัวอย่างเช่น หากถังสำรองมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 เมตร และอ่านระดับผิดพลาดไป 1 ม.ม. นั้นหมายถึงปริมาตรผิดไปประมาณ 1,256 ลิตร เยอะทีเดียวล่ะครับท่าน หากเป็นน้ำมันเบนซิน ก็เติมใส่รถยนต์วิ่งได้เป็นเดือนเชียวล่ะ

ดังนั้นต่อไปนี้จึงเป็นเทคนิคในทางปฏิบัติเพื่อลดปัญหาและข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นได้ในภาคสนาม หลังจากที่เราเชื่อมระบบท่อทางจากแหล่งน้ำเข้ากับระบบมาตรวัดและเชื่อมระบบท่อออกจากระบบมาตรวัดเข้าสู่ภายในถังสำรอง ระบบท่อทางที่ต่อออกจากระบบมาตรวัดต้องไม่เชื่อมกับระบบท่อใดๆและต้องเป็นท่อที่ต่อตรงกับถังสำรองเท่านั้นไม่ผ่านอุปกรณ์ใดๆอีก เป็นที่เรียบร้อยแล้ว

1. ดำเนินการหาเส้นรอบวงถังสำรองอ้างอิง (reference circumference) ก่อนเพื่อหาพื้นที่หน้าตัดภายในถังสำรองของ shell ring ชั้นแรกสุดติดกับพื้นถัง
2. ตรวจสอบว่าภายในถังสำรองทั้งหมดแห้งสนิทไม่มีน้ำขัง วาล์วเข้าออกถังสำรองทั้งหมดได้ปิดทั้งหมดและต้องไม่มีของเหลวใดๆ ไหลเข้ามาสู่ถังสำรองได้ หากมีให้ทำการตรวจสอบแก้ไข ในกรณีที่ถอดวาล์วเพื่อนำไปซ่อมแซมให้ทำการทดสอบการรั่วก่อนนำมาติดตั้งเข้ากับถัง ไม่ยอมให้ใช้วาล์วอื่นที่ต่างจากวาล์วที่ติดตั้งจริงมาติดตั้งทดแทนก่อน หรือพูดอีกนัยหนึ่งก็คือ อุปกรณ์ประจำถังสำรองทั้งหมดต้องเป็นอุปกรณ์จริงประจำถังสำรองเท่านั้น ถือว่าการสอบเทียบถังสำรองจะดำเนินการได้ก็ต่อเมื่อถือว่าถังสำรองอยู่ในสภาพครบสมบูรณ์พร้อมใช้งานได้ทันทีหลังจากสอบเทียบถังสำรอง
3. บันทึกค่าปริมาตรเริ่มต้นของระบบมาตรวัด
4. สูบน้ำเข้าถังสำรองผ่านระบบมาตรวัดด้วยอัตราการไหลคงที่จนกระทั่งสังเกตได้ว่าระดับน้ำได้สูงถึงระดับหนึ่งครอบคลุมเกือบพื้นที่ทั้งหมดของพื้นถัง แต่ต้องมีระดับต่ำกว่าแผ่นระดับอ้างอิง ปิดวาล์วจ่ายน้ำเข้าถังสำรอง
5. เข้าไปในถังสำรองและคอยจนระดับน้ำนิ่ง ทำการวัดระดับระยะห่างระหว่างผิวหน้าของระดับน้ำกับพื้นผิวบนของแผ่นระดับอ้างอิง เราให้เรียกระดับนี้ว่า ***"water1"*** กำหนดให้ระยะต่ำกว่าผิวบนของแผ่นระดับอ้างอิงมีเครื่องหมายเป็น ***"ลบ"*** และระยะที่วัดสูงกว่าผิวบนของแผ่นระดับอ้างอิงมีเครื่องหมายเป็น ***"บวก"*** ในการวัดระยะห่างดังกล่าวจำเป็นต้องมุดเข้าไปในถังสำรองที่ต้องการสอบเทียบดังนั้นจำเป็นต้องมีรองเท้ากันน้ำและในขณะเดียวกันการที่เราเดินเข้าไปในถังสำรองดังกล่าวย่อมก่อให้เกิดระลอกคลื่นของน้ำดังนั้นก่อนที่ทำการวัดระยะดังกล่าวจำเป็นต้องปล่อยให้ระยะเวลาผ่านไปช่วงหนึ่งจนมั่นใจว่าระดับของคลื่นนิ่งในระดับที่พอยอมรับได้

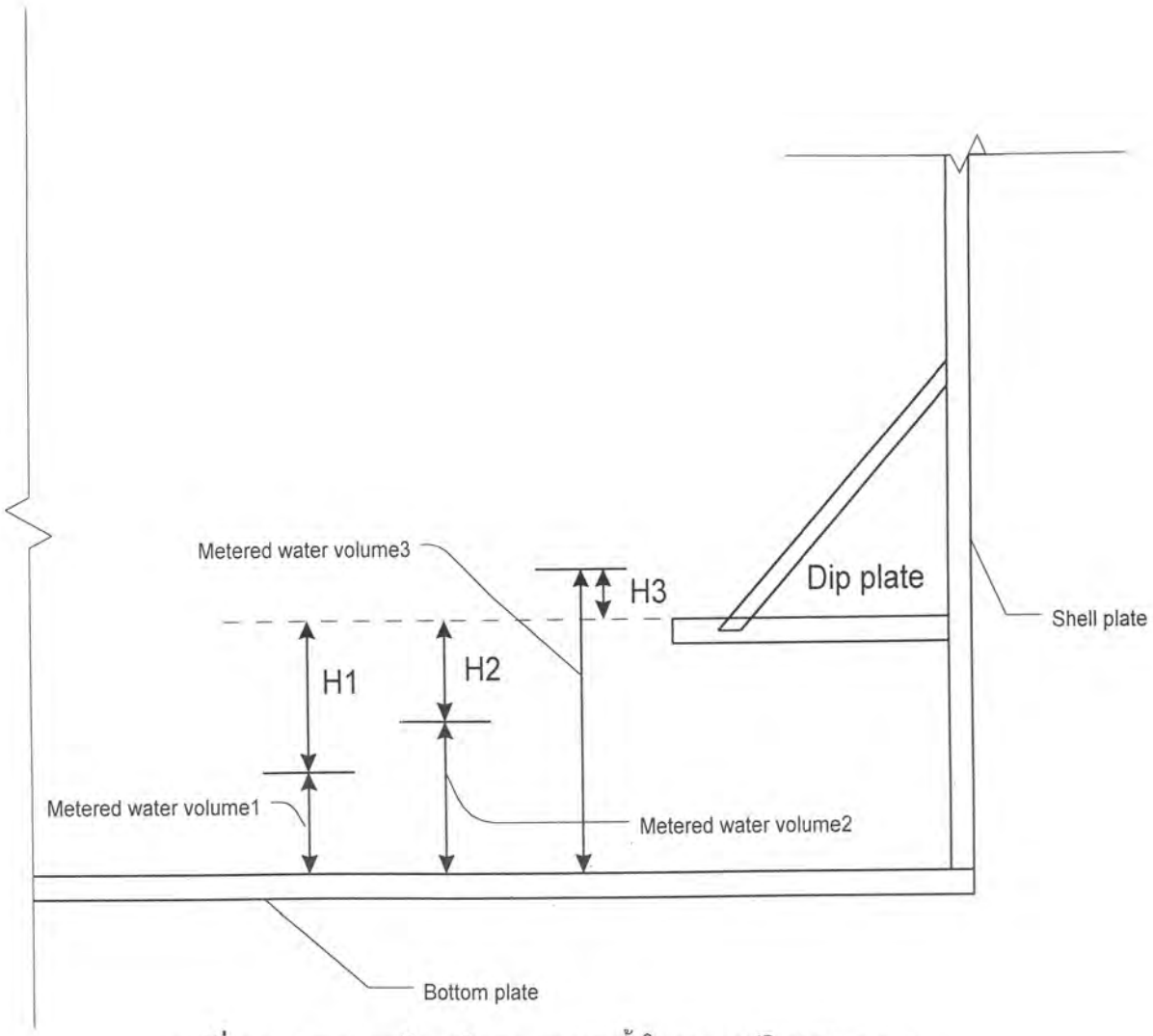
เทคนิคการวัดระยะห่างระหว่างผิวหน้าของระดับน้ำกับพื้นผิวบนของแผ่นระดับอ้างอิง

- ทาสารที่ทำปฏิกิริยาเปลี่ยนสีเมื่อสัมผัสน้ำบนเทปวัดระดับของเหลว (sounding tape) บริเวณที่คาดว่าเป็นระดับความสูงรอยต่อของน้ำกับอากาศ
- จากนั้นหย่อนลูกดิ่งให้สัมผัสกับพื้นถังและให้ตัวเทปวัดแนบชิดและตั้งฉากกับแผ่นระดับอ้างอิง
- ดังนั้นเราจะได้ความสูง 2 ค่าคือความสูงของน้ำจากพื้นถังเนื่องจากน้ำยาที่ทาบนเทปวัดเปลี่ยนสีกับความสูงของแผ่นระดับอ้างอิงสูงจากพื้นถัง
- จากนั้นนำ 2 ค่าดังกล่าวมาลบกันก็จะได้ "ระยะห่างระหว่างผิวหน้าของระดับน้ำกับพื้นผิวบนของแผ่นระดับอ้างอิง" ข้อดีของวิธีการนี้ก็คือสามารถตรวจสอบความสูงของแผ่นระดับอ้างอิงเทียบกับพื้นถังในแต่ละครั้งที่ทำการวัดทำให้สามารถเปรียบเทียบและลดผลผิดที่เกิดจากการวัดได้อีกวิธีหนึ่ง

6. บันทึกปริมาตรที่วัดได้ที่มาตรวัดของระบบมาตรวัด
7. เปิดวาล์วจ่ายน้ำเข้าถังสำรอง สูบน้ำเข้าถังสำรองผ่านระบบมาตรวัดด้วยอัตราการไหลคงที่อีกครั้ง จนกระทั่งสังเกตได้ว่าระดับน้ำได้สูงถึงระดับหนึ่งซึ่งสูงกว่าระดับน้ำเดิม แต่ทั้งนี้ระดับน้ำดังกล่าวอาจต่ำกว่าหรือสูงกว่าระดับความสูงของแผ่นระดับอ้างอิงก็ได้ แต่ต้องไม่สูงเท่ากับระดับความสูงของพื้นผิวบนของระดับแผ่นระดับอ้างอิงอย่างเด็ดขาด ปิดวาล์วจ่ายน้ำเข้าถัง
8. เข้าไปในถังสำรองและคอยจนระดับน้ำนิ่ง ทำการวัดระดับระยะห่างระหว่างผิวหน้าของระดับน้ำกับพื้นผิวบนของแผ่นระดับอ้างอิง เราให้เรียกระดับนี้ว่า ***"water 2"*** วิธีการวัดเป็นเช่นเดียวกับเทคนิคการวัดระยะห่างระหว่างผิวหน้าของระดับน้ำกับพื้นผิวบนของแผ่นระดับอ้างอิง ในข้อ 4
9. บันทึกปริมาตรที่วัดได้ที่มาตรวัด ถือเป็นปริมาตรที่ระดับน้ำ ***"water 2"***
10. เปิดวาล์วจ่ายน้ำเข้าถังสำรอง สูบน้ำเข้าถังสำรองผ่านระบบมาตรวัดด้วยอัตราการไหลคงที่อีกครั้ง จนกระทั่งสังเกตได้ว่าระดับน้ำได้สูงถึงระดับหนึ่ง โดยความสูงนี้ต้องสูงกว่าระดับน้ำเดิมและต้องสูงกว่าระดับความสูงของแผ่นระดับอ้างอิง แต่อย่างไรก็ตามหากมีความจำเป็นจริงๆ จนสุดวิสัยเช่นจำเป็นต้องใช้ปริมาณจำนวนมากเกินกว่าสามารถจัดหาได้แล้ว ก็พออนุโลมให้ความสูงของระดับน้ำครั้งที่ 3 นี้อาจต่ำกว่าระดับของแผ่นระดับอ้างอิงได้เช่นกัน ปิดวาล์วจ่ายน้ำเข้าถัง
11. เข้าไปในถังสำรองและคอยจนระดับน้ำนิ่ง ทำการวัดระดับระยะห่างระหว่างผิวหน้าของระดับน้ำกับพื้นผิวบนของแผ่นระดับอ้างอิง เราให้เรียกระดับนี้ว่า ***"water 3"***
12. บันทึกปริมาตรที่วัดได้ที่มาตรวัด ถือเป็นปริมาตรที่ระดับน้ำ ***"water 3"***

สิ่งที่ต้องพึงระวังในการใส่เครื่องหมาย + และ – หน้าค่าระยะห่างระหว่างผิวหน้าของระดับน้ำกับพื้นผิวบนของแผ่นระดับอ้างอิง

- หากระดับความสูงของน้ำต่ำกว่าระดับความสูงของพื้นผิวบนของแผ่นระดับอ้างอิง ให้ใส่เครื่องหมาย "-" หน้าค่าระยะห่างระหว่างผิวหน้าของระดับน้ำกับพื้นผิวบนของแผ่นระดับอ้างอิง



รูปที่ 81 แสดงการวัดระดับความสูงของน้ำในการหาปริมาตร sump

- หากระดับความสูงของน้ำสูงว่าระดับความสูงของพื้นผิวบนของแผ่นระดับอ้างอิง ให้ใส่เครื่องหมาย "+" หน้าค่าระยะห่างระหว่างผิวหน้าของระดับน้ำกับพื้นผิวบนของแผ่นระดับอ้างอิง

พอสรุปผลการวัดระยะห่างระหว่างระดับผิวน้ำกับพื้นผิวบนของแผ่นระดับอ้างอิงดังในตารางที่ 6.1

ตารางที่ 6.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรของน้ำกับระยะความสูง ระหว่างระดับผิวน้ำกับพื้นผิวบนของแผ่นระดับอ้างอิง

	Distance dip plate – to water level (m)	**Filled Water Volume (liters)**
Water 1	H1	Metered water volume1
Water 2	H2	Metered water volume2
Water 3	H3	Metered water volume3

คำนวณหาปริมาตรของ Sump ได้ค่าที่แตกต่างออกมา 3 ค่าคือ

Sump Volume1 = Metered water volume1 + H1* Cross Section Area of Tank
Sump Volume2 = Metered water volume2 + H2* Cross Section Area of Tank
Sump Volume3 = Metered water volume3 + H3* Cross Section Area of Tank

เมื่อ

Cross Section Area of Tank คือ พื้นที่หน้าตัดของถังสำรองในส่วนของ shell ring ชั้นแรกสุดติดกับพื้นถัง สามารถหาด้วยใช้ค่าเฉลี่ยของผลรวมของเส้นผ่านศูนย์กลางภายในต่ำสุดกับเส้นผ่านศูนย์กลางภายในสูงสุด; $\pi((D_{max}+D_{min})/2*2)^2$

ทั้งนี้ผลการหาความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน นั้นหาได้จากขั้นตอนการหาเส้นรอบวงถังสำรองอ้างอิง ด้วยเหตุนี้ก่อนหา sump ของถังสำรองจำเป็นต้องดำเนินการหาเส้นรอบวงถังสำรองอ้างอิงเสียก่อน

สรุปได้ว่าปริมาตร sump ของถังสำรองมีค่าเท่ากับค่าเฉลี่ยของค่าที่หาได้ทั้ง 3 ดังสมการข้างล่าง

Sump Volume = (Sump Volume1+ Sump Volume2+ Sump Volume3)/3

ตัวอย่าง 6.1 ถังสำรองมีเส้นผ่านศูนย์กลางของผนังถังชั้นแรก (1^{st} shell ring) โดยเฉลี่ยเท่ากับ 20 เมตร หลังจากดำเนินการทดสอบสูบน้ำเข้าถังสำรองพร้อมบันทึกระยะห่างระหว่างผิวหน้าของระดับน้ำกับพื้นผิวบนของแผ่นระดับอ้างอิงและปริมาตรที่วัดได้ด้วยระบบมาตรวัดดังสรุปไว้ในตาราง

	Distance dip plate – to water level	Filled Water Volume (liters)
Water 1	-31 mm.	18,000 l
Water 2	-9 mm.	25,000 l
Water 3	+7 mm.	30,000 l

ระบบมาตรวัดที่ใช้นั้นตัวมาตรวัดได้รับการสอบเทียบและมีค่า deviation +0.1% นั้นหมายถึงมาตรวัดแสดงค่าเกินกว่าค่าที่เป็นปริมาตรจริงอยู่ +0.1%

$$\text{deviation} = \left(\frac{\text{meter indicated} - \text{standard indicated}}{\text{standard indicated}} \right) \times 100\%$$

เมื่อ

meter indicated = มาตรวัดแสดงค่าปริมาตร

standard indicated = ปริมาตรที่อ่านได้จากแบบมาตรา

Sump Determination

ชนิดของเหลวที่ใช้ทดสอบ น้ำ

ระบบมาตรวัด มี Gas separator

มาตรวัดมี deviation (f) เท่ากับ +0.1% ที่อัตราการไหล 160 l/mim.

มีเส้นผ่านศูนย์กลางของผนังถังชั้นแรก (1st shell ring) โดยเฉลี่ย 20 เมตร

Cross Section Area of Tank; A 314.159 m^2

			ทดสอบครั้งที่		
			1	2	3
มาตรวัด					
ปริมาตรอ่านครั้งหลัง	m_F	l	18000	25000	30000
ปริมาตรอ่านครั้งแรก	m_S	l	0	0	0
ปริมาตรวัดได้ทั้งสิ้น	$V'_m = m_F - m_S$	l	18000	25000	30000
Correction deviation of Meter	$K = -\frac{f \bullet V'_m}{100}$	l	-18	-25	-30
$Volume_{cor}$	$V_{cor} = V'_m + K$	l	17982	24975	29970
Dipping					
Dip-height	H	mm	-31	-9	+7
Converse height to Volume	$V_H = H \bullet A$	l	-9739	-2827	+2199
Sump Volume	$V_S = V_{cor} - V_H$	l	27721	27802	27770
Mean Sump Volume		l	27764		

<u>เงื่อนไขพิเศษ</u> ต้องตรวจสอบผลต่างของ Sump Volume ที่คำนวณได้มาทั้ง 3 ค่าว่าก่อให้เกิดผลต่างของความสูงของระดับน้ำเกินกว่า 1 มม. หรือไม่ หากก่อให้เกิดความสูงของระดับน้ำต่างกันมากเกินกว่า 1 มม. แล้วต้องดำเนินการทดสอบใหม่

ตรวจสอบ

27721-27802 = -81 l หรือต่างกัน -81/314.159 = -0.258 mm. < 1 mm.

27721-27770 = -49 l หรือต่างกัน -49/314.159 = -0.156 mm. < 1 mm.

27802-27770 = 32 l หรือต่างกัน 32/314.159 = 0.102 mm. < 1 mm.

สรุปได้ว่าผลการหาปริมาตร sump มีค่าเท่ากับ 27,764 ลิตร ***<u>ANS</u>***

บทที่ 7

การทดสอบแบบเปียก

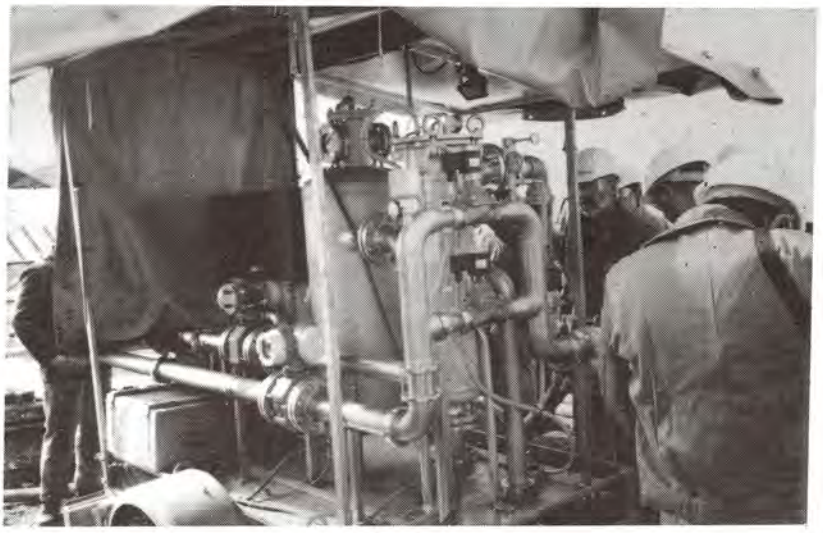
(Wet Calibration)

ดังที่ได้กล่าวไว้ในตอนต้นถึงวิธีการสอบเทียบถังสำรองบรรจุของเหลวในแนวนอนนั้น สามารถดำเนินการด้วยวิธีการหลักๆ อยู่ด้วยกัน 2 วิธีการคือ การสอบเทียบแบบเปียก (Wet calibration) และการสอบเทียบแบบแห้ง (Dry calibration) ในเฉพาะบทนี้เราจะกล่าวถึงวิธีการการแรกเสียก่อนนั้นคือ การสอบเทียบแบบเปียก

การสอบเทียบแบบเปียก (Wet calibration) หากทราบปริมาตรที่แท้จริงของน้ำที่ถูกสูบอัดเข้าถังสำรองด้วยการวัดด้วยระบบมาตรวัด (meter measuring system) หรือถังตวงมาตรา (volume standard หรือ prover tank) พร้อมกับทำการวัดระดับความสูงของน้ำภายในถังสำรองซึ่งวัดด้วย precision dip tape หรือ dip rod เป็นระยะๆ แต่ละปริมาตรน้ำที่ทราบ ทำให้ได้ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความสูงของน้ำภายในถังสำรองเทียบกับปริมาตรแสดงของของเหลวด้วยมาตรวัดหลังจากปรับแก้ไขค่า เราก็จะได้ dipping table การสอบเทียบด้วยวิธีการนี้มีข้อดีที่เป็นการสอบเทียบที่สภาวะการทำงานใกล้เคียงกับสภาวะการทำงานจริงของถังสำรองมากที่สุดดังนั้นโอกาสที่ให้ผลที่น่าเชื่อถือและถูกต้องจึงเป็นไปได้สูง แต่ก็ยังมีข้อเสียอยู่เช่นกันนั้นคือ เสียค่าใช้จ่ายสูงเนื่องจากจำเป็นต้องใช้น้ำในการสอบเทียบสูบอัดเข้าถังสำรองเป็นจำนวนมากอีกทั้งใช้เวลาในการดำเนินการหลายวันหากถังสำรองมีขนาดใหญ่

1. แบบมาตรา (Measuring system)

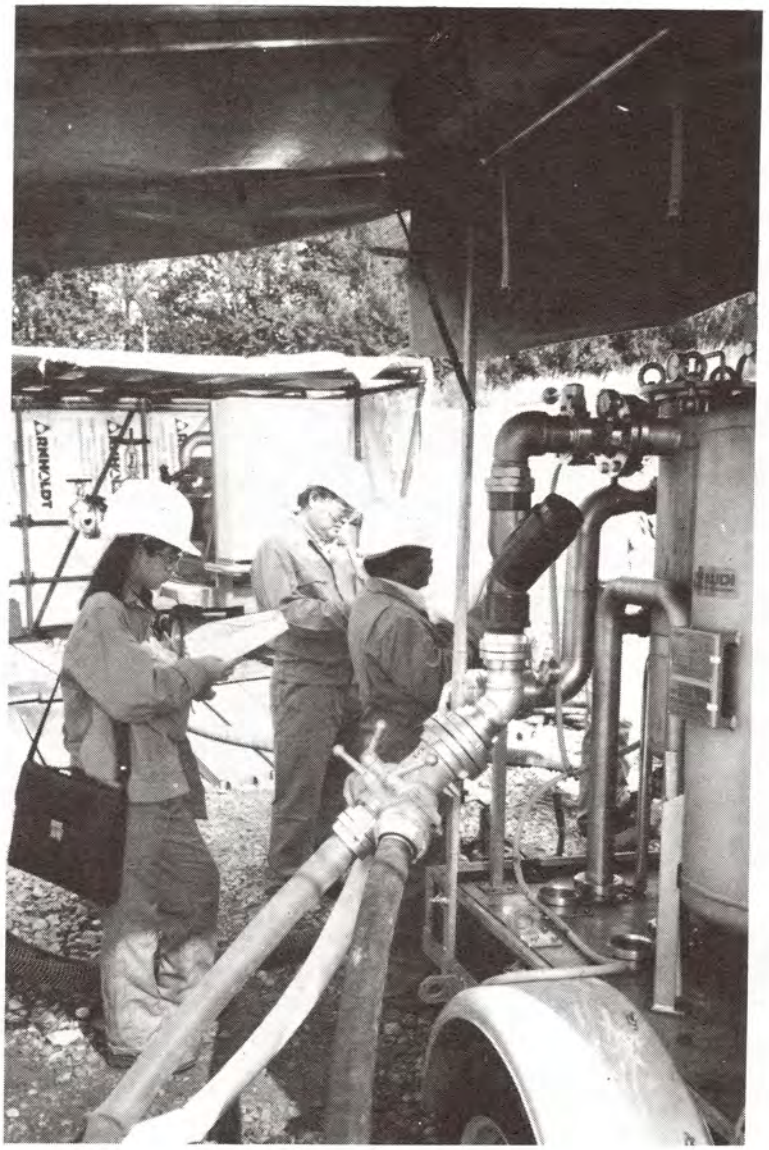
1.1 ระบบมาตรวัดแบบมาตรา ระบบมาตรวัดที่ใช้สำหรับตรวจสอบปริมาตรน้ำก่อนที่ถูกสูบเข้าถังสำรองนั้นอย่างน้อยระบบควรประกอบด้วย (ดูรูปที่ 82, 83, 84 และ 85)



รูปที่ 82 ชุดระบบมาตรวัดแบบมาตราสำหรับสอบเทียบถังสำรอง (ลากเคลื่อนที่ได้)

- **Gas Separator** ในกรณีใช้ปั๊มน้ำสูบน้ำจากแหล่งสำรองน้ำอัดเข้าถังสำรองหรือต่อท่อเข้ากับหัวจ่ายน้ำดับเพลิง (hydrant) ต้องจัดให้มี gas separator สำหรับแยกอากาศออกจากน้ำในระบบท่อส่งจ่ายน้ำก่อนที่ถูกวัดปริมาตรด้วยมาตรวัด (meter) ไม่เช่นนั้นแล้วอากาศจะไปรบกวนการทำงานและความถูกต้องแม่นยำของระบบวัดของมาตรวัด
- **Filter** เพื่อทำการกรองสิ่งสกปรกที่มากับน้ำ ทั้งนี้เพื่อป้องกันมาตรวัดเสียหายอีกทั้งเพื่อให้ได้ปริมาตรที่ถูกต้องและสะอาดเพียงพอต่อการสอบเทียบ

รูปที่ 83 inlet hoses ซึ่งมีหลายหัวเพื่อสามารถดึงน้ำจากแหล่งสำรองน้ำหลายแหล่งได้ ในการสอบเทียบ



รูปที่ 84 อีกมุมหนึ่งของชุดระบบมาตรวัดแบบมาตรา

- **มาตรวัด** นับเป็นหัวใจของระบบ มาตรวัดชนิดนี้ปกติแล้วจะอยู่ใน class 0.5 หรือ 0.3 ตาม OIML R117 ซึ่งนั้นหมายถึงเมื่อติดตั้งมาตรวัดเข้ากับระบบทั้งหมดแล้วมีผลผิด (meter error) เท่ากับ 0.5% และ 0.3% ตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตามเพื่อให้การสอบเทียบถังสำรอง

ขนาดใหญ่มีปัญหาน้อยที่สุดเนื่องจากหากมีข้อผิดพลาดและต้องดำเนินการใหม่แล้วต้องเสียทั้งค่าใช้จ่ายจำนวนมากและเวลา ดังนั้นระบบมาตรวัดถูกกำหนดให้มีผลผิดได้ไม่ควรเกิน 0.1%

หากพิจารณากราฟผลผิดของมาตรวัดเทียบกับอัตราการไหลแล้ว ควรเลือกช่วงอัตราการไหลที่ทำการทดสอบให้สอดคล้องกับช่วงอัตราการไหลของมาตรวัดซึ่งยังคงให้ผลผิดอยู่ในลักษณะมีค่าคงที่ภายในช่วงอัตราการไหลช่วงหนึ่ง ด้วยเนื่องจากในทางปฏิบัติแล้วปั๊มน้ำหรือแหล่งจ่ายน้ำไม่สามารถส่งจ่ายน้ำด้วยอัตราการไหลคงที่ตลอดช่วงระยะเวลาที่ทำการสอบเทียบถังสำรอง นอกจากนี้อุณหภูมิของน้ำก็มีผลต่อผลผิดของมาตรวัดเช่นกันดังนั้นหากเราเลือกช่วงอัตราการไหลที่ผลผิดของมาตรวัดมีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุดจึงเป็นเรื่องที่ช่วยลดปัญหาในทางปฏิบัติลงได้บ้าง

รูปที่ 85 ข้างหลังจะเป็นปั๊มน้ำขับด้วยเครื่องยนต์ดีเซล ใช้ในการสูบถ่ายน้ำออกจากถังสำรองหรืออาจใช้ดูดน้ำจากแหล่งน้ำสำรองอื่นๆ

ก่อนที่นำระบบมาตรวัดมาใช้ในการสอบเทียบ ต้องทำการสอบเทียบระบบมาตรวัดก่อนใช้งานทุกครั้งด้วย Prover tanks หรือ master meter ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับแบบมาตราที่มีอยู่

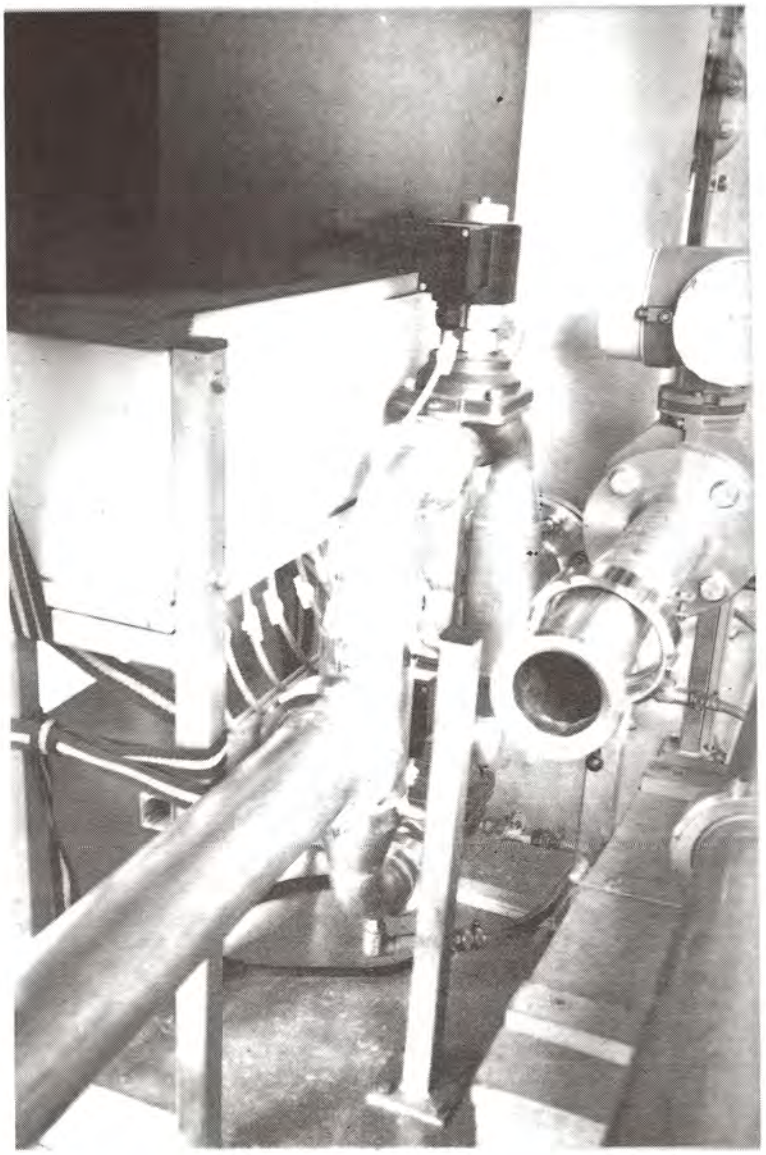
โดยทั่วไปแล้วสถานที่ก่อสร้างหรือมีถังสำรองขนาดใหญ่รูปทรงแนวตั้งนั้นมักอยู่ห่างไกลจากตัวเมืองและมักมีปัญหาของน้ำที่ใช้ในการสอบเทียบแบบเปียกทั้งในแง่ของปริมาณและคุณภาพ ซึ่งในบางสถานที่อาจจำเป็นต้องใช้น้ำทะเลหรือในบางสถานที่อาจใช้น้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติ ดังนั้นเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาดังกล่าวในการเลือกใช้มาตรวัดของระบบมาตรวัดจึงนับว่าเป็นศิลปะอย่างหนึ่งของเจ้าหน้าที่ผู้ที่เกี่ยวข้อง ในปัจจุบันในประเทศที่พัฒนามาตรวัดที่เริ่มได้รับการยอมรับและนิยมใช้กับการวัดปริมาตรของน้ำที่อาจมีปัญหาในเรื่องของสิ่งสกปรกหรือเศษวัสดุขนาดเล็กไหลปนเข้ามาในระบบมาตรวัดด้วยข้อจำกัดของแหล่งน้ำดังที่ที่กล่าวมา ด้วยมาตรวัด "***Magnetic***

Flowmeter" (ดูรูปที่ 86) นับว่าเป็นมาตรวัดที่เหมาะสมชนิดหนึ่งเนื่องจากมีหลักการทำงานที่ไม่มีส่วนขวางกันการเคลื่อนที่ของน้ำที่ไหลผ่านตัวมาตรวัดแต่อย่างใดและหากน้ำมีความสกปรกบ้างก็สามารถวัดได้ด้วยความแม่นยำระดับหนึ่งน่าพอใจเช่นกัน

รูปที่ 86 มาตรวัดแบบมาตราชนิด Magnetic flowmeter ขนาด ∅ 3 นิ้ว Max. flow 850 l/min

ในเรื่องของจำนวนมาตรวัดภายในระบบมาตรวัดควรมีจำนวนเท่าใดนั้นก็ต้องพิจารณาด้วยว่าในสถานที่ที่มีการติดตั้งถังสำรองขนาดใหญ่รูปทรงแนวตั้งนั้นแต่ละสถานที่สามารถสูบอัดน้ำด้วยอัตราการไหลที่แตกต่างกันหรือไม่ บางสถานที่อาจสูบอัดน้ำด้วยอัตราการไหลที่สูงบางสถานที่สามารถสูบอัดน้ำเข้าถังสำรองด้วยอัตราการไหลไม่สูงมากนัก การสอบเทียบปกติแล้วถังสำรองมีทั้งขนาดใหญ่และขนาดเล็กเพราะหากสอบเทียบถังสำรองขนาดเล็กการเลือกใช้มาตรวัดที่มีอัตราการไหลต่ำหรือพอสมควรจะสะดวกต่อการปฏิบัติงานด้วยเช่นกัน การใช้มาตรวัดที่อัตราการไหลประมาณ 70-80% ของอัตราการไหลออกแบบนับเป็นจุดเหมาะสมของการทำงานของมาตรวัด ดังนั้นการออกแบบระบบมาตรวัดจึงควรมีความยืดหยุ่นและให้ถูกต้องกับกลุ่มเป้าหมายที่ต้องการ

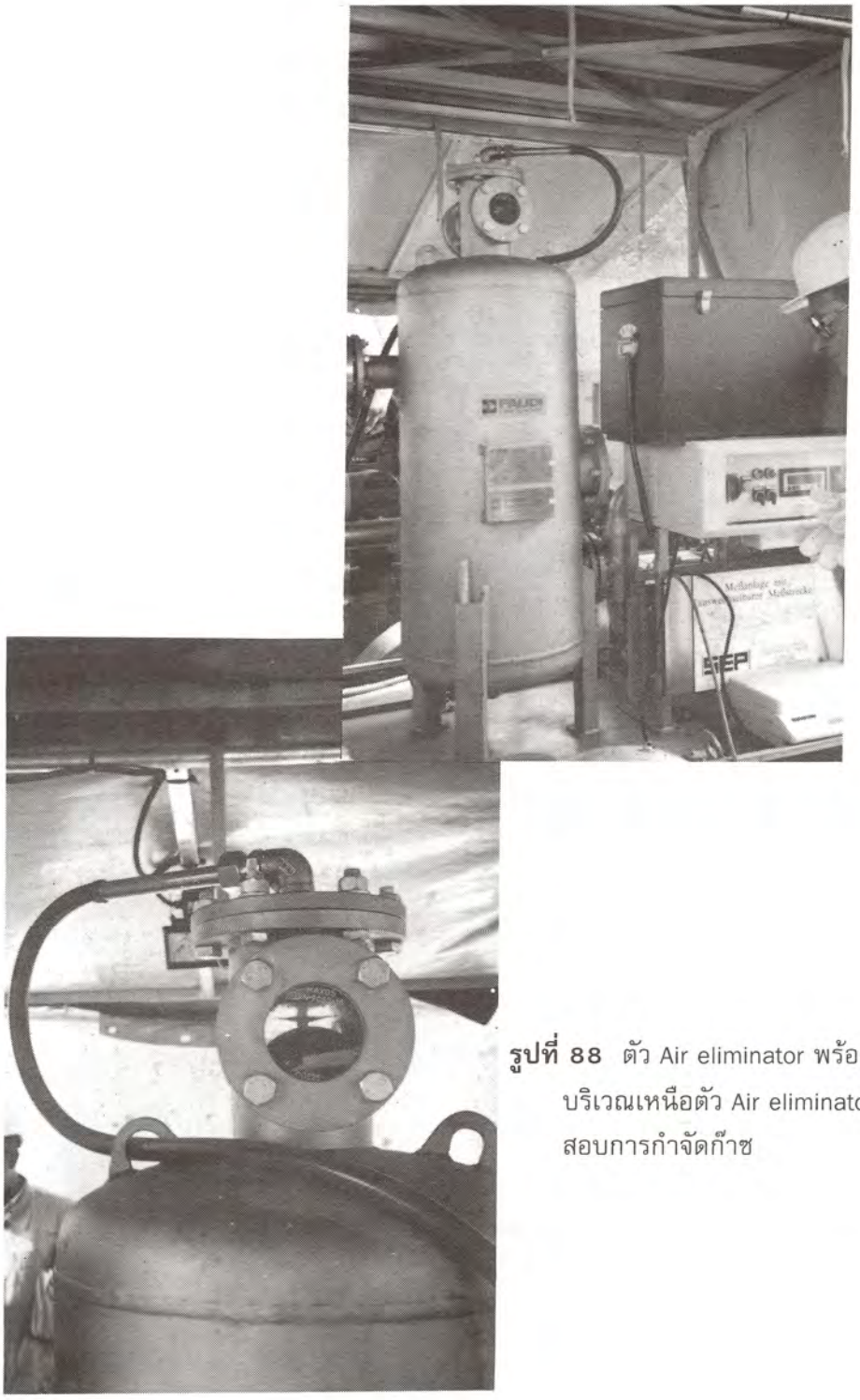
ใช้งานมาตรวัดอาจมี 2 ขนาดเพื่อรองรับอัตราการไหลที่สูงและที่ต่ำ ยกตัวอย่างเช่นระบบมาตรวัดอาจประกอบด้วยมาตรวัดจำนวน 2 ชุด โดยแบ่งเป็นชุดมาตรวัดอัตราการไหลประมาณ 600 ลิตร/นาที และอีกชุดหนึ่งมีอัตราการไหลสามารถวัดได้ 1,500 - 1,600 ลิตร/นาที (ดูรูปที่ 87) เป็นต้น



รูปที่ 87 มาตราวัดแบบมาตราจัดไว้มีประมาณ 3 ชุด สามารถเลือกใช้ตามอัตราการไหลของการวัดปริมาตร

- **Gas indicator และ Bleeder หรือ Breather device** ควรติดตั้งอุปกรณ์ gas indicator หลังมาตรวัดหรือท่อทางออกของตัวมาตรวัดเพื่อไว้ตรวจสอบดูว่าอากาศที่ไหลรวมมากับน้ำได้ถูกกำจัดออกไปจากระบบมาตรวัดเป็นที่เรียบร้อยโดย gas separator ในกรณีที่ยังคงมีฟองอากาศไหลปะปนมาบ้างก็สามารถไล่อากาศออกไปด้วย Bleeder หรือ Breather device (ดูรูปที่ 88)

- **Gate valve** ควรติดตั้งวาล์วไว้ก่อนและหลังตัวมาตรวัด รวมทั้งก่อนและหลัง filter ทั้งนี้เพื่อใช้ในการปรับอัตราการไหลผ่านมาตรวัดและในกรณีที่ต้องล้างหรือทำความสะอาด filter ก็สามารถถอดออกจากระบบมาตรวัดออกไปได้โดยไม่ต้องทำการถอดทั้งระบบมาตรวัด



รูปที่ 88 ตัว Air eliminator พร้อม Sight glass บริเวณเหนือตัว Air eliminator เพื่อใช้ตรวจสอบการกำจัดก๊าซ

1.2 ถังตวงแบบมาตรา (Prover Tank) ในกรณีที่น้ำที่ใช้ไม่สะอาด หากใช้ระบบมาตรวัดและปรากฏว่าเกิดการอุดตันของ filter บ่อยครั้ง เราสามารถเลือกใช้ถังตวงแบบมาตราได้เช่นกัน แต่อย่างไรก็ตามหากถังสำรองมีขนาดใหญ่การที่เลือกใช้ขนาดของถังตวงแบบมาตราที่เหมาะสมก็กระทำได้ยากเช่นกัน เนื่องจากในปัจจุบันมีข้อจำกัดในเรื่องของขนาดถังตวงแบบมาตราที่สามารถเคลื่อนย้ายได้มีขนาดไม่เกิน 3,000 ลิตร

2. วิธีการสูบอัดน้ำเข้าถังสำรอง (Filling Method) วิธีการการสูบอัดน้ำเข้าถังสำรองดูเหมือนเป็นเรื่องที่ไม่มีความสำคัญแต่อย่างใด แต่ถ้าหากพิจารณาการสอบเทียบถังสำรองซึ่งมีขนาดใหญ่ทั้งความสูงของถังเช่นประมาณ 9-15 เมตร หรือเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 10 - 60 เมตร แล้ววิธีการสูบอัดน้ำเข้าถังสำรองก็เริ่มแสดงอิทธิพลและบทบาทต่อความแม่นยำของการสอบเทียบขึ้นมาบ้างเช่นกัน ดังนั้นเราพอจะแบ่งวิธีการสูบอัดน้ำเข้าถังสำรองของการสอบเทียบแบบเปียกออกเป็น 2 วิธีการหลักๆ คือ

2.1 วิธีการสูบอัดน้ำเข้าถังสำรองจากด้านบน (Top Filling) (ดูรูปที่ 89) การสูบอัดน้ำเข้าถังสำรองหลังจากผ่านระบบมาตรวัดแล้วเข้าทางด้านบนของถังสำรอง วิธีการนี้มีผลต่อระบบมาตรวัดค่อนข้างน้อยทั้งในแง่ของการรักษาอัตราการไหลได้คงที่เพราะระดับความสูงของน้ำในถังสำรองไม่มีผลต่อระบบสูบจ่ายน้ำและอีกทั้งตัวมาตรวัดเองก็ไม่ต้องรองรับกับการเปลี่ยนแปลงความดันย้อนกลับ (back pressure) ตามความสูงของระดับน้ำที่เพิ่มขึ้น นั่นหมายถึงมาตรวัดยังคงมีผลผิดที่เปลี่ยนแปลงน้อยมากจากวิธีการสูบอัดน้ำเข้าถังสำรองด้วยวิธีการนี้ แต่อย่างไรก็ตามเมื่อมีข้อดีแล้วย่อมมีข้อเสียเช่นกันนั่นคือ เราจำเป็นต้องใช้ระยะเวลานานมากขึ้นเพื่อต้องคอยให้ระดับน้ำภายในถังสำรองสงบนิ่งก่อนวัดระดับของน้ำภายในถังสำรองนั้นๆ และหากถังสำรองยิ่งมีขนาดใหญ่มากขึ้นเท่าไรจำเป็นต้องใช้ระยะเวลาคอยนานเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน แต่อย่างไรก็ตามก็สามารถบรรเทาการกระเพื่อมของระดับน้ำเนื่องจากสูบอัดน้ำเข้าถังสำรองได้บ้างด้วยการให้ท่อส่งจ่ายแนบกับผนังถัง แต่พบว่าในทางปฏิบัติแล้ว หากถังสำรองมีขนาดใหญ่ เป็นไปได้ยากในการต่อท่อยางจากท่อทางออกจากตัวมาตรวัด แล้วลากขึ้นไปบนหลังคาถังสำรอง

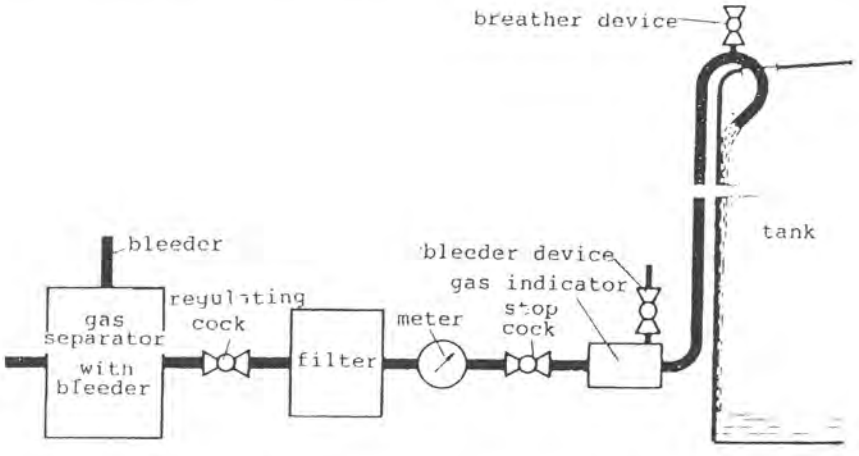
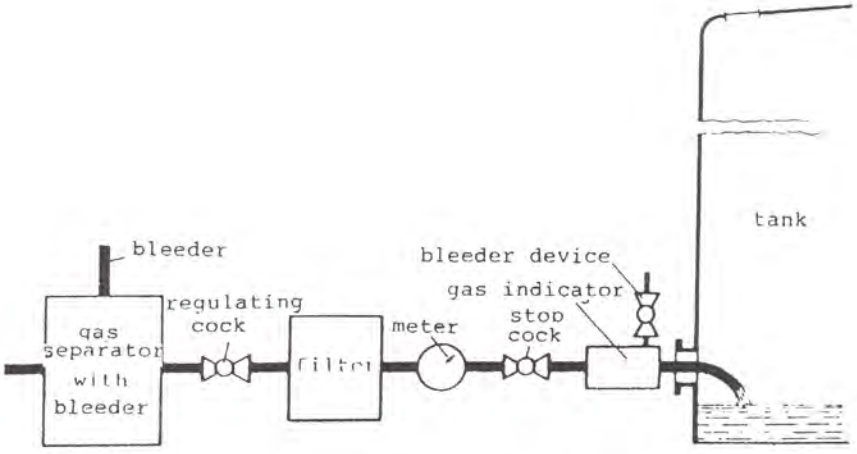


Fig. Measuring system for wet tank calibration: filling from the top

รูปที่ 89 ระบบการตรวจสอบแบบเปียกด้วยวิธีการสูบอัดน้ำเข้าถังสำรองจากด้านบน (top filling)

2.2 วิธีการสูบอัดน้ำเข้าถังสำรองทางด้านล่าง (Bottom Filling) (ดูรูปที่ 90) โดยการต่อท่อหรือ rubber hoses เข้ากับท่อทางเข้า (inlet) ของถังสำรองเองหรืออาจมีทางเข้าอื่นๆ เช่น ทำ nozzle เชื่อมเข้ากับ blind ของ manhole ก็สามารถกระทำได้ วิธีการสูบอัดน้ำเข้าถังสำรองผ่านระบบมาตรวัดด้วยวิธีการนี้มีผลกระทบต่อความแม่นยำของระบบมาตรวัดโดยตรงเนื่องจากเมื่อสูบอัดน้ำเข้าถังสำรองจนระดับน้ำเพิ่มสูงขึ้นส่งผลก่อให้เกิดความดันย้อนกลับ (back pressure) ที่ไม่คงที่แต่จะเพิ่มสูงมากขึ้นตามระดับความสูงของน้ำภายในถังสำรองกระทำต่อมาตรวัดทำให้อัตราการไหลผ่านระบบมาตรวัดเปลี่ยนแปลงไป การแก้ปัญหาดังกล่าวอาจต้องทำการหยุดการสอบเทียบเป็นระยะๆเพื่อทำการปรับอัตราการไหลให้คงที่เท่ากันตลอดช่วงเวลาการสอบเทียบ แต่อย่างไรก็ตามก็มีข้อดีอยู่เช่นกัน นั่นคือสามารถทำการวัดระดับของน้ำภายในถังสำรองด้วยระยะเวลาอันสั้นกว่าเพราะน้ำมีการกระเพื่อมน้อยกว่าวิธีการสูบอัดน้ำเข้าถังสำรองจากด้านบน



. Fig. Measuring system for wet tank calibration: filling of the sump

รูปที่ 90 ระบบการตรวจสอบแบบเปียกด้วยวิธีการสูบอัดน้ำเข้าถังสำรองจากด้านล่าง (Bottom filling) และเมื่อต้องการหา sump

อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติเราอาจผสมผสาน 2 วิธีการนี้เข้าด้วยกันเช่น การสอบเทียบแบบเปียกถังสำรองชนิด cone roof เราสามารถใช้ bottom filling ในการหาปริมาตร sump จากนั้นใช้ top filling สำหรับหาปริมาตรของถังสำรองที่ระดับสูงกว่า dip plate เป็นต้น

3. การวัดระดับความสูงของน้ำภายในถังสำรอง

3.1 Filling section เนื่องจากภายในถังสำรองโดยปกติจะประกอบด้วยอุปกรณ์ประจำถังหรือเรียกว่า Built-in components จำนวนหลายหลาก เช่น heater coils, roof drain pipes เป็นต้น รวมทั้งมี manholes สิ่งเหล่านี้จึงเป็นข้อจำกัดในการเพิ่มระดับความสูงของน้ำแต่ละครั้งของการสอบเทียบแบบเปียก ดังนั้นการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำภายในถังแต่ละครั้งก่อนหยุดเพื่อวัดระดับความสูงของระดับน้ำจึงควรมีค่าอยู่ระหว่าง 20 mm. ถึง 100 mm. หรือเรียกว่า Filling section ทั้งนี้เพื่อสะดวกในการจัดทำ Tank Table และการคำนวณ แต่ในบางครั้งอาจใช้วิธีการ

ง่ายๆ โดยเลือกเอาระยะห่างระหว่างขอบล่างกับขอบบนของ manhole หรือเลือกเอาขอบบนของ Built-in components เป็นความสูงของ Filling section

การสอบเทียบแบบเปียกจึงเป็นการทดสอบ โดยการแบ่งปริมาตรของถังสำรองที่ความสูงต่อเนื่องจากความสูงของปริมาตร Sump ด้วยการแบ่งออกเป็นปริมาตรย่อยๆ เพื่อหาค่าความสูงของปริมาตรย่อยๆ จากนั้นนำมารวมกันเป็นความสูงของการบรรจุได้ของถังสำรองทั้งหมด

3.2 การหาค่าความสูงของระดับน้ำที่เติมแต่ละครั้ง (determination of the filling height) ในกรณีที่ถังสำรองมีขั้นมาตรมาตราบน standpipe เราต้องทำการอ่านโดยให้ระดับสายตาอยู่ในแนวเดียวกับระดับของน้ำ โดยอ่านค่าความสูงใต้ท้องน้ำเป็นหลักทุกครั้งที่ระดับที่เพิ่มสูงขึ้น ในกรณีที่ถังสำรองไม่มีขั้นมาตรมาตราบน standpipe และใช้ dipping tape หรือ sounding tape เพื่อทำการ dip หาระดับความสูงของระดับของน้ำภายในถังสำรองให้ทำการ dip หลายๆครั้งในแต่ละระดับความสูงของน้ำหนึ่งๆ จากนั้นให้เอาค่าเฉลี่ยของผลการวัดดังกล่าวบันทึกผลค่าความสูงของระดับน้ำที่ระดับนั้น

3.3 อุณหภูมิของน้ำที่ใช้เป็นของเหลวทดสอบ จำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องให้ความใส่ใจต่ออุณหภูมิของน้ำและต้องให้อุณหภูมิของน้ำมีการเปลี่ยนแปลงภายในช่วงแคบๆ มากที่สุดเท่าที่กระทำได้ตั้งแต่เริ่มต้นจนจบการสอบเทียบถังสำรอง

บทที่ 8

การทดสอบแบบแห้ง

(Dry Calibration)

การสอบเทียบแบบแห้ง (Dry calibration) เป็นการสอบเทียบโดยการวัดรูปทรงทางเรขาคณิตของตัวถังสำรอง เพื่อนำไปสู่การคำนวณทางคณิตศาสตร์ เพื่อหาปริมาตรการบรรจุของถังสำรอง โดยจะทำการหา

- เส้นรอบวงถังสำรองอ้างอิง (Reference circumference)
- หาความยาวเส้นรอบวงถังสำรองที่ระดับความสูงของถังสำรองที่แตกต่างกัน ด้วยการทิ้งดิ่งเพื่อหาการเอียงของผนังถัง ถือเป็นการหา "ระยะเยื้องกันของรัศมีของถังสำรอง (radial offsets)" ที่ระดับความสูงแต่ละระดับเมื่อเทียบที่ตำแหน่งแนวดิ่งเดียวกัน (vertical reference lines) และกระทำกันด้วยหลายตำแหน่งแนวดิ่ง
- ปริมาตร Sump ซึ่งมีขั้นตอนปฏิบัติคล้ายเช่นเดียวกับการสอบเทียบแบบเปียก
- คำนวณการขยายตัวของถังสำรองเมื่อระดับความสูงของของเหลวเพิ่มขึ้น (Calculation of explansion at increasing liquid levels)
- สอบเทียบหาน้ำหนักหลังคาถังลอย (Calibration of the weight of the floating roof) ในกรณีถังสำรองขนาดใหญ่รูปทรงแนวตั้งชนิดหลังถังฝาลอย

เป็นที่น่าสังเกตว่าการสอบเทียบแบบแห้งนั้น ความแม่นยำของการสอบเทียบขึ้นอยู่กับความแม่นยำในการหาค่าเส้นรอบวงถังสำรองอ้างอิง (Reference circumference) การสอบเทียบวิธีการนี้ใช้เวลาในการสอบเทียบน้อยและค่าใช้จ่ายน้อยแต่ให้ความน่าเชื่อถือและความถูกต้องน้อยกว่าเมื่อเทียบกับการสอบเทียบแบบเปียก

ในบทนี้พอกล่าวได้ว่าไม่ใช่เป็นการสอบเทียบแบบแห้งสมบูรณ์แบบแต่เป็นการสอบเทียบที่ผสมผสานของการสอบเทียบแบบเปียกส่วนหนึ่ง นั้นคือในส่วนของการหาปริมาตรของ Sump ทั้งนี้เนื่องจากมีความยุ่งยากมากหากทำการสอบเทียบแบบแห้งกับถังสำรองที่เป็นถังสำรองเก่าเพราะข้อมูลคำนวณในการก่อสร้างถังสำรองซึ่งจะให้ข้อมูลเกี่ยวข้องกับปริมาตรของ Built-in Components อาจไม่ครบถ้วน หรืออาจมีการปรับปรุงซ่อมแซมถังสำรองดังกล่าวในบางช่วงของเวลาดังนั้นการคำนวณปริมาตรแทนที่ (deadwood) ในบริเวณที่เป็นปริมาตร sump จึงเป็นเรื่องที่ยุ่งยากและซับซ้อนมากเกินไปและมีความเสี่ยงต่อความน่าเชื่อถือหากคำนวณขนาดถังสำรองจากแบบแปลนและใช้การคำนวณปริมาตรของอุปกรณ์ภายในถังสำรอง ดังนั้นในที่นี้เราจึงยังคงขอเรียกการสอบเทียบที่ผสมผสานระหว่างการสอบเทียบแบบเปียกกับการสอบเทียบแบบแห้งนี้ว่า **"การสอบเทียบแบบแห้ง"**

วิธีการสอบเทียบแบบแห้งในที่นี้มีการทำงานผสมผสานกันระหว่างการสอบเทียบแบบเปียกนั้นคือการหาปริมาตรของ sump กับการสอบเทียบแบบแห้งชนิด Optical reference line method (Optistrap) เข้าด้วยกัน การสอบเทียบแบบนี้อาจมีข้อเสียในบางมุมมองบ้างเนื่องจากการสอบเทียบแบบแห้งนี้เป็นเพียงการวัดค่าเส้นรอบวงถังสำรองอ้างอิง (Reference circumference) ที่ระดับตำแหน่งเดียวของผนังถังชั้นแรก (1st Shell ring) ถึงแม้ว่าเชื่อในเหตุผลที่ว่าผนังถังชั้นแรกมีความหนาของผนังถังมากที่สุดและน่าจะสามารถคงความเป็นวงกลมได้สมบูรณ์แบบมากที่สุดและในขณะเดียวกันก็ทำการวัดระยะเพื่อหา "ระยะเยื้องกันของรัศมีของถัง (radial offsets)" ที่ระดับความสูงที่แตกต่างกันแต่ตำแหน่งเดียวกันนั้น ก่อนนำผลการวัดระยะทั้งหมดไปคำนวณในขั้นต่อไปนั้นก็ไม่ได้นำค่าของอุณหภูมิของผนังถังเข้ามาพิจารณาขณะทำการวัด จากเหตุผลดังกล่าวอาจเป็นสาเหตุของการวัดค่าระยะไม่เป็นไปตามความเป็นจริงเท่าที่ควร นอกจากนี้ในทางปฏิบัติต้องระมัดระวังด้วยว่าแม่เหล็กใต้ชุดเคลื่อนที่ (movable scale assembly) สามารถดูดผนังถังให้ตัวรถลากเคลื่อนที่ขึ้นลงตามแนวความสูงของถังสำรองได้อย่างมั่นคงและแนบติดกับผนังถังสำรองตลอดเวลาหรือไม่ ซึ่งในกรณีที่มีลมพัดจัดยิ่งต้องตรวจสอบด้วยความระมัดระวัง

ก่อนสอบเทียบถังสำรองต้องทำการเตรียมความพร้อมของถังสำรองก่อนดังที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 4 เตรียมการก่อนสอบเทียบ เสียก่อนจากนั้น เริ่มทำการ

1. การหาเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกถังสำรองโดยการวัดเส้นรอบวงภายนอกถังสำรอง (Determination of the diameter by measuring the circumference)

เส้นรอบวงภายนอกถังสำรองอ้างอิง (Reference circumference) เนื่องจากผลของการวัดเส้นรอบวงภายนอกถังสำรองอ้างอิงมีผลต่อความแม่นยำในการหาพื้นที่หน้าตัดภายในของถังสำรองแทบทุกระดับความสูงของถังสำรองซึ่งพื้นที่หน้าตัดในแต่ระดับความสูงมีค่าไม่เท่ากัน ดังนั้นขั้นตอนปฏิบัติแต่ละขั้นตอนในที่นี้ต้องดำเนินการด้วยความรอบคอบและมั่นใจ เพื่อไม่ต้องเสียเวลาย้อนกลับมาทำใหม่หากทำผิดพลาดไป

1.1 เลือกระดับความสูงที่ระดับสายตาหรือระดับที่เราสามารถทำงานและอ่านค่าได้สะดวกที่สุดบนผนังถังสำรองเป็นระดับที่เราจะหาเส้นรอบวงภายนอกถังสำรองและระดับความสูงที่เลือกต้องสูงไม่เกินความสูงของผนังถัง (shell-ring) แรกสุดติดกับพื้นถัง (เลือกที่ระดับความสูงจากพื้นถัง 1.70 เมตร โดยประมาณ) ซึ่งโดยปกติแล้วระดับความสูงดังกล่าวนี้สามารถหลบบริเวณที่เป็น Manhole หรือ outlet และ/หรือ inlet pipes (รวมทั้งส่วนที่เป็น reinforce plate) ดังนั้นที่ระดับดังกล่าวนี้จึงสามารถวัดเส้นรอบวงภายนอกถังสำรองได้อย่างต่อเนื่อง เราให้เส้นรอบวงถังสำรองที่ระดับดังกล่าวนี้เป็น *เส้นรอบวงภายนอกถังสำรองอ้างอิง (Reference circumference)* นอกจากนี้ระดับเส้นรอบวงถังสำรองนี้ยังใช้เป็นเส้นอ้างอิงต่อไปในทำการวัดแบบ the optical reference line method หรือเป็นการวัดความเอียงของผนังถังเทียบกับตำแหน่งระดับที่หาเส้นรอบวงภายนอกถังสำรองอ้างอิงนั้นเอง แต่อย่างไรก็ตามก็มีอีก 2 วิธีการที่ใช้ในการหาเส้นรอบวงภายนอกถังสำรองได้แก่

(a) **Referee Method** เป็นวิธีการวัดเส้นรอบวงภายนอกถังสำรองที่ต้องการความแม่นยำสูง โดยจะแบ่งตามลักษณะชนิดของการเชื่อมต่อแผ่นโลหะเข้าด้วยกันในการประกอบสร้างถังสำรอง

- *Riveted tanks* ถังสำรองเชื่อมโลหะแผ่นเข้าด้วยกันด้วยการยิง rivet เข้าด้วยกัน กำหนดระดับความสูงที่ทำการวัดเส้นรอบวงภายนอกถังสำรองไว้ 3 ระดับ คือ
  - ที่ความสูง 100-150 มม. จากพื้นถัง (bottom plate) ของผนังถังชั้นแรก
  - ที่กึ่งกลางความสูงของผนังถังชั้นแรก
  - ที่ความสูงต่ำลงจากแนวตะเข็บเหลื่อมระหว่างผนังถังชั้นแรกกับผนังถังชั้นที่2 100-150 มม.

สำหรับผนังถัง (Shell ring) ชั้นต่อไปก็ให้ยึดหลักการเช่นเดียวกัน

- *Welded Tanks* ถังสำรองเชื่อมโลหะแผ่นเข้าด้วยกันด้วยการเชื่อมโลหะเข้าด้วยกัน กำหนดระดับความสูงที่ทำการวัดเส้นรอบวงภายนอกถังไว้ 3 ระดับ ไว้เช่นกันคือ
  - ที่ความสูง 270 มม. จากพื้นถัง (bottom plate) ของผนังถังชั้นแรก
  - ที่ความสูงต่ำลงจากแนวตะเข็บเชื่อมผนังถังชั้นแรกกับผนังถังชั้นที่ 2 270 มม.
  - ที่ความสูงแนวตะเข็บเชื่อมผนังถังชั้นแรกกับผนังถังชั้นที่2

สำหรับผนังถัง (Shell ring) ชั้นต่อไปก็ให้ยึดหลักการเช่นเดียวกัน

Referee Method นี้ ในแต่ละระดับความสูงจะมีการวัดเส้นรอบวงภายนอกถังสำรอง 3 ครั้งและใช้ค่าเฉลี่ยเป็นผลการวัด ดังนั้นวิธีการนี้จึงใช้ทั้งแรงงาน, เวลา และมีความสิ้นเปลืองสูง ไม่เหมาะกับงานชั่งตวงวัดตามข้อกำหนดของกฎหมาย (Legal Metrology)

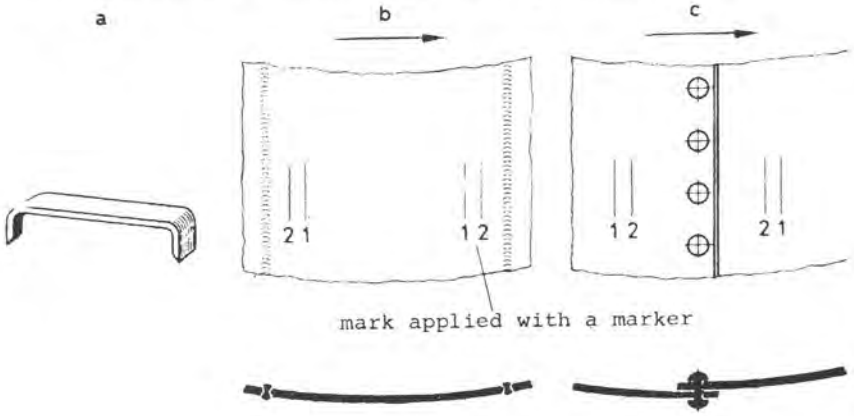


Fig. Determination of the circumference with iron elements (a = iron element, b = determination of the partial length by the measuring tape, c = determination of the bridged partial lengths)

รูปที่ 91

a step over (iron element)

b การวัดความยาวเส้นรอบวงภายนอกถังสำรอง สำหรับถังสำรองที่มีรอยต่อด้วยการเชื่อมโลหะ

c การวัดความยาวเส้นรอบวงภายนอกถังสำรอง สำหรับถังสำรองที่มีรอยต่อด้วย rivet

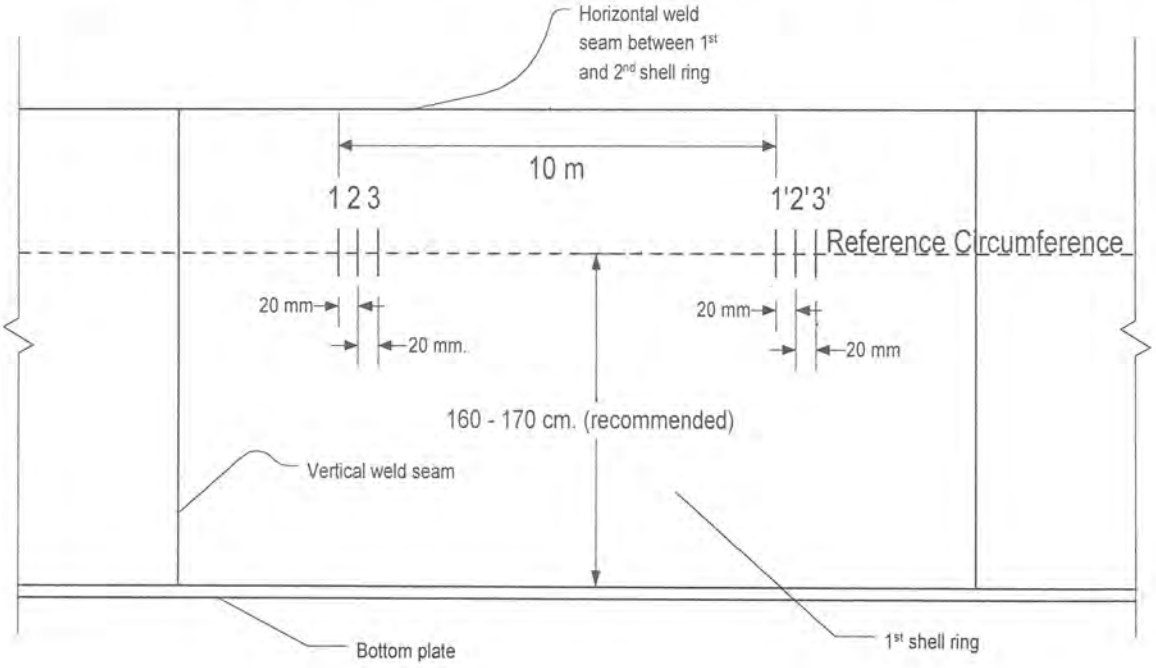
(b) **Working Method** เป็นวิธีการวัดเส้นรอบวงภายนอกถังสำรองที่ง่ายกว่า Referee Method แต่ให้ความแม่นยำน้อยลงบ้าง โดยกำหนดระดับความสูงที่ทำการวัดเส้นรอบวงภายนอกถังสำรองไว้ 2 ค่าระดับ คือ

- ที่ความสูง 1/4 หรือ 1/5 ของความสูงของผนังถังวัดจากพื้นถัง (bottom plate) ของผนังถังชั้นแรก
- ที่ความสูงต่ำลงจากแนวตะเข็บเชื่อมผนังถังชั้นแรกกับผนังถังชั้นที่2 ด้วยระยะ 1/4 หรือ 1/5 ของความสูงของผนังถัง

สำหรับผนังถัง (Shell ring) ชั้นต่อไปก็ให้ยึดหลักการเช่นเดียวกัน

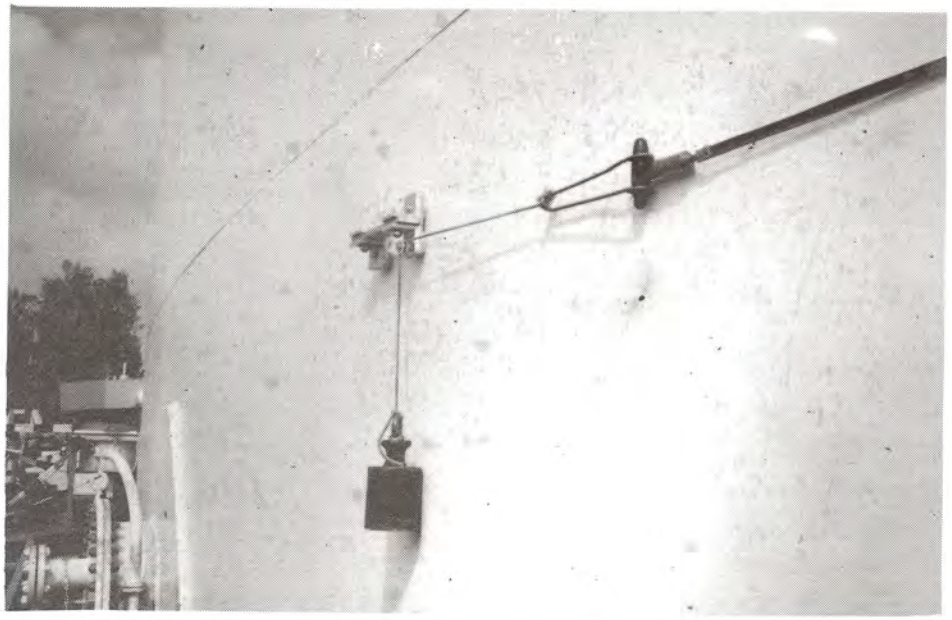
Working Method นี้ ในแต่ละระดับจะมีการวัดเส้นรอบวงภายนอกถังสำรอง 2 ครั้งและใช้ค่าเฉลี่ยเป็นผลการวัด) แต่เพื่อความมั่นใจเราควรวัดเส้นรอบวงภายนอกถังสำรอง 3 ครั้งแล้วหาค่าเฉลี่ย

1.2 วัดความสูงจากพื้นถังสำรองด้วยความสูงระดับที่ต้องการใช้วัดเส้นรอบวงภายนอกถังสำรองอ้างอิงตามที่กำหนดไว้ในหัวข้อ 1.1 ทำเครื่องหมายไว้เป็นระยะจากนั้นลากเส้นด้วยปากกาหรือ marker รอบภายนอกถังสำรองเชื่อมต่อจุดที่ทำเครื่องหมาย ลากให้เป็นเส้นรอบวงถังสำรองที่ระดับความสูงซึ่งได้เลือกไว้ก่อนที่ทำการวัดความยาวเส้นรอบวงภายนอกถังสำรองด้วยเทปวัดระดับซึ่งเป็นชนิดเดียวกับเทปวัดระดับความสูงของเหลวภายในถังสำรองหรือ sounding tape นั่นเอง การหาเส้นรอบวงภายนอกถังสำรองอ้างอิง (Reference circumference) เป็นขั้นตอนที่สำคัญมากขั้นตอนหนึ่งเนื่องจากเป็นค่าหลักและเกี่ยวข้องกับการคำนวณในขั้นตอนถัดไป ดังนั้นจึงต้องทำการวัดเส้นรอบวงภายนอกถังสำรองอ้างอิงอย่างน้อย 3 ครั้ง เครื่องมืออุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดเส้นรอบวงภายนอกถังสำรองอ้างอิงประกอบด้วย sounding tape ยาว 10 เมตรและไม่ควรยาวกว่านี้เพราะจะทำให้เทปวัดเกิดตกท้องช้างและเทปวัดไม่แนบกับผนังถัง, อุปกรณ์ยึดหัวท้ายเทปวัดซึ่ง



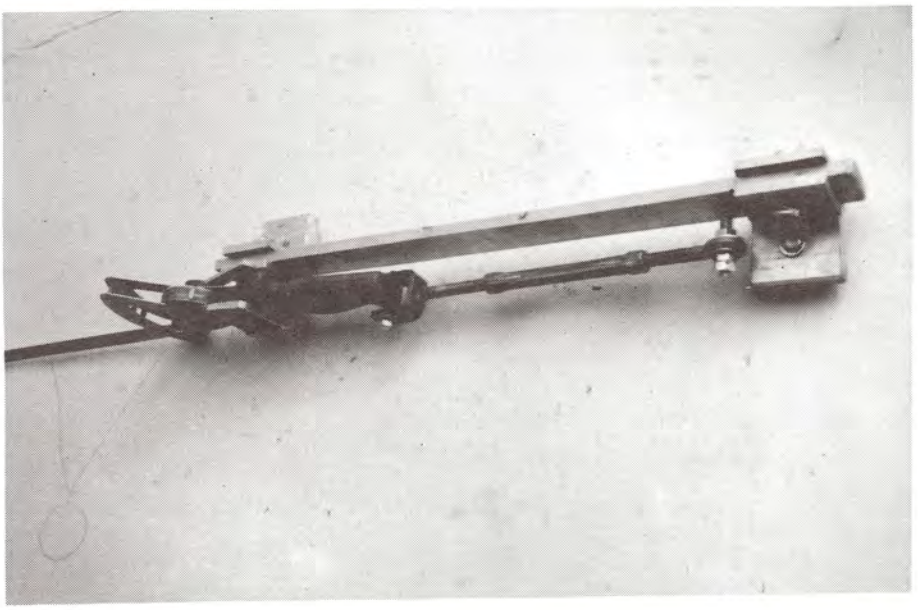
รูปที่ 92 แสดงการหาเส้นรอบวงภายนอกถังสำรองอ้างอิง (Reference circumference) อย่างน้อย 3 ครั้งในแต่ละครั้งพร้อมกัน

สามารถยึดติดกับผนังถังด้วยแรงแม่เหล็กและสามารถปรับระยะหัวท้ายได้เล็กน้อยเพื่อสามารถกำหนดในจุดเริ่มต้นวัดได้เริ่มที่ค่าความยาวเท่ากับ "ศูนย์" (ดูรูปที่ 93 และ 94), ตุ้มน้ำหนัก 5 กก. (ดูรูปที่ 94) ใช้รักษาความตึงของสายเทปวัดให้คงที่เท่ากันทุกครั้งที่ทำการวัดในขณะทำการวัดเทปวัดต้องแนบติดกับตัวผนังถังตลอดเวลาที่ระดับเส้นที่ได้ขีดไว้รอบถัง

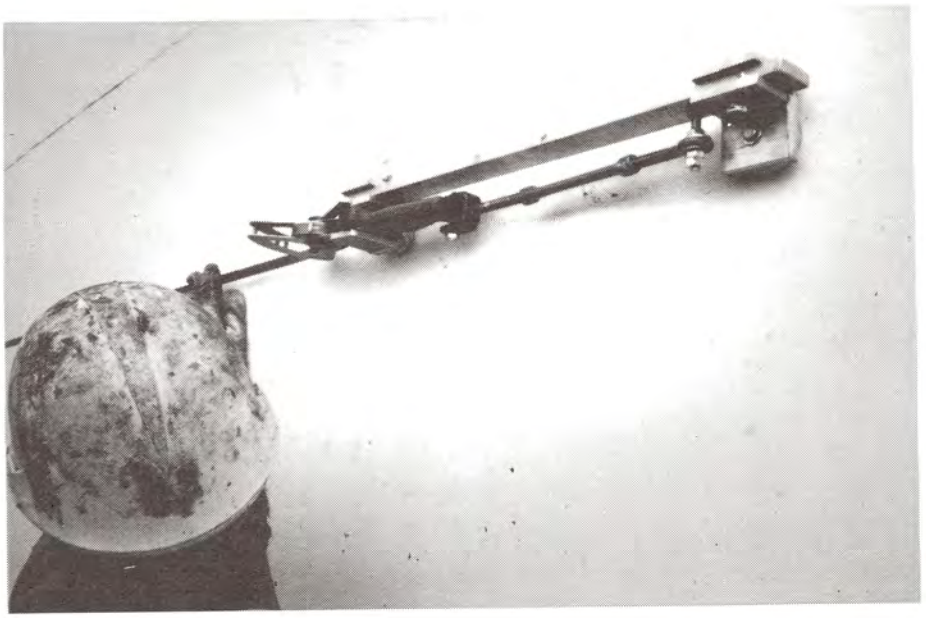


รูปที่ 93 ปลายสายเทปวัดซึ่งเริ่มต้น "ศูนย์" ถูกถ่วงด้วยตุ้มน้ำหนักถ่วง 5 kg เพื่อรักษาความตึงของสายเทปให้เท่ากันทุกครั้งที่ทำการวัด แต่ละส่วนของเส้นรอบวงภายนอกถังสำรอง

รูปที่ 94 ชุดรอกสำหรับแขวนตุ้มถ่วงน้ำหนัก ซึ่งทำด้วยแม่เหล็กยึดติดผนังถัง



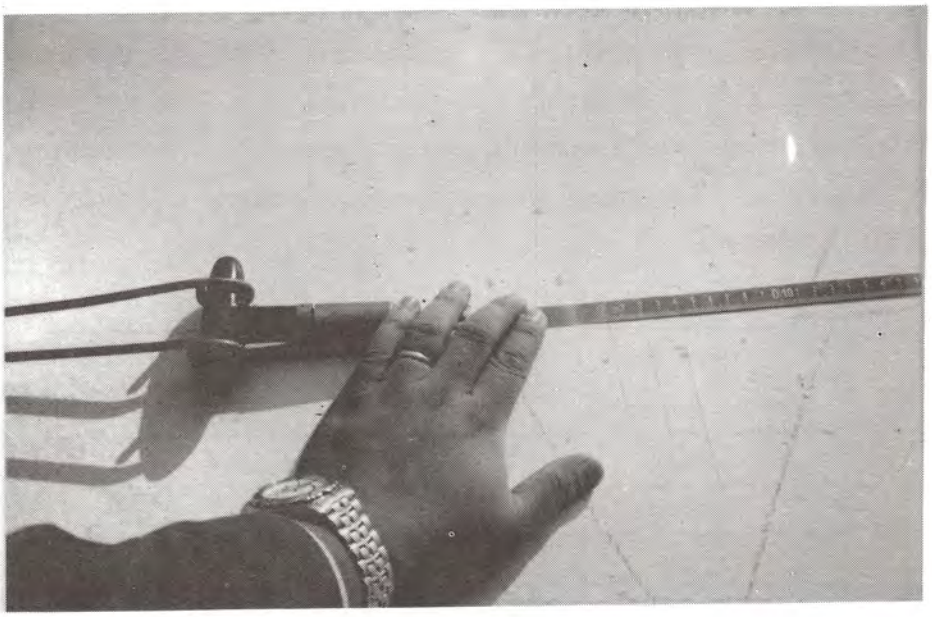
รูปที่ 95 ด้ามจับสายเทปวัดพร้อมอุปกรณ์ยึดจับด้วยแม่เหล็ก สามารถปรับระยะเริ่มต้นศูนย์ของสายเทปวัดด้วย turnbuckle ซึ่งยึดติดอยู่กับปลายด้ามสายเทปวัด



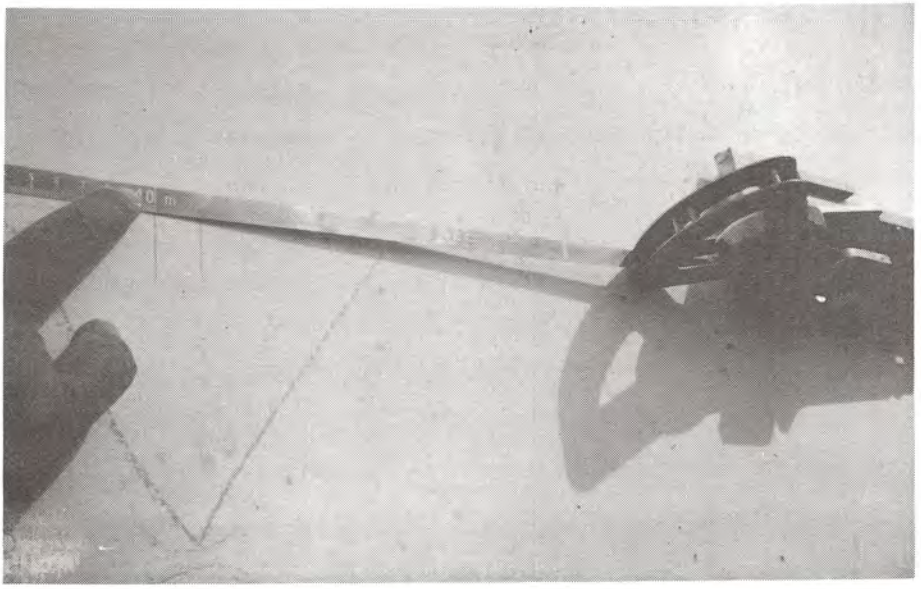
รูปที่ 96 ต้องมั่นใจว่าสายเทปวัดแนบกับตัวผนังถังตลอดเวลาขณะทำการวัด

1.3 ขีดเส้นตั้งฉากกับเส้นที่ขีดไว้รอบถังสำรอง ถือเป็นเส้นเริ่มต้นเรียกว่า "1" จากนั้นทำการขีดเส้นตั้งฉากกับเส้นที่ขีดไว้รอบถังสำรองเพิ่มขึ้นอีก 2 เส้นโดยให้มีระยะห่างเท่ากัน 20 มม. เรียก "2" และ "3"

1.4 ติดตั้งอุปกรณ์วัดโดยให้ค่าแสดง ณ จุดเริ่มต้นมีค่าเท่ากับ "0" ของสายเทปเริ่มที่ตำแหน่ง "1" โดยด้านปลายถูกถ่วงด้วยตุ้มหนัก 5 กก. ลากสายเทปแนบกับผนังถังและให้อยู่ในแนวระดับเส้นที่ขีดไว้ขีดเส้นที่ระยะเท่ากับ 10 เมตรเรียก "1-1′" (ดูรูปที่ 97 และ 98)



รูปที่ 97 สายเทปวัดแนบกับตัวผนังถังและเริ่มต้นที่ "ศูนย์"



รูปที่ 98 ระยะวัดของเส้นรอบวงภายนอกถังสำรองช่วงนี้เท่ากับ 10 เมตร

1.5 ขยับสายเทปโดยให้ค่าแสดงเท่ากับ "0" ของสายเทปเริ่มที่ตำแหน่ง "2" โดยยังคงให้ด้านปลายถูกถ่วงด้วยตุ้มหนัก 5 กก.เช่นเดิม ลากสายเทปแนบกับผนังถังและให้อยู่ในแนวระดับเส้นที่ขีดไว้ขีดเส้นที่ระยะเท่ากับ 10 เมตรเรียก "2-2′"

1.6 ขยับสายเทปโดยให้ค่าแสดงเท่ากับ "0" ของสายเทปเริ่มที่ตำแหน่ง "3" โดยยังคงให้ด้านปลายถูกถ่วงด้วยตุ้มหนัก 5 กก.เช่นเดิม ลากสายเทปแนบกับผนังถังและให้อยู่ในแนวระดับเส้นที่ขีดไว้ขีดเส้นที่ระยะเท่ากับ 10 เมตรเรียก "3-3′"

1.7 ดำเนินการเช่นนี้จนสามารถวัดครบรอบเส้นวงกลมรอบนอกของถังสำรอง โดยจะเป็นระยะระหว่าง "1-1′" กับ "1′-1" และ "2-2′" กับ "2′-2" และ "3-3′" กับ "3′-3" เป็นเช่นนี้เรื่อยๆจนครบรอบถังสำรอง สิ่งที่ต้องระมัดระวังคือบริเวณที่เป็นการวัดระยะที่ต้องคร่อมกับแนวเชื่อมของถังสำรอง จำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องรักษาให้เทปวัดยังคงแนบกับผนังถังให้มากที่สุดเท่าที่กระทำได้ จากนั้นนำทั้ง 3 ค่าของเส้นรอบวงภายนอกถังทั้งหมดมาหาค่าเฉลี่ย โดยผลการวัดเส้นรอบวงภายนอกถังสำรองที่ระดับความสูงอ้างอิงทั้ง 3 ค่าต้องมี deviation ไม่เกินกว่าค่าแสดงไว้ในตารางข้างล่างนี้

ตารางที่ 8.1 Deviation ที่ยอมให้ได้ขึ้นกับความยาวเส้นรอบวงของถังสำรอง

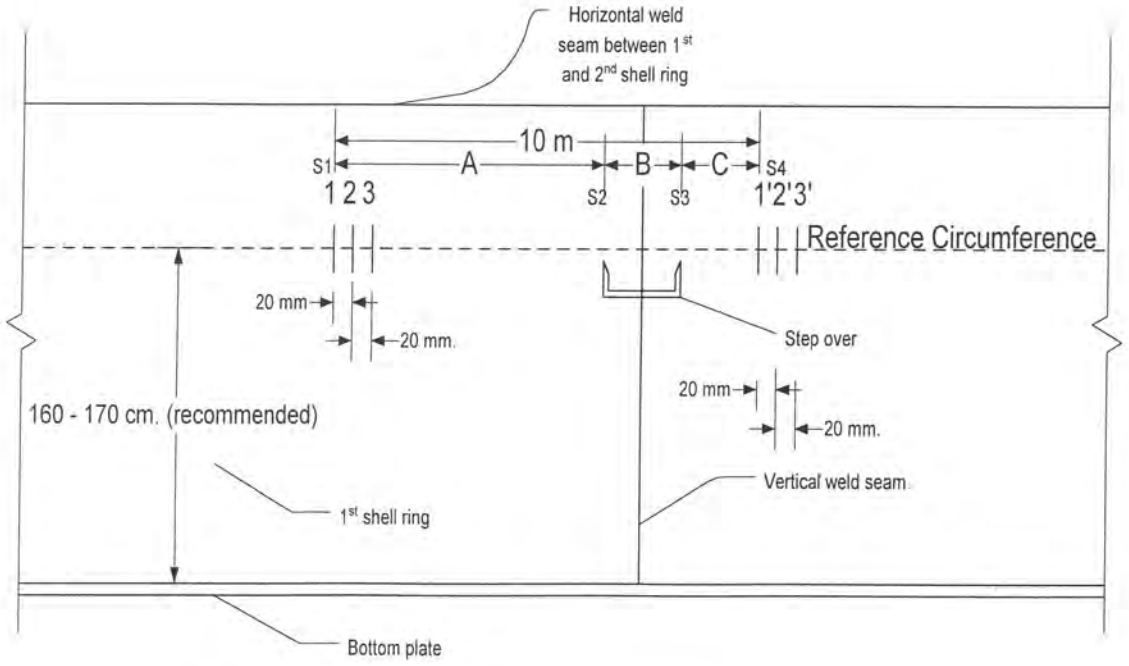
Deviation (do not exceeding)	**Circumference (m)**
±2 mm.	Up to 25 m.
±3 mm.	Above 25 m. up to 50 m.
±5 mm.	Above 50 m. up to 100 m.
±6 mm.	Above 100 m. up to 200 m.
±8 mm.	Above 200 m.

หากผลการวัดไม่สอดคล้องกับข้อกำหนดในตารางข้างบนให้ทำการวัดเส้นรอบวงภายนอกถังสำรองอ้างอิง (Reference circumference) ใหม่จนกระทั่งผลการวัด 2 ครั้งติดกันให้ผลการวัดเท่ากัน

1.8 ในกรณีที่ตะเข็บแนวเชื่อมระหว่าง shell plate ใน Bottom shell ring นั้นๆ สูงทำให้สายเทปวัดไม่แนบสนิทกับผนังถังสำรองจำเป็นต้องแก้ไขระยะเส้นรอบวงภายนอกถังสำรองบริเวณรอยแนวเชื่อมถังสำรอง ด้วยเครื่องมือที่เรียกว่า **"step over"** ซึ่งเป็นโครงสร้างทำด้วยโลหะคล้ายรูปตัว C โดยปลายทั้งสองข้างทำเป็นที่จิกและขาทั้งสองที่ยื่นออกมาต้องขนานซึ่งกันและกันอีกทั้งไม่สามารถปรับระยะห่างได้แต่อย่างใดและเมื่อนำ step over ทาบกับผนังถังโดยให้ปลายทั้ง 2 ข้างจิกสนิทกับผนังถังในขณะที่ตัวด้านในระหว่างขาทั้ง 2 ข้างของ step over เองต้องไม่สัมผัสกับผนังถังหรือแนวเชื่อม (ดูรูปที่ 91)

ก่อนนำ step over เพื่อไปวัดระยะที่คร่อมแนวเชื่อมระหว่าง shell plate ด้วยกันใน bottom shell ring นั้นๆ จำเป็นต้องหาค่าความยาวเฉลี่ยประจำตัว over step และความยาวเฉลี่ยที่ได้นี้จะใช้ได้เฉพาะถังสำรองถังนั้นเท่านั้นเมื่อนำ step over ไปใช้งานการสอบเทียบกับถังสำรองถังใหม่การหาความยาวเฉลี่ยประจำตัว over step ต้องกระทำใหม่ทุกครั้ง วิธีการหาความยาวเฉลี่ยประจำตัว over step มีดังนี้ นำ step over ไปทาบกับผนังถังในแนวเดียวกับเส้นที่ขีดรอบถังไว้จากนั้นทำการวัดระยะห่างระหว่างปลายจิกทั้ง 2 ให้กระทำหลายจุดและหลายๆครั้ง แล้วจึงนำมาหาค่าเฉลี่ยเป็นค่าความยาวของ step over

จากนั้นดำเนินการกระทำเช่นเดียวกับหัวข้อ 1.1-1.3 แต่ในขั้นตอน 1.4, 1.5,และ 1.6 หากความยาวระหว่าง "1-1'" , "2-2'" และ "3-3'" วัดด้วยสายเทปต้องไปคร่อมตะเข็บแนวเชื่อมระหว่าง shell plate ด้วยกัน ให้ใช้ step over วางคร่อมแนวตะเข็บดังกล่าว ดังนั้นความยาวของระยะห่างระหว่าง "1-1'" , "2-2'" และ "3-3'" จึงประกอบด้วยการอ่านค่าความยาวเป็นผลรวมของระยะความยาว 3 ค่าคือ ค่าความยาวตั้งแต่ค่า "0" จนถึงตัวเลขบนสายเทปวัดที่ขาของ step over จิกอยู่ก่อนถึงแนวเชื่อม (S_1S_2) บวก ค่าความยาวเฉลี่ยของ step over (S_2S_3) บวกกับ ระยะความยาวบนสายเทปวัดจากปลายขาของ step over ที่จิกเลยจากตะเข็บแนวเชื่อมจนถึงระยะ 10 เมตรของสายเทปวัด (S_3S_4) จากนั้นดำเนินการตามหัวข้อ 1.7 เช่นเดิม (ดูรูปที่ 99)



รูปที่ 99 แสดงการหาเส้นรอบวงภายนอกถังสำรองอ้างอิง (Reference circumference) อย่างน้อย 3 ครั้งในแต่ละครั้งพร้อมกันเมื่อสายเทปคร่อมแนวเชื่อมและใช้ over step ช่วยใน

1.9 ดูตัวอย่างการบันทึกผลในบทที่ 10 E. Determination of Circumference

2. การหาความยาวของเส้นรอบวงภายนอกผนังถังสำรองที่ผนังชั้นสูงถัดขึ้นไปด้วยการทิ้งดิ่ง (Plumbing method)

ในที่นี้เนื่องจากวัตถุประสงค์เพื่อการสอบเทียบถังสำรองขนาดใหญ่รูปทรงแนวตั้งสำหรับงานด้านชั่งตวงวัดว่าด้วยกฎหมาย (Legal Metrology) ดังนั้นการเลือกเส้นรอบวงถังสำรองที่ระดับความสูงแต่ละระดับจึงอยู่กับการเลือกวิธีวัดเส้นรอบวงถังสำรองแบบ Working Method โดยกำหนดระดับความสูงที่ทำการวัดเส้นรอบวงภายนอกถังสำรองไว้ 2 ค่าระดับ คือ

- ที่ความสูง 1/4 หรือ 1/5 ของความสูงของผนังถัง จาก bottom plate ของผนังถังชั้นแรก
- ที่ความสูงต่ำลงจากแนวตะเข็บเชื่อมผนังถังชั้นแรกกับผนังถังชั้นที่2 ด้วยระยะ 1/4 หรือ 1/5 ของความสูงของผนังถัง

สำหรับผนังถัง (Shell ring) ชั้นต่อไปก็ให้ยึดหลักการเช่นเดียวกัน แต่หากในอนาคตมีการพัฒนาทางด้านเทคนิคและเทคโนโลยีเพิ่มมากขึ้น เราสามารถเปลี่ยนแปลงวิธีการที่กล่าวมาในข้างต้นได้

การทิ้งดิ่งเพื่อหาความยาวของเส้นรอบวงผนังภายนอกของถังสำรองนี้เป็นการวัดที่หลายระดับความสูงของถังสำรองแตกต่างกันของผนังถังโดยจะเป็นการยื่นระนาบออกไปในแนวราบและตั้งฉากกับผนังถังสำรองรอบเส้นรอบวงของถังสำรอง ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงไม่ว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางถังสำรองหรือการเอียงของผนังถังตลอดจนการเว้าของผนังถังสำรองซึ่งปกติเป็นอยู่เสมอแล้วหลังจากประกอบสร้างถังสำรองแล้วเสร็จหรือถังสำรองผ่านการใช้งานมาช่วงระยะเวลาหนึ่งแล้วนั้น อิทธิพลของการเปลี่ยนแปลงต่างๆเหล่านี้จะถูกนำเข้าไปร่วมในการพิจารณาการทิ้งดิ่งไว้ครบถ้วนแล้วด้วยการวัดที่ 2 ระดับความสูงของแต่ละผนังถัง (Shell ring) แต่ละขั้นของถังสำรองซึ่งก็ถือเป็นการเพียงพอในระดับหนึ่ง

แต่ในทางปฏิบัติเป็นการยากที่ต้องทำการจัดทำนั่งร้านรอบถังสำรองขนาดใหญ่เพื่อให้เจ้าหน้าที่ปีนป่านขึ้นไปทำการวัดหาความยาวของเส้นรอบวงภายนอกถังสำรองที่ผนังชั้นสูงถัดขึ้นไปจากพื้นถัง อีกทั้งเป็นการเสี่ยงต่อการปฏิบัติงานมากเกินไป นอกจากนี้จำนวนถังสำรองที่มีอยู่ในปัจจุบันค่อนข้างมีจำนวนมากเมื่อเทียบกับจำนวนเจ้าหน้าที่ปฏิบัติงาน การนำเทคนิคใหม่ๆและเทคโนโลยีเพื่อเสริมการปฏิบัติงานและใช้กำลังเจ้าหน้าที่ที่มีอยู่อย่างจำกัดให้มีประสิทธิภาพสูงสุดในการจัดการและให้ผลในระดับที่น่าเชื่อถือในระดับหนึ่งจึงเป็นสิ่งที่ต้องคำนึง นอกจากนี้งานชั่งตวงวัดตามข้อกำหนดกฎหมาย (Legal Metrology) ก็ไม่ได้ต้องการความละเอียดสูงมากจนเกินไปหรือมีความแน่นอนถูกต้องสูงดังเช่นงานชั่งตวงวัดในทางวิทยาศาสตร์ (Scientific Metrology) ดังนั้นในที่นี้จึงขอใช้วิธีการหาความยาวของเส้นรอบวงภายนอกถังสำรองที่ผนังชั้นสูงถัดขึ้นไปด้วยการทิ้งดิ่ง (Plumbing method) โดยใช้วิธีการ ***Optical reference line method*** โดยยังคงตั้งอยู่บนหลักการทฤษฎีของ reference line method เช่นเดิม การเลือกใช้การทิ้งดิ่งด้วย วิธีการ Optical reference line method ช่วยลดปัญหาในการปฏิบัติงานจริงในภาคสนามโดยเฉพาะเรื่องของแรงลมซึ่งหากเป็นการทิ้งดิ่งด้วยวิธีเก่าๆ จำเป็นต้องรอจนกระทั่งลมสงบ ซึ่งเป็นไปได้ยากมากในทางปฏิบัติอีกทั้งยังมีอัตราการเสี่ยงต่อผลการวัดที่คลาดเคลื่อนสูงเช่นกัน ส่วนในเรื่องความปลอดภัยของเจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงานสอบเทียบถังสำรองนั้นถือได้ว่าลดความเสี่ยงในการปฏิบัติงานได้มากทีเดียว

2.1 ทฤษฎีของ Reference line method

เมื่อความยาวเส้นรอบวงของวงกลมหนึ่งทราบค่าแล้วความยาวของเส้นรอบวงอีกวงหนึ่งที่มีรัศมีไม่เท่ากันแต่มีจุดศูนย์กลางเดียวกัน สามารถหาได้หากทราบระยะห่างที่แน่นอนของผลต่างของรัศมีของเส้นรอบวงทั้งสองที่ระดับระนาบเดียวกัน ดังนั้นหากให้

R_{ref} = รัศมีของเส้นรอบวงภายนอกถังสำรองอ้างอิง (Reference circumference)

R = รัศมีของเส้นรอบวงภายนอกถังสำรองชั้นสูงขึ้นไปใดๆที่ระดับระนาบเดียวกัน

S_{ref} = ระยะห่างระหว่างรัศมีของเส้นรอบวงภายนอกถังสำรองอ้างอิงกับรัศมีของวงกลมสมมุติ (imaginary circumference) ซึ่งอยู่ห่างผนังถังออกไป

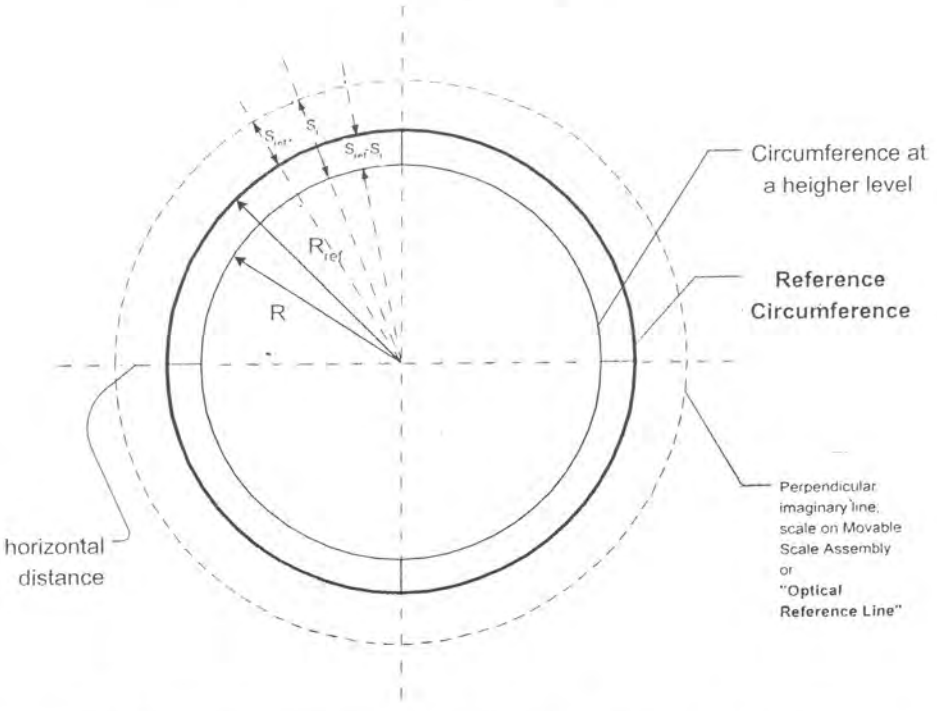
S_r = ระยะห่างระหว่างรัศมีของรัศมีของเส้นรอบวงภายนอกถังสำรองที่ระดับเดียวกับ R กับรัศมีของวงกลมสมมุติ (imaginary circumference) ซึ่งอยู่ห่างผนังถังออกไป

ดังนั้นเราจะได้ว่า

$$R_{ref} + S_{ref} = R + S_r$$
$$R = R_{ref} + (S_{ref} - S_r)$$

แต่เพื่อให้สามารถหาค่าที่ถูกต้องใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุดสำหรับถังสำรองเนื่องจากอาจไม่เป็นถังกลม 100 % เสียทีเดียวการหาค่าเฉลี่ยหลังจากการวัดผลต่าง S_{ref} - S_r ที่หลายๆ ตำแหน่งในระนาบเดียวกันรอบถังสำรองจำนวน n ครั้งจึงเป็นสิ่งจำเป็น ดังนั้นเราสามารถหาค่าเส้นรอบวงถังสำรองใดๆเทียบกับ เส้นรอบวงภายนอกถังสำรองอ้างอิง (Reference circumference) ได้ว่า

$$2\pi * R = 2\pi * R_{ref} + 2\pi * \left[\frac{\sum(S_{ref} - S_r)}{n}\right]$$
$$C = C_{ref} + 2\pi * \left[\frac{\sum(S_{ref} - S_r)}{n}\right]$$



รูปที่ 100 แสดงถึงความหมายและวิธีการของ Reference line method

2.2 จำนวนจุดที่ต้องทิ้งดิ่ง (Plumbing points) หรืออาจเรียกว่า "station" จำนวน "n" การกำหนดจุดที่ต้องการทิ้งดิ่งนั้นถือเป็นการกำหนดจำนวนเส้นอ้างอิงในแนวดิ่ง (vertical reference lines) ของถังสำรอง ดังนั้นหลังจากที่ได้ทำการหาเส้นรอบวงภายนอกถังสำรองอ้างอิง (Reference circumference) เป็นที่เรียบร้อย การกำหนดจุดที่ต้องทำการทิ้งดิ่งเพื่อหาค่าเฉลี่ยหลังจากการวัดผลต่าง (S_{ref} - S_r) ที่หลายๆตำแหน่งในระนาบเดียวกันรอบถังสำรองจึงต้องกำหนดให้ชัดเจนและทำเครื่องหมายบนขอบบนสุดของผนังถังสำรองและที่ตำแหน่งบริเวณใกล้พื้นถังด้วยการทิ้งลูกดิ่งให้สอดคล้องกันไว้เพื่อสะดวกต่อการปฏิบัติงานต่อไป เนื่องจากจุดบนขอบบนสุดของผนังจะเป็นที่แขวนชุดลูกรอกเพื่อทำการชักขึ้นลงของชุด movable scale assembly ดูรูปที่ 102 และ 104 และที่บริเวณใกล้พื้นถังจะเป็นตำแหน่งที่ต้องทำการติดตั้งชุดกล้องส่อง (Precision optical plummet) (ดูรูปที่ 103) ในการวัดความเอียงของถังด้วยใช้วิธีการ Optical reference line method โดยมีเกณฑ์พิจารณาดังนี้

- จุดที่ทำการทิ้งดิ่งรอบภายนอกถังสำรองแต่ละจุดต้องห่างกันมากกว่า 1 เมตรแต่ต้องไม่เกิน 4 เมตร เป็นเกณฑ์พิจารณาควบคู่ไปกับตารางที่ 8.2 ด้วยเช่นกัน

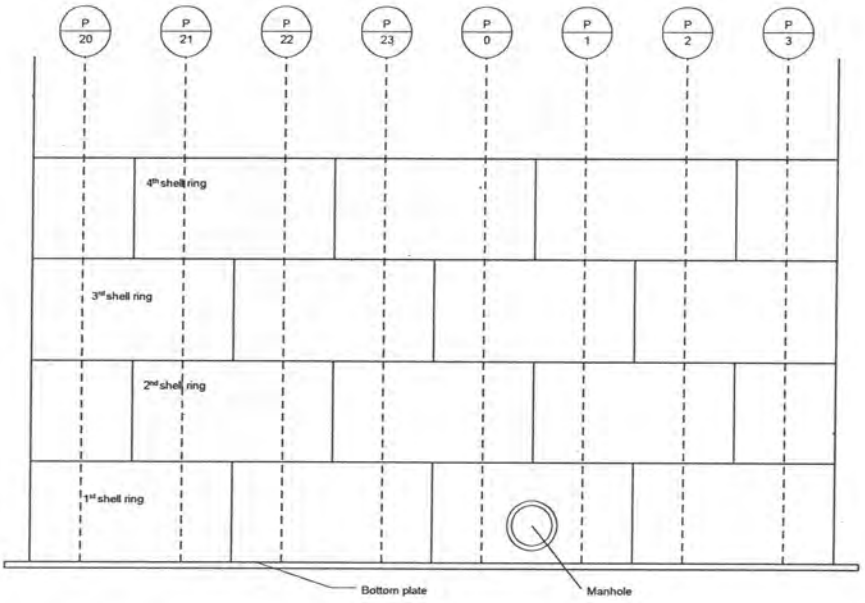
ตารางที่ 8.2 จำนวนจุดที่ต้องทิ้งดิ่งอย่างน้อยสุดขึ้นอยู่กับขนาดของถังสำรอง

Circumference (m)	Minimum number of measuring points (Plumbing points)
Up to 50 m.	8
Above 50 m. up to 100 m.	12
Above 100 m. up to 150 m.	16
Above 150 m. up to 200 m.	20
Above 200 m. up to 250 m.	24
Above 250 m. up to 300 m.	30
Above 300 m.	36

- ผนังถังแต่ละชั้น (shell ring) จะประกอบด้วยผนังถังย่อยๆ (Shell plates) ดังนั้นเมื่อกำหนดการทิ้งดิ่งต้องกำหนดจุดที่ต้องทิ้งดิ่ง (Plumbing points) ที่ทำให้ผนังถังย่อยๆ (Shell plates) มีอย่างน้อยสุด 2 จุด

2.3 ชุดเครื่องมือส่องกล้อง สำหรับวิธีการ Optical reference line method ประกอบด้วยอุปกรณ์ 2 ชุดหลัก คือ

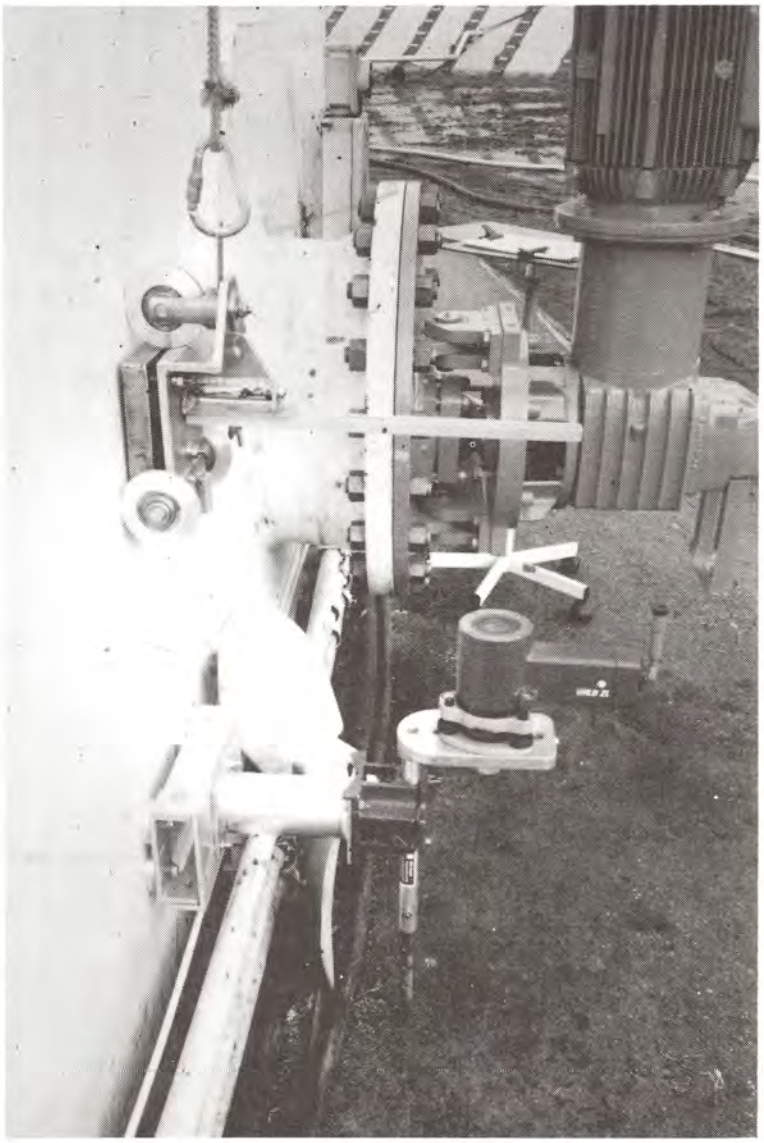
- **ชุดกล้องส่อง (Precision optical plummet)** (ดูรูปที่ 102 และ 103) ซึ่งประกอบด้วยกล้องส่องได้ไกลกว่าความสูงของถังสำรอง และปรับขยายได้ชัดเจนพร้อมชุดยึดจับที่มีขาตั้งที่สามารถปรับระดับความสูงและสามารถปรับระดับในแนวระนาบได้ปรับให้ได้ระดับโดยมีระดับลูกน้ำนอกจากนี้ชุดยึดจับควรสามารถยึดติดกับผนังถังด้วยแม่เหล็ก เมื่อย้ายจุดที่ต้องทิ้งดิ่ง (Plumbing points) หรืออาจเรียกว่า "station" ก็สามารถปรับระดับทั้งความสูงและระนาบได้ตำแหน่งที่ใกล้เคียงกันทุกจุดทิ้งดิ่ง หลัง



รูปที่ 101 แสดงลักษณะการกำหนดตำแหน่งของการทิ้งดิ่ง

จากติดตั้งชุดกล้องส่องตัวกล้องส่องควรห่างจากผนังถังภายนอกไม่น้อยกว่า 30 ซม. ถือระยะห่างจากผนังถังภายนอกของชุดกล้องส่องเป็น **"Optical Reference Line"** หรือ เส้นรอบวงของวงกลมสมมุต (imaginary circumference)

- **ชุด movable scale assembly** (ดูรูปที่ 102 และ 103) ส่วนนี้เป็นชุดที่ได้รับการออกแบบคล้ายกับรถลากมี 4 ล้อพร้อมมีแท่งแม่เหล็ก (the magnet trolley) ใต้ชุดเคลื่อนที่สามารถดูดผนังถังให้ตัวรถลากเคลื่อนที่ขึ้นลงตามแนวความสูงของถังสำรองได้อย่างมั่นคง ชุดแม่เหล็กซึ่งติดอยู่กับตัวรถต้องสามารถปรับระยะห่างระหว่างผนังถังกับตัวรถเคลื่อนที่ได้เพื่อสามารถปรับความเข้มของสนามแม่เหล็กหรือแรงดูดของแม่เหล็กได้ด้วย ดังนั้นเมื่อรถลากมีการเคลื่อนที่แท่งแม่เหล็กดังกล่าวจะไม่สัมผัสกับผนังถังสำรองแต่อย่างใด เนื่องจากเป็นแม่เหล็กที่รุนแรงมากดังนั้นเจ้าหน้าที่ปฏิบัติงานต้องเอาบัตร ATM บัตรเครดิต ตลอดจนนาฬิกาห่างจากชุดแม่เหล็ก บนชุดเคลื่อนที่ดังกล่าวนี้จะประกอบด้วยแท่งโลหะติดยึดเทปวัดความยาวประมาณ 45 ซม. มีขีดขั้นหมายมาตราละเอียดสุดเท่ากับ 1 มม. โดยมีเลข 0 อยู่ตรงกลาง เลข-1 ถึง –20 ซม. จะอยู่ด้านในติดกับผนังถัง ในขณะที่เลข +1 ถึง +20 ซม. อยู่ด้านที่ห่างออกไปจากผนังถังสำรอง เทปวัดดังกล่าวนี้จะยื่นออกไปตั้งฉากกับตัวชุดเคลื่อนที่หรือตั้งฉากกับผนังถังนั้นเอง โดยหันสเกลลงมาทางด้านล่างเข้าหาชุดกล้องส่อง ในส่วนแท่งที่เทปวัดติดยึดอยู่นั้นสามารถปรับเลื่อนในแนวตั้งฉากกับผนังได้ระดับหนึ่งพร้อมมีสกรูล็อกให้แน่นหลังจากปรับเสร็จเพื่อทำการปรับให้เทปวัดแสดงค่าเท่ากับ "0" เมื่อชุด movable scale assembly อยู่ที่ระดับตำแหน่งที่หาเส้นรอบวงภายนอกถังสำรองอ้างอิง (Reference circumference) ทั้งนี้ที่ระยะห่างระหว่างผนังถังกับค่าแสดงเท่า



รูปที่ 102

- ชุดกล้องส่อง (Precision optical plummet) อยู่ด้านล่าง
- ชุด movable scale assembly อยู่ด้านบน มีเชือกดึงขึ้นลงตามผนังถัง

กับ "0" ต้องห่างไม่น้อยกว่า 30 ซม. นอกจากนี้ชุด movable scale assembly สามารถเคลื่อนที่ขึ้นลงตามผนังถังในแนวดิ่งด้วยการชักลอกด้วยเชือกซึ่งจะมีชุดรอกถูกติดตั้งอยู่บนส่วนบนสุดของผนังถังสำรองและการควบคุมการขึ้นลงของชุดเคลื่อนที่ดังกล่าวด้วยเจ้าหน้าที่ซึ่งอยู่ข้างล่างเพื่อประสานงานกับเจ้าหน้าที่อีกคนหนึ่งซึ่งกำลังอ่านค่าจากกล้องส่อง

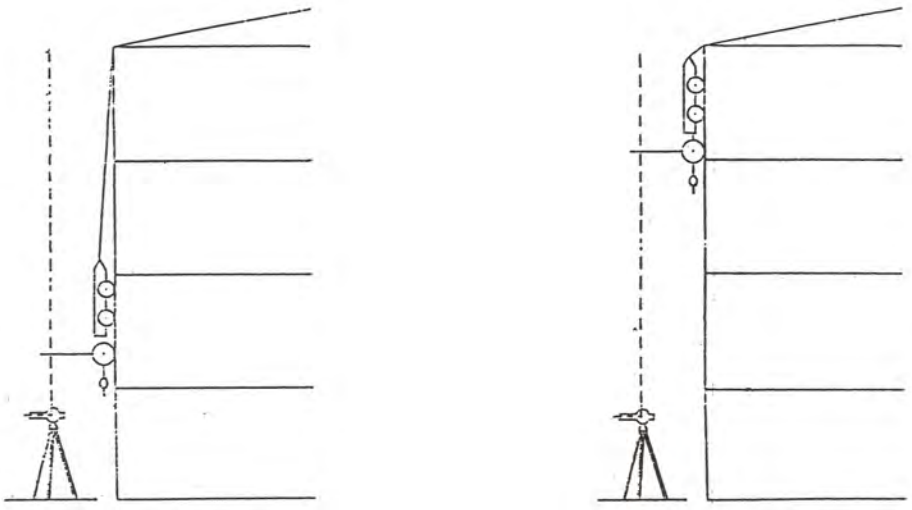
สำหรับถังสำรองซึ่งผนังถังสร้างด้วยเหล็กแสตนเลส หรือ aluminum alloy ก็จะมีปัญหาได้ เพราะแม่เหล็กของชุด movable scale assembly ไม่สามารถดูดติดผนังถังสำรองได้ต้องหาวิธีการอื่นๆที่เหมาะสมต่อไป แต่ถังสำรองที่ใช้งานเพื่อประกอบธุรกิจในอุตสาหกรรมนั้นถังสำรองมักจะทำด้วยโลหะเป็นส่วนใหญ่

รูปที่ 103 ดูเข้าใกล้กันอีกนิด ชุดกล้องส่อง (Precision optical plummet) กับชุด movable scale assembly

การตรวจสอบ optical instrument ซึ่งประจำอยู่กับชุดกล้องส่อง (Precision optical plummet) ต้องกระทำก่อนที่จะนำมาใช้งานภาคสนามเพื่อให้แน่ใจว่าไม่มี collimation error หลังจากทำการติดตั้งชุดดังกล่าวที่ตำแหน่งอ้างอิงตำแหน่งแรกให้ทำการตรวจสอบความตั้งตรงของแนว

ดิ่ง ด้วยการดึงชุด movable scale assembly จากตำแหน่งเส้นรอบวงภายนอกถังสำรองอ้างอิงขึ้นไปยังตำแหน่งบนสุดของผนังถังสำรองและอ่านค่าระยะเยื้องของรัศมี (radial offset) จากนั้นหมุน optical instrument ไป 180 องศา อ่านค่าอีกครั้ง ผลต่างของการอ่านค่าทั้ง 2 ครั้งติดกันต้องไม่ต่างกันเกินกว่า 1 มม. หรือลายเส้นไขว้ภายในกล้องสำหรับหมายวัตถุที่ต้องการดู (Reticule) ต้องไม่เปลี่ยนแปลงไปเกินกว่า 1 ใน 20,000 (ดูรูปที่ 105)

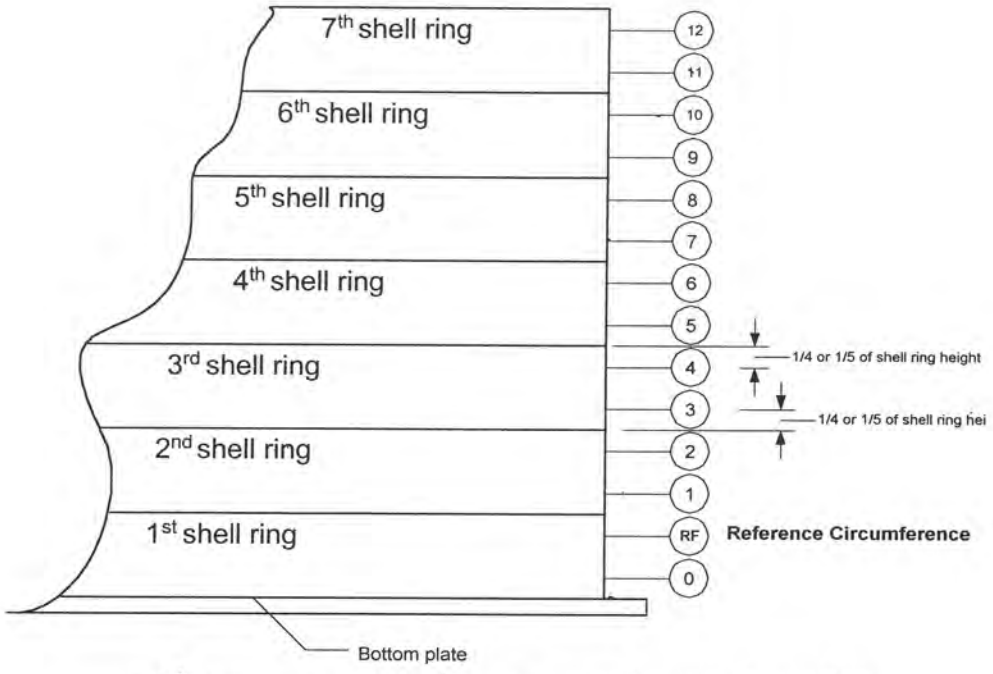
รูปที่ 104 ชุดรอกซึ่งติดตั้งอยู่บนผนังชั้นบนสุดเพื่อให้เจ้าหน้าที่ลากชุด movable scale assembly ขึ้นลงตามผนังถังได้ เพื่อประสานงานได้อย่างใกล้ชิดกับเจ้าหน้าที่อีกคนหนึ่งซึ่งกำลังส่องกล้องอ่านค่า



รูปที่ 105 การตรวจสอบ optical instrument

2.4 เมื่อกำหนดจำนวนจุดที่ต้องการทิ้งดิ่งเป็นที่เรียบร้อยแล้ว จัดชุดเครื่องมือวัดกล้องส่องให้อยู่ต่ำกว่าระดับเส้นรอบวงภายนอกถังสำรองอ้างอิง (Reference circumference) ประมาณ 1 เมตร ปรับระดับลูกน้ำของกล้องส่องให้ได้ระดับ จากนั้นวางชุดเคลื่อนที่ 4 ล้อ (the magnet trolley) บนตำแหน่งระดับเส้นรอบวงภายนอกถังสำรองอ้างอิง ชุดกล้องส่องจะถูกจัดให้มีระยะห่างจากตัวผนังถัง (shell ring) ไม่น้อยกว่า 30 ซม. เรียกระยะห่างดังกล่าวว่า "optical reference line" ที่ระยะห่างนี้ต้องทำการปรับสเกลของเทปวัดความยาวให้แสดงค่าเท่ากับ 0 ทำการบันทึกค่า โดยคำนึงถึงค่า "+" และ "-" ที่อ่านได้จากชุดกล้องส่อง เมื่อชุดเคลื่อนที่ 4 ล้อถูกดึงให้วิ่งขึ้นไปตามแนวดิ่งเพื่อทำการวัดค่าการทิ้งดิ่งของแต่ละผนังถังที่ระยะความสูง 1/4 หรือ 1/5 ของความสูงของผนังถังจากแนวตะเข็บเชื่อมผนังชั้น 1 กับผนังชั้น 2 และที่ความสูงต่ำลงจากแนวตะเข็บเชื่อมผนังถังชั้นที่ 2 กับผนังถังชั้นที่ 3 ด้วยระยะ 1/4 หรือ 1/5 ของความสูงของผนังถัง ในแนวดิ่งตำแหน่งเดียวกันจนถึงผนังชั้นบนสุด จากนั้นให้ปล่อยให้ชุดเคลื่อนที่ 4 ล้อเคลื่อนที่ลงกลับมายังตำแหน่งเดิมที่ระดับเส้นรอบวงภายนอกถังสำรองอ้างอิง อ่านค่าและบันทึกค่า **ค่าที่อ่านได้ก่อนและหลังที่ระดับนี้ต้องต่างกันไม่เกิน 1 มม.** หากต่างกันเกินกว่านี้ให้ดำเนินการวัดใหม่อีกครั้งจนกระทั่งผลต่างของค่าทั้ง 2 เท่ากัน ทำเช่นนี้ที่ตำแหน่งทิ้งดิ่งทุกๆ จุดรอบถังสำรองซึ่งได้กำหนดให้เป็นแนวตั้งอ้างอิง (vertical reference lines) พร้อมบันทึกผล หลังจากนั้นก็จะสามารถคำนวณหาความยาวเส้นรอบวงของผนังถังแต่ละชั้นได้จากสูตรการคำนวณดังที่ได้กล่าวไว้ในตอนต้น ดังแสดงในรูปที่ 106

ดูตัวอย่างรายงานผลการทิ้งดิ่งในบทที่ 10 F. Plumbing



รูปที่ 106 แสดงตำแหน่งที่ทำการวัดระยะเยื้องของรัศมีของผนังถังแต่ละชั้นที่ตำแหน่งในแนวดิ่งเดียวกัน

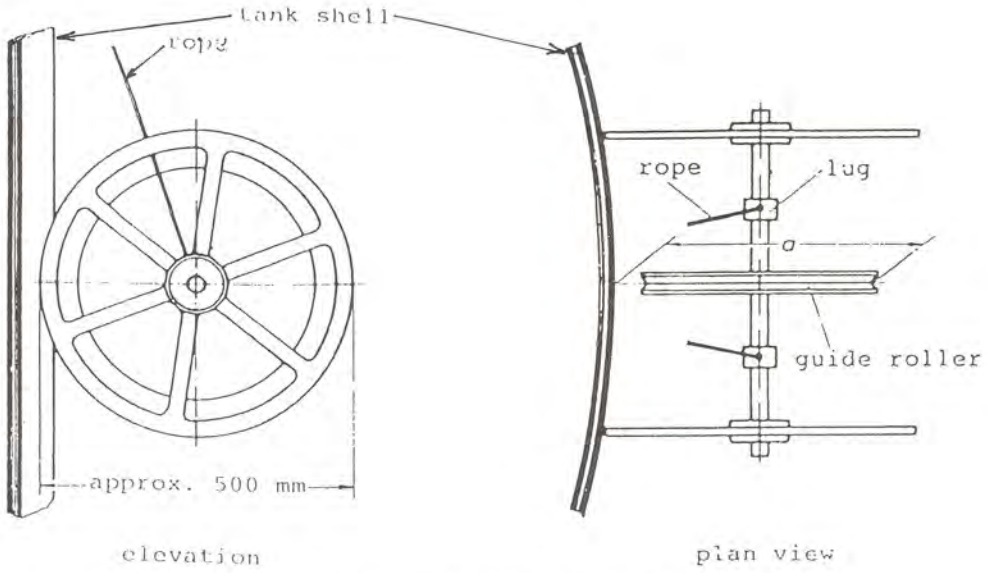


Fig. Carriage with guide roller for the plumb line
(a = distance between shell point and plumb line)

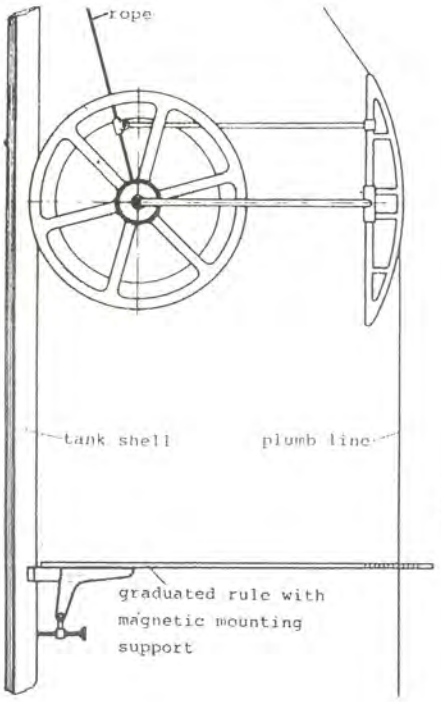


Fig.
Measuring carriage with
distance measuring device

รูปที่ 107 ชุดอุปกรณ์ในการ pluming รุ่นเก่าซึ่งมักมีปัญหาในการปฏิบัติงานหากมีลมพัดแรง จะทำให้เชือกแกว่งยากต่อการอ่านค่า จึงถูกแทนที่ด้วยชุดกล้องส่อง

2.5 Special Plumbing เป็นการทิ้งดิ่งที่ระดับต่ำกว่าระดับเส้นรอบวงภายนอกถังสำรองอ้างอิง (Reference circumference) ที่ระดับความสูง 1/4 หรือ 1/5 ของความสูงของผนังถังจาก bottom plate ของผนังถังชั้นแรก โดยจัดให้มีตัวยึดลูกดิ่งพร้อมเส้นเชือก ทิ้งดิ่งห่างจากผนังถังคงที่โดยติดตั้งอยู่เหนือระดับเส้นรอบวงภายนอกถังสำรอง และจัดให้มีอุปกรณ์ชุดติดยึดกับถังด้วยแม่เหล็กพร้อมมีขั้นหมายมาตราแสดงละเอียดได้ 1 มม. ยื่นตั้งฉากกับผนังถังที่ระดับของระดับเส้นรอบวงภายนอกถังสำรองอ้างอิง พร้อมปรับขีดขั้นหมายมาตราให้แสดงค่าเท่ากับ 0 ซึ่งมีระยะห่างจากผนังถัง 30 ซม. จากนั้นทำการเคลื่อนที่อุปกรณ์ชุดดังกล่าวลงมาในแนวดิ่งมาที่ระดับความสูง 1/4 หรือ 1/5 ของความสูงของผนังถังชั้นแรกจาก bottom plate (ดูรูปที่ 108) ทำการบันทึกค่าโดยคำนึงถึงค่า "+" และ "-" ที่อ่านได้จากขั้นหมายมาตรา ในขั้นตอนนี้การเปลี่ยนแปลงเครื่องหมาย "+" และ "-" มีความจำเป็นและยุ่งยากซึ่งจะคุยในตอนหลังต่อไป

รูปที่ 108 การจัดวางอุปกรณ์สำหรับทำ special pluming แต่อุปกรณ์ชุดบนจริงๆ แล้วต้องอยู่เหนือระดับเส้น reference circumference

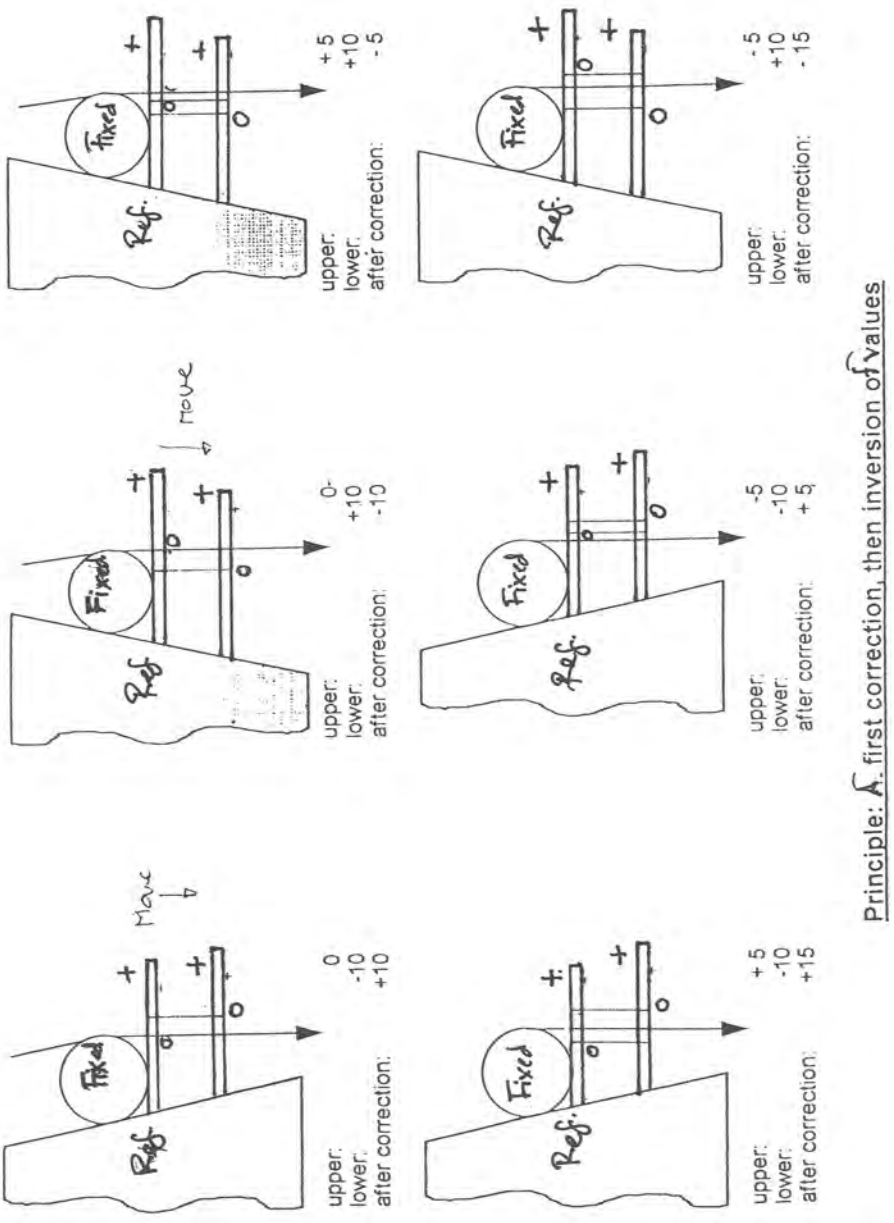
ตัวอย่าง 8.1 การบันทึกผลการทำ Special Plumbing

หลังจากทำการติดตั้งชุดทิ้งดิ่งเป็นที่เรียบร้อย ปรับสเกลให้เท่ากับศูนย์ที่ตำแหน่งระดับเส้นรอบวงภายนอกถังสำรองอ้างอิง

จากนั้นเคลื่อนชุดสเกลต่ำลงมาที่ระดับต่ำกว่าระดับเส้นรอบวงภายนอกถังสำรองอ้างอิง และอยู่สูงกว่า 11/4 หรือ 1/5 ของความสูงของผนังถังชั้นแรกจาก bottom plate อ่านค่าบนสเกลเท่ากับ -10

ดังนั้นทำการแก้ไขค่าเนื่องจากทิศทางการทิ้งดิ่งอยู่ต่ำกว่าระดับเส้นรอบวงภายนอกถังสำรองอ้างอิง 0 – (-10) = +10 **ANS**

ส่วนตัวอย่างอื่นๆ แสดงไว้ในรูปที่ 109



รูปที่ 109 ตัวอย่างการบันทึกค่าและคำนวณผลของ special plumbing

3. การหาปริมาตร Sump (Determination of sump volume)

การหารปริมาตร Sump มีขั้นตอนปฏิบัติคล้ายเช่นเดียวกับการสอบเทียบแบบเปียก โดยไม่จำเป็นต้องแบ่งปริมาตรออกเป็นปริมาตรย่อยๆแต่อย่างใด เป็นการหาปริมาตรเพียงค่าปริมาตรเดียวสอดคล้องกับค่าความสูงของระดับน้ำเพียงค่าความสูงเพียงค่าเดียวเท่านั้น ซึ่งเราจะใช้ค่าเส้นผ่านศูนย์กลางในถังสำรองจากขั้นตอนที่ผ่านมาในการหาปริมาตร Sump ทบทวนรายละเอียดเพิ่มเติมจากบทที่ผ่านมา

การหาปริมาตรของ sump สิ่งที่ต้องระมัดระวังเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อม ก็คือการสูบถ่ายของเหลวหรือน้ำออกจากถังสำรองและการกำจัดทิ้ง ต้องมั่นใจว่าไม่มีผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมเจือปนออกมาด้วย โดยเฉพาะถังสำรองที่ผ่านการใช้งานแล้วต้องตรวจสอบด้วยว่าถังสำรองได้รับการล้างถังก่อนทำการสอบเทียบและมีวิธีการกำจัดของเหลวที่ถูกสูบถ่ายออกมาอย่างถูกต้อง ด้วยความปรารถนาดีจากผู้เขียนน่ะครับ

ดูตัวอย่างการคำนวณหาปริมาตร Sump ในบทที่ 10 G. Determination of sum

4. คำนวณการขยายตัวของถังสำรองเมื่อระดับความสูงของของเหลวเพิ่มขึ้น (Calculation of expansion at increasing liquid levels)

เนื่องจากเป็นการทดสอบแบบแห้งในที่นี้ไม่ได้เป็นการสอบเทียบแบบแห้งสมบูรณ์แบบแต่เป็นการสอบเทียบที่ผสมผสานของการสอบเทียบแบบเปียกส่วนหนึ่ง นั้นคือในส่วนของการหาปริมาตรของ Sump เท่านั้น ดังนั้นอิทธิพลของระดับความสูงของของเหลวที่บรรจุในถังสำรองที่ระดับความสูงเหนือขึ้นไปจาก dip plate มีผลต่อการขยายตัวของถังสำรองเนื่องจากความดันสถิตย์ (hydrostatic pressure) นั้นเราไม่สามารถวัดได้เนื่องจากเป็นการทดสอบแบบแห้ง ดังนั้นจึงเป็นเรื่องจำเป็นต้องทำการคำนวณเพื่อชดเชยอิทธิพลของการขยายตัวของถังสำรองเนื่องจากความดันที่กระทำต่อถังสำรองจากระดับความสูงของเหลวภายในถัง (hydrostatic pressure) ซึ่งทำให้เกิดผลผิดในการสอบเทียบได้มีค่าประมาณ 0.1% ถึง 0.2%

ดังนั้นเมื่อระดับความสูงของเหลวเพิ่มขึ้น เราจึงแบ่งพิจารณาอิทธิพลการขยายตัวของถังสำรองออกเป็นแต่ละ shell ring ยกตัวอย่างเช่นพิจารณาที่ shell ring ที่1 เมื่อความดันสถิตย์เพิ่มขึ้นทำให้ถังสำรองขยายตัวเพิ่มขึ้นส่งผลให้พื้นที่หน้าตัดก็เปลี่ยนแปลงในทิศทางเพิ่มขึ้นเช่นกัน นั้นหมายถึงทำให้ปริมาตรถังสำรองเพิ่มขึ้นเมื่อระดับความสูงของเหลวเพิ่มขึ้น หรือพูดอีกนัยหนึ่งคือปริมาตรเพิ่มขึ้นต่อความสูง l/mm นั้นเอง จึงสรุปได้ว่าการแก้ไขค่า l/mm –value เพราะการขยายตัวของถังสำรองเนื่องจากความดันสถิตย์กระทำต่อผนังถังสำรองโดยมีปริมาตรของเหลวเพิ่มขึ้นของแต่ละ shell ring ดังจะได้จากสูตรการแก้ไขค่า l/mm –value ของแต่ละชั้นของถังสำรอง

$$\Delta n = \frac{D^3\pi}{4} \bullet \frac{\rho g K}{E} \bullet \left\{ \frac{H_1}{S_1} + \frac{H_2}{S_2} + \frac{H_3}{S_3} + \ldots\ldots + \frac{H_{n-1}}{S_{n-1}} + \frac{1}{2}\frac{H_n}{S_n} \right\} \qquad l/mm$$

เมื่อ

Δn = increase of l/mm-value at the n^{th} shell ring, l/mm

D = Internal diameter of the tank , m

ρ = Density of the liquid , kg/m^3

g = Acceleration due to gravity, m/s^2 $=9.81\ m/s^2$

E = Modulus of elasticity, kg/ms^2

K = Stiffening factor Mild steel =0.85

H_n = Height of the respective shell ring , mm

s_n = Plate thickness of the respective shell ring, mm

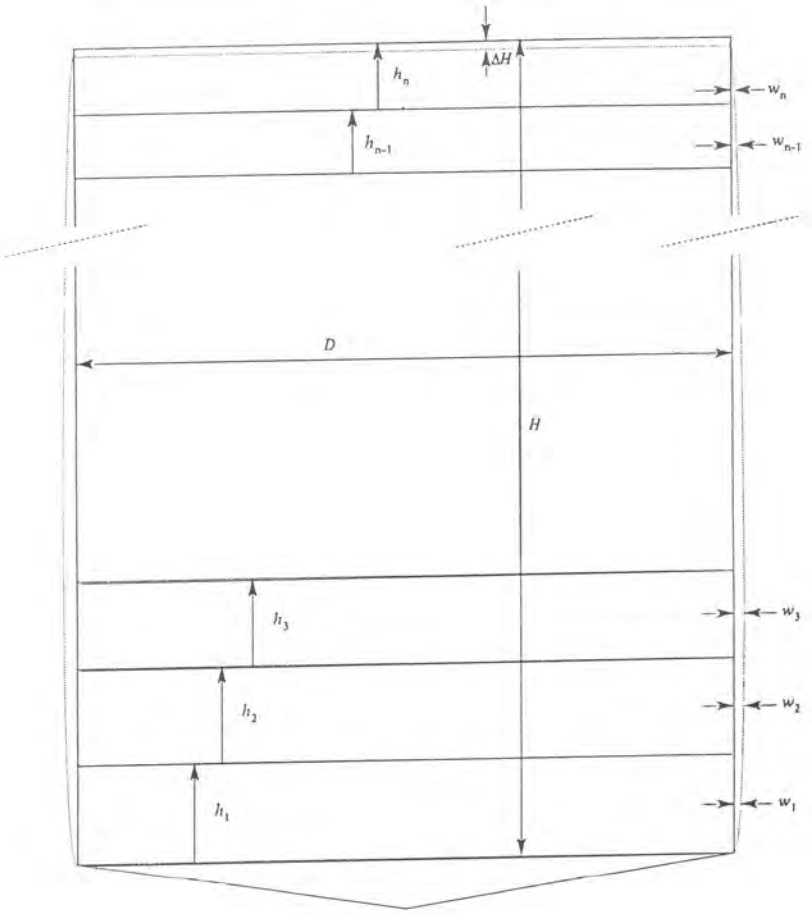


Figure Deformation of tanks

รูปที่ 110 การขยายตัวของถังสำรองเมื่อระดับความสูงของเหลวเพิ่มสูงขึ้น
($H_n = h_n$ และ $\Delta n = w_n$)

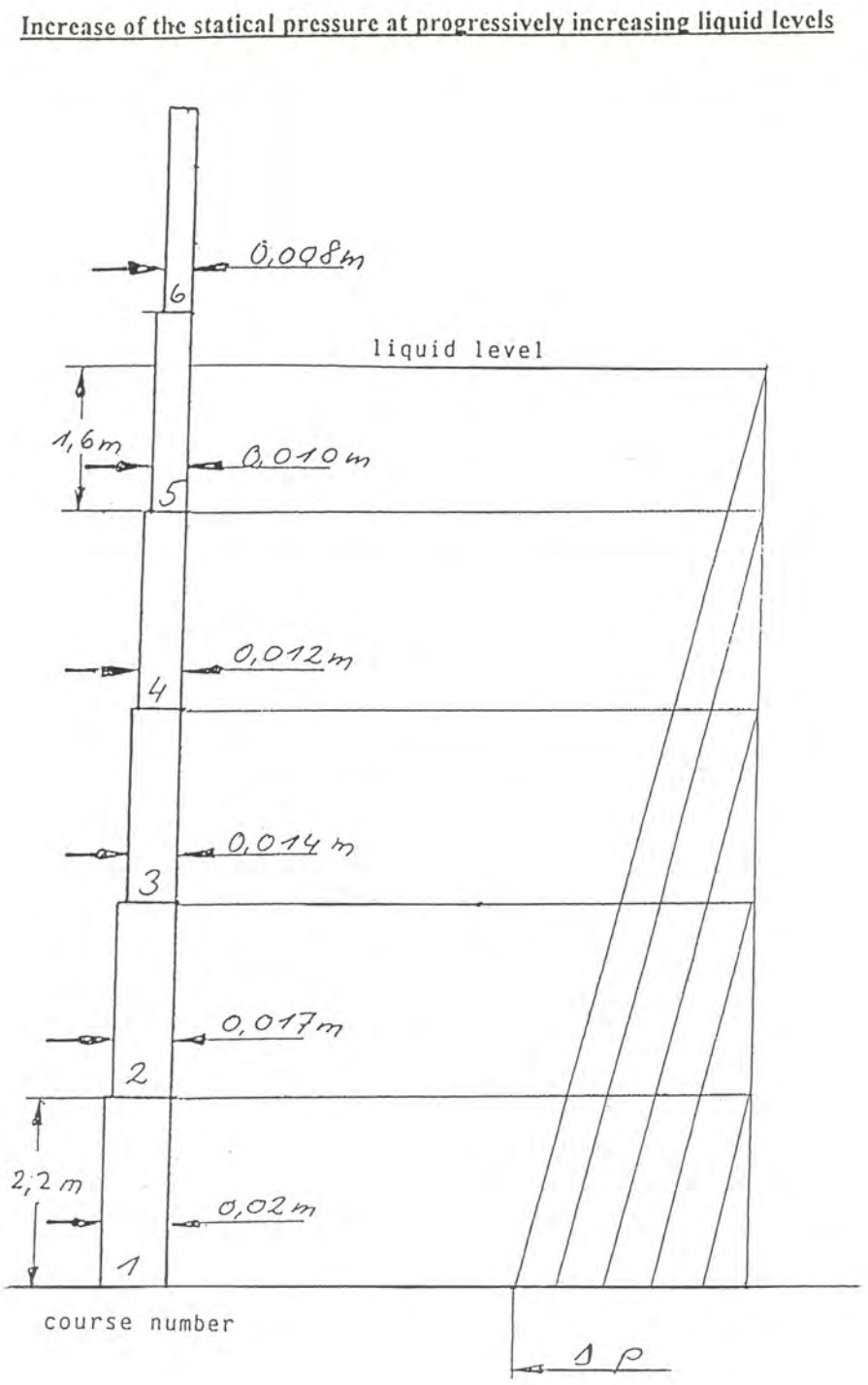
ดังนั้นปริมาตรที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการขยายตัวของผนังถังสำรองด้วยอิทธิพลของความดันสถิตย์มีค่าเท่ากับ

$$\Delta V = \sum \Delta n \bullet h_m$$

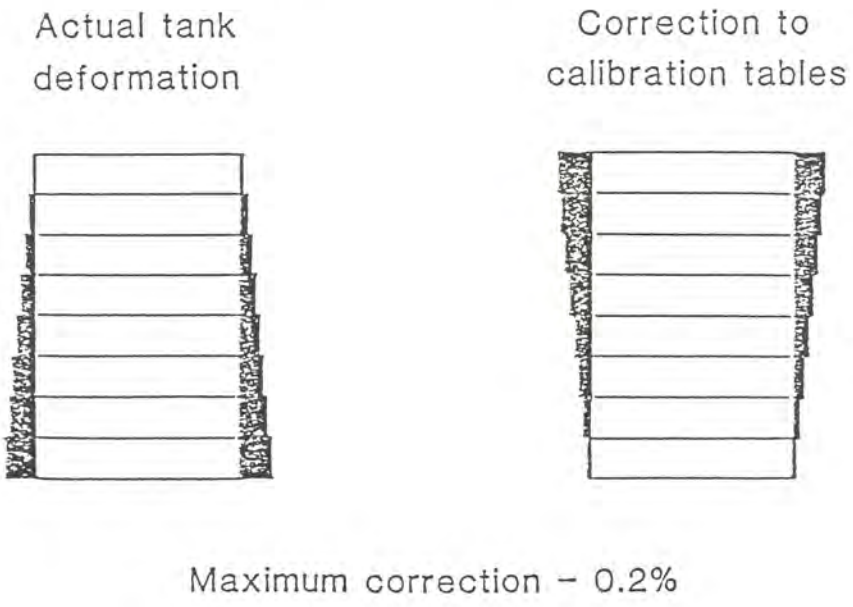
เมื่อ

h_m = Mean value of the shell ring heights of tank

ดูตัวอย่างรายงานผลการสอบเทียบในบทที่ 10, H. Correction of l/mm valve due to elastic expansion of t tank shell increasing liquid.



รูปที่ 111 แสดงความสัมพันธ์ความดันของเหลวสถิตย์ (Static pressure)ที่เพิ่มขึ้นตามระดับความสูงของเหลว และความหนาแน่นของเหลว



รูปที่ 112 ลักษณะการขยายตัวของถังสำรอง เมื่อเทียบกับปริมาณของค่าที่ทำการแก้ไขเปรียบเทียบที่ระดับความสูง

5. การสอบเทียบหาน้ำหนักหลังคาถังฝาลอย (Calibration of the weight of the floating roof)

หลังจากได้ทำการสอบเทียบแบบเปียกเป็นที่เรียบร้อย ในกรณีเป็นถังสำรองชนิดหลังคาฝาถังลอย (floating roof) นั้นการที่ต้องคำนวณหาน้ำหนักของหลังคาถังฝาลอยเป็นสิ่งจำเป็นในกรณีที่หากมีการเปลี่ยนชนิดของผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมจัดเก็บหรือพูดอีกนัยหนึ่งว่าเมื่อค่าความหนาแน่นของของเหลวที่ถูกจัดเก็บไว้ภายในถังสำรองเปลี่ยนแปลงไป น้ำหนักของหลังคาถังฝาลอยก็จะมีผลต่อความแม่นยำในการใช้ตารางสอบเทียบถังสำรองทันทีหรือทำให้ความสัมพันธ์ของระดับความสูงของเหลวภายในถังสำรองกับปริมาตรที่บรรจุอยู่ภายในถังสำรองเปลี่ยนแปลงไปทั้งนี้เนื่องจากอิทธิพลหรือผลของน้ำหนักของหลังคาถังฝาลอยและแรงลอยตัวที่กระทำต่อหลังคาถังฝาลอยนั้นเอง ถึงแม้ว่าน้ำหนักของหลังคาถังฝาลอยจะมีค่าคงที่ก็ตาม

ก่อนที่สามารถดำเนินการหาค่าน้ำหนักของหลังคาถังฝาลอย ต้องทำการสำรองตรวจอุปกรณ์ประจำถังก่อนว่ามีอุปกรณ์ที่อำนวยการสอบเทียบดังกล่าวได้หรือไม่

- บนหลังคาถังฝาลอยควรมี socket อย่างน้อย 5 จุดกระจายทั่วทั้งพื้นที่หลังคาถังฝาลอยคือบริเวณกึ่งกลางฝาถัง 1 จุด และบริเวณรอบๆ บริเวณใกล้ริมนอกหรือขอบฝาถังห่างกัน 90 องศาอีกจำนวนหนึ่งอย่างน้อย 4 จุด ทั้งนี้เพื่อสามารถทำการ dipping ระดับความสูงของของเหลวเทียบกับพื้นก้นถังรวมทั้งค่าความสูงของ air column หรือ air height ที่จุดนั้นๆได้ด้วย

- leg supports ของหลังคาถังฝาลอยต้องสามารถปรับระดับได้ตั้งแต่สูงจากพื้นถัง 1 ม. ถึง 2 ม.

เนื่องจากเมื่อเราอัดน้ำเข้าถังสำรองจนกระทั่งหลังคาถังฝาลอยเริ่มลอยตัวขึ้น หากเราทราบระดับน้ำภายในถังสำรองเราก็จะได้ปริมาตรของน้ำภายในถัง แต่ในทางปฏิบัติพบว่าปริมาตรที่คำนวณได้จากวิธีการสอบเทียบแบบเปียกหรือจากระดับความสูงของระดับน้ำที่วัดได้นั้นจะให้ค่าปริมาตรต่ำกว่าความเป็นจริงทั้งนี้เนื่องจากน้ำหนักของหลังคาถังฝาลอยที่กดทับลงมาในขณะเดียวกันจะมีแรงลอยตัวของหลังคาถังฝาลอยดันสวนขึ้นมาอีกทั้งมีแรงเสียดทานบริเวณซีลขอบหลังคาถังฝาลอยต้านลงมาอันเนื่องฝาถังเริ่มลอยขึ้นทำให้เราได้ปริมาตรน้อยกว่าความเป็นจริง จนกระทั่งเมื่อเราหยุดอัดน้ำเข้าถังสำรองและคอยด้วยระยะเวลาหนึ่งจนเข้าสู่สภาวะความสมดุลของแรงต่างๆ ที่กระทำต่อหลังคาถังฝาลอยได้ดังสมการ

$$W_{\text{floating roof}} + F_{\text{friction_UP}} = F_{\text{Buoyancy_UP}}$$

ในขณะเดียวกันเมื่อทำการปล่อยน้ำออกจากระบบถังสำรองในขณะที่หลังคาถังฝาลอยกำลังลอยอยู่และปล่อยน้ำออกจากถังสำรองจนกระทั่งได้ระดับที่ leg supports ของถังสำรองใกล้สัมผัสกับพื้นถัง พบว่าปริมาตรที่คำนวณได้จากวิธีการสอบเทียบแบบเปียกหรือจากระดับความสูงของระดับน้ำที่วัดได้นั้นจะให้ค่าปริมาตรสูงกว่าความเป็นจริงทั้งนี้เนื่องจากน้ำหนักของหลังคาถังฝาลอยถูกพยุงด้วยแรงเสียดทานบริเวณผนังถังกับซีลขอบหลังคาถังฝาลอยอันเนื่องหลังคาถังฝาลอยได้ลอยลงทำให้เราได้ปริมาตรมากกว่าความเป็นจริง จนกระทั่งเมื่อเราหยุดสูบน้ำออกจากถังสำรองและคอยด้วยระยะเวลาหนึ่งจนเข้าสู่สภาวะสมดุลยของแรงต่างๆ ที่กระทำต่อหลังคาฝาถังลอยได้ว่า

$$W_{\text{floating roof}} - F_{\text{friction_DOWN}} = F_{\text{Buoyancy_DOWN}}$$

กรณีที่หลังคาถังฝาลอยได้ลอยตัวขึ้น การหาปริมาตรเนื่องจากผลต่างของระดับความสูงของระดับน้ำก่อนและหลังสุดการลอยตัวของฝาถังโดยใช้การคำนวณด้วยการสอบเทียบแบบแห้งเทียบกับปริมาตรที่วัดได้ด้วยระบบมาตรวัด ผลต่างที่ได้จากการเปรียบเทียบกันก็จะเป็นน้ำหนักแทนที่ของหลังคาถังฝาลอยเนื่องจากแรงลอยตัวเมื่อหลังคาถังฝาลอยตัวขึ้น เช่นเดียวกัน

กรณีที่หลังคาถังฝาลอยได้ลอยตัวลงมา การหาปริมาตรเนื่องจากผลต่างของระดับก่อนที่สูบถ่ายน้ำออกจากถังจนกระทั่งฝาถังลอยลงมาและยังคงลอยตัวอยู่ โดยใช้การคำนวณด้วยการสอบเทียบแบบแห้ง เทียบกับปริมาตรที่วัดได้ด้วยระบบมาตรวัด ผลต่างที่ได้จากการเปรียบเทียบกันก็จะเป็นน้ำหนักแทนที่ของหลังคาถังฝาลอยเนื่องจากแรงลอยตัวเมื่อหลังคาถังฝาลอยลอยตัวลงมาโดยสมมุติให้แรงเสียดทานเนื่องจากหลังคาถังฝาลอยเมื่อลอยตัวขึ้นและลอยตัวลงมามีค่าเท่ากัน ดังนั้นนำสมการข้างบนทั้ง 2 บวกเข้าด้วยกันจะได้ว่า

$$W_{\text{floating roof}} + F_{\text{friction_UP}} + W_{\text{floating roof}} - F_{\text{friction_DOWN}} = F_{\text{Buoyancy_UP}} + F_{\text{Buoyancy_DOWN}}$$

$$W_{\text{floating roof}} = \frac{F_{\text{Buoyancy_UP}} + F_{\text{Buoyancy_DOWN}}}{2}$$

เมื่อ

$$F_{Buoyancy} = \rho_{water} \bullet g \bullet \Delta V_{sub}$$

นอกจากนี้เรายังพบว่าการเปลี่ยนแปลงชนิดของเหลวบรรจุภายในถังสำรองชนิด floating roof มีผลต่อการแทนที่หรือน้ำหนักของหลังคาถังฝาลอยด้วยเช่นกัน ดังนั้นหากเราทำการสอบเทียบถังสำรองด้วยน้ำซึ่งถือว่ามีค่าความหนาแน่นเท่ากับ 1 kg/l ดังนั้นหากมีการเปลี่ยนชนิดผลิตภัณฑ์บรรจุเก็บในถังสำรองดังกล่าวสามารถปรับเปลี่ยนการแทนที่ของน้ำหนักหลังคาถังฝาลอยด้วยสมการดังนี้

$$\frac{\text{Mass of the floating roof}\left[\frac{\text{kg} \bullet \text{l}}{\text{kg}}\right]}{\text{density of liquid}} = \text{displacement [l]}$$

ในกรณีที่มีฝนตกลงมามากจนท่วมอยู่บนหลังคาถัง หากต้องการหาปริมาตรภายในถังด้วยการ dipping ควรรอจนกระทั่งน้ำบนหลังคาได้ระบายออกไปจากฝาถังจนหมดสิ้นเสียก่อนเนื่องจากน้ำหนักของน้ำฝนจะไปเพิ่มน้ำหนักแทนที่ของหลังคาฝาถังลอย ทำให้ air height ภายใน air sockets ที่เราหาค่าไว้ก่อนหน้านี้มีค่าสั้นลงเนื่องจากระดับของเหลวดันสูงมากขึ้นเนื่องจากน้ำหนักจากหลังคาถังฝาลอยกดลงบนของเหลวเพิ่มสูงมากขึ้น ซึ่งพอหาน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการมีน้ำขังอยู่บนฝาถังได้โดยหาผลต่างของ Air height ขณะที่ฝาถังลอยไม่มีน้ำขัง กับ air height ขณะที่ฝาถังลอยมีน้ำขังอยู่ คูณด้วยค่า l/mm ประจำถัง ก็จะได้ค่าน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นดังกล่าว

ขั้นตอนการสอบเทียบหาน้ำหนักหลังคาฝาถังลอย

1. หลังจากทำการสอบเทียบแบบแห้งเป็นที่เรียบร้อยแล้ว และถังสำรองที่ได้รับการสอบเทียบมีหลังคาถังฝาลอยอยู่ ให้ทำการอัดน้ำเข้าถังสำรองใหม่ต่อจากระดับน้ำที่ได้ทำการหาปริมาตร sump ก่อนหน้านี้จนกระทั่งระดับน้ำภายในถังสำรองมีความสูงประมาณ 100 มม. ต่ำจากจุดต่ำสุดของหลังคาฝาถังลอย ให้เรียกความสูงน้ำที่ระดับนี้เท่ากับ h_{1u} ไม่ต้องบันทึกค่าปริมาตรที่สูบอัดเข้าถังสำรอง

2. ที่ระดับความสูงของน้ำดังกล่าวให้ทำการ dip เพื่อหาค่าต่อไปนี้

   2.1) ระยะความสูงระหว่าง main dipping point กับ dip plate ทั้งนี้ความสูงของน้ำเหนือ dip plate ต้องมีค่าไม่มากกว่า "ความสูงของระดับหลังคาถังฝาลอย – 100 มม."

   2.2) ความสูงของแต่ละ air dipping sockets (upper edge) เหนือพื้นถัง (Bottom plate)

   2.3) ความสูงของระดับน้ำที่แต่ละ air dipping sockets (upper edge) เหนือพื้นถัง (Bottom plate) ผลต่างของระดับความสูงในหัวข้อ 2.2) กับหัวข้อ 2.3) จะเป็นค่า "air height" หรือ immersion depth นั่นคือระยะจมลงของหลังคาฝาถังลอยจมลงในน้ำ

3. ให้ทำการเขียนเส้นเหนือขอบหลังฝาถังลอยประมาณ 50 ซม. บนผนังภายในถังแต่อาจขีดไม่ตลอดเส้นรอบวงก็ได้ อาจขีดเส้นยาวเพียงประมาณ 20 – 40 ซม. หรือขีดยาวตลอดภาย

ในถังสำรองเพื่อใช้ในการตรวจสอบว่าหลังคาถังฝาลอยมีการลอยตัวได้ระดับไม่มีการเอียงมากจนเกินไป หรือบริเวณขอบถังบางบริเวณมีความเสียดทานสูงมากกว่าอีกบริเวณทำให้ขอบฝาถังมีการเอียงตัวไม่ได้ระดับเมื่อฝาถังลอยสูงขึ้น

4. จดบันทึกค่าปริมาตรบนตัวมาตรวัด จากนั้นให้อัดน้ำเข้าถังสำรองต่อไปโดยผ่านระบบมาตรวัดแบบมาตราเพื่อวัดปริมาตรของน้ำซึ่งอัดเข้าถังสำรองจนกระทั่งหลังคาถังฝาลอยเริ่มลอยสูงขึ้นประมาณ 50 ซม. ถึง 1 เมตร หรืออาจสูงกว่าหรือน้อยกว่านี้เล็กน้อยก็ได้แต่ต้องมั่นใจด้วยว่าหลังฝาถังลอยได้ลอยตัวอย่างอิสระตลอดทั้งฝาถังโดยไม่มี leg supports ติดหรือตั้งอยู่กับพื้นถังแต่อย่างใด ด้วยปริมาตรน้ำ V_{1u} ให้เรียกความสูงน้ำที่ระดับนี้เท่ากับ h_{2u}

5. ทำการวัดระยะตามหัวข้อ 2. อีกครั้ง

6. ทำการคำนวณหาปริมาตร V_{2u} จากผลคูณระหว่างพื้นที่หน้าตัดของถังสำรองกับผลต่างของความสูงของระดับน้ำ $(h_{2u} - h_{1u})$ จากนั้นหาน้ำหนักของหลังคาถังฝาลอยด้วยการนำค่าปริมาตรที่คำนวณได้ลบด้วยปริมาตรน้ำที่อ่านได้จากมาตรวัดหลังจากแก้ไขปรับค่าแล้วจึงมีค่าเท่ากับ $(V_{2u}- V_{1u})_{corr}$ เมื่อน้ำมีค่าความหนาแน่น 1000 kg/m^3

น้ำหนักของหลังคาถังฝาลอย (ลอยขึ้น) = $(V_{2u}- V_{1u})_{corr}$ x 1000 kg/m^3 kg

7. จากนั้นให้กลับทิศทางการวัดปริมาตรของระบบมาตรวัดแบบมาตราให้สามารถวัดปริมาตรน้ำที่จะถูกปล่อยออกจากถังสำรองเพื่อให้หลังคาถังฝาลอยเคลื่อนที่ลงมาแต่ยังคงให้หลังคาถังฝาลอยยังคงลอยตัวอยู่อย่างอิสระ ต้องไม่มี leg supports ติดหรือตั้งอยู่กับพื้นถัง ให้ความสูงน้ำที่ระดับนี้เท่ากับ h_{1d}

8. ทำการวัดระยะความสูงตามข้อ 2.

9. จากนั้นให้ปล่อยน้ำออกจากถังสำรองโดยผ่านระบบมาตรวัดแบบมาตราเพื่อวัดปริมาตรของน้ำซึ่งปล่อยออกจากถังสำรองจนกระทั่งหลังคาถังลอยมี leg supports ติดหรือตั้งอยู่กับพื้นถังในขณะที่ยังคงสัมผัสกับระดับน้ำซึ่งอยู่ใต้หลังคาถังทั่วตลอดหลังคา อ่านปริมาตรน้ำจากมาตรวัดน้ำได้ V_{1d} ให้เรียกความสูงน้ำที่ระดับนี้เท่ากับ h_{2d}

10. ทำการวัดระยะตามหัวข้อ 2. อีกครั้ง

11. ทำการคำนวณหาปริมาตร V_{2d} จากผลคูณระหว่างพื้นที่หน้าตัดของถังสำรองกับผลต่างของความสูงของระดับน้ำ $(h_{1d} - h_{2d})$ จากนั้นหาน้ำหนักของหลังคาถังฝาลอยด้วยการนำค่าปริมาตรที่คำนวณได้ลบด้วยปริมาตรน้ำที่อ่านได้จากมาตรวัดหลังจากแก้ไขปรับค่าแล้วจึงมีค่าเท่ากับ $(V_{2d}- V_{1d})_{corr}$ เมื่อน้ำมีค่าความหนาแน่น 1000 kg/m^3 (ดูรูปที่ 113)

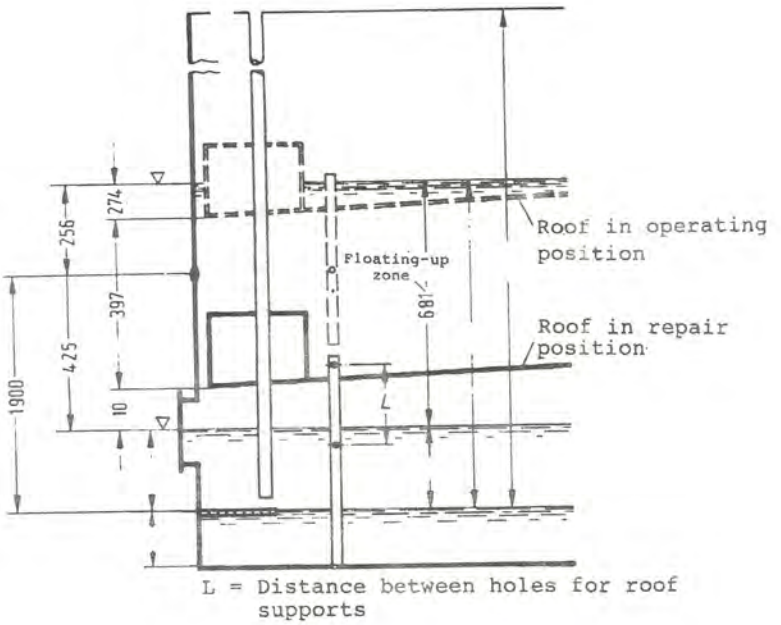
น้ำหนักของหลังคาถังฝาลอย (ลอยลง) = $(V_{2d}- V_{1d})_{corr}$ x 1000 kg/m^3 kg

จากนั้นนำค่าน้ำหนักหลังคาถังฝาลอย (เมื่อลอยขึ้น) และ (เมื่อลอยลง) มาหาค่าเฉลี่ยเพื่อจะได้ใช้ค่าเฉลี่ยเป็นค่าตัวแทนของน้ำหนักหลังคาถังฝาลอยเพียงค่าเดียว

รายละเอียดขั้นตอนการคำนวณสามารถดูได้อีกครั้งภายในตัวอย่างการคำนวณการสอบเทียบถังแบบแห้งในบทต่อไปซึ่งอาจมืนหน่อยแต่ถือว่ารู้ไว้ก็ไม่เสียหาย

Storage tank with floating roof (Godorf Refinery)
Sketch for determining the mass of the roof

Dimensions in mm



รูปที่ 113 ตัวอย่างค่าระดับที่ทำการวัดเพื่อหาน้ำหนักหลังคาถังฝาลอย

บทที่ 9

ผลการทดสอบและการแสดงผล

(Testing Results and Their Evaluation)

1. Reference Temperature ในการสอบเทียบถังสำรองขนาดใหญ่รูปทรงแนวตั้ง นั้นได้รับอิทธิพลของการเปลี่ยนแปลงหลายปัจจัยด้วยกันและปัจจัยที่สำคัญปัจจัยหนึ่งก็คือ อุณหภูมิ ซึ่งมักเป็นปัจจัยที่ต้องให้ความสนใจมากเป็นพิเศษหากเป็นเรื่องเกี่ยวกับการสอบเทียบที่มีของเหลวผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมเข้ามาเกี่ยวข้อง ในที่นี้ก็คือ ถังสำรองขนาดใหญ่รูปทรงแนวตั้งซึ่งใช้ในการจัดเก็บผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมนั้นเอง ให้การวัดค่าใดๆอ้างอิงไปที่อุณหภูมิ *20 ℃*

2. การปัดค่าผลการคำนวณปริมาตร (Rounding)

เมื่อค่าปริมาตรแต่ละส่วน เช่นปริมาตรของ sump หรือปริมาตรแต่ละ shell ring สามารถคำนวณผลออกมาแล้ว จำเป็นต้องปัดค่าให้อยู่ในรูปจำนวนเต็มของจำนวนลิตร (integer litre values)

ในตอนท้ายสุดขอการคำนวณแต่ละค่าปริมาตรที่ปรากฏในตารางผลการสอบเทียบต้องทำการปัดให้อยู่ในรูปจำนวนเต็มของ 1, 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200, 500, 1,000, 2,000, 5,000, หรือ 10,000 liters

ในกรณี ปริมาตรของ sump และมวลของหลังคาถังฝาลอย จะต้องปัดค่าในฟังก์ชั่นของค่าที่ต้องการหาดังในรูปจำนวนเต็มของ 1, 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200, 500, 1,000, 2,000, 5,000, หรือ 10,000 liters เช่นกัน

สำหรับปริมาตรของการคำนวณทั้งหมดที่ต้องแสดงอยู่บน nameplate หรือใบรายงานผลการสอบเทียบประจำถังสำรองขนาดใหญ่รูปทรงแนวตั้ง ต้องทำการปัดค่าเป็นไปตามในตารางข้างล่าง

ตารางที่ 9.1 การปัดทศนิยม

Overall Volume	Rounded to
Up to 110 m^3	1 m^3
More than 110 m^3 to 2,500 m^3	10 m^3
More than 2,500 m^3	100 m^3

บทที่ 10

ตัวอย่างผลการสอบเทียบถังสำรองแบบแห้ง

ตัวอย่างในบทนี้เป็นการสอบเทียบแบบแห้งกับถังสำรองขนาดใหญ่รูปทรงแนวตั้งชนิดหลังคาถังฝาลอย (floating roof) เนื้อหาอาจจะมีความละเอียดมากและต้องมีการคำนวณทางคณิตศาสตร์และต้องการใช้ความเข้าใจในการวัดระยะที่ตำแหน่งต่างๆรวมทั้งต้องเข้าใจถึงอุปกรณ์ประจำถังสำรองที่อาจเรียกขานหรือใช้เป็นที่อ้างอิง การเกี่ยวข้องอย่างต่อเนื่องของระดับของน้ำภายในถังสำรองและผลการคำนวณในแต่ละส่วนล้วนมีผลต่อการคำนวณค่าต่อมาด้วยเช่นกัน จากการปูพื้นฐานให้ทราบเกี่ยวกับถังสำรองทั้งหลักการทำงานและอุปกรณ์ประจำถังสำรอง ตลอดจนการวัดระยะต่างๆ ก็พอนับว่าพอสมควรต่อการทำความเข้าใจเบื้องต้น การหาประสบการณ์เพิ่มเติมในภาคสนามเป็นเรื่องสำคัญและจำเป็น

นอกจากนี้ผู้เขียนต้องขอออกตัวก่อนว่าไม่ใช่ผู้เชี่ยวชาญในการสอบเทียบถังสำรองเพียงแต่ได้รับการฝึกอบรมหลักสูตรสั้นๆ จาก DAM ณ สหพันธ์รัฐเยอรมัน ในช่วงฝึกอบรมดังกล่าวเนื่องจากเป็นช่วงระยะเวลาสั้นๆ ดังนั้นในภาคสนามจึงดำเนินไปด้วยอย่างล่าช้าเนื่องจากถังสำรองชนิดหลังคาฝาถังลอยที่ไปทำการสอบเทียบจริงๆร่วมกับเจ้าหน้าที่ชั่งตวงวัดของเยอรมันมีขนาดใหญ่และอัตราการสูบอัดน้ำเข้าถังสำรองใช้เวลานานมาก ดูเหมือนจะมีอัตราการไหลสูบน้ำอัดเข้าถังสำรองประมาณ 850 ลิตร/นาที ในขณะที่ถังสำรองมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 65.5 เมตร และความสูงของผนังถัง 17.5 เมตร ปริมาตรบรรจุสูงสุดเท่ากับ 60,000 ลบ.ม. แต่มี Operating volume เท่ากับ 57,100 ลบ.ม. ปีที่ถังสำรองสร้างเมื่อ 1967 แก่มากทีเดียวแหละครับ ถังสำรองได้รับการซ่อมแซมเปลี่ยนพื้นถังใหม่ด้วยแผ่นเหล็กแสตนเลส แต่ผนังถังดูเหมือนยังคงเป็นเหล็กเดิมอยู่ นอกจากนี้ระบบพื้นถังที่ทำการซ่อมแซมนั้นเป็นการซ่อมแซมชนิด double bottom โดยมีการอัดก๊าซเข้าไปในระหว่างพื้นถังทั้ง 2 ที่เป็นพื้นถังใหม่และพื้นถังเก่าพร้อมกันนั้นได้มีการติดตั้งท่อซึ่งติดตั้ง pressure gauge ต่อออกมานอกถังสำรองเพื่อตรวจสอบการรั่วระหว่างพื้นถังทั้ง 2 กระจายรอบตัวถังสำรองดูเหมือนจะมี 3-4 จุดได้กระมัง

ที่แปลกใจก็คือ dip plate ที่ตรงกับ dip hatch นั้นจะสามารถปรับระยะสูงต่ำและปรับระดับได้พร้อมมีน็อตล็อกและร้อยลวดผูกซีลด้วยเจ้าหน้าที่ชั่งตวงวัดเยอรมัน และบริเวณบนแผ่น dip plate จะมีการเจาะรูประมาณ 1- 2 ซม. บนบริเวณที่อยู่นอกพื้นที่ครอบคลุมของท่อที่เป็น dip hatch นั่นคือพื้นที่ตรงแนวเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ dip hatch ยังคงเป็นแผ่นโลหะเรียบๆ ไม่มีการเจาะรูแต่อย่างใด สงสัยน้ำมันสกปรกมากหรือเปล่า

ส่วนภายในถังสำรองมี heating coil พร้อมกันนั้นจะมี agitators อยู่ด้วยซึ่งจะต่างกับถังสำรองภายในประเทศไทยเพราะไม่มี heating coil (สำหรับถังสำรองใช้เก็บน้ำมันดิบ) แต่ก็ยังสงสัยเหมือนกันว่าหลังคาฝาถังลอยไม่มีอุปกรณ์ละลายหิมะเลย เวลาหิมะตกคงต้องมีเจ้าหน้าที่มากำจัดกระมัง

แต่ที่พูดมาทั้งหมดนั้นจะไม่เกี่ยวข้องกับตัวอย่างที่จะให้เราศึกษากันเนื่องจากเราไม่สามารถทำการสอบเทียบเสร็จสมบูรณ์ตามระยะเวลาของหลักสูตรที่ DAM จัดไว้ และผู้เขียนต้องมีราชการที่

ต้องเดินทางไปกระทำต่อจึงไม่มีเวลาสอบถามอย่างใกล้ชิดและเพิ่มเติม แต่อย่างไรก็ตามทาง DAM ก็ได้จัดหา case study หรือ lab แห้งมาให้ 1 ตัวอย่างลักษณะการจดบันทึกเหมือนกันหมด ถังสำรองก็เป็นชนิดเดียวกัน การสอบเทียบกระทำเหมือนกันเพียงแต่ขนาดถังสำรองอาจเล็กลงหน่อย และข้อมูลตัวเลขจริงจากการสอบเทียบที่สถานที่หนึ่ง หรือเป็นเอกสารทางราชการของเจ้าหน้าที่ชั่งตวงวัดที่ตัดเอาบางข้อความที่อาจเกี่ยวข้องกับหน่วยงานอื่นออกเท่านั้นเอง

เราจะแบ่งการทำงานและการสอบเทียบออกเป็นหัวข้อดังนี้

1. ข้อมูลทั่วไป (general information)
   เช่นชื่อเจ้าของถังสำรอง, ถังสำรองชนิดใด, ขนาดของถังสำรอง, ความสูงของผนังถังแต่ละชั้น, ความหนาของผนังถัง, ขนาดการบรรจุเท่าใด, มีแบบแปลนอ้างอิงใดที่ใช้ประกอบการทำงาน, ระยะเวลาและวันที่ทำการสอบเทียบ ตลอดจนระบุจำนวนและตำแหน่งที่ทำการตีตราและบีบซีล ตรวจสอบให้คำรับรอง ชื่อเจ้าหน้าที่ผู้ดำเนินการสอบเทียบ อื่นๆ เป็นต้น
2. Reading Devices มีอะไรบ้าง เทปวัดความยาวมีขนาดเท่าใด มีใบรับรองการสอบเทียบจากหน่วยงานรัฐซึ่งเป็นของชั่งตวงวัดเอง เป็นต้น
3. Displacement volume ต้องทำการตรวจสอบปริมาตรแทนที่จริงภายในถังสำรองว่าสอดคล้องกับแบบแปลนที่มีอยู่จริงหรือไม่ ให้ยึดถือเอาสภาพความเป็นจริงภายในถังสำรองเป็นหลักและบันทึกความขัดแย้งระหว่างแบบแปลนกับสภาพความเป็นจริงด้วยหากขัดแย้งกัน เนื่องจาก Displacement volume มีผลต่อการคำนวณปริมาตร sump และปริมาตรถังที่ทำการสอบเทียบหาก Displacement volume อยู่เหนือ dip plate
4. Addition volume เช่นเดียวกับหัวข้อ 3. เพราะทั้งหัวข้อ 3. และหัวข้อ 4. ต่างเป็น deadwood
5. Determination Circumference เป็นการหาเส้นรอบวงถังสำรองอ้างอิง (Reference circumference) พร้อมกับหาค่าเฉลี่ยของ step over
6. Plumbing หาเส้นรอบวงถังสำรองที่ระดับความสูงของถังสำรองในแต่ละชั้นโดยทิ้งดิ่งเพื่อหาการเอียงของผนังถัง ถือเป็นการหา "ระยะเยื้องกันของรัศมีของถัง (radial offsets)" ที่ระดับความสูงแต่ละระดับเมื่อเทียบที่ตำแหน่งแนวดิ่งเดียวกัน (vertical or optical reference lines) เรียกว่าเป็นวิธี Optical reference line method (Optistrap) พร้อมทำ special plumbing หากนำผลการวัดความเอียงของถังมาเขียนกราฟเป็นความสัมพันธ์กับตำแหน่งที่ทำการวัดพบว่าหากกราฟมีรูปร่าง เป็น sin นั้นหมายถึงถังสำรองไม่เป็นทรงกลมแต่ค่อนข้างเป็นวงรีนั้นเอง (ดูรูปที่ 36 และ 57)
7. Determination Sump ตามขั้นตอนที่กล่าวไว้ในตอนต้น
8. Calculation of internal diameter and circular areas of shell rings เป็นการหาพื้นที่หน้าตัดภายในถังสำรองของแต่ละผนังแต่ละชั้น เนื่องจากต้องนำค่าดังกล่าวไปหาค่าปริมาตรในการสอบเทียบเพื่อให้ได้ ตารางถังสอบเทียบ (calibration tank table) ตลอดจนต้องนำไปใช้ในการคำนวณน้ำหนักของหลังคาถังฝาลอยด้วยเช่นกัน รวมทั้งการแก้ไขค่าการขยายตัวของถังสำรองเมื่อระดับความสูงของเหลวเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน

9. Correction of l/mm-value due to the elastic expansion of the tank shell by increasing liquid เป็นการคำนวณการขยายตัวของถังสำรองเมื่อระดับความสูงของของเหลวเพิ่มขึ้น (Calculation of expansion at increasing liquid levels)
10. Calculation of volume of shell ring ทำการคำนวณหาปริมาตรของถังสำรองในแต่ละชั้นของถังสำรองพร้อมปรับ แก้ไขค่าต่างๆ พร้อม rounding ค่าปริมาตรตามเงื่อนไขในบทที่ 9
11. สรุปผลออกมาเป็นตารางถังสอบเทียบ (calibration tank table) หรือ Volume tank
12. Calibration of the weight of the floating roof เนื่องจากเป็นถังสำรองชนิด floating roof ดังนั้นจำเป็นต้องทำการสอบเทียบหาน้ำหนักของหลังคาถังฝาลอย เนื่องจากน้ำหนักดังกล่าวมีผลต่อปริมาตรที่ถูกแทนที่เมื่อชนิดของเหลวภายในถังสำรองมีค่าความหนาแน่นต่างกัน
13. จัดทำตาราง Allowance for the influence of the floating roof เพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นที่เปลี่ยนไปกับค่าปริมาตรแทนที่ของหลังคาถังฝาลอย

คราวนี้ก็ทำความเข้าใจกันได้แล้วครับจากในตัวอย่างดังต่อไปนี้ โชคดีครับ

VERIFICATION OFFICE: CBWM DATE: 17-4-2544
Calirated by: Satit Chusuwan

Calibration of a Storage Tank
in the form of a vertical cylinder

Request No. 4/2544
APPLICANT: Oil Tank Thai
OWNER: Oil Tank Thai
PLACE OF INSTALLATION: Chonburi Province, Thailand

TANK INFORMATION

Tank No. 63 Serial No.: 3570/1
Year of manifacture: 2001
Manufacturer: Tank EST inn
Used tank / New tank: New Tank
Capacity: 9500000 liters Diameter: 30 m.
Height: 14 m.
Type of Tank: Floating Roof Storage Tank
(Floating Roof Storage Tank, Fixed Roof (cone), or Mix Floating-Fixed roof)
Medium: Crude oil density: 810 kg/m^3
The following drawings have been available for calibration:
Shell Dwg. No. s11-689, s12-689
Roof Dwg. No. r3-725
Dip Plate Dwg. No. s13-689
Heating coil Dwg No. e8-879

Verification Plate:	**Name Plate:**
Storage tank No. 63 Verification Certificate No. 1/2544 Max. Capacity 9500 cu.m. Sump volume 105 cu.m. Medium: crude oil; density 0.81 g/cu.cm Mass of floating roof: 58000 kg.	Tank EST inn Construction year 2001 Serial-Nr.3570/1 Diameter 30 m Max.filling height 13.5 m Max. over pressure 200 mm. Water column

Duration of Calibration

Date	15-1-2001	from	8.00 to	17.00
	16-1-2001	from	8.00 to	17.00
	17-1-2001	from	8.00 to	17.00
	20-1-2001	from	8.00 to	16.00
	21-1-2001	from	8.00 to	18.00
	22-1-2001	from	8.00 to	17.00

Overall duration: 54 hrs.

Stamping: 1 on verification plate
1 at dip plate
1 at cross piece

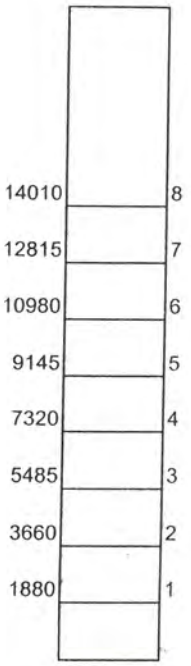
TANK INFORMATION - Cont.

SHELL STRUCTURE

Number of shell rings: 8
Number of plates in each shell ring: 12

Determination of the heights above the bottom plate of the tank from outside in mm.

	sclae reading	measured
Upper edge	14010	
Max. filling level	13300	
Max. for floating rf lift	13000	
by drawings NO.	815693	



	Height of shell rings, outside (mm.)		
	Scale Dw	measured	Dwg.
Transition 12th/11th shell ring	-		
Transition 11th/10th shell ring	-		
Transition 10th/9th shell ring	-		
Transition 9th/8th shell ring			185
Transition 8th/7th shell ring	12815	1835	1830
Transition 7th/6th shell ring	10980	1835	1830
Transition 6th/5th shell ring	9145	1825	1830
Transition 5th/4th shell ring	7320	1835	1830
Transition 4th/3th shell ring	5485	1825	1830
Transition 3th/2th shell ring	3660	1780	1780
Transition 2th/1th shell ring	1880	1880	1880
Beginnig of scale division	0		
Mean (mm)		1830.71	1830

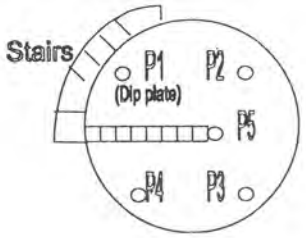
Wall thickness and paint thickness in mm.

Shell ring	1	2	3	4	5	6	7	8
Shell thickness acc. To Dwg.	13.0	11.0	9.5	8.0	7.0	6.0	6.0	6.0
Measured	tanking number from Dwg.							
Paint thickness	0	0	0	0	0	0	0	0
Total Shell thick.	13.0	11.0	9.5	8.0	7.0	6.0	6.0	6.0

A. READING DEVICES

Dipping opening

Number of opening in the roof: 5
Which opening is the dipping point?(with dip plate) P1
Distance of the upper edge of the dipping opening
from the dipping plate at the main dipping point: 14500 mm.



Dipping tape

A:
Length: 10 m. Resolution: 1 mm.
Certificate No.: 25/2544 Issued by: CBWM

Length (m)	Deviation (mm.)	Length (m)	Deviation (mm.)
1	+0.1	6	+0.6
2	+0.2	7	+0.6
3	+0.3	8	+0.5
4	+0.5	9	+0.3
5	+0.7	10	+0.4

Uncertainty about +/- 0.3 mm./ 10 m.

Remark: Used counter weights 50 N , Reference Temperature 20 C.

B:
Length: 10 m. Resolution: 1 mm.
Certificate No.: 26/2544 Issued by: CBWM

Length (m)	Deviation (mm.)	Length (m)	Deviation (mm.)
1	+0.1	6	+0.3
2	+0.2	7	+0.3
3	+0.3	8	+0.2
4	+0.4	9	+0.2
5	+0.3	10	+0.2

Uncertainty about +/- 0.2 mm./ 10 m.

Remark: Used counter weights 50 N , Reference Temperature 20 C.

B. DISPLACEMENT VOLUME

Heating coil

If the heating coils are so arranged in the tank that their displacement volume is not uniformly distributed in a definite height section (e.g. heating coils with special feed pipes, heating coils arranged at different levels), it will be advisable to enclose a seperate sketch of the heating coil arrangement (e.g. a construction drawing).

No. 1	External diameter:	80 mm.	Length:	13 m.
No. 2	External diameter:	50 mm.	Length:	3880 m.

Distance between the highest and lowest point of the heating coils and the sum level:
(after finishing the determination of sump)

No. 1	mm./	mm.
No. 2	mm./	mm.

Remark: All heating coils are in the sump.

Other displacement volumes:

(kind, dimension, position with respect to the sump level)

At the end of sump determination, we found 2 tubes were above the last water level (W2) 67 mm.
as following;

1 Ext. dia.	60 mm.	Length	34 m.	Volume	96 l.
		Tube is above the last level W2.		100 %	
2 Ext. dia.	100 mm.	Length	11.4 m.	Volume	60 l.
		Tube is above the last level W2.		67 %	

Total **156 l.**

C. ADDITION VOLUME

Manholes:

Number: 3

	Internal diameter:	Mean depth:
No. 1	650 mm.	300 mm.
No. 2	650 mm.	300 mm.
No. 3	650 mm.	300 mm.

Filling height at the end of sump determination

(distance between the last level after sump determination and lowerest of inside of manhole)

Manhole No. 1	167 mm.
Manhole No. 2	167 mm.
Manhole No. 3	167 mm.

E. DETERMINATION OF CIRCUMFERENCE

Effective Length of step-over: (mm)

Step-over No1	1	2	3
	285.3	285.1	285.2
Mean	285.2		

Reference Circumference

Measurement of the outer circumference and the external diameter in mm.
The circumference was determined at the top of the bottommost shell ring.

		s1	s2	step-over	s3	s4	(s2-s1)+(s4-s3)	Total
Plate 1	1st			285.2			7,676.5	7,961.7
	2nd			285.2			7,676.3	7,961.5
	3rd			285.2			7,676.9	7,962.1
Plate 2	1st			285.2			7,602.6	7,887.8
	2nd			285.2			7,602.8	7,888.0
	3rd			285.2			7,602.0	7,887.2
Plate 3	1st			285.2			7,695.7	7,980.9
	2nd			285.2			7,695.5	7,980.7
	3rd			285.2			7,696.0	7,981.2
Plate 4	1st			285.2			7,688.1	7,973.3
	2nd			285.2			7,687.9	7,973.1
	3rd			285.2			7,687.5	7,972.7
Plate 5	1st			285.2			7,694.6	7,979.8
	2nd			285.2			7,694.9	7,980.1
	3rd			285.2			7,694.7	7,979.9
Plate 6	1st			285.2			7,662.3	7,947.5
	2nd			285.2			7,662.2	7,947.4
	3rd			285.2			7,661.8	7,947.0
Plate 7	1st			285.2			7,619.0	7,904.2
	2nd			285.2			7,619.4	7,904.6
	3rd			285.2			7,619.5	7,904.7
Plate 8	1st			285.2			7,722.9	8,008.1
	2nd			285.2			7,722.3	8,007.5
	3rd			285.2			7,722.9	8,008.1
Plate 9	1st			285.2			7,695.4	7,980.6
	2nd			285.2			7,695.7	7,980.9
	3rd			285.2			7,695.5	7,980.7
Plate 10	1st			285.2			7,655.2	7,940.4
	2nd			285.2			7,655.0	7,940.2
	3rd			285.2			7,655.6	7,940.8
Plate 11	1st			285.2			7,701.5	7,986.7
	2nd			285.2			7,700.8	7,986.0
	3rd			285.2			7,701.2	7,986.4
Plate 12	1st			285.2			6,493.6	6,778.8
	2nd			285.2			6,493.8	6,779.0
	3rd			285.2			6,493.1	6,778.3
Plate 13	1st							
	2nd							
	3rd							

	1st Mesurement	2nd Measurement	3rd Measurement
Outer circumference	94,329.8	94,329.0	94,329.1
Tape correction at			
8,000.0 m/ 0.2	*mm*		
12 plates or straps	2.4	2.4	2.4
Sum	94,332.2	94,331.4	94,331.5
Mean outer cir.		94,331.70	mm.
Mean Externat diameter		30,026.713	mm.
Mean Externat dia.	(Rounded to 0.1 mm.)	**30,026.7**	mm.
Mean Internal diameter (Ref.Circum.)		**30,039.7**	mm.

Remark: The diff. of outer circumference of each test result are less than +/- 5 mm (PASS).

F. PLUMBING

Number of shell rings: 8

Number of plates in each shell ring: 12

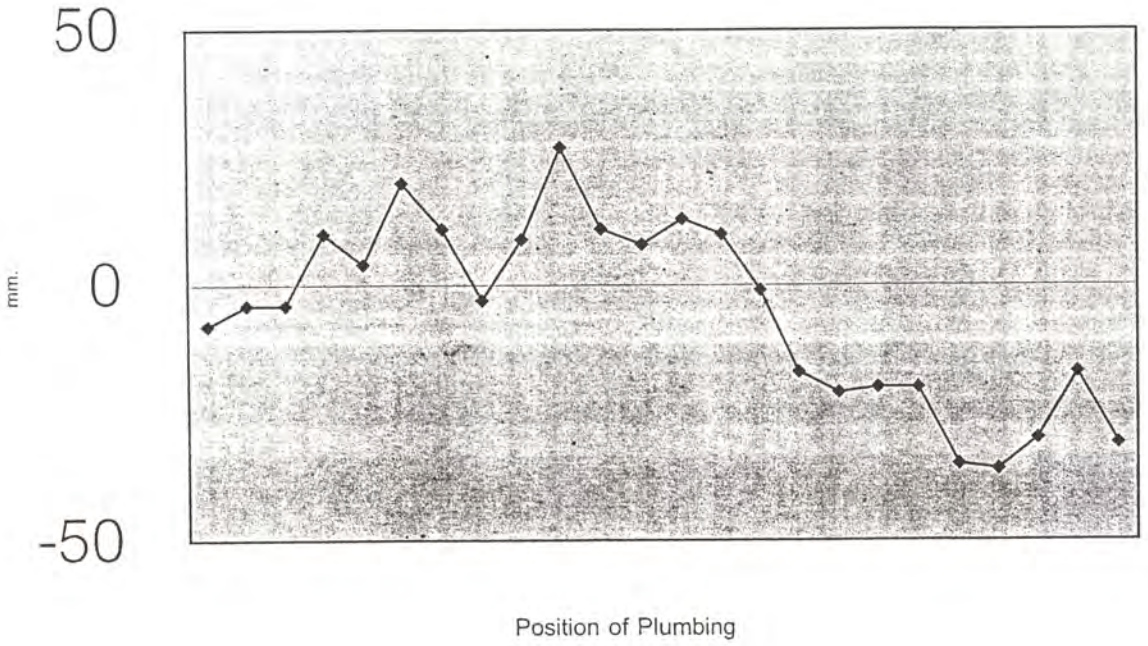
2 Measurement points in each plate.

Number of measuring points 24

Point of measurement	Bottom SHELL RING Top																																		No.1 t,ref - No. 8
	No. 1				No. 2				No. 3				No. 4				No. 5				No. 6				No. 7				No. 8							
	b		t,ref.		b		t		b		t		b		t		b		t		b		t		b		t		Middle							
	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	
1	6		0		5		19		17		21		21		15		14		8		12		20		21		12		8						-8
2		6		2	2		0		1		1		4		14		16		15		20		8		2		4		2						-4
3		2	0		0		3			3		6		2		5	6		4		7		4			3	7		4						-4
4		1	0		1		6			5		2		2		6	0		6		4		2			5	0			10					10
5		2		1	0		6			3		5		6		10		11		8		5		3		6		4		5					4
6	3			1	2			6		7		7		8		13		15		16		13		12		16		19		21					20
7		7		1	2			9		6		9		9		14		10		7		10		8		8		9		12					11
8		14		2		1		7		9		11		8		9		8		6		4		3		3	0		1						-3
9		8		2	4			9		7		7		6		7		11		8		6		6		6		8		11					9
10		1		1	2			12		4		13		9		10		15		12		9		10		12		22		28					27
11		9		2	2			5	0			6		1	5			3	0		7		4			2		7		13					11
12	0		1		0		1		2			2	6		11		8		11		13		9		7			4		7					8
13		5		3		4	4		7		3		12		15		13		15		14		15		12			13		16					13
14	0		0			2	6		10		5		14		18		17		18		22		19		14			9		10					10
15		2		1		2	5		12		7		13		14		12		20		24		24		10		3		0						-1
16		12		4		4		7	10		12		16		19		18		17		19		22		17		16		13						-17
17	6		1		2		2		12		16		19		23		24		20		22		26		24		23		22						-21
18		8		3		3		7	12		17		17		19		20		22		29		32		22		20		17						-20
19	4			1		1	3		10		14		16		21		19		18		26		34		29		23		19						-20
20		1		4		2	3		9		17		18		10		21		22		26		31		28		29		31						-35
21	6		0		4		6		8		19		20		24		26		25		27		29		34		34		36						-36
22		3		1	2			6	11		17		19		22		25		24		29		32		36		30		29						-30
23	11		0		5		2		13		18		21		24		24		21		26		30		34		22		17						-17
24		9		3	3		5		10		17		22		23		22		21		28		27		30		30		28						-31
25																																			
26																																			
27																																			

Point of measurement	Bottom SHELL RING Top																												No.1 t,ref - No. 8
	No. 1				No. 2				No. 3				No. 4				No. 5				No. 6				No. 7				No. 8		
	b		t,ref.		b		t		b		t		b		t		b		t		b		t		b		t		Middle		
	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	
28																															
29																															
30																															
31																															
32																															
33																															
34																															
35																															
36																															
37																															
38																															
39																															
40																															
41																															
42																															
43																															
44																															
45																															
46																															
Sum (+)	90		32		19		68		44		68		51		74		73		57		47		42		61		95		133		0	
Sum (-)	36		2		36		71		144		184		238		277		285		287		355		368		320		253		227		0	
Sum(+)-Sum(-)	54		30		-17		-3		-100		-116		-187		-203		-212		-230		-308		-326		-259		-158		-94			-124

Diagram of the shell construction



Remak: Plumbing in mm.

G. DETERMINATION OF SUM

Medium liquid used in testing	**Water**	Temperature (C)	**28**
Water conveyed by pump?	**Yes**	Gas seperator?	Yes
Standard meter type:	**Oval whell meter**		
Serial no:	12313		
Meter error	**-0.2 %**		
Flowrate	**1200 l/min**		
Mean Internal dia. (Ref.Circum.)	**30,039.7 mm.**		
Cross section Area of 1st shell ring	**708.730 sq.m**		
Max. filling level	**13,300.0 mm.**	Tank Capacity	9,500 cu.m
The sump level is at	**249.0 mm.**	**(to the main dipping point)**	

Dipping (mm.)	1	2	3	4
Bottom-Dip plate	249	249	249	
Bottom-W1	271	269	270	
Bottom-W2	314	313	315	
W2-W1	43	44	45	
Average (W2-W1)	44			
Dip plate - W1	22	20	21	
Average (Dip plate-W1)	21			
Dip plate - W2	65			
Bottom - Bottom of Manhole	483			
Mean diameter of Manhole	650			
W2-weld seam (transition 2nd/1st shell ring)	1578	1,591	1587	1568
Average (W2-1st weld seam)	1581			

			Filling Testing No.		
			1	2	3
Standard Meter					
ปริมาตรอ่านครั้งหลัง	mF	l	120,000.0	150,000.0	
ปริมาตรอ่านครั้งแรก	mS	l	0.0	120,000.0	
ปริมาตรวัดได้ทั้งสิ้น	V'm = mF -	l	120,000.0	30,000.0	
Correction deviation of Meter	$K = -\frac{f \bullet V_m}{100}$	l	240.0	60.0	
Volume Correction	$V_{cor} = V_m + K$	l	**120,240.00**	**30,060.00**	
				150,300.00	
Dipping					
Dip-height (dip plt.-water level)	H	mm	22.0	65.0	
Converse height to Volume	$V_H = H \bullet A$	l	**15,592.1**	**46,067.5**	
Sump Volume	$V_S = V_{cor} - V_H$	l	**104,647.9**	**104,232.5**	
Mean Sump Volume		l	**104,440.2**		
Rounding Mean Sump Volume			**105,000.0**		

Mean l/mm-value **30,060.00 /** **44.0**

= **683.1818 l/mm.**

Condition Check:

1. Check: the diff. of sump volume should not be different exceeding the volume of 1 mm depth water height.

415.4 l

= 0.59 mm. **< 1 mm.** **PASS**

2. Rounding

Cap. Storage tank up to 110 cu.m		1000 l	(1,000, 2,000, 5,000 l)
110 to 2500 cu.m		10000 l	(10,000, 20,000, 50,000 l)
more than 2500 cu.m.		100000 l	(100,000, 200,000, 500,000 l)
	104.4	1000 l	**1,000, 2,000,5,000**

Calculation of internal diameters and circular areas of shell rings

Number of shell rings: 8 Number of plates in each shell ring: 12
Number of measuring points; n 24

	Bottom SHELL RING														Top			
	No. 1		No. 2		No. 3		No. 4		No. 5		No. 6		No. 7		No. 8		No. 9	
	b	t,ref.	b	t	b	t	b	t	b	t	b	t	b	t	Mid	t	b	t
Sum of distances of the plumbing values; S	54	30	-17	-3	-100	-116	-187	-203	-212	-230	-308	-326	-259	-158	-94			
Corrected sum; S**	-24	0	-47	-33	-130	-146	-217	-233	-242	-260	-338	-356	-289	-188	-124			
Diaviation of the external diameter from Do=2S/n	-2.0	0.0	-3.9	-2.8	-10.8	-12.2	-18.1	-19.4	-20.2	-21.7	-28.2	-29.7	-24.1	-15.7	-10.3			
Corrected for shell thick--ness and paint coat = -2(dt+dc)	-26.0	-26.0	-22.0	-22.0	-19.0	-19.0	-16.0	-16.0	-14.0	-14.0	-12.0	-12.0	-12.0	-12.0	-12.0			
Correction C = (2S/n)+(2(dt=dc))	-28.0	-26.0	-25.9	-24.8	-29.8	-31.2	-34.1	-35.4	-34.2	-35.7	-40.2	-41.7	-36.1	-27.7	-22.3			
Measured external diameter in ring No 1; Ref.Dia; Dref	30,026.7																	
Internal Diameter ;Dref+C	29,998.7	30,000.7	30,000.8	30,002.0	29,996.9	29,995.5	29,992.6	29,991.3	29,992.5	29,991.0	29,986.5	29,985.0	29,990.6	29,999.0	30,004.4			
Mean value of shell ring	29,999.7		30,001.4		29,996.2		29,992.0		29,991.8		29,985.8		29,994.8		30,004.4			
Rounded value (mm)	30,000.0		30,001.0		29,996.0		29,992.0		29,992.0		29,986.0		29,995.0		30,004.0			
Circular area(sq.m)	706.8583		706.9055		706.6699		706.4814		706.4814		706.1988		706.6227		707.0469			
Mean internal Diameter	**29,996**																	

*Remark:*** Special Plumbing 30 then 30
54 -54
-24

H Correction of l/mm-value due to the elastic expansion of the tank shell by increasing liquid

$$\Delta n = \frac{D^3\pi}{4} \bullet \frac{\rho g K}{E} \bullet \left\{ \frac{H_1}{S_1} + \frac{H_2}{S_2} + \frac{H_3}{S_3} + \ldots\ldots + \frac{H_{n-1}}{S_{n-1}} + \frac{1}{2}\frac{H_n}{S_n} \right\} \quad l/mm$$

Δn	increase of l/mm-value at the nth shell ring, l/mm			
D	Mean Internal diameter of the tank , m		29.996	m.
ρ	Density of the liquid . kg/m^3	Crude oil	810	kg/m^3
g	Acceleration due to gravity, m/s^2		9.81	m/s^2
E	Modulus of elasticity, kg/ms^2	steel	2.1E+11	kg/ms^2
K	Stiffening factor		0.85	
Hn	Height of the respective shell ring , mm			
sn	Plate thickness of the respective shell ring, mm			
Hmean	Mean value of the shell ring heights of the tank		1.83	m.
Lmax	Max filling level		13.3	m.
Vcal_cap	Tank Volume by calculation		9398.71	m^3

$\frac{D^3\pi}{4} \bullet \frac{\rho g K}{E}$ = 0.0006950 m^2

$$Z_{sn} = \left\{ \frac{H_1}{S_1} + \frac{H_2}{S_2} + \frac{H_3}{S_3} + \ldots\ldots + \frac{H_{n-1}}{S_{n-1}} + \frac{1}{2}\frac{H_n}{S_n} \right\}$$

Zs8	=	1614.660383	Δn 8 =	1.1221911	m^2
Zs7	=	1446.743717	7 =	1.0054888	m^2
Zs6	=	1141.743717	6 =	0.7935134	m^2
Zs5	=	858.529431	5 =	0.5966791	m^2
Zs4	=	613.440145	4 =	0.4263417	m^2
Zs3	=	402.749356	3 =	0.2799113	m^2
Zs2	=	225.524476	2 =	0.1567398	m^2
Zs1	=	72.307692	1 =	0.0502539	m^2

Sum Δn	=	4.4311194	m^2

Increased in Volume = Sum Δn x Hmean

or = 8.1089484 m^3

= 0.0862773 %

Calculation of volume of shell rings

	Height range (mm.)	(mm.)	Circular area (m^2)	Area Correction Heating coils (m^2)	Manhole	Expansion by hydrastatic	Corr. Area (m^2)	Interval hight (mm)	Volume (l)	Accu. Vol. Volume (l)
Shell ring 1; sump	sump								104,440	
Shell ring 1; Dip plate- W2	0	65	683.18;18182			0.05025	683.2321	65	44,410	148,850
Shell ring 1; W2-heating Coil	65	132	706.8583471	-2.3290		0.05025	704.5796	67	47,207	196,057
Shell ring 1; Heating coil-Bottom-Manhole	132	234	706.8583471			0.05025	706.9086	102	72,105	268,162
Shell ring 1; Bottom-TopManhole	234	884	706.8583471		0.45946	0.05025	707.3681	650	459,789	727,951
Shell ring 1;TopManhole-1st Weld seam	884	1646	706.8583471			0.05025	706.9086	762	538,664	1,266,615
Shell ring 2	1646	3426	706.9054717			0.15674	707.0622	1780	1,258,571	2,525,186
Shell ring 3	3426	5256	706.6698641			0.27991	706.9498	1830	1,293,718	3,818,904
Shell ring 4	5256	7086	706.4814062			0.42634	706.9077	1830	1,293,641	5,112,545
Shell ring 5	7086	8916	706.4814062			0.59668	707.0781	1830	1,293,953	6,406,498
Shell ring 6	8916	10746	706.1987665			0.79351	706.9923	1830	1,293,796	7,700,294
Shell ring 7	10746	12576	706.6227472			1.00549	707.6282	1830	1,294,960	8,995,254
Shell ring 8	12576	13000	707.0468552			1.12219	708.1690	424	300,264	**9,295,518**
Shell ring 9										
Shell ring 10										
Shell ring 11										

Calculation volume of tank **9,295,518 l**
or **9,296 m^3**

Min. **704.5796**
Max **708.1690**
Diff **0.51 %**

<u>Rounding</u>

Cap. Storage tank up to 110 cu.m			1000 l	(1,000, 2,000, 5,000 l)
110 to 2500 cu.m			10000 l	(10,000, 20,000, 50,000 l)
more than 2500 cu.m.			100000 l	(100,000, 200,000, 500,000 l)
9,296 m^3			**100000 l**	**100,000, 200,000,500,000**
9,295,518 l				
Rounding to	**9,296** m^3	rounding into	500,000 l	
then rounded calculation volume of tank				
		=	**9500 m^3**	

Table1: VOLUME TABLE

หมายเลขใบรายงานผลที่

OWNER: Oil Tank Thai
PLACE OF INSTALLATION: Chonburi Province, Thailand
Tank No. 63 Serial No.: 3570/1
Year of manifacture: 2001
Manufacturer: Tank EST inn

Filling height in the dipping point (mm)	Filling (l)	l/mm
0	104,440	
100	173,511	690.7037
200	244,127	706.1633
300	314,848	707.2118
400	385,585	707.3681
500	456,322	707.3681
600	527,059	707.3681
700	597,795	707.3681
800	668,532	707.3681
900	739,262	707.2945
1000	809,952	706.9086
1100	880,643	706.9086
1200	951,334	706.9086
1300	1,022,025	706.9086
1400	1,092,716	706.9086
1500	1,163,407	706.9086
1600	1,234,098	706.9086
1700	1,304,797	706.9916
1800	1,375,503	707.0622
1900	1,446,209	707.0622
2000	1,516,915	707.0622
2100	1,587,622	707.0622
2200	1,658,328	707.0622
2300	1,729,034	707.0622
2400	1,799,740	707.0622
2500	1,870,447	707.0622
2600	1,941,153	707.0622
2700	2,011,859	707.0622
2800	2,082,565	707.0622
2900	2,153,271	707.0622
3000	2,223,978	707.0622
3100	2,294,684	707.0622
3200	2,365,390	707.0622
3300	2,436,096	707.0622
3400	2,506,803	707.0622
3500	2,577,500	706.9790
3600	2,648,195	706.9498
3700	2,718,890	706.9498
3800	2,789,585	706.9498
3900	2,860,280	706.9498
4000	2,930,975	706.9498

Filling height in the dipping point (mm)	Filling (l)	l/mm
4100	3,001,670	706.9498
4200	3,072,365	706.9498
4300	3,143,060	706.9498
4400	3,213,755	706.9498
4500	3,284,450	706.9498
4600	3,355,145	706.9498
4700	3,425,840	706.9498
4800	3,496,535	706.9498
4900	3,567,230	706.9498
5000	3,637,925	706.9498
5100	3,708,620	706.9498
5200	3,779,315	706.9498
5300	3,850,008	706.9313
5400	3,920,699	706.9077
5500	3,991,390	706.9077
5600	4,062,081	706.9077
5700	4,132,771	706.9077
5800	4,203,462	706.9077
5900	4,274,153	706.9077
6000	4,344,844	706.9077
6100	4,415,534	706.9077
6200	4,486,225	706.9077
6300	4,556,916	706.9077
6400	4,627,607	706.9077
6500	4,698,297	706.9077
6600	4,768,988	706.9077
6700	4,839,679	706.9077
6800	4,910,370	706.9077
6900	4,981,061	706.9077
7000	5,051,751	706.9077
7100	5,122,445	706.9316
7200	5,193,152	707.0781
7300	5,263,860	707.0781
7400	5,334,568	707.0781
7500	5,405,276	707.0781
7600	5,475,984	707.0781
7700	5,546,691	707.0781
7800	5,617,399	707.0781
7900	5,688,107	707.0781
8000	5,758,815	707.0781
8100	5,829,523	707.0781

หมายเลขใบรายงานผลที่

Filling height in the dipping point (mm)	Filling (l)	l/mm
8200	5,900,230	707.0781
8300	5,970,938	707.0781
8400	6,041,646	707.0781
8500	6,112,354	707.0781
8600	6,183,062	707.0781
8700	6,253,769	707.0781
8800	6,324,477	707.0781
8900	6,395,185	707.0781
9000	6,465,886	707.0060
9100	6,536,585	706.9923
9200	6,607,284	706.9923
9300	6,677,983	706.9923
9400	6,748,683	706.9923
9500	6,819,382	706.9923
9600	6,890,081	706.9923
9700	6,960,780	706.9923
9800	7,031,479	706.9923
9900	7,102,179	706.9923
10000	7,172,878	706.9923
10100	7,243,577	706.9923
10200	7,314,276	706.9923
10300	7,384,976	706.9923
10400	7,455,675	706.9923
10500	7,526,374	706.9923
10600	7,597,073	706.9923
10700	7,667,773	706.9923
10800	7,738,506	707.3357
10900	7,809,269	707.6282
11000	7,880,032	707.6282
11100	7,950,795	707.6282
11200	8,021,557	707.6282
11300	8,092,320	707.6282
11400	8,163,083	707.6282
11500	8,233,846	707.6282
11600	8,304,609	707.6282
11700	8,375,372	707.6282
11800	8,446,134	707.6282
11900	8,516,897	707.6282
12000	8,587,660	707.6282
12100	8,658,423	707.6282
12200	8,729,186	707.6282

Filling height in the dipping point (mm)	Filling (l)	l/mm
12300	8,799,948	707.6282
12400	8,870,711	707.6282
12500	8,941,474	707.6282
12600	9,012,250	707.7580
12700	9,083,067	708.1690
12800	9.153,884	708.1690
12900	9,224,701	708.1690
13000	9,295,518	708.1690
13100		
13200		
13300		
13400		
13500		
13600		
13700		
13800		
13900		
14000		
14100		
14200		
14300		
14400		
14500		
14600		
14700		
14800		
14900		
15000		
15100		
15200		
15300		
15400		
15500		
15600		
15700		
15800		
15900		
16000		
16100		
16200		
16300		

Remark: The mean filling valve over the whole filling height above the sump level (filling height zero) differs from the filling valves of individual filling height sections by not more than 0.3% and is thus not stated.

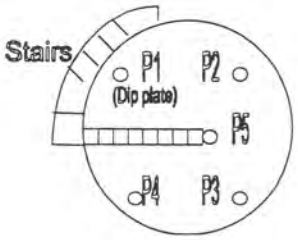
Floatin up Zone

Zone I: lifted position from 1515 mm. To 2235 mm.

Zone II: lifted position from 515 mm. To 1235 mm.

CALIBRATION OF THE WEIGHT OF THE FLOATING ROOF

Calibration of the floating roof of tank N 63
OWNER: Oil Tank Thai
PLACE OF INSTALLATION: Chonburi Province, Thailand



Diameter of floating roof 30 m
Number of sockets: 39 Number of bleeder devices: 4
Leg supports: adjustability of supports: 1000 mm.
Floating-up Zone
Zone I: lifted position from 1515 mm. To 2235 mm.
Zone II: lifted position from 515 mm. To 1235 mm.

		P1		P2		P3		P4		P5	
Status I: The floating roof in lifted position, rest with its support on the bottom.											
dipping points-dip plate	*d1*	2755		2903		2878		2862		2254	
Height of water level-dip plate	*hw1*	1515		1871		1822		1807		1690	
Status II: The floating roof floats perfectly.		UP	DOWN	UP	DOWN	UP	DOWN	UP	DOWN	UP	DOWN
dipping points-dip plate	*d2*	3130	2917	3309	3095	3267	3052	3238	3025	2532	2321
Height of water level-dip plate	*hw2*	2235	2022	2590	2378	2542	2328	2526	2365	2408	2148
Height of rise of water level	*hw2 - hw1*	720	507	719	507	720	506	719	558	718	458
Lift Height	*d2 - d1*	375	162	406	192	389	174	376	163	278	67
	Diff. Up&Down	213		214		215		213		211	
Air Height	*d2 - hw2*	895	895	719	717	725	724	712	660	124	173
	Measured	894	895	718	717	726	724	711	711	123	122
	Measured Mean Value	895		718		725		711		123	
Measured Mean Value P1 to P5		3171 /		5 =		**634.1** mm.					

Volume calibrated by dry method

			upward		downward	
Height of water level above dipping plate	*end B*		2235 mm		2022 mm	
	beginning A		1515 mm		1515 mm	
Hights of rise of water level	*C*		720 mm		507 mm	
Mean value P1 to P5			719 mm		507 mm	
Cross-section in height section A to B						
Corr. Area of shell ring No. 1			706.9086	m^2		
Hights of rise of water level in shell ring No. 1		884 1646	131 mm.		131 mm.	
*Volume = Corr. Area * C*			92,605	l	92,605	l
Corr. Area of shell ring No. 2			707.0622	m^2		
Hights of rise of water level in shell ring No. 2		1646 3426	589 mm.		376 mm.	
*Volume = Corr. Area * C*			416.460	l	265855	l

Total Volume = Corr. Area * C		TV	509,065	l	358,460	

Volume calibrated by wet method

			upward		downward	
Meter reading		*end b*	816,670	l	966,945	l
		beginning a	365,760	l	816,670	l
Filled in or discharged volume		*c*	450,910	l	150,275	l
Meter No.						
upward flowrate	1200 l/min					
downward flowrate	1200 l/min					
Meter Error	0.2 %					
Correction for error of meter	*= - Error% *c/100*		-901,8	l	-300,6	l
Overal corr.quantity filled in		TM	**450,008**	l	149,974	l
				Remained	**300,034**	l

Determination of the mass of the floating roof

Water density		1	kg/l	
Mass of floating roof; M = TV - TM		59,056	kg	58,427 kg
Mean Value of floating roof		58,742	kg	
Rounded to		58,800	kg	
Friction of floating roof move up-down		315	kg	

Table : Allowance for the influence of the floating roof

Storafe tank No. 63
Mass of floating roog: **58,742** kg ref. to density of water 1 kg/l

Displacement of floating roof as a function of the liquid density

Density	Dispalcement in liters	Diff. In liters
0.60	**97,903**	
0.61	96,298	161
0.62	94,744	155
0.63	93,241	150
0.64	91,784	146
0.65	90,372	141
0.66	89,002	137
0.67	87,674	133
0.68	86,385	129
0.69	85,133	125
0.70	**83,917**	122
0.71	82,735	118
0.72	81,586	115
0.73	80,468	112
0.74	79,381	109
0.75	78,322	106
0.76	77,292	103
0.77	76,288	100
0.78	75,310	98
0.79	74,356	95
0.80	**73,427**	93
0.81	72,520	91
0.82	71,636	88
0.83	70,773	86
0.84	69,930	84
0.85	69,108	82
0.86	68,304	80
0.87	67,519	79
0.88	66,752	77
0.89	66,002	75
0.90	**65,268**	73
1.00	**58,742**	

Remark: $\frac{\text{Mass of thr floating roof (kg)}}{\text{density (kg/l)}} =$ diaplacement (l)

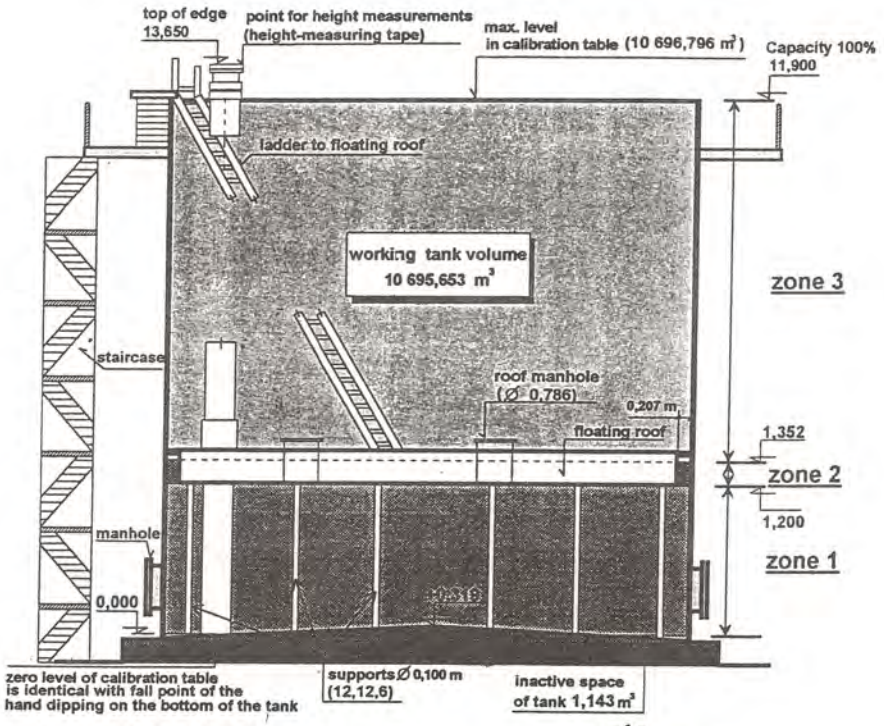
Example:

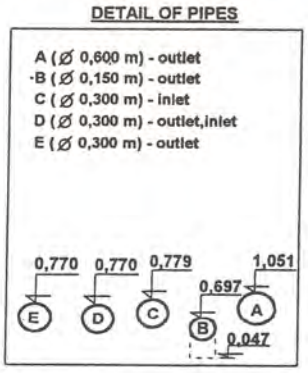
The displacement of floating roof, when the liquid density in storage was changed to 0.673 kg/l, is

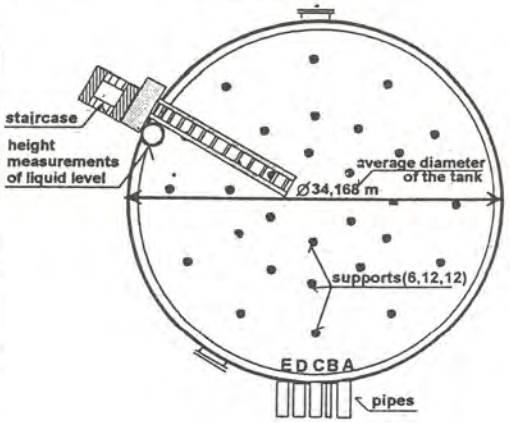
Displacment of floating roof at density of	0.67 kg/l	87,674	l
	0.003 kg/l	-386.7	l
At density of 0.673 kg/l			
the standard displacement of the floating roof is		87,287	l

ตัวอย่างการทำรายงานผลการสอบเทียบ
ถังหลังคาถังฝาลอยของบริษัทรับจ้างบริษัทหนึ่ง

Tank No.T1- (10 000 m³)
Refinery - Syria







1st metre

Calibration table

Name of tank: T1 (10.000 m3)
Location of tank: SCOTRACO Syria - Homs
Date of calibration: 13.9.1999
Note: Zero level is identical with fall point of the hand dipping on the bottom of the tank.

Inactive space: 1,143 m3

Height [cm]	Volume [m3]	Increase [m3/mm]	Height [cm]	Volume [m3]	Increase [m3/mm]	Height [cm]	Volume [m3]	Increase [m3/mm]	Height [cm]	Volume [m3]	Increase [m3/mm]
1	2,008	0,134	26	163,321	0,905	51	392,242	0,917	76	621,419	0,917
2	3,345	0,195	27	172,375	0,909	52	401,413	0,917	77	630,589	0,917
3	5,292	0,258	28	181,468	0,912	53	410,584	0,916	78	639,761	0,917
4	7,870	0,321	29	190,585	0,914	54	419,746	0,917	79	648,931	0,916
5	11,082	0,385	30	199,724	0,914	55	428,912	0,916	80	658,095	0,917
6	14,927	0,442	31	208,869	0,917	56	438,074	0,917	81	667,261	0,917
7	19,348	0,493	32	218,039	0,917	57	447,244	0,916	82	676,430	0,917
8	24,279	0,539	33	227,207	0,917	58	456,407	0,917	83	685,596	0,917
9	29,666	0,580	34	236,378	0,917	59	465,574	0,916	84	694,761	0,917
0	35,465	0,619	35	245,543	0,917	60	474,734	0,916	85	703,926	0,916
11	41,654	0,655	36	254,714	0,918	61	483,897	0,917	86	713,088	0,916
12	48,208	0,690	37	263,890	0,917	62	493,066	0,917	87	722,250	0,917
13	55,110	0,722	38	273,055	0,917	63	502,235	0,917	88	731,420	0,916
14	62,333	0,750	39	282,227	0,917	64	511,402	0,917	89	740,583	0,916
15	69,834	0,775	40	291,395	0,917	65	520,575	0,917	90	749,741	0,917
16	77,583	0,797	41	300,565	0,917	66	529,745	0,916	91	758,912	0,916
17	85,549	0,815	42	309,734	0,916	67	538,909	0,918	92	768,076	0,917
18	93,696	0,831	43	318,891	0,917	68	548,084	0,917	93	777,245	0,917
19	102,003	0,845	44	328,058	0,917	69	557,252	0,917	94	786,411	0,917
20	110,452	0,858	45	337,226	0,917	70	566,420	0,916	95	795,577	0,917
21	119,033	0,869	46	346,396	0,917	71	575,582	0,917	96	804,748	0,916
22	127,724	0,879	47	355,561	0,917	72	584,747	0,917	97	813,909	0,917
23	136,509	0,887	48	364,731	0,917	73	593,914	0,917	98	823,077	0,916
24	145,380	0,894	49	373,902	0,917	74	603,081	0,917	99	832,241	0,917
25	154,323	0,900	50	383,070	0,917	75	612,253	0,917	100	841,412	0,917

Created using program Tank-Model for WINDOWS of firm InfoPartner Ltd., Liberec

2nd metre

Calibration table

Name of tank: T1 (10.000 m3)
Location of tank: SCOTRACO Syria - Homs
Date of calibration: 13.9.1999
Note: Zero level is identical with fall point of the hand dipping on the bottom of the tank.

Total pages: 12
Page: 2

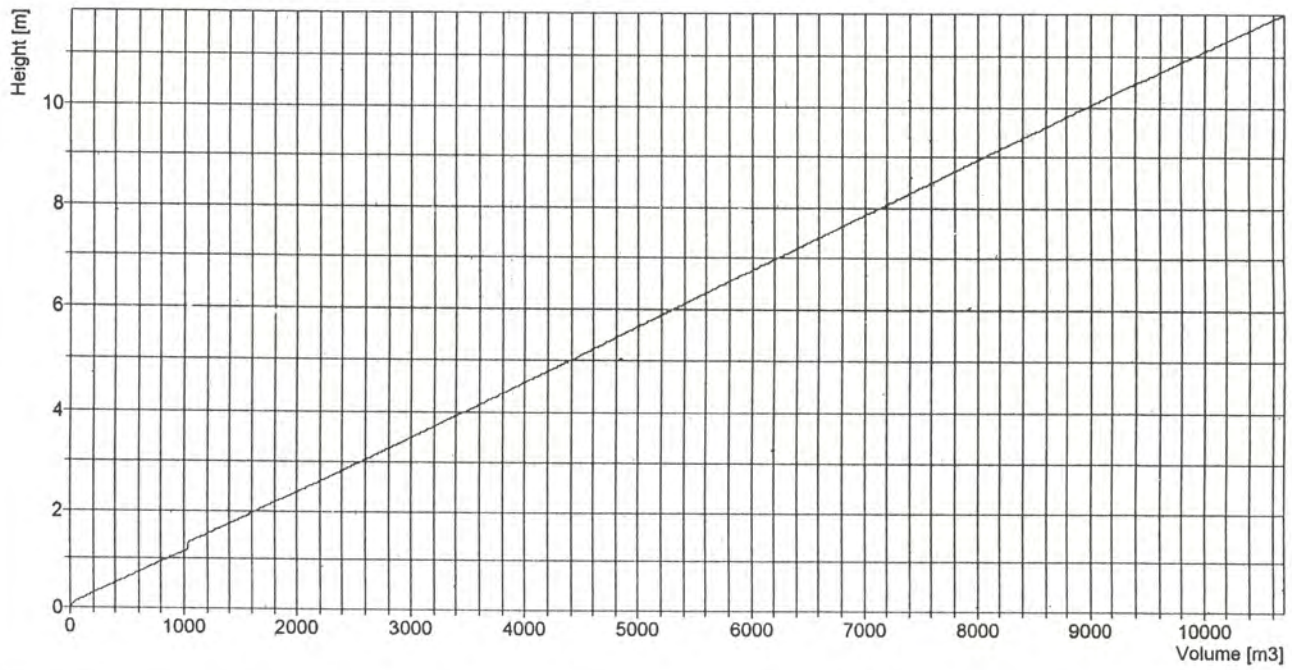
Inactive space: 1,143 m3

Height [cm]	Volume [m3]	Increase [m3/mm]	Height [cm]	Volume [m3]	Increase [m3/mm]	Height [cm]	Volume [m3]	Increase [m3/mm]	Height [cm]	Volume [m3]	Increase [m3/mm]
101	850,583	0,917	126	1 026,139	0,023	151	1 172,702	0,917	176	1 401,879	0,917
102	859,749	0,917	127	1 026,371	0,023	152	1 181,868	0,917	177	1 411,046	0,917
103	868,921	0,916	128	1 026,603	0,023	153	1 191,034	0,917	178	1 420,215	0,916
104	878,084	0,917	129	1 026,836	0,023	154	1 200,202	0,917	179	1 429,375	0,916
105	887,251	0,917	130	1 027,067	0,023	155	1 209,371	0,917	180	1 438,539	0,917
106	896,419	0,917	131	1 027,298	0,023	156	1 218,541	0,917	181	1 447,706	0,917
107	905,588	0,916	132	1 027,531	0,023	157	1 227,710	0,916	182	1 456,878	0,917
108	914,746	0,916	133	1 027,763	0,023	158	1 236,874	0,916	183	1 466,046	0,916
109	923,910	0,917	134	1 027,995	0,023	159	1 246,038	0,917	184	1 475,207	0,917
110	933,077	0,917	135,2	1 028,273	End of 2.zone	160	1 255,206	0,917	185	1 484,373	0,917
111	942,246	0,917	136	1 035,192	0,917	161	1 264,372	0,916	186	1 493,542	0,917
112	951,416	0,917	137	1 044,358	0,917	162	1 273,537	0,917	187	1 502,708	0,917
113	960,585	0,916	138	1 053,523	0,917	163	1 282,708	0,917	188	1 511,878	0,916
114	969,747	0,917	139	1 062,697	0,916	164	1 291,873	0,917	189	1 521,042	0,916
115	978,915	0,917	140	1 071,858	0,917	165	1 301,044	0,916	190	1 530,201	0,916
116	988,087	0,916	141	1 081,025	0,917	166	1 310,207	0,917	191	1 539,364	0,917
117	997,248	0,917	142	1 090,196	0,916	167	1 319,379	0,917	192	1 548,531	0,916
118	1 006,414	0,917	143	1 099,357	0,917	168	1 328,545	0,916	193	1 557,692	0,917
119	1 015,581	0,917	144	1 108,522	0,917	169	1 337,702	0,917	194	1 566,859	0,916
120,0	1 024,747	0,023	145	1 117,688	0,916	170	1 346,874	0,917	195	1 576,019	0,917
121	1 024,979	0,023	146	1 126,852	0,917	171	1 356,048	0,917	196	1 585,189	0,917
122	1 025,211	0,023	147	1 136,024	0,918	172	1 365,216	0,917	197	1 594,361	0,917
123	1 025,443	0,023	148	1 145,199	0,917	173	1 374,386	0,916	198	1 603,529	0,917
124	1 025,675	0,023	149	1 154,367	0,916	174	1 383,546	0,917	199	1 612,694	0,917
125	1 025,907	0,023	150	1 163,532	0,917	175	1 392,718	0,916	200	1 621,862	0,917

Created using program Tank-Model for WINDOWS of firm InfoPartner Ltd., Liberec

Calibration curve

Name of tank: **T1 (10.000 m3)**
Location of tank: SCOTRACO Syria - Homs
Date of calibration: **13.09.1999**
Note: Zero level is identical with fall point of the hand dipping on the bottom of the tank.



Created using program Tank-Model for WINDOWS of firm InfoPartner Ltd., Liberec

บทที่ 11

มาตรวัดความยาวแบบอัตโนมัติ สำหรับวัดความสูงของระดับของของเหลวในถังสำรอง (Automatic Level Gauge)

นับเป็นเรื่องที่เกี่ยวข้องและต่อเนื่องกับการสอบเทียบถังสำรองขนาดใหญ่รูปทรงแนวตั้ง (Storage tank on the form of a vertical cylinder) ทำให้ไม่อาจละเลยที่จะต้องกล่าวถึงมาตรวัดความยาวแบบอัตโนมัติสำหรับวัดความสูงของระดับของของเหลวในถังสำรอง (Automatic Level Gauge; ALG) เนื่องจากเป็นการประยุกต์เครื่องวัดเพื่อใช้งานหลังจากทำการสอบเทียบถังสำรองเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ในการประกอบธุระกิจเดิมๆที่ต้องเกี่ยวข้องกับถังสำรองขนาดใหญ่รูปทรงแนวตั้ง การหาปริมาตรของการรับและจ่ายของเหลวเข้า-ออกถังสำรองดำเนินการด้วยการวัดระดับความสูงของเหลวภายในถังสำรองด้วยมือ เนื่องจากได้ตัวเลขที่ค่อนข้างแน่นอนและถูกต้องน่าเชื่อถือกว่าการวัดปริมาตรด้วยมาตรวัดซึ่งยังมีข้อจำกัดในจำนวนปริมาตรที่วัดได้ แต่เมื่อมีการขยายกิจการ จำนวนถังสำรองเพิ่มจำนวนสูงขึ้นตามความต้องการ ลานถัง (tank farm) แต่ละสถานที่ก็เริ่มมีปัญหาในการจัดการต้องการลดต้นทุนการจัดการ การเพิ่มจำนวนพนักงานจึงมักถูกหลีกเลี่ยงด้วยการนำเทคโนโลยี่ที่ทันสมัยเข้ามาทดแทน ดังนั้นหลายบริษัทหรือหน่วยงานเริ่มที่ต้องการติดตั้ง ALG เพิ่มมากขึ้น

นอกจากนี้ ALG ไม่เพียงสามารถวัดผลระดับความสูงของเหลวภายในถังสำรองได้เพียงอย่างเดียวแต่ยังสามารถแปลงค่าระดับความสูงที่วัดได้แปลงเป็นปริมาตรที่จัดเก็บไว้ภายในถังสำรองได้อย่างต่อเนื่อง ซึ่งช่วยให้เจ้าหน้าที่ซึ่งทำงานประจำห้องควบคุมสามารถคุมการปิด-เปิดปั้มหรือวาล์วในลานถังได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพโดยไม่จำเป็นต้องใช้เจ้าหน้าที่จำนวนมากจนเกินไปในการทำงานควบคุมลานถังดังกล่าว ภายใต้เงื่อนไข ALG ทำงานตามปกติก็ยังช่วยป้องกันปัญหาการจ่ายของเหลวเข้าถังสำรองจนล้นก่อให้เกิดอันตรายและสูญเสียในเชิงพาณิชย์ได้อีกด้วย นอกจากนี้ยังช่วยให้เจ้าหน้าที่สามารถตรวจสอบการรั่วไหลของเหลวเข้าหรือออกจากถังสำรองได้หากมีวาล์วตัวหนึ่งตัวใดรั่ว ในส่วนที่เพิ่มขึ้นมาของขีดความสามารถอื่นๆของ ALG ขึ้นอยู่รายละเอียดของแต่ละบริษัทของผู้ผลิตว่าจะจัดให้มี เช่น อาจมีโปรแกรมการจัดการแสดงสภาพการสำรองอย่างน้อยสุดเมื่อถึงปริมาตรระดับหนึ่งก็จะให้มีการสั่งของเหลวเข้ามาทดแทนเพิ่มเติมให้ทันต่อขบวนการผลิต เป็นต้น

ในส่วนของความแม่นยำและความถูกต้องของ ALG นั้นหลายบริษัทได้พัฒนาเทคโนโลยี่กันอย่างต่อเนื่องซึ่งมีหลักการทำงานที่แตกต่างกัน ดังนั้นหาก ALG ใดที่ได้รับการตรวจสอบต้นแบบจากหน่วยงานที่น่าเชื่อถือ เช่น PTB และเป็นไปตามข้อกำหนดตาม OIML R85 ก็สามารถนำมาใช้งานสำหรับชั่งตวงตามข้อกำหนดกฎหมาย (Legal metrology) ได้ แต่ทั้งนี้และทั้งนั้นก็ต้องพิจารณาข้อกำหนดเพิ่มเติมของแต่ละประเทศนั้นอีกด้วย พอสรุปประเด็นที่น่าสนใจเกี่ยวกับ ALG ที่ควรมีคุณสมบัติได้ดังต่อไปนี้

มาตรวัดความยาวแบบอัตโนมัติสำหรับวัดความสูงของระดับของของเหลวในถังสำรอง (Automatic Level Gauge) หมายความว่า มาตรวัดที่ใช้สำหรับวัดความสูงของระดับของของเหลวในถังสำรอง (Storage Tanks) ที่ติดตั้งอยู่กับที่ อย่างอัตโนมัติเทียบกับจุดอ้างอิง โดยความดันภายในถังสำรองเท่ากับหรือสูงกว่าความดันบรรยากาศ และมีส่วนตรวจจับระดับของของเหลว (liquid-level detecting element) สัมผัสกับระดับของของเหลวที่ทำการวัดโดยตรง (direct detection of level)

ส่วนประกอบหลักของเครื่องวัด หมายความว่า ส่วนตรวจวัดระดับของของเหลว (Liquid-level detecting element) ส่วนถ่ายทอดสัญญาณ (transmitter) และส่วนแสดงค่า (indicating device)

ข้อกำหนดดังต่อไปนี้ให้ใช้สำหรับมาตรวัดความยาวแบบอัตโนมัติสำหรับวัดความสูงของระดับของของเหลวในถังสำรอง

(1) มาตรวัดความยาวแบบอัตโนมัติสำหรับวัดความสูงของระดับของของเหลวในถังสำรอง ทำด้วยวัสดุคุณภาพดีและไม่เป็นอันตรายแก่ผู้ใช้งาน หรือที่สำนักงานคลางเห็นชอบ

(2) **ส่วนแสดงค่า (indicating device)** ต้องมีลักษณะดังนี้

(ก) ส่วนแสดงค่า ต้องสามารถแสดงค่าความยาวที่วัดได้เป็นตัวเลข ทันทีและต่อเนื่อง หรือตามที่กำหนดตามความต้องการ เมื่อเส้นลวดหรือสายแถบของเครื่องวัดถูกดึงออกหรือม้วนเข้า

(ข) แสดงหน่วยวัดเป็นความยาว และมีอักษรหรือสัญลักษณ์แสดงค่าหน่วยความยาวที่วัดได้ อย่างชัดเจน

(ค) ค่าขั้นหมายมาตรา (scale interval) ต้องอ่านละเอียดได้ 1 มิลลิเมตร หรือน้อยกว่า

(ง) สำหรับส่วนแสดงค่าแบบอนาล็อก ต้องมีช่องว่างระหว่างขั้นหมายมาตรา (scale spacing) ไม่น้อยกว่า 1 มิลลิเมตร

(จ) ถ้ามีส่วนแสดงค่ามากกว่าหนึ่งส่วน ให้ทุกๆส่วนแสดงค่าตรงกัน

(ฉ) ส่วนพิมพ์ค่า (printing device) ให้เป็นไปตาม (ข) (ค) (ง) และ (จ) ตามความเหมาะสม

(3) **ส่วนประกอบเสริม (Auxiliary devices)** จะต้องไม่มีผลกระทบต่อความแม่นยำของการวัด

(4) สามารถป้องกันการรบกวนของสัญญาณคลื่นแม่เหล็ก (Electromagnetic Interference; EMI) และคลื่นความถี่วิทยุ (Radio Frequency Interference; RFI) ไม่ให้มีผลต่อความแม่นยำของมาตรวัด

(5) เส้นลวดหรือสายแถบซึ่งแขวนไว้ด้วยส่วนตรวจวัดระดับของของเหลว (Liquid-level detecting element) ประกอบกับตัวขดเส้นลวดหรือสายแถบ ต้องถูกดึงออกหรือม้วนเข้าได้อย่างคล่องตัวไม่ติดขัด และจะต้องตึงขณะทำการวัด

(6) การเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของส่วนตรวจวัดระดับของของเหลว (Liquid-level detecting element) อันเนื่องจากสภาวะแวดล้อม เช่นการสั่นสะเทือน อุณหภูมิ ความดันไอ การเปลี่ยนแปลงชนิดของของเหลว ภายใต้สภาวะขณะทำงาน ต้องไม่เกิน 1 มิลลิเมตร

(7) การติดตั้งส่วนตรวจวัดระดับของของเหลว (Liquid-level detecting element)

(ก) หลังจากติดตั้งส่วนตรวจวัดระดับของของเหลว (Liquid-level detecting element) เข้ากับถังสำรอง ต้องไม่มีส่วนใดห่างจากผนังถังน้อยกว่า 50 เซนติเมตร

(ข) ส่วนตรวจวัดระดับของของเหลวเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระไปพร้อมกับการเปลี่ยนแปลงระดับของของเหลว และอย่างสมดุลตลอดช่วงการวัด

(ค) ต้องไม่อิทธิพลต่างๆ เช่น บริเวณที่มีความปั่นป่วนของเหลว, ของเหลวเกิดเป็นฟอง หรือขัดตอนการทำงานเช่น การจัดเก็บตัวอย่างของเหลวเป็นต้น กระทบต่อความแม่นยำของมาตรวัด

(8) หากมีช่วงความสูงของระดับของของเหลวภายในถังสำรองที่ไม่สามารถใช้การแสดงผลของมาตรวัดร่วมกับตารางกวรสอบเทียบถังสำรอง (Tank calibration table) ค่าที่แสดงในช่วงความสูงดังกล่าวนี้ต้องระบุไว้ด้วย

(9) **มาตรวัดความยาวแบบอัตโนมัติสำหรับวัดความสูงของระดับของของเหลวในถังสำรอง แบบใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าหรือคลื่นเสียง (Electromagnetic or acoustic waves)** หมายความว่า มาตรวัดที่ใช้วัดระยะความสูงของระดับของของเหลวในถังสำรอง (Storage Tanks) ที่ติดตั้งอยู่กับที่ อย่างอัตโนมัติเทียบกับจุดอ้าง โดยมีความดันภายในถังสำรองเท่ากับหรือสูงกว่าความดันบรรยากาศ ซึ่งมีแหล่งกำเนิดส่งสัญญาณคลื่นไปกระทบกับผิวของของเหลว แล้วสะท้อนกลับมายังส่วนรับคลื่นของเครื่องวัด โดยมีส่วนตรวจจับระดับของเหลวสถิตย์ (Static liquid level detecting element) ติดตั้งอยู่กับที่สำหรับตรวจจับระดับผิวหน้าระดับของเหลว ส่วนแสดงค่า (Indicating element) ต้องสามารถแสดงค่าความสูงเป็นตัวเลขทันที เมื่อเครื่องทำงานปกติ

(10) **มาตรวัดความยาวแบบอัตโนมัติสำหรับวัดความสูงของระดับของของเหลวในถังสำรอง แบบอิเล็คทรอนิค (Electronic automatic level gauges)** ต้องเป็นไปตามที่กำหนดดังต่อไปนี้ด้วย

(ก) ถ้ามาตรวัดความยาวแบบอัตโนมัติสำหรับวัดความสูงของระดับของของเหลวในถังสำรองมีอุปกรณ์เชื่อมต่อ (Interfaces) อุปกรณ์เชื่อมต่อ นั้นต้องไม่ทำให้ผลการวัดและข้อมูลการวัดผิดไป

(ข) ต้องมีอุปกรณ์หรือวิธีการใดๆ ป้องกันการสั่งหรือกำหนดสิ่งใดๆ มาตรวัดความยาวแบบอัตโนมัติสำหรับวัดความสูงของระดับของของเหลวในถังสำรองผ่านอุปกรณ์เชื่อมต่อ (Interfaces) หรือแป้นพิมพ์หรือวิธีการอื่นใดๆ อันจะก่อให้เกิดผล ดังนี้

1. เกิดความคลาดเคลื่อนต่อผลการวัด
2. การแสดงค่า, การคำนวณหรือเก็บผลการวัดผิดไป
3. ปรับมาตรวัดความยาวแบบอัตโนมัติสำหรับวัดความสูงของระดับของของเหลวในถังสำรองหรือเปลี่ยนตัวแปรการปรับค่าใดๆ (any adjustment factor)

(11) ความเที่ยงของมาตรวัดให้แบ่งเป็น 2 ชั้น คือ

ชั้น 2 ใช้กับมาตรวัดความยาวแบบอัตโนมัติสำหรับวัดความสูงของระดับของของเหลวในถังสำรองที่ใช้กับถังสำรองที่บรรจุของเหลว ยกเว้นปิโตรเลียมเหลวที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า -10 องศาเซลเซียส

ชั้น 3 ใช้กับมาตรวัดความยาวแบบอัตโนมัติสำหรับวัดความสูงของระดับของของเหลวในถังสำรองที่ใช้กับถังสำรองที่บรรจุปิโตรเลียมเหลวที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า -10 องศาเซลเซียส

(หมายเหตุ ตาม OIML R 85 กำหนดเพียง ชั้น 2 และ ชั้น3 ไม่มีชั้น 1)

(12) อัตราเผื่อเหลือเผื่อขาด สำหรับการให้คำรับรองชั้นแรกและชั้นหลัง อนุญาตให้มีผลผิดทั้งฝ่ายมากและฝ่ายน้อยที่สภาวะขณะทำงานปกติ (normal operating condition) เมื่อติดตั้งมาตรวัดนี้เข้ากับถังสำรองสมบูรณ์แล้ว ให้เป็นไปดังต่อไปนี้

อัตราเผื่อเหลือเผื่อขาด	ชั้นความเที่ยง	
	2	3
B	0.04%	0.06%
D	3 มม.	4 มม.

เมื่ออัตราเผื่อเหลือเผื่อขาด B คือค่าอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดสัมพัทธ์

เมื่ออัตราเผื่อเหลือเผื่อขาด D คือค่าสัมบูรณ์ของค่าอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาด

โดยมีเงื่อนไขดังต่อไปนี้

(ก) การแสดงค่าระยะวัด (dip) หรือระดับความสูง (Ullage) ของของเหลวภายในถังสำรอง อัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดอนุญาตให้มีผลผิดทั้งฝ่ายมากและฝ่ายน้อยที่สภาวะขณะทำงานปกติ (normal operating condition) ต้องมีค่าเท่ากับ ค่าที่มากกว่าเมื่อเปรียบเทียบระหว่าง

- ค่าที่คำนวณได้จาก B ของระยะวัด (dip) หรือระดับความสูง (Ullage) เทียบกับค่าที่มาตรวัดแสดง
- ค่า D

(ข) ค่าความแตกต่างของระยะวัด 2 ระดับ ในทิศทางเดียวกัน อัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดอนุญาตให้มีผลผิดทั้งฝ่ายมากและฝ่ายน้อยที่สภาวะขณะทำงานปกติ (normal operating condition) ต้องมีค่าเท่ากับ ค่าที่มากกว่าเมื่อเปรียบเทียบระหว่าง

- ค่าที่คำนวณได้จาก B ของผลต่างระยะวัด (dip) หรือระดับความสูง (Ullage) สองระดับ เทียบกับค่าที่มาตรวัดแสดง
- ค่า D

(ค) ค่าดิสคริมิเนชั่น (Discrimination) ของมาตรวัด มาตรวัดต้องแสดงค่าเปลี่ยนแปลงไปอย่างน้อย 1 มม. เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงระดับของเหลว

- 2 มม. สำหรับมาตรวัดชั้นความเที่ยง 2
- 3 มม. สำหรับมาตรวัดชั้นความเที่ยง 3

(ง) ถ้ามีส่วนแสดงค่าหรือส่วนพิมพ์ค่ามากกว่าหนึ่งส่วน ผลผิดของส่วนแสดงค่าหรือส่วนพิมพ์ค่าต้องไม่เกินอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดตาม (ก) และ (ข) และ ผลต่างของส่วนแสดงค่าหรือส่วนพิมพ์ค่าใดๆ ต้องไม่เกิน 1 มิลลิเมตร

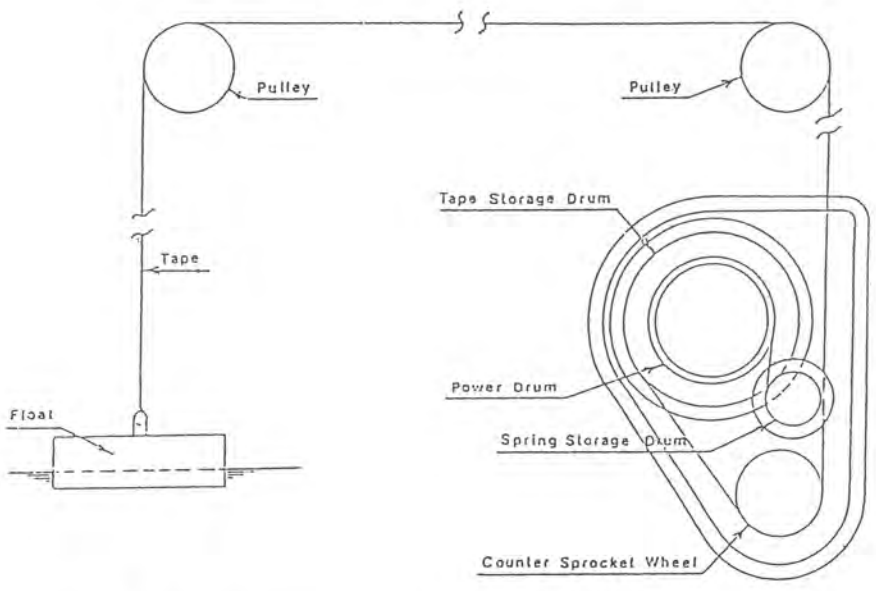
(13) การแสดงเครื่องหมาย ต้องแสดงรายละเอียดให้สามารถอ่านได้ง่าย ชัดเจน และถาวร ดังนี้

- สภาวะขณะทำงานปกติ (Normal operating condition)
- ขอบเขตการวัด
- ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นลวดหรือความหนาของสายแถบ
- น้ำหนักส่วนตรวจจับระดับของเหลว (Liquid-level detecting element)
- ช่วงความถี่ (สำหรับมาตรวัดความยาวแบบอัตโนมัติสำหรับวัดความสูงของระดับของของเหลวในถังสำรอง แบบใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าหรือคลื่นเสียง (Electromagnetic or acoustic waves)

มาตรวัดความยาวแบบอัตโนมัติสำหรับวัดความสูงของระดับของของเหลวในถังสำรอง (Automatic Level Gauge; ALG) มีหลักการทำงานที่แตกต่างกันได้แก่

1. Mechanically operated float gauge

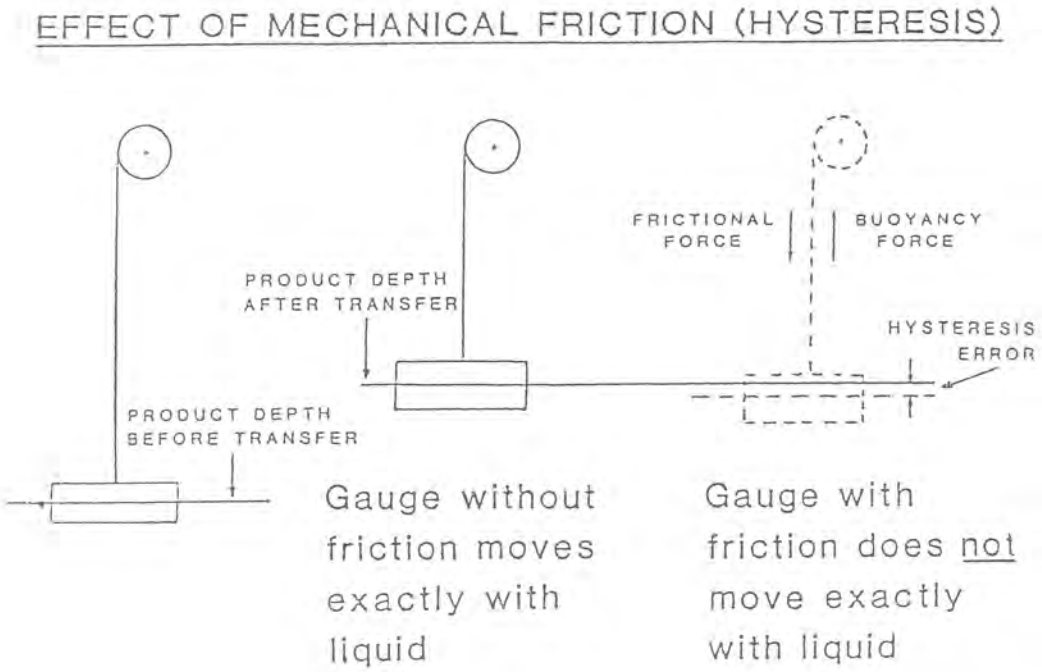
เหมาะสำหรับถังสำรองที่มีความดันทำงาน (operating pressure) จนถึง 30 PSIG (0.2 Mpa) และด้วยระดับของเหลวสูง 18 เมตร (60 ฟุต) ถึงแม้บ้างเป็นการออกแบบพิเศษที่สามารถใช้งานได้กับที่ความดันถึง 300 PSIG (2 Mpa) ALG ชนิดนี้มีหลักการทำงานด้วยการใช้ลูกลอย (float) อยู่บนระดับผิวหน้าของเหลวแล้วมีสายเทป (drill tape) ต่อเชื่อมชุดกลไกด้วยผ่าน pulley



รูปที่ 114 ส่วนประกอบของ Mechanically operated float gauge

หลายตัวซึ่งถูกติดตั้งอยู่บนผนังบนสุดของถังสำรอง ต่อลงมายัง gauge head ซึ่งติดตั้งอยู่กับผนังถังในระดับสายตา (ดูรูปที่ 114) การเคลื่อนที่ขึ้นลงของลูกลอยจะถูกส่งผ่านและตรวจสอบระยะด้วย sprocket wheel ภายใน gauge head และตัว sprocket wheel จะไปขับระบบเกียร์ (system of Geneva gears) ให้แสดงผลระดับความสูงของเหลวภายในถัง นอกจากนี้ภายใน gauge head จะมีชุดกลไกที่ชดเชยแรงลอยตัวพร้อมหาสภาวะสมดุลย์เพื่อรักษาความตึง (tension) ของสายเทปที่ต่อเชื่อมกับลูกลอย (float) ให้มีค่าคงที่ตลอดเวลา ด้วยเหตุนี้ระยะการจุ่มของลูกลอยจึงไม่มีผลแต่อย่างใดเนื่องจากการรักษาสภาพความตึงให้มีค่าคงที่ตลอดเวลา

ALG ชนิดดังกล่าวได้รับความนิยมใช้งานเป็นเวลายาวนาน แม้กระทั่งในปัจจุบันบางลานถังอาจพอมีให้เห็นอยู่ แต่เนื่องจากที่ได้รับความนิยมใช้อย่างแพร่หลายทำให้เราได้ข้อสรุปถึงปัญหาการใช้งานที่ตรงกันว่า ส่วนรักษาความตึงของสายเทป (tensor spring) ไม่สามาถทำการชดเชยได้เท่ากันตลอดช่วงความสูงของระดับของเหลวภายในถังสำรอง ส่งผลให้ระยะการจุ่มของลูกลอยที่ระดับผิวหน้าของเหลวเปลี่ยนแปลง (ดูรูปที่ 115) ผลที่ตามมานั้นคือให้ค่าความสูงของเหลวผิดจากความเป็นจริง อีกปัญหาหนึ่งก็คือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ sprocket เปลี่ยนแปลงไม่แม่นยำ รวมทั้งสายเทปซึ่งปกติจะมีการเจาะรูไว้เป็นระยะห่างเท่ากันบนสายเทปเองนั้นมีระยะห่างที่ไม่เท่ากัน การเปลี่ยนแปลงของระยะของอุปกรณ์ทั้งสองชิ้นนี้เกิดขึ้นได้ตั้งแต่ขั้นตอนการผลิต และ/หรือเมื่อผ่านระยะการใช้งานไปช่วงระยะเวลาหนึ่ง ปัญหาอีกปัญหาก็คือการเปลี่ยนแปลงของแรงลอยตัวที่กระทำต่อลูกลอยเนื่องจากความหนาแน่นของของเหลวเปลี่ยนแปลงไป นั้นส่งผลให้ระยะการจุ่มตัวของลูกลอยในของเหลวเปลี่ยนแปลงไป แต่ปัญหาในข้อนี้สามารถแก้ไขได้โดยการเลือกชนิดของลูกลอยให้เหมาะสมกับค่าความหนาแน่นของเหลวภายในถังสำรองที่ต้องการวัด การเลือกลูกลอยที่มีน้ำหนักเบาลงแต่เพิ่มพื้นที่ผิวหน้าสัมผัสระหว่างของเหลวให้มากทำให้ลูกลอยจะอยู่บนผิวหน้าระดับของเหลวไม่จุ่มหรือจมลงในของเหลวดังนั้นระยะการจุ่มของลูกลอยจะไม่ได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงค่าความหนาแน่นของเหลวแต่อย่างใด แต่อย่างไรก็ตามเมื่อได้สิ่งหนึ่งก็ต้อง



รูปที่ 115 อิทธิพลของความเสียดทานของกลไกมาตรวัดแบบ Mechanically operated float gauge มีผลต่อการเคลื่อนที่ของลูกลอยและระยะความลึกที่ลูกลอยจมอยู่ในของเหลว

เสียสิ่งหนึ่งนั้นคือ ลูกลอยประเภทนี้ไวต่อการเปลี่ยนแปลงระดับหรือระลอกคลื่นภายในถังสำรอง ขณะทำการรับหรือจ่ายของเหลวออกจากถังสำรอง ปัญหาสุดท้ายที่ขอกล่าวไว้ในที่นี้ ก็คือความเสียดทานของกลไกภายในพบมากในชุดลูกลอก (pulleys) ที่สายเทปวิ่งผ่าน ตลอดจนความเสียดทานภายในชุดเกียร์ขับเพื่อแสดงค่าผลการวัดระดับความสูง ส่งผลให้สภาวะสมดุลเปลี่ยนแปลงไป นั้นคือระยะการจุ่มของลูกลอยเปลี่ยนแปลงไป

Hysteresis error ของ ALG เป็นฟังก์ชั่นของความเสียดทานของลูกปืนของชุดลูกรอก (pulleys) และความเสียดทานภายในชุดเกียร์ขับเพื่อแสดงค่าผลการวัดระดับความสูง การแก้ไขปัญหาดังกล่าวนี้บริษัทผู้ผลิตได้พยายามคิดค้นเพื่อลดผลผิดดังกล่าวด้วยการใช้ลูกปืนที่มีความเสียดทานน้อยลงและไม่เป็นสนิมได้ง่ายด้วยวัสดุ glass loaded P.T.F.E plain bearings ในส่วนของชุดเกียร์ขับส่วนแสดงค่าระยะความสูงก็ใช้ magnetic coupling แทนชุดเกียร์แทนเป็นต้น

CUMULATIVE EFFECT OF ERRORS IN MECHANICALLY OPERATED FLOAT GAUGES

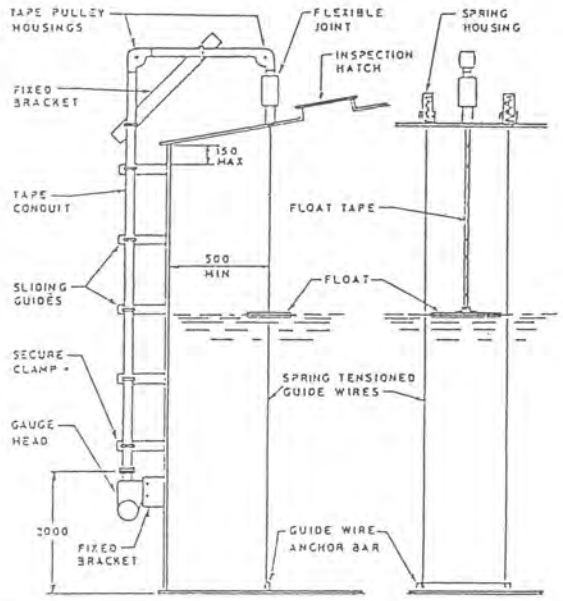
Source of error	Error (mm)
Tensor spring not fully compensating at all levels	± 1.5
Drum diameter and distance between holes in tape not totally accurate	± 1.0
Float sits at different levels depending on density of liquid	± 1.0
Friction in drum, gears etc. (Hysteresis)	± 2.0

$$\text{OVERALL ERROR} = \sqrt{1.5^2+1.0^2+1.0^2+2.0^2}$$
$$= \pm 3\,\text{mm}$$

รูปที่ 116 บางมุมมองของการคิดผลผิดของ Mechanically operated float gauge

รูปที่ 117 แสดงถึงวิธีการติดตั้ง ALG เข้ากับถังสำรองชนิด cone roof จะเห็นได้ว่าท่อนำสายเทป (tape conduit) จะถูกยึดด้วยความมั่นคงแข็งแรงตามแนวผนังถัง แต่บริเวณเชื่อมติดกับหลังคาถังจะเป็น flexible joint เนื่องจากหลังคามีการขยับเคลื่อนที่ขึ้นลงขณะมีการจ่ายของเหลวเข้า-ออก

INSTALLATION OF A MECHANICAL FLOAT GAUGE ON A FIXED-ROOF TANK



รูปที่ 117 การติดตั้ง Mechanically operated float gauge เข้ากับถังสำรองชนิด fixed roof

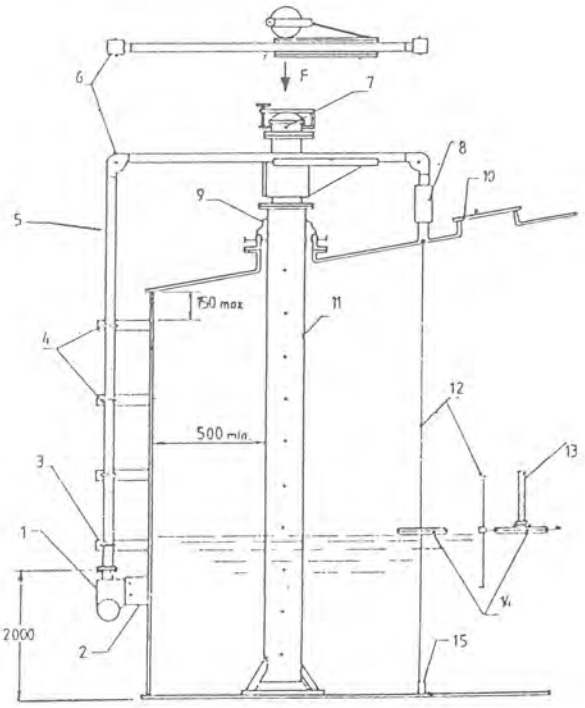


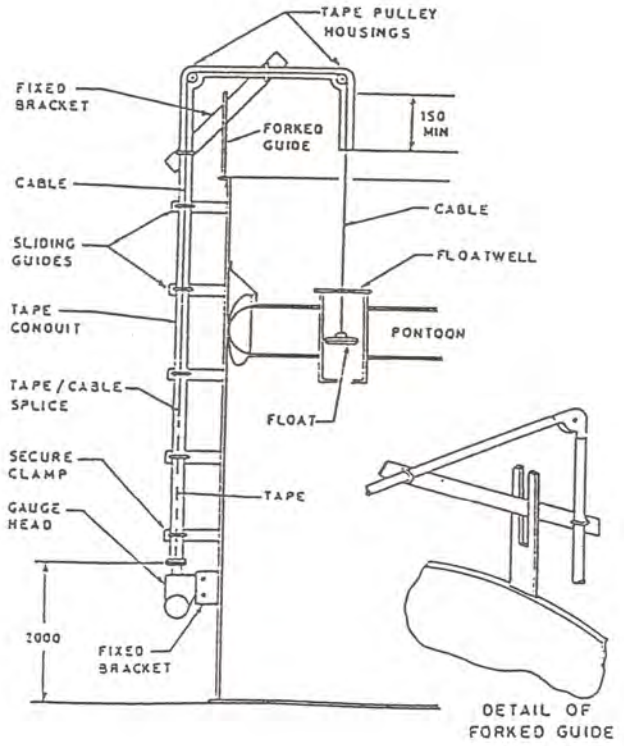
Figure Design details of a guide pipe and level gauge in a vertical cylindrical tank with fixed roof, of which the deflection when loaded must be taken into consideration if the bottom of the tank is stable

1. Indicating device of the level gauge. 2. Support bracket. 3. Safety ring. 4. Sliding guides. 5. Protective tube for the level gauge tape. 6. Pulley for the tape. 7. Manual gauge hatch. 8. Flexible joint. 9. Seal. 10. Manhole. 11. Guide pipe and still well. 12. Tensioned wires for guiding the float. 13. Tape. 14. Float. 15. Guide wire bracket.

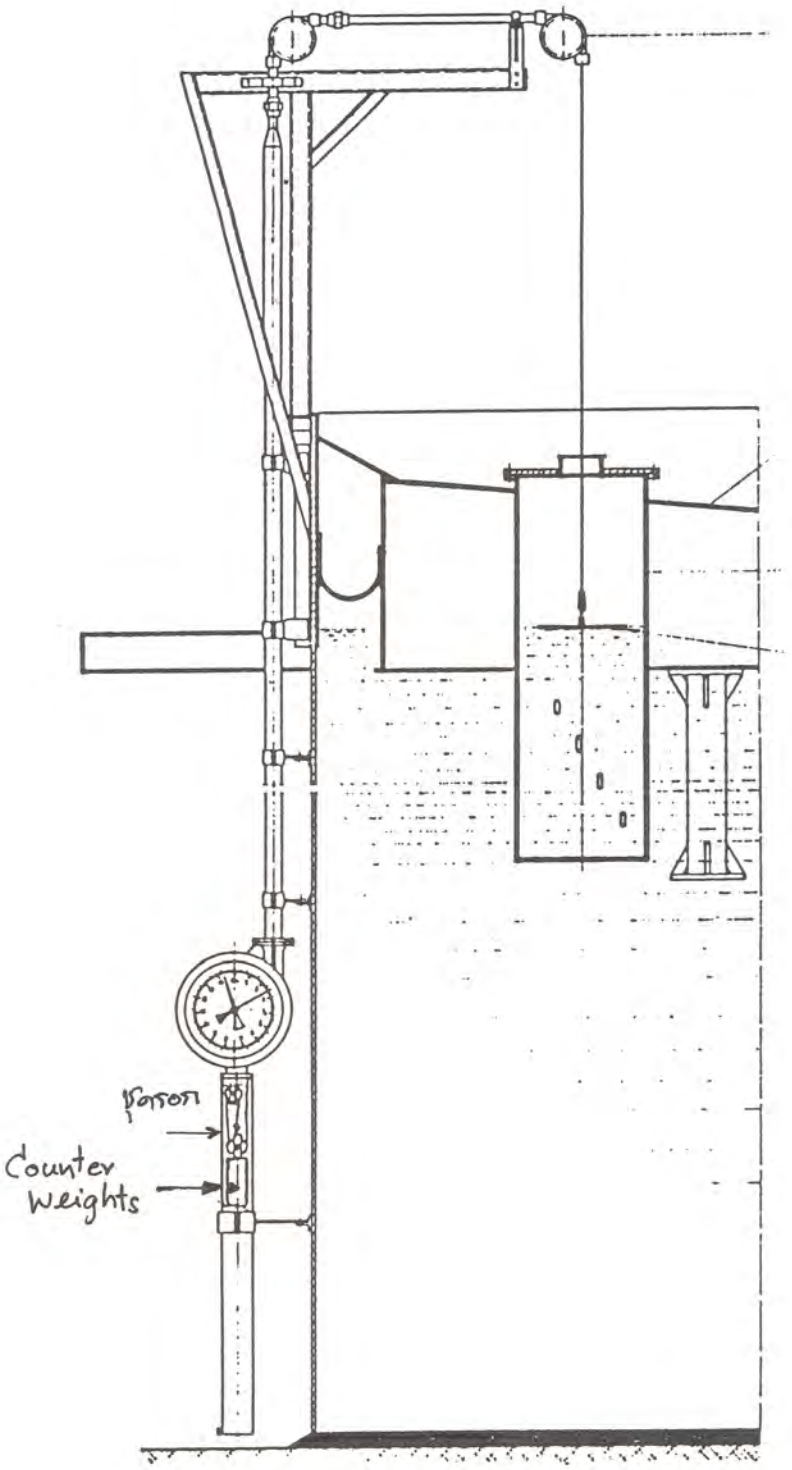
รูปที่ 117 (ต่อ) การติดตั้ง Mechanically operated float gauge เข้ากับถังสำรองชนิด fixed roof เมื่อหลังคาถังมีการเสียรูปทรงภายใต้การใช้งานถังสำรอง

รูปที่ 118 และ 119 เป็นวิธีการแนะนำการติดตั้ง ALG เข้ากับถังสำรองชนิด floating roof จะมีส่วนที่เรียกว่า forked guide ซึ่งช่วยรักษาความมั่นคงแข็งแรงของท่อนนำเทป และสามารถให้ตัวได้เนื่องจากปกติแล้วส่วนบนสุดของผนังถังชนิดนี้มีการให้ตัว แต่เนื่องจากการเคลื่อนตัวของหลังคาถังฝาลอยไม่ได้ขึ้นลงไปพร้อมๆกับระดับของเหลวภายในถังเสียทีเดียวแต่จะค่อยๆขึ้นหรือค่อยๆลง และเมื่อหลังคาฝาลอยลอยตัวขึ้นก็จะลอยด้านใดด้านหนึ่งก่อนในขณะที่อีกด้านอาจอยู่คงที่และจะค่อยๆลอยตัวตามเมื่ออีกด้านเริ่มหยุดนิ่งเนื่องจากแรงเสียดทานของซีลรอบๆหลังคาถังฝาลอยที่กระทำกับผนังถังนั้นเอง ด้วยเหตุนี้ระดับความสูงของเหลวภายในถังที่วัดได้จึงไม่สอดคล้องกับข้อเท็จจริงแต่ต้องรอด้วยช่วงระยะเวลาหนึ่ง

INSTALLATION OF A MECHANICAL FLOAT GAUGE ON A FLOATING ROOF TANK

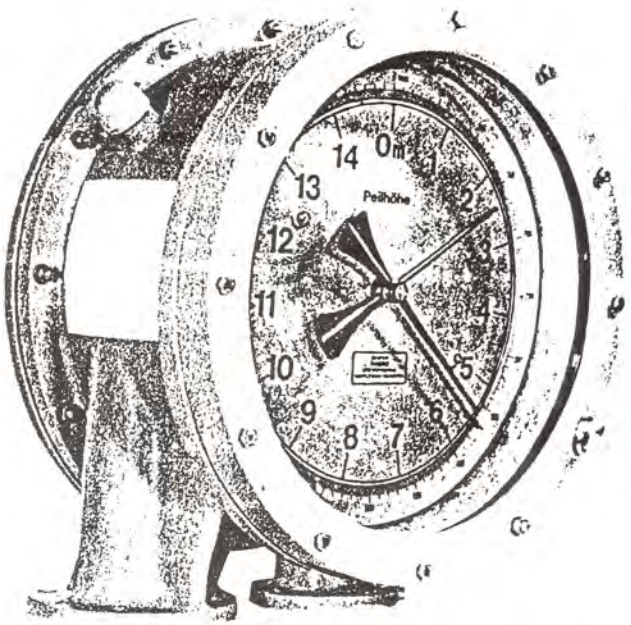


รูปที่ 118 การติดตั้ง Mechanically operated float gauge เข้ากับถังสำรองชนิด floating roof



Principle of the measuring system of a floater instrument, installation on the ground (underfoot)

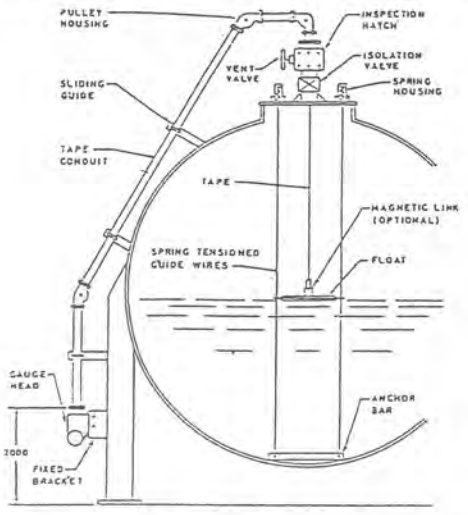
รูปที่ 119 การติดตั้ง Mechanically operated float gauge เข้ากับถังสำรองชนิด floating roof โดยให้ส่วนแสดงค่าอยู่บริเวณระดับสายตาเหนือพื้นดิน



รูปที่ 120 ส่วนแสดงค่าของ Mechanically operated float gauge (บางชนิด)

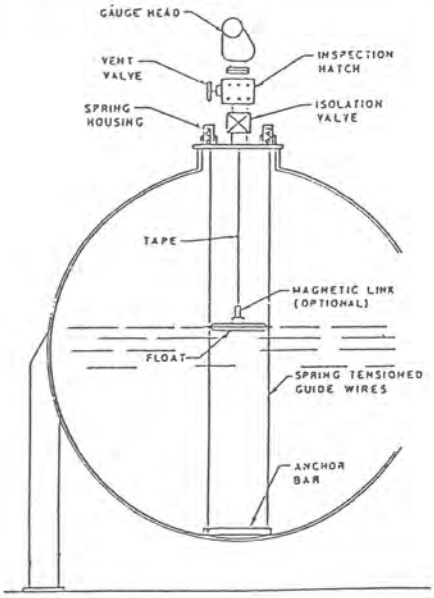
รูปที่ 121 แสดงการติดตั้ง ALG แบบนี้เข้ากับถังสำรองความดันสูงซึ่งใช้เก็บก๊าซ เช่น LPG เป็นต้น ดูแล้วแทบไม่เหมาะสมและไม่ควรนำ ALG ชนิดมาติดตั้งเลยเนื่องจากท่อนำเทป (tape conduit) มีความยาวและเอียงมากจนเกินไปอาจเกิดการตกท้องช้างของสายเทปและอาจไปสัมผัสท่อได้ หากเป็นเช่นนั้นก็เท่ากับเพิ่มแรงเสียดทานของสายเทป ก่อให้เกิดผลผิด Hysteresis error มาก ดังนั้นหากเปลี่ยนการติดตั้งให้เป็นไปตามรูปที่ 122 ก็นับว่าสามารถลดปัญหาดังที่กล่าวมาได้มากทีเดียวเนื่องจาก gauge head ถูกติดตั้งอยู่ส่วนบนสุดของถังสำรอง แต่อาจจะไม่สะดวกต่อการทำงานของเจ้าหน้าที่เพราะต้องปีนถังสำรองความดันสูงเพื่อไปอ่านค่าผลการวัดระดับความสูงของเหลว ในส่วน isolated valve ที่ติดตั้งอยู่ใต้ ALG สามารถช่วยให้เราสามารถถอด ALG ไปซ่อมแซมได้หากเสีย

TYPICAL INSTALLATION OF A MECHANICAL FLOAT GAUGE ON A HIGH PRESSURE TANK



รูปที่ 121 การติดตั้ง Mechanically operated float gauge เข้ากับถังสำรองชนิดความดันสูง โดยส่วนแสดงค่าติดตั้งระดับสายตาเหนือพื้นดิน

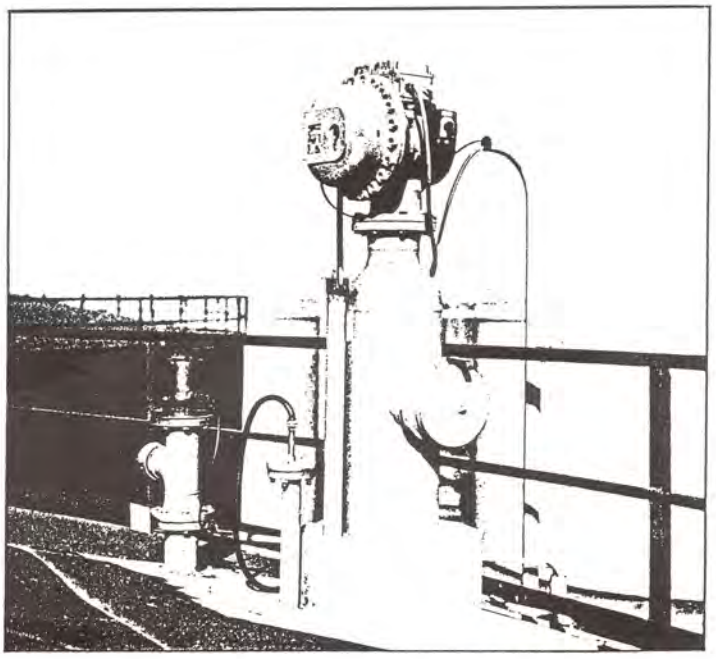
ALTERNATIVE INSTALLATION OF A MECHANICAL FLOAT GAUGE ON A HIGH PRESSURE TANK



รูปที่ 122 การติดตั้ง Mechanically operated float gauge เข้ากับถังสำรองชนิดความดันสูงอีกวิธีหนึ่งโดยส่วนแสดงค่าติดตั้งเหนือถัง

2. Electrically powered servo-operated gauge

นับเป็น ALG ที่ได้รับการพัฒนามาจาก ALG ชนิด Mechanically operated float gauge แต่ยังคงใช้ส่วนตรวจจับระดับของของเหลว (liquid-level detecting element) ที่เป็น displacer หรือลูกลอย เช่นเดิม แต่จะมีน้ำหนักหรือมีค่าความหนาแน่นสูงกว่าของเหลวที่ต้องการวัด หรือ

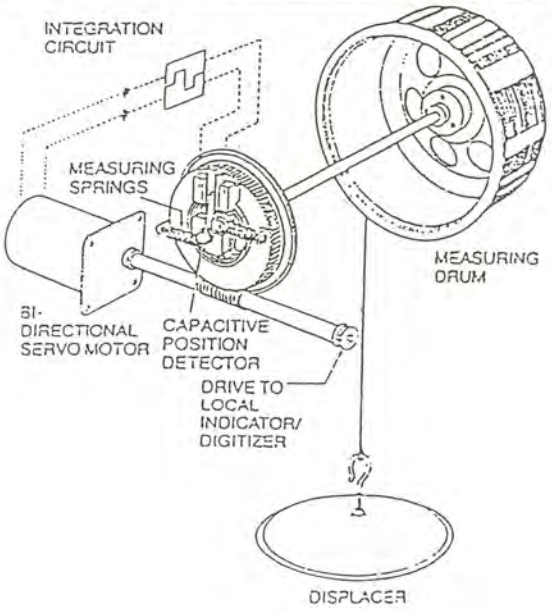


รูปที่ 123 ภาพการติดตั้ง Electrically powered servo-operated gauge กับถังสำรอง Fixed roof

พูดอีกนัยหนึ่งคือ displacer ไม่สามารถลอยตัวได้หรือจมนั้นเอง ตัว displacer ถูกแขวนไว้ด้วยเส้นลวดซึ่งปกติเป็นเส้นลวดแสตนเลสที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กมากเมื่อเทียบกับสายเทปของ ALG ชนิด Mechanically operated float gauge และเส้นลวดแสตนเลสถูกพันไว้ด้วยการหมุนเข้าไปในชุดวงล้อที่ได้รับการกัดเซาะร่อง (a precision-machined ,grooved drum หรือ measuring drum) ชุดวงล้อนี้จะถูกต่อเชื่อมเข้ากับอุปกรณ์สร้างความสมดุลของน้ำหนัก ดูรูปที่ 124, 125 และ 126

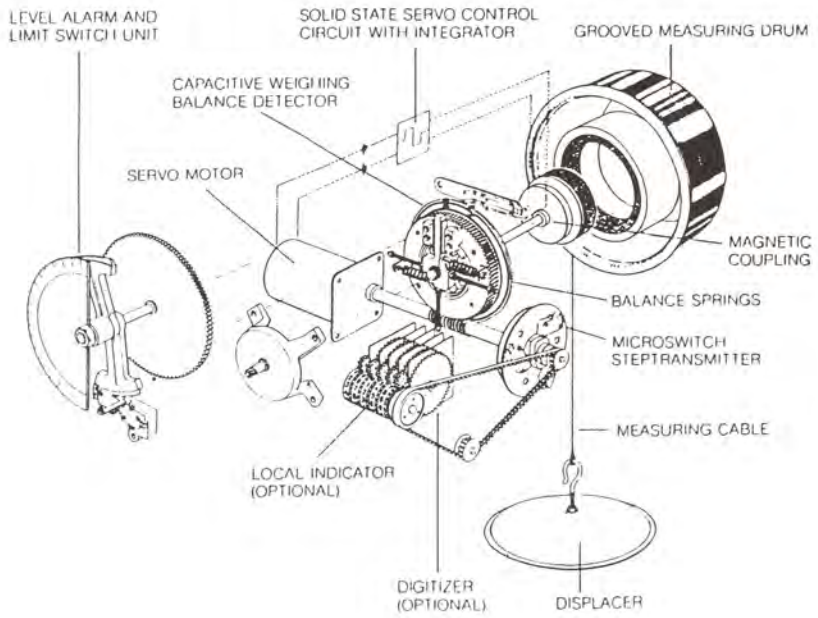
ที่สภาวะสมดุลของการทำงานของ ALG นั้นเป็นสภาวะสมดุลระหว่างน้ำหนักของ displacer ซึ่งจุ่มอยู่ในของเหลวบางส่วน, แรงลอยตัวกระทำต่อ displacer และแรงต้านของ balance spring ซึ่งต่อกับ measuring drum ดังนั้นเมื่อระดับของเหลวสูงขึ้นหรือลดลงจึงเท่ากับเป็นการไปรบกวนสภาวะสมดุยดังกล่าวส่งผลให้การลอยตัวของ displacer เปลี่ยนแปลงไป และถูกตรวจจับด้วย weight balance ซึ่งจะส่งสัญญาณไปยังมอเตอร์ (two-phase servo motor) เพื่อให้มอเตอร์ไปหมุน measuring drum ให้ทำการยกหรือลดระดับของ displacer จนกระทั่งเข้าสู่สภาวะสมดุลอีกครั้งหนึ่ง (ดูรูปที่ 124)

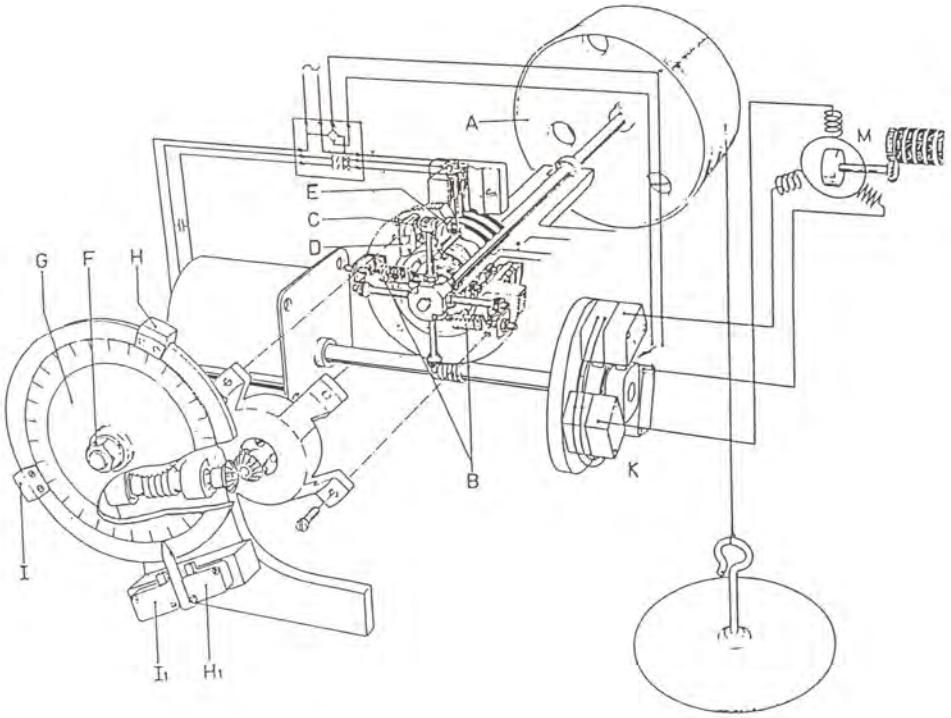
ELECTRICALLY POWERED SERVO-OPERATED GAUGE USING A DISPLACER AS THE SENSING ELEMENT



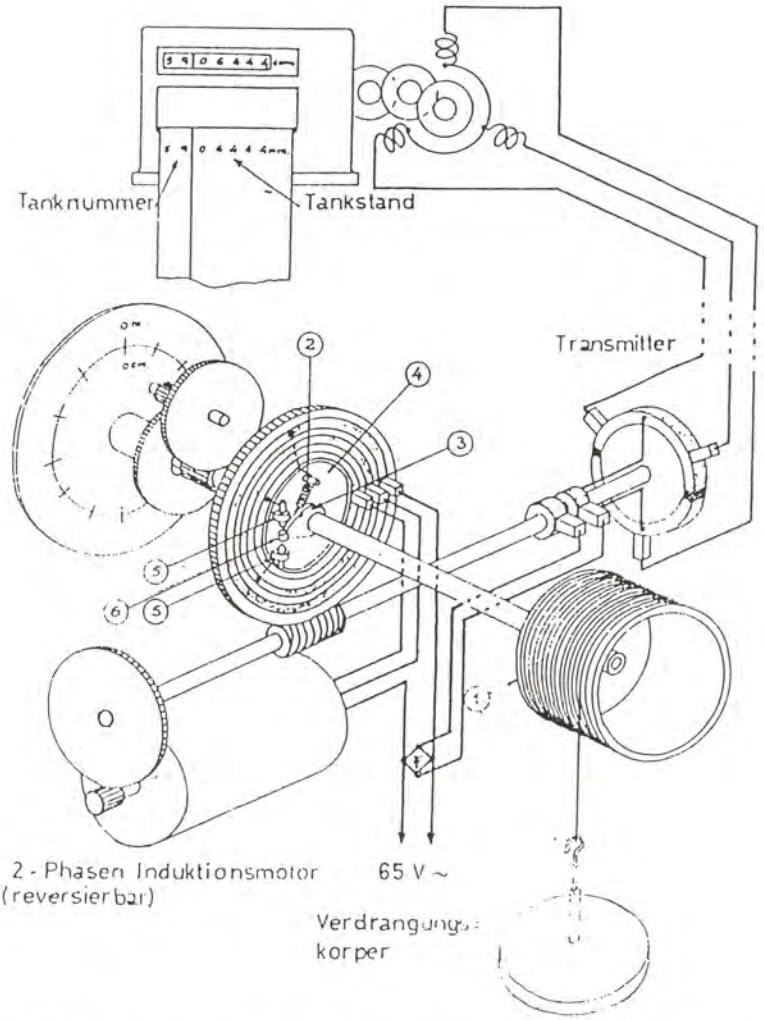
รูปที่ 124 ชิ้นส่วนประกอบที่สำคัญของ Electrically powered servo-operated gauge

Working Principle

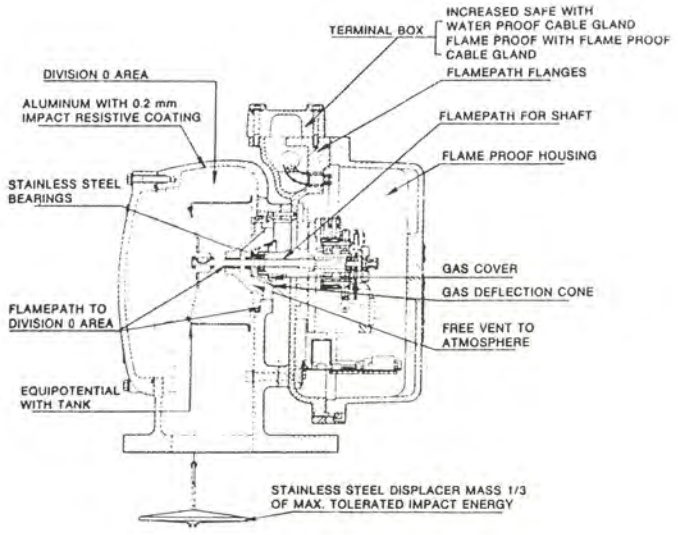




รูปที่ 125 ชิ้นส่วนประกอบที่สำคัญของ Electrically powered servo-operated gauge



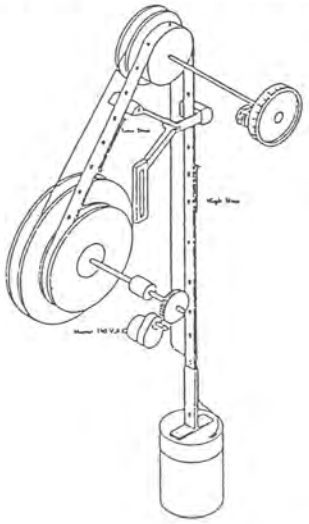
รูปที่ 126 ชิ้นส่วนประกอบที่สำคัญของ Electrically powered servo-operated gauge



รูปที่ 127 ภาพตัดของ Electrically powered servo-operated gauge ชนิด explosion proof ใช้กับถังสำรองความดันต่ำ

ALG ประเภทนี้ได้รับการพัฒนาในรูปแบบต่างๆ เช่นการใช้ส่วนตรวจจับระดับของของเหลว (liquid-level detecting element) ที่แตกต่างจากการใช้ displacer โดยใช้การตรวจจับค่าการเปลี่ยนแปลงของประจุ (capacitance change) ระหว่างแผ่น electrode กับผิวหน้าของเหลวภายในถังสำรอง ดังในรูปที่ 128 แต่ไม่ว่าจะใช้ส่วนตรวจจับระดับของของเหลวเป็นชนิดใดเมื่อต้องใช้วัดของเหลวที่มีความปั่นปวนสูง การใช้เทคนิคของการหน่วงเวลาของการประมวลผล (time relay) ก็นับเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพทีเดียว

ELECTRICALLY POWERED SERVO-OPERATED GAUGE USING A CAPACITANCE SENSING HEAD



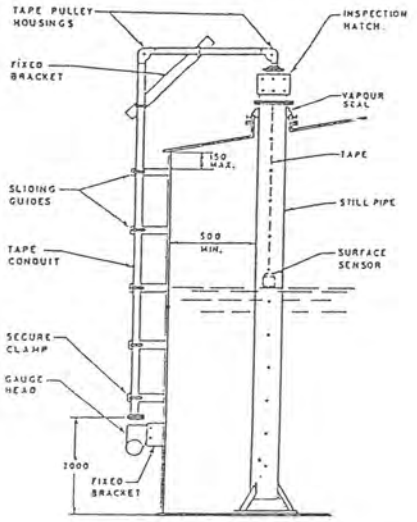
รูปที่ 128 Electrically powered servo-operated gauge ใช้ capacitance sensing head แทน diaplcer

ถึงแม้ว่า ALG ชนิดนี้ได้รับความนิยมสูงและให้ผลการวัดแม่นยำสูงกว่า ALG ชนิด Mechanically operated float gauge ก็ตามแต่ยังคงมีปัญหาหลักๆ อยู่ 2 ประการด้วยกันคือการติดตั้งและการซ่อมบำรุงรักษา

รูปที่ 129 เป็นการติดตั้ง ALG ชนิดนี้กับถังสำรองชนิด cone roof ลักษณะยังคงคล้ายกับการติดตั้งของ Mechanically operated float gauge แต่ต่างกันตรงที่ส่วนตรวจจับระดับของของเหลวหรือ displacer จะเคลื่อนตัวอยู่ภายใน stilling well ซึ่งเป็นท่อช่วยป้องกันการรบกวนการปั่นปวนของผิวหน้าของเหลวที่มีผลต่อการทำงานของ displacer ในช่วงระยะเวลาการสูบจ่ายของเหลวเข้า-ออกจากถังสำรองได้อย่างดีที่เดียว ในส่วนรูปที่ 1.30 ดูเหมือนจะเป็นวิธีการที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของALG ชนิดนี้ได้ดีด้วยกับติดตั้ง ALG บน stilling well สังเกตโครงสร้างของการติดตั้ง stilling well ให้ละเอียดจากรูปจะเห็นว่าไม่มีโครงสร้างยึดติดหรือค้ำระหว่าง stilling well กับผนังถังแต่อย่างใด ทั้งนี้เพื่อป้องกันการถ่ายเทแรงเนื่องการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของผนังถังเมื่อระดับของเหลวเปลี่ยนแปลง ไปทำให้ stilling well เกิดการเคลื่อนตัวไปทางด้านข้างมีการเอียงตัว (ดูรูปที่ 131) อีกทั้งทำการเจาะรูบนตัว stilling well เป็นระยะเพื่อให้แน่ใจว่าระดับของเหลวภายใน stilling well สอดคล้องเท่ากันกับระดับของเหลวส่วนใหญ่ภายในถังสำรอง อีกทั้งลด capillary effect (ดูรูปที่ 132) ประการสุดท้ายจะเห็นว่าส่วนของหลังคา cone roof จะไม่

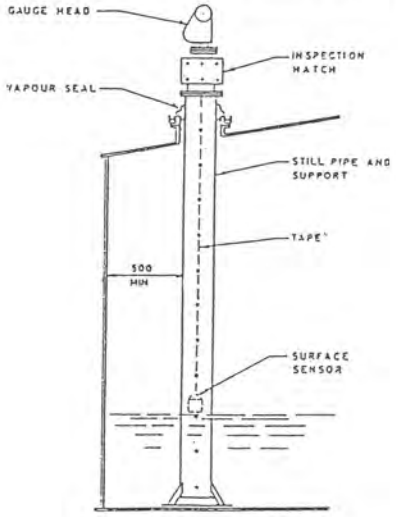
เชื่อมติดกับ stilling well ดังนั้นเมื่อหลังคามีการเคลื่อนที่เปลี่ยนแปลงรูปร่างก็ไม่ส่งผลกระทบต่อ stilling well

TYPICAL INSTALLATION OF A SERVO-POWERED GAUGE ON A FIXED-ROOF TANK

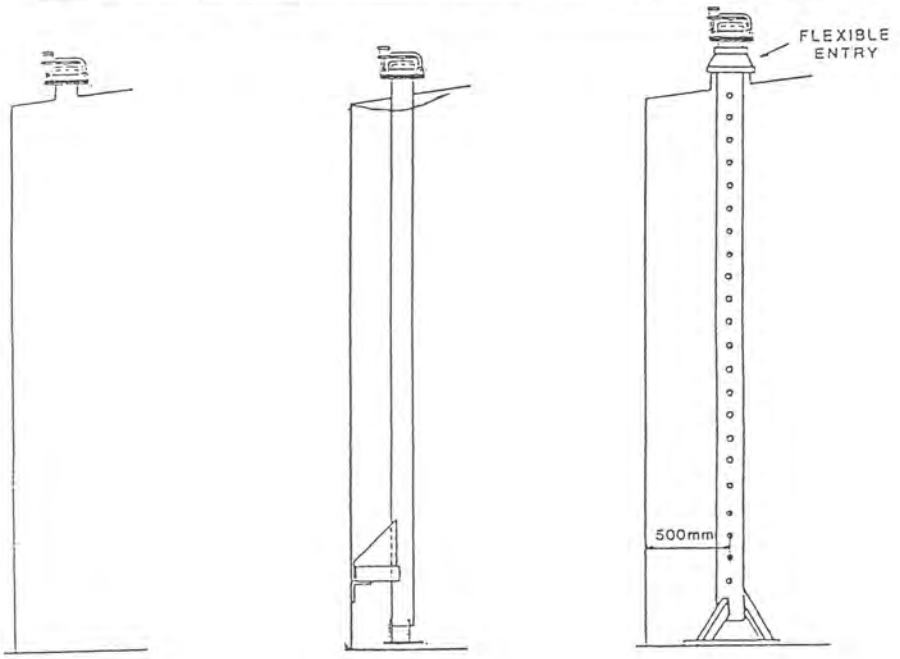


รูปที่ 129 การติดตั้ง Electrically powered servo-operated gauge เข้ากับถังสำรองชนิด fixed roof โดยส่วนแสดงค่าติดตั้งระดับสายตาเหนือพื้นดิน

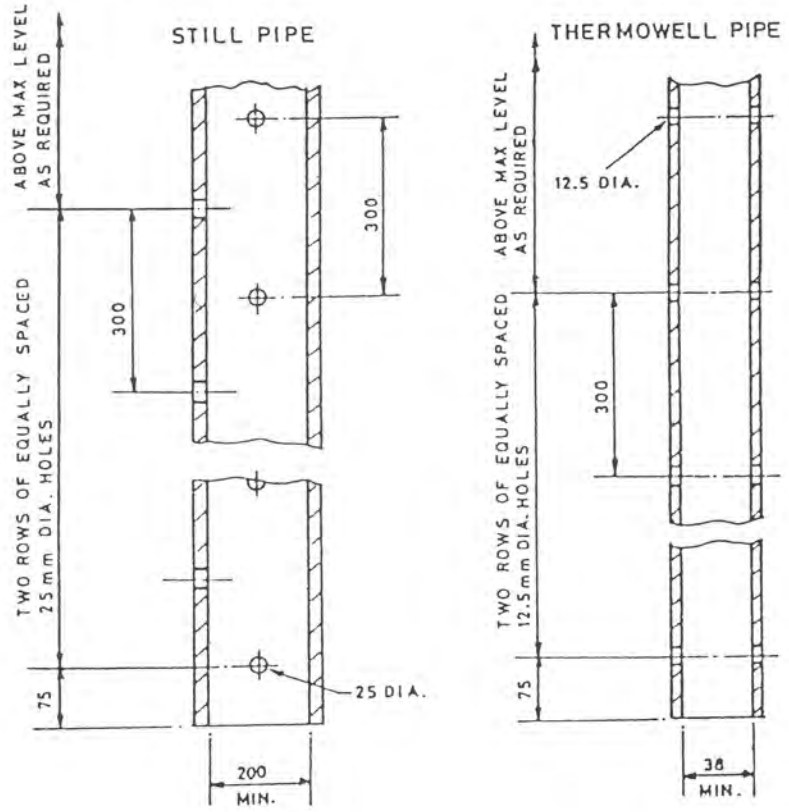
ALTERNATIVE INSTALLATION OF A SERVO-POWERED GAUGE ON A FIXED-ROOF TANK



รูปที่ 130 การติดตั้ง Electrically powered servo-operated gauge เข้ากับถังสำรองชนิด fixed roof โดยส่วนแสดงค่าติดตั้งบนหลังคาถัง

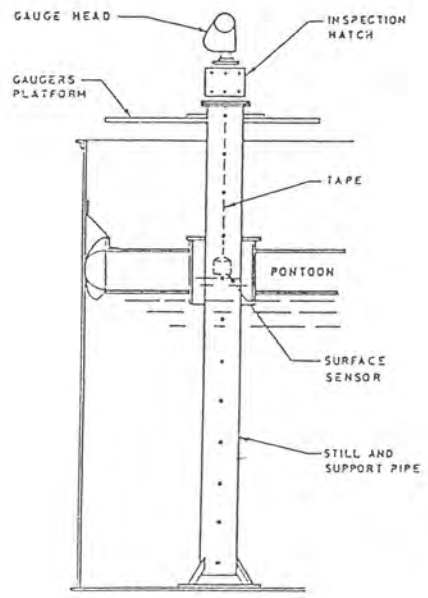


รูปที่ 131 การพัฒนาวิธีการติดตั้ง ALG เพื่อลดปัญหาการเสียรูปทรงของถังสำรองด้วย still pipe หรือ still well



รูปที่ 132 การเจาะรูบนท่อ still pipe และท่อ thermowell pipe (สำหรับวัดอุณหภูมิภายในถังสำรอง)

INSTALLATION OF A SERVO-POWERED GAUGE ON A FLOATING ROOF TANK



รูปที่ 133 การติดตั้ง Electrically powered servo-operated gauge เข้ากับถังสำรองชนิด floating roof

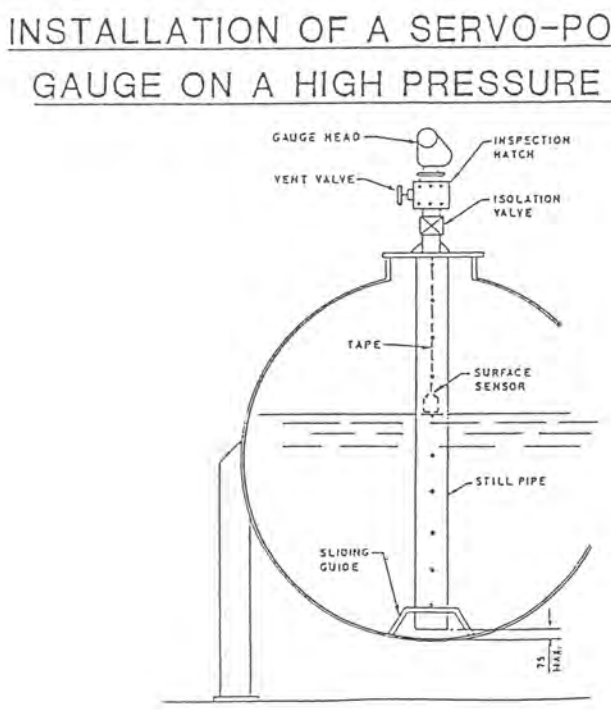
จากหลักการทำงานของ ALG ชนิดนี้พอสรุปถึงข้อดีได้ว่า

- ลด hysteresis error เนื่องจากอิทธิพลของความเสียดทานของกลไกเมื่อเทียบกับ ALG ชนิด Mechanically operated float gauge โดยมี hysteresis error อยู่ในช่วง ±1 มม.
- ผลผิดอันขึ้นอยู่กับความสูงของระดับของเหลวซึ่งจะไปเกี่ยวข้องกับค่าน้ำหนักของสายเทปที่เชื่อมอยู่กับ displacer มีค่าลดลงในการตรวจจับระดับของของเหลวเพื่อชดเชยหาสภาวะสมดุล เนื่องจาก ALG ใช้ลวดแสตนเลสที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยมากและมีค่าน้ำหนักต่อหน่วยความยาวน้อยมากเมื่อเทียบกับสายเทปของ ALG ชนิด Mechanically operated float gauge
- ผลผิดอันเกิดจากการเปลี่ยนแปลงค่าความหนาแน่นของของเหลวภายในถังสำรองให้อยู่ภายในค่า ±1 มม. เพราะ ALG ชนิด Electrically powered servo-operated gauges นี้เป็นการใช้หลักการของ low immersion sensor ด้วย displacer (ดูรูปที่ 137) ซึ่งต่างกับ ALG ชนิด Mechanically operated float gauge ที่ใช้ลูกลอย ถึงจะใช้ลูกลอย แบบ low immersion float

แต่อย่างไรก็ตามเมื่อมีข้อดีแล้วก็ต้องมีข้อเสียตามมาเช่นกัน นั้นได้แก่

- ราคาแพงมากขึ้น

- จากที่ ALG มีหลักการทำงานที่ซับซ้อนมากเพิ่มขึ้นการบำรุงรักษาก็เพิ่มยากมากขึ้น
- ในขณะเดียวกันการทำงานของ ALG ชนิดนี้จำเป็นต้องใช้กระแสไฟฟ้า ดังนั้นเรื่องความปลอดภัยของอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับกระแสไฟฟ้าต้องมีความปลอดภัยสูงมากเพราะต้องจัดระบบจ่ายกระแสไฟฟ้าที่มีเสถียรภาพในการส่งจ่ายเข้าสู่ถังสำรองซึ่งเป็นสถานที่ที่ติดตั้งซึ่งง่ายต่อการติดไฟหรือระเบิด
- ส่วนสุดท้ายที่สำคัญคือวงจรไฟฟ้าที่ใช้ในการตรวจจับระดับของเหลวเพื่อทำการชดเชยหาสภาวะสมดุลต้องได้รับการตรวจสอบและรับรองจากสถาบันที่น่าเชื่อถือว่าปลอดภัยเพียงพอ หากวงจรทำงานผิดพลาด



รูปที่ 134 การติดตั้ง Electrically powered servo-operated gauge เข้ากับถังสำรองชนิดความดันสูง

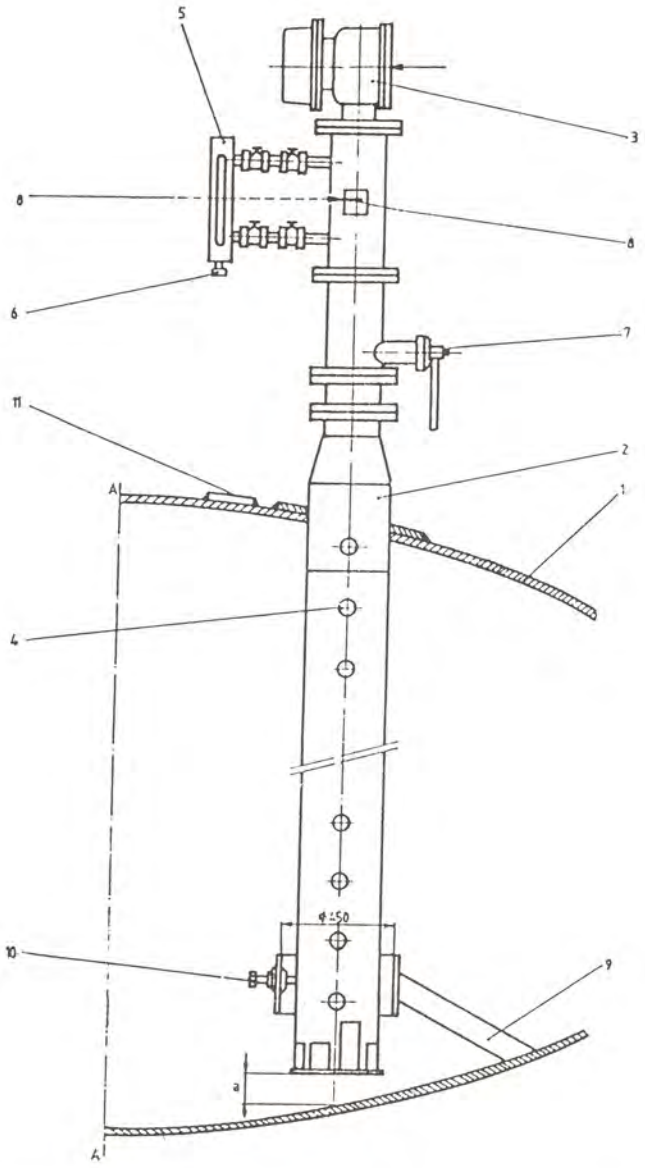
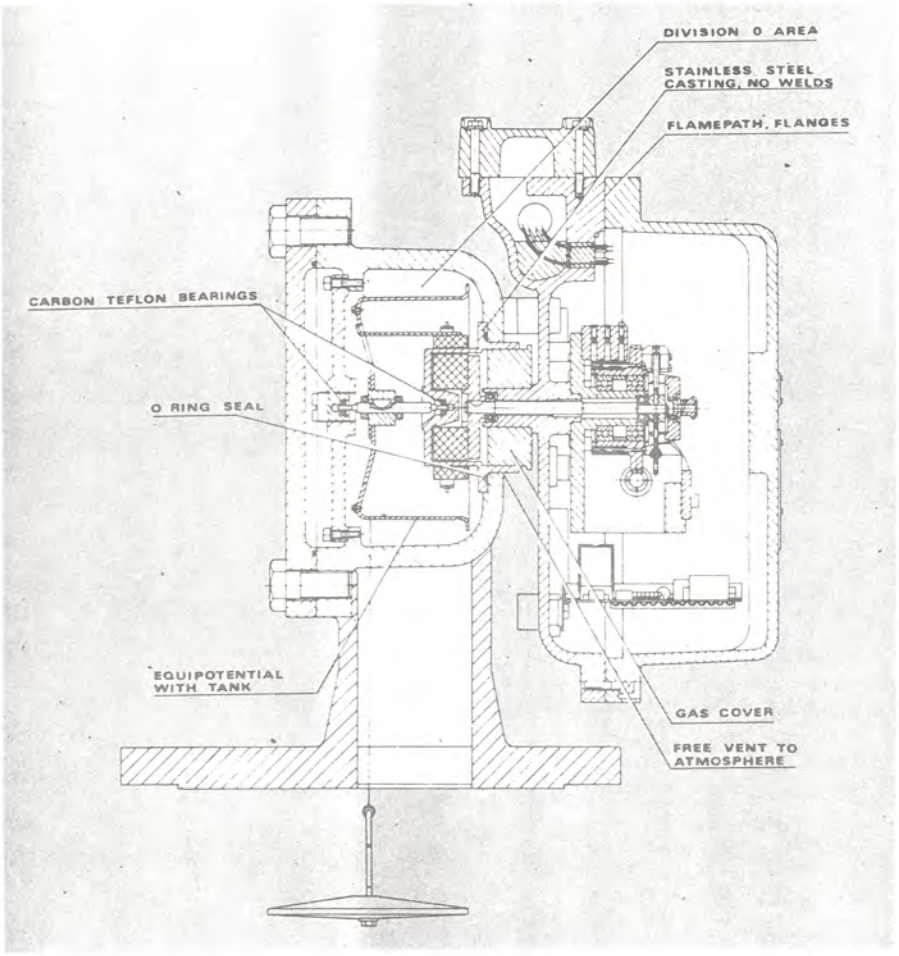


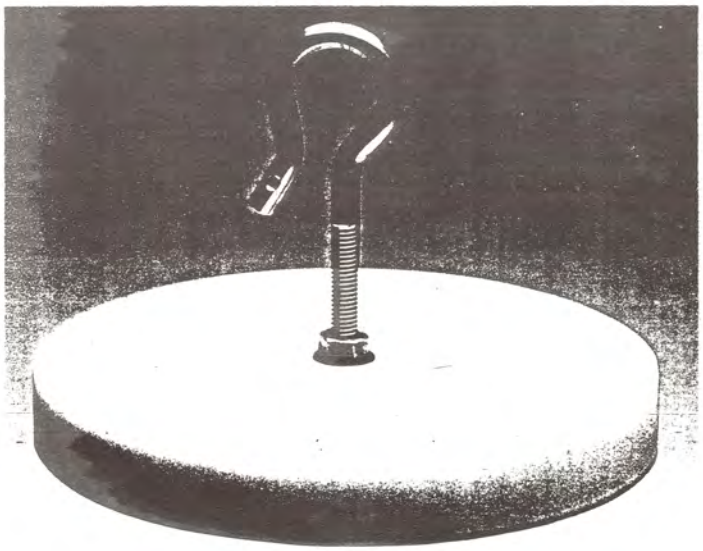
Figure Design details of a level gauge with still well in a spherical tank

1. Metal wall (sphere). 2. Pipe ($\varnothing_{int}$ = 300 mm) to be adjusted vertically (5 mm tolerance between the vertical determined by plumb bob and three generating lines at 120°). 3. Indicating device of the level gauge. 4. Holes Ø 40 at 200 mm pitch. 5. Glass level indicator, with metal casing. 6. Drain plug or valve. 7. Spherical isolating valve. 8. Mark of reference level (for in-service checking of zero adjustement of the level gauge. 9. Three gussets at 120°. 10. Three bolts for vertical alignment of the guide pipe. 11. Calibration information plate. AA : Axis of the sphere..a : Minimum dimension compatible with the deformation of the sphere.

รูปที่ 135 การติดตั้ง ALG ด้วย still well กับถังความดันสูง

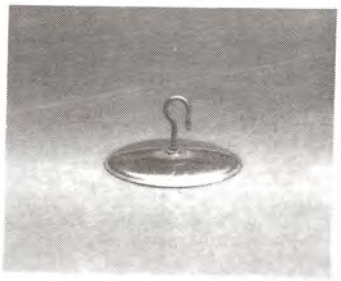


รูปที่ 136 ภาพตัดของ Electrically powered servo-operated gauge ชนิด explosion proof ใช้กับถังสำรองความดันสูง



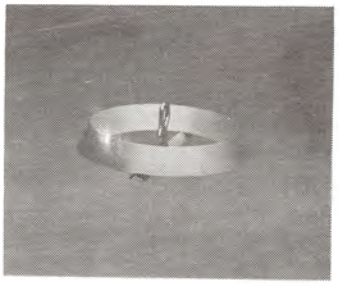
รูปที่ 137 Displacer ชนิดและรูปแบบที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับการเลือกใช้งาน

Standard Displacer

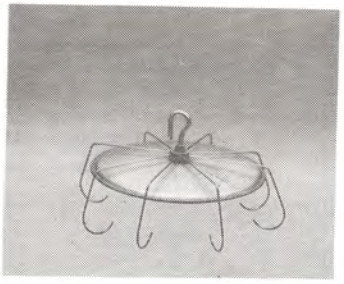


Tensioning Weight Displacer

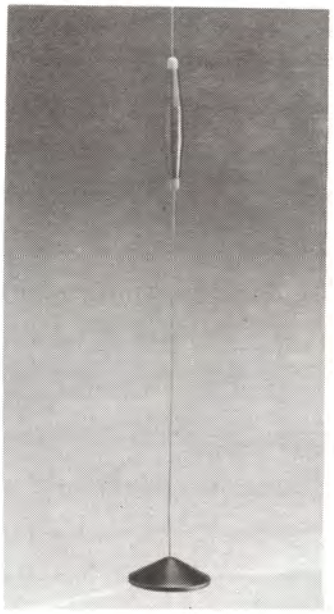
Ring Displacer



Spider Displacer



Stabigage



Conical displacer

รูปที่ 137 (ต่อ) Displacer ชนิดและรูปแบบที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับการเลือกใช้งาน

TYPE OF DISPLACER	DENSITY RANGE	PRESSURE RANGE	APPLICATION
Standard	≥ 400 kg/m³ ≥ 25.0 lbs/cu. ft.	Unlimited: PTFE and epoxy resin 2 bar (30 psi) max: stainless steel	Most products and operating conditions. The carbon filled PTFE and stainless steel displacers are suitable for applications where a conductive displacer is required to prevent static build-up.
Tensioning weight	≥ 500 kg/m³ ≥ 31.2 lbs/cu. ft.	Unlimited: PTFE and epoxy resin 2 bar (30 psi) max: stainless steel	Moderately turbulent products. The carbon filled PTFE and stainless steel displacers are suitable for applications where a conductive displacer is required to prevent static build-up.
Stabigage	≥ 600 kg/m³ ≥ 37.4 lbs/cu. ft.	2 bar (30 psi)	Very turbulent products, without the need for stilling wells or guide wires. Particularly tanks with vortex effects and product surges.
Spider	≥ 500 kg/m³ ≥ 31.2 lbs/cu. ft.	Unlimited: PTFE and epoxy resin 2 bar (30 psi) max: stainless steel	Stilling wells and gauge wells that are not precisely vertical. The stainless steel displacer is suitable for applications where a conductive displacer is required to prevent static build-up.
Ring	≥ 850 kg/m³ ≥ 53.0 lbs/cu. ft.	Unlimited	Bitumen or other products that may form a build-up. Reduced surface area of displacer and its pyramidal cross-section prevent a build-up.
Conical	≥ 900 kg/m³ ≥ 56.2 lbs/cu. ft.	Unlimited	Products with foam layer. The solid displacer body penetrates the foam layer. For other product densities, please consult Enraf-Nonius.
Interface	Minimum density difference required is 100 kg/m³ (6.24 lbs/cu. ft.)	Consult Enraf-Nonius	Continuous measurement of the interface between two liquids. No readjustment of the level balance is required.

Table I: Applications of the displacers.

DISPLACER DIAMETER	DISPLACER AREA	DENSITY OF LIQUID (kg/m³)	DENSITY OF LIQUID (lbs/cu. ft.)	BUOYANCY (g/mm)	BUOYANCY (oz./in.)	GAUGE ACCURACY (mm)	GAUGE ACCURACY (in.)
140 mm 5.5 in.	154 cm² 23.8 in.²	1000 900 800 700 600 500	62.4 56.2 49.9 43.7 37.4 31.2	15.4 13.9 12.3 10.8 9.2 7.7	13.5 12.2 10.8 9.5 8.1 6.7	±(0.2 + 0.08L) ±(0.2 + 0.08L) ±(0.2 + 0.08L) ±(0.3 + 0.08L) ±(0.3 + 0.08L) ±(0.4 + 0.09L)	±(0.008 + 0.0010L') ±(0.008 + 0.0010L') ±(0.008 + 0.0010L') ±(0.012 + 0.0010L') ±(0.012 + 0.0010L') ±(0.016 + 0.0011L')
110 mm 4.3 in.	95 cm² 14.5 in.²	1000 900 800 700 600 500	62.4 56.2 49.9 43.7 37.4 31.2	9.5 8.6 7.6 6.7 5.7 4.8	8.3 7.5 6.7 5.9 5.0 4.2	±(0.3 + 0.08L) ±(0.4 + 0.09L) ±(0.4 + 0.09L) ±(0.5 + 0.09L) ±(0.5 + 0.09L) ±(0.6 + 0.10L)	±(0.012 + 0.0010L') ±(0.016 + 0.0011L') ±(0.016 + 0.0011L') ±(0.020 + 0.0011L') ±(0.020 + 0.0011L') ±(0.024 + 0.0012L')
90 mm 3.5 in.	64 cm² 9.6 in.²	1000 900 800 700 600 500	62.4 56.2 49.9 43.7 37.4 31.2	6.4 5.8 5.1 4.5 3.8 3.2	5.6 5.1 4.5 3.9 3.3 2.8	±(0.5 + 0.09L) ±(0.5 + 0.09L) ±(0.6 + 0.09L) ±(0.7 + 0.10L) ±(0.8 + 0.10L) ±(0.9 + 0.11L)	±(0.020 + 0.0011L') ±(0.020 + 0.0011L') ±(0.024 + 0.0011L') ±(0.028 + 0.0012L') ±(0.032 + 0.0012L') ±(0.036 + 0.0013L')

Where: L = measuring height in meters
L' = measuring height in feet

Note: The above table is for standard commercial precision 811 Servo Gauges. The fine precision version of the 811 Servo Gauges is more accurate. A special engineering note on the accuracy of the 811 Servo Gauges is available on request.

Table II: Accuracy of the level measurement at the gauge for various displacer sizes and liquid densities.

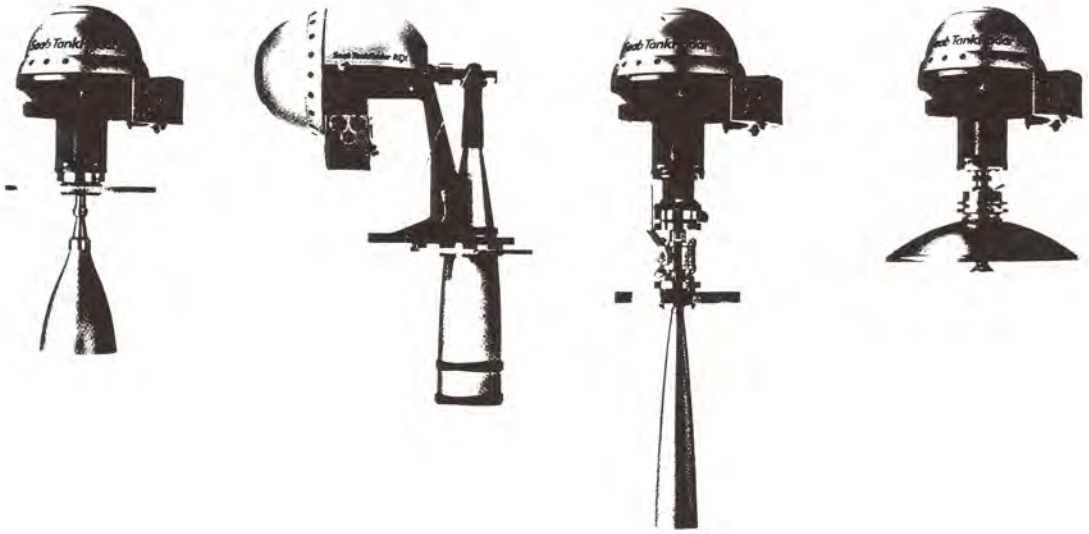
รูปที่ 138 ตัวอย่างตารางและข้อมูลทางเทคนิคของ Displacer เพื่อเลือกใช้ให้เหมาะสมกับงาน

3 Radar Level gauging หรือ Radar Level Transmitters and Gauges

มาตรวัดความยาวแบบอัตโนมัติสำหรับวัดความสูงของระดับของของเหลวในถังสำรองชนิดนี้ได้มีการออกแบบใช้งานและพัฒนากันอย่างต่อเนื่องมาแล้วอย่างน้อยไม่ต่ำกว่า 25 ปี ระบบดังกล่าวที่ถือว่าเป็นระบบแรกได้ใช้กับเรือบรรทุกน้ำมันในปี 1976 (พ.ศ. 2519) และใช้เวลาประมาณ 5 ปีจนสามารถเป็นที่ยอมรับในการใช้งานกับเรือบรรทุกน้ำมัน หลังจากนั้นได้ขยับขยายเทคโนโลยีขึ้นมาบนฝั่งเมื่อปี 1984 (พ.ศ. 2527) ได้มีการพัฒนากันอย่างจริงจังเพื่อให้สามารถใช้งานกับงานชั่งตวงวัดตามข้อกำหนดกฎหมาย (Legal Metrology) ซึ่งในประเทศพัฒนาได้กำหนดไว้เข้มงวดสำหรับเครื่องชั่งตวงวัดที่ถูกใช้งานในเชิงพาณิยช์ (Custody transfer application) ทำให้ตลาดของมาตรวัดความยาวแบบอัตโนมัติชนิดนี้ได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นในระดับหนึ่งและดูเหมือนเริ่มเพิ่มมากขึ้นในอนาคต

ในปัจจุบันพอจัดกลุ่มของมาตรวัดความยาวแบบอัตโนมัติสำหรับวัดความสูงของระดับของของเหลวชนิด Radar Level gauging ออกเป็น 3 กลุ่มหลักคือ

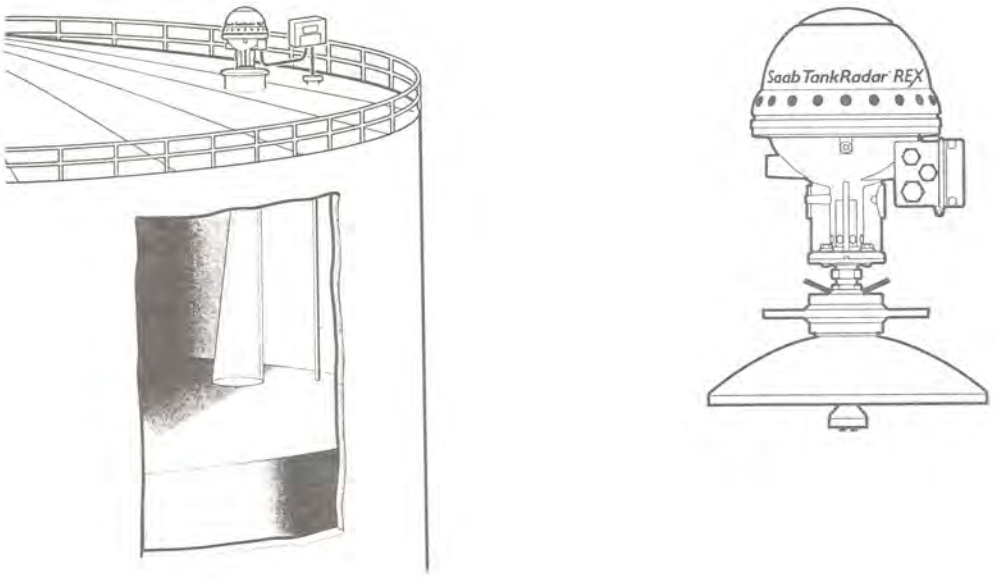
- Inventory radar level gauges ใช้กับงานถังสำรองขนาดใหญ่รูปทรงแนวตั้ง ซึ่งต้องการความเที่ยงตรงของผลการวัดสูง ใช้งานในเชิงพาณิชย์ (Custody transfer application) เป็นไปตามงานชั่งตวงวัดตามข้อกำหนดของกฎหมาย ผลผิด ±1 ถึง ±3 mm. (ดูรูปที่ 139)



รูปที่ 139 รูปแบบของ ALG ชนิด Radar Level gauging ซึ่งใช้งานในด้าน custody transfer

- Process radar level gauges สำหรับถังสำรองที่ใช้ในขบวนการผลิตซึ่งส่งข้อมูลระดับของเหลวไปประมวลผลเพื่อควบคุมขบวนการผลิต ไม่ว่าถังสำรองดังกล่าวนั้นจะมีสภาพแวดล้อมสามารถทำการวัดได้ง่ายจนถึงสภาพแวดล้อมที่ทำการวัดได้ยาก เช่นภายในถังสำรองมีตัวกวน (agitator), เกิดเป็นฟองอยู่เหนือระดับของเหลว, หรือสภาพภายในถังเป็นกรดหรือด่างสูง ผลการวัดอาจไม่ต้องการความเที่ยงตรงสูงมากนักแต่ต้องการความมั่นคงเสถียรภาพของการทำงานของมาตรวัดความยาวแบบอัตโนมัติสูง ผลผิด ±25 mm. ถึง ±5% of full scale.
- Low cost radar level gauges คงเป็นไปตามชื่อแหละครับคือจะมีราคาค่อนข้างถูกเมื่อเทียบกับ 2 แบบแรก เทคโนโลยีจะอยู่ระดับเดียวกับ Ultra-sonic and Sonic level gauges ทั้งนี้เพราะเป็นการเน้นในเรื่องราคาที่สอดคล้องกับผลการวัดระดับที่ไม่ต้องการความเที่ยงสูงมาก ทั้งทำงานตอบสนองต่อการอ่านที่ช้าและความเที่ยงตรงต่ำ อีกทั้งไม่เหมาะที่จะนำไปใช้งานกับการควบคุมในขบวนการผลิตอีกด้วย

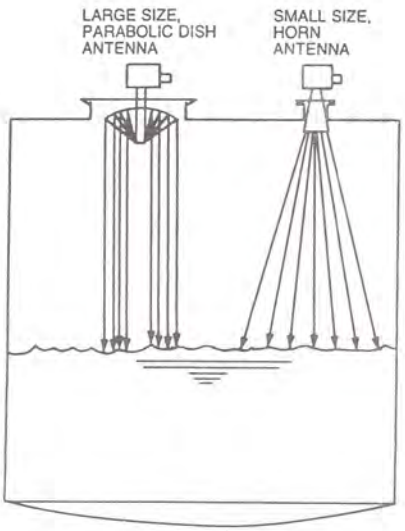
การนำมาตรวัดความยาวแบบอัตโนมัติสำหรับวัดความสูงชนิดนี้เพื่อใช้งาน ปกติแล้วขึ้นอยู่กับการออกแบบ ถังสำรองขนาดใหญ่รูปทรงแนวตั้งเสียมากกว่า ไม่ได้ขึ้นอยู่กับชนิดของเหลวที่บรรจุอยู่ภายในถังสำรองแต่อย่างใด ดังนั้นหากมาตรวัดความยาวแบบอัตโนมัติสำหรับวัดความสูงมีความแตกต่างกันในแต่ละรุ่นจึงแตกต่างกันในส่วนหลักๆคือตัวจานส่งสัญญาณ (antenna)



รูปที่ 140 ภาพตัดการติดตั้งและการส่งคลื่นของ ALG ชนิด Radar Level gauging

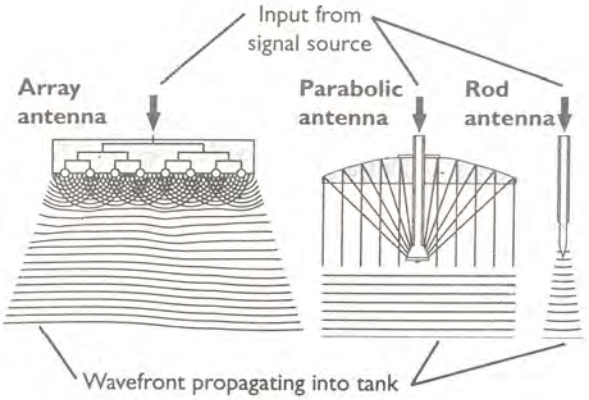
Radar Level gauging ใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic waves) โดยปกติจะเป็นคลื่นในช่วง microwave X-band ความถี่ 10 GHz เพื่อทำการวัดระดับของเหลวอย่างต่อเนื่อง การปลดปล่อยพลังงานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าค่อนข้างต่ำโดยทั่วไปน้อยกว่า 0.1 mW/in^2 (0.015 mW/cm^2) เนื่องจากในทางปฏิบัติแล้วใช้งานในการวัดความสูงของเหลวภายใน ถังสำรองขนาดใหญ่รูปทรงแนวตั้งซึ่งมีความสูงไม่เกิน 30 เมตร (100 ft) นั่นเองซึ่งถือว่าเป็นช่วงระยะทางที่สั้นมากเมื่อเทียบกับกิจการอื่นๆ เช่นทางทหาร ด้วยการส่งจ่ายด้วยพลังงานที่ต่ำนี้เองจึงแทบไม่มีผลต่อหรือเสี่ยงต่อสุขภาพกับคนที่ทำงานอยู่ในบริเวณใกล้ๆ จะมีเฉพาะส่วนที่เป็น solid-state transistors หรือ diodes ที่ต้องใช้ในการกำเนิดและตรวจจับสัญญาณ microwave

ตัวจานส่งและรับสัญญาณ(antenna) จะถูกติดตั้งอยู่บนด้านบนสุดของหลังคาถังสำรองโดยจัดให้จานส่งและรับสัญญาณตั้งฉากกับระดับของเหลวภายในถัง รูปแบบและลักษณะของสัญญาณที่ถูกส่งออกไปขึ้นอยู่กับรูปแบบของตัวจานส่งและรับสัญญาณ(antenna) ดูรูปที่ 141 นอกจากนี้พบว่าน้ำเป็นตัวสาเหตุใหญ่กับการทำงานของ Radar Level gauging เนื่องจากหากน้ำไปจับตัวอยู่บนผิวตัวจานส่งและรับสัญญาณ(antenna) น้ำจะไปกั้นสัญญาณเรดาร์ที่ถูกปล่อยออกไปจากตัวจานส่งและรับสัญญาณ(antenna)หรืออาจเรียกว่า "antenna waveguide" ส่งผลให้เกิดการแทรกซ้อน (interference echoes) ซึ่งมีผลต่อความเที่ยงในการวัดระดับของเหลวทันที ด้วยเหตุนี้ตัว "radar antenna waveguide" ต้องมีรูปทรงที่ไม่ก่อให้เกิดการสะสมหรือการจับตัวของน้ำหรือไอน้ำบนผิวหน้าได้อย่างเด็ดขาดตลอดระยะเวลาใช้งาน จึงพบว่า "radar antenna waveguide" มีรูปร่างที่เป็น



Radar antenna types and patterns.

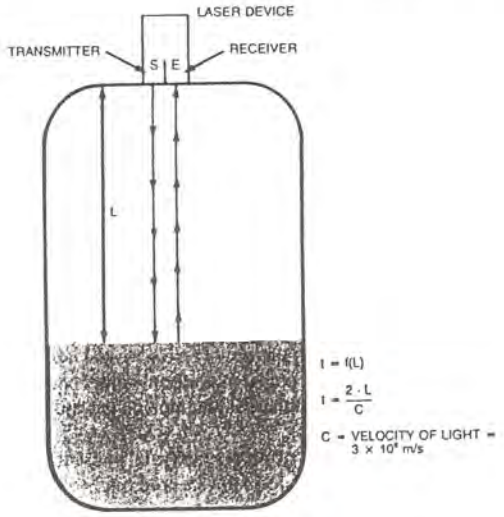
รูปที่ 141 รูปแบบของจานส่งสัญญาณ(antenna) พร้อมทั้งรูปแบบของการแผ่คลื่นสัญญาณเรดาร์



The wave front looks similar for most types of antennas regardless of design. The parabolic reflector antenna has a simpler design, where the microwaves travel a shorter distance compared to the array antenna. In that way the antenna affects the microwaves in the least possible way. In addition, minimal differences in the array antenna's elements caused by external temperature changes, can easily create irregularities in the wave front.

รูปที่ 142 เปรียบเทียบ Array Antenna ซึ่งจะส่งคลื่นเป็นแนวระนาบเมื่อเทียบกับรูปแบบของจานส่งสัญญาณ(antenna) แบบ parabolic สำหรับส่งคลื่นระยะทางสั้นๆ โดยยังคงให้คลื่นส่งออกไปเป็นแนวระนาบเช่นเดียวกัน

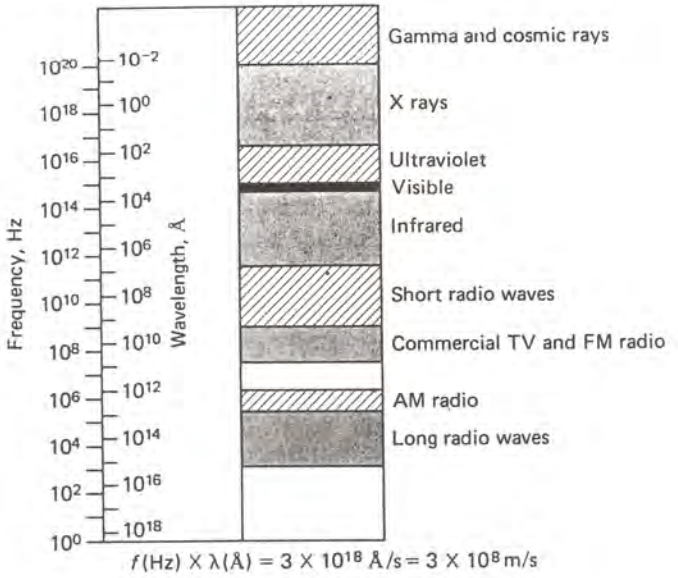
พาราโบลาหรือเป็นแบบกรวยและที่ผิวหน้าเคลือบด้วย Teflon เป็นส่วนใหญ่หรืออาจเป็นพลาสติกแบบอื่นๆ หรือเคลือบด้วย quartz กับ aluminum oxide ดูรูปที่ 145



Level can be detected by measuring the time of reflection. Light travels at a speed of about 0.3 m per nanosecond (10^{-9} sec).

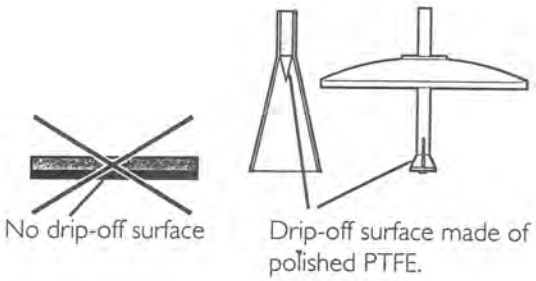
รูปที่ 143 Laser level sensors ตัวกำเนิดแสงเลเซอร์ปล่อยยิงไปยังผิวหน้า ลำแสงตกกระทบและย้อนกลับมายังตัวรับ ผลต่างของระยะเวลาของการเดินทางของแสงเลเซอร์จะถูกเปลี่ยนไปเป็นระยะทาง

Figure The electromagnetic radiation spectrum



รูปที่ 144 The electromagnetic radiation spectrum

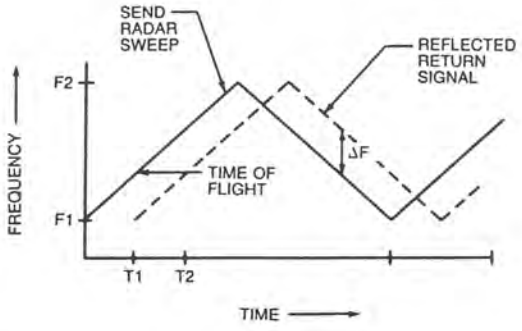
- Radar Level Gauge ช่วงความถี่ 1-10 x 10^9 Hz
- Laser level sensors ช่วงความถี่ของ Infrared



รูปที่ 145 รูปแบบของจานส่งที่ออกแบบไม่ให้การสะสมตัวของความชื้นและน้ำ รวมทั้งของเหลวอื่นๆมาเกาะที่จานส่ง (antenna)

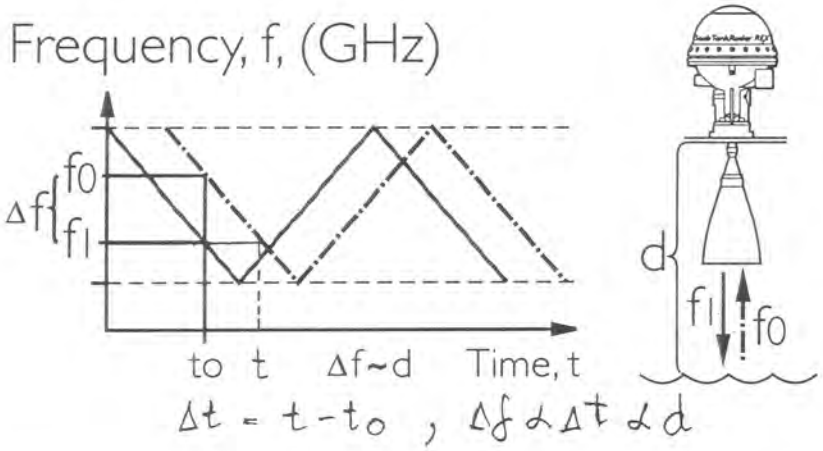
หลักการทำงาน

เมื่อส่งคลื่นเรดาร์ออกไปจากตัวจานส่งและรับสัญญาณ(antenna) ซึ่งติดตั้งอยู่บนสุดของถังสำรองโดยตั้งฉากกับระดับของเหลวภายในถังสำรอง ในลักษณะความถี่ที่เปลี่ยนแปลงไปอย่างต่อเนื่อง (a linear frequency sweep) ด้วยช่วงแถบความถี่ที่แน่นอนคงที่ (fixed bandwidth) ในที่นี้ดูเหมือนความถี่จะกวาดตั้งแต่ 5 GHz ถึง 10 GHz แล้วกวาดกลับมาอีกครั้งที่ 5 GHz ระยะเวลาที่ทำการเปลี่ยนแปลงความถี่ไปนั้นกระทำด้วยช่วงระยะเวลาคงที่เท่ากันทุกครั้ง เมื่อคลื่นเรดาร์ไปกระทบกับผิวหน้าของระดับของเหลวภายในถังสำรองก็จะสะท้อนกลับมายังตัวจานส่งและรับสัญญาณ(antenna) ดังนั้นตัวกำเนิดและตัวตรวจจับสัญญาณซึ่งติดตั้งอยู่กับจานส่งจึงสัมผัสกับคลื่นที่ส่งออกไปด้วยความถี่ที่เปลี่ยนแปลงในช่วงความถี่และเวลาที่คงที่กับคลื่นที่สะท้อนกลับมาซึ่งก็ยังคงกลับมาในรูปเดิมคือความถี่ที่เปลี่ยนแปลงในช่วงความถี่และเวลาที่คงที่เช่นกัน ดูรูปที่ 146 ผลต่างในความถี่จึงเป็นสัดส่วนโดยตรงกับเวลาของการเคลื่อนที่ของสัญญาณที่สะท้อนกลับมาและเป็นสัดส่วนโดยตรงกับระยะห่างระหว่างตัวตรวจจับสัญญาณกับระดับของเหลวภายในถัง ผลที่ได้รับคือการจัดการกับผลต่างของความถี่ที่เวลาเท่ากัน (a frequency-modulated (FM) signal) ตั้งแต่ผลต่างกัน 0 Hz และมากกว่า 200 Hz เทียบกันกับระยะทางที่แตกต่างกันตั้งแต่ 0 ft ถึง 200 ft (60 m) หรือพูดให้ง่ายว่า ณ ที่เวลาหนึ่ง t_0 หากวัดผลต่างของความถี่ของคลื่นที่ส่งออกไปกับคลื่นที่สะท้อนกลับมาเท่ากับ 20 Hz เราให้มีค่าระยะห่างระหว่างตัวตรวจจับสัญญาณกับ



Radar frequency sweep.

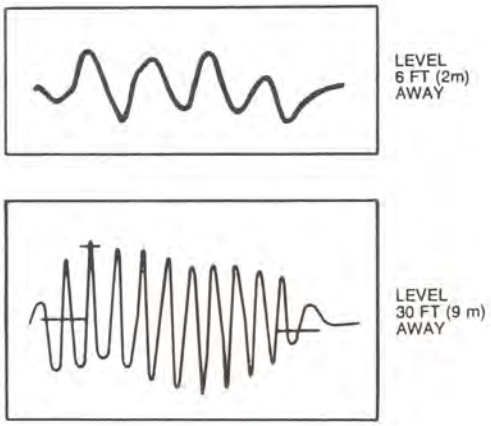
รูปที่ 146 คลื่นสัญญาณเรดาร์ที่ส่งออกไปด้วยความถี่เปลี่ยนแปลงกวาดขึ้นลงด้วยช่วงความถี่และเวลาคงที่



รูปที่ 147 การประมวลผลของสัญญาณความถี่ส่งไปและสะท้อนกลับมา

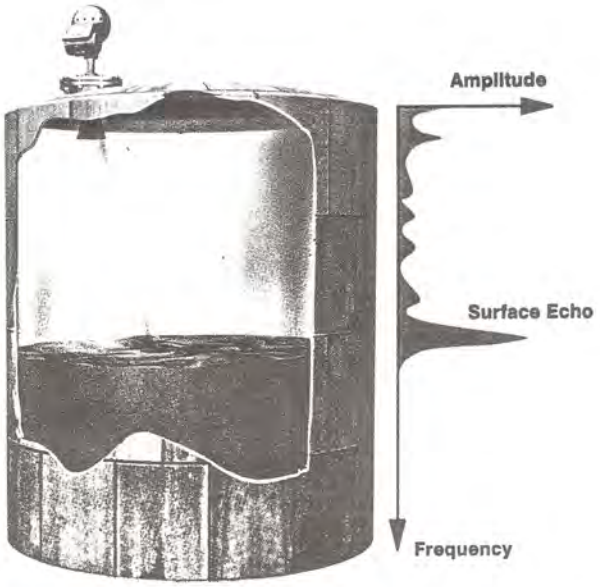
ระดับของเหลวภายในถัง 20 ft (โดยประมาณ 6 m.) นั่นเอง ดูรูปที่ 147 วิธีการดังกล่าวนี้สำหรับผู้ประกอบการอาจเรียกว่า FMCW (frequency Modulated Continuous Wave) ดูรูปที่ 148 แสดงให้เห็นลักษณะของสัญญาณผ่านเครื่องวัด oscilloscope เมื่อคลื่นที่สะท้อนกลับมาจากระยะทางที่แตกต่างกันคือที่ระยะ 6 ft (2 m) กับที่ระยะ 30 ft (9 m) ห่างจากตัวตรวจจับสัญญาณ

ข้อดีของการนำเทคนิคการเปลี่ยนความถี่ให้เปลี่ยนแปลงไปอย่างต่อเนื่อง (a linear frequency sweep) ด้วยช่วงแถบความถี่ที่แน่นอนคงที่ (fixed bandwidth) ทำให้สามารถนำเอาความถี่มาใช้ในการประมวลผลแทนที่จะเอาความสูงของสัญญาณ (amplitude-modulated (AM)) หรือ Time difference เป็นหลักใช้ในการประมวลผล เนื่องจากการประมวลผลของความแตกต่างด้วยค่าความถี่จะให้ผลที่แม่นยำสูงกว่าทั้ง 2 แบบที่กล่าวมา ก็ถือเป็นหลักการเดียวกับคลื่นส่งวิทยุที่เป็นระบบ FM กับ AM นั้นเอง นอกจากนี้ยังพบว่าภายในถังสำรองหรือเวลาใกล้เคียงก็มีแหล่งสัญญาณเสียง (noise source) เช่นกันแต่ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของความสูงของสัญญาณ (amplitude-modulated (AM)) ดังนั้นในการประมวลผลด้วย a frequency-modulated (FM) จึงไม่ได้รับผลกระทบแต่อย่างใด



FM return signal.

รูปที่ 148 ลักษณะของสัญญาณเรดาร์สะท้อนกลับมาที่ระดับความสูงแตกต่างกัน มองผ่านเครื่องวัด Oscilloscope



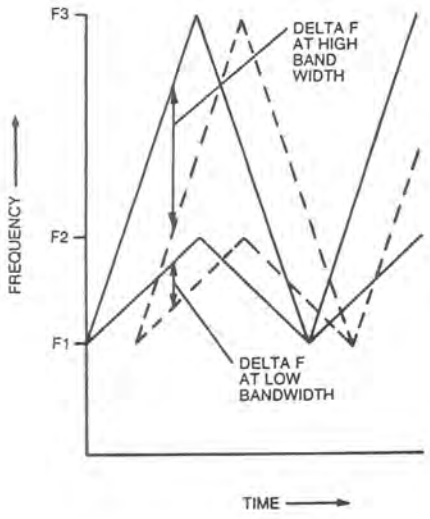
The tank level is determined by processing the frequency difference between the transmitted and reflected signals (FMCW).

รูปที่ 148-1 ลักษณะของสัญญาณเรดาร์สะท้อนกลับมาที่ระดับความสูงของเหลวจะได้ค่าความถี่ที่มี amplitude สูงสุด

ความแม่นยำและปัจจัยความละเอียด (Accuracy and Resolution Factors)

อย่างที่ได้กล่าวไว้ในตอนต้นแล้วว่าเราจัดกลุ่มของมาตรวัดความยาวแบบอัตโนมัติสำหรับวัดความสูงของระดับของของเหลวชนิด Radar Level gauging ออกเป็น 3 กลุ่มหลัก โดยแต่ละกลุ่มพอจะพูดอีกนัยหนึ่งว่าแบ่งตามความแม่นยำหรือราคานั้นเอง ความแม่นยำสูงราคาก็แพงขึ้นเช่นกัน สมรรถนะของมาตรวัดความยาวแบบอัตโนมัติแทบตัดสิ้นและแบ่งแยกกันตรงที่ความกว้างของช่วงแถบความถี่ที่แน่นอนคงที่ (fixed bandwidth) ที่เปลี่ยนแปลงไปอย่างต่อเนื่อง (a linear frequency sweep) ภายในช่วงระยะเวลาคงที่เท่ากันทุกครั้งนั้นเอง ดังแสดงในรูปที่ 149 นั้นคือภายใต้เงื่อนไขของช่วงระยะเวลาของการเปลี่ยนแปลงความถี่คงที่เท่ากัน มาตรวัดความยาวแบบอัตโนมัติที่มีความกว้างของช่วงแถบความถี่ที่แน่นอนคงที่ที่เปลี่ยนแปลงไปอย่างต่อเนื่องที่กว้างกว่าจะมีประสิทธิภาพและความแม่นยำสูงกว่ามาตรวัดความยาวแบบอัตโนมัติที่มีความกว้างของช่วงแถบความถี่ที่แน่นอนคงที่ (fixed bandwidth) แคบกว่า

ยกตัวอย่างเช่นมาตรวัดความยาวแบบอัตโนมัติ A มีช่วงแถบความถี่ที่แน่นอนคงที่ (fixed bandwidth) ที่เปลี่ยนแปลงไปอย่างต่อเนื่อง (a linear frequency sweep) เปลี่ยนแปลงความถี่กวาดจาก5 GHz ไปยัง 10 GHz และเปลี่ยนแปลงความถี่กวาดลดลงกลับมาที่ 5 GHz อีกครั้งภายในช่วงเวลา 10 ms. มาตรวัดความยาวแบบอัตโนมัติ B เปลี่ยนแปลงความถี่กวาดจาก 9 GHz ไปยัง 10 GHz และเปลี่ยนกวาดความถี่กลับลงมาเป็น 9 GHz อีกครั้งภายในช่วงเวลา 10 ms. แล้วละก็ตัดสินได้ว่ามาตรวัดความยาวแบบอัตโนมัติ A เป็นมาตรวัดที่ให้ความแม่นยำสูงกว่าภายใต้เงื่อนไขอื่นๆที่เท่ากัน เป็นต้น



Radar bandwidth comparison.

รูปที่ 149 การเปรียบเทียบ radar bandwidth ภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน bandwidth กว้างดีกว่า bandwidth แคบ

การที่มาตรวัดความยาวแบบอัตโนมัติมีช่วงแถบการเปลี่ยนแปลงความถี่ที่มากขึ้นนั้นหมายถึงไปเพิ่มความละเอียด (Resolution) ของมาตรวัดความยาวแบบอัตโนมัติให้มากขึ้นนั้นเอง เทียบที่เวลาหนึ่งๆ มาตรวัดความยาวแบบอัตโนมัติ A วัดผลต่างของความถี่ของคลื่นที่ส่งออกไปกับคลื่นที่สะท้อนกลับมาเท่ากับ 60 Hz ในขณะที่มาตรวัดความยาวแบบอัตโนมัติ B วัดได้ 20 Hz และเมื่อเราเทียบให้มีค่าระยะห่างระหว่างตัวตรวจจับสัญญาณกับระดับของเหลวภายในถัง 20 ft (โดยประมาณ 6 m.) เท่ากัน พอสรุป Resolution ระหว่าง มาตรวัดความยาวแบบอัตโนมัติ A กับมาตรวัดความยาวแบบอัตโนมัติ B ได้ดังในตารางที่ 11.1

ตารางที่ 11.1 เปรียบเทียบ Resolution

Resolution of A		Resolution of B	
20 ft/60 Hz	3 Hz/ft	20 ft/20 Hz	1 Hz/ft

เพื่อให้มั่นใจว่าการวัดระดับของเหลวแม่นยำด้วยการคำนวณเวลาของการเคลื่อนที่ของสัญญาณที่สะท้อนกลับมา (time of flight of the reflected signal) ซึ่งเป็นสัดส่วนโดยตรงกับผลต่างในความถี่และเป็นสัดส่วนโดยตรงกับระยะห่างระหว่างตัวตรวจจับสัญญาณกับระดับของเหลวภายในถัง นั้นต้องมั่นใจว่าความเร็วของการเดินทางของคลื่นมีค่าคงที่ตลอดเวลาหรือถูกตรวจสอบเสียก่อน สำหรับคลื่นเรดาร์ที่ปล่อยออกมาเดินทางด้วยความเร็วมีค่าเท่ากับความเร็วของแสงหารด้วย medium's dielectric constant ยกกำลังเศษหนึ่งส่วนสอง แต่เป็นเรื่องที่ดีที่พบว่า dielectric constant ของตัวกลางที่คลื่นเรดาร์เดินทางผ่านไปนั้นไม่ว่าอากาศหรือก๊าซต่างๆ หรือที่สูญญากาศ

ทั้งที่สภาวะความดันและอุณหภูมิแตกต่างกันก็ตามพบว่าค่า dielectric constant ของตัวกลางเหล่านั้นแตกต่างกันน้อยมากแทบไม่ส่งผลต่อผลผิดของการวัดด้วยคลื่นเรดาร์เมื่อสภาวะภายในถังสำรองเปลี่ยนแปลงไป ในเรื่องดังกล่าวนี้คลื่นเรดาร์จึงมีคุณลักษณะคล้ายกับ laser แต่ต่างกับคลื่น ultrasonic มากเนื่องจากคลื่น ultrasonic มักได้รับอิทธิพลของชนิดของตัวกลางที่เดินทางผ่านรวมทั้งอุณหภูมิและความดันของก๊าซตัวกลาง

ตารางที่ 11.2 เป็นการเปรียบเทียบความเร็วของเรดาร์กับความเร็วของคลื่น ultrasonic ภายใต้ความแตกต่างกันทั้งชนิดของก๊าซและอุณหภูมิ นอกจากนี้เรายังพบว่าการมีฟองชนิดที่ไม่เป็นสารโลหะ (nonmetallic foams)หรือไม่นำไฟฟ้า(nonconductive foams), หมอก หรือฝุ่นอยู่เหนือผิวระดับของเหลวภายในถังสำรองซึ่งคลื่นเรดาร์ที่เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic waves) เป็นคลื่นในช่วง microwave X-band ความถี่ 10 GHz เคลื่อนที่ผ่านไปนั้นแทบไม่มีผลต่อความเร็วของการเคลื่อนที่ของคลื่นดังกล่าวแต่อย่างใดเพราะค่า dielectric constant ของตัวกลางที่กล่าวมาต่างจากอากาศปกติไม่มาก นี้ก็เป็นข้อดีอีกข้อหนึ่งกระมัง

TABLE
The Velocity of Sound and of Microwaves (Radar) Do Not Change the Same Amount as a Function of the Substance Through Which They Travel

Gas Composition	*Gas Temp in °C*	*Velocity at 1 Atmosphere*	
		*Radar in million meters/sec**	*Ultrasonic in meters/sec†*
Dry Air	0	299.91	331.8
	100	299.94	386.0
Water Vapor	100	299.10	404.8
Carbon Dioxide	0	299.85	259.0
	50	299.87	279.0
Ammonia	0	299.93	415.0
Acetone	0	297.64	223.0

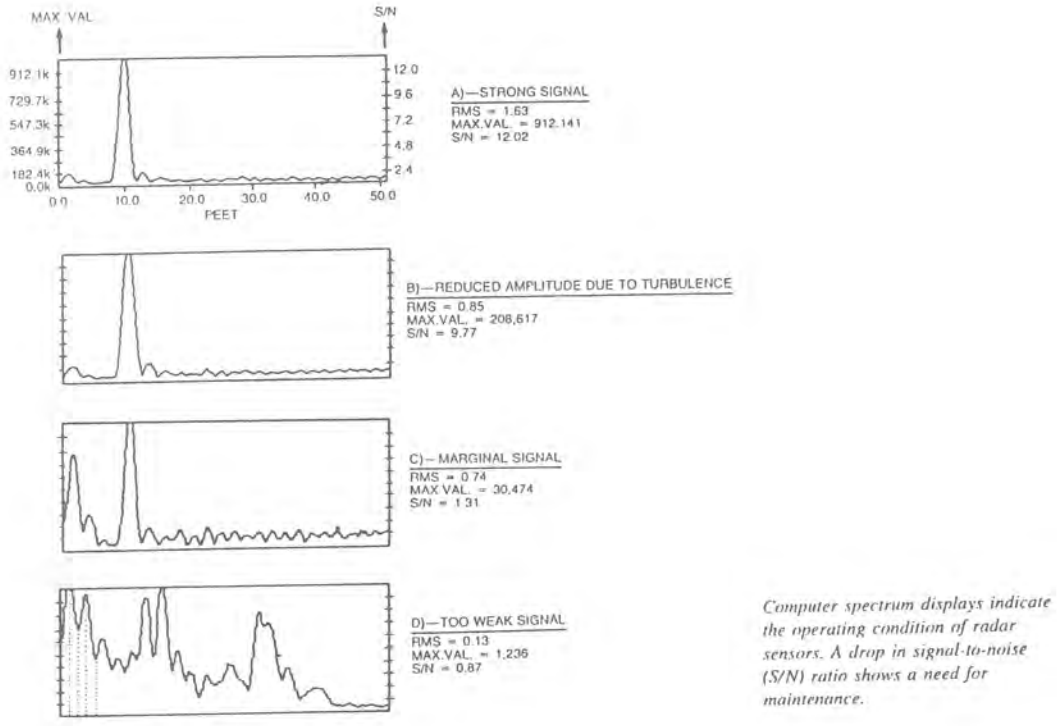
ตารางที่ 11.2 เปรียบเทียบความเร็วการเคลื่อนที่ของคลื่นเสียงและคลื่นไมโครเวฟ (เรดาร์) ผ่านตัวกลางชนิดต่างๆ

วิธีการประมวลผลสัญญาณและแสดงค่า (Signal Processing Method and Display)

ในสมัยแรกเริ่มนั้น Radar Level gauging ยังคงใช้เทคนิคการกรองสัญญาณแบบอนาล็อก (analog filtering) ในการจัดการความถี่ของสัญญาณ FM ภายหลังได้พัฒนามากขึ้นความสามารถของไมโครโพรเซสเซอร์เพิ่มมากขึ้น Radar Level gauging ในยุคต่อมาจึงนำสัญญาณเข้าตัวแปลงสัญญาณจากอนาล็อกเป็นดิจิตอล (Analog-to-digital converter) เพื่อสามารถนำสัญญาณหลังจากแปลงเป็นดิจิตอลไปประมวลผลต่อไป การใช้โมดุลทางคณิตศาสตร์แบบ Fourier transform เพื่อแปลงข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของสัญญาณ FM (FM signal amplitude) กับเวลา

(time) ไปเป็น amplitude กับ frequency และเปลี่ยนต่อไปเป็น amplitude กับ ระยะทาง เป็นขั้นตอนสุดท้ายเพื่อนำไปแสดงผล

ดังแสดงไว้ในรูปที่ 150 รูป A เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง amplitude กับ ระยะทาง แสดงให้ทราบว่า Radar Level gauging ทำงานปกติ ความสูงของสัญญาณสูงเด่นอันเดียวแสดงถึงสภาพระดับของเหลวภายในถังสำรอง



Computer spectrum displays indicate the operating condition of radar sensors. A drop in signal-to-noise (S/N) ratio shows a need for maintenance.

รูปที่ 150 ลักษณะคลื่นซึ่งเห็นในส่วนแสดงค่า แสดงสภาวะการทำงานของ Radar Level gauging

spectrum ของคลื่นที่แสดงในกราฟจะแสดงออกด้วยกัน 3 วิธีการคือ

- แบบค่า "RMS" คือ amplitude เฉลี่ยของคลื่นทั้งที่สะท้อนและรับด้วยจานสัญญาณ (antenna) แสดงค่าของ RMS เป็นค่า Volt RMS
- ตัวเลข Max. Val. คือ amplitude ของความถี่เด่น (dominant frequency) ที่รับได้
- S/N คือsignal-to-noise ratio มีค่าเท่ากับ ตัวเลข Max. Val. หารด้วย amplitude ของความถี่ที่ใหญ่รองลงมา (amplitude of the second biggest frequency) ที่รับได้

เมื่อระดับผิวหน้าของเหลวภายในถังสำรองสงบนิ่งไม่มีฟองปกคลุมผิวหน้าสัญญาณที่ส่งไปจะสะท้อนกลับมาจะแรงชัดเจน Radar Level gauging ประมวลผลและแสดงผลดังในรูปที่ 150 รูป A แต่เมื่อระดับผิวหน้าของเหลวภายในถังเริ่มปั่นป่วน ความแรงของสัญญาณ (amplitude) เริ่มลดลงดังในรูปที่ 150 รูป B แต่ส่วนแสดงค่าจะมีการปรับสเกลให้เหมาะสมจึงดูเหมือนความ

แรงของสัญญาณ (amplitude) สูงขึ้น ดูได้จากค่า RMS, Max. Val., และ S/N ล้วนมีค่าลดลง หากเจ้าหน้าที่ผู้เกี่ยวข้องทราบความหมายของค่าทั้ง 3 แล้วย่อมทราบว่า Radar Level gauging ยังคงทำงานปกติแต่อาจมีสิ่งผิดปกติเกิดขึ้น เช่น มีการเปิดตัวกวน (agitator) ภายในถังสำรองหรือไม่, มีการอัดของเหลวเข้าถังสำรองจากทางด้านบนถังสำรอง เนื่องจากอิทธิพลของความปั่นป่วนของระดับผิวหน้าของเหลวมีต่อความแรงของสัญญาณ (amplitude) ที่รับได้นั้นยากต่อการคาดหมายเพราะขึ้นอยู่ทั้งขนาดความสูงของคลื่นและความถี่ของคลื่นที่เกิดกับผิวหน้าของเหลวนั้นๆด้วย ปกติแล้ว Radar Level gauging ยังคงวัดระดับความสูงของเหลวได้อยู่แม้ผิวหน้าเกิดปั่นป่วนมีคลื่นอาจสูงถึง 1 เมตรก็ตาม ถึงอย่างไรก็ตามถึงแม้ amplitude ของสัญญาณลดลงแต่ก็ไม่มีผลอย่างใด เนื่องจากระยะทางหรือความสูงของเหลวขึ้นอยู่กับความถี่ของสัญญาณไม่ใช่ความแรงของสัญญาณ (amplitude) แต่เมื่อความแรงของสัญญาณ (amplitude) ลดลงเรื่อยจนมีค่าเท่ากับ amplitude of the noise แล้ว Radar Level gauging ประมวลผลและแสดงผลดังในรูปที่ 150 รูป C การวัดระดับของเหลวยังคงให้ผลความเที่ยงตรงอยู่ แต่ลักษณะของสัญญาณอย่างนี้เป็นตัวบ่งบอกให้เจ้าหน้าที่เกี่ยวข้องต้องพิจารณาตรวจสอบการทำงานและตัว Radar Level gauging เพราะอาจเป็นสาเหตุจากมีฟองบริเวณผิวหน้าของเหลวมากจนเกินไป หรือมีสิ่งสกปรกมาเคลือบบริเวณตรวจจับสัญญาณที่สะท้อนกลับมา หรืออาจเกิดจากการติดตั้งไม่ดีหรือซีลขาดทำให้ความชื้นซึมเข้ามาและจับตัวอยู่กับจาน (antenna)

สำหรับขอบเขตความสูงของฟองบริเวณผิวหน้าของเหลวที่ไม่รบกวนการทำงานของ Radar Level gauging นั้นประกอบด้วยปัจจัยหลายอย่างคือการนำไฟฟ้า (conductive foam),ความหนาของฟอง, ความหนาแน่นของฟอง เป็นต้น หากเป็นฟองที่ไม่นำไฟฟ้า (nonconductive foam) ฟองสามารถหนาได้ถึง 1.5 – 2 เมตร แต่ถ้าหากเป็นฟองที่มีน้ำผสม (water-base and conductive) เช่น ฟองเบียร์ ฟองสบู่ แล้วละก็ฟองไม่ควรหนาเกิน 15 – 30 ซม. ขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของฟองนั้นๆ ในส่วนของการที่มีสารมาเคลือบบริเวณตรวจจับสัญญาณที่สะท้อนกลับมาหรือจาน (antenna) หากตั้งอยู่บนสมมุติฐานของการทำงานของ Radar Level gauging ที่ใช้คลื่นย่านความถี่ช่วง microwave X-band ความถี่ ↑0 GHz แล้วหากสิ่งที่มาเคลือบไม่นำไฟฟ้า เช่น oil tar, wax อาจหนาได้ถึง 2.5 ซม. แต่ถ้าหากเป็นสารที่นำไฟฟ้า (conductive) อาจเคลือบหนาได้ไม่เกิน 3 มม.

เมื่อสัญญาณเกือบไม่สามารถแยกแยะอะไรได้ดังเช่นในรูปที่ 150 รูป D นั้นหมายถึงต้องซ่อมแซม Radar Level gauging แหละครับท่าน ไม่ควรใช้งานต่อไปเพราะอาจเสี่ยงต่อการปฏิบัติงาน เช่นการสูบอัดของเหลวเข้าถังสำรองเกินจนล้นถังหรือเกินระดับความสูงสุดที่ยอมรับได้ของถังสำรองนั้นๆ ลักษณะสัญญาณดังกล่าวอาจเกิดจากคลื่นผ่านและสะท้อนกลับเนื่องจากไปโดนกับใบพัดของตัวกวน (agitator) ดังนั้นในการติดตั้งจาน (antenna) จึงแนะนำให้ติดตั้งข้างผนังถังสำรองโดยควรห่างจากผนังถังประมาณ 30 ซม. นอกจากนี้อาจเกิดจากระดับของเหลวภายในถังสำรองต่ำมากจนเกินไปทำให้มีการสะท้อนของคลื่นระหว่างพื้นถังและผนังถังวุ่นวายกันไปหมด ดังนั้นหากเราติดตั้ง Radar Level gauging แทนมาตรวัดความยาวอัตโนมัติสำหรับวัดความสูงระดับของเหลวภายในถังสำรองแบบกลไกเดิมก็อาจยังคงใช้ dip plate ไว้ก็นับว่าดีเหมือนกัน สาเหตุสุดท้ายแต่ไม่ท้ายสุดอาจเกิดจากชิ้นส่วนอิเล็คทรอเจ่งอีกแล้วครับท่าน เป็นเรื่องน่าเบื่อที่ต้องเกี่ยวข้องกับชิ้นส่วนอิเล็คทรอนิค ซึ่งมักมีปัญหากับเรื่องอุณหภูมิที่ใช้งานและอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม ในขณะที่ประเทศไทยอุณหภูมิกลางแจ้งซึ่งค่อนข้างสูง ก็เป็นเรื่องน่าคิด

การเลือกจานรับส่งสัญญาณ (Antenna selection)

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของจานรับส่งสัญญาณ (antenna) เป็นตัวกำหนดความแรงของสัญญาณ (signal strength) และมุมการแผ่กระจายของลำสัญญาณ (divergence angle of signal beam) ดังนั้นพอสรุปความสัมพันธ์ของปัจจัยทั้ง 3 นี้ได้

$$D_{antenna} \propto \frac{\text{Signal Strength}^4}{\text{Divergence Angle}}$$

ยกตัวอย่างเช่น ที่กำลังส่งสัญญาณหนึ่ง ใช้จานรับส่งสัญญาณรูปพาราโบรา (parabolic dish) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของจานรับส่งสัญญาณ (antenna) เท่ากับ 30 ซม. จะมีความเข้มของสัญญาณมากกว่าจานรับส่งสัญญาณรูปแตร (horn antenna) ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของจานรับส่งสัญญาณเท่ากับ 10 ซม. เป็นจำนวน 81 เท่า ($(30/10)^4 = 81$) ในขณะที่จานรับส่งสัญญาณรูปพาราโบราขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของจานรับส่งสัญญาณเท่ากับ 30 ซม. มีมุมการแผ่กระจายของลำสัญญาณเท่ากับ 5 องศา แต่จานรับส่งสัญญาณรูปแตร (horn antenna) ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของจานรับส่งสัญญาณเท่ากับ 10 ซม. มีมุมการแผ่กระจายของลำสัญญาณเท่ากับ 15 องศา (5 องศา*(30/10))

การที่จานรับส่งสัญญาณ (antenna)มีมุมการแผ่กระจายของลำสัญญาณ (divergence angle of signal beam) เพิ่มมากขึ้น นั้นมีข้อดีและข้อเสียที่ต้องพิจารณาด้วยเช่นกัน ข้อดีของการที่มีมุมการแผ่ของลำสัญญาณกว้างก็คือลดปัญหาในการติดตั้งจานรับส่งสัญญาณเนื่องจากลำสัญญาณที่สะท้อนกลับมานั้นมีโอกาสสูงที่สะท้อนกลับมายังจานรับส่งสัญญาณได้อย่างเต็มที่แน่ชัด โดยเฉพาะหากพื้นผิวหน้าของเหลวภายในถังสำรองเกิดการปั่นป่วนมากก็ยังให้ผลการสะท้อนกลับของสัญญาณที่ยังแรงและชัดเจนเช่นเดิม สำหรับข้อเสียของการที่มีมุมการแผ่กระจายของลำสัญญาณกว้างมากก็คือสัญญาณครอบคลุมพื้นที่กว้างมากดังนั้นอาจมีโลหะที่มีลักษณะเป็นแผ่นราบเรียบสะท้อนสัญญาณกลับไปรบกวนไปยังจานรับส่งสัญญาณซึ่งเป็นเรื่องที่ต้องใคร่ครวญปัญหาที่ตามมาเช่นกันแต่สามารถแก้ไขปัญหาดังกล่าวด้วยการเปลี่ยนตำแหน่งการติดตั้งจานรับส่งสัญญาณหรือทำการติดตั้งจานรับส่งสัญญาณเข้าภายในท่อ still pipe หรืออาจทำการเปลี่ยนจานรับส่งสัญญาณให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่มากขึ้นและมีมุมการแผ่กระจายของลำสัญญาณแคบลง นอกจากนี้ยังมีข้อเสียในเรื่องการให้ผลการวัดที่ผิดพลาดโดยจะให้ผลการวัดระดับของเหลวต่ำกว่าที่ควรเป็นเนื่องจากการที่มีคลื่นบางส่วนที่กระจายออกไปกว้างและไกลกว้างอาจสะท้อนคลื่นสัญญาณกลับมาเนื่องจากการปั่นป่วนของผิวหน้าของเหลวซึ่งจะกลับมาด้วยระยะเวลาที่นานกว่านั้นหมายถึงมีระยะทางไกลกว่าความเป็นจริง

การเพิ่มความเข้มสัญญาณของจานรับส่งสัญญาณให้มากขึ้นช่วยแก้ไขปัญหากับการวัดของเหลวภายในถังที่มีปัจจัยต่างๆที่ลดการสะท้อนกลับของสัญญาณ เช่นในกรณีวัดระดับของน้ำส้มที่ทำการผสมด้วยอุณหภูมิต่ำภายในถังสำรองขนาดใหญ่รูปทรงแนวตั้ง เราพบว่ามีปัจจัยที่มีผลต่อการสะท้อนกลับของสัญญาณด้วยกัน 3 ปัจจัยคือการเกิดการควบแน่นมีไอน้ำบริเวณจาน (antenna) ซึ่งมีตัวตรวจจับสัญญาณ เนื่องจากภายในถังดังกล่าวมีอุณหภูมิต่ำ, ปัจจัยต่อมาคือเกิดการปั่นป่วนของผิวหน้าของน้ำส้มที่กำลังผสมกันอยู่สูงมากถึง 60 ซม. เนื่องจากตัวกวน (agitator) ภายในถังผสมยังคงทำงาน ปัจจัยสุดท้ายก็คือมีฟองอยู่เหนือผิวหน้าของน้ำส้มเนื่องจากมีการปล่อยส่วนผสมเข้าภายในถังสำรอง ซึ่งฟองดังกล่าวมีส่วนประกอบเป็นน้ำผสมอยู่ ดังนั้นฟองดัง

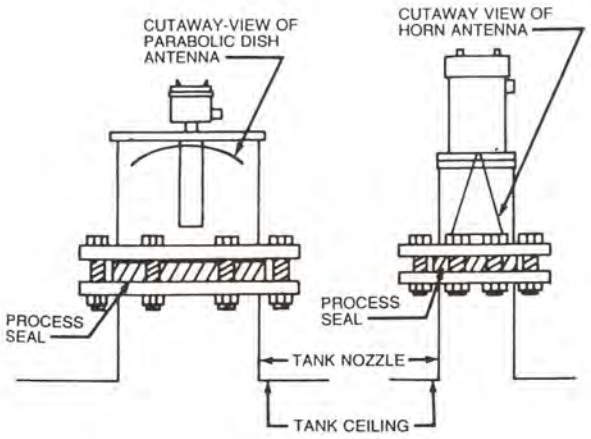
กล่าวจึงเป็นฟองที่นำไฟฟ้า (conductive foam) จากสภาพเงื่อนไขและข้อจำกัดของลักษณะการจัดเก็บของเหลวและการทำงานนั้นการเลือกจานรับส่งสัญญาณที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่จึงช่วยลดปัญหาในส่วนดังกล่าวได้ผลและมั่นใจกว่าควบคู่กับการเพิ่มความเข้มสัญญาณ

การเลือกวิธีการติดตั้งจานรับส่งสัญญาณ (Antenna Mounting Choices)

เนื่องจากคลื่นเรดาร์ไม่สามารถทะลุทะลวงผนังที่เป็นโลหะแต่สามารถทะลุทะลวงวัสดุที่มีค่า dielectric ต่ำ (low-dielectric material) เช่นพลาสติก, ไฟเบอร์กลาส, เซรามิคบางชนิด และแก้ว เป็นต้น ด้วยเหตุนี้จึงทำให้จานรับส่งสัญญาณจึงมีอยู่ด้วยกัน 2 รูปแบบคือ

1) **แบบ radar antenna exposed to tank vapor** คือเป็นแบบที่ติดตั้งอยู่บนส่วนของหลังคาถัง บริเวณหน้าแปลนติดตั้งซีลจะอยู่ในแนวที่เลยขึ้นมาเหนือกับจานรับส่งสัญญาณ ทำให้จานรับส่งสัญญาณสัมผัสกับบรรยากาศภายในถังสำรองโดยตรง ดูรูปที่ 141

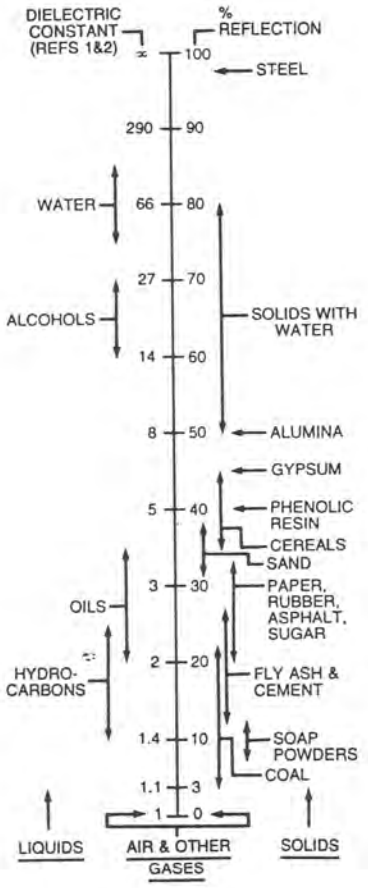
2) **แบบ fully isolated radar antenna** จานรับส่งสัญญาณจะถูกติดตั้งอยู่เหนือ process seal ในรูปที่ 151 ดังนั้นจึงถูกแยกขาดจากการสัมผัสบรรยากาศภายในถังสำรองอย่างสิ้นเชิง การแผ่ส่งสัญญาณและรับสัญญาณกลับมานั้นเกิดขึ้นโดยสัญญาณสามารถผ่านซีลดังกล่าวได้เนื่องจากทำด้วยวัสดุชนิด low-dielectric material มาตรวัดความยาวแบบอัตโนมัติชนิดนี้จึงเหมาะกับงานที่ต้องการวัดระดับของเหลวภายในถังบ่อเกรอะ (sanitary vessel) หรือถังที่บรรจุสารเคมีที่อันตรายหรือมีการกัดกร่อนสูง เนื่องจากการติดตั้งจานรับส่งสัญญาณแบบนี้สามารถวัดระดับของเหลวภายในถังโดยไม่ต้องเปิดฝาถังสำรองและแม้แต่ในขั้นตอนการซ่อมบำรุงก็ไม่จำเป็นต้องทำการเปิดถังสำรองแต่อย่างใด แต่ที่ต้องระมัดระวังในการติดตั้งจานรับส่งสัญญาณแบบนี้ก็คือซีลที่ใช้ต้องไม่เป็นที่รวมหรือเก็บของการควบแน่นของน้ำหรือไอน้ำแต่อย่างใดเพราะจะทำให้ผลการวัดผิดผลาดได้เช่นกัน ในวงการอาหารที่ต้องการความสะอาดสูงการเลือกใช้มาตรวัดความยาวแบบอัตโนมัติซึ่งมีการติดตั้งจานรับส่งสัญญาณแบบดังกล่าวนี้ก็นับว่าน่าสนใจมากที่เดียว การเลือกซีลที่เหมาะสมกับระดับความสะอาดสูงเช่นนี้ได้แก่ จำพวก TFE (Teflon), polypropylene, polycarbonate, polyetherimide (Ultem), polyphenyelene sulfide (Ryton) และ PVDF (Kynar) เป็นต้น



Isolated radar antenna mounting.

รูปที่ 151 การติดตั้ง Radar Level gauging โดยแยกขาดออกจากสภาวะภายในถังสำรอง

การที่ติดตั้งจานรับส่งสัญญาณบนหน้าแปลนบนหลังคาถังสำรอง ต้องตรวจสอบสภาพของหน้าแปลนว่าอยู่ในแนวระดับที่ถูกต้องเมื่อติดตั้งจานรับส่งสัญญาณและอุปกรณ์ทั้งหมดแล้วจานรับส่งสัญญาณต้องตั้งฉากกับระดับของเหลวภายในถังสำรอง



Microwave reflection characteristics.

รูปที่ 151-1 ค่า dielectric constant ของวัสดุบางชนิด

การเลือกอุปกรณ์และระบบอิเล็คทรอนิค (Electronics and System Choices)

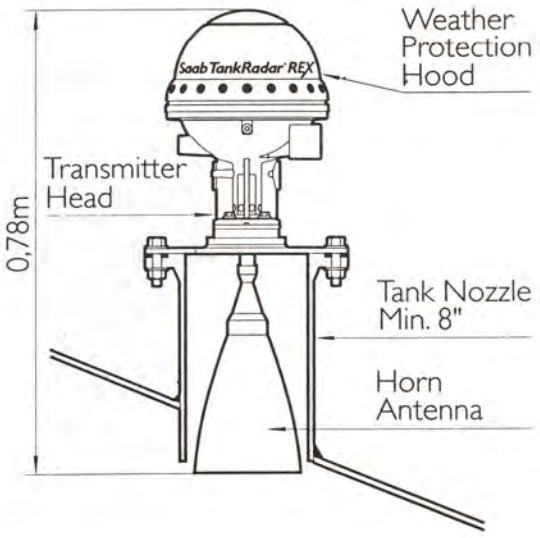
สำหรับมาตรวัดความยาวแบบอัตโนมัติ (radar transmitters) ที่ใช้เพื่อการตรวจสอบสภาวะภายในถังสำรองและเพื่อการควบคุมในขบวนการผลิต ปกติแล้วจะให้สัญญาณด้านทางออกไปจากตัวมาตรวัดความยาวแบบอัตโนมัติประมาณตั้งแต่ 1 ถึง 20 mA output ส่วนมาตรวัดความยาวแบบอัตโนมัติที่ใช้งานกับลานถังส่วนใหญ่จะเป็นระบบ isolated data highway output

การใช้งานกับถังสำรองชนิด Fixed roof tank

การติดตั้ง Radar Level gauging ควรติดตั้งบริเวณใกล้ผนังถังสำรองเนื่องจากบริเวณบนหลังคาที่ยิ่งห่างออกไปจากผนังถังสำรองชนิดนี้ยิ่งมากเท่าไรยิ่งไม่แข็งแรงมั่นคงมีการสั่นไหวขึ้นลง

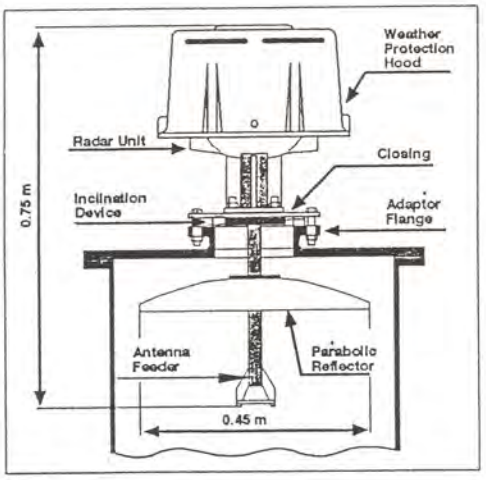
เมื่อเจ้าหน้าที่เดินบนอยู่บนหลังคา หรือเมื่อลมพัดแรงๆ แต่ปัญหาที่ตามมาก็คืออาจมีโครงสร้างที่ยื่นออกมาจากผนังถังขว้างการเดินทางของคลื่นสัญญาณที่ส่งไปและสะท้อนกลับมา อีกทั้งคลื่นอาจมีการสะท้อนกระทบกับผนังถังก่อให้เกิดการแทรกซ้อน (interference) ของคลื่นได้ แต่แก้ปัญหาด้วยการเลือกจานรับส่งสัญญาณ (antenna) ที่ให้มุมการแผ่กระจายของลำสัญญาณ (divergence angle of signal beam)ที่แคบลง ทำให้โครงสร้างที่ยื่นออกมาจากผนังถังขว้างการเดินทางของคลื่นสัญญาณถูกมองข้ามไปและไม่มีผลต่อการส่งและสะท้อนกลับของสัญญาณเรดาร์แต่อย่างใดอีกต่อไป

Horn Antenna Gauge

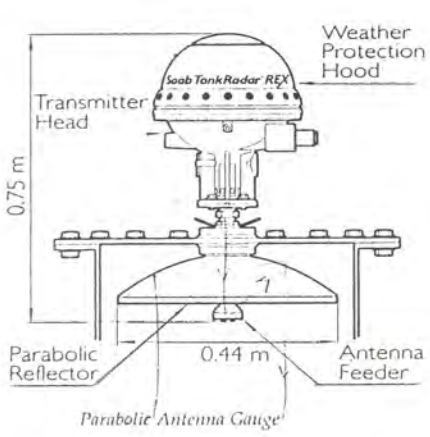


รูปที่ 152 ลักษณะและรูปแบบ Radar Level gauging ชนิด horn antenna พร้อมลักษณะการติดตั้ง

ดังนั้นการเลือกจานรับส่งสัญญาณที่ให้มุมการแผ่กระจายของลำสัญญาณที่แคบ ได้แก่จานรับส่งสัญญาณที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ใหญ่ อีกทั้งจานรับส่งสัญญาณยังคงสามารถรับสัญญาณที่สะท้อนกลับมาได้ดีอีกด้วย บางบริษัทจะแนะนำให้จานรับส่งสัญญาณมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง18 นิ้ว หรือ 45 ซม.ด้วยช่วงความถี่ 10 GHz ดังแสดงในรูปที่ 153 การเลือกจานรับส่งสัญญาณที่มีขนาดเล็กลงสามารถกระทำได้หากมีการเพิ่มความเข้มของสัญญาณให้ความถี่สูงขึ้นเพื่อให้ได้สมรรถนะเท่าเดิม แต่ความถี่ที่เพิ่มขึ้นไม่ควรเกิน 24 GHz เนื่องจากที่ความถี่ดังกล่าวจะไวต่อน้ำสูงมาก เช่นหากมีน้ำมาจับอยู่ที่จานรับส่งสัญญาณก็จะให้ผลการวัดที่ผิดพลาดได้ทีเดียว

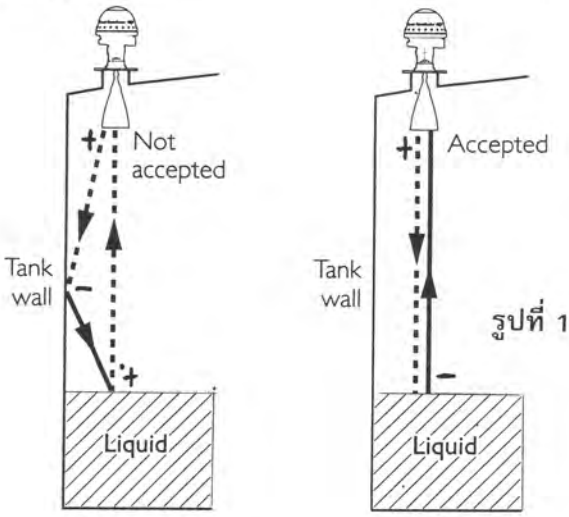


รูปที่ 153 Radar Level gauging ชนิด parabolic antenna

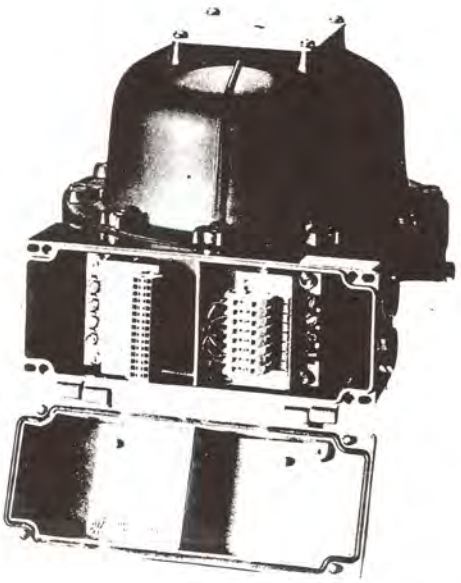


รูปที่ 154 Radar Level gauging ชนิด parabolic antenna

หากมีข้อจำกัดต้องเลือกจานรับส่งสัญญาณให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กลงกว่าจานรับส่งสัญญาณขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง18 นิ้ว หรือ 45 ซม. แล้วปัญหาของการที่คลื่นที่ส่งออกไปแล้วกระทบกับผนังถังก่อนจากนั้นจึงสะท้อนไปกระทบกับผิวหน้าของเหลวก่อนสะท้อนกลับไปยังจานรับส่งสัญญาณทำให้มีการแทรกซ้อนของสัญญาณซึ่งอาจทำให้เกิดการประเมินผลผิดพลาดได้ จำเป็นต้องนำเทคนิคที่เรียกว่า "polarizing microwaves" เข้ามาช่วย โดยมีหลักการทำงาน คือ คลื่นไมโครเวฟจะถูกทำให้เป็นขั้วบวกหรือขั้วลบก่อนที่ปล่อยออกมาจากตัวส่งสัญญาณเรดาร์ (polarized radar transmitter) เรียกว่า polarized microwave เมื่อ polarized microwave ไปกระทบกับผนังถังคลื่นดังกล่าวจะมีการเปลี่ยนขั้วไปและจะมีการเปลี่ยนขั้วไปทุกครั้งที่ไปกระทบกับผนังหรือผิวของเหลวก็ตาม ยกตัวอย่างเช่น ตัวส่งสัญญาณเรดาร์ (polarized radar transmitter) ด้วยไมโครเวฟออกมาด้วยขั้ว "+" เมื่อคลื่นกระทบกับผนังถังคลื่นจะเปลี่ยนเป็นขั้ว "–" และเมื่อคลื่นกระทบกับระดับผิวของเหลวก็จะถูกเปลี่ยนกลับเป็นขั้ว "+" และกลับไปยังตัวรับสัญญาณเรดาร์ (polarized radar receiver) ตัวรับสัญญาณจะไม่นับหรือรับ polarized microwave ที่เป็นขั้วต่างกับขั้วที่ส่งออกไปครับ ดูรูปที่ 155



รูปที่ 155 แสดงเทคนิค polarizing microwaves

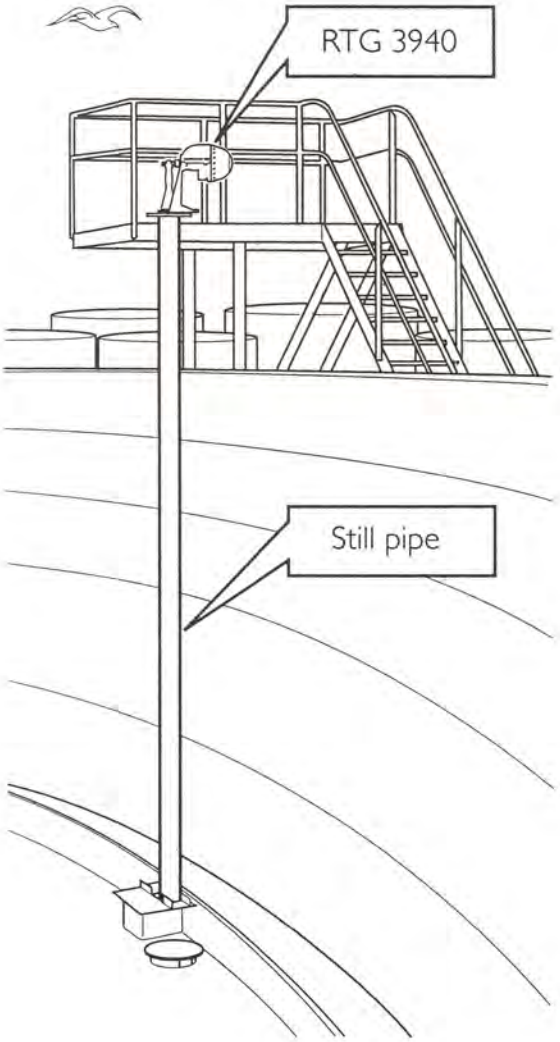


รูปที่ 156 Transmitter Head

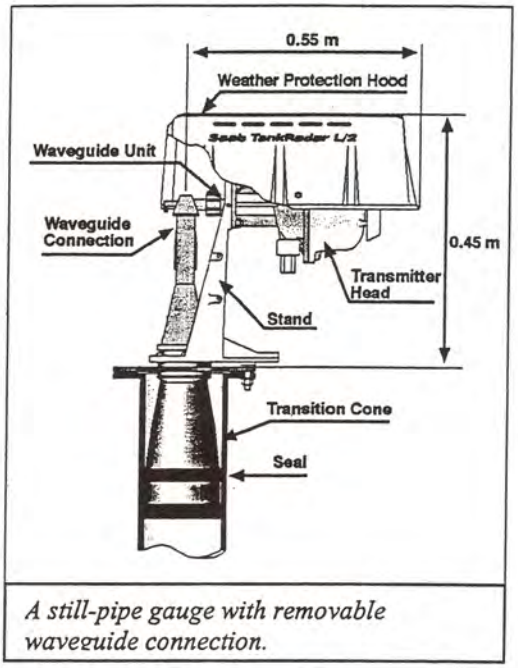
Transmitter Head with optional junction box for cable

การใช้งานกับถังสำรองชนิด floating roof tank กับชนิดผสมกันคือ floating roof tank กับ Fixed roof tank

เลือกจานรับส่งสัญญาณ (antenna) ที่ให้มุมการแผ่กระจายของลำสัญญาณ (divergence angle of signal beam)ที่กว้าง แบบ cone ปกติจะติดตั้ง Radar Level gauging เข้ากับ still pipe ที่มีอยู่เดิมดังแสดงในรูปที่ 157 และควรเลือกใช้ "low-lose mode" ดังแสดงในรูปที่ 160 เพื่อป้องกันปัญหาของการตกค้างของสิ่งสกปรก (wax, sediment and rust)ภายในท่อ still pipe ดังกล่าว รวมทั้งการเอียงของท่อ still pipe อีกด้วย ซึ่งจากปัจจัยดังกล่าวจะไปมีผลต่อการตกกระทบและการเคลื่อนที่ของคลื่นเรดาร์ ซึ่งปกติแล้วคลื่นเรดาร์จะส่งคลื่นออกเป็น "linear mode" ทำให้คลื่นเรดาร์มีการกระทบแบบซิกแซกกับผนัง still pipe ตลอดระยะตามความยาวของท่อ ดังนั้นหากมีสนิมหรือสิ่งสกปรกติดอยู่กับผนังท่อจะมีผลต่อความแม่นยำในการวัดระดับของเหลว การแก้ปัญหาให้ Radar Level gauging ทำงานด้วย "low-lose mode" จะเป็นการส่งสัญญาณผ่าน still pipeลักษณะเป็นวงกลมและจะอยู่บริเวณใจกลางของท่อด้วยเหตุนี้คลื่นเรดาร์จึงไม่กระทบกับผนัง still pipe แต่อย่างใด (ดูรูปที่ 161) still pipe ยังมีประโยชน์อีกอย่างหนึ่งก็คือหากผิวหน้าระดับของเหลวเกิดปั่นป่วนก็จะช่วยลดความปั่นป่วนภายในท่อได้เช่นกัน



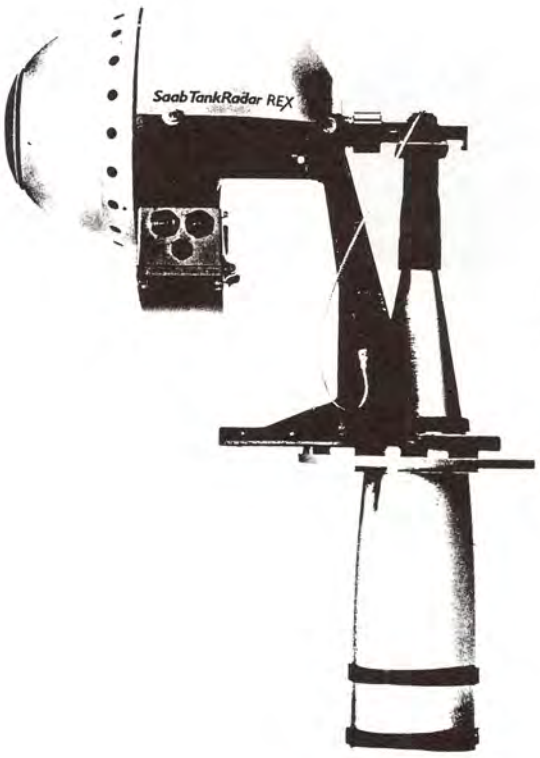
รูปที่ 157 รูปแสดงการติดตั้ง Radar Level gauging กับ still pipe

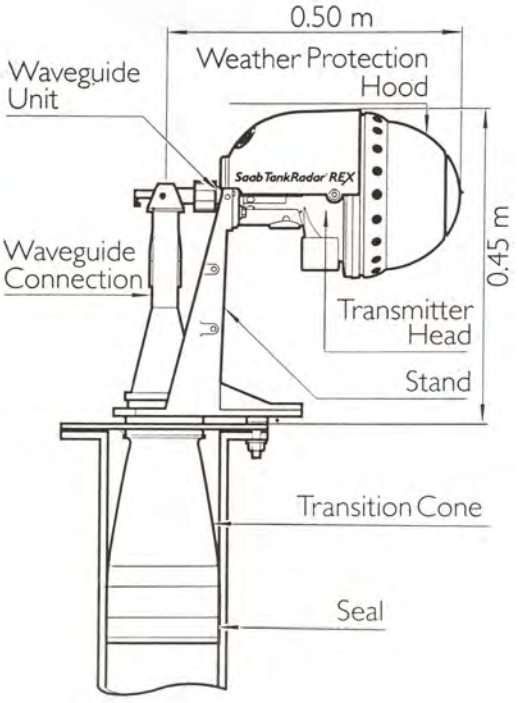


A still-pipe gauge with removable waveguide connection.

รูปที่ 158 มุมมองใกล้ๆ สำหรับการติดตั้ง Radar Level gauging กับ still pipe

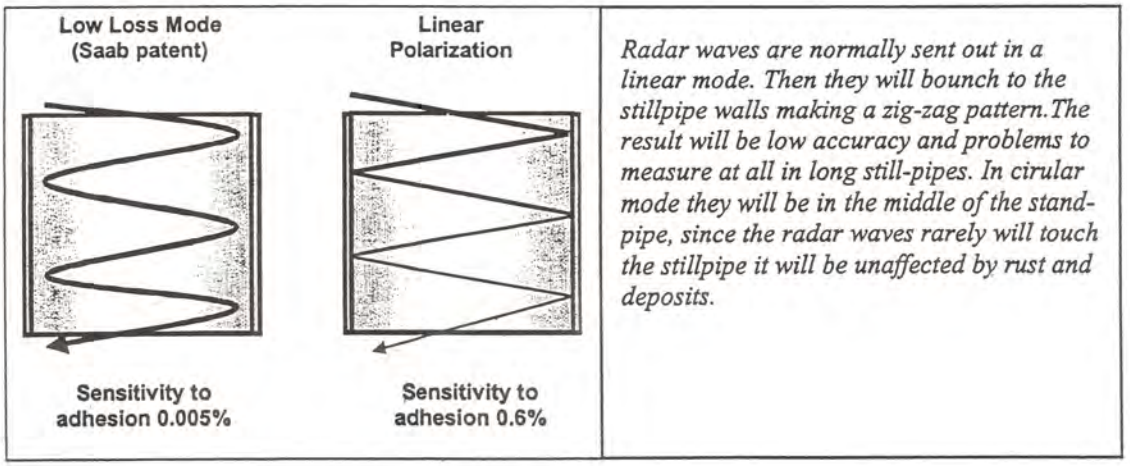
Still Pipe Gauge



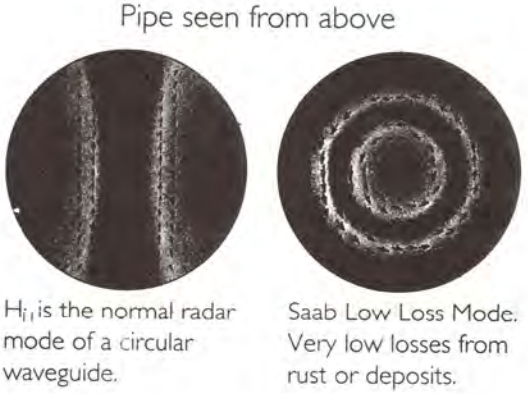


Still Pipe Gauge.

รูปที่ 159 Radar Level gauging ชนิดติดตั้งกับ still pipe



รูปที่ 160 แสดงลักษณะการทำงานในโหมด "low-lose mode"



รูปที่ 161 แสดงลักษณะการทำงานในโหมด "low-lose mode" มองจากด้านตัด still pipe

เปรียบเทียบความแม่นยำถูกต้อง

เรามาดูความต้องการสมรรถนะของ Radar Level gauging ของแต่ละประเทศและแต่ละมาตรฐานระหว่างประเทศระดับสากล พบว่าอาจมีข้อแตกต่างกันบางแต่ไม่ถึงกับมีความแตกต่างกันโดยสิ้นเชิง ซึ่งพอสรุปได้เป็นตารางดังต่อไปนี้

ตารางที่ 11.3 ตารางเปรียบเทียบผลผิดที่ยอมให้ได้ของ ALG ของแต่ละประเทศและมาตรฐานสากล

Country	Institute/ international organization	Accuracy in Laboratory♣	Accuracy after installation with tank
Germany	PTB	1 mm	2 mm
Netherlands	NMI	<2.1+0.1×h mm Min. of 2.6 mm h = tank height in meter	<2.2+0.2×h mm Min. of 3.2 mm h = tank height in meter
France	SIM/Driere	1 mm	4 mm
Belgium	BMS	<0.02% of tank height Min. of 2 mm	<0.04% of tank height Min. of 3 mm
Norway	NM	<0.02% of tank height Min. of 2 mm	<0.04% of tank height Min. of 3 mm
	OIML, R85	<0.02% of tank height Min. of 2 mm	<0.04% of tank height Min. of 3 mm
	API, Ch31B	1/16 inch	1/8 inch (3 mm)
	ISO 4266	1 mm	4 mm

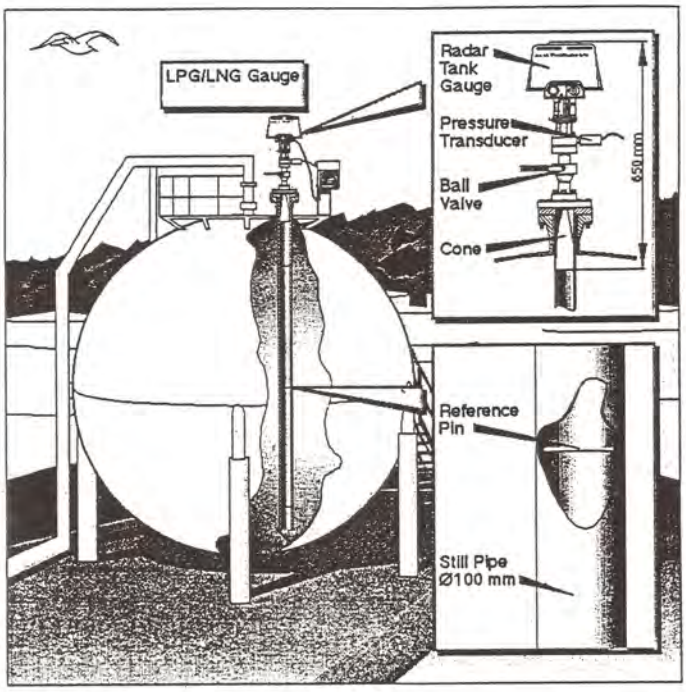
♣ Only ALG (without installation with tank)

บทสรุป

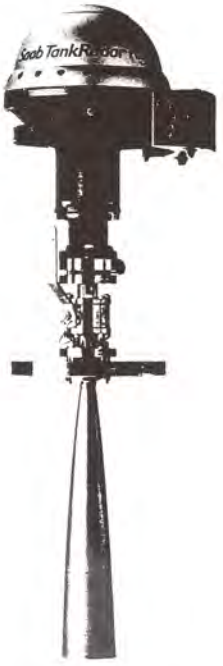
เนื่องจากมาตรวัดความยาวแบบอัตโนมัติชนิดเรดาร์นี้เป็นเทคนิคที่มีการทำงานแพงมาก ดังนั้นหากของเหลวภายในถังสำรองขนาดใหญ่รูปทรงแนวตั้งเป็นของเหลวที่สะอาดและมาตรวัดความยาวแบบอัตโนมัติแบบอื่นๆยังคงสามารถใช้งานได้และให้ผลการวัดระดับที่ยังคงถูกต้องและน่าเชื่อถืออยู่ภายในขอบเขตที่ยอมรับได้ ก็ไม่ควรเลือกใช้มาตรวัดความยาวแบบอัตโนมัติชนิดเรดาร์นี้เลยน่ะครับ แต่ถ้าเปรียบเทียบกับมาตรวัดความยาวแบบอัตโนมัติแบบเดิมๆแล้วไม่แพงกว่าหรือต้องใช้กับงานที่อาจก่อให้เกิดอันตรายกับผู้ปฏิบัติงานกับถังสำรองที่มีพิษ กรดด่างสูงหรือสกปรกมาเกินไปเช่นถังเก็บสิ่งปฏิกูล การบำรุงรักษาและการตรวจสอบให้คำรับรองมีราคาแพงแล้วการเลือกใช้มาตรวัดความยาวแบบอัตโนมัติชนิดเรดาร์ถือว่าเหมาะสม ถือว่าเป็นความคิดเห็นก็แล้วกันน่ะครับ

Radar Level gauging มีข้อดีคือ

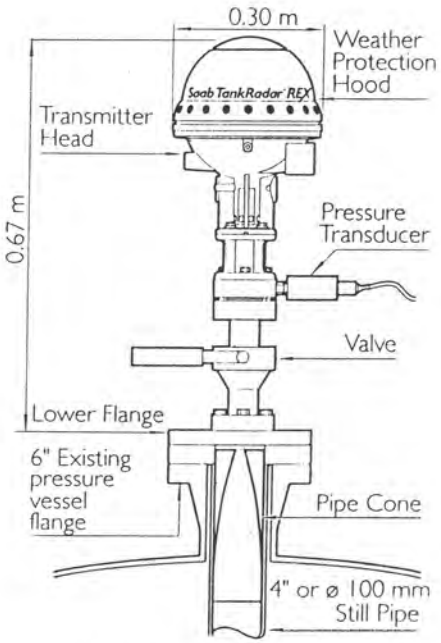
- ความแม่นยำสูงและมีค่าความสามารถในการทำซ้ำได้คงที่ในช่วงระยะเวลาที่ยาวนานกว่าสำหรับช่วงการวัดตั้งแต่ 1.5 เมตรถึง 60 เมตร
- ไม่มีส่วนใดสัมผัสกับของเหลวที่ต้องการวัดระดับ
- ชิ้นส่วนจะประกอบด้วย solid-state sensing ซึ่งไม่มีส่วนที่เป็นกลไกที่เคลื่อนที่ซึ่งอาจสึกหรอเมื่อเวลาใช้งานไประยะเวลาหนึ่ง



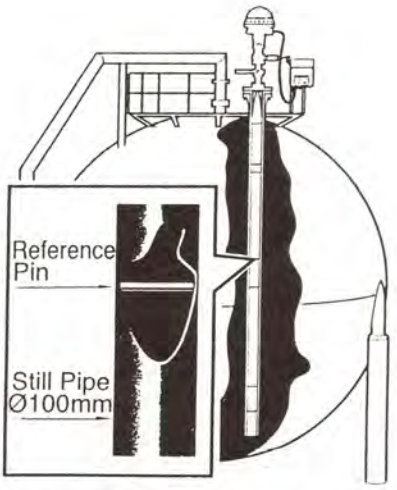
LPG Gauge



รูปที่ 162 การติดตั้ง Radar Level gauging กับ still pipe กับถังสำรองความดันสูง



LPG Gauge



The reference pins mounted inside the 4" still-pipe enable the measurement to be checked during operation.

รูปที่ 163 การติดตั้ง Radar Level gauging ใช้งานกับถังความดันสูงจัดเก็บ LPG โดยมี reference pin เพื่อใช้ในการสอบเทียบ ALG

- การติดตั้งจานรับสัญญาณ (antenna) สามารถเลือกได้หลายรูปแบบ คือติดตั้งภายนอกถังสำรอง, ภายในถังสำรอง,และภายในถังสำรองแต่แยกออกจากการสัมผัสบรรยากาศของเหลวภายในถังสำรอง ซึ่งเลือกได้ตามความเหมาะสมของความต้องการและความปลอดภัยในการปฏิบัติงาน
- ไม่ต้องทำการสอบเทียบหรือปรับแต่ง Radar Level gauging เมื่อสภาวะของถังสำรองเปลี่ยนแปลงเช่นเปลี่ยนชนิดของเหลวภายในถังสำรอง เพราะการประมวลผลอิเล็คทรอนิคของ frequency-modulated (FM) จะไม่มีการ drift
- สามารถยังคงให้ผลการวัดที่ถูกต้อง หากจานรับส่งสัญญาณถูกเคลือบด้วยสิ่งสกปรกได้หนาระดับหนึ่ง, เกิดการปั่นป่วนของผิวหน้าของเหลวภายในถังสำรอง, หรือการ

เกิดฟองบนผิวหน้าของเหลว ได้ดีกว่ามาตรวัดความยาวแบบอัตโนมัติชนิด ultrasonic หรือ laser

- ไม่เหมาะสมกับการวัดระดับของแข็งที่เป็นเม็ดเล็กๆ

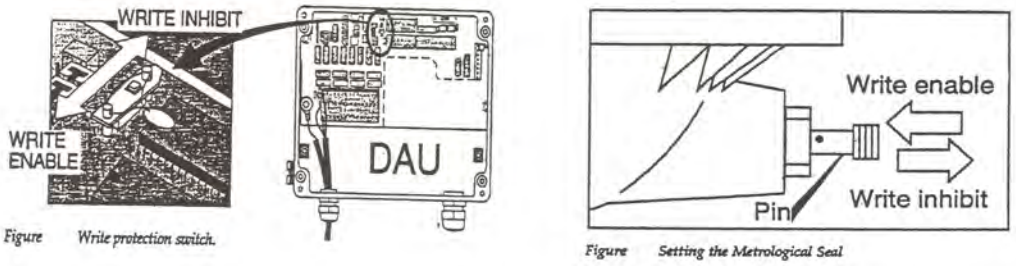
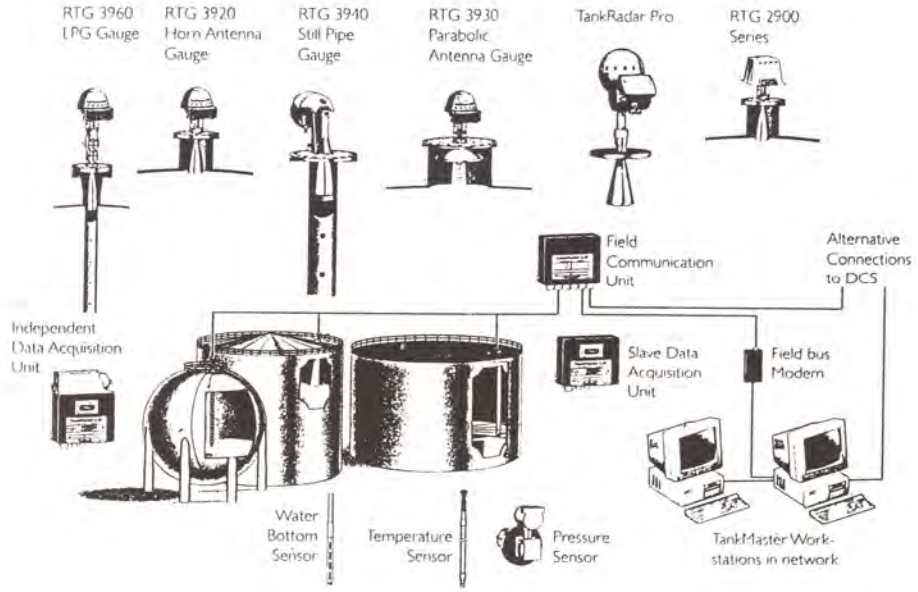


Figure *Write protection switch.*

Figure *Setting the Metrological Seal*

รูปที่ 164 การติดตั้งสวิตช์ และ pin เพื่อป้องการการปรับแต่งแก้ไขหลังจากสอบเทียบ ALG



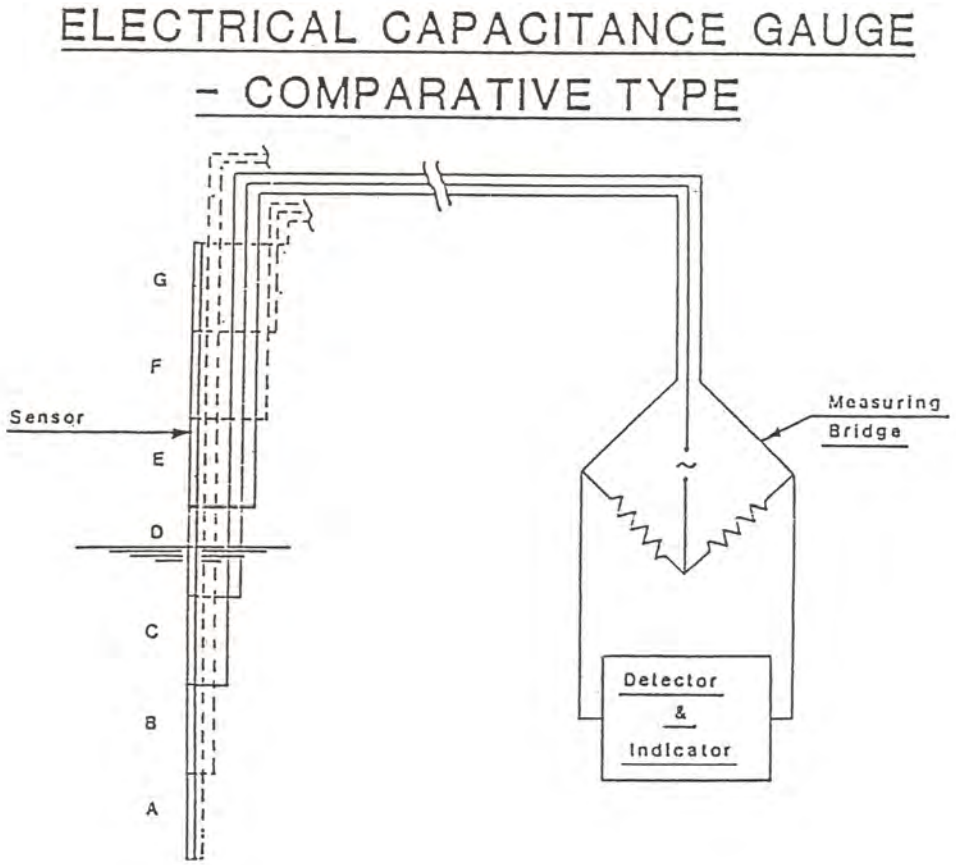
System Integration

รูปที่ 165 ตัวอย่างระบบการจัดการและความสะดวกในการบริหารลานถัง

ด้วยการนำเอา ALG มาใช้งาน

4. Electrical capacitance level gauges

หลักการทำงานของ ALG ชนิดนี้อยู่บนพื้นฐานความจริงทางฟิสิกส์ที่ว่า ค่าความจุของประจุไฟฟ้า (electrical capacitance) ระหว่าง 2 แท่งตัวนำ (electrodes) จะแปรเปลี่ยนตาม dielectric constant ของวัสดุที่อยู่ระหว่างแท่งตัวนำทั้ง 2 ดังนั้นในระบบการวัดระดับของเหลวอย่างต่อเนื่องจึงเป็นการเปรียบเทียบค่า capacitance ของ ตัวนำที่จุ่มอยู่กับของเหลวบางส่วนเทียบกับค่า capacitance ของ ตัวนำที่เหมือนกันจุ่มในของเหลวตลอดช่วงความสูงทั้งหมดของของเหลวภายในถังสำรอง ด้วยการใช้วงจรไฟฟ้า (bridge circuit) ดูรูปที่ 166



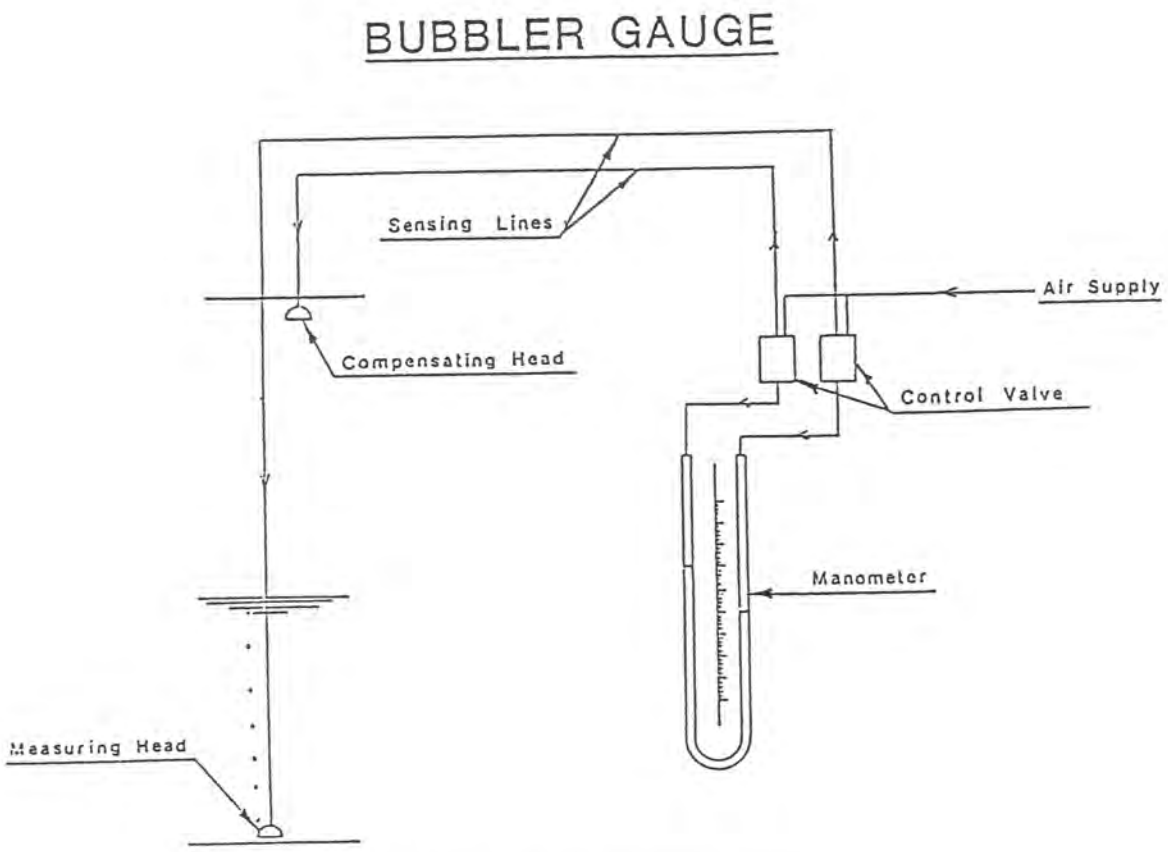
รูปที่ 166 ALG ชนิด Electrical capacitance level gauge

5. Bubbler gauges

มีหลักการทำงาน ความดันเนื่องจากระดับความสูง (head pressure) ของของเหลวที่ทราบค่าความหนาแน่นสามารถหาได้จากการวัดค่าความดันย้อนกลับ (back pressure) ที่เกิดจากการอัดก๊าซที่ไม่ทำปฏิกริยากับของเหลวที่ต้องการวัดเข้าไป ณ ตำแหน่งที่กำหนดภายในถังสำรอง โดยรักษาความดันในการอัดก๊าซเพื่อให้อัตราการไหลของก๊าซ (gas flow rate)คงที่ตลอดช่วงระยะการเปลี่ยนแปลงระดับความสูง ค่าความดันย้อนกลับ (back pressure) ที่วัดได้จะถูกแปลงเปลี่ยนค่าระดับความสูง ส่วนมากใช้ manometer ในการวัดค่าความดันย้อนกลับดังกล่าว

สิ่งที่พึงต้องระวังเกี่ยวกับตัว manometer นั้นต้องได้รับการสอบเทียบและได้รับการชดเชยค่าความดันเนื่องจากความดันไอบริเวณเหนือระดับของเหลวภายในถังสำรอง ดูรูปที่ 167

ดังนั้นหากความหนาแน่นของเหลวภายในถังสำรองมีค่าเปลี่ยนแปลงตามระดับความสูงของเหลว การหาวิธีการปรับแก้ไขค่าก็จำเป็นมากขึ้น หากไม่มีค่าความถูกต้องก็มีค่าผิดพลาดสูง



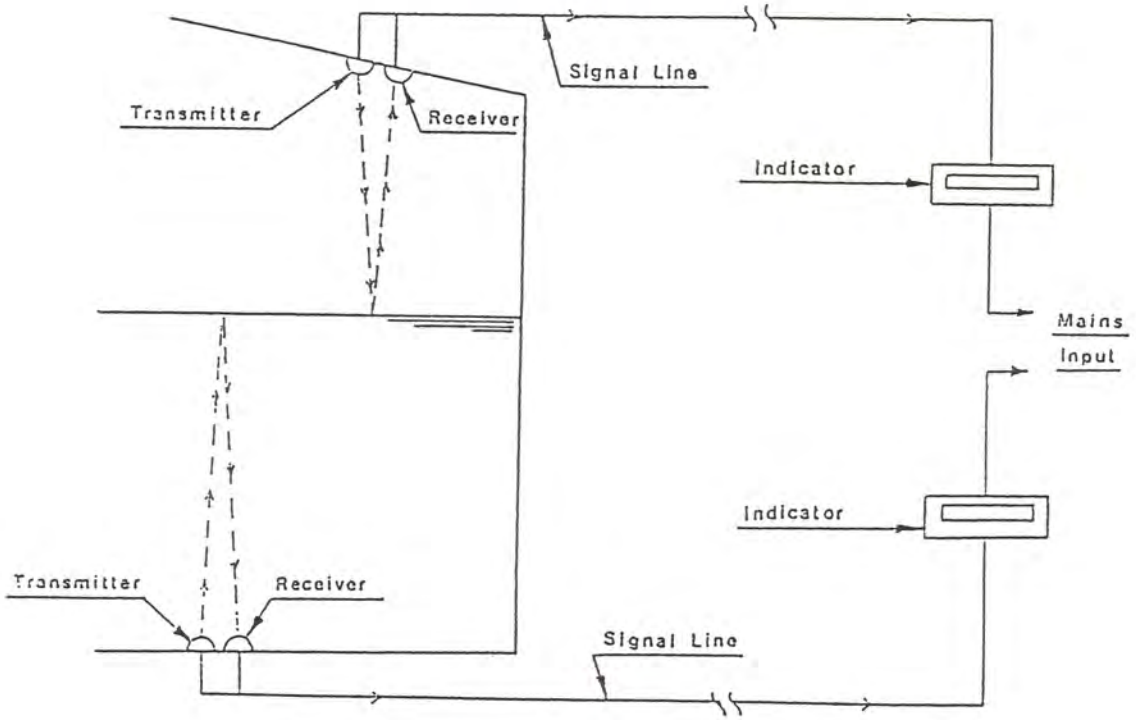
รูปที่ 167 ALG ชนิด Bubbler gauges

6. Ultra-Sonic and Sonic level gauges

ประกอบด้วยตัว Transmitter และ ตัว Receivers โดยตัว Transmitter ทำหน้าที่ปล่อยสัญญาณคลื่นออกไปเมื่อคลื่นกระทบผิวหน้าของเหลวที่เป็นรอยต่อของอากาศกับของเหลว แล้วคลื่นดังกล่าวมีการสะท้อนกลับไปยังตัว Receivers ระดับของเหลวสามารถวัดได้ในรูปของเวลาที่แตกต่างระหว่างคลื่นเคลื่อนที่ไปและสะท้อนกลับจากนั้นเปลี่ยนค่าผลต่างเวลาเป็นระยะทางความสูงของเหลว ทั้งนี้เราสามารถติดตั้งตัว Transmitter และ ตัว Receivers ได้ทั้งที่อยู่เหนือหรือต่ำกว่าระดับรอยต่อของเหลวกับอากาศ นั่นหมายถึงสามารถติดตั้งบนโครงหลังคาถังสำรองหรือบนพื้นถังสำรอง

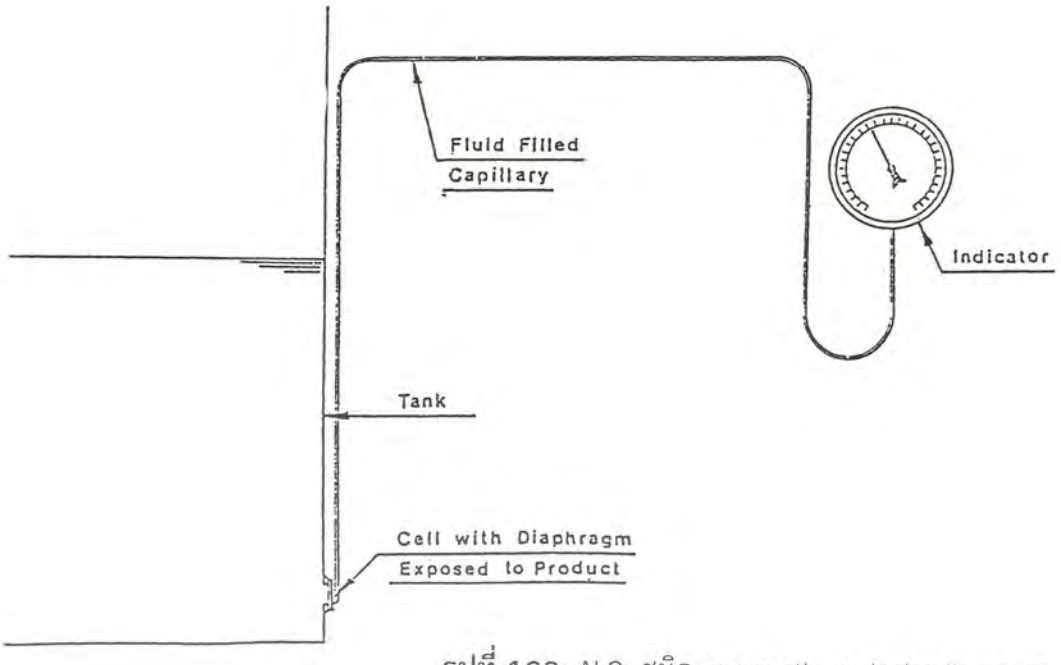
ข้อควรระวังสำหรับ Ultra-Sonic and Sonic level gauges นั้นคือเหมาะกับผลิตภัณฑ์ที่สะอาด (pure product) หรือของเหลวที่ไม่มีการแยกชั้นอันเนื่องจากความแตกต่างของความหนาแน่น หรือคุณสมบัติทางเคมีอื่นๆ เพราะถ้าหากมีการแยกชั้นของเหลวออกเป็นชั้น จะส่งผลให้การสะท้อนไม่ถูกต้องแม่นยำ

ULTRASONIC GAUGE

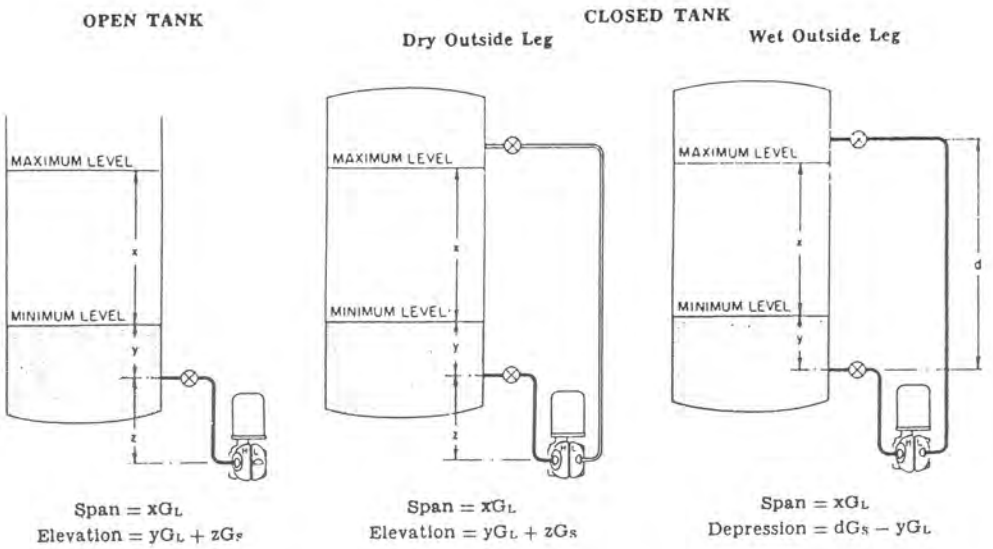


รูปที่ 168 ALG ชนิด ultrasonic gauge

PNEUMATIC OR HYDRAULIC GAUGE USING A CLOSED CELL



รูปที่ 169 ALG ชนิด pneumatic or hydraulic gauge



where G_L = specific gravity of liquid in tank
G_s = specific gravity of liquid in outside filled line(s)

Fig. Liquid Level Measurement with Differential Pressure Transmitter

รูปที่ 170 ALG ชนิด differential pressure-sensing gauge

บทที่ 12

หลักการติดตั้ง ALG

(Installation Principles)

เนื่องจากตารางการสอบเทียบถังสำรอง (Tank calibration table) เป็นการหาความสอดคล้องและสัมพันธ์ระหว่างค่าความสูงของเหลวภายในถังสำรองเทียบกับค่าปริมาตรของเหลวที่บรรจุจริง ดังนั้นตำแหน่งที่ใช้เป็นจุดอ้างอิงเพื่อวัดระดับความสูงของเหลวภายในถังสำรอง จำเป็นต้องคำนึงถึงความแข็งแรงมั่นคงและเสถียรภาพตลอดช่วงระยะความสูงของการบรรจุของถังสำรองด้วยช่วงระยะเวลายาวนาน เนื่องจากถังสำรองส่วนใหญ่แล้วมีอายุการใช้งานเป็น 20-30 ปีทีเดียว

ในการติดตั้งใช้งานมาตรวัดความยาวแบบอัตโนมัติสำหรับวัดความสูงของระดับของของเหลวในถังสำรอง (Automatic Level Gauge; ALG) นั้นก็เพื่อต้องการทราบปริมาตรทั้งหมดที่บรรจุอยู่ภายในถังสำรองขนาดใหญ่รูปทรงแนวตั้ง ซึ่งต้องใช้ข้อมูลประกอบด้วยกัน 2 ตัวแปรด้วยกันคือ

- ระดับของเหลวภายในถังสำรอง
- ตารางการสอบเทียบถังสำรอง (Tank calibration table)

แต่ถ้าหากต้องการทราบน้ำหนักทั้งหมดของของเหลวภายในถังสำรองจำเป็นต้องหาตัวแปรที่สำคัญ 4 ตัวแปรด้วยกันคือ

- ระดับของเหลวภายในถังสำรอง
- ตารางการสอบเทียบถังสำรอง (Tank calibration table)
- อุณหภูมิเฉลี่ยภายในถังสำรอง
- ความหนาแน่นสัมพันธ์ (relative density)

ข้อแนะนำในการติดตั้งในบทนี้ส่วนใหญ่เป็นข้อแนะนำสำหรับการติดตั้งมาตรวัดความยาวแบบอัตโนมัติสำหรับวัดความสูงของระดับของของเหลวในถังสำรอง (Automatic Level Gauge; ALG) ชนิด Mechanically operated float gauge กับ Electrically powered servo-operated gauge สำหรับ Radar Level gauging หรือ Radar Level Transmitters and Gauges จะพยายามหาข้อมูลเพื่อนำเสนอในโอกาสต่อไป

ตำแหน่งที่ติดตั้ง ALG (Location of ALG)

สิ่งที่จะกล่าวต่อไปนี้เป็นข้อพิจารณาและให้ความสำคัญก่อนดำเนินการติดตั้งมาตรวัดความยาวแบบอัตโนมัติสำหรับวัดความสูงของระดับของของเหลวในถังสำรอง (Automatic Level Gauge; ALG) ซึ่งเป็นความจริงเพียงบางข้อคิดเท่านั้นหรือเหมาะกับลักษณะการติดตั้งบ้างรูปแบบและชนิดของ ALG ดังนั้นการติดตั้ง ALG ตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิตต้องนำเข้ามาร่วม

พิจารณาประกอบด้วยเช่นกัน การติดตั้งในภาคสนามในบางครั้งเป็นเรื่องที่จะให้ครบสมบูรณ์ตามทฤษฎีนั้นคงกระทำได้ยากแต่ควรเลือกข้อจำกัดที่สำคัญหลักๆ ก่อนด้วยข้อพิจารณาดังนี้

1. เครื่องมืออุปกรณ์ของ ALG ควรติดตั้งแยกขาดอิสระกับเครื่องมืออุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างของเหลวภายในถังสำรอง
2. ส่วนตรวจวัดระดับของของเหลว (Liquid-level detecting element) ได้แก่ ลูกลอย (float) หรือ displacer เมื่อทำการติดตั้งภายในถังสำรองแล้วต้องห่างจากผนังถังสำรอง (tank shell) อย่างน้อยสุดเท่ากับ 50 เซนติเมตร และควรติดตั้งในตำแหน่งที่ใกล้กับ gauge hatch เพื่อเจ้าหน้าที่สามารถทำการตรวจสอบสภาพของลูกลอย หรือ displacer ได้สะดวก
3. ระยะห่างของ ลูกลอย หรือ displacer กับจุดกึ่งกลางของ gauge hatch ที่ใช้สำหรับเก็บตัวอย่างหรือวัดระดับด้วยมือ ต้องรักษาให้ห่างเพียงพอและมั่นใจว่าไม่มีการรบกวนหรือมีผลต่อการทำงานซึ่งกันและกัน
4. การติดตั้งส่วนตรวจวัดระดับของของเหลว ต้องติดตั้งให้ห่างจากปากทางเข้า (inlet) และทางออก (outlet) ประจำถังสำรอง เนื่องจากเป็นบริเวณที่ของเหลวปั่นป่วนมากที่สุดเนื่องจากการสูบจ่ายของเหลวเข้า-ออกจากถังสำรอง ซึ่งจะไปรบกวนประสิทธิภาพของการทำงานของ ALG การป้องกันการรบกวนที่มีประสิทธิภาพวิธีการหนึ่งก็คือการติดตั้ง still pipe หรือ stand pipe โดยติดตั้ง ส่วนตรวจวัดระดับของของเหลว ภายใน still pipe ในขณะที่ตัว still pipe ควรได้รับการเจาะช่องตลอดความยาวท่อเพื่อป้องกันอิทธิพลของความตึงผิวของเหลวและสามารถให้ระดับของเหลวภายใน still pipe สอดคล้องและเป็นจริงเช่นเดียวกับระดับความสูงของเหลวภายในถังสำรอง
5. ตำแหน่งที่ติดตั้งของส่วนแสดงค่า หรือ gauging head หรืออุปกรณ์ต่างๆที่เกี่ยวข้องควรอยู่ในตำแหน่งที่ง่ายต่อการเข้าถึง สามารถเข้าไปอ่านผลบันทึกค่าและซ่อมบำรุงรักษาได้ง่าย นอกจากนี้ควรติดตั้งบริเวณที่ไม่มีแสงแดดส่องโดยตรง หากบริเวณดังกล่าวไม่มีร่มเงา ผนังถังสำรองทิศเหนือดูเหมือนจะเป็นตำแหน่งเหมาะสมสำหรับประเทศไทยเนื่องจากตำแหน่งดังกล่าวโดนแสงแดดน้อยกว่าด้านอื่นๆเมื่อเทียบช่วงระยะในแต่ละวัน

ข้อแนะนำสำหรับการติดตั้ง (Installation recommendation)

การติดตั้ง ALG กับถังสำรองชนิดใด หรือตัวALG มีหลักการทำงานอย่างไร ควรมีข้อพึงระวังในเรื่องใดล้วนมีข้อปลีกย่อยในการพิจารณาการติดตั้งด้วยเช่นกัน

แต่อย่างไรก็ตามการหาตำแหน่งอ้างอิงเพื่อใช้เป็นระดับอ้างอิงสำหรับหาระดับความสูงของเหลวภายในถังสำรองยังคงต้องใช้ dip plate ซึ่งจะถูกติดตั้งเชื่อมกับผนังถังชั้นแรกสุดหรือล่างสุดติดกับพื้นถัง

เราพอจะแบ่งการติดตั้งตามชนิดหรือประเภทของถังสำรองได้ดังนี้

1. ถังสำรองขนาดใหญ่รูปทรงแนวตั้ง ความดันทำงานต่ำ สำหรับบรรจุของเหลวผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม

เนื่องจากถังสำรองขนาดใหญ่รูปทรงแนวตั้งชนิดดังกล่าวนี้โดยปกติพบว่าหลังคาถังมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างตลอดเวลาขึ้นกับความดันภายในถังสำรอง, อุณหภูมิของเหลวตลอดจนระดับ

ของเหลวภายในถังสำรอง ดังนั้นจึงไม่แนะนำให้ติดตั้ง ALG บนหลังคาถังสำรองโดยตรงอย่างเด็ดขาด

ในขณะที่ผนังถังสำรอง (tank shell) เองก็มีการเปลี่ยนแปลงรูปทรงตามความดันไอภายในถังสำรองรวมทั้งระดับความสูงของเหลวที่บรรจุภายในถังสำรองเนื่องจากความดันกระทำต่อผนังถังที่เปลี่ยนแปลงไปตามระดับของเหลวนั้นเองโดยเฉพาะผนังถังชั้นบนสุดของถังสำรองก็ได้รับผลกระทบเช่นเดียวกัน จากการศึกษายังพบว่าผนังถังสำรองที่สูงจากพื้นถังสำรองในช่วงความสูงระหว่าง 1 เมตร ถึง 2 เมตร ผนังถังมีการเสียรูปทรงมากเช่นกันจึงเป็นตำแหน่งที่ไม่เหมาะสมที่ติดตั้ง ALG

สำหรับพื้นถังสำรองตามทฤษฎีแล้วจะมีการเปลี่ยนแปรรูปทรงในลักษณะ parabolic ตามความดันไฮโดรสเตติก (hydrostatic pressure) แต่ในทางความเป็นจริงแล้วการเปลี่ยนรูปทรงของพื้นถังจะไม่เป็นระเบียบตามรูปทรงเรขาคณิตแต่อย่างใดทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความแข็งแรงและสภาพของโครงสร้างรองรับพื้นถังสำรอง ดังนั้นจึงเป็นตำแหน่งที่ไม่เหมาะสมกับการเลือกเป็นจุดอ้างอิงในการวัดระดับของเหลวภายในถังสำรองแต่อย่างใดเช่นกัน

จากการที่พื้นถังสำรอง (bottom plate), ผนังถังสำรอง (tank shell) และหลังคาถัง ต่างมีการเปลี่ยนแปลงรูปทรงเมื่อถังสำรองถูกใช้งานในการจัดเก็บผลิตภัณฑ์ของเหลว ด้วยเหตุนี้จึงแบ่งสภาพการติดตั้งเป็น

1.1 การติดตั้ง ALG ร่วมกับ stand pipe หรือ still pipe

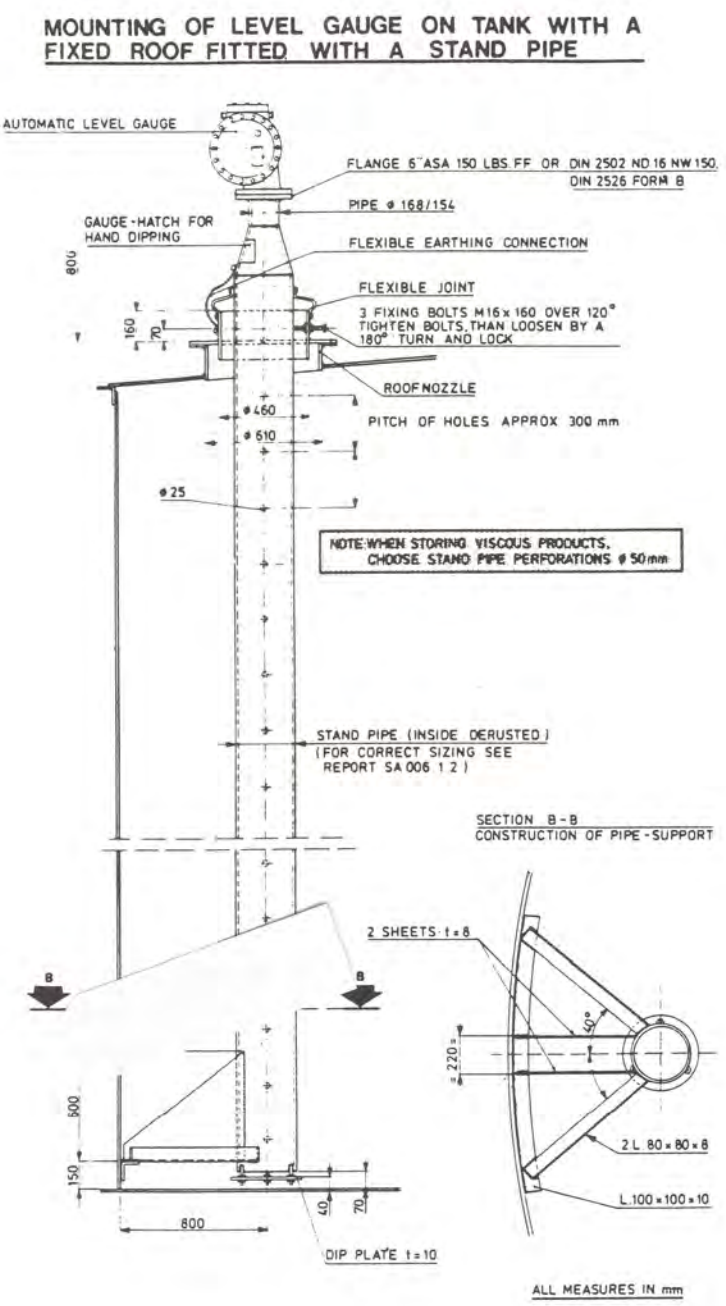
เป็นการติดตั้งท่อโลหะและโครงสร้างประกอบเข้ากับผนังถังสำรองชั้นล่างสุดที่เชื่อมติดกับพื้นถังของถังสำรองจึงเป็นวิธีการติดตั้งที่ให้ความมั่นคงน่าเชื่อถือมากวิธีการหนึ่ง เนื่องจากโดยปกติผนังชั้นแรกสุด (ล่างสุด) จะมีความหนาของแผ่นโลหะมากที่สุดจึงมีความแข็งแรงเพียงพอต่อการรองรับน้ำหนัก ดังแสดงไว้ในรูปที่ 171 และ 172 สำหรับถังสำรองชนิดหลังฝาถังลอยนั้นการใช้ Guide pole ทำหน้าที่เป็น stand pipe ก็ถือว่าใช้ได้ไม่จำเป็นต้องติดตั้งท่อเพิ่มเติมแต่อย่างใด ดังในรูปที่ 172

โครงสร้างทำด้วยเหล็กฉากที่เชื่อมระหว่างท่อกับผนังถังชั้นแรกด้วยเหล็กฉากช่วยป้องกันการเคลื่อนตัวของ stand pipe ในแนวดิ่งเมื่อถังมีการเสียรูปทรง ในขณะเดียวกันด้านบนสุดบนหลังคาถังจะมี bolts จำนวน 3 ตัวคอยพยุงและเป็นไกด์ให้กับ stand pipe (ดูรูป section A-A ในรูปที่ 172) เพื่อยังคงอยู่ในสภาพที่ไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อหลังคาถังหรือผนังถังมีการเคลื่อนตัว นอกจากนี้หากเมื่อเวลาเปลี่ยนแปลงไปหรือมีการสอบเทียบ ALG ใหม่การปรับแต่งการตั้งตรงของ stand pipe ว่าได้แนวตั้งฉากกับระดับของเหลวภายในถังสำรองหรือไม่ สามารถปรับแต่งที่ bolts ทั้ง 3 ตัวนี้ได้เช่นกันเนื่องจาก bolts ทั้ง 3 นี้ไม่ได้ยึดติดแน่นกับตัว stand pipe แต่อย่างใด

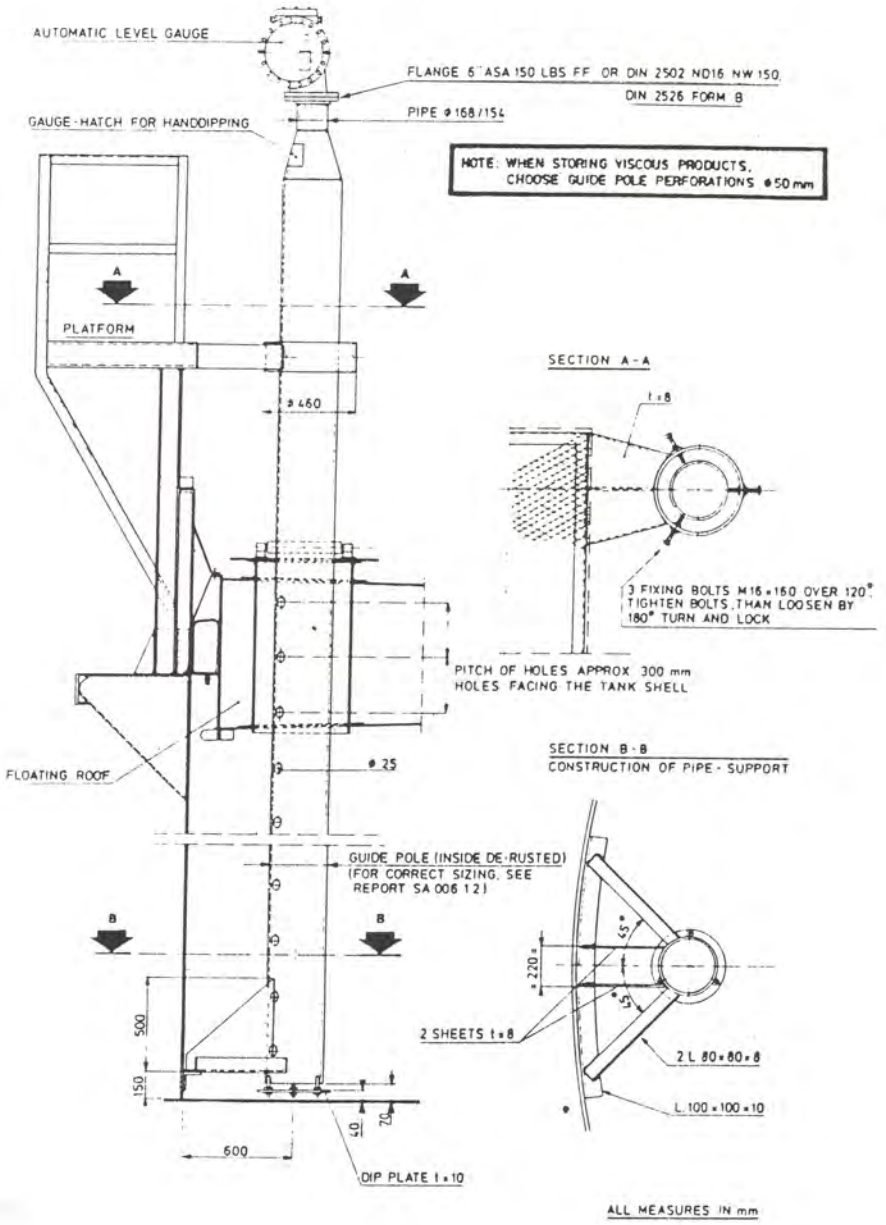
สำหรับถังชนิด Cone roof เนื่องจากถังสำรองต้องรองรับความดันไอเนื่องจากการกลายเป็นไอของของเหลวภายในถังสำรอง ดังนั้นควรจัดให้มีข้อต่ออ่อน (flexible rubber หรือ stainless steel bellows) เพื่อหลีกเลี่ยงการสูญเสียเนื่องจากการระเหยกลายเป็นไอหลุดรอดออกจากถังสำรองได้

สำหรับการป้องกันฟ้าผ่าด้วยระบบสายดินนั้น จำเป็นต้องต่อสายดินระหว่าง stand pipe และโครงสร้างทั้งหมดของระบบ ALG เข้ากับผนังถังสำรองด้วยเช่นกัน

เพื่อที่กำจัดความแตกต่างของระดับความสูงของเหลวอันเนื่องจากความหนาแน่นสัมพันธ์ที่มีค่าแตกต่างกันที่ระดับความสูงแตกต่างกันภายใน stand pipe กับภายในถังสำรอง ดังนั้นการ



รูปที่ 171 การติดตั้ง Electrically powered servo-operated gauge กับถังสำรองชนิด fixed roof ซึ่งมี stand pipe



รูปที่ 172 การติดตั้ง Electrically powered servo-operated gauge กับถังสำรองชนิด floating roof ซึ่งมี guide pole

เจาะช่องบน stand pipe ให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 25 มม. โดยมีระยะห่างกันประมาณ 300 มม. ก็เพียงพอต่อการลดอิทธิพลของผลต่างความหนาแน่นสัมพัทธ์ (relative density difference)

หากเป็นถังสำรองชนิดหลังคาฝาถังลอย (floating roof) แนวช่องที่เจาะบน stand pipe ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 25 มม. ระยะห่างกันประมาณ 300 มม ดังกล่าวควรหันเข้าหาผนังถังทั้งนี้เพื่อลดอิทธิพลของลม ซึ่งอาจพัดเข้ามาในท่อเกิดแรงดันกดบนระดับผิวหน้าของเหลวภายใน stand pipe

ผิวภายในท่อ stand pipe ควรมีความเรียบสม่ำเสมอ รอยเชื่อมถ้าหากมีต้องถูกทำการเจียรออกให้หมด ต้องไม่มีสนิม อาจป้องกันสนิมด้วยการเคลือบด้วย epoxy resin การที่เราต้องการผิวภายในเรียบไม่เป็นสนิมตลอดจนไม่มีสิ่งกีดขวางใดๆก็เพื่อให้ displacer เคลื่อนที่ขึ้นลงตามระดับความสูงของเหลวภายในถังสำรองอย่างสะดวกไม่ติดขัด เพราะหากติดขัดแล้วการวัดระดับของเหลวภายในถังสำรองจะให้ผลผิดพลาดทันที การตรวจสอบผิวภายในท่อส่วนที่ไม่เคยสัมผัสกับของเหลวภายในถังสำรองเป็นสิ่งที่ต้องเอาใจใส่เนื่องจากโอกาสที่เกิดสนิมมีได้สูงกว่าบริเวณอื่นๆ

หลังจากใช้งาน Stand pipe ไประยะหนึ่งแล้วท่อดังกล่าวไม่สามารถรักษาให้ระดับตั้งฉากกับผิวหน้าของเหลวภายในถัง เมื่อ displacer เคลื่อนที่ขึ้นลงอาจไปครูดกับผนังภายในท่ออาจเป็นสาเหตุให้ displacer ผลิกคว่ำกลับจากด้านบนลงด้านล่าง หรือหมุนตัว 180 องศา ทำให้ displacer ไม่ได้อยู่ในตำแหน่งที่ออกแบบเพื่อใช้งานจริงส่งผลให้ผลการวัดระดับความสูงผิดพลาดไปได้เช่นกัน การจัดให้มีguide spider ซึ่งจะช่วยลดแรงเสียดทานของ displacer กับผนัง stand pipe

หลังจากติดตั้ง stand pipe การบันทึกค่าความสูงอ้างอิงของส่วนบนและส่วนล่างของ stand pipe เทียบกับ dip plate นับเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อเป็นข้อมูลอ้างอิงและสำรวจตรวจสอบหากมีปัญหาในการวัดระดับของเหลวภายในถัง

ขนาดของ stand pipe หรือ support pipe นั้นมีหลายปัจจัยที่ต้องคำนึง การกำหนดให้มีเส้นผ่านศูนย์ภายใน stand pipe เท่าไรจึงเหมาะสมนั้นต้องคำนึง

- ความสูงของถังสำรอง
- ชนิดของ ALG
- ร่องที่เซาะอยู่บน measuring drum ในกรณีที่เป็น Electrically powered servo-operated gauge
- ระดับความแม่นยำที่ต้องการ
- ขนาดของ displacer
- ความเอียงไม่ตั้งฉากกับระดับผิวหน้าของเหลวของท่อ stand pipe

แต่ในทางกลับกันการเลือกขนาดของ displacer ก็ถูกบังคับด้วยปัจจัย ขนาดของ stand pipe หรือ support pipe, ความเอียงไม่ตั้งฉากกับระดับผิวหน้าของเหลวของท่อ stand pipe, ความสูงทั้งหมดที่ต้องมีการเคลื่อนที่, ขนาดพื้นที่หน้าตัดของเส้นลวดที่พันอยู่บน measuring drum

1.2 การติดตั้ง ALG โดยไม่มี stand pipe หรือ still pipe

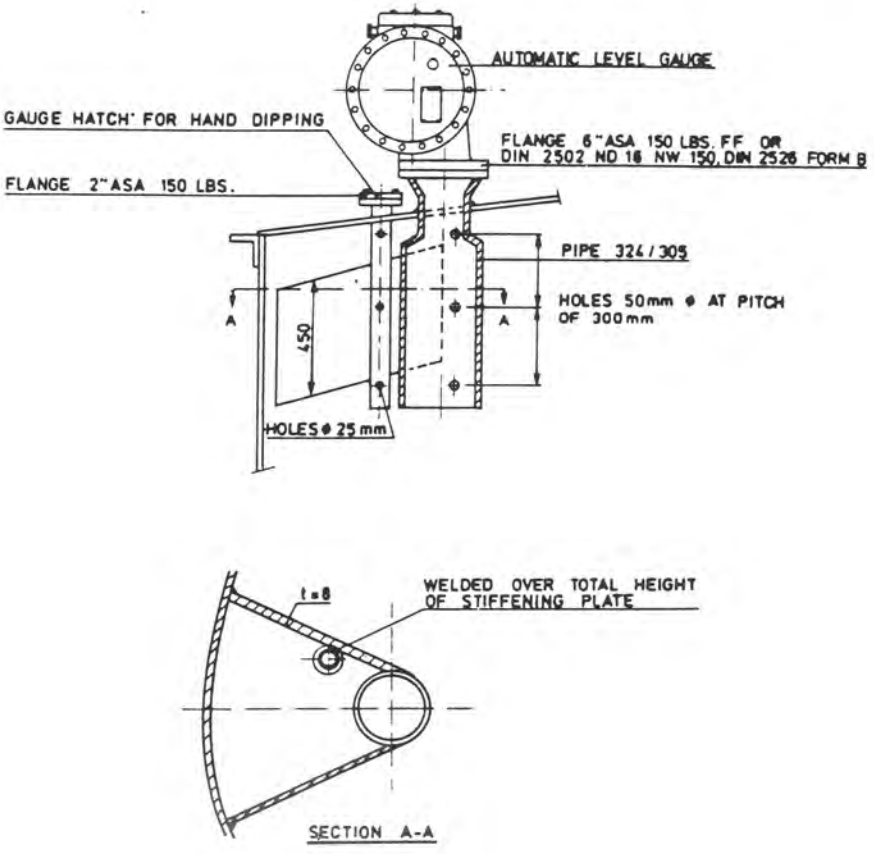
ถ้าหากพบว่าไม่สามารถติดตั้ง stand pipe ได้ด้วยเหตุผลของข้อจำกัดในการทำงานหรือโครงสร้างหรือเหตุผลทางความประหยัดในการออกแบบถังสำรอง การติดตั้ง ALG ที่พอสามารถ

ปรับให้ติดตั้งและให้ผลการวัดที่น่าเชื่อถือได้ระดับหนึ่งด้วยการติดตั้ง ALG บนหน้าแปลนของทางออกบนหลังคาถังสำรองก็สามารถกระทำได้ (ดูรูปที่ 173, 174, 175, 176 และ 177)

การหาระดับอ้างอิงและทำการวัด ullage เทียบกับหน้าแปลนที่ติดตั้ง ALG ต้องกระทำและเก็บข้อมูลไว้

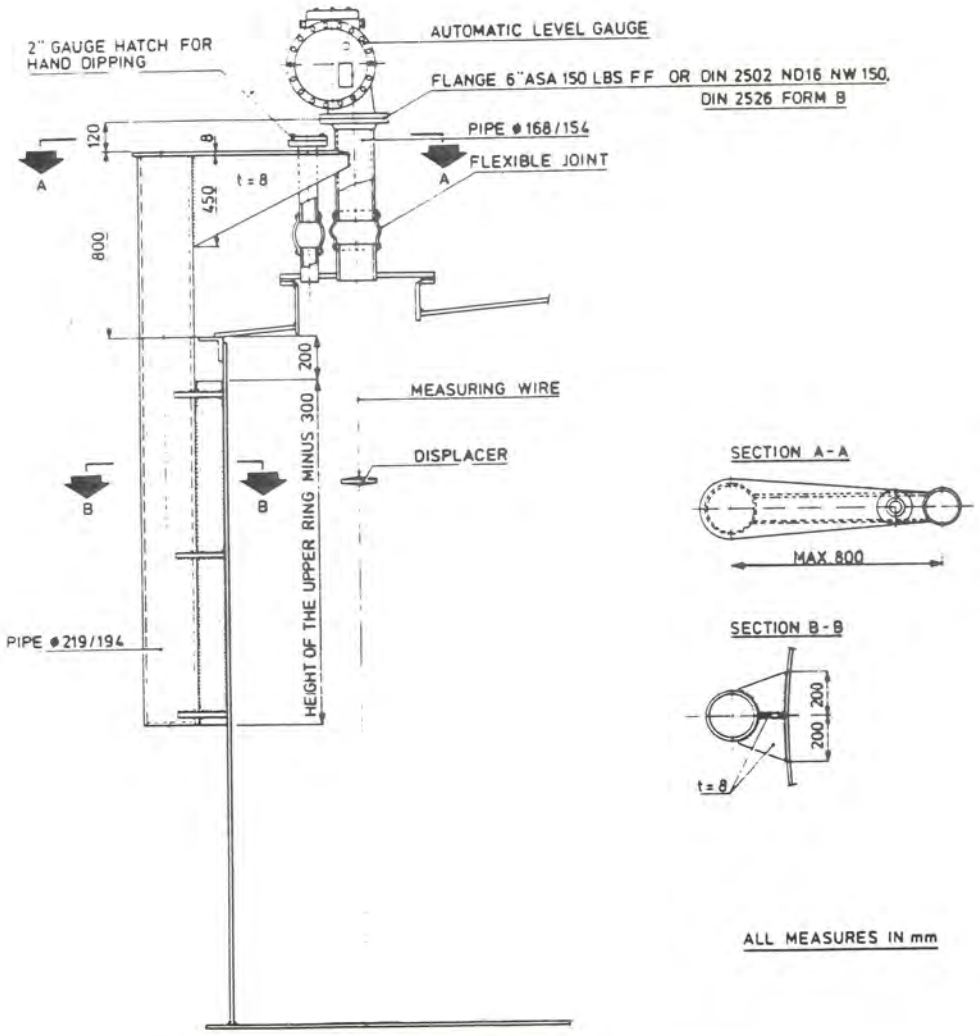
กรณีถังสำรองชนิด cone roof ดังในรูปที่ 173, 174 และ 175 จะเห็นว่า displacer ไม่ได้รับการป้องกันจากการปั่นป่วนของของเหลวภายในถังสำรองแต่อย่างใด แก้ไขปัญหาด้วยการติดตั้งเพิ่มตุ้มน้ำหนัก (extra tensioning weight) เข้ากับเส้นลวดโดยจะอยู่เหนือ displacer และตัว displacer เองก็ควรเป็นชนิดที่มีขอเกี่ยวอยูตรงกลางด้วยเพื่อสามารถรักษาสภาพสมดุลของ displacer ขณะเคลื่อนที่ขึ้นลงตามระดับของเหลวภายในถังสำรอง ตุ้มน้ำหนัก (extra tensioning weight) ดังกล่าวช่วยลดแรงที่มากระทำในทิศทางด้านข้างเนื่องจากความปั่นป่วนของเหลว ดังแสดงในรูปที่ 178 แต่วิธีการที่ดีกว่าดูเหมือนควรแก้ไขด้วยการติดตั้ง guide wires ด้วยเส้นลวด 2 เส้นร้อยผ่านห่วงที่เชื่อมติดกับ diaplcer เพื่อเพื่อป้องกันการแกว่นตัวเมื่อระดับของเหลวปั่นป่วน โดยด้านปลายสุดของ guide wires จะเชื่อมติดกับพื้นถัง ดังแสดงในรูปที่ 175

MOUNTING OF LEVEL GAUGE ON TANKS WITH A FIXED ROOF WITH ROOF NOZZLE STIFFENED INTERNALLY



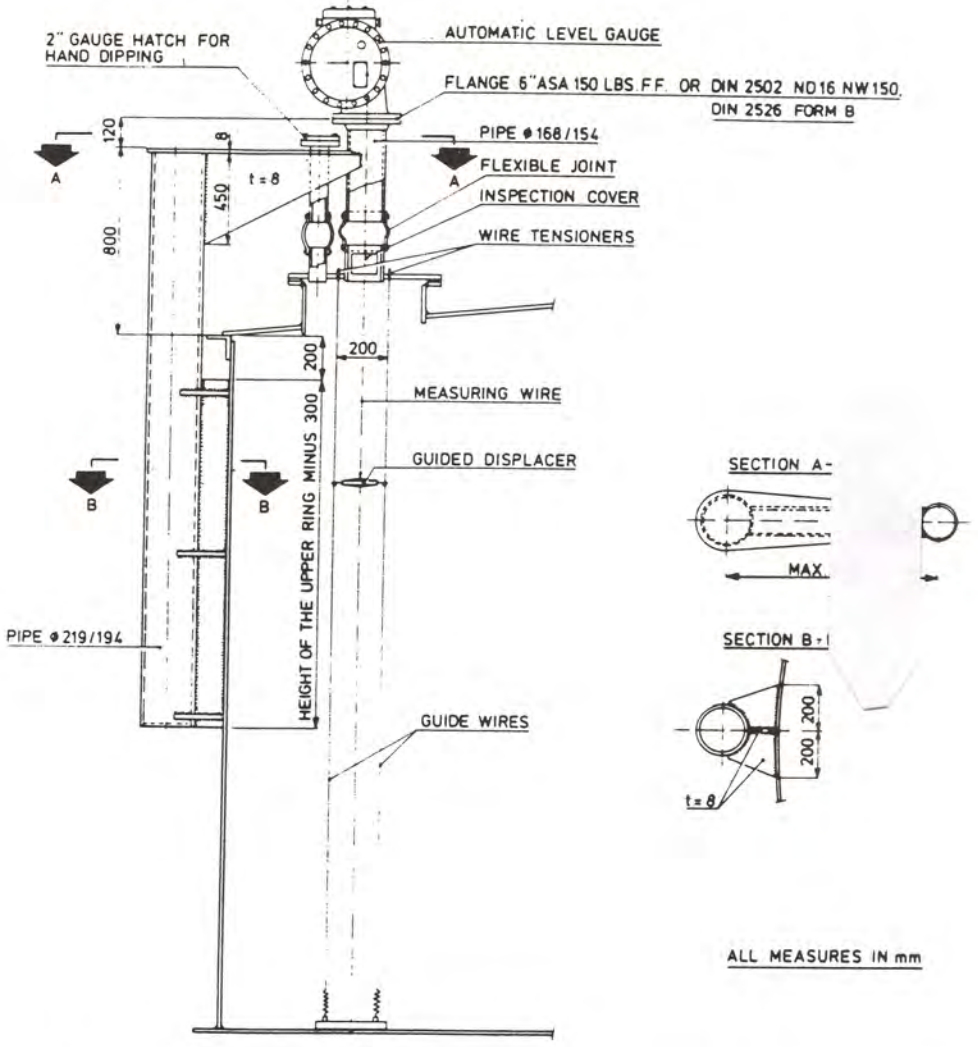
รูปที่ 173 การติดตั้ง Electrically powered servo-operated gauge กับถังสำรองชนิด fixed roof ซึ่งมี roof nozzle

MOUNTING OF LEVEL GAUGE ON FIXED ROOF TANKS FITTED WITH A MOUNTING BRACKET WITHOUT GUIDE WIRES



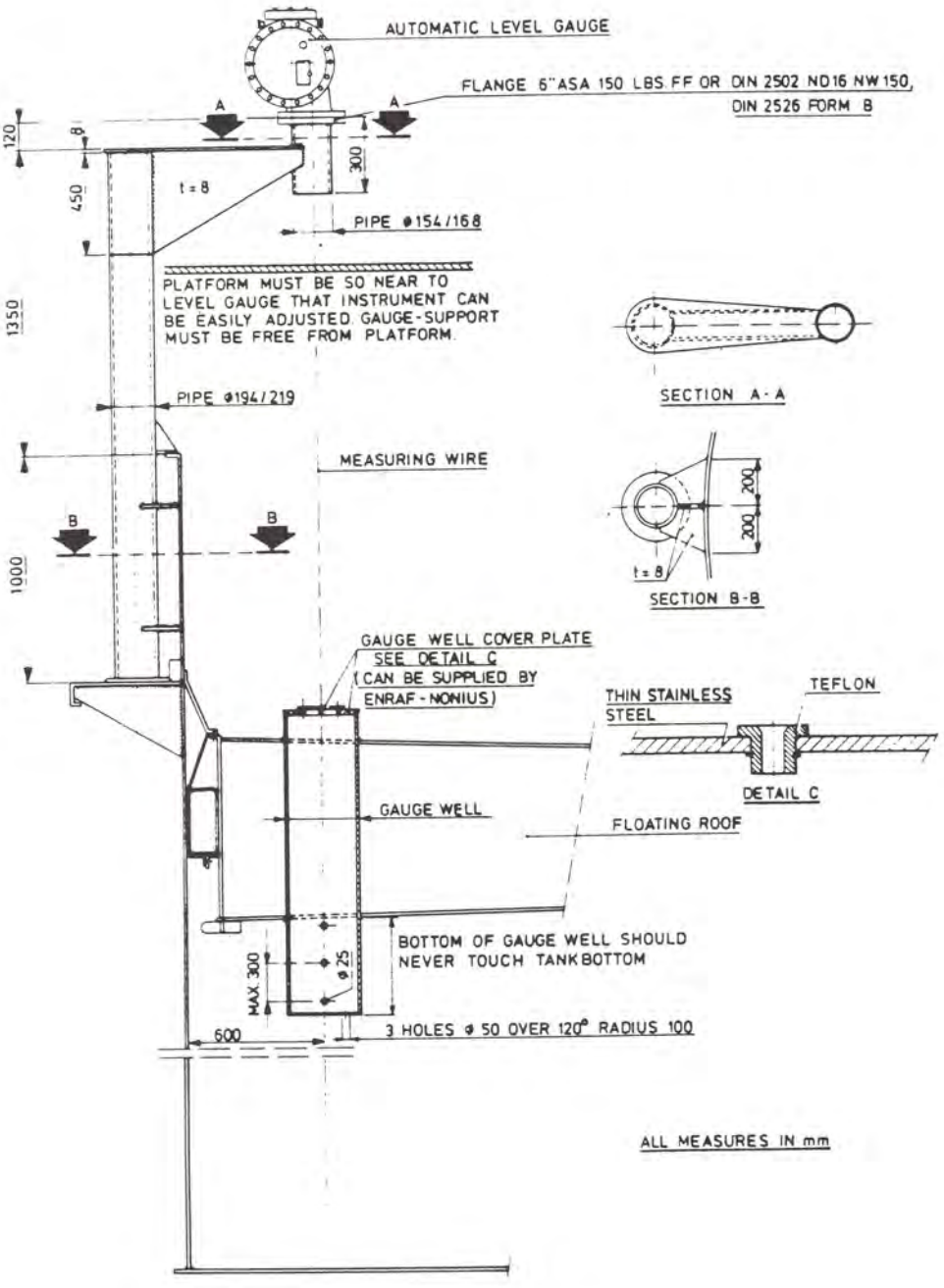
รูปที่ 174 การติดตั้ง Electrically powered servo-operated gauge กับถังสำรองชนิด fixed roof ซึ่งมี mounting bracket แต่ไม่มี guide wires

MOUNTING OF LEVEL GAUGE ON FIXED ROOF TANKS FITTED WITH A MOUNTING BRACKET



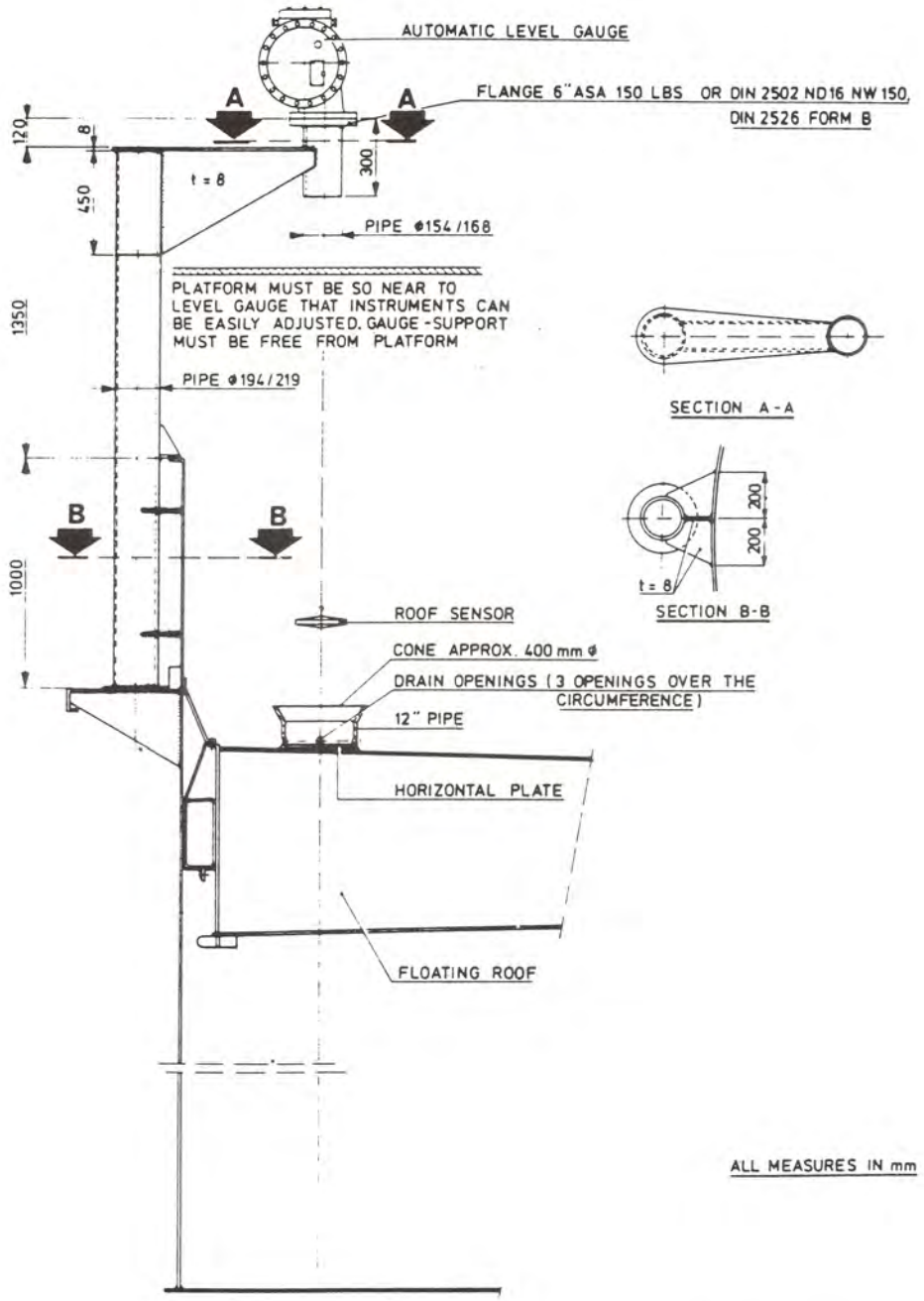
รูปที่ 175 การติดตั้ง Electrically powered servo-operated gauge กับถังสำรองชนิด fixed roof ซึ่งมี mounting bracket และมี guide wires

MOUNTING OF LEVEL GAUGE ON TANKS WITH A FLOATING ROOF WITHOUT GUIDE POLE AND FITTED WITH MOUNTING BRACKET

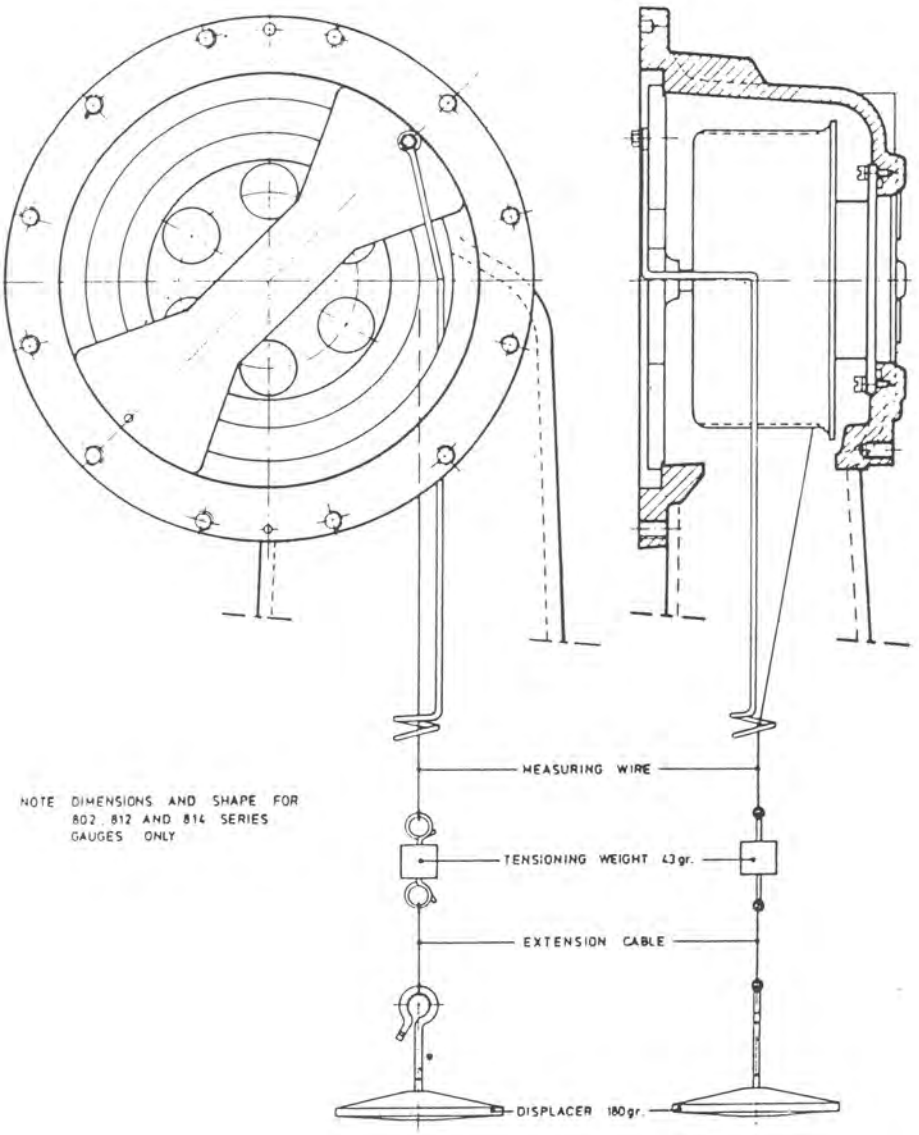


รูปที่ 176 การติดตั้ง Electrically powered servo-operated gauge กับถังสำรองชนิด floating roof ซึ่งไม่มี guide pole แต่มี gauge well แต่มี mounting bracket

MOUNTING OF LEVEL GAUGE ON TANKS WITH A FLOATING ROOF WITHOUT GUIDE POLE AND GAUGE WELL BUT FITTED WITH MOUNTING BRACKET



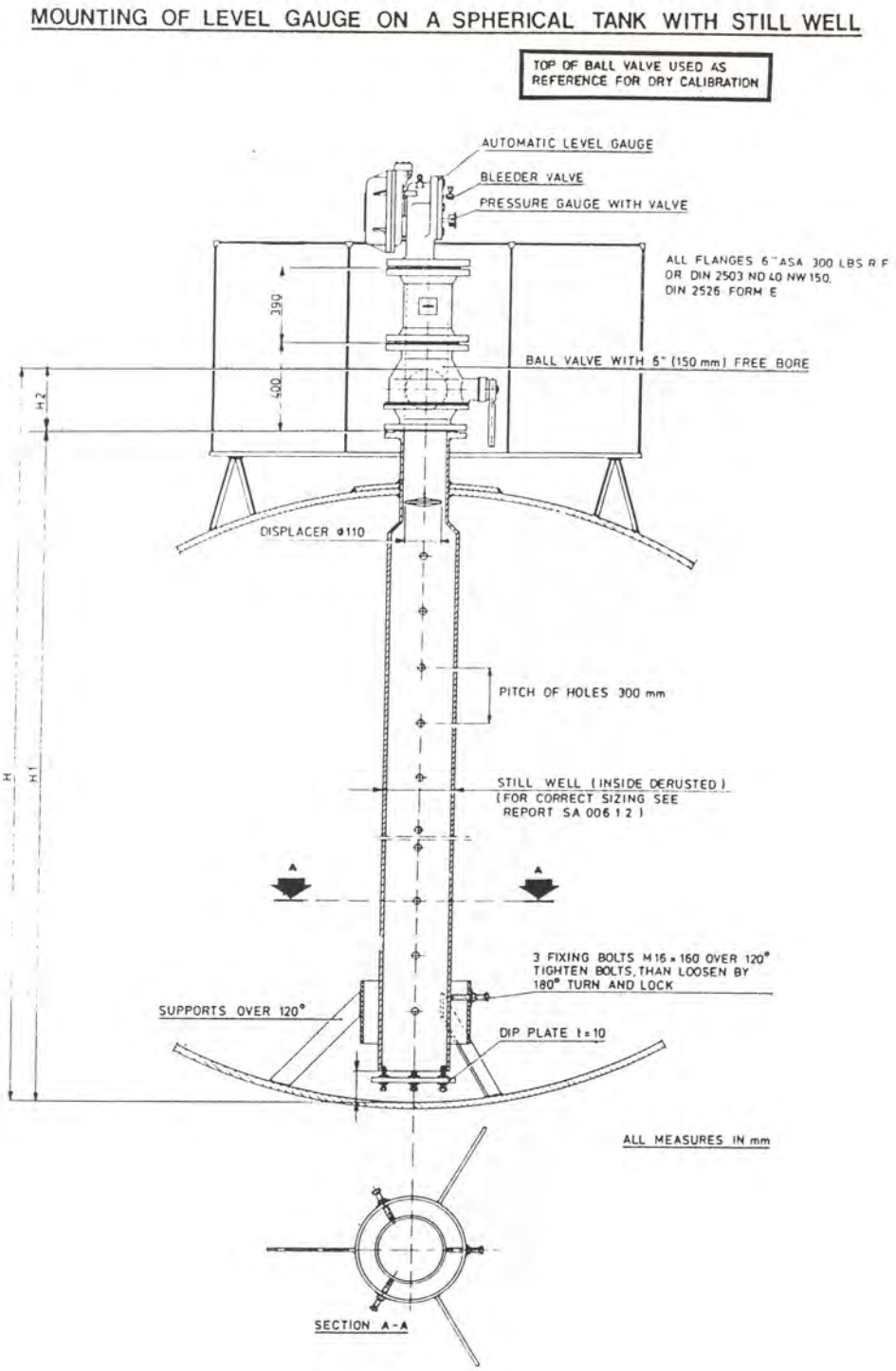
รูปที่ 177 การติดตั้ง Electrically powered servo-operated gauge กับถังสำรองชนิด floating roof ซึ่งไม่มี guide pole และ gauge well แต่มี mounting bracket



รูปที่ 178 การติดตั้ง Tensioning weight ด้วย wire centering hook เข้ากับ displacer

2. ถังสำรองความดันทำงานสูง (pressure tank) สำหรับบรรจุของเหลวผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม

ถังสำรองความดันสูงในที่นี้จะครอบคลุมถึงถังสำรองที่ใช้เก็บ ผลิตภัณฑ์ propane, butane, propylene, LPG ด้วยความดัน การตรวจสอบระดับความสูงของระดับของเหลวภายในถังสำรองเพื่อติดตั้งหรือสอบเทียบอุปกรณ์ ALG กระทำด้วยความยุ่งยากและซับซ้อนหรือแทบกระทำไม่ได้เลยหลังจากถังสำรองถูกใช้งานไปแล้ว ดังนั้นเพื่อลดปัญหาที่อาจเกิดขึ้น จึงแนะนำให้ติดตั้งดังแสดงไว้ในรูปที่ 179 และ 180

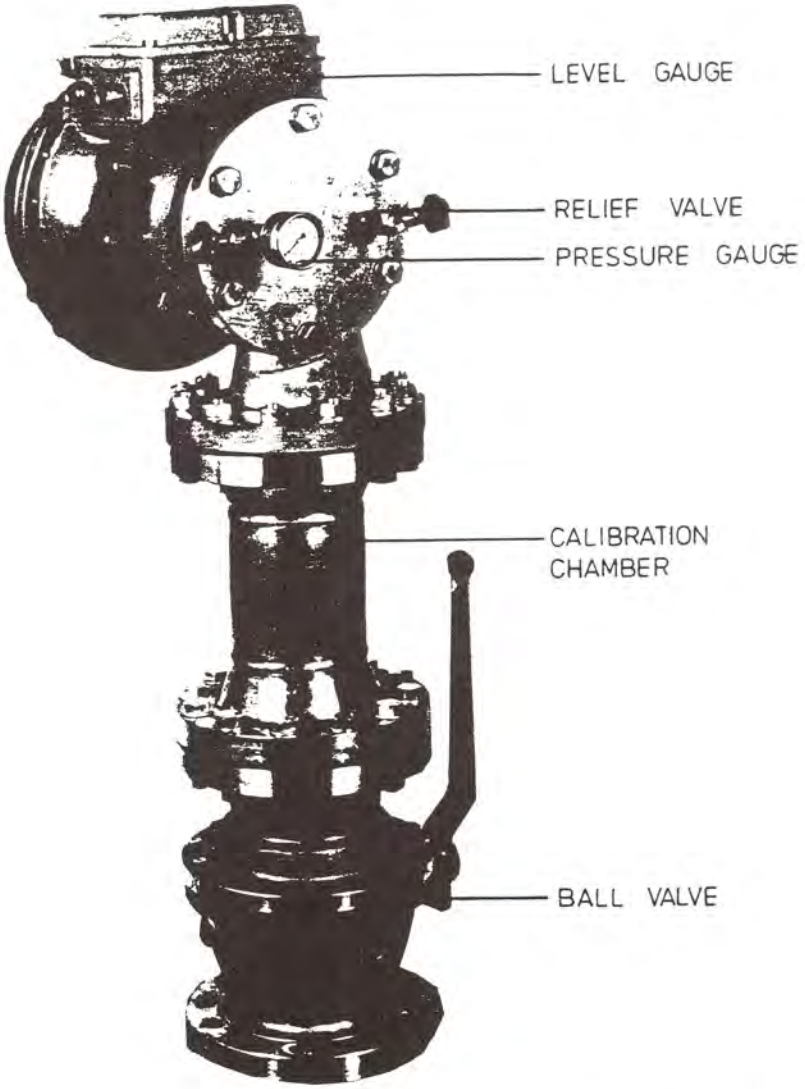


รูปที่ 179 การติดตั้ง Electrically powered servo-operated gauge กับถังสำรองความดันสูงซึ่งมี still well

Ball vale ซึ่งเหนือถังหรืออยู่ใต้ gauging head ควรมีช่องทางเพื่อให้ displacer เคลื่อนที่ผ่านขึ้นไปได้เมื่อต้องการนำ ALG ไปซ่อมได้ด้วย

หลังจากติดตั้งให้ทำการหา ความสูงอ้างอิงจากก้นถังสำรองถึงด้านบนของ ball valve และค่าดังกล่าวต้องได้รับการตรวจสอบอีกครั้งว่าเปลี่ยนแปลงไปหรือไม่เมื่อมีการใช้งานถัง ทั้งนี้เพราะความดันภายในถังสามารถทำให้ถังสำรองมีการขยายตัวบ้างเล็กน้อย ด้วยเหตุนี้หากระยะของระดับดังกล่าวเปลี่ยนแปลงไปจำเป็นต้องปรับแก้ไขค่าความสูงอ้างอิงด้วยเพื่อ ALG ยังคงให้ผลการวัดที่ถูกต้องอยู่ในช่วงน่าเชื่อถือหนึ่ง ค่าแก้ไขนี้ควรได้แสดงไว้บน name plat เพื่อนำไปคำนวณปรับค่าในขั้นต่อไป เช่นในการหาค่า ullage

การเกิดการปั่นป่วนของ LPG ภายในถังความดันก็เป็นเรื่องที่ต้องประสบเช่น การติดตั้ง stand pipe ที่เจาะช่องไว้ตลอดช่วงความสูงของ stand pipe โดยส่วนปลายยึดติดกับก้นถังเป็นสิ่งที่ควรมีเพื่อป้องกัน ลูกลอย หรือ displacer ไม่แนะนำให้ใช้ guide wire



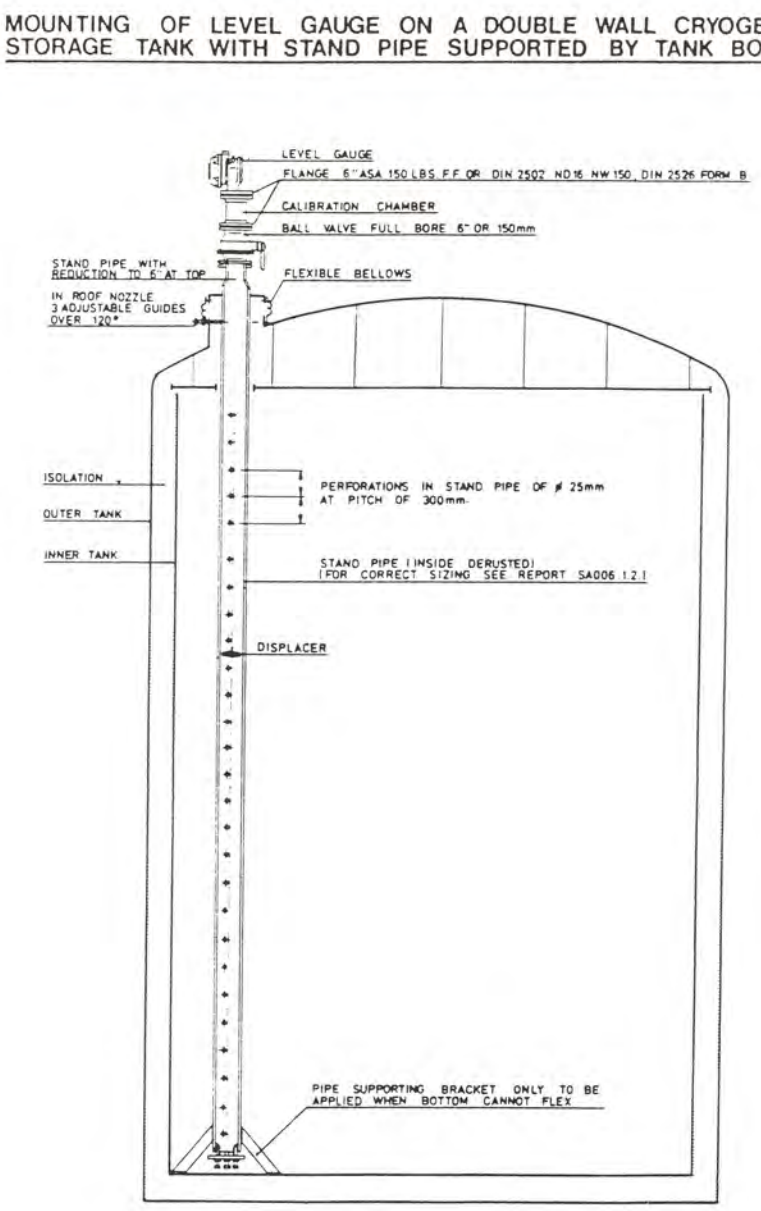
รูปที่ 180 อุปกรณ์ที่ติดตั้งร่วมกับ ALG ซึ่งติดตั้งกับถังสำรองความดันสูง เพื่อสามารถแยกความดันภายในถังออกจากตัว ALG และสามารถถอด ALG ไปซ่อมแซมได้โดยไม่ต้อง shut down ถังสำรอง

3. ถังสำรองที่ใช้เก็บผลิตภัณฑ์ด้วยอุณหภูมิต่ำและความดันต่ำ (cryogenic tanks)

รูปทรงของถังสำรองที่ใช้เก็บผลิตภัณฑ์ด้วยอุณหภูมิต่ำและความดันต่ำ (cryogenic tanks) ปกติที่เห็นจะเป็นถังทรงกระบอกมีหลังคาเป็นทรงโดมประกอบด้วยผนังถัง 2 ชั้นโดยมีฉนวนกันความร้อนอยู่ระหว่างกลางผนังถังทั้ง 2 การติดตั้ง ALG ควรเป็นไปตามรูปที่ 181, 182 และ 183

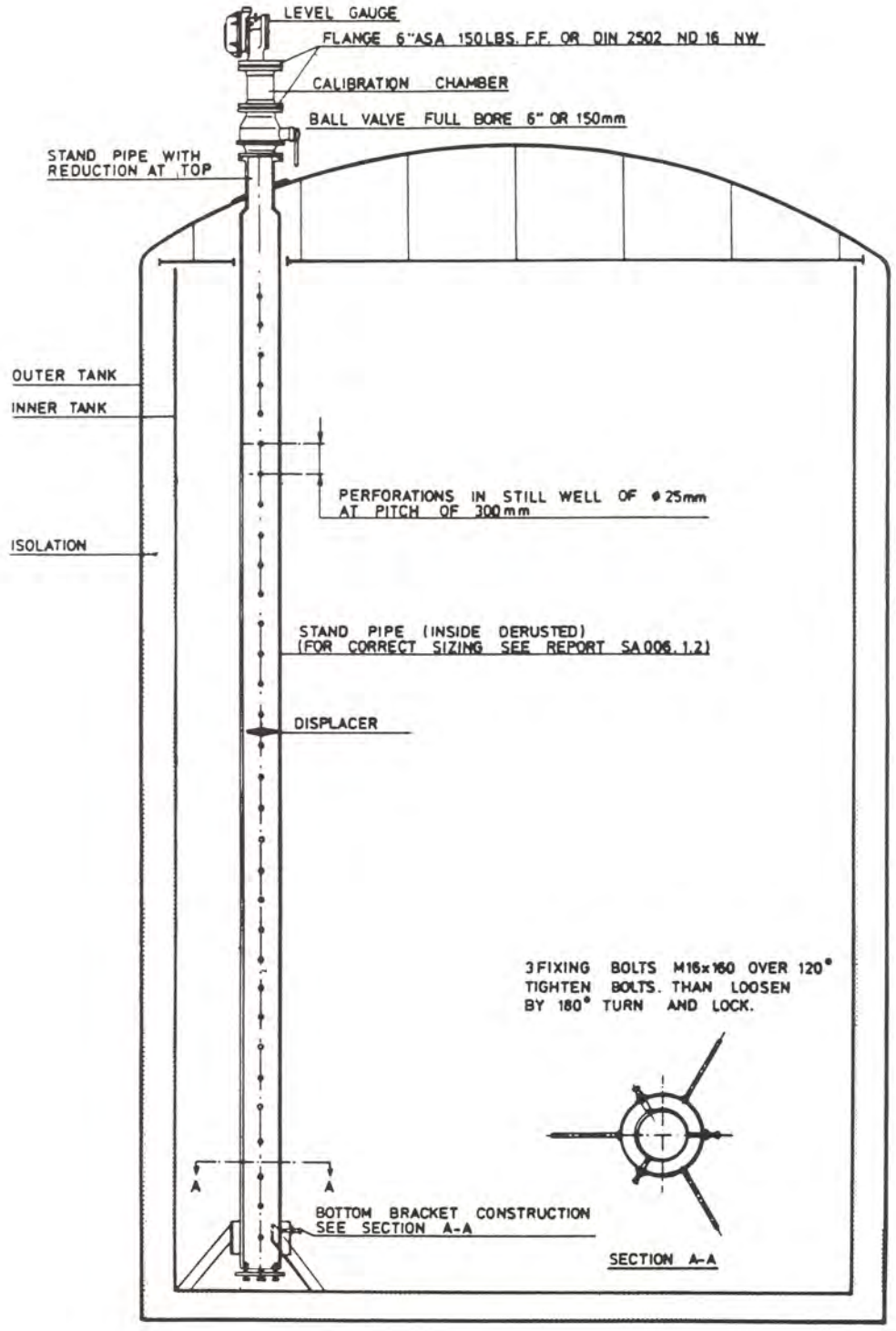
การติดตั้ง isolate valve และ calibration chamber เป็นสิ่งสำคัญและจำเป็นเช่นเดียวกับถังสำรองความดันสูง

การติดตั้ง stand pipe โดยให้ส่วนปลายเชื่อมติดกับพื้นถังชั้นใน ซึ่งมั่นคงและมีเสถียรภาพไม่เปลี่ยนแปลงได้ง่าย โดยส่วนปลายของท่อทะลุผ่านหลังคาทั้ง 2 ด้วยมีซีลข้อต่ออ่อน (ดูรูปที่ 181)



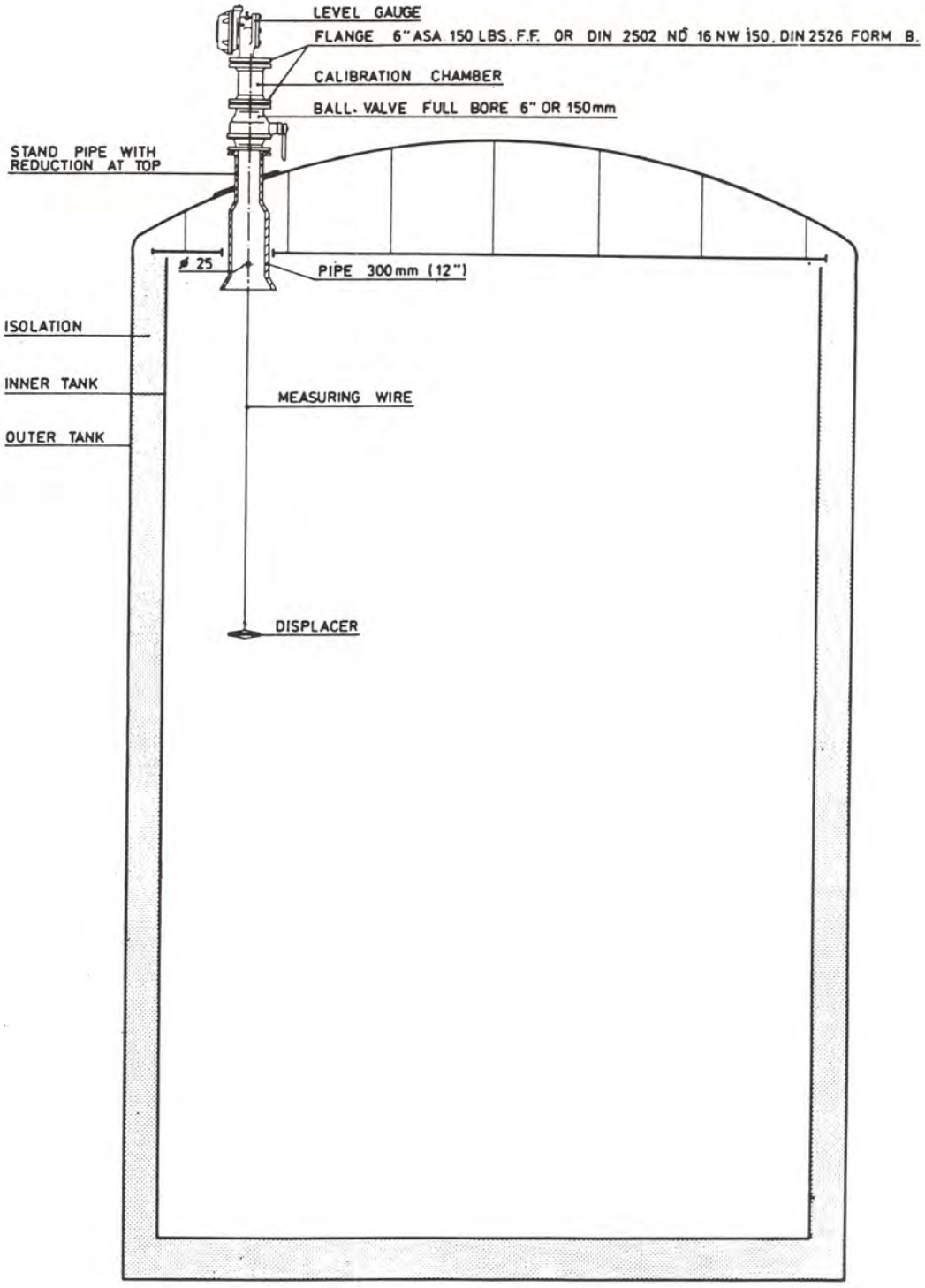
รูปที่ 181 การติดตั้ง Electrically powered servo-operated gauge กับถังสำรองเก็บผลิตภัณฑ์ด้วยความดันต่ำและอุณหภูมิติดลบ ซึ่งมี stand pipe ซึ่งรองรับด้วยพื้นถัง

MOUNTING OF LEVEL GAUGE ON A DOUBLE WALL CRYOGENIC STORAGE TANK WITH STILL WELL SUPPORTED FROM TANK ROOF



รูปที่ 182 การติดตั้ง Electrically powered servo-operated gauge กับถังสำรองเก็บผลิตภัณฑ์ด้วยความดันต่ำและอุณหภูมิติดลบ ซึ่งมี stand pipe ซึ่งรองรับด้วยหลังคาถัง

MOUNTING OF LEVEL GAUGE ON A DOUBLE WALL CRYOGENIC STORAGE TANK WITHOUT STILL WELL



รูปที่ 183 การติดตั้ง Electrically powered servo-operated gauge กับถังสำรองเก็บผลิตภัณฑ์ด้วยความดันต่ำและอุณหภูมิติดลบ ไม่มี stand pipe

บทที่ 13
อิทธิพลที่มีต่อผลผิด ในการวัดด้วย ALG

ในการวัดค่าใดๆ ในทางปฏิบัติแล้วแถบจะไม่มีการวัดใดๆ กระทำได้ถูกต้องแม่นยำ 100% เต็ม แน่นอนย่อมมีข้อผิดพลาด ในที่นี้เราจะพิจารณาผลผิดแต่ละส่วนของระบบการวัดของเหลวภายในถังสำรองขนาดใหญ่รูปทรงแนวตั้งด้วยมาตรวัดความยาวแบบอัตโนมัติสำหรับวัดความสูงของระดับของของเหลวในถังสำรอง (Automatic Level Gauge; ALG) พบว่ามีหลายปัจจัยที่เกี่ยวข้องด้วยกัน แต่ถ้าหากเราแบ่งพิจารณาออกเป็น 2 กรณีโดยในกรณีแรกพิจารณาผลผิดในกรณีต้องการทราบปริมาตรทั้งหมดที่บรรจุอยู่ภายในถังสำรองขนาดใหญ่รูปทรงแนวตั้งพอจะแยกแยะตัวแปรและปัจจัยที่เกี่ยวข้องในระบบการวัดด้วยกัน 2 ตัวแปรหลัก ซึ่งในตัวแปรหลักอาจมีตัวแปรย่อยที่อาจเพิ่มขึ้นหรือเกี่ยวข้องก็ได้คือ

- ระดับของเหลวภายในถังสำรอง (product level)
- ตารางการสอบเทียบถังสำรอง (tank calibration table)

อีกในกรณีต้องการทราบน้ำหนักทั้งหมดของของเหลวภายในถังสำรองขนาดใหญ่รูปทรงแนวตั้งก็จะมีตัวแปรและปัจจัยที่เกี่ยวข้องในระบบการวัดที่สำคัญด้วยกัน 4 ตัวแปรหลักคือ

- ระดับของเหลวภายในถังสำรอง (product level)
- ตารางการสอบเทียบถังสำรอง (tank calibration table)
- อุณหภูมิเฉลี่ยภายในถังสำรอง (average temperature)
- ความหนาแน่นสัมพันธ์ (relative density)

เนื่องจากตัวแปรของทั้ง 2 กรณีเป็นส่วนสำคัญและเป็นองค์ประกอบของการหาค่าปริมาตรทั้งหมดและน้ำหนักทั้งหมดของของเหลวที่บรรจุอยู่ภายในถังสำรอง โดยถือว่าปัจจัยอื่นๆ มีผลกระทบต่อผลผิดน้อยมาก

นอกจากนี้เพื่อให้การประเมินผลผิดให้แคบลงมาอีกวึงพิจารณาเฉพาะผลผิดแบบ random error โดยในที่นี้ถือว่าแต่ละปัจจัยที่ก่อให้เกิดผลผิดนั้นมีอิทธิพลเท่าเทียมกัน (equal degrees of inaccuracy) ในส่วนของตารางสอบเทียบถังสำรองนั้นพบว่ามักเป็นผลผิดแบบ system error จะอธิบายในตอนต่อไป

1. ตารางการสอบเทียบถังสำรอง (Tank calibration table)

ด้วยตารางการสอบเทียบถังสำรอง (Tank calibration table) เป็นการหาความสอดคล้องและสัมพันธ์ระหว่างค่าความสูงของเหลวภายในถังสำรองเทียบกับค่าปริมาตรของเหลวที่บรรจุจริง

ในการสืบเสาะสาเหตุของผลผิดที่อาจเกิดจากตารางการสอบเทียบถังสำรองจึงอยู่ภายใต้ข้อสมมุตที่ว่าหากถังสำรองขนาดใหญ่รูปทรงแนวตั้งคงสภาพเป็นทรงกลมได้ดีระดับหนึ่ง แล้วจะมีผลผิดไม่เกิน ±0.1% ในการแปรค่าความสูงของเหลวภายในถังสำรองเป็นค่าปริมาตรที่บรรจุ ในส่วนความน่าเชื่อถือในผลผิดดังกล่าวพบว่ายังขึ้นอยู่กับความแม่นยำของการสอบเทียบถังสำรองซึ่งเป็นการได้มาของตารางการสอบเทียบถังสำรองรวมทั้งความเสถียรภาพของโครงสร้างของตัวถังสำรองอีกด้วย

ในขณะที่ตารางสอบเทียบถังสำรองได้มีการคำนวณชดเชยการขยายของผนังถังเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงระดับความสูงของเหลวภายในถังสำรอง ในส่วนของการเปลี่ยนแปลงรูปทรงของพื้นถังสำรองนั้นค่อนข้างยากในการทำนาย โดยเฉพาะที่ระดับของเหลวภายในถังสำรองอยู่ที่ระดับต่ำๆ พื้นถังจะเปลี่ยนแปลงรูปทรงที่ไม่เหมือนกันในแต่ละระดับ พบว่าประมาณมากกว่า 50% ของการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของพื้นถังสำรองจะเกิดขึ้นภายในความสูงของระดับของเหลวช่วง 1 เมตรแรกจากพื้นถังสำรองด้วยเหตุนี้การวัดใดๆที่ต่ำกว่าระดับนี้จึงให้ผลไม่น่าเชื่อถือได้มากเท่าใดนัก ดังนั้นที่ความสูงกว่า 1 เมตรนี้การเสียรูปทรงและการเปลี่ยนแปรรูปทรงของพื้นถังจึงค่อนข้างมีความสัมพันธ์สอดคล้องกับระดับความสูงของเหลว และผลผิดดังกล่าวที่เกิดขึ้นนี้ควรถูกรวมไว้ในตารางสอบเทียบถังสำรอง

ดังได้กล่าวไว้ในบทก่อนหน้านี้แล้วว่า โดยทั่วไปมักพบว่าผลผิดที่เกิดขึ้นในตารางสอบเทียบถังสำรองจะผิดพลาดไปในทิศทางเดียว นั้นหมายความว่าหากต้องการหาปริมาตรของถังสำรองแล้วเกิดผลผิดโดยจะแสดงปริมาตรมากเกินความเป็นจริงที่ระดับของเหลวภายในถังสำรองที่ระดับหนึ่งแล้วเมื่อทำการวัดที่ระดับอื่นที่แตกต่างกันออกไปก็จะแสดงปริมาตรเกินความเป็นจริงที่ทุกระดับความสูงของของเหลวภายในถังสำรอง ปกติแล้วไม่ค่อยพบว่าระดับของเหลวถายในถังสำรองที่ความสูงหนึ่งให้ผลผิดปริมาตรมากกว่าค่าปริมาตรจริงในขณะที่อีกระดับความสูงของเหลวที่แตกต่างกันภายในถังสำรองให้ผลผิดปริมาตรน้อยกว่าค่าปริมาตรจริง ด้วยเหตุนี้แม้ว่าเราตรวจวัดระดับความสูงของเหลวภายในถังสำรองด้วยเทปวัดและเครื่องวัดอุณหภูมิด้วยความระมัดระวังและเที่ยงตรงอย่างไรก็ตามก็ไม่สามารถลดผลผิดที่เกิดจากผลผิดของระบบ (system error) ได้

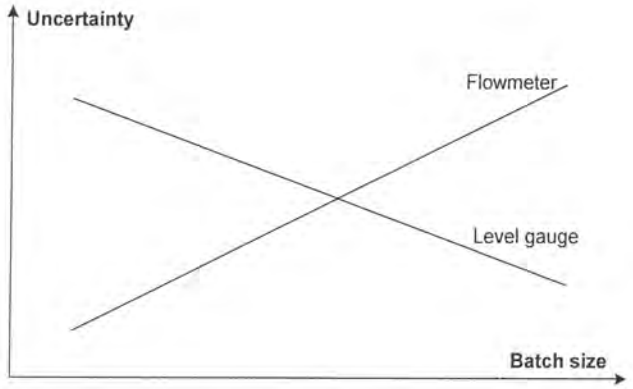
ผลผิดระบบเป็นผลผิดที่เราอาจสามารถหาสาเหตุได้และไม่ได้ เนื่องจากผลผิดระบบนี้จะมีค่าเล็กน้อยยากที่สังเกตุเห็นได้ชัดเจนในการคำนวณอีกทั้งผลผิดระบบมักจะเป็นผลผิดในทิศทางเดียวกันจึงให้ผลการคำนวณดูแล้วดีน่าถูกต้อง แต่อย่างไรก็ตามผลผิดระบบดังกล่าวควรได้รับการตรวจสอบและกำจัดผลผิดออกไปจากระบบการวัดปริมาตรของถังสำรอง การหาผลผิดระบบได้โดยการคำนวณหรือโดยใช้วิธีการที่เหมาะสมในการกำจัดค่าผลผิดระบบนี้และการลดขนาดค่าผลผิดแบบนี้ สามารถทำได้โดยการนำค่าผลผิดนี้ไปทำการแก้ไขผลที่ได้จากการวัด การเพิ่มจำนวนครั้งของวัดระดับของเหลวภายในถังสำรองก็อาจลดผลผิดชนิดนี้ลงได้

2. ระดับของเหลวภายในถังสำรอง (Product level)

ในการซื้อขายของเหลวภายในถังสำรองจะมีการวัดปริมาตรการซื้อขายด้วยทั้งการใช้ turbine meter, positive displacement meter, หรือ coriolis mass flow meter แต่ที่แน่นอนทุกครั้งก่อนมีการจ่ายของเหลวออกจากถังสำรองและหลังจากมีการจ่ายของเหลวออกจากถังสำรองแล้วเสร็จจะมีการตรวจสอบตัวเลขยืนยันกันระหว่างปริมาตรที่ได้จากการวัดระดับของเหลวภายในถังสำรองแล้วแปลงไปเป็นค่าปริมาตรที่จ่ายออกไป ความแม่นยำสัมพัทธ์ของการวัดระดับของเหลว

ภายในถังสำรองจะดีและน่าเชื่อถือได้ก็ต่อเมื่อเป็นการวัดของเหลวในปริมาตรที่มากเพียงพอที่ทำให้ระดับของเหลวก่อนและหลังการจ่ายออกไปต่างกันมากกว่า 1 เมตรเป็นอย่างน้อย

เนื่องจากข้อเท็จจริงในการวัดปริมาตรของเหลวที่ดำเนินไปทุกวันนี้เราพบว่าหากเป็นการจ่ายหรือวัดปริมาตรในปริมาณจำนวนน้อยๆ การวัดแบบไดนามิกส์ (dynamic measurement) ด้วยพวกมาตรวัด turbine meter, positive displacement meter, หรือ coriolis mass flow meter จะให้ผลถูกต้องและน่าเชื่อถือเท่ากับหรือสูงกว่าการวัดแบบสเตติก (static measurement) คือการวัดระดับของเหลวภายในถังสำรองก่อนและหลังจากจ่ายหรือรับของเหลวเข้าถังสำรองก่อนถูกแปลงไปเป็นค่าปริมาตรด้วยตารางสอบเทียบประจำถังสำรอง แต่ในทางกลับกันหากเป็นการซื้อขายคราวละจำนวนมากๆภายในครั้งเดียวเช่นการจ่ายของเหลวออกจากถังสำรองหรือสูบอัดของเหลวเข้าถังสำรองจากเรือบรรทุกแล้วการวัดแบบสเตติก (static measurement) จะให้ผลการวัดที่มีความแม่นยำสูงกว่าการวัดแบบไดนามิกส์ (dynamic measurement) ดังแสดงไว้ในรูปที่ 184



รูปที่ 184 กราฟแสดงเปรียบเทียบค่า uncertainty ระหว่างการวัดแบบ Static measurement (Flowmeter) กับการวัดแบบ Dynamic measurement เมื่อขนาดปริมาณของเหลวที่วัด (batch size) เปลี่ยนแปลงไป

เนื่องจากการวัดระดับของเหลวภายในถังสำรองหากเราใช้เทปวัดระดับ (sounding tape) นั้นผลผิดของการสอบเทียบสายเทปวัดมักจะเป็นผลผิดลักษะเชิงเส้น (linear error) เท่ากับ $\pm 0.1L$ เมื่อ L คือความสูงระดับของเหลวบนสายเทปวัด

พิจารณาผลผิดที่อุณหภูมิมาตรฐาน (standard temperature) จะได้ว่าผลผิดจะเพิ่มขึ้นโดยประมาณ 1.5×10^{-2} mm/m/°C หรือหากอุณหภูมิเบี่ยงเบนไปจากอุณหภูมิมาตรฐาน 10 °C มีค่าเท่ากับ ± 0.15 mm/m

ดังนั้นเมื่อระดับเปลี่ยนแปลงระหว่างก่อนและหลังทำการวัดสูงต่างกันเกิน 1 เมตร โอกาสที่มีผลผิดก็ไม่ควร ± 0.25 mm (เพื่อความปลอดภัยเราพิจารณาที่ผลต่างระดับความสูงระดับของเหลวประมาณ 1.6 เมตรของ ± 0.15 mm/m ซึ่งเท่ากับ $1.66 \text{ m} \times \pm 0.15 \text{ mm/m} = \pm 0.25$ mm) ถ้าหากอุณหภูมิแวดล้อมไม่ต่างจากอุณหภูมิมาตรฐานเกินกว่า 10 °C หากอุณหภูมิมาตรฐานเท่ากับ 15 °C ดังนั้นข้อสมมุติฐานนี้จะจริงได้เมื่ออุณหภูมิแวดล้อมเปลี่ยนแปลงอยู่ภายในช่วงระหว่าง -5 °C ถึง 25 °C

แต่เนื่องจากอิทธิพลของผลผิดในการวัดระดับของเหลวไม่จำเป็นต้องเกินมากกว่าระดับความแม่นยำของตารางสอบเทียบถังสำรองหรือเท่ากับ ±0.1% สำหรับการรับหรือจ่ายที่ทำให้ระดับของเหลวภายในถังสำรองเปลี่ยนแปลงต่างกันอย่างน้อย 1 เมตร

จากคำนิยามของ ความสามารถผลิตซ้ำ (Reproducibility) คือ ความใกล้กันมากที่สุดของผลการวัดปริมาณจำนวนครั้งที่แน่นอนติดต่อกันที่ปริมาณเดียวกัน โดยการวัดปริมาณดังกล่าวแต่ครั้งกระทำด้วยวิธีการแตกต่างกัน ใช้เครื่องชั่งตวงวัดแตกต่างกัน ในห้องปฏิบัติแตกต่างกัน ผู้ทำการวัดที่แตกต่างกัน ภายใต้ช่วงระยะเวลาห่างกันมากเมื่อเทียบกับช่วงระยะเวลาที่ทำการวัดแต่ละครั้ง ภายใต้สภาวะแวดล้อมและเงื่อนไขการใช้เครื่องชั่งตวงวัดที่แตกต่างเช่นกัน

การใช้ความสามารถผลิตซ้ำของแต่ละการวัด จะเกิดขึ้นเมื่อมีการกำหนดตัวแปรใดตัวแปรหนึ่งหรือทั้งหมดในการแสดงผลหรือความสามารถการวัดของเครื่องชั่งตวงวัด การหาค่าความสามารถทำซ้ำมักจะหาจากการประมาณค่าบนพื้นฐานของค่าความไม่แน่นอนของการวัด (uncertainty) เช่นเดียวกัน ด้วยเหตุนี้หากในการวัดมีแหล่งหรือปัจจัยที่ก่อให้เกิด Random Error มาก ค่าความไม่แน่นอนของการวัดก็ยิ่งสูงเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความสามารถทำซ้ำได้ (repeatability) ยิ่งมากขึ้น ซึ่งจะทำให้ความสามารถผลิตซ้ำมีค่าสูงกว่าค่าความสามารถทำซ้ำได้

จึงจำเป็นต้องทำการแก้ไขค่าผลการวัดอันเนื่องจาก systematic errors แต่ละครั้งเสียก่อนที่จะนำไปหาค่าความสามารถผลิตซ้ำ

ความสามารถผลิตซ้ำ(Reproducibility) อาจแสดงในรูปของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน "S" ของข้อมูล

$$S = \sqrt{\frac{1}{N-1}\sum_{i=1}^{N}(X_i - \overline{X})^2}$$

เมื่อ

N = จำนวนของผลการวัด

$\overline{X}$ = ค่าเฉลี่ยของผลการวัด

หมายเหตุ การแสดงค่า Repeatability หรือ Reproducibility สามารถแสดงได้หลายรูปแบบ เช่น อาจแสดงเป็นเปอร์เซ็นต์ของผลต่างของผลการชั่งน้ำหนัก 2 ครั้ง

ดังนั้นผลผิดที่หาได้จึงมีความไม่แน่นอน (uncertainty) ±0.25 mm และผลผิดของความสามารถผลิตซ้ำได้ (reproducibility) จึงไม่ควรเกิน 3 เท่า (ด้วยระดับความมั่นใจ 99.73%) ของความไม่แน่นอน ±0.25 mm ซึ่งเท่ากับ ±0.75 mm (3 × ±0.25 mm)

ดังนั้นความสามารถผลิตซ้ำได้ของการวัดระดับแต่ละครั้งจึงควรอยู่ภายในค่า ±0.75 mm / $\sqrt{2}$ = ±0.5 mm

3. อุณหภูมิภายในถังสำรอง (Temperature)

การลดลงของปริมาตรเมื่อแปลงไปยังที่อุณหภูมิมาตรฐานควรอยู่ภายใน ±0.1% เมื่อการวัดอุณหภูมิมีความแม่นยำด้วย ±0.5 °C ซึ่งคำนวณแล้วประมาณ 0.05% ในเทอมของปริมาณผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม

เนื่องจากอุณหภูมิภายในถังสำรองจะเปลี่ยนแปลงไปทั้งที่ระดับและตำแหน่งห่างหรือใกล้ผนังถังสำรองอีกทั้งขึ้นอยู่กับค่าความหนาแน่นที่แต่ละตำแหน่งนั้นๆ

วิธีการวัดอุณหภูมิและการหาการกระจายตัวของอุณหภูมิ ในแต่ละระดับและตำแหน่ง จะไม่ขอพูดในที่นี้ แต่รูปแบบการจัดวางตัวตรวจวัดอุณหภูมิที่ดีเพื่อหาอุณหภูมิเฉลี่ยภายในถังสำรองได้ทั้งถังสำรอง ดังในรูปที่ 68

4. ความหนาแน่นสัมพันธ์ (relative density)

นับว่าเป็นการยากที่จะหาความหนาแน่นสัมพันธ์ (*relative density*) ภายในถังสำรองเนื่องจากต้องใช้เครื่องมือจำนวนมากและแพงในทางปฏิบัติในภาคสนาม ดังนั้นจึงดูเหมือนว่าจะต้องเป็นการตักตัวอย่างที่ระดับและตำแหน่งที่คาดไว้แล้วนำไปหาความหนาแน่นในห้องปฏิบัติการแทน และก็พอให้ผลน่าเชื่อถือได้เช่นกันในระดับหนึ่ง

พอประมาณด้วยความระมัดระวังว่ามีความแม่นยำอยู่ประมาณ ±0.1%

5. ขั้นตอนการคำนวณหาผลผิดของการวัดปริมาตรของเหลวภายในถังสำรอง

ก่อนอื่นเพื่อให้เข้าใจจึงขอยกรายละเอียดการคำนวณดังในนิยามต่อไปนี้

ก) ความไม่แน่นอน (Uncertainty of measurement) คือค่าแสดงลักษณะคุณสมบัติการกระจายของผลการวัดซึ่งถูกกำหนดภายใต้ขอบเขตของผลผิด (Limits of error)

ข) ของเขตของผลผิดของการวัดค่าหนึ่งของชุดการวัดชุดหนึ่ง (Limiting errors (confidence limits) of single measurement in a series) คือค่าผลผิดมากที่สุดทั้งผลผิดฝ่ายมากและผลผิดฝ่ายน้อย ที่ซึ่ง ความน่าจะเป็นที่ผลผิดของการวัดใดๆในชุดการวัดหนึ่งจะมีค่าไม่เกินกว่าค่าผลผิดมากที่สุดทั้งผลผิดฝ่ายมากและผลผิดฝ่ายน้อยเท่ากับ P และมีความน่าจะเป็นที่ผลผิดของการวัดใดๆในชุดการวัดหนึ่งจะมีค่าเกินกว่าค่าผลผิดมากที่สุดทั้งผลผิดฝ่ายมากและผลผิดฝ่ายน้อยเท่ากับ (P-1)

โดยทั่วไปของเขตของผลผิดของการวัดค่าหนึ่งของชุดการวัดชุดหนึ่ง (Limiting errors (confidence limits) of single measurement in a series) นิยามด้วย

$$-tS < \text{ขอบเขตของผลผิด (Limits of error)} < +tS$$

เมื่อสมมุต

1. ให้การกระจายของผลการวัดชุดหนึ่งๆ นั้นมีการกระจายตัวแบบปกติ (normal distribution) และมีจำนวนผลการวัดมากเพียงพอจำนวนหนึ่งแล้ว

   $t = 1.96$ สำหรับ $P = 95\%$

   $t = 2.58$ สำหรับ $P = 99\%$

   $t = 3$ สำหรับ $P = 99.73\%$

2. ผลการวัดทั้งหมดได้รับการแก้ไขค่าผลผิดระบบ (Systematic Error) แล้วดังนั้นค่าความน่าจะเป็น P คือค่าทางสถิติซึ่งหมายถึง ระดับความมั่นใจ (Confidence level) และขอบเขตผลผิดของการวัด (Limiting errors) หมายถึงขอบเขตความมั่นใจ (Confidence limits)

ค) **ความไม่แน่นอนของผลการวัดค่าหนึ่งของชุดการวัดชุดหนึ่ง (Uncertainty of single measurement of a series)** จะแสดงอยู่ในรูปของ $\pm$ t.S

ตัวอย่าง ค่าที่ได้จากการชั่งตุ้มน้ำหนัก 200 ก. และค่าความไม่แน่นอน $\pm$ 2 ก. หมายความว่าในการชั่งตุ้มน้ำหนักครั้งนี้ที่แท้จริง (ค่าผลผิดเท่ากับ 0) อาจจะเป็นค่าใดค่าหนึ่งในช่วง (200 – 2 ก. ถึง 200 + 2 ก.)

ง) **การรวมค่าความไม่แน่นอน** การรวมค่าความไม่แน่นอนสามารถทำได้ 2 วิธีคือ

1. การรวมแบบ บวกลบ โดยตรงจากค่าผลผิด (Error)
2. การรวมแบบ Root Sum Square จากค่าผลผิด (Error)

$$U = \sqrt{\sum_{i=1}^{N} F_i^2}$$

เมื่อ

F_i คือค่าผลผิดของการวัดเนื่องจากสาเหตุ i

การจะเลือกวิธีการรวมค่าความไม่แน่นอนแบบไหนให้เลือกจากลักษณะของค่าผลผิดนั้น ถ้าค่าผลผิดมีค่าคงที่และไม่อยู่ในลักษณะที่จะหักล้างกันเองได้ ให้เลือกวิธี (1) คือการรวมแบบ บวกลบ โดยตรงของค่าผลผิด แต่ถ้าค่าผลผิดมีลักษณะที่เป็นไปได้ที่จะหักล้างกันเองให้รวมแบบ (2) แบบ Root Sum Square จากค่าผลผิด (Error)

การรวมค่าความไม่แน่นอนที่เกิดจากค่าผลผิดแบบ Random Error จะใช้วิธีรวมแบบ (2) เพราะค่าผลผิดมีลักษณะที่จะสามารถหักล้างกันเองได้

การรวมค่าความไม่แน่นอนที่เกิดจากค่าผลผิดแบบ Systematic Error จะใช้วิธีรวมแบบ (1) หรือ (2) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะของความผิดพลาดว่าจะมีลักษณะความผิดพลาดที่สามารถหักล้างกันเองได้หรือไม่

การรวมค่าความไม่แน่นอนที่เกิดจากค่าผลผิดแบบ Random Error กับ Systematic Error จะใช้วิธีการรวมแบบ (1) หรือ (2) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะของความผิดพลาดว่าจะมีลักษณะความผิดพลาดที่สามารถหักล้างกันเองได้หรือไม่

เมื่อทำความเข้าใจถึงการรวมค่าความไม่แน่นอนเป็นที่เรียบร้อยแล้วเราจึงขอสรุปค่าความไม่แน่นอนของแต่ละตัวแปรและชนิดของผลผิดว่าเป็นผลผิดแบบ system error หรือ random error ดังนี้

ตารางที่ 13.1 สรุปค่าผลผิดและชนิดผลผิด

Parameter	Uncertainty	Type of error
ตารางการสอบเทียบถังสำรอง (tank calibration table)	0.1%	system error
ระดับของเหลวภายในถังสำรอง (product level)	0.1%	random error
อุณหภูมิเฉลี่ยภายในถังสำรอง (average temperature)	0.1%	random error
ความหนาแน่นสัมพันธ์ (relative density)	0.1%	random error

เมื่อเราไปทำการวัดระดับของเหลวภายในถังสำรอง เราจะได้ปริมาตรของเหลวที่อุณหภูมิมาตรฐานก็ต่อเมื่อนำระดับของเหลวที่วัดได้ไปเปิดตารางสอบเทียบประจำถังสำรองเมื่อได้ค่าปริมาตรแล้วนำค่าปริมาตรดังกล่าวคูณด้วยตัวแปรแก้ไขค่าซึ่งได้แก่ ตัวแปรแก้ไขค่าอุณหภูมิและตัวแปรแก้ไขค่าของการขยายตัวของถังสำรอง เป็นต้น

ผลผิดของผลการหาปริมาตรในขั้นตอนสุดท้ายสามารถคำนวณหาจาก (ตารางการสอบเทียบถังสำรอง, ระดับของเหลวภายในถังสำรองและอุณหภูมิเฉลี่ยภายในถังสำรอง ตามลำดับของตัวแปรในสมการข้างล่าง)

$$\Delta V = \pm\left[\text{Tank cal. table} + \sqrt{(\text{Level}^2 + \text{Temp.}^2)}\right]$$

$$= \pm\left[0.1 + \sqrt{(0.1^2 + 0.1^2)}\right] \cong \pm 0.25\%$$

ภายใต้เงื่อนไขของการวัดระดับถังสำรองด้วยจำนวนหลายครั้งจำนวนหนึ่งและระดับของเหลวเปลี่ยนแปลงไปเมื่อเทียบก่อนและหลังการรับหรือจ่ายของเหลวด้วยระดับ 1 เมตร

ด้วยเหตุนี้หากระดับของเหลวเปลี่ยนแปลงไปเมื่อเทียบก่อนและหลังการรับหรือจ่ายของเหลวด้วยระดับมากกว่า 1 เมตร ΔV จะมีค่ายิ่งน้อยลง

ดังนั้นหากเราทราบปริมาตรที่อุณหภูมิมาตรฐานแล้วเราอาจแสดงค่าในรูปของ

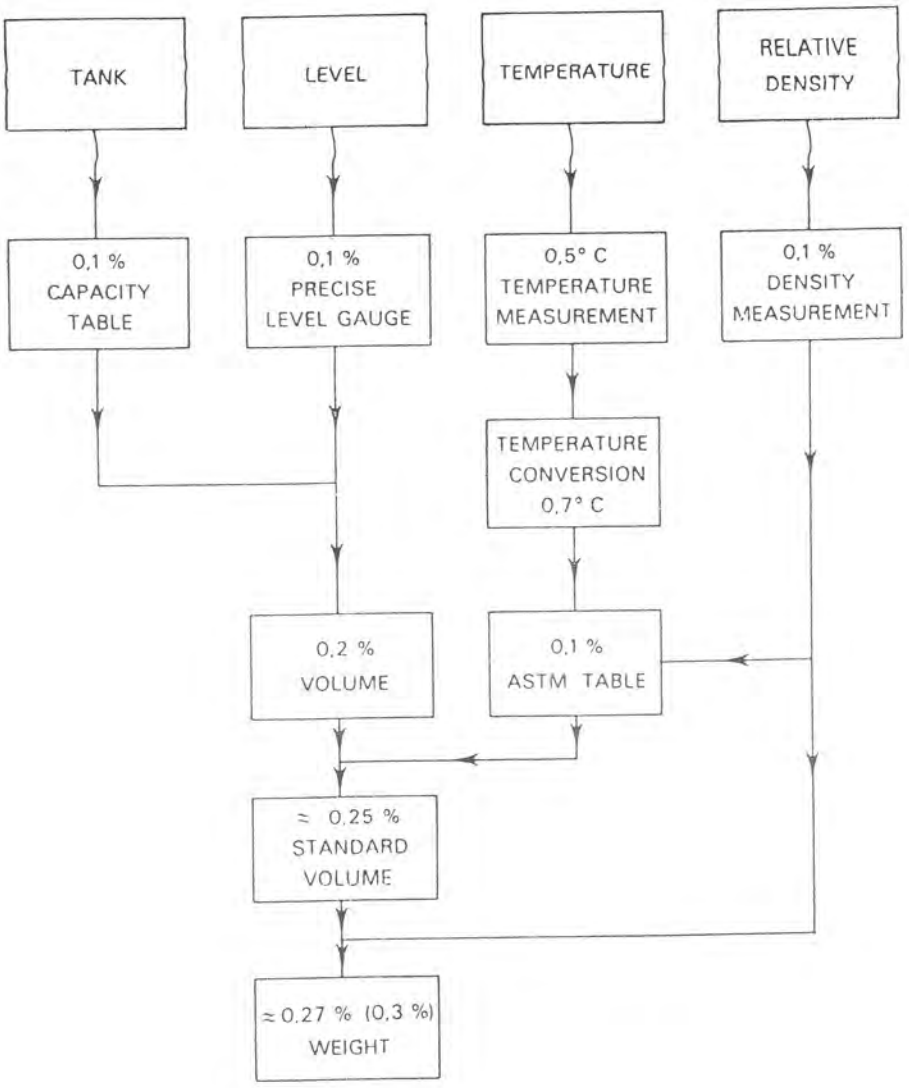
100,000 ลิตร ±0.25% หรือ 100,000 ±250 ลิตร

ในกรณีที่เราต้องการทราบน้ำหนักของของเหลวภายในถังสำรองขนาดใหญ่รูปทรงแนวตั้ง การนำค่าปริมาตรที่หาในขั้นตอนแรกคูณกับค่าความหนาแน่นก็จะได้เป็นค่าน้ำหนักของเหลวที่มีการรับหรือจ่าย ในกรณีนี้ผลผิดของผลการหาน้ำหนักของเหลวในขั้นตอนสุดท้ายสามารถคำนวณหาจาก

$$\Delta G = \pm\left[\text{Tank cal. table} + \sqrt{(\text{Level}^2 + \text{Temp.}^2 + \text{Density}^2)}\right]$$

$$= \pm\left[0.1 + \sqrt{(0.1^2 + 0.1^2 + 0.1^2)}\right] \cong \pm 0.27\%$$

สรุปผลผิด (error) ในการหาปริมาตรและน้ำหนักของเหลวภายในถังสำรองได้ดังในรูปที่ 185



รูปที่ 185 บางมุมมองของผลผิด เนื่องจากการใช้ ALG เพื่อหาปริมาตรและน้ำหนัก

ภาคผนวก

Orientation Table for Level Detectors

Type	Level Range (In feet: 1 3 6 12 24 48 96 100 150 200; In meters: 0.3 1 2 4 8 16 32 34 50 67)	Max. Temperature (°F) °C = (°F − 32)/1.8	Available as Noncontact	Inaccuracy (1 in. = 25.4 mm)	Cost			Available Designs			Applications								Limitations
											Liquids					Solids			
					Under $1000	$1000–$5000	Over $5000	Switch	Local Indicator	Transmitter	Clean	Viscous	Slurry/Sludge	Interface	Foam	Powder	Chunky	Sticky	
Air Bubblers		UL		1–2% FS	✓			✓	✓	✓	G	F	P	F					Introduces foreign substance into process; high maintenance.
Capacitance		2,000	✓	1–2% FS	✓	✓		✓		✓	G	F–G	F	G–L	P	F	F	P	Interface between conductive layers and detection of foam is a problem.
Conductivity Switch	Point Sensor	1800		⅛ in.	✓			✓			F	P	F	L	L	L	L	L	Can detect interface only between conductive and nonconductive liquids. Field effect design for solids.
Diaphragm		350		0.5% FS	✓	✓		✓		✓	G	F	F			F	F	P	Switches only for solids service.
Differential Pressure		1200		0.1% AS	✓	✓		✓	✓	✓	E	G–E	G	P					Only extended diaphragm seals or repeaters can eliminate plugging. Purging and sealing legs are also used.
Displacer		850		0.5% FS	✓	✓		✓	✓	✓	E	P	P	F–G					Not recommended for sludge or slurry service.
Float		500		1% FS	✓			✓	✓	✓	G	P	P	F					Moving parts limit most designs to clean service. Only preset density floats can follow interfaces.
Laser		UL	✓	0.5 in.			✓			✓	L	G	G		F	F	F	F	Limited to cloudy liquids or bright solids in tanks with transparent vapor spaces.
Level Gauges		700		0.25 in.	✓				✓		G	F	P	F					Glass is not allowed in some processes.
Microwave Switch	Point Sensor	400	✓	0.5 in.	✓	✓		✓			G	G	F	G		G	G	F	Thick coating is a limitation.

Optical Switches	Point Sensor	260	✓	0.25 in.	✓	✓		✓			G	F	E	F–G	F	F	P	F	Refraction-type for clean liquids only; reflection-type requires clean vapor space.
Radar		450	✓	0.12 in.			✓		✓	✓	G	G	F	P		P	F	P	Interference from coating, agitator blades, spray, or excessive turbulence.
Radiation		UL	✓	0.25 in.		✓	✓	✓		✓	G	E	E	G	F	G	E	E	Requires NRC license.
Resistance Tape		225		0.5 in.		✓			✓	✓	G	G	G						Limited to liquids under near-atmospheric pressure and temperature conditions.
Rotating Paddle Switch	Point Sensor	500		1 in.	✓											G	F	P	Limited to detection of dry, noncorrosive, low-pressure solids.
Slip Tubes		200		0.5 in.	✓						F	P	P						An unsafe manual device.
Tape Type Level Sensors		300		0.1 in.		✓			✓	✓	E	F	P	G		G	F	F	Only the inductively coupled float is suited for interface measurement. Float hangup is a potential problem with most designs.
Thermal		850		0.5 in.	✓	✓		✓		✓	G	F	F	P	F				Foam and interface detection is limited by the thermal conductivities involved.
TDR/PDS		221		3 in.		✓				✓	F	F	F			G	G	F	Limited performance on sticky process materials.
Ultrasonic		300	✓	1% FS	✓	✓		✓		✓	F–G	G	G	F–G	F	F	F	G	Presence of dust, foam, dew in vapor space; sloping or fluffy process material interferes with performance.
Vibrating Switches	Point Sensor	300		0.2 in.	✓			✓			F	G	G	F		F	G	G	Excessive material buildup can prevent operation.

TDR = Time Domain Reflectometry
PDS = Phase Difference Sensors
AS = in % of actual span
E = Excellent
F = Fair
FS = in % of full scale
G = Good
L = Limited
P = Poor
UL = Unlimited

เอกสารอ้างอิง

ส่วนที่ 2 ถังสำรองขนาดใหญ่รูปทรงแนวตั้ง (Storage tank in the form of vertical cylinder)

1. ***OIML R 71, Fixed Storage Tanks General requirements***, Organization International of Legal Metrology (OIML), Edition 1985(E)
2. ***OIML R 85, Automatic level gauges for measuring the level of liquid in fixed storage tanks,*** Organization International of Legal Metrology (OIML), Edition 1998(E)
3. ***OIML R 117, Measuring system for liquids other than water,*** Organization International of Legal Metrology (OIML), Edition 1995(E)
4. ***PTB Testing Instruction, Storage Tanks in the Form of Vertical Cylinders,*** Dr. Konrad Bonke , Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), 1985
5. ***ENGINEERING DATA BOOK, Volume I Section 6,*** Gas Processors Suppliers Association & Gas Processors Association, Tenth Edition, 1987
6. ***INSPECTION AND MAINTENACE OF OIL STORAGE TANKS,*** Japan Cooperation Center for Petroleum Industry Development
7. ***SGS. Singapore (Pte) Ltd. Redwood Petroleum and Petrochemical Services,*** A-332, A-302, A-363, A-303, 1985
8. ***INSTRUMENT ENGINEERS' HANDBOOK, Process Measurement and Analysis,*** Bela G. Liptak, CRC PRESS, Third edition 1995
9. ***STORAGE TANK MAINTENANCE,*** IDEMITSU TECHNICAL TRAINING CENTER, IDEMITSU KOSAN.,LTD., 1984
10. ***API STANDARD 620, Recommended Rules for Design and Construction of Large, Welded, Low-Pressure Storage Tanks,*** American Petroleum Institute, 7th Edition, Revision 1, 1985
11. ***API STANDARD 2550, Method for Measurement and Calibration of Upright Cylindrical Tanks,*** American Petroleum Institute, 1st Edition, October 1965
12. ***API BULLENTIN 2521, Use of Pressure-Vacuum Vent Valves for Atmospheric Pressure Tanks to Reduce Evaporation Loss,*** American Petroleum Institute, September 1966
13. ***Guide for inspection of Refinery Equipment, Chapter XIII-Atmospheric and Low-Pressure Storage Tanks,*** American Petroleum Institute, 7th Edition, 1981

14. ***การคำนวณผลการสอบเทียบทางด้านปริมาตร***, วีระศักดิ์ วิสุทธาธรรม, สาธิต ชูสุวรรณ, เมตตา เนียมเปรม, สำนักงานกลางมาตราชั่งตวงวัด, กรมทะเบียนการค้า

15. ***Custody Transfer with Radar Level Gauging***, Lennart Hagg, Technical manager. Saab Tank Control, 2000.

16. ***Verification Equipment for National Metrology*** , OIML: Service , March 1986

17. ***Applied Instrumentation in the Process Industries*** , Volume I , Second edition, A Survey , W.G. Andrew , H.B. Williams , 1979

18. ***Vocabulary of Legal Metrology, Fundamental terms,*** OIML, Edition 1978

19. ***Instrumentation and process measurements,*** W. BOLTON, Longman Scientific & Technical, 1993

20. ***MECHANICAL MEASUREMENTS,*** Thomas G. Beckwith, Roy D. Marangoni, John H. Lienhard, Addison-Wesley Publishing Company, 5th edition, 1993

21. ***Lecture Notes, Process Measurements and Instrumentation,*** Tsumuyuki Ogawa, Rikichi Suzuki, Yokogawa Electric Works, Ltd. Tokyo, Japan, 1975

สำนักงานกลางชั่งตวงวัด

Central Bureau of Weights & Measures