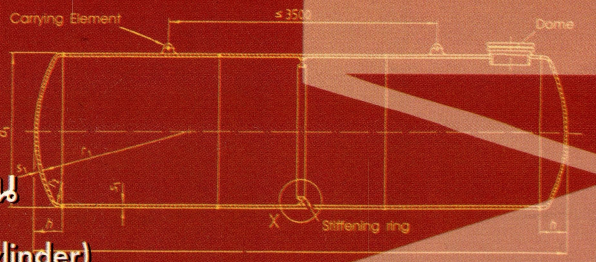
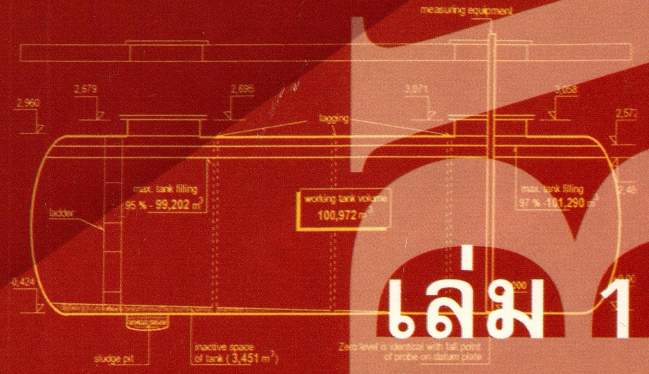
ถังบรรจุของเหลวซึ่งติดตั้งอยู่กับที่ในรูปแบบทรงกระบอกในแนวนอน

(Fixed Storage Tank in the Form of Horizontal Cylinder)

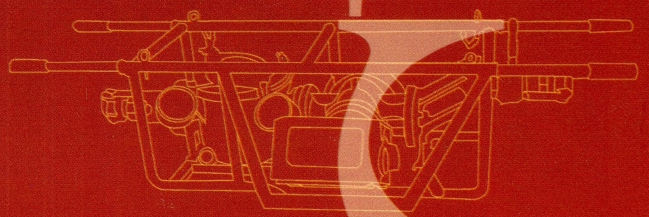


ถังสำรองขนาดใหญ่รูปทรงแนวตั้ง

(Storage Tank in the Form of Vertical Cylinder)



เล่ม 1



สำนักงานกลางชั่งตวงวัด

Central Bureau of Weights & Measures

กรมทะเบียนการค้า

1st ปีงบประมาณ 43 – 45 ?

ถังบรรจุของเหลวซึ่งติดตั้งอยู่กับที่ในรูปแบบทรงกระบอกในแนวนอน

(Fixed Storage Tank in the Form of Horizontal Cylinder)

ถังสำรองขนาดใหญ่รูปทรงแนวตั้ง

(Storage Tank in the Form of Vertical Cylinder)

เล่ม 1

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 1

ถังบรรจุของเหลวซึ่งติดตั้งอยู่กับที่ในรูปแบบทรงกระบอกในแนวนอน

(Fixed storage tank in the form of horizontal cylinder)

หรือ

ถังบรรจุของเหลวในแนวนอน

(Horizontal storage tank)

สารบัญ

ส่วนที่ 1 ถังบรรจุของเหลวซึ่งติดตั้งอยู่กับที่ในรูปแบบทรงกระบอกในแนวนอน (Fixed storage tank in the form of horizontal cylinder) หรือ ถังบรรจุของเหลวในแนวนอน (Horizontal storage tank)

บทที่ 1 ความรู้เบื้องต้นถังบรรจุของเหลวในแนวนอน (Horizontal storage tank) **1**

บทที่ 2 เตรียมการก่อนสอบเทียบ (Preparation) **23**

บทที่ 3 ขอบเขตการกำหนดขั้นตอนและจำนวนครั้งการเติมของเหลวเข้าไปในถัง (Criteria for the stepwise filling of storage tank) ตารางขั้นตอนการเติมของเหลวแต่ละครั้ง (Filling step tables) **29**

บทที่ 4 การคำนวณหาค่าปริมาตรต่ำสุดของการเติมของเหลวของขั้นตอนการเติมของเหลวในแต่ละครั้ง (Calculation of the minimum value of the filling step the volume) การจัดทำขั้นตอนการเติมของเหลวแต่ละครั้ง (Establishment of the filling step schedule) **57**

บทที่ 5 การเตรียมแบบมาตราและอุปกรณ์ (Standards and equipment) **65**

บทที่ 6 การเติมของเหลวเข้าสู่ถังพร้อมกับการวัดระดับความสูงของของเหลว (Filling of the storage tank and Dipping) รายงานผลการทดสอบและผลการวัด (Measurement results) **97**

บทที่ 7 การนำเสนอข้อมูลต่อเนื่อง (Data smoothing of measured values) **109**

เอกสารอ้างอิง **128**

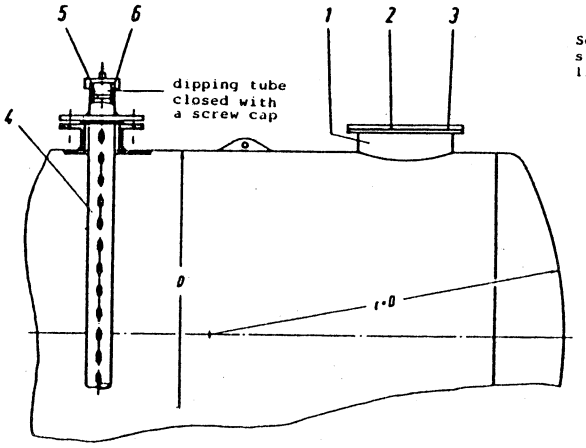
บทที่ 1

ความรู้เบื้องต้น

ถังบรรจุของเหลวในแนวนอน

(Horizontal storage tank)

การหาปริมาตรของถังบรรจุของเหลวซึ่งติดตั้งอยู่กับที่ในรูปแบบทรงกระบอกในแนวนอน (Fixed storage tanks in the form of horizontal cylinders) หรือต่อไปนี้จะเรียกสั้นๆว่า *"ถังบรรจุของเหลวในแนวนอน (horizontal storage tank)"* จำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องทราบค่าปริมาตรการบรรจุที่แน่นอนและควรได้รับการสอบเทียบ (calibration) หรือการตรวจสอบให้คำรับรอง (verification) จากบุคลากรที่มีความรู้ความเข้าใจที่แท้จริง หากถังบรรจุของเหลวดังกล่าวได้ถูกออกแบบด้วยวัตถุประสงค์ใช้งานเพื่อเป็นเครื่องมือสำหรับวัดปริมาตรของเหลวเพื่อการซื้อขายแลกเปลี่ยนสินค้าหรือการคิดคำนวณภาษีอากรได้ใช้จากปริมาตรภายในถังบรรจุของเหลวในแนวนอน ในการสอบเทียบหรือการตรวจสอบให้คำรับรองถังบรรจุของเหลวในแนวนอนนั้นไม่เพียงแต่หาปริมาตรบรรจุ (full volume) ของถัง แต่ยังเป็นการหาความสอดคล้องและสัมพันธ์ระหว่างค่าความสูงของเหลว (filling height) ภายในถังเทียบกับค่าปริมาตรของเหลวที่ใส่ลงไป (filled volume) ในถังบรรจุของเหลวในแนวนอนภายในช่วงความสูงที่กำหนดไว้ที่แน่นอนช่วงหนึ่ง ทั้งนี้ความสัมพันธ์ดังกล่าวจะแสดงอยู่ในรูปของตารางสอบเทียบประจำถัง (tank calibration table) หรือตารางบรรจุ (filling table) หรือ graduated dipstick หรือ scale ดังนั้นเมื่อทราบค่าความสูงของเหลวภายในถังบรรจุของเหลวในแนวนอนแล้วย่อมสามารถทราบค่าปริมาตรของเหลวภายในถังได้ด้วยการ interpolation จากตารางบรรจุ (filling table) หรือ graduated dipstick หรือ scale ลักษณะทั่วไปของถังบรรจุของเหลวในแนวนอน ดังในรูปที่ 1, 4, และ 5



Schematic representation of a horizontal cylindrical storage tank. The stiffening rings as well as the filling and discharge pipes are not shown

1 dome socket

2 dome cover

3 dome flange, control plane to measure the tank's inclination

4 dipping tube

5 stop plate for dipping tube

6 screw cap for dipping tube

รูปที่ 1 แสดงลักษณะทั่วไปของถังบรรจุของเหลวซึ่งติดตั้งอยู่กับที่ในรูปแบบทรงกระบอกในแนวนอน (Fixed storage tanks in the form of horizontal cylinders)

เพื่อให้ได้ค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสูงของเหลวภายในถัง(filling height) กับค่าปริมาตรของเหลวที่ใส่ลงไป (filled volume) ที่มีค่าคงที่แน่นอน วิธีการที่ได้รับความนิยมและน่าเชื่อถือสูงได้แก่ วิธีการตวงเปรียบเทียบด้วยเครื่องตวงแบบมาตรา (volume standards) จำเป็นต้องใช้แบบมาตราเช่น volume-standard (pipette, tank prover) หรือ standard-meter ตวงหรือวัดปริมาตรของเหลวก่อนเทใส่หรือปล่อยลงในถังบรรจุของเหลวในแนวนอนในแต่ละครั้งพร้อมอ่านค่าความสูงของเหลวทุกๆครั้ง เราก็จะได้ความสัมพันธ์ดังกล่าว ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสูงของเหลวภายในถัง(filling height) กับค่าปริมาตรของเหลวที่ใส่ลงไป (filled volume)ของถังบรรจุของเหลวในแนวนอนซึ่งแสดงอยู่ในรูปของตารางสอบเทียบประจำถัง (tank calibration table) หรือตารางบรรจุ (filling table) หรือ graduated dipstick หรือ scale โดยทั่วไปจะมีลักษณะความสัมพันธ์ไม่เป็นเชิงเส้นตรง (non-linear correlation) คือจะมีลักษณะเหมือนรูปตัว "S"

เพื่อให้ได้ความถูกต้องแม่นยำในทางปฏิบัติและเป็นไปตามค่าความไม่แน่นอนที่ยอมรับได้สูงสุด (Maximum permissible uncertainty) การสอบเทียบหรือการตรวจสอบให้คำรับรองจำเป็นต้องกระทำด้วยวิธีการ *"สอบเทียบแบบเปียก (wet calibration)"* เท่านั้น

ในประเทศที่พัฒนาแล้วได้กำหนดอายุของการตรวจสอบให้คำรับรอง 12 ปี หลังจาก 12 ปีจำเป็นต้องได้รับการสอบเทียบหรือตรวจสอบให้คำรับรองใหม่ แต่ทั้งนี้สภาพการติดตั้งของถังบรรจุของเหลวในแนวนอนต้องไม่มีการเปลี่ยนแปลงหรือเคลื่อนย้ายไปประกอบติดตั้งในสถานที่ใหม่ เนื่องจากตารางสอบเทียบประจำถัง (tank calibration table) ของถังบรรจุของเหลวในแนวนอน ได้รับผลกระทบอย่างรุ่นแรงมากจากอิทธิผลของ

- ☞การเปลี่ยนตำแหน่งและการเอียงตัวของถัง (Inclination) หลังจากได้รับการสอบเทียบหรือตรวจสอบให้คำรับรอง ไม่ว่าการเปลี่ยนตำแหน่งหรือการเอียงตัวของถังเกิดจากสาเหตุของการติดตั้งไม่มั่นคงหรือการทรุดตัวของฐานรากของถัง หรือการติดตั้งระบบท่อที่ต่อเชื่อมกับตัวถัง เป็นต้น
- ☞ตำแหน่งของการวัดความสูงของเหลวภายในถัง (dipping place)

ด้วยเหตุนี้หากมีการเคลื่อนย้ายถังบรรจุของเหลวในแนวนอนหรือมีการซ่อมแซมภายในช่วงเวลา 12 ปี หลังจากการตรวจสอบให้คำรับรอง จำเป็นอย่างยิ่งที่ควรได้รับการตรวจสอบให้คำรับรองเสียใหม่ก่อนใช้งานถังบรรจุของเหลวในแนวนอนต่อไป

นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงรูปทรงของถังก็เป็นปัจจัยหนึ่งที่ต้องให้ความสำคัญและเป็นข้อจำกัดของอายุการตรวจสอบให้คำรับรอง

การเชื่อมประกอบถังบรรจุของเหลวในแนวนอน (Horizontal storage tanks) มีส่วนคล้ายคลึงกับถังบรรจุของเหลวในแนวตั้ง (Storage tanks in form of vertical cylinders) แต่เนื่องจากข้อจำกัดทางเทคนิคของการประกอบถังบรรจุของเหลวในแนวนอน ดังนั้นขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของถังจึงยากที่จะพบว่ามีค่าเกินกว่า 4 เมตร และโดยทั่วไปถังดังกล่าวมักติดตั้งอยู่ใต้ดินซึ่งผลดีของการติดตั้งถังใต้ดินทำให้ของเหลวภายในถังสามารถถูกจัดเก็บไว้ได้ที่อุณหภูมิค่อนข้างคงที่ตลอดช่วงระยะเวลากลางวันและกลางคืน

เพื่อเป็นการย้ำเตือนอีกครั้งด้วยว่า เนื้อหาในต่อไปนี้จะครอบคลุมเฉพาะการตรวจสอบให้คำรับรองถังบรรจุของเหลวซึ่งติดตั้งอยู่กับที่ในรูปแบบทรงกระบอกในแนวนอน (Fixed storage

tank in the form of horizontal cylinder) หรือเรียกในที่นี้ว่า "ถังบรรจุของเหลวในแนวนอน" ซึ่งถังดังกล่าวมีวัตถุประสงค์ใช้เป็นเครื่องมือสำหรับวัดปริมาตรของเหลวเพื่อวัตถุประสงค์ในการซื้อขายแลกเปลี่ยนสิ้นค้าของเหลว หรือ คิดคำนวณภาษีอากรเท่านั้น

การออกแบบและข้อกำหนดด้านชั่งตวงวัด

การออกแบบและข้อกำหนดต่อไปนี้จะใช้กับถังบรรจุของเหลวในแนวนอนที่มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้จัดเก็บของเหลวโดยต้องการความถูกต้องของความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของระดับของเหลวและปริมาตรที่ถูกจัดเก็บ

1. ข้อกำหนดทั่วไป เนื่องจากถังบรรจุของเหลวในแนวนอนโดยทั่วไปมีทั้งขนาดและรูปร่างที่แตกต่างกันไป รวมทั้งวัตถุประสงค์การใช้งานอีกด้วย ดังนั้นเพื่อให้สามารถครอบคลุมขอบเขตการปฏิบัติงานที่เหมาะสม ถังบรรจุของเหลวในแนวนอนที่ควรได้รับการสอบเทียบหรือตรวจสอบให้คำรับรองควรมีปริมาตรอย่างน้อยสุดเท่ากับ 500 ลิตร และในขณะเดียวกันควรมีขอบเขตสูงสุดของความสูงที่สามารถวัดปริมาตรได้ (Upper limitation of measuring space) อย่างน้อยเท่ากับ 500 มม. สูงจากขอบเขตต่ำสุดของความสูงที่สามารถวัดปริมาตรได้ (Lower limitation) ของถัง

2. การออกแบบ

2.1 วัสดุ และ ขนาดรูปร่าง โดยปกติแล้ว ถังจะได้รับการออกแบบให้เป็นรูปทรงกระบอก (cylinder) ในแนวนอนโดยการเชื่อมประกอบของโลหะแผ่น เป็นไปตาม DIN 6608 หรือ ASME VIII หรือ API ดูรูปที่ 7 นอกจากนี้ถังอาจทำด้วยโลหะ หรือคอนกรีต หรือไม้ หรือ fiber reinforced plastic สำหรับในกรณีของถังซึ่งทำด้วย fiber reinforced plastic ถังดังกล่าวต้องมี coefficient of linear expansion ภายในช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 10 °C ถึง 50 °C น้อยกว่า $25 \times 10^{-6} K^{-1}$ เพราะมิฉะนั้นจะส่งผลให้ได้ปริมาตรที่วัดได้ภายในถังบรรจุของเหลวในแนวนอนเปลี่ยน แปลงและไม่แน่นอนตามอุณหภูมิแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไป

ในส่วนของขั้นหมายมาตรา (scales) บน stand pipes หรือ sight glasses (ดูรูปที่ 9 หมายเลข 9) รวมทั้ง dip-tubes ต้องทำด้วยโลหะ นอกจากนี้ Dip-sticks (ดูรูปที่ 3) จะต้องทำด้วยโลหะหรือหากเป็นไม้เนื้อแข็งก็ต้องจัดให้มีส่วนโครงสร้างหรือฝังด้วย scale ที่เป็นโลหะเข้ากับตัวเนื้อไม้ ในส่วนของ Dip-tapes หรือที่เรียกกันจนเป็นที่เข้าใจกันในทางปฏิบัติก็คือ sounding tapes นั้นก็สามารถนำมาใช้วัดระยะความสูงของของเหลวภายในถังบรรจุของเหลวในแนวนอนได้เช่นกันแต่ทั้งตัวเทปและตุ้มถ่วงน้ำหนักต้องทำด้วยโลหะเท่านั้น แต่ที่สำคัญที่สุดนั้นก็คือโลหะที่ใช้ทั้งหมดรวมทั้งโลหะที่ทำตัวถังบรรจุของเหลวในแนวนอนต้องต้านทานได้ทั้งการกัดกร่อนทางเชิงกลและการกัดกร่อนทางเคมีหรือไม่ทำปฏิกริยากับของเหลวซึ่งต้องการบรรจุ

ภายในถังบรรจุของเหลวในแนวนอนทั้งหมดอาจต่อถึงกันหมดหรืออาจแบ่งออกเป็นช่องๆ (Compartments) แยกกันออกจากกันเด็ดขาดก็ได้ แต่ในกรณีหลังให้ถือว่าแต่ละช่อง (compartment) เป็น 1 ถังบรรจุของเหลวในแนวนอนและต้องทำการสอบเทียบหรือตรวจสอบให้คำรับรองแยกออกจากกันเด็ดขาด

ถึงแม้มีการออกแบบถังบรรจุของเหลวในแนวนอนหลากหลายรูปแบบแต่ต้องไม่ให้อากาศถูกดัก(Air Trap) อยู่ภายในถังดังกล่าวโดยเด็ดขาด

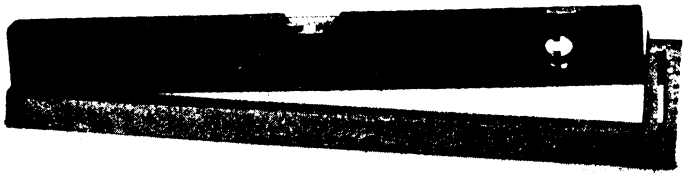
ขนาดของถังบรรจุของเหลวในแนวนอนควรมีปริมาตรอย่างน้อยสุดเท่ากับ 500 ลิตร และในขณะเดียวกันควรมี Upper limitation ของ measuring space อย่างน้อยเท่ากับ 500 มม. สูงจาก Lower limitation ของถัง ดังที่กล่าวมาดังข้างต้น แต่โดยทั่วไปแล้วการใช้งานถังบรรจุของเหลวในแนวนอนมักใช้งานเพื่อบรรจุของเหลวที่ปริมาตรบรรจุประมาณ 80% ของปริมาณการบรรจุสูงสุด (maximum capacity) ของถัง

2.2 การติดตั้งถังบรรจุของเหลวในแนวนอน ตัวถังควรได้รับการยึดด้วยตะขอยึด (anchor bolts) หรือโดยวิธีการใดๆซึ่งไม่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างของถังและปริมาตรภายในถังขณะใช้งาน ในส่วนของฐานรองรับถังบรรจุของเหลวในแนวนอนต้องมั่นคงอยู่กับที่ไม่ก่อให้ถังหมุนหรือถังเอียงก่อนและหลังจากการสอบเทียบหรือตรวจสอบให้คำรับรอง

สิ่งที่สำคัญและจำเป็นอีกประการหนึ่งก็คือ เพื่อให้แน่ใจว่าโครงสร้างทั้งหมดแข็งแรงเพียงพอ ก่อนดำเนินการสอบเทียบหรือตรวจสอบให้คำรับรองถังบรรจุของเหลวในแนวนอนให้ทำการเติมของเหลวลงภายในถังให้เต็มตามปริมาตรการบรรจุสูงสุดที่ใช้งานทิ้งไว้เป็นเวลาอย่างน้อย 48 ชั่วโมง และถือการทดสอบดังกล่าวนี้เป็นการทดสอบการรั่วของถัง (Leak test) ไปด้วยพร้อมกันก็ได้

เนื่องจากการการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งและการเอียงของถังบรรจุของเหลวในแนวนอนมีผลต่อความแม่นยำในการสอบเทียบหรือตรวจสอบให้คำรับรองอย่างมาก ดังนั้นก่อนที่เติมของเหลวเข้าภายในถังและหลังจากเติมของเหลวเข้าในถังเสร็จสิ้นต้องทำการวัดค่าการเอียงของถังในตำแหน่งที่เหมาะสมโดยตำแหน่งดังกล่าวควรเป็นตำแหน่งที่เป็นตัวแทนของการเอียงของตัวถังทั้งหมด เช่นตำแหน่ง dome cover (ดูรูปที่ 1) เป็นต้น ด้วย inclinometer (inclination water level) (ดูรูปที่ 2) และผลการวัดเมื่อเปรียบเทียบค่าก่อนที่เติมของเหลวเข้าภายในถังและหลังจากเติมของเหลวเข้าในถังเสร็จสิ้นต้องไม่เปลี่ยนแปลง นอกจากนี้การวัดความเอียงต้องทำการวัดอย่างน้อย 2 แนวที่ตั้งฉากซึ่งกันและกัน ในการบันทึกค่าผลการวัดความเอียงนั้นนอกจากบันทึกค่ามุมเอียงแล้วต้องบันทึกทิศทางของการวัดด้วยเช่นกัน ตัวอย่างเช่น วัดถังเอียง 12 : 1000 ไปทางทิศตะวันออก และ 10 : 1000 ไปทางทิศเหนือ

การเลือก Inclinometer (inclination water level) ควรมีช่องขั้นหมายมาตรา (scale interval) ที่สอดคล้องกับอัตราส่วนความเอียง 2 : 1000 (หมายถึง ระดับความสูง 2 มม.เมื่อเทียบกับความยาวในแนวราบ 1 เมตร)



Testing device with level to measure the tank's inclination

รูปที่ 2 เครื่องมือวัดระดับความเอียงของถัง (inclinometer)

2.3 ติดตั้ง Name plate ถังบรรจุของเหลวในแนวนอนทุกถังต้องทำการติดตั้ง name plate ประจำถังและควรมีข้อมูล หมายเลขประจำถัง, ขนาดของถัง, ปริมาตรความจุถัง (tank volume), หมายเลขหรือเครื่องหมายแสดงถึงผ่านการตรวจสอบให้คำรับรองหรือสอบเทียบ

3. ลักษณะของเครื่องวัดความสูงของเหลวภายในถัง (Measuring device for the filling height) อาจอยู่ในรูปของ

- Dip-tube (หรือ Guide pipe)พร้อมมี dip-stick (ดูรูปที่ 5)
- Dip-hatch หรือ dip-tube พร้อมด้วย verified dip-tape
- Stand-pipe พร้อมด้วยขั้นหมายมาตรา (scale) อ่านค่า (ดูรูปที่ 4)
- Sight glass ติดตั้งอยู่ถาวรกับผนังถังบรรจุของเหลวในแนวนอน โดยมีขั้นหมายมาตรา (scale) อ่านค่า

หากถังบรรจุของเหลวในแนวนอนประกอบด้วยเครื่องวัดความสูงของเหลวภายในถังซึ่งมีรูปแบบต่างออกไปจากกล่าวข้างต้นเช่น มาตรวัดความยาวแบบอัตโนมัติสำหรับความสูงของระดับของเหลวในถัง (automatic level gauge) มาตรวัดดังกล่าวต้องได้รับการเห็นชอบจากหน่วยงานที่รับผิดชอบและต้องได้รับการการตรวจสอบให้คำรับรองเสียก่อนใช้งาน เนื่องจากอุปกรณ์ดังกล่าวเป็นการวัดค่าระดับความสูงของของเหลวทางอ้อมและต้องได้รับการสอบเทียบเสียก่อนที่จะนำมาใช้ได้

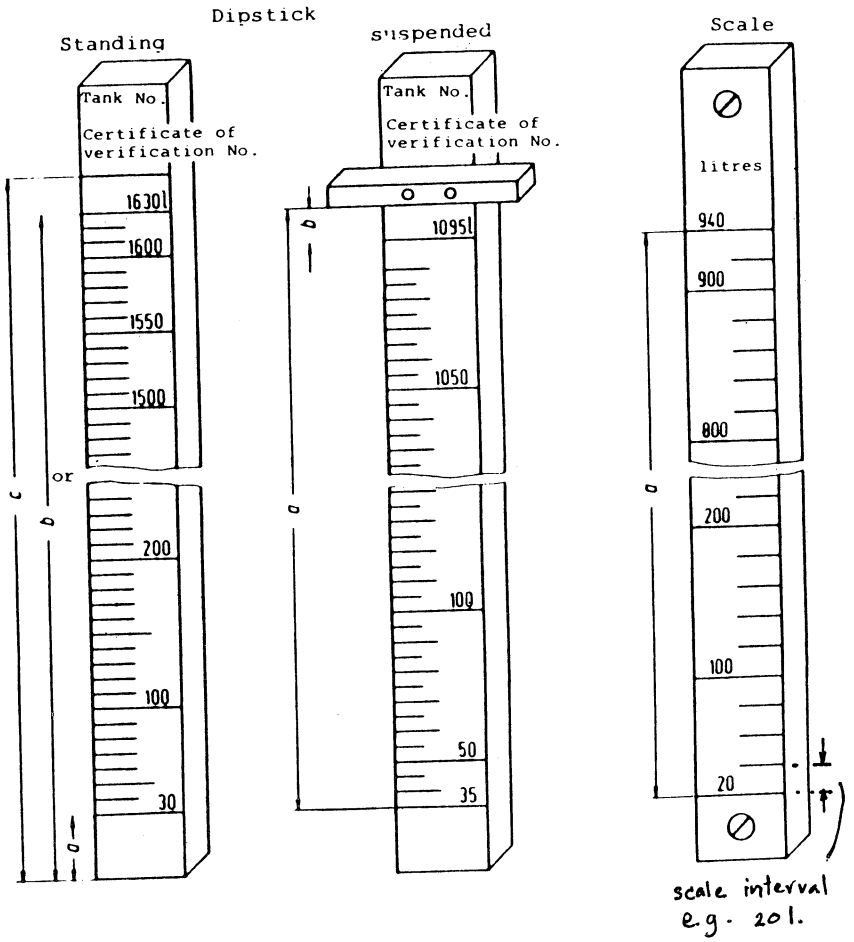
อิทธิพลของความเอียงของถังเป็นอิทธิพลที่สำคัญมากที่สุดในการหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสูงของเหลวภายในถัง(filling height) กับค่าปริมาตรของเหลวที่ใส่ลงไป (filled volume) ของถังบรรจุของเหลวในแนวนอน ถ้าหากเครื่องวัดความสูงของเหลวภายในถัง (Measuring device) ถูกติดตั้งอยู่บริเวณปลายสุดด้านใดด้านหนึ่งของถัง ในทางกลับกันอิทธิพลความเอียงของถังจะลดอิทธิพลน้อยลงในการหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสูงของเหลวภายในถัง(filling height) กับค่าปริมาตรของเหลวที่ใส่ลงไป (filled volume)ของถัง ถ้าหากเครื่องวัดความสูงของเหลวภายในถังถูกติดตั้งอยู่บริเวณกึ่งกลางถังบรรจุของเหลวในแนวนอน ดังในรูปที่ 17

นอกจากนี้ยังพบว่า Sum volume หรือ Deadstock ก็ได้รับผลกระทบและเปลี่ยนแปลงโดยขึ้นต่อตำแหน่งของเครื่องวัดความสูงของเหลวภายในถังด้วยเช่นกัน

นอกจากนี้ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสูงของเหลวภายในถัง(filling height) กับค่าปริมาตรของเหลวที่ใส่ลงไป (filled volume) ของถังยังขึ้นอยู่กับชนิดของเครื่องวัดความสูงของเหลวภายในถังอีกด้วย

3.1 Dip-tube (หรือ Guide pipe)พร้อมมี dip-stick ในส่วนของตัว dip-tube ต้องเป็นท่อที่แข็งแรงยึดติดกับถังบรรจุของเหลวในแนวนอนในแนวตั้งฉากกันอยู่ตลอดเวลา โดยผนังของ dip-tube ต้องถูกเจาะให้เป็นรูตลอดแนวความยาวของท่อที่จมอยู่ภายในถังทั้งนี้ขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางของ dip-tube และขนาดของรูที่เจาะบน dip-tube ต้องมีขนาดสอดคลองกันและต้องทำให้ระดับของเหลวภายในถังและภายใน dip-tube ไม่แตกต่างกัน โดยระยะห่างระหว่างรูเจาะไม่ควรห่างเกิน 50 มม. (ดูรูปที่ 5) ในกรณีที่ปลายสุดของ dip-tube ซึ่งอยู่บริเวณก้นถังเป็นปลายปิดต้องทำการเจาะรูบริเวณติดกับปลายสุดดังกล่าวด้วยเช่นกัน

ในส่วนของ dip-stick ควรได้รับการออกแบบให้หน้าตัดของปลายทั้งสองราบเรียบ โดยเฉพาะปลายที่สัมผัสกับก้นของ dip-tube หรือ ก้นถัง ดูรูปที่ 3



รูปที่ 3 ตัวอย่างการออกแบบ dipstick ชนิดแบบตั้ง (standing) และแบบแขวน (suspended) รวมทั้งขีดขั้นหมายมาตรา (scale)

นอกจากนี้หาก Dip-stick ทำด้วยแท่งโลหะกลวงภายในต้องทำการอุดปิดหัวท้ายของ Dip-stick อย่างดีเพื่อป้องกันไม่ให้ของเหลวเข้าไปภายใน dip-stick ได้ อีกทั้งต้องระมัดระวังการแทนที่ปริมาตรของ Dip-stick ดังกล่าวด้วย และถ้าหาก dip-tube ไม่ได้เจาะรูบริเวณผนังด้วยแล้วการใช้ dip-stick ทำด้วยแท่งโลหะกลวงภายในอาจทำให้การอ่านระดับความสูงของเหลวภายในถังผิดพลาดได้เนื่องจากการแทนที่ปริมาตรภายใน dip-stick ด้วยปริมาตรของ dip-stick ชนิดนี้ การทำ Dip-stick ประเภทนี้ต้องเสริมความแข็งแรงของปลาย Dip-stick ด้วยแท่งเนื้อโลหะตัน ซึ่งนอกจากมีประโยชน์ในการเสริมความแข็งแรงด้านปลายของ dip-stick แล้วยังช่วยให้ dip-stick จมลงในของเหลวภายในถังได้ง่ายอีกด้วย

ข้อควรระวังของเครื่องวัดความสูงของเหลวภายในถัง (Measuring device) ชนิด Dip-tube พร้อมมี dip-stick นี้ก็คือจะถูกติดตั้งให้อยู่ในสภาพตั้งฉากกับแนวแกนตามแนวนอนของถัง (the longitudinal axis of the tank) ดังนั้นการติดตั้งถังตามแนวนอนซึ่งมีอุปกรณ์ชนิดนี้ต้องกระทำด้วยความระมัดระวังแล้วให้ได้ระดับเพราะหากถังเอียงผลการวัดระดับย่อมได้รับผลกระทบเช่นกัน

ต้องทำการแสดงหมายเลขประจำถังบรรจุของเหลวในแนวนอนบน Dip-stick ให้สอดคล้องกับถังที่ใช้งานและเลขหมายคำรับรองด้วย ในกรณีที่ Dip-stick เพียงอันเดียวแต่สามารถนำไปใช้ได้หลายถังก็ต้องแสดงหมายเลขประจำถังบรรจุของเหลวในแนวนอนบน Dip-stick ให้สอดคล้องกับถังที่ใช้งานและเลขหมายคำรับรองทั้งหมดด้วยเช่นกัน

ในกรณีที่ Dip-stick มี scale ซึ่งแสดงค่าอยู่ในรูปของปริมาตรบนขีดขั้นหมายมาตราต้องแสดงหน่วยปริมาตรและสัญญลักษณ์ของเครื่องหมายปริมาตรบนขีดขั้นหมายมาตรานั้นด้วย

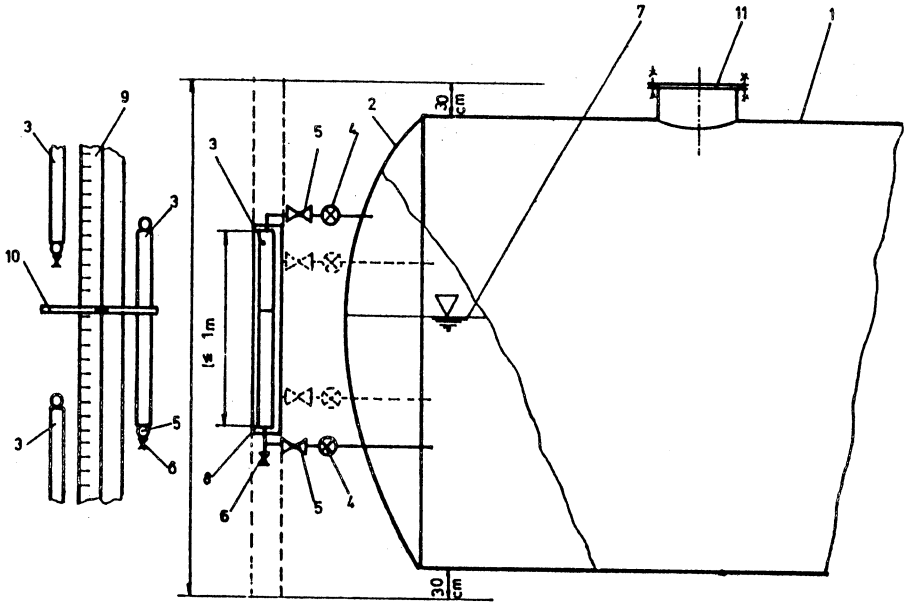


Figure Diagram of a horizontal cylindrical tank with level tube

1. Cylindrical shell. 2. End. 3. Glass tube level gauge. 4. Isolating valve. 5. Safety shutt-off valve. 6. Drain valve. 7. Level of the liquid in the tank. 8. Gauge glass protection. 9. Graduated scale. 10. Cursor. 11. Manhole.

รูปที่ 4 รูปแบบของถังบรรจุของเหลวในแนวนอน (Horizontal storage tank) ซึ่งออกแบบให้มี level gauge

3.2 Dip-hatch หรือ Dip-tube พร้อมด้วย verified dip-tape แทนที่จะใช้ Dip-stick ก็จะใช้ verified dip-tape เช่น sounding tape เป็นต้น

เป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไปว่า Sounding tape ปกติแล้วจะอยู่ในสภาพตั้งฉากจริงๆ กับระดับของเหลวขณะทำการวัดระดับของเหลวทุกสภาวะแม้ถังจะมีการเอียงอยู่แล้วเล็กน้อยก็ตาม

3.3 Stand-pipe พร้อมด้วย scale อ่านค่า นั้นต้องจัดให้มีวิธีการที่สามารถอ่านได้ง่ายได้โดยตรง ต้องไม่มีอุปกรณ์ช่วยเสริมอื่นๆ

หากถังบรรจุของเหลวในแนวนอนถูกติดตั้งภายนอกอาคาร การติดตั้ง Stand-pipe พร้อมด้วย scale อ่านค่านั้นต้องติดตั้งให้ stand-pipe อยู่ทางด้านทิศเหนือซึ่งเป็นทิศที่จะได้รับหรือโดนแสงแดดหรือได้รับความร้อนจากแสงแดดน้อยที่สุด หรือหากเป็นไปได้ควรจัดหาหลังคาเพื่อป้องกันแสงแดดส่องเครื่องวัดระดับดังกล่าว

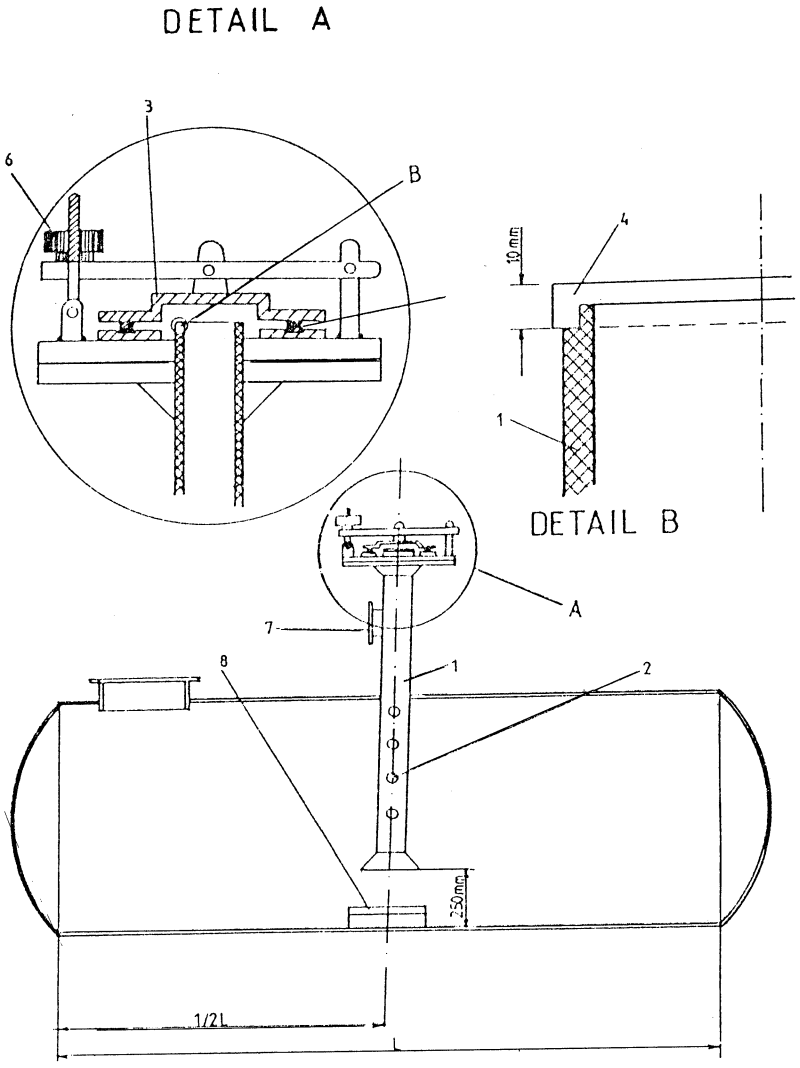


Figure Design details of a guide pipe in a horizontal cylindrical tank

1. Guide pipe and still well ($Ø_{int}$ = 100 mm). 2. Holes Ø 25 mm at 150 mm pitch. 3. Lid of guide pipe. 4. Fixed metal ring. 5. Rubber joint. 6. Set screw of the lid. 7. Calibration information plate. 8. Dip plate (another solution : fix the dip plate to the lower end of the guide pipe).

รูปที่ 5 รายละเอียดการออกแบบ Guide pipe ของถังบรรจุของเหลวในแนวนอน

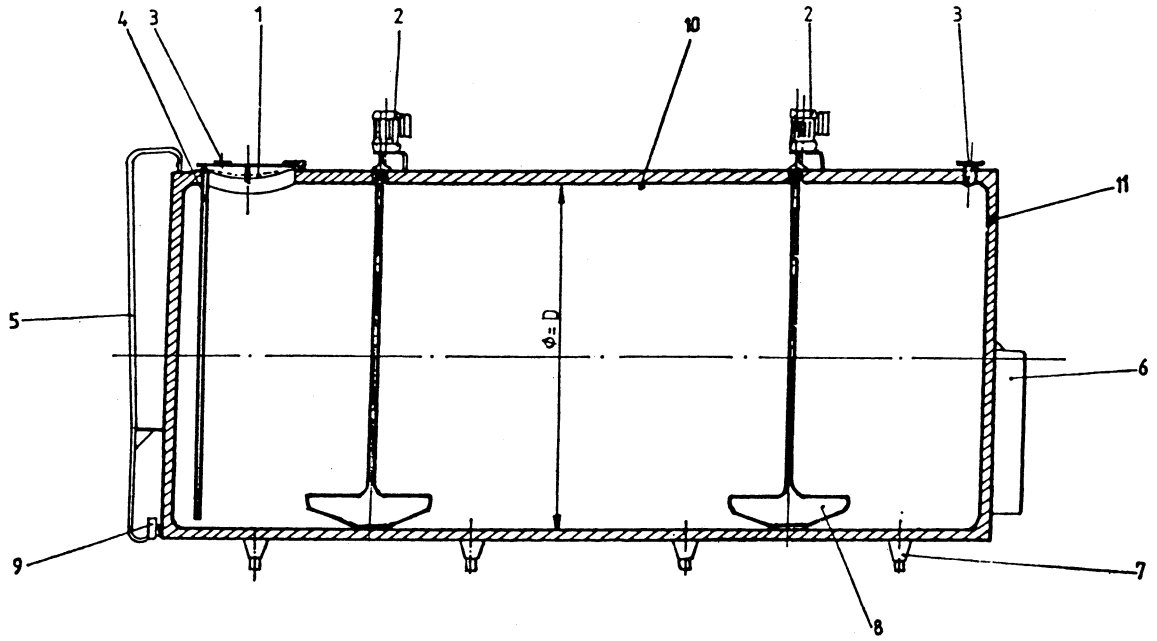


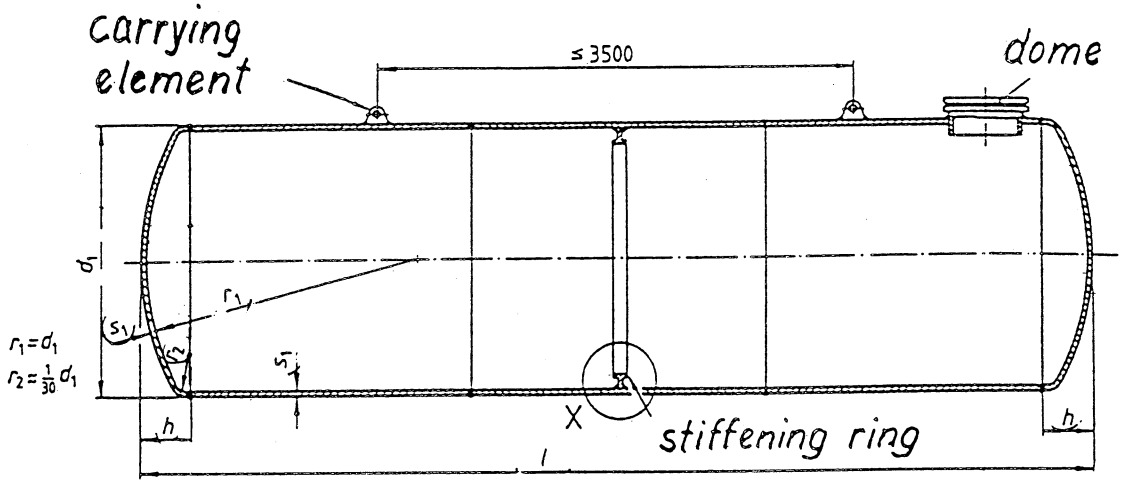
Figure Design details of a milk vat

1. Manhole cover. 2. Stirring motor. 3. Air vent. 4. Gauge (dipstick). 5. Removable ladder. 6. Refrigeration cover. 7. Adjustable supports. 8. Stirrer. 9. Drain plug. 10. Cylindrical tank with circular or ellipsoidal section. 11. Thermal insulation.

รูปที่ 6 ลักษณะทั่วไปของถังบรรจุของเหลวในแนวนอนสำหรับบรรจุน้ำนม

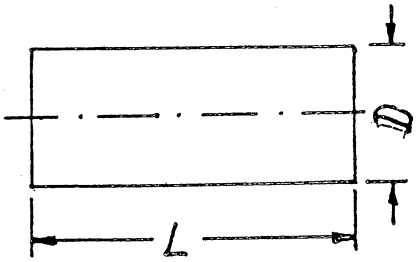
ขั้นหมายมาตรา (scales) อ่านค่าอาจประกอบด้วยหลายช่วงรอยต่อหรือมีระยะเหลื่อมกันก็ได้

ในส่วน Stand-pipe ต้องจัดให้มีวาล์วหรือวิธีการอื่นๆเพื่อสามารถแยกหรือตัดขาดออกจากตัวถังบรรจุของเหลวในแนวนอนที่ติดตั้งอยู่และต้องสามารถถ่ายของเหลวที่ค้างอยู่ภายใน Stand-pipe ได้ด้วย ทั้งนี้เมื่อจำเป็นต้องซ่อมแซมหรือถอดส่วนประกอบ stand-pipe ออกไปเพื่อซ่อมแซมหรือด้วยเหตุวัตถุประสงค์ใดก็ตาม แล้วต้องไม่ทำให้ของเหลวภายในถังรั่วไหลออกมาภายนอก ดูรูปที่ 4, รูปที่ 8, 9, 10 และ 11

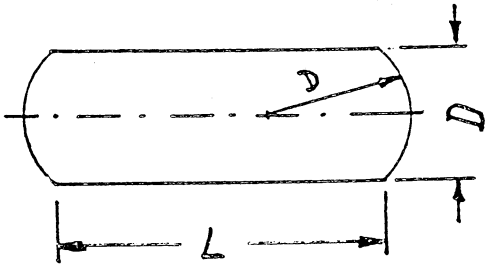


Container DIN 6608 - 10 x 1600

(Volume: $10\,m^3$ d_1 : 1600 mm)



$$V_C = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot L$$

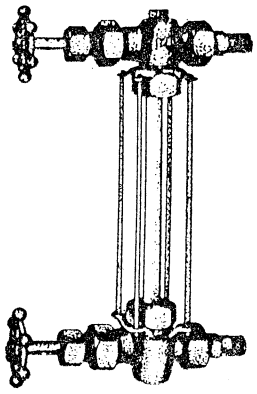


$$V_B = \left(\frac{2}{3} - \frac{3}{8}\sqrt{3}\right) \cdot \pi \cdot D^3$$

$$\approx 0{,}053871 \cdot D^3$$

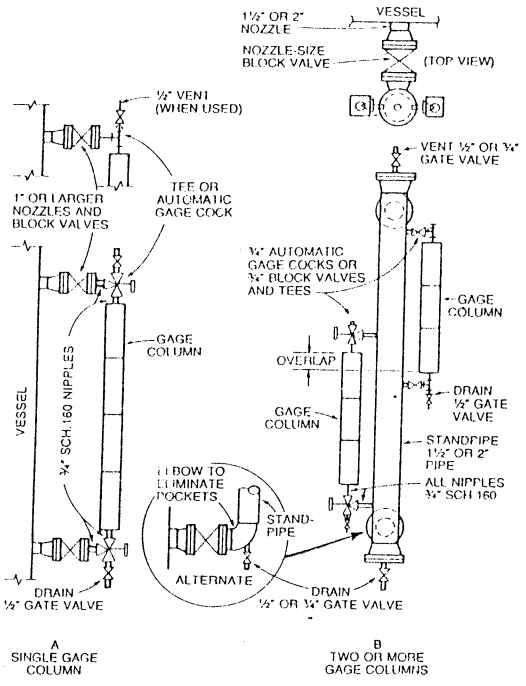
$$V = V_C + 2 \cdot V_B$$

รูปที่ 7 ถังบรรจุของเหลวในแนวนอนเป็นไปตาม DIN 6608 พร้อมกับการคำนวณปริมาตรถัง



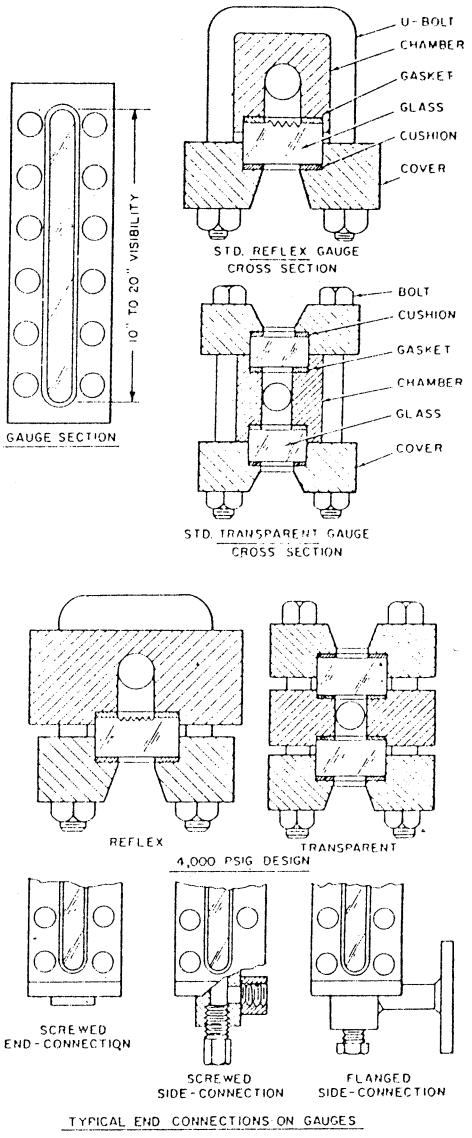
The tubular glass level gauge was found to be unsafe in industrial applications.

รูปที่ 8 เป็น Sight glass ชนิดหนึ่ง ซึ่งไม่ปลอดภัยในการใช้งานโดยเฉพาะกับวงการน้ำมัน



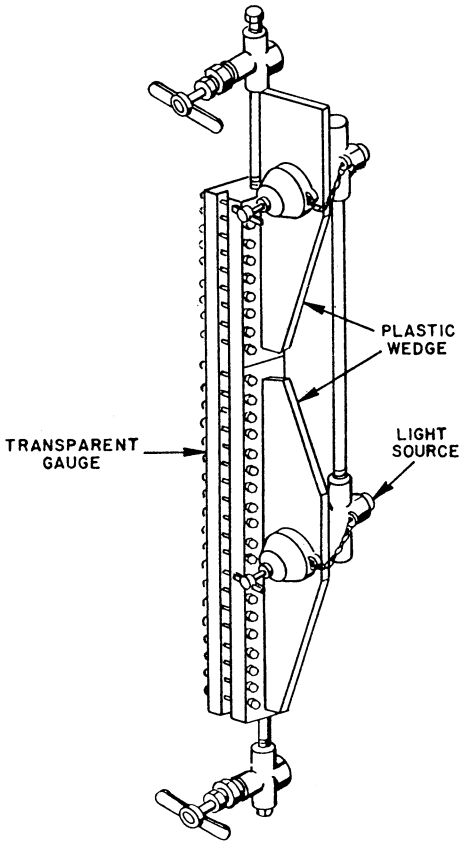
Gauge column assemblies. (Courtesy of American Petroleum Institute, API RP-550)

รูปที่ 9 เครื่องวัดระดับความสูงของเหลวแบบ Gauge column ชนิดแบบแถวเดียวกับชนิด 2 แถว



Flat level gauge designs and cross sections.

รูปที่ 10 เครื่องวัดระดับความสูงของเหลวแบบ flat level gauge



Transparent gauge with illuminator.

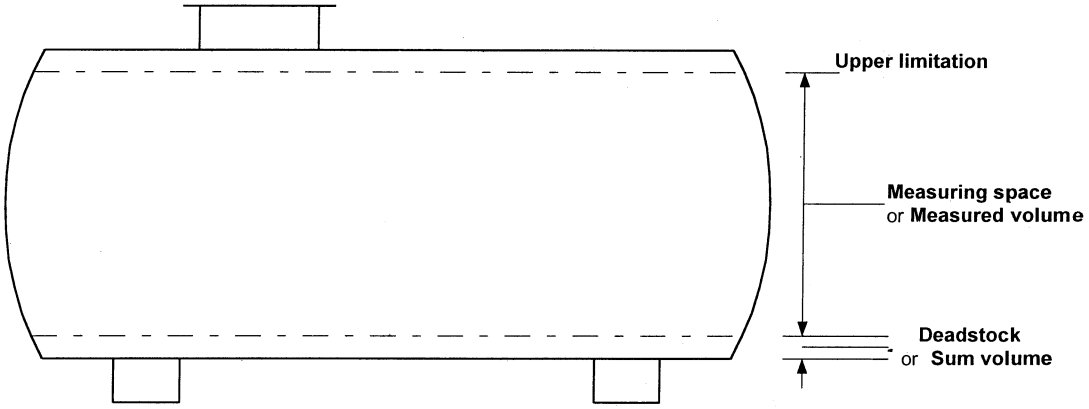
รูปที่ 11 เครื่องวัดระดับความสูงของเหลวอีกชนิดหนึ่ง มีแสงสว่างสามารถมองเห็นในที่มืด

4. ปริมาตรถัง (volume of the completely filled tank; tank volume; V_T) ปริมาตรความจุถัง (tank volume) รวมถึงผลบวกปริมาตรภายในส่วนที่เป็นทรงกระบอกและส่วนทั้งหมดที่เป็นส่วนหนึ่งของทรงกลม (spherical segments) ซึ่งครอบหัวท้ายทั้งสอง ก่อนที่ดำเนินการทำการสอบเทียบหรือตรวจสอบให้คำรับรองแบบเปียก (wet calibration) จำเป็นต้องทราบปริมาตรถังเสียก่อน อาจหาค่าดังกล่าวด้วยการวัดขนาดจากของจริงหรือจากแบบแปลนก็ได้ เพื่อสามารถกำหนดขั้นตอนการบรรจุของเหลวแต่ละครั้ง (filling step schedule) ด้วยแบบมาตราเช่น volume-standard (pipette, tank prover) หรือ standard-meter เพื่อหาค่าความสูงของเหลวภายในถัง(filling height) แต่ละครั้งที่บรรจุของเหลวลงไป

5. Sum volume หรือ Deadstock เป็นปริมาตรบริเวณก้นถังบรรจุของเหลวในแนวนอนซึ่งถือว่าไม่ใช้ประโยนช์ใดๆ และไม่ถูกรวมอยู่ในค่าของปริมาตรความจุถัง (tank volume)เนื่องจากปกติแล้วการติดตั้งถังบรรจุของเหลวในแนวนอนจะติดตั้งให้มีระดับเอียงเพียงเล็กน้อยเพื่อประโยนช์ในการปฏิบัติงานเช่นการ ถ่ายของเหลวออกไปหลังจากการทำความสะอาดภายในถัง หรืออาจเป็นการ drain ของเหลวที่ไม่ต้องการซึ่งอาจแยกชั้นออกจากของเหลวที่บรรจุภายในถัง เช่น การ drain น้ำที่ปนมากับน้ำมันดีเซลออกจากถัง เป็นต้น ดังนั้นเพื่อหลีกเลี่ยงการแบ่งปริมาตรที่สามารถวัดได้ของ

ถังบรรจุของเหลวในแนวนอน (measuring space) ไม่ให้เกิดค่าที่ไม่มีความสอดคล้องมากจนเกินไป (non-uniformity)ระหว่างระดับความสูงของของเหลวกับปริมาตรที่บรรจุ ส่วนระดับความสูงของ sum ที่สูงจากก้นถังนั้นต้องเป็นระดับที่ของเหลวได้ท่วมหรือครอบคลุมพื้นที่ก้นถังตลอดความยาวของตัวถังเป็นอย่างน้อย แต่อาจจะให้สูงกว่าระดับดังกล่าวได้หากเจ้าของถังและเจ้าหน้าที่เห็นสอดคล้องกัน ทั้งนี้เนื่องจากหากระดับของ sum สูงมากจนเกินไปแล้วปริมาตรสำหรับใช้งานถังบรรจุของเหลวในแนวนอนก็จะลดลงด้วยเช่นกัน

6. Measuring space หรือ measured volume หมายถึง ปริมาตรที่สามารถวัดได้ของถังบรรจุของเหลวในแนวนอนตั้งแต่ lower limitation จนถึง upper limitation ของถังดังกล่าว ปกติแล้วต้องมีค่าต่ำกว่าปริมาตรความจุถัง (tank volume)เสมอ ปริมาตรดังกล่าวนี้ไม่รวมถึงปริมาตรที่อยู่ภายในท่อซึ่งต่อเชื่อมกับถังบรรจุของเหลวในแนวนอน ดังนั้นต้องจัดให้มีวาล์วปิด-เปิดเพื่อแยกระบบระหว่างถังกับท่อออกจากกันเด็ดขาด



รูปที่ 12 อธิบายความหมายของคำ “Measuring space” และ “Deadstock”

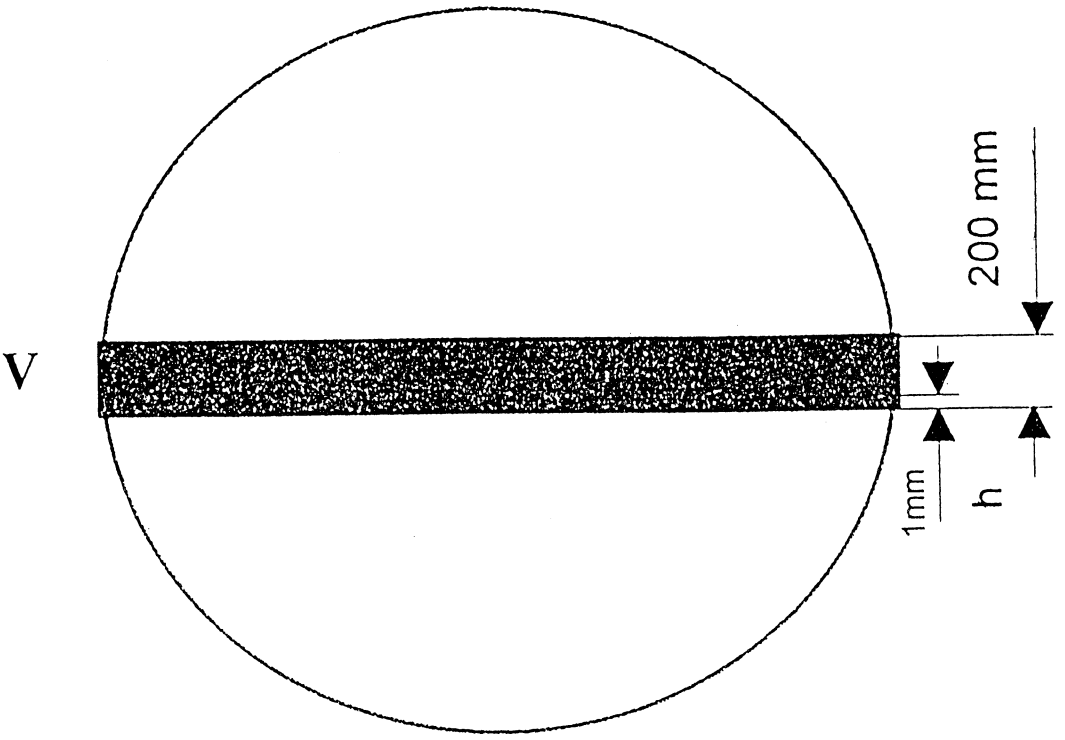
7. Minimum space หรือ Smallest measurable volume (V_{min}) ของถังบรรจุของเหลวในแนวนอนหรือ compartment คือค่าปริมาตรที่ได้จากผลคูณของค่าพื้นที่ด้านตัดในแนวนอนที่มากที่สุดของถัง (maximum horizontal cross-section of tank) กับความสูง 200 ม.ม.

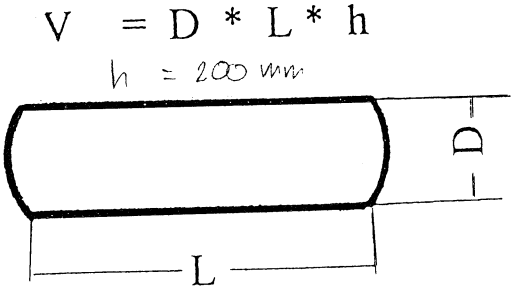
ค่า Minimum space หรือ smallest measurable volume ของถังบรรจุของเหลวในแนวนอนเป็นค่าสมมุติขึ้นมาเพื่อ

- ☞ใช้ในการกำหนดขอบเขตผลผิดของผลการวัดระหว่างการทำงานตรวจสอบให้คำรับรองถัง
- ☞เป็นข้อมูลพื้นฐานในการกำหนดและคำนวณหาขั้นตอนการบรรจุของเหลวแต่ละครั้ง (filling step schedule)

ในอีกแง่มุมหนึ่ง ค่า Minimum space หรือ smallest measurable volume คือค่าที่ยอมให้มีการจ่ายของเหลวออกจากถังหรือเข้าถังได้เมื่อของเหลวภายในถังมีความสูงอยู่ภายใน Measuring space หรือ measured volume ของถัง ซึ่งค่า smallest measurable volume (V_{min}) จะมีค่าสอดคล้องกับค่า smallest measurable height (h) ของถังที่เปลี่ยนแปลงไปในระดับ หรือนั่นคือหากมี

การจ่ายหรือรับของเหลวด้วยปริมาตรน้อยกว่า smallest measurable volume (V_{min}) แล้วเราจะไม่สามารถวัดระดับความสูงของเหลวที่เพิ่มหรือลดลงด้วยความถูกต้อง





รูปที่ 13 แสดงค่า Minimum space หรือ Smallest measurable volume (V_{min})

การหาค่า Minimum space หรือ smallest measurable volume ตั้งอยู่บนพื้นฐานที่ว่าเมื่อการเปลี่ยนแปลงระดับของเหลว Δh อันเนื่องจากการสะสมความไม่แน่นอน (cumulative uncertainties) ของการวัดระดับ 2 ระดับติดกัน ต้องไม่ก่อให้เกิดผลผิดสัมพันธ์ (relative error) ในการจ่ายหรือรับของเหลวมีค่าเกินกว่าค่าความไม่แน่นอน (uncertainty) ที่กำหนดไว้ซึ่งโดยทั่วไปแล้วค่าความไม่แน่นอนที่กำหนดไว้ดังกล่าวจะต้องมีค่าน้อยกว่าผลผิดที่ยอมให้ได้สูงสุด (maximum permissible error) ของการสอบเทียบ สำหรับการสอบเทียบหรือตรวจสอบให้คำรับรองถังบรรจุของเหลวในแนวนอนค่า uncertainty ที่กำหนดดังกล่าวมีค่าเท่ากับ 0.5%

8. Maximum permissible errors เป็นเรื่องสำคัญที่น่าสนใจมากเนื่องจากในการสอบเทียบหรือตรวจสอบให้คำรับรองถังบรรจุของเหลวในแนวนอนนี้ไม่มีการกำหนด Maximum permissible errors แม้แต่อย่างใด ดังนั้นการกำหนดปริมาตรหรือการแสดงปริมาตรในรายงานผลการสอบเทียบหรือการตรวจสอบให้คำรับรองจึงต้องอาศัยค่า uncertainty ของการหาค่าปริมาตรของถังจึงต้องมีค่าน้อยเพียงพอและเป็นที่มั่นใจได้

ดังนั้นในการวัดค่าปริมาตรของเหลวภายในถังด้วยการใช้ค่าตัวเลขจากการอ่านค่าจาก scale, dip-stick, หรือ filling table

- ☞สำหรับการตรวจสอบให้คำรับรองชั้นแรกค่า uncertainty ดังกล่าวต้องมีค่าน้อยกว่า 0.5% เมื่อเทียบกับค่าปริมาตร แต่ต้องไม่น้อยกว่า 0.5 % ของ minimum space หรือ smallest measurable volume (V_{min})
- ☞สำหรับการตรวจสอบให้คำรับรองชั้นหลังค่า uncertainty ดังกล่าวต้องมีค่าน้อยกว่า 1.0 % เมื่อเทียบกับค่าปริมาตร แต่ต้องไม่น้อยกว่า 1.0 % ของ minimum space หรือ smallest measurable volume (V_{min})

จาก OIML R71 ได้แนะให้หน่วยงานของรัฐซึ่งรับผิดชอบในทางด้านชั่งตวงวัดตามข้อกำหนดของกฎหมาย (Legal metrology) ต้องเป็นผู้กำหนดค่าความไม่แน่นอน (uncertainty) และการเปลี่ยนแปลงระดับของเหลว Δh อันเนื่องจากการสะสมความไม่แน่นอน (cumulative uncertainties) ของการวัดระดับ 2 ระดับติดกันเอง พบว่าในส่วนของประเทศสาธารณะรัฐเยอรมันกำหนด ค่า uncertainty กับค่า smallest measurable height (h) เป็นไปดังต่อไปนี้

> *"สำหรับการตรวจสอบให้คำรับรองชั้นแรกค่า uncertainty ต้องมีค่าน้อยกว่า 0.5% เมื่อเทียบกับค่าปริมาตร แต่ต้องไม่น้อยกว่า 0.5 % ของ minimum space หรือ smallest measurable volume (V_{min}) สำหรับค่า smallest measurable height (h) กำหนดให้เท่ากับ 200 มม."*

$$\frac{\Delta V}{V_{min}} \leq 0.5\,\%$$

แต่

$$V_{min} = S_{max} \bullet h$$
$$\Delta V = S_{max} \bullet \Delta h$$

ดังนั้น

$$\frac{\Delta V}{V_{min}} = \frac{\Delta h}{h} \leq 0.5\%$$
$$h \geq 200 \bullet \Delta h$$

กำหนดให้ค่า smallest measurable height (h)

$$h = 200\ \text{mm.}$$

จึงได้ว่าการเปลี่ยนแปลงระดับของเหลวอันเนื่องจากการสะสมความไม่แน่นอนของการวัด 2 ระดับติดต่อกันภายในการกำหนดค่าความไม่แน่นอน (uncertainty) และ *ค่า* smallest measurable height (h) = 200 mm. มีค่าเท่ากับ

$$\Delta h_{min} = 1 \text{ mm.}$$

เมื่อ

V_{min}	*minimum space หรือ smallest measurable volume*
h	*smallest measurable height*
Δh	การเปลี่ยนแปลงระดับความสูงของเหลว
ΔV	ปริมาตรที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อความสูงเปลี่ยนแปลงไป Δh
S_{max}	พื้นที่ด้านตัดในแนวนอนที่มากที่สุดของถังบรรจุของเหลวในแนวนอน (maximum horizontal cross section of tank)

APPENDIX 4

SMALLEST MEASURABLE VOLUME

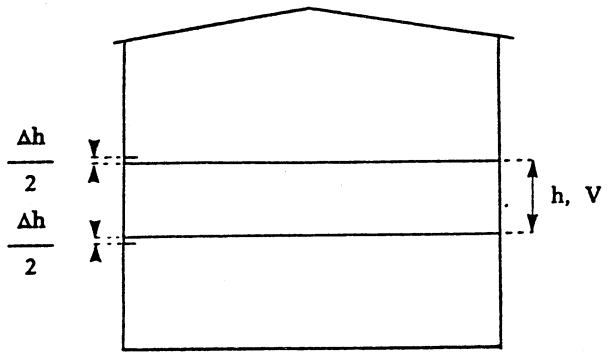
SMALLEST MEASURABLE HEIGHT

EXAMPLE

(with reference to point 5.6.2 of the Recommendation)

The smallest measurable volume is determined so that a change Δh in the level of the liquid, resulting from cumulative uncertainties on the measurement of the level at two successive points, does not lead to a relative error on the delivered or collected volume greater than a pre-established value, ε(h), generally smaller than the maximum permissible error on calibration.

For example, for a vertical cylindrical tank, by fixing ε(h) ≤ 0.1 % and Δh = 2 mm, one obtains :



$$\frac{\Delta V}{V} \leq 0.1\ \%$$

$$V = S \cdot h$$

$$\Delta V = S \cdot \Delta h$$

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{\Delta h}{h} \leq 0.1\ \%$$

$$h \geq 1000\ \Delta h = 2\ m$$

V = smallest measurable volume
h = smallest measurable height

Therefore, the Legal Metrology Service may specify the smallest measurable height of 2 m and, heaving established the calibration table, indicate in the certificate the smallest measurable volume, that is to say the volume corresponding to this smallest height, in the zone in which the diameter is the largest.

Notes :
1. **the values ε(h) and Δh are established by the Legal Metrology Service of each State,**
2. **other methods of calculation of the smallest measurable volume may be used.**

รูปที่ 14 เอกสารจาก OIML R 71 เกี่ยวกับ Smallest measurable volume (V_{min})

9. ข้อกำหนดเครื่องวัดความสูงของเหลวภายในถัง ในส่วนของขั้นหมายมาตรา (Scales), ค่าขั้นหมายมาตรา (scale interval), Scale spacing, และ l/mm-value

9.1 ขั้นหมายมาตรา (Scales) และค่าขั้นหมายมาตรา (scale interval)

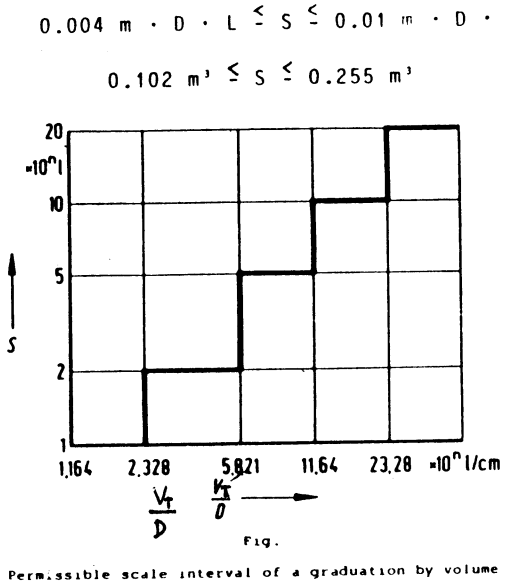
- ค่าขั้นหมายมาตรา (scale interval) ควรมีค่าคงที่ตลอดช่วงทั้งหมดของขั้นหมายมาตรา
- ค่าขั้นหมายมาตรา (scale interval) ต้องแสดงค่าในหน่วยเมตริกและแสดงค่าในรูปของ 1×10^k, 2×10^k หรือ 5×10^k โดย k เป็นเลขจำนวนเต็มบวก หรือจำนวนเต็มลบ หรือศูนย์
- หากพิจารณาขั้นหมายมาตราในรูปของระยะห่างระหว่างขั้นหมายมาตรา (length graduation) ควรมีค่าเท่ากับ 1 ม.ม.
- ค่าขั้นหมายมาตราในรูปของปริมาตร (scale interval of volume graduation) และค่าขั้นหมายมาตราในรูปของระยะห่างระหว่างขั้นหมายมาตรา (scale interval of length graduation) บน dip-stick พบว่ามีได้ทั้งสองแบบ แต่ในมุมมองของทางด้านชั่งตวงวัดตามข้อกำหนดของกฎหมาย (legal metrology) แนะนำให้ควรเลือกค่าขั้นหมายมาตราในรูปของปริมาตร (scale interval of volume graduation) ดีกว่าเพราะ

  สามารถอ่านค่าปริมาตรได้โดยตรงหลังจากทำการวัดระดับของเหลวภายในถังในขณะเดียวกันหากใช้ค่าขั้นหมายมาตราในรูปของระยะห่างระหว่างขั้นหมายมาตรา (length graduation) ซึ่งต้องบันทึกค่าระดับความสูงของเหลวภายในถังที่อ่านได้ในรูปของความสูงและนำค่าดังกล่าวไปเปิดตารางประจำถัง (filling table) จึงจะทราบค่าปริมาตร ข้อดีอีกข้อหนึ่งของการใช้ค่าขั้นหมายมาตราในรูปของปริมาตรก็คือ เราสามารถประมาณค่าปริมาตรระหว่างขั้นหมายมาตราได้เลย ไม่จำเป็นต้องนำค่าตัวเลขไปคำนวณ ซึ่งหากเป็นค่าขั้นหมายมาตรในรูปของระยะห่างระหว่างขั้นหมายมาตราต้องนำค่าความสูงของระดับของเหลวภายในถังไปเปิดตารางและคำนวณค่าปริมาตรที่ไม่ลงตัวแล้วและมักจะมีปัญหาที่ตามมาก็คือการปัดค่าปริมาตรที่คำนวณได้ (rounding volume values)

การหาค่าขั้นหมายมาตรา (Scale interval; S) สามารถหาได้จากการคำนวณ ดังสมการข้างล่างหากเราทราบค่าเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน (internal diameter; D) และความยาวถังเฉลี่ย (mean tank length; L) ของถังบรรจุของเหลวในแนวนอน หน่วยเป็น เมตร(m)

$$0.004 \text{ m.} \bullet D \bullet L \leq S \leq 0.01 \text{ m.} \bullet D \bullet L$$

หรืออาจใช้พิจารณาร่วมกับตารางในรูปที่ 15 ซึ่งได้กำหนดค่าขั้นหมายมาตราที่ยอมให้ได้ เมื่อ V_T = Tank volume และ D = Internal diameter

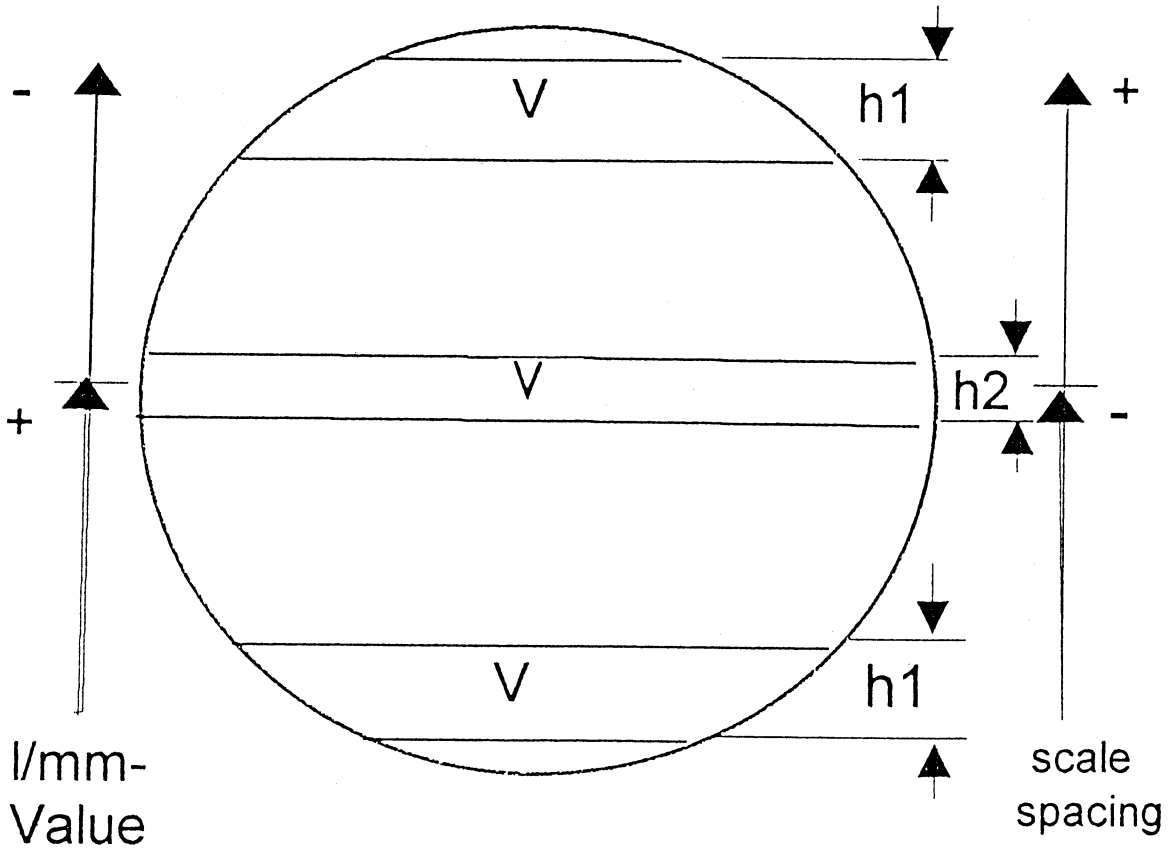


รูปที่ 15 ตารางใช้หาค่าขั้นหมายมาตราที่ยอมให้ได้ (Permissible scale interval) สำหรับขั้นหมายมาตราในรูปของปริมาตร

การเลือกค่าขั้นหมายมาตราเป็นเรื่องที่มีความสำคัญและต้องระมัดระวัง เนื่องจากค่าดังกล่าวจะไปมีผลต่อการกำหนดขั้นตอนการบรรจุของเหลวแต่ละครั้ง (Filling step schedule) ในการตรวจสอบถัง เพราะในการกำหนดค่า minimum filling step volume นั้นต้องเลือกค่าปริมาตรให้มีค่าเท่ากับหรือน้อยกว่าค่าขั้นหมายมาตราที่คำนวณหามาได้ และหลักการดังกล่าวนี้ก็ยังคงใช้ได้ทั้งขั้นหมายมาตราในรูปของปริมาตร (scale interval of volume graduation) รวมทั้งขั้นหมายมาตราในรูปของระยะห่างระหว่างขั้นหมายมาตรา (scale interval of length graduation) แต่แนะนำให้ขั้นหมายมาตราเป็นขั้นหมายมาตราในรูปของปริมาตรในขั้นตอนการบรรจุของเหลวแต่ละครั้ง (Filling step) รายละเอียดจะกล่าวในบทต่อไป

9.2 ช่องว่างระหว่างขั้นหมายมาตรา (scale spacing) หากพิจารณาขั้นหมายมาตราในรูปของปริมาตร (scale interval of volume graduation) ควรเลือกขนาดปริมาตรซึ่งทำให้ช่องว่างระหว่างขั้นหมายมาตรา (scale spacing) ที่ระดับความสูงของของเหลวในตำแหน่งพื้นที่หน้าตัดมากที่สุดของถังบรรจุของเหลวในแนวนอนห่างกันอยู่ในช่วงระหว่าง 4 ม.ม. ถึง 10 ม.ม. เนื่องจากเป็นบริเวณที่ระยะช่องว่างระหว่างขั้นหมายมาตราจะมีค่าน้อยที่สุด เมื่อเทียบกับที่ระดับความสูงอื่นๆ ที่ปริมาตรค่าเดียวกัน ดูรูปที่ 16

l/mm-value, scale spacing



รูปที่ 16 ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า l/mm กับ scale spacing เปลี่ยนแปลงไปตามระดับความสูงของเหลวภายในถัง

9.3 l/mm-value มีค่าเท่ากับพื้นที่หน้าตัดในแนวราบ (the horizontal cross-section) ในหน่วยของ m^2 ที่ระดับเติมของเหลว (filling level) ในกรณีของถังบรรจุของเหลวในแนวนอน (horizontal storage tank) พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสูงของเหลวภายในถัง(filling height) กับค่าปริมาตรของเหลวที่ใส่ลงไป (filled volume)ของถังมีลักษณะ non-linear correlation ดังนั้นเมื่อเริ่มจากก้นถังค่า l/mm-value จะเพิ่มขึ้นจนถึงกึ่งกลางความสูงของถัง ค่า l/mm-value จะมีค่ามากที่สุดเพราะพื้นที่หน้าตัดในแนวราบ (the horizontal cross-section) จะเพิ่มขึ้นจากก้นถังจนถึงกึ่งกลางความสูงของถังนั้นเอง จากนั้นค่า l/mm-value จะลดลงเริ่มจากกึ่งกลางความสูง

ของถังจนถึง maximum filling height เพราะพื้นที่หน้าตัดในแนวราบจะลดลงจากกึ่งกลางความสูงของถังจนถึง maximum filling height ดังแสดงในรูปที่ 16

ความสำคัญของการกำหนดให้มีค่า l/mm-value ก็เพื่อใช้ในการคำนวณหาค่าปริมาตรระหว่างค่าขั้นหมายมาตรา (intermediate volume values) ภายในการบรรจุของเหลวแต่ละครั้ง (Filling step) หากมีการใช้ dip-stick ซึ่งมีขั้นหมายมาตราในรูปของระยะห่างระหว่างขั้นหมายมาตรา (scale interval of length graduation) หรือ dip-tape เป็นเครื่องวัดความสูง (measuring device)

<u>ตัวอย่าง 1.1</u> การหาค่าขั้นหมายมาตรา (Scale interval) ของถังบรรจุของเหลวในแนวนอนซึ่งมีปิดหัวปิดท้ายด้วยส่วนของทรงกลม หรือคล้ายกับแคปซูล บน nameplate บ่งบอกว่ามีขนาดพิกัดความจุ (tank volume); V_T เท่ากับ 50 m^3 มีค่าเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน (internal diameter, D) เท่ากับ 2.5 m และความยาวถังเฉลี่ย (mean tank length; L) เท่ากับ 10.2 m

ดังนั้นพื้นที่หน้าตัดที่ใหญ่ที่สุดจึงมีค่าเท่ากับ

$$\begin{aligned} D \bullet L &= 2.5\ m. \times 10.2 m. \\ &= 25.5\ m^2 \end{aligned}$$

จากนิยามของ l/mm – value จึงได้ว่า l/mm = 25.5 l/mm

หรือพิจารณา Δh_{min} = 1 mm.

ดังนั้น

$$\begin{aligned} 25.5\ m^2 \times \frac{1 mm.}{10 \times 100} &= 0.0255\ m^3 \\ &= 25.5\ l. \quad \text{or} \quad 25.5\ l./mm. \end{aligned}$$

หาค่าขั้นหมายมาตรา โดยใช้สมการข้างบน

$$\begin{aligned} 0.004\ m. \bullet D \bullet L \leq\ & S \leq 0.01\ m. \bullet D \bullet L \\ 0.004\ m. \bullet 2.5 \bullet 10.2 \leq\ & S \leq 0.01\ m. \bullet 2.5 \bullet 10.2 \\ 0.102\ m^3 \leq\ & S \leq 0.255\ m^3 \end{aligned}$$

เนื่องจากข้อกำหนดให้ค่าขั้นหมายมาตรา (scale interval) ต้องแสดงค่าในหน่วยเมตริกและแสดงค่าในรูปของ 1×10^k, 2×10^k หรือ 5×10^k โดย k เป็นเลขจำนวนเต็มบวก หรือจำนวนเต็มลบหรือศูนย์ ดังนั้นในที่นี้เราเลือกค่า (Scale interval) ให้มีค่าเท่ากับ 0.2 m^3 หรือ 200 ลิตร

นอกจากนี้เรายังสามารถหาขั้นหมายมาตราได้จากรูปที่ 15 โดยการใช้กราฟ

$$\frac{V_T}{D} = \frac{50\ m^3}{2.5\ m} = 20\ m^2$$

$$= 20\ l. \quad or \quad 20\ l./mm.$$

แต่จาก

$$D \bullet L = 2.5\ m. \times 10.2\ m.$$

$$= 25.5\ m^2$$

จึงควรเลือก 25.5 l/mm แทน นั้นคือ 25.5×10^1 l/cm

แทนค่า V_T/D = 25.5 l/cm จะได้

$$S = 20 \times 10^1\ l = 200\ l$$

ANS

บทที่ 2

เตรียมการก่อนสอบเทียบ

(Preparation)

สำหรับเทคนิคหรือวิธีการตรวจสอบหาปริมาตรบรรจุของถังบรรจุของเหลวในแนวนอนนั้น มีเทคนิคแตกต่างกันหลากหลายวิธีการด้วยกัน ไม่ว่าจะเป็นการใช้กล้องส่องชนิดเลเซอร์เพื่อหาระยะความกว้าง, ความสูงและระดับภายในถังจากนั้นนำข้อมูลทั้งหมดไปประมวลผลด้วยระบบคอมพิวเตอร์พร้อมสรุปผลออกเป็นตารางประจำถัง (tank table) ได้อย่างเรียบร้อย แต่ในกรณีของการสอบเทียบหรือการตรวจสอบให้คำรับรองสำหรับงานชั่งตวงวัดตามข้อกำหนดของกฎหมาย (Legal Metrology) นั้นเราเลือกวิธีการ *"สอบเทียบแบบเปียก (Wet calibration)"*

ก่อนดำเนินการสอบเทียบหรือการตรวจสอบให้คำรับรองด้วยวิธีการ *"สอบเทียบแบบเปียก (Wet calibration)"* จำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องทำการเตรียมการ ไม่ว่าการตรวจสอบสภาพโดยทั่วไปของถังบรรจุของเหลวในแนวนอน (Horizontal storage tanks) ด้วยสายตา, การทำความเข้าใจในแบบแปลนและขนาดของถังบรรจุของเหลวในแนวนอน, การเลือกเครื่องมือ เช่นเครื่องวัดระดับหรือความเอียงของตัวถัง, เครื่องวัดอุณหภูมิ, การเลือกค่าขั้นหมายมาตรา (scale interval) ประจำถัง, การกำหนดขั้นตอนการบรรจุของเหลวแต่ละครั้ง (Filling step schedule), การเลือกแบบมาตราว่าจะใช้ Master meter หรือ Prover tank เป็นต้น

สิ่งจำเป็นเบื้องต้น (Prerequisites)

1. แบบแปลน (Drawings) ผู้เป็นเจ้าของถังบรรจุของเหลวในแนวนอนควรจัดหาและให้แบบแปลนถังบรรจุของเหลวในแนวนอนแก่เจ้าหน้าที่ฯ ซึ่งจะช่วยให้เจ้าหน้าที่ฯตรวจสอบให้คำรับรองทราบถึงตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์ประจำถัง เช่น ตำแหน่งของ dipping socket, filling socket อีกทั้งทราบถึงตำแหน่งอุปกรณ์ที่อาจมีผลต่อความแม่นยำในการสอบเทียบ เช่น ตำแหน่งวาล์วต่างๆ ซึ่งหากมีการรั่วไหลก็จะได้แจ้งให้เจ้าของถังดำเนินการซ่อมแซมเสียก่อน นอกจากนี้ขนาดและระยะต่างๆของถังบรรจุของเหลวในแนวนอน เช่น เส้นผ่านศูนย์กลาง ความยาวสูงสุด ของตัวถัง ล้วนแล้วแต่เป็นข้อมูลที่สำคัญและจำเป็นเบื้องต้นในการคำนวณหาค่าขั้นหมายมาตรา (scale interval) เพื่อใช้ในการสอบเทียบขั้นตอนต่อไปอีกด้วย

ในทางปฏิบัติ การวาดรูปโดยคราวๆ ของถังบรรจุของเหลวในแนวนอนและอุปกรณ์ที่สำคัญประจำถังเพื่อใช้เป็นประวัติประจำถังและแนบรายงานผลการสอบเทียบ ก็แนะนำให้กระทำเพราะเมื่อเวลาผ่านไปสามารถกลับมาดูและตรวจสอบสภาพถังว่ามีการเปลี่ยนแปลงหรือไม่อย่างไรได้ในอนาคต

(a) ตัวถังบรรจุของเหลวในแนวนอน

- ชนิดของการติดตั้งถังบรรจุของเหลวในแนวนอนว่าเป็นแบบ underground หรือ aboveground และตัวถังถูกติดตั้งบนพื้นคอนกรีตหรือ support ด้วยเหล็กโครงสร้าง
- แนวแกนของตัวถังหันไปในทิศทางใด
- ชนิดและตำแหน่งของ measuring device
- ตำแหน่งของ domes และ sockets ต่างๆ บนตัวถัง
- ชนิดและตำแหน่งของอุปกรณ์ที่ติดตั้งอยู่ถาวรกับตัวถัง
- ตำแหน่งอ้างอิง (reference surface) สำหรับการวัดการเอียงของตัวถัง
- ตำแหน่งและจำนวนที่ทำเครื่องหมายการประทับตราหรือร้อยลวดผูกซีลประจำถังบรรจุของเหลวในแนวนอน

(b) Dipstick, scale

- ชนิดของ dipstick
- รูปแบบของค่าขั้นหมายมาตรา (scale interval) ต้องแสดงค่าในหน่วยเมตริกและแสดงค่าในรูปของ 1×10^k, 2×10^k หรือ 5×10^k โดย k เป็นเลขจำนวนเต็มบวก หรือจำนวนเต็มลบ หรือศูนย์
- ค่าขั้นหมายมาตรา (scale interval)
- ตำแหน่งเริ่มต้นและสิ้นสุดของขั้นหมายมาตราเมื่อเทียบกับตำแหน่งอ้างอิง (reference plan) ประจำถัง
- ตำแหน่งและจำนวนที่ทำเครื่องหมาย, การประทับตรา หรือร้อยลวดผูกซีลบน dipstick และ/หรือ scale

ตัวอย่างการวาดรูปโดยคราวๆครอบคลุมเนื้อหาดังข้างบนดูตัวอย่างได้ดังในรูปที่ 29 และรูปที่ 30

2. Filling test ก่อนดำเนินการสอบเทียบหรือตรวจสอบให้คำรับรองถังบรรจุของเหลวในแนวนอนให้ทำการเติมของเหลวลงภายในถังให้เต็มตามปริมาตรสูงสุดที่ใช้งานเป็นเวลาอย่างน้อย 48 ชั่วโมง เพื่อทำการตรวจสอบสภาพของถังบรรจุของเหลวในแนวนอนว่ามีการโค้งแอ่นหรือไม่, ฐานรากรองรับน้ำหนักได้ไม่ก่อให้ถังมีระดับเปลี่ยนแปลงไปหรือต่างจากเมื่อถังบรรจุของเหลวด้วยปริมาณน้อยๆหรือในขณะที่ถังเปล่าๆ ดังนั้นต้องทำการวัดการเอียงของถังก่อนและหลังจากการทดสอบ filling test นอกจากนี้ถือว่าเป็นการตรวจสอบแนวเชื่อมต่อของตัวถังบรรจุของเหลวในแนวนอนว่ามีรอยรั่วซึมหรือไม่อีกด้วย อีกทั้งตรวจสอบอุปกรณ์ประจำถังว่ามีการรั่วซึมหรือไม่

3. มาตราการความปลอดภัยในการปฏิบัติงาน (Safety Provisions) เป็นเรื่องที่ต้องให้ความใส่ใจมากเป็นพิเศษหากถังบรรจุของเหลวในแนวนอนดังกล่าวบรรจุของเหลวผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม ยกตัวอย่างเช่น อุปกรณ์ไฟฟ้าทั้งหมดที่ใช้ทำงานนั้นต้องเป็นชนิด explosion proof, การต่อสายกาวด์

อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ปฏิบัติงานเพื่อป้องกันฟ้าผ่าหากถังติดตั้งอยู่กลางแจ้ง อีกทั้งช่วยลดการเกิดการ spark เนื่องจากไฟฟ้าสถิตย์ที่อาจเกิดขึ้นได้ด้วย, การจัดเครื่องดับเพลิงไว้ในบริเวณใกล้เคียงพร้อมสามารถหยิบฉวยได้หากมีการลุกไหม้ในขณะปฏิบัติงานสอบเทียบ, การตรวจสภาพปริมาณสัดส่วนผสมระหว่างผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมกับอากาศเพื่อป้องกันโอกาสก่อให้เกิดการระเบิดหรือเป็นอัตรายต่อสุขภาพของเจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงานก่อนปฏิบัติงานและระหว่างปฏิบัติงาน, ตำแหน่งของบันไดสะดวกต่อการปฏิบัติงานหรือไม่หากเป็นถังที่มีขนาดใหญ่และจำเป็นต้องเข้าออกถังในระหว่างปฏิบัติงาน

4. สภาพและตำแหน่งของถัง (State of the tank) พบว่าในบางครั้งถังบรรจุของเหลวในแนวนอนจะถูกฝังอยู่ใต้ดินดังนั้นการสอบเทียบหรือตรวจสอบให้คำรับรองไม่สะดวกต่อการปฏิบัติงานได้จริงในภาคสนาม ดังนั้นอาจย้ายมากระทำในสถานที่เหมาะสมแต่ผู้เป็นเจ้าของต้องกำหนดและบ่งบอกข้อมูลเกี่ยวกับตำแหน่งและระดับการติดตั้งจริงในภาคสนามที่แท้จริงเพื่อสามารถจำลองสภาพการติดตั้งจริงก่อนทำการสอบเทียบหรือตรวจสอบให้คำรับรองภายในสถานที่ที่จัดไว้เพื่อลดข้อผิดพลาดให้มากที่สุดเท่าที่กระทำได้ แต่อย่างไรก็ตามหากสามารถดำเนินการสอบเทียบหรือตรวจสอบให้คำรับรองโดยไม่เคลื่อนย้ายจากตำแหน่งติดตั้งจริงถือว่าเป็นสิ่งที่ดีที่สุด

5. สภาพของเครื่องวัดความสูงของเหลวภายในถัง (State of measuring device) หากใช้ dip-stick และต้องการให้แสดงขั้นหมายมาตราในรูปของปริมาตร (scale interval of volume graduation) ผู้เป็นเจ้าของถังต้องมอบ dip-stick ที่ยังไม่ได้ทำขั้นหมายมาตราแต่อย่างใด เพราะการทำขั้นหมายมาตราดังกล่าวจะกระทำได้ก็ต่อเมื่อได้ทำการสอบเทียบแบบเปียก (Wet calibration) แล้วเสร็จเท่านั้น แต่ในกรณีที่ผู้เป็นเจ้าของถังต้องการใช้ dip-stick แบบที่มีขั้นหมายมาตราในรูปของระยะห่างระหว่างขั้นหมายมาตรา (scale interval of length graduation) บน dip-stick ก็สามารถทำขั้นหมายไว้ก่อนทำการสอบเทียบก็ได้ ส่วนเครื่องวัดความสูงของเหลวภายในถังอื่นๆต้องทำให้สามารถพร้อมใช้ได้ทันทีเมื่อทำการสอบเทียบ

6. การตรวจสอบสภาพถังบรรจุของเหลวในแนวนอนและการเตรียมการสำหรับการสอบเทียบ (Tank inspection and preparation for calibration)

การดำเนินการตรวจสอบสภาพทั่วไปของถังเป็นสิ่งที่ควรกระทำแต่เนิ่นๆ ก่อนทำการสอบเทียบหรือตรวจสอบให้คำรับรอง เช่น

- วาล์วประจำถังมีการสึกกร่อนหรือไม่ และต้องไม่เกิดรั่วไหลขณะทำการสอบเทียบ สามารถตรวจสอบขณะทำการทดสอบ filling test
- ตัวถังมีรอยบุบหรือเสียรูปทรงมากจนเกินไปหรือไม่ การเสียรูปทรงมากมีมากจนเกินไปจะทำให้การสอบเทียบได้ผลผิดพลาด ดังนั้นต้องแจ้งให้ผู้เป็นเจ้าของถังบรรจุของเหลวในแนวนอนดำเนินการซ่อมแซมก่อนยื่นขอการสอบเทียบ
- แนวเชื่อมของถังหากเป็นถังโลหะมีรอยสึกหรอหรือรอยแตกมีการรั่วซึมของของเหลวหรือไม่

- ภายในถังมีการกัดกร่อนมากเกินไปผิวขุรขระมากหรือไม่ จำเป็นต้องทำความสะอาดภายในก่อนสอบเทียบหรือไม่
- ในกรณีที่ไม่มีแบบแปลน หากต้องเข้าไปในภายในถังต้องตรวจสอบสภาพภายในถังว่ามีอากาศเพียงพอหรือไม่, มีชุดหายใจหรือไม่, มีของเหลวตกค้างที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพหรือไม่, หากมีการใช่แสงสว่างก่อให้เกิดอันตรายจากการระเบิดหรือไม่, ผู้เป็นเจ้าของถังยินยอมหรือไม่, มีเพื่อนร่วมงานอยู่ในสถานที่ดังกล่าวหรือไม่หากมีเพียงเจ้าหน้าที่ปฏิบัติงานเพียงคนเดียวห้ามเข้าไปในตัวถังดังกล่าวโดยเด็ดขาด เป็นต้น
- เตรียมการเลือกตำแหน่งเพื่อวัดความเอียงของถังด้วย Inclinometer (inclination water level) ต้องเป็นตำแหน่งที่สามารถครอบคลุมลักษณะของตัวถังบรรจุของเหลวในแนวนอนได้ทั้งหมด
- ตรวจสอบตำแหน่ง ขนาดและจำนวนของท่อทางเข้าและท่อทางออกจากถังเพื่อสามารถเตรียมท่อน้ำ (ปกติ fire hoses of size C) ที่ใช้ในการทดสอบ

นอกจากนี้ก็จะเป็นเรื่องการจัดการโดยทั่วไปไม่ว่าเรื่องของ การขนย้ายถัง การจัดหาเครื่องมืออุปกรณ์ที่จำเป็นเช่นท่อ ประเก็น มาตรวัดความดัน ประแจขันน็อต จัดหาแหล่งน้ำที่สะอาดและมีปริมาตรเพียงพอต่อการสอบเทียบรวมทั้งแรงดันน้ำที่เหมาะสมต่อการปฏิบัติงานด้วยเช่นกัน ในส่วนของกำลังคนก็ควรจัดหาแรงงานมาช่วยอำนวยความสะดวกต่อการปฏิบัติงานของเจ้าหน้าที่ในจำนวนที่เหมาะสมด้วย

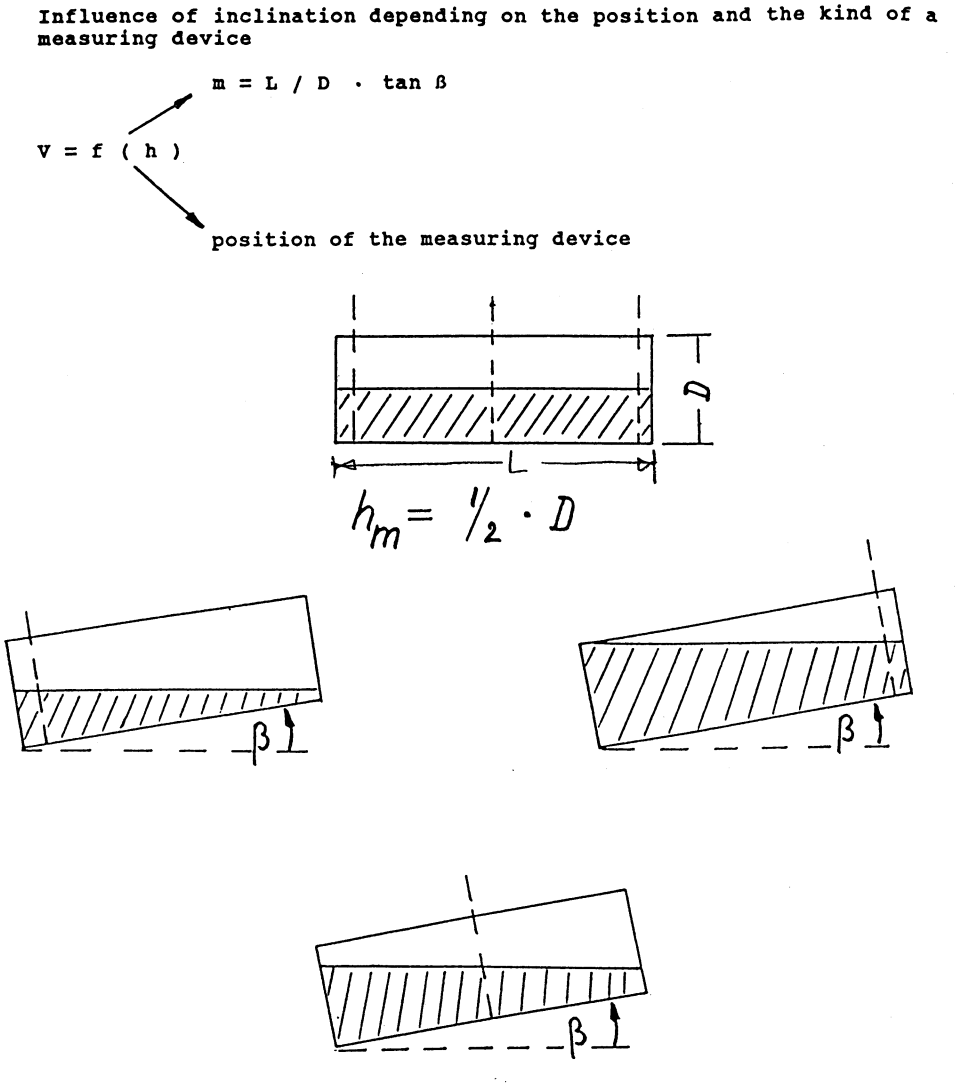
ผู้เป็นเจ้าของถังควรจัดหา Nameplate ขนาดประมาณ กว้าง 160 ม.ม. ยาว 120 ม.ม. และหนา 5 ม.ม. เพื่อติดตั้งในตำแหน่งที่เห็นได้ชัดหลังจากผ่านการสอบเทียบหรือตรวจสอบให้คำรับรองเพื่อแสดงข้อมูลสำคัญประจำถังบรรจุของเหลวในแนวนอน

7. วัดความเอียงของถังบรรจุของเหลวในแนวนอน ก่อนและหลังเสร็จสิ้นการสอบเทียบให้ทำการวัดความเอียงของถังบน control surface ด้วยเครื่องมือ inclinometer (inclination water level) ซึ่งมี scale interval ที่สอดคล้องกับอัตราส่วนระดับ 2 : 1000 (อัตราส่วนผลต่างความสูงเทียบกับระยะทางในแนวราบเท่ากับ 2 mm. : 1 m.) ดังแสดงในรูปที่ 2 ผลการวัด ความเอียงของถังบน control surface เมื่อเปรียบเทียบก่อนและหลังเสร็จสิ้นการสอบเทียบต้องมีค่าไม่แตกต่าง หากผลการวัดมีค่าแตกต่างถือว่าการสอบเทียบดังกล่าวเป็นโมฆะ ผู้เป็นเจ้าของถ้าต้องทำการปรับปรุงโครงสร้างต่างๆให้แข็งแรงเสียก่อนที่จะดำเนินการสอบเทียบใหม่

การรายงานผลการวัด นอกจากค่าความเอียงแล้วต้องบ่งบอกแนวแกนของถังไปในทิศทางใด ดังตัวอย่าง

Inclination: Measured at the dome flange at the south-eastern end in the longitudinal direction: 10 : 1000 to south-east, in the transverse direction 0 : 1000. (วัด ณ ตำแหน่งหน้าแปลนโดม (dome flange) ที่ทิศตะวันออกเฉียงใต้ด้านปลายสุดแนวแกนตามความยาวของถังให้ค่าเอียง 10 : 1000 ไปยังทิศตะวันออกเฉียงใต้ในทิศตั้งฉากกับแนวแกนตามยาวของถังเอียง 0 : 1000)

พบว่าอิทธิพลของความเอียงของถังบรรจุของเหลวในแนวนอนขึ้นอยู่กับตำแหน่งติดตั้งและชนิดของเครื่องวัดระดับความสูงของเหลว (measuring device) ประจำถัง ตำแหน่งที่เหมาะสมกับการติดตั้งเครื่องวัดระดับความสูงของเหลวประจำถังควรติดตั้งในตำแหน่งกึ่งกลางถัง เพราะเป็นตำแหน่งที่ได้รับอิทธิพลกระทบเนื่องจากการเอียงของถังน้อยที่สุด ดังแสดงไว้ในรูปที่ 17



Important:

If dislocations are possible the measuring device must not be at the end of the tank. The most favourable position for the measuring device is the middle of the tank.

รูปที่ 17 อิทธิพลของความเอียงของถังจะมีผลมากน้อยขึ้นอยู่กับตำแหน่งติดตั้งและชนิดของเครื่องวัดระดับของเหลว

บทที่ 3

ขอบเขตการกำหนดขั้นตอนและจำนวนครั้งการเติมของเหลวเข้าไปในถัง

(Criteria for the stepwise filling of storage tank)

ตารางขั้นตอนการเติมของเหลวแต่ละครั้ง

(Filling step tables)

สอบเทียบแบบเปียก (Wet calibration)

ถังบรรจุของเหลวในแนวนอน (Horizontal storage tanks) หากถูกออกแบบด้วยวัตถุประสงค์ใช้งานเพื่อเป็นเครื่องมือสำหรับวัดปริมาตรของเหลวไม่ว่าเพื่อการซื้อขายหรือคิดคำนวณภาษีอากร การหาความสอดคล้องและความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสูงของเหลว (filling height) ภายในถังเทียบกับค่าปริมาตรของเหลวที่ใส่ลงไป (filled volume) ในถังบรรจุของเหลวในแนวนอนภายในช่วงความสูงที่กำหนดไว้ที่แน่นอนช่วงหนึ่ง (measuring space หรือ measured volume) ในทางชั่งตวงวัดตามข้อกำหนดของกฎหมาย (Legal Metrology) ไม่สามารถกระทำได้ด้วยวิธีการคำนวณทางคณิตศาสตร์แต่อย่างใด แต่ต้องหาด้วยวิธีการสอบเทียบหรือการตรวจสอบให้คำรับรองถังบรรจุของเหลวด้วยการหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสูงของเหลวภายในถัง(filling height) กับค่าปริมาตรของเหลวที่ใส่ลงไป (filled volume) ที่มีค่าคงที่แน่นอน โดยใช้แบบมาตราเช่น ถังตวงแบบมาตรา (volume-standard, pipette, tank prover) หรือมาตรวัดแบบมาตรา (standard-meter) ตวงหรือวัดปริมาตรของเหลวก่อนเทใส่หรือปล่อยลงในถังบรรจุของเหลวในแนวนอนในแต่ละครั้งพร้อมอ่านค่าความสูงของเหลวทุกๆครั้ง และวิธีการดังกล่าวนี้เรียกว่า วิธีการ *"สอบเทียบแบบเปียก (wet calibration)"*

พอสรุปขั้นตอนวิธีการตรวจสอบแบบเปียกออกเป็น

1.) ขอบเขตการกำหนดขั้นตอนและจำนวนครั้งการเติมของเหลวเข้าไปในถัง (Criteria for the stepwise filling of storage tank)
2.) ตารางขั้นตอนการเติมของเหลวแต่ละครั้ง (Filling step tables)
3.) การคำนวณหาค่าปริมาตรต่ำสุดของการเติมของเหลวของขั้นตอนการเติมของเหลวในแต่ละครั้ง (Calculation of the minimum value of the filling step the volume)
4.) การจัดทำขั้นตอนการเติมของเหลวแต่ละครั้ง (Establishment of the filling step schedule)
5.) การเตรียมแบบมาตราและอุปกรณ์ (Standards and equipment)
6.) การเติมของเหลวเข้าสู่ถังพร้อมกับการวัดระดับความสูงของของเหลว (Filling of the storage tank and Dipping)
7.) รายงานผลการทดสอบและผลการวัด (Measurement results)
8.) การนำเสนอข้อมูลต่อเนื่อง (Data smoothing of measured values)

9.) การออกใบรับรองผลการสอบเทียบ/ตรวจสอบให้คำรับรอง (Verification Certificates)

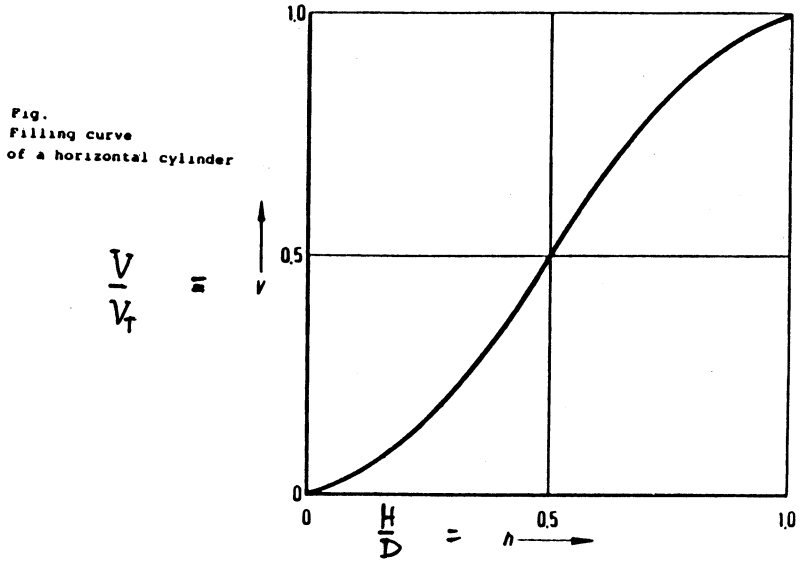
ขั้นตอนที่ 1. ขอบเขตการกำหนดขั้นตอนและจำนวนครั้งการเติมของเหลวเข้าไปในถัง (Criteria for the stepwise filling of storage tank)

ก่อนที่สามารถกำหนดขั้นตอนและหาจำนวนครั้งของการเติมของเหลวเข้าไปในถังบรรจุของเหลวในแนวนอนด้วยถังตวงแบบมาตราหรือมาตรวัดแบบมาตรา จำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องกำหนดค่าขั้นหมายมาตรา (Scale interval; S) ของถังบรรจุของเหลวในแนวนอนซึ่งหาได้จากการคำนวณดังสมการข้างล่างหากเราทราบค่าเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน (internal diameter; D) และความยาวเฉลี่ย (mean tank length; L) ของถังบรรจุของเหลวในแนวนอน

$$0.004\ \text{m.} \bullet D \bullet L \quad \leq \quad S\ (m^3) \quad \leq \quad 0.01\ \text{m.} \bullet D \bullet L$$

การกำหนดค่าขั้นหมายมาตราเป็นขั้นตอนแรกของการเตรียมการเพื่อกำหนดปริมาตรของเหลวก่อนเทใส่หรือปล่อยลงในถังบรรจุของเหลวในแนวนอนในแต่ละครั้ง ซึ่งหากปล่อยของเหลวลงในถังบรรจุของเหลวในแนวนอนในแต่ละครั้งที่ทุกๆ ค่าของค่าขั้นหมายมาตราก็จะเป็นเรื่องดีมากและมีข้อดีเนื่องจากลดผลผิดของการ Interpolation ค่าปริมาตรระหว่างแต่ละค่าขั้นหมายมาตรา แต่มีข้อเสียคือต้องใช้เวลาอันยาวนานมากจนเกินไปกว่าดำเนินการสอบเทียบเสร็จสิ้นอีกทั้งมีข้อจำกัดทางเทคนิคที่เกิดจากความไม่แน่นอนของการวัดความสูง (Uncertainty of the filling height) ด้วยวิธีการ dipping ระหว่างสอบเทียบซึ่งมีค่าความไม่แน่นอนสูงเช่นกัน หากต้องการประหยัดเวลาโดยต้องการกำหนดปริมาตรของเหลวก่อนเทใส่หรือปล่อยลงในถังบรรจุของเหลวในแนวนอนในแต่ละครั้งให้เป็นจำนวนเท่าของค่าขั้นหมายมาตรา (Scale interval; S) ห่างกันเป็นช่วงๆโดยให้มีจำนวนครั้งเติมของเหลวน้อยลง ก็จะมีปัญหาในการหาค่าขั้นหมายมาตราระหว่างปริมาตรที่ปล่อยลงในถังบรรจุของเหลว กระทำได้เพียงด้วยวิธีการ Interpolation และหากเป็นการ Interpolation ของความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสูงของเหลวภายในถังกับค่าปริมาตรของเหลวที่ใส่ลงไปที่เป็นชนิด linear interpolation ก็ไม่มีปัญหาแต่อย่างใด แต่เนื่องจากความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสูงของเหลวภายในถัง(filling height) กับค่าปริมาตรของเหลวที่ใส่ลงไป (filled volume) ของถังบรรจุของเหลวในแนวนอนซึ่งแสดงอยู่ในรูปของ ตารางบรรจุ (filling table), ตารางสอบเทียบประจำถัง หรือ graduated dipstick หรือ scale โดยทั่วไปจะมีลักษณะ non-linear correlation ดังแสดงในรูปที่ 18 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรสัมพัทธ์ของปริมาตรที่เติมลงไป (V) เทียบกับปริมาตรถัง (V_T) กับความสูงสัมพัทธ์ของความสูงของเหลวภายใน (H) เทียบกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในถัง (D) จะเห็นได้ว่าบริเวณที่ค่าปริมาตรน้อยๆและความสูงต่ำๆ บริเวณก้นถังบรรจุของเหลวในแนวนอน กับที่ปริมาตรมากๆและความสูงใกล้เต็มพิกัดของถังบรรจุของเหลวในแนวนอน จะมีความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรภายในถังกับความสูงของเหลวภายในถังไม่เป็นเชิงเส้นมาก เมื่อเทียบกับบริเวณกึ่งกลางความสูงของถังซึ่งมีความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรภายในถังกับความสูงของเหลวภายในถังเป็นเชิงเส้น (linear correlation) ดังนั้นบริเวณที่ความ

สัมพันธ์ระหว่างปริมาตรภายในถังกับความสูงของเหลวภายในถังไม่เป็นเชิงเส้นมากจำเป็นต้องเลือกปริมาตรของเหลวก่อนเทใส่หรือปล่อยลงในถังบรรจุของเหลวในแนวนอนในแต่ละครั้งให้เป็นจำนวนเท่าของค่าขั้นหมายมาตรา (Scale interval; S) ด้วยจำนวนน้อยๆ และค่อยๆเพิ่มขึ้นเมื่อถึงบริเวณที่ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรภายในถังกับความสูงของเหลวภายในถังเป็นเชิงเส้นมากขึ้น



รูปที่ 18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรสัมพัทธ์ของปริมาตรที่เติมลงไป (V) เทียบกับปริมาตรถัง (V_T) กับความสูงสัมพัทธ์ของความสูงของเหลวภายใน (H) เทียบกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในถัง (D)

พิจารณารูปที่ 19 เมื่อขยายส่วนของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรภายในถังกับความสูงของเหลวภายในถังบริเวณก้นถัง หากทำการเติมของเหลวด้วยจำนวนเท่าของค่าขั้นหมายมาตราได้ที่ปริมาตร V_a และเติมอีกครั้งถัดไปได้ปริมาตร V_b ทำการ dipping ได้ความสูงเท่ากับ h_a และ h_b ตามลำดับ หากต้องการทราบค่าปริมาตรระหว่างปริมาตร V_a และปริมาตร V_b ด้วยวิธีการ Interpolation พบว่าค่าผลผิดมากที่สุดของการ Interpolation (the greatest interpolation error) มีค่าเท่ากับ f_{int} เพราะการ interpolation เป็นการเทียบบัญญัติไตรยางค์ซึ่งตั้งอยู่บนพื้นฐานที่ว่า กราฟมีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง

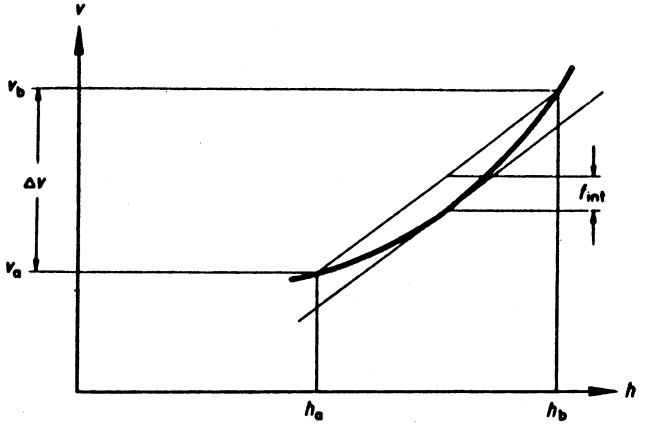


Fig.
Interpolation chord and interpolation error f_{int} between two filling points

รูปที่ 19 เมื่อขยายส่วนของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรภายในถังกับความสูงของเหลวภายในถังบริเวณก้นถัง

แต่เพื่อให้ผลการสอบเทียบหรือการตรวจสอบให้คำรับรองได้ผลที่น่าเชื่อถือหากเราเลือกปฏิบัติด้วยวิธีการกำหนดปริมาตรของเหลวก่อนเทใส่หรือปล่อยลงในถังบรรจุของเหลวในแนวนอนในแต่ละครั้งให้เป็นจำนวนเท่าของค่าขั้นหมายมาตรา (Scale interval; S) ห่างกันเป็นช่วงๆหรือจำนวนครั้งเติมของเหลวน้อยลงไม่ต้องเติมทุกค่าขั้นหมายมาตราแล้ว ค่าผลผิดมากที่สุดของการ Interpolation (the greatest interpolation error) ที่จุดใดๆต้องมีค่าไม่เกิน 0.5% หรือแสดงอยู่ในรูปของสมการ

$$f_{int} = \left(\frac{(0.5\%) \bullet V_{min}}{V_T}\right) = \left(\frac{(1/200) \bullet V_{min}}{V_T}\right) = \frac{0.4}{\pi} \bullet \frac{1}{D}$$

เมื่อ

f_{int} = ค่าผลผิดมากที่สุดของการ Interpolation (the greatest interpolation error);

V_{min} = Minimum space of the storage tank

V_T = Volume of the completely filled tank (Tank volume)

D = เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน (internal diameter) ค่าอยู่ในหน่วย ซม. เฉพาะสมการนี้

จากรูปที่ 19 ค่าผลผิดมากที่สุดของการ interpolation (the greatest interpolation error) ; f_{int} จะมีค่าลดลง เมื่อความเป็นโค้ง (curve) ในรูปที่ 18 ลดลงหรือเมื่อระดับของเหลวสูงขึ้นจากก้นถังจนเข้าบริเวณกึ่งกลางถัง ดังนั้นค่าผลต่าง $V_b - V_a$ จึงสามารถเพิ่มขึ้นมากได้เมื่อระดับของเหลวสูงขึ้นใกล้กึ่งกลางความสูงของถัง โดยขณะที่ให้มีค่า f_{int} คงที่หรือใกล้เคียงกัน

ด้วยเหตุนี้เราจึงได้สรุป ค่าสูงสุดที่ยอมให้ได้ของปริมาตรที่เติมแต่ละครั้งสัมพัทธ์ (Permissible maximum valves of the relative filling step volume) ออกเป็น 2 ส่วน ในรูปของจำนวน % ของปริมาตรถัง (V_T) เทียบกับเส้นผ่านศูนย์กลางภายในถัง (ดูรูปที่ 20) คือ

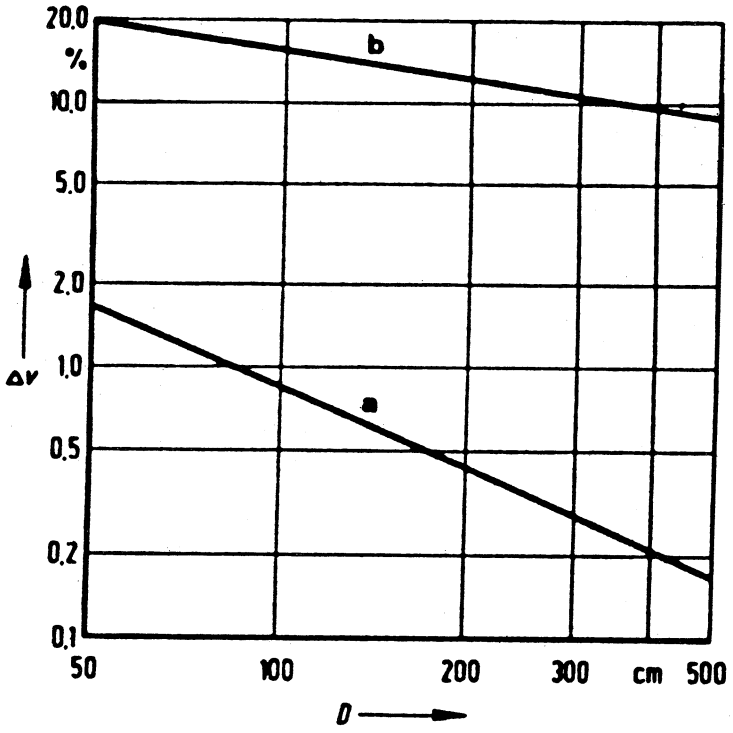
a) สำหรับความสูงของเหลวบริเวณใกล้ก้นถังและที่ใกล้เต็มพิกัดของถังบรรจุของเหลวในแนวนอน (in the fore and end section of tank)

b) ความสูงของเหลวบริเวณกึ่งกลางถัง (in the middle section of tank)

ดังนั้นหากถังบรรจุของเหลวในแนวนอนที่มีปริมาตรถังเท่ากัน แต่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน (D) ไม่เท่ากัน ถังที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน มากกว่าจะต้องทำการสอบเทียบด้วยค่าปริมาตรของเหลวที่เติมลงไปในแต่ละครั้งด้วยจำนวนปริมาตรน้อยกว่าถังที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเล็กกว่า

Fig.

Permissible maximum values of the relative filling step volume in the fore-section and end section (a) and in the middle section of the tank (b) in % of the tank volume



รูปที่ 20 ค่าสูงสุดที่ยอมให้ได้ของปริมาตรที่เติมแต่ละครั้งสัมพัทธ์ (Permissible maximum valves of the relative filling step volume)

แต่จากการวิจัยของ J. Verch และ K. Bonke ได้ตีพิมพ์ผลงาน Grundlagen der Vermessung von Lagerbehaltern in Form liegender Zylinder ใน PTB-Mitteilungen 78 (1968) No. 6, p. 455 and PTB-Mitteilungen 79 (1969) No. 1, p. 23 ได้แสดงสมการ ***"Maximum filling step volume"***;

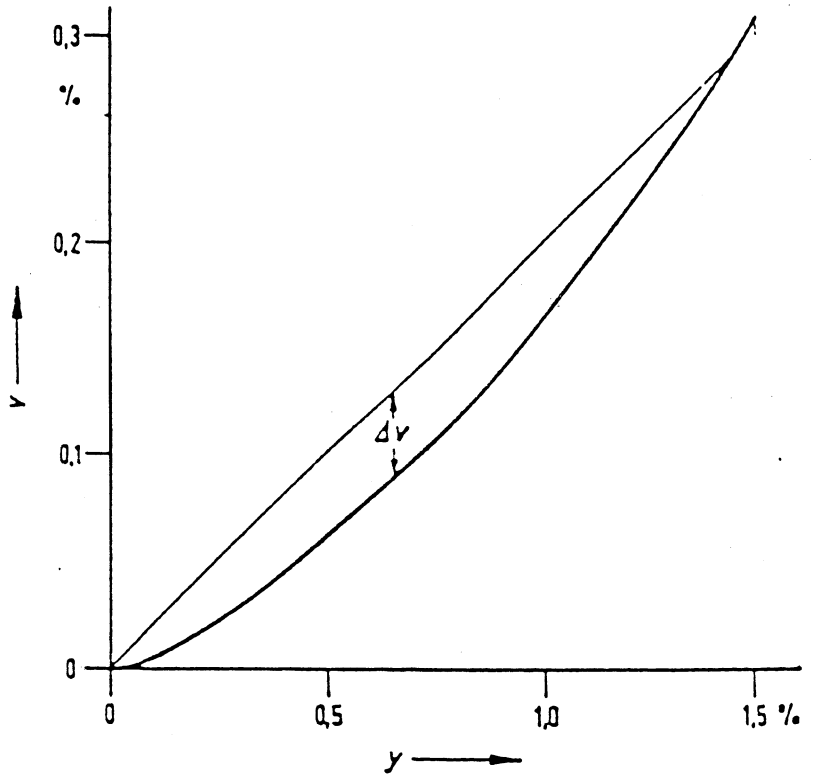
- **The fore/end section of the tank** (ดูรูปที่ 21)

$$\text{Maximum filling step } \Delta V \leq \frac{0.85944}{D} \bullet \left(1 + \left(\frac{0.21173}{D^{2/3}}\right)\right) \quad ; D \text{ in cm.}$$

- **The middle section of the tank** (ดูรูปที่ 22)

$$\text{Maximum filling step } \Delta V \leq \frac{\sqrt[3]{0.2 \bullet 36 \bullet \sqrt{3}}}{\pi} \bullet \sqrt{\frac{1}{D}} = \frac{0.7382}{D^{1/3}} \quad ; D \text{ in cm.}$$

Interpolation chord and interpolation error, maximum filling steps in fore- and end section



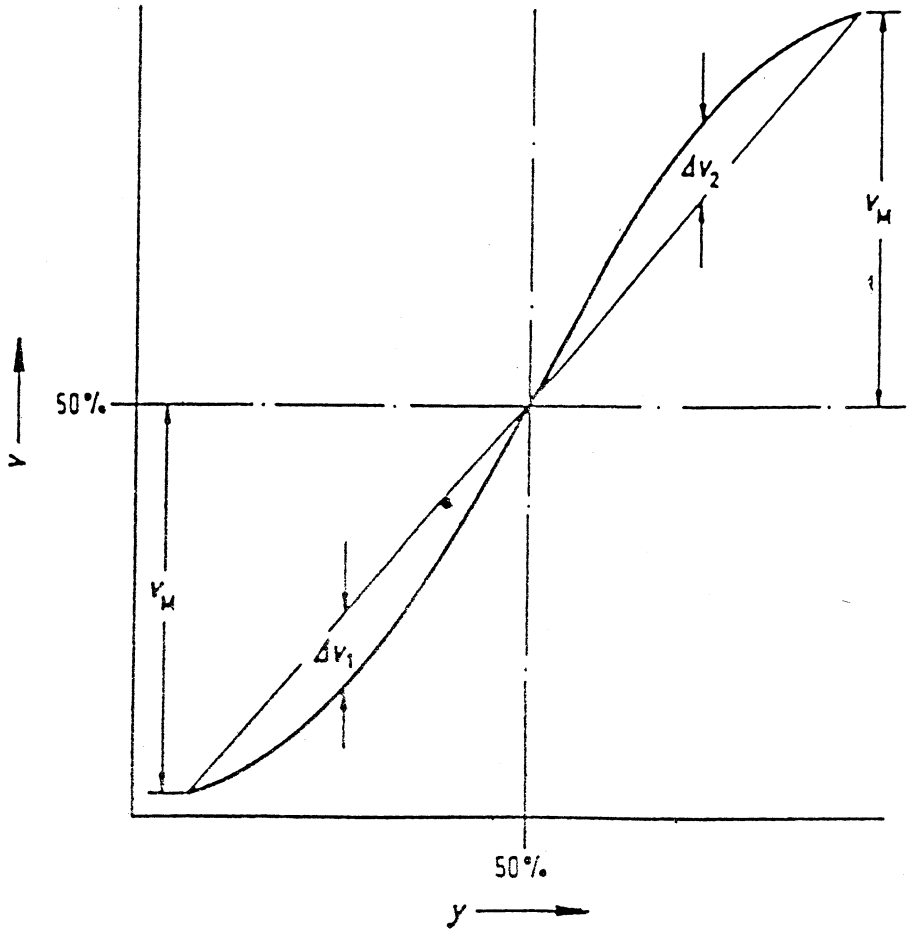
maximum filling step

$$v_A \leq \frac{0{,}85944}{D}\left(1 + \frac{0{,}21173}{D^{4/3}}\right)$$

D in cm

รูปที่ 21 กราฟแสดง Maximum filling step volume ของความสูงของเหลวบริเวณใกล้กันถังและที่ใกล้เต็มพิกัดของถังบรรจุของเหลวในแนวนอน (in the fore and end section of tank)

Interpolation chord and interpolation error, maximum filling steps in middle section



interpolation errors can add ⇝ $\Delta v_{max} \leq f/2$

⇝ maximum filling step $v_M \leq \frac{\sqrt[3]{0{,}2 \cdot 36 \cdot \sqrt{3}}}{\pi} \sqrt[3]{\frac{1}{D}} = \frac{0{,}7382}{D^{1/3}}$

D in cm.

รูปที่ 22 กราฟแสดง Maximum filling step volume ของความสูงของเหลวบริเวณกึ่งกลางถัง (in the middle section of tank)

ขั้นตอนที่ 2. ตารางขั้นตอนการเติมของเหลวแต่ละครั้ง (Filling step tables)

เมื่อทราบค่า maximum filling step ซึ่งหาได้ในหัวข้อที่ผ่านมา ขั้นตอนต่อไปก็เตรียม filling table สำหรับถังบรรจุของเหลวในแนวนอน (Horizontal storage tanks) ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานของ DIN 6608 sheet 1 นั้นได้มี filling tables สำเร็จรูปจำนวน 15 ขนาดมาตรฐาน และสามารถข้ามขั้นตอนในหัวข้อที่ 3 และ 4 ในบทที่ 4 ไปได้เลย แต่ถ้าหากถังบรรจุของเหลวในแนวนอนไม่เป็นไปตามขนาดมาตรฐานตามที่กำหนดไว้ในทั้ง 15 ขนาดที่จะกล่าวในต่อไปนี้ก็ให้พิจารณาดำเนินการตามหัวข้อ 3 และ 4 ในบทที่ 4 ต่อไป ขนาดถังมาตรฐาน ทั้ง 15 ขนาดได้แก่

1) Tank Volume V_T = 1 m^3, D = 0.99 m., L = 1.30 m., V_{min} = 257 l., S = 5 l.
2) Tank Volume V_T = 3 m^3, D = 1.24 m., L = 2.48 m., V_{min} = 616 l., S = 20 l.
3) Tank Volume V_T = 5 m^3, D = 1.59 m., L = 2.52 m., V_{min} = 801 l., S = 20 l.
4) Tank Volume V_T = 7 m^3, D = 1.59 m., L = 3.53 m., V_{min} = 1121 l., S = 20 l.
5) Tank Volume V_T = 10 m^3, D = 1.59 m., L = 5.04 m., V_{min} = 1602 l., S = 50 l.
6) Tank Volume V_T = 13 m^3, D = 1.59 m., L = 6.55 m., V_{min} = 2082 l., S = 50 l.
7) Tank Volume V_T = 16 m^3, D = 1.59 m., L = 8.06 m., V_{min} = 2562 l., S = 50 l.
8) Tank Volume V_T = 20 m^3, D = 1.99 m., L = 6.44 m., V_{min} = 2562 l., S = 50 l.
9) Tank Volume V_T = 25 m^3, D = 1.99 m., L = 8.05 m., V_{min} = 3202 l., S = 100 l.
10) Tank Volume V_T = 30 m^3, D = 1.99 m., L = 9.66 m., V_{min} = 3843 l., S = 100 l.
11) Tank Volume V_T = 40 m^3, D = 2.49 m., L = 8.24 m., V_{min} = 4097 l., S = 100 l.
12) Tank Volume V_T = 50 m^3, D = 2.49 m., L = 10.30 m., V_{min} = 5122 l., S = 100 l.
13) Tank Volume V_T = 60 m^3, D = 2.49 m., L = 12.36 m., V_{min} = 6146 l., S = 200 l.
14) Tank Volume V_T = 80 m^3, D = 2.88 m., L = 12.26 m., V_{min} = 7069 l., S = 200 l.
15) Tank Volume V_T = 100 m^3, D = 2.88 m., L = 15.33 m., V_{min} = 8836 l., S = 200 l.

Filling Step Table: 1,000 L

		Tank volume	V_T = 1 m^3		
		D = 0.99 m	L = 1.30 m	V_{min} = 257 l	S = 5 l
Filling Step No.	Filling	Filling step Volume	Number of Scale divisions when graduated by volume	Filling	Filling step Volume
	V; Liters	ΔV; Liters		In % of the tank volume	
0	0			0	
		5	1		0.5
1	5			0.5	
		20	4		2.0
2	25			2.5	
		35	7		3.5
3	60			6.0	
		55	11		5.5
4	115			11.5	
		80	16		8.0
5	195			19.5	
		110	22		11.0
6	305			30.5	
		130	26		13.0
7	435			43.5	
		130	26		13.0
8	565			56.5	
		130	26		13.0
9	695			69.5	
		110	22		11.0
10	805			80.5	
		80	16		8.0
11	885			88.5	
		55	11		5.5
12	940			94.0	
		35	7		3.5
13	975			97.5	
		20	4		2.0
14	995			99.5	
		5	1		0.5
15	1,000			100.0	

Filling Step Table: 3,000 L

		Tank volume	V_T = 3 m^3			
		D = 1.24 m	L = 2.48 m	V_{min} = 616 l	S = 20 l	
Filling Step No.	Filling	Filling step volume	Number of Scale divisions when graduated by volume		Filling	Filling step Volume
	V; Liters	ΔV; Liters			In % of the tank volume	
0	0				0	
		20	1			0.67
1	20				0.67	
		40	2			1.33
2	60				2.00	
		80	4			2.67
3	140				4.67	
		120	6			4.00
4	260				8.67	
		160	8			5.33
5	420				14.00	
		220	11			7.33
6	640				21.33	
		300	15			10.00
7	940				31.33	
		360	18			12.00
8	1,300				43.33	
		400	20			13.33
9	1,700				56.67	
		360	18			12.00
10	2,060				68.67	
		300	15			10.00
11	2,360				78.67	
		220	11			7.33
12	2,580				86.00	
		160	8			5.33
13	2,740				91.33	
		120	6			4.00
14	2,860				95.33	
		80	4			2.67
15	2,940				98.00	
		40	2			1.33
16	2,980				99.33	
		20	1			0.67
17	3,000				100.00	

Filling Step Table: 5,000 L

		Tank volume	V_T = 5 m^3			
		D = 1.59 m	L = 2.52 m	V_{min} = 801 l	S = 20 l	
Filling Step No.	Filling	Filling step volume	Number of Scale divisions when graduated by volume		Filling	Filling step Volume
	V; Liters	ΔV; Liters			In % of the tank volume	
0	0				0	
		20	1			0.4
1	20				0.4	
		60	3			1.2
2	80				1.6	
		100	5			2.0
3	180				3.6	
		160	8			3.2
4	340				6.8	
		220	11			4.4
5	560				11.2	
		280	14			5.6
6	840				16.8	
		380	19			7.6
7	1,220				24.4	
		500	25			10.0
8	1,720				34.4	
		520	26			10.4
9	2,240				44.8	
		520	26			10.4
10	2,760				55.2	
		520	26			10.4
11	3,280				65.6	
		500	25			10.0
12	3,780				75.6	
		380	19			7.6
13	4,160				83.2	
		280	14			5.6
14	4,440				88.8	
		220	11			4.4
15	4,660				93.2	
		160	8			3.2
16	4,820				96.4	
		100	5			2.0
17	4,920				98.4	
		60	3			1.2
18	4,980				99.6	
		20	1			0.4
19	5,000				100.00	

Filling Step Table: 7,000 L

		Tank volume	V_T = 7 m^3		
		D = 1.59 m	L = 3.53 m	V_{min} = 1121 l	S = 20 l
Filling Step No.	Filling	Filling step volume	Number of Scale divisions when graduated by volume	Filling	Filling step Volume
	V; Liters	ΔV; Liters		In % of the tank volume	
0	0			0	
		20	1		0.29
1	20			0.29	
		80	4		1.14
2	100			1.43	
		140	7		2.00
3	240			3.43	
		220	11		3.14
4	460			6.57	
		300	15		4.29
5	760			10.86	
		400	20		5.71
6	1,160			16.57	
		500	25		7.14
7	1,660			23.71	
		680	34		9.71
8	2,340			33.43	
		760	38		10.86
9	3,100			44.29	
		800	40		11.43
10	3,900			55.71	
		760	38		10.86
11	4,660			66.57	
		680	34		9.71
12	5,340			76.29	
		500	25		7.14
13	5,840			83.43	
		400	20		5.71
14	6,240			89.14	
		300	15		4.29
15	6,540			93.43	
		220	11		3.14
16	6,760			96.57	
		140	7		2.00
17	6,900			98.57	
		80	4		1.14
18	6,980			99.71	
		20	1		0.29
19	7,000			100.00	

Filling Step Table: 10,000 L

		Tank volume	V_T = 10 m^3		
		D = 1.59 m	L = 5.04 m	V_{min} = 1602 l	S = 50 l
Filling Step No.	Filling	Filling step volume	Number of Scale divisions when graduated by volume	Filling	Filling step Volume
	V; Liters	ΔV; Liters		In % of the tank volume	
0	0			0	
		50	1		0.5
1	50			0.5	
		150	3		1.5
2	200			2.0	
		250	5		2.5
3	450			4.5	
		350	7		3.5
4	800			8.0	
		450	9		4.5
5	1,250			12.5	
		600	12		6.0
6	1,850			18.5	
		800	16		8.0
7	2,650			26.5	
		1,100	22		11.0
8	3,750			37.5	
		1,250	25		12.5
9	5,000			50.0	
		1,250	25		12.5
10	6,250			62.5	
		1,100	22		11.0
11	7,350			73.5	
		800	16		8.0
12	8,150			81.5	
		600	12		6.0
13	8,750			87.5	
		450	9		4.5
14	9,200			92.0	
		350	7		3.5
15	9,550			95.5	
		250	5		2.5
16	9,800			98.0	
		150	3		1.5
17	9,950			99.5	
		50	1		0.5
18	10,000			100.00	

Filling Step Table: 13,000 L

		Tank volume	V_T = 13 m^3		
		D = 1.59 m	**L** = 6.55 m	V_{min} = 2082 l	**S** ≙ 50 l
Filling Step No.	Filling	Filling step volume	Number of Scale divisions when graduated by volume	Filling	Filling step Volume
	V; Liters	ΔV; Liters		In % of the tank volume	
0	0			0	
		50	1		0.38
1	50			0.38	
		150	3		1.15
2	200			1.54	
		250	5		1.92
3	450			3.46	
		400	8		3.08
4	850			6.54	
		550	11		4.23
5	1.400			10.77	
		700	14		5.38
6	2.100			16.15	
		950	19		7.31
7	3.050			23.46	
		1.250	25		9.62
8	4.300			33.08	
		1.450	29		11.15
9	5.750			44.23	
		1.500	30		11.54
10	7.250			55.77	
		1.450	29		11.15
11	8.700			66.92	
		1.250	25		9.62
12	9.950			76.54	
		950	19		7.31
13	10.900			83.85	
		700	14		5.38
14	11.600			89.23	
		550	11		4.23
15	12.150			93.46	
		400	8		3.08
16	12.550			96.54	
		250	5		1.92
17	12.800			98.46	
		150	3		1.15
18	12.950			99.62	
		50	1		0.38
19	13.000			100.00	

Filling Step Table: 16,000 L

		Tank volume	V_T = 16 m³		
		D = 1.59 m	L = 8.06 m	V_{min} = 2562 l	S = 50 l
Filling Step No.	Filling	Filling step volume	Number of Scale divisions when graduated by volume	Filling	Filling step Volume
	V; Liters	ΔV; Liters		In % of the tank volume	
0	0			0	
		50	1		0.31
1	50			0.31	
		200	4		1.25
2	250			1.56	
		350	7		2.19
3	600			3.75	
		500	10		3.12
4	1,100			6.88	
		700	14		4.38
5	1,800			11.25	
		900	18		5.62
6	2,700			16.88	
		1,200	24		7.50
7	3,900			24.38	
		1,600	32		10.00
8	5,500			34.38	
		1,650	33		10.31
9	7,150			44.69	
		1,700	34		10.62
10	8,850			55.31	
		1,650	33		10.31
11	10,500			65.62	
		1,600	32		10.00
12	12,100			75.62	
		1,200	24		7.50
13	13,300			83.12	
		900	18		5.62
14	14,200			88.75	
		700	14		4.38
15	14,900			93.12	
		500	10		3.12
16	15,400			96.25	
		350	7		2.19
17	15,750			98.44	
		200	4		1.25
18	15,950			99.69	
		50	1		0.31
19	16,000			100.00	

Filling Step Table: 20,000 L

		Tank volume	V_T = 20 m^3			
		D = 1.99 m	L = 6.44 m	V_{min} = 2562 l	S = 50 l	
Filling Step No.	Filling	Filling step volume	Number of Scale divisions when graduated by volume		Filling	Filling step Volume
	V; Liters	ΔV; Liters			In % of the tank volume	
0	0				0	
		50	1			0.25
1	50				0.25	
		200	4			1.00
2	250				1.25	
		350	7			1.75
3	600				3.00	
		500	10			2.50
4	1,100				5.50	
		700	14			3.50
5	1,800				9.00	
		900	18			4.50
6	2,700				13.50	
		1,150	23			5.75
7	3,850				19.25	
		1,450	29			7.25
8	5,300				26.50	
		1,850	37			9.25
9	7,150				35.75	
		1,900	38			9.50
10	9,050				45.25	
		1,900	38			9.50
11	10,950				54.75	
		1,900	38			9.50
12	12,850				64.25	
		1,850	37			9.25
13	14,700				73.50	
		1,450	29			7.25
14	16,150				80.75	
		1,150	23			5.75
15	17,300				86.50	
		900	18			4.50
16	18,200				91.00	
		700	14			3.50
17	18,900				94.50	
		500	10			2.50
18	19,400				97.00	
		350	7			1.75
19	19,750				98.75	
		200	4			1.00
20	19,950				99.75	
		50	1			0.25
21	20,000				100.00	

Filling Step Table: 25,000 L

		Tank volume	V_T = 25 m^3		
		D = 1.99 m	L = 8.05 m	V_{min} = 3202 l	S = 100 l
Filling Step No.	Filling	Filling step volume	Number of Scale divisions when graduated by volume	Filling	Filling step Volume
	V; Liters	ΔV; Liters		In % of the tank volume	
0	0			0	
		100	1		0.4
1	100			0.4	
		200	2		0.8
2	300			1.2	
		400	4		1.6
3	700			2.8	
		600	6		2.4
4	1,300			5.2	
		800	8		3.2
5	2,100			8.4	
		1,100	11		4.4
6	3,200			12.8	
		1,300	13		.5.2
7	4,500			18.0	
		1,700	17		6.8
8	6,200			24.8	
		2,200	22		8.8
9	8,400			33.6	
		2,700	27		10.8
10	11,100			44.4	
		2,800	28		11.2
11	13,900			55.6	
		2,700	27		10.8
12	16,600			66.4	
		2,200	22		8.8
13	18,800			75.2	
		1,700	17		6.8
14	20,500			82.0	
		1,300	13		5.2
15	21,800			87.2	
		1,100	11		4.4
16	22,900			91.6	
		800	8		3.2
17	23,700			94.8	
		600	6		2.4
18	24,300			97.2	
		400	4		1.6
19	24,700			98.8	
		200	2		0.8
20	24,900			99.6	
		100	1		0.4
21	25,000			100.00	

Filling Step Table: 30,000 L

		Tank volume	V_T = 30 m^3		
		D = 1.99 m	L = 9.66 m	V_{min} = 3843 l	S = 100 l
Filling Step No.	Filling	Filling step volume	Number of Scale divisions when graduated by volume	Filling	Filling step Volume
	V; Liters	ΔV; Liters		In % of the tank volume	
0	0			0	
		100	1		0.33
1	100			0.33	
		300	3		1.00
2	400			1.33	
		500	5		1.67
3	900			3.00	
		700	7		2.33
4	1,600			5.33	
		1,000	10		3.33
5	2,600			8.67	
		1,300	13		4.33
6	3,900			13.00	
		1,700	17		5.67
7	5,600			18.67	
		2,100	21		7.00
8	7,700			25.67	
		2,800	28		9.33
9	10,500			35.00	
		3,000	30		10.00
10	13,500			45.00	
		3,000	30		10.00
11	16,500			55.00	
		3,000	30		10.00
12	19,500			65.00	
		2,800	28		9.33
13	22,300			74.33	
		2,100	21		7.00
14	24,400			81.33	
		1,700	17		5.67
15	26,100			87.00	
		1,300	13		4.33
16	27,400			91.33	
		1,000	10		3.33
17	28,400			94.67	
		700	7		2.33
18	29,100			97.00	
		500	5		1.67
19	29,600			98.67	
		300	3		1.00
20	29,900			99.67	
		100	1		0.33
21	30,000			100.00	

Filling Step Table: 40,000 L

		Tank volume	V_T = 40 m^3		
		D = 2.49 m	**L** = 8.24 m	V_{min} = 4097 l	**S** = 100 l
Filling Step No.	Filling	Filling step volume	Number of Scale divisions when graduated by volume	Filling	Filling step Volume
	V; Liters	ΔV; Liters		In % of the tank volume	
0	0			0	
		100	1		0.25
1	100			0.25	
		300	3		0.75
2	400			1.00	
		500	5		1.25
3	900			2.25	
		800	8		2.00
4	17.00			4.25	
		1,100	11		2.75
5	2,800			7.00	
		1,400	14		3.50
6	4,200			10.50	
		1,700	17		4.25
7	5,900			14.75	
		2,100	21		5.25
8	8,000			20.00	
		2,600	26		6.50
9	10,600			26.50	
		3,400	34		8.50
10	14,000			35.00	
		4,000	40		10.00
11	18,000			45.00	
		4,000	40		10.00
12	22,000			55.00	
		4,000	40		10.00
13	26,000			65.00	
		3,400	34		8.50
14	29,400			73.50	
		2,600	26		6.50
15	32,000			80.00	
		2,100	21		5.25
16	34,100			85.25	
		1,700	17		4.25
17	35,800			89.50	
		1,400	14		3.50
18	37,200			93.00	
		1,100	11		2.75
19	38,300			95.75	
		800	8		2.00
20	39,100			97.75	
		500	5		1.25
21	39,600			99.00	
		300	3		0.75
22	39,900			99.75	
		100	1		0.25
23	40,000			100.00	

Filling Step Table: 50,000 L

		Tank volume	V_T = 50 m^3		
		D = 2.49 m	L = 10.30 m	V_{min} = 5122 l	S = 100 l
Filling Step No.	Filling	Filling step volume	Number of Scale divisions when graduated by volume	Filling	Filling step Volume
	V; Liters	ΔV; Liters		In % of the tank volume	
0	0			0	
		100	1		0.2
1	100			0.20	
		400	4		0.8
2	500			1.00	
		700	7		1.4
3	1,200			2.40	
		1,000	10		2.0
4	2,200			4.40	
		1,400	14		2.8
5	3,600			7.20	
		1,700	17		3.4
6	5,300			10.60	
		2,200	22		4.4
7	7,500			15.00	
		2,700	27		5.4
8	10,200			20.40	
		3,300	33		6.6
9	13,500			27.00	
		4,300	43		8.6
10	17,800			35.60	
		4,800	48		9.6
11	22,600			45.20	
		4,800	48		9.6
12	27,400			54.80	
		4,800	48		9.6
13	32,200			64.40	
		4,300	43		8.6
14	36,500			73.00	
		3,300	33		6.6
15	39,800			79.60	
		2,700	27		5.4
16	42,500			85.00	
		2,200	22		4.4
17	44,700			89.40	
		1,700	17		3.4
18	46,400			92.80	
		1,400	14		2.8
19	47,800			95.60	
		1,000	10		2.0
20	48,800			97.60	
		700	7		1.4
21	49,500			99.00	
		400	4		0.8
22	49,900			99.80	
		100	1		0.2
23	50,000			100.00	

Filling Step Table: 60,000 L

		Tank volume	V_T = 60 m^3		
		D = 2.49 m	L = 12.36 m	V_{min} = 6146 l	S = 200 l
Filling Step No.	Filling	Filling step volume	Number of Scale divisions when graduated by volume	Filling	Filling step Volume
	V; Liters	ΔV; Liters		In % of the tank volume	
0	0			0	
		200	1		0.33
1	200			0.33	
		400	2		0.67
2	600			1.00	
		800	4		1.33
3	1,400			2.33	
		1,200	6		2.00
4	2,600			4.33	
		1,600	8		2.67
5	4,200			7.00	
		2,000	10		3.33
6	6,200			10.33	
		2,600	13		4.33
7	8,800			14.67	
		3,200	16		5.33
8	12,000			20.00	
		3,800	19		6.33
9	15,800			26.33	
		5,000	25		8.33
10	20,800			34.67	
		6,000	30		10.00
11	26,800			44.67	
		6,400	32		10.67
12	33,200			55.33	
		6,000	30		10.00
13	39,200			65.33	
		5,000	25		8.33
14	44,200			73.67	
		3,800	19		6.33
15	48,000			80.00	
		3,200	16		5.33
16	51,200			85.33	
		2,600	13		4.33
17	53,800			89.67	
		2,000	10		3.33
18	55,800			93.00	
		1,600	8		2.67
19	57,400			95.67	
		1,200	6		2.00
20	58,600			97.67	
		800	4		1.33
21	59,400			99.00	
		400	2		0.67
22	59,800			99.67	
		200	1		0.33
23	60,000			100.00	

Filling Step Table: 80,000 L

		Tank volume	V_T = 80 m^3			
		D = 2.88 m	L = 12.26 m	V_{min} = 7069 l	S = 200 l	
Filling Step No.	Filling	Filling step volume	Number of Scale divisions when graduated by volume		Filling	Filling step Volume
	V; Liters	ΔV; Liters			In % of the tank volume	
0	0				0	
		200	1			0.25
1	200				0.25	
		600	3			0.75
2	800				1.00	
		1,000	5			1.25
3	1,800				2.25	
		1,400	7			1.75
4	3,200				4.00	
		1,800	9			2.25
5	5,000				6.25	
		2,400	12			3.00
6	7,400				9.25	
		3,000	15			3.75
7	10,400				13.00	
		3,600	18			4.50
8	14,000				17.50	
		4,200	21			5.25
9	18,200				22.75	
		5,400	27			6.75
10	23,600				29.50	
		6,400	32			8.00
11	30,000				37.50	
		6,600	33			8.25
12	36,600				45.75	
		6,800	34			8.50
13	43,400				54.25	
		6,600	33			8.25
14	50,000				62.50	
		6,400	32			8.00
15	56,400				70.50	
		5,400	27			6.75
16	61,800				77.25	
		4,200	21			5.25
17	66,000				82.50	
		3,600	18			4.50
18	69,600				87.00	
		3,000	15			3.75
19	72,600				90.75	
		2,400	12			3.00
20	75,000				93.75	
		1,800	9			2.25
21	76,800				96.00	
		1,400	7			1.75
22	78,200				97.75	
		1,000	5			1.25
23	79,200				99.00	
		600	3			0.75
24	79,800				99.75	
		200	1			0.25
25	80,000				100.00	

Filling Step Table: 100,000 L

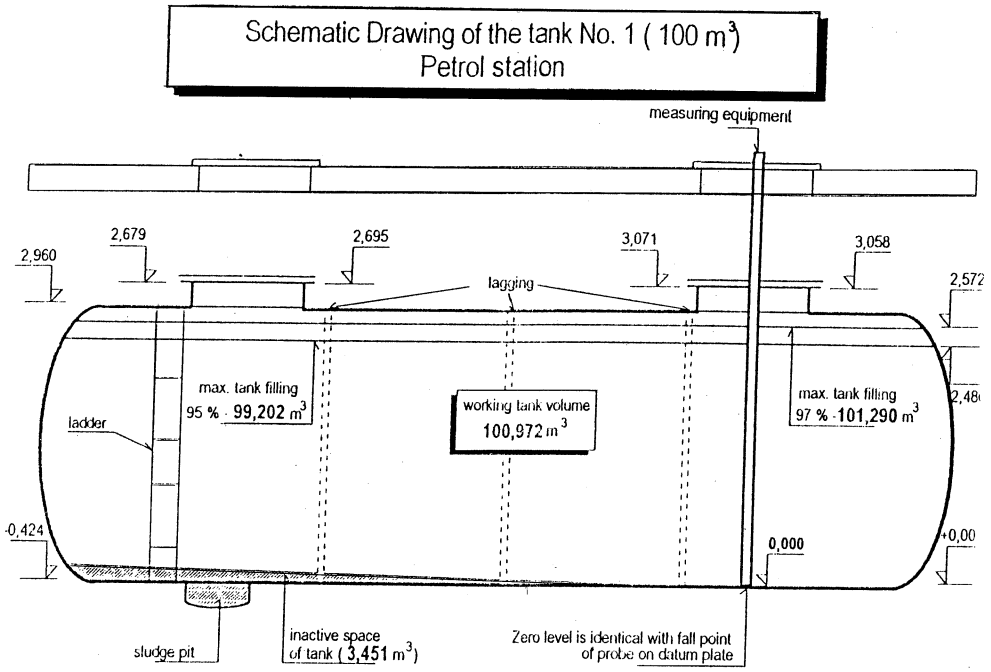
		Tank volume	V_T = 100 m^3		
		D = 2.88 m	L = 15.33 m	V_{min} = 616 l	S = 20 l
Filling Step No.	Filling	Filling step volume	Number of Scale divisions when graduated by volume	Filling	Filling step volume
	V; Liters	ΔV; Liters		In % of the tank volume	
0	0			0	
		200	1		0.2
1	200			0.2	
		600	3		0.6
2	800			0.8	
		1,200	6		1.2
3	2,000			2.0	
		1,600	8		1.6
4	3,600			3.6	
		2,200	11		2.2
5	5,800			5.8	
		2,300	14		2.8
6	8,600			8.6	
		3,400	17		3.4
7	12,000			12.0	
		4,200	21		4.2
8	16,200			16.2	
		5,200	26		5.2
9	21,400			21.4	
		6,400	32		6.4
10	27,800			27.8	
		8,200	41		8.2
11	36,000			36.0	
		9,200	46		9.2
12	45,200			45.2	
		9,600	48		9.6
13	54,800			54.8	
		9,200	46		9.2
14	64,000			64.0	
		8,200	41		8.2
15	72,200			72.2	
		6,400	32		6.4
16	78,600			78.6	
		5,200	26		5.2
17	83,800			83.8	
		4,200	21		4.2
18	88,000			88.0	
		3,400	17		3.4
19	91,400			91.4	
		2,800	14		2.8
20	94,200			94.2	
		2,200	11		2.2
21	96,400			96.4	
		1,600	8		1.6
22	98,000			98.0	
		1,200	6		1.2
23	99,200			99.2	
		600	3		0.6
24	99,800			99.8	
		200	1		0.2
25	100,000			100	

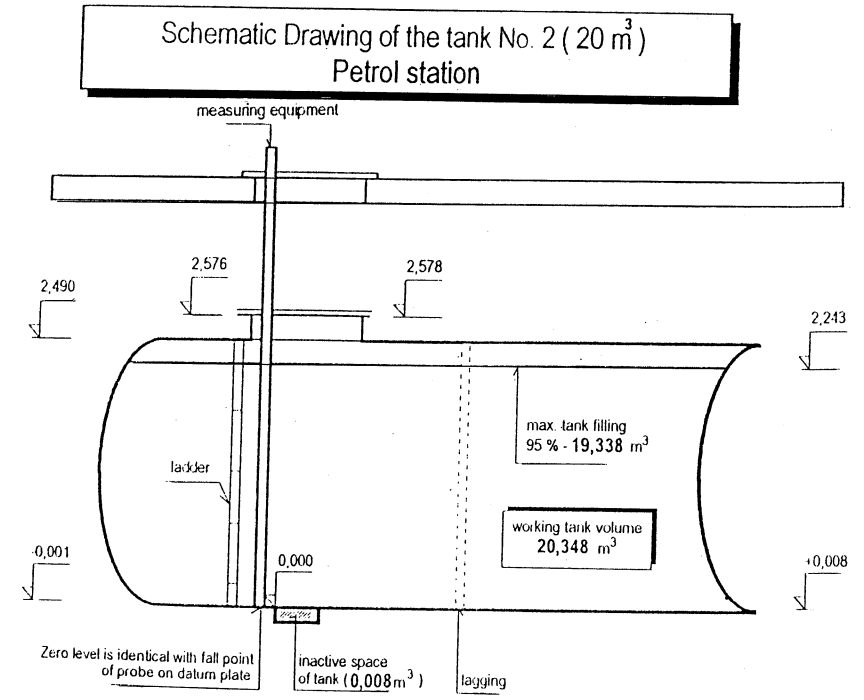
นอกจากนี้หาก ถังบรรจุของเหลวในแนวนอนมีขนาดไม่เป็นไปตามมาตรฐานของ DIN 6608 sheet 1 ที่กำหนดไว้ทั้ง 15 ขนาดก็สามารถใช้ตารางที่ 3.1 เป็นตัวช่วยเตรียม filling tables (ได้รับการปรับปรุงจากถังบรรจุของเหลวในแนวนอนที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน (internal diameter) โดยเฉลี่ยระหว่าง 1.5 เมตร ถึง 2 เมตร หรือปริมาตรประมาณ 5 m^3 – 30 m^3) ***สิ่งต้องพึงระมัดระวังในการดำเนินการเลือก filling step volume ควรเลือกให้มีค่าน้อยกว่าที่กำหนดในตารางที่ 3.1 นั้นคือให้มีจำนวนครั้งของการ filling ให้มากขึ้น เพื่อจะให้มีค่าความสูงที่ติดต่อกันไม่ห่างจนเกินไป***

ตารางที่ 3.1 Filling step และ Number of filling step♣

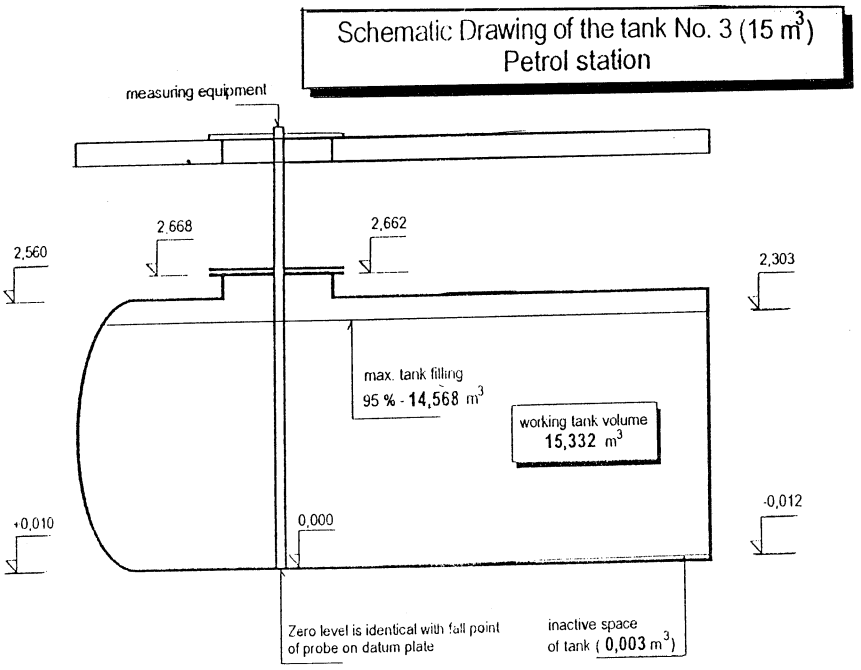
Filling range			Filling step volume	Number of filling steps
			In % of the tank volume	
0	to	1	≤ 0.5	≥ 2
1	to	5	≤ 1	≥ 4
5	to	15	≤ 2	≥ 5
15	to	30	≤ 5	≥ 3
30	to	70	≤ 10	≥ 4
70	to	85	≤ 5	≥ 3
85	to	95	≤ 2	≥ 5
95	to	99	≤ 1	≥ 4
99	to	100	≤ 0.5	≥ 2

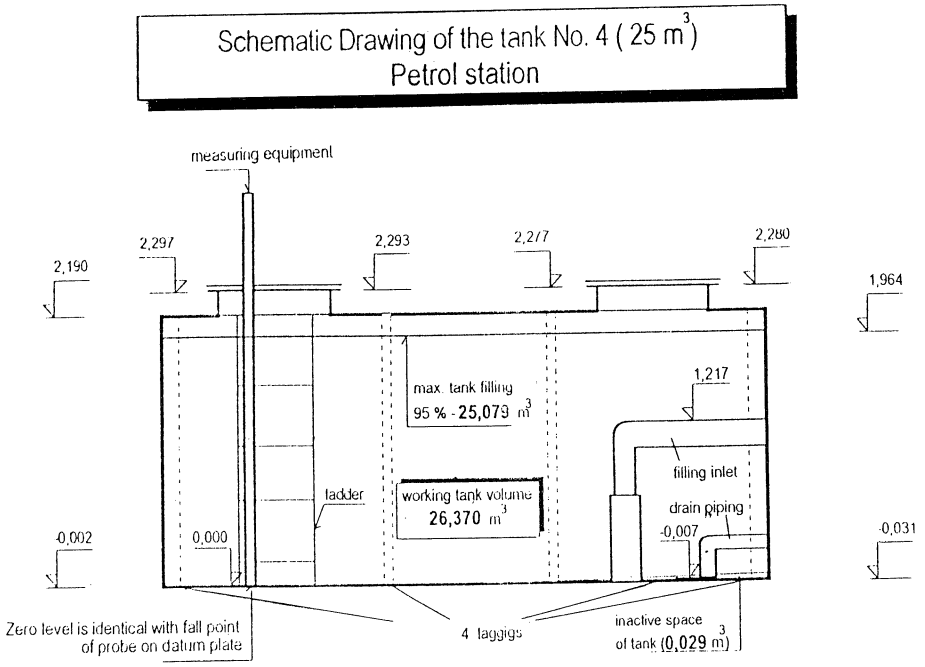
♣ PTB Testing Instructions, storage tanks in the form of horizontal cylinders, Annex 2, 1984



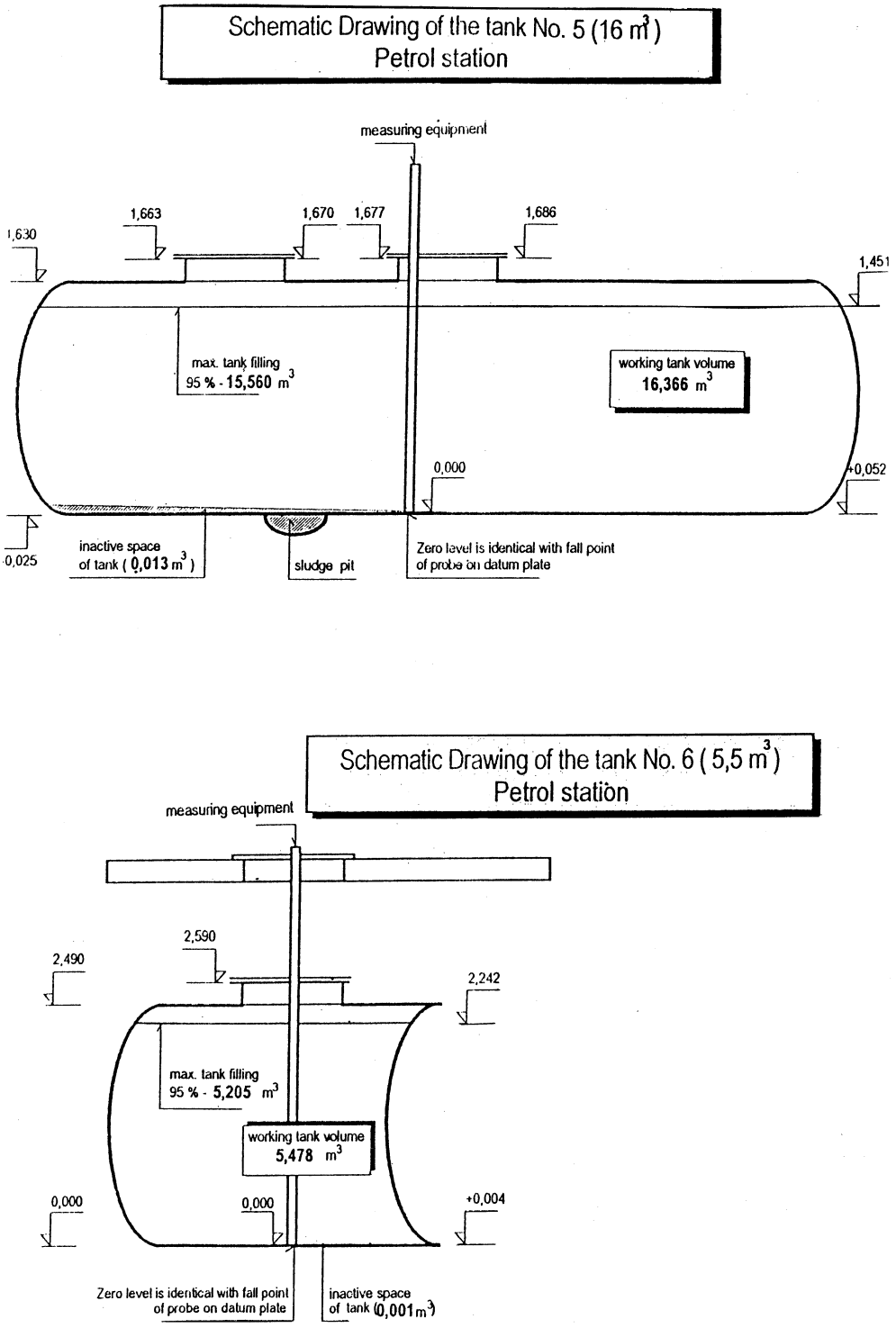


รูปที่ 23 ระยะและระดับของถังบรรจุของเหลวในแนวนอน ซึ่งใช้ติดตั้งในปั๊มน้ำมัน





รูปที่ 23 (ต่อ) ระยะและระดับของถังบรรจุของเหลวในแนวนอน ซึ่งใช้ติดตั้งในปั๊มน้ำมัน



รูปที่ 23 (ต่อ) ระยะและระดับของถังบรรจุของเหลวในแนวนอน ซึ่งใช้ติดตั้งในปั๊มน้ำมัน

บทที่ 4

การคำนวณหาค่าปริมาตรต่ำสุดของการเติมของเหลวของขั้นตอนการเติมของเหลวในแต่ละครั้ง

(Calculation of the minimum value of the filling step the volume)

การจัดทำขั้นตอนการเติมของเหลวแต่ละครั้ง

(Establishment of the filling step schedule)

ขั้นตอนที่ 3. การคำนวณหาค่าปริมาตรต่ำสุดของการเติมของเหลวของขั้นตอนการเติมของเหลวในแต่ละครั้ง (Calculation of the minimum value of the filling step the volume)

โดยหลักการแล้วควรเลือกปริมาตรต่ำสุดของการเติมของเหลวในแต่ละครั้ง (Minimum filling step volume) ให้มีค่าเท่ากับ ค่าขั้นหมายมาตรา (scale interval) หากเป็นขั้นหมายมาตราในรูปของปริมาตร (scale interval of volume graduation) ดังสมการข้างล่าง สำหรับกรณีถังมีขั้นหมายมาตราในรูปของระยะความห่างระหว่างขั้นหมายมาตรา (scale interval of length graduation) เราจำเป็นต้องสมมุติให้ถังมีขั้นหมายมาตราในรูปของปริมาตรโดยคำนวณหาค่าขั้นหมายมาตรา (scale interval)เหมือนเช่นเดียวกับเครื่องวัดระดับความสูงของเหลวแบบที่มีขั้นหมายมาตราในรูปของปริมาตรดังสมการข้างล่างเช่นกัน จากนั้นเลือกค่า Minimum filling step volume ให้เท่ากับหรือน้อยกว่าค่าขั้นหมายมาตรา (S)

$$0.004\ \text{m.} \bullet D \bullet L \leq S\ (m^3) \leq 0.01\ \text{m.} \bullet D \bullet L$$

<u>ตัวอย่าง 4.1</u> ถังบรรจุของเหลวในแนวนอนซึ่งมีปิดหัวปิดท้ายด้วยส่วนของทรงกลม หรือคล้ายกับแคปซูล บน nameplate บ่งบอกว่ามีขนาดพิกัดความจุ (tank volume); V_T เท่ากับ 40 m^3 มีค่าเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน (internal diameter; D) เท่ากับ 2.5 m และความยาวถังเฉลี่ย (mean tank length; L) เท่ากับ 8.25 m จงหาค่า Minimum filling step volume ของ ถังบรรจุของเหลวในแนวนอนซึ่งมีขั้นหมายมาตรในรูปของปริมาตร

$$0.004\ \text{m.} \bullet D \bullet L \leq S \leq 0.01\ \text{m.} \bullet D \bullet L$$
$$0.004\ \text{m.} \bullet 2.5 \bullet 8.25 \leq S \leq 0.01\ \text{m.} \bullet 2.5 \bullet 8.25$$
$$0.0825\ m^3 \leq S \leq 0.2063\ m^3$$

เนื่องจากข้อกำหนดให้ค่าขั้นหมายมาตรา (scale interval) ต้องแสดงค่าในหน่วยเมตริกและแสดงค่าในรูปของ 1×10^k, 2×10^k หรือ 5×10^k โดย k เป็นเลขจำนวนเต็มบวก หรือจำนวนเต็มลบ หรือศูนย์ ดังนั้นในที่นี้เราเลือกค่า (Scale interval) ให้มีค่าเท่ากับ 0.1 m^3 หรือ 100 ลิตร

ดังนั้น Minimum filling step volume เท่ากับ 100 ลิตร

ANS

ขั้นตอนที่ 4. การจัดทำขั้นตอนการเติมของเหลวแต่ละครั้ง (Establishment of the filling step schedule)

การจัดเตรียมขั้นตอนการเติมของเหลวในแต่ละครั้ง (filling step schedule) สำหรับถังที่มีขนาดพิกัดความจุสูงหรือไม่เป็นไปตามขนาดถังมาตรฐานในการสอบเทียบหรือตรวจสอบให้คำรับรองถังบรรจุของเหลวในแนวนอน จำเป็นต้องทำการปรับใช้โดยนำค่าในตารางที่ 3.1 คูณด้วยความจุของถัง (tank volume) ซึ่งหากขนาดถังบรรจุของเหลวในแนวนอนมีขนาดเป็นไปตามขนาดมาตรฐานดังในบทที่ 3 แล้วขั้นตอนนี้ก็ผ่านไปและใช้ค่าที่แสดงไว้ใน บทที่ 3 ไปเลยครับ

ตัวอย่าง 4.2 ถังบรรจุของเหลวในแนวนอนซึ่งมีปิดหัวปิดท้ายด้วยส่วนของทรงกลม หรือคล้ายกับแคปซูล บน nameplate บ่งบอกว่ามีขนาดพิกัดความจุ (tank volume) เท่ากับ 50 m^3 มีค่าเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน (internal diameter, D) เท่ากับ 2.5 m และความยาวถังเฉลี่ย (mean tank length; L) เท่ากับ 10.2 m

ก.) เพื่อที่สามารถทำขั้นหมายมาตราบน Dip-stickโดยให้แสดงเป็นขั้นหมายมาตราในรูปของปริมาตร (scale interval of volume graduation) การกำหนด filling step schedule ต้องเป็นไปตามเงื่อนไข

1) minimum filling step volume ต้องมีค่าเท่ากับ ค่าขั้นหมายมาตรา (scale interval)
2) filling step volume ทั้งหมดต้องเป็นจำนวนเต็มคูณค่าขั้นหมายมาตรา (scale interval)

หาค่า Minimum filling step ให้เท่ากับหรือน้อยกว่าค่าขั้นหมายมาตรา (S)

$$0.004\ \text{m.} \bullet D \bullet L \leq S\ (m^3) \leq 0.01\ \text{m.} \bullet D \bullet L$$

$$0.004\ \text{m.} \bullet 2.5 \bullet 10.2 \leq S\ (m^3) \leq 0.01\ \text{m.} \bullet 2.5 \bullet 10.2$$

$$0.102 \leq S\ (m^3) \leq 0.255$$

เลือกค่าขั้นหมายมาตรา (scale interval; S) มีค่าเท่ากับ 0.2 m^3 หรือ 200 ลิตร

เมื่อพิจารณาตามเงื่อนไขตาม ตารางที่ 3.1 จะได้ว่า filling step schedule

Filling range (Liters)			Filling step volume ≤ Liters
0	to	500	250
500	to	2,500	500
2,500	to	7,500	1,000
7,500	to	15,000	2,500
15,000	to	35,000	5,000
35,000	to	42,500	2,500
42,500	to	47,500	1,000
47,500	to	49,500	500
49,500	to	50,000	250

หากพิจารณาในตารางตัวอย่างพบว่าเนื่องจากค่าขั้นหมายมาตรา (scale interval) ของถังดังกล่าวมีค่าเท่ากับ 200 l ดังนั้นจำเป็นต้องปรับค่า filling step schedule เพื่อให้สอดคล้องเป็นไปตามเงื่อนไขทั้ง 2 ดังข้างบนหากต้องการทำขั้นหมายมาตราบน Dip-stickโดยให้แสดงเป็นขั้นหมายมาตราในรูปของปริมาตร (scale interval of volume graduation) จะได้ filling step schedule

Filling range (Liters)			Filling step voiume ≤ Liters	Number of filling steps
0	to	600	200	3
600	to	3,000	400	6
3,000	to	9,000	1,000	6
9,000	to	15,000	2,000	3
15,000	to	35,000	5,000	4
35,000	to	41,000	2,000	3
41,000	to	47,000	1,000	6
47,000	to	49,400	400	6
49,400	to	50,000	200	3

ข.) หากต้องการทำขั้นหมายมาตราบน Dip-stickโดยให้แสดงเป็นขั้นหมายมาตราในรูปของระยะความห่างระหว่างขั้นหมายมาตรา (scale interval of length graduation) ก็ต้องปรับ filling step schedule แตกต่างไปจากตารางข้างบนโดย

1) ต้องเลือกให้ minimum filling step volume ต้องมีค่าไม่เกินกว่าค่าขั้นหมายมาตรา (scale interval) ซึ่งเท่ากับ 200 ลิตร

จะได้ filling step schedule

Filling range (Liters)			Filling step volume ≤ Liters	Number of filling steps
0	to	1000	200	5
1,000	to	2,500	500	3
2,500	to	7,500	1,000	5
7,500	to	15,000	2,500	3
15,000	to	35,000	5,000	4
35,000	to	42,500	2,500	3
42,500	to	47,500	1,000	5
47,500	to	49,000	500	3
49,000	to	50,000	200	5

การเตรียมแบบมาตราซึ่งเราเลือกได้หลายชนิดไม่ว่าจะเป็น master meter หรือจะเป็น Standard prover tank ในกรณีที่เราเลือก Standard prover tank นั้น filling step volume ต้องกำหนดให้มีค่าที่แน่นอนกล่าวคือ ต้องเลือกใช้ minimum of volume standard sizes ในการดำเนินการ ในที่นี้ก็คือ Standard prover tank พิกัดกำลัง 100 ลิตร หรือ 200 ลิตร

ในกรณี ก.) volume graduation ขนาดของ Standard prover tank จะเป็น
100 ลิตร และ 500 ลิตร หรือ 200 ลิตร และ 1,000 ลิตร
ในกรณี ข.) length graduation ขนาดของ Standard prover tank จะเป็น
100 ลิตร และ 500 ลิตร หรือ 100 ลิตร และ 1,000 ลิตร

หากเลือกถังขนาด 500 ลิตรอาจเลือกให้มีจำนวน 2 ถังเพื่อเป็นการประหยัดเวลาในการดำเนินการ

ANS

ตัวอย่าง 4.3 ถังบรรจุของเหลวในแนวนอนซึ่งมีปิดหัวปิดท้ายด้วยส่วนของทรงกลม หรือคล้ายกับแคปซูล บน nameplate บ่งบอกว่ามีขนาดพิกัดความจุ (tank volume) เท่ากับ 2,700 ลิตร มีค่าเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน (internal diameter; D) เท่ากับ 125.5 ซ.ม. และความยาวถังเฉลี่ย (mean tank length; L) เท่ากับ 178.0 ซ.ม. ให้จัดทำ filling step schedule

ก.) หาค่า V_{min} ของถังมีค่าเท่าใด

$$V_{min} = D \bullet L \bullet h_0$$

จากนิยาม h_0 = 200 mm.
ดังนั้นค่า V_{min}

$$V_{min} = (125.5\ cm.) \bullet (178.0 cm.) \bullet (20\ cm)$$
$$= 446780\ cm^3$$
$$= 446.8\ l.$$

ข.) คำนวณหา ค่าขั้นหมายมาตรา (scale interval) จากการคำนวณดังสมการข้างล่างหากเราทราบค่าเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน (internal diameter; D) และความยาวถังเฉลี่ย (mean tank length; L) ของถังบรรจุของเหลวในแนวนอน เพื่อกำหนดปริมาตรของเหลวก่อนเทใส่หรือปล่อยลงในถังบรรจุของเหลวในแนวนอนในแต่ละครั้งในขั้นตอนแรก

$$0.004\ m. \bullet D \bullet L \leq S\ (m^3) \leq 0.01\ m. \bullet D \bullet L$$
$$0.004\ m. \bullet (1.255\ m.) \bullet (1.78\ m.) \leq S\ (m^3) \leq 0.01\ m. \bullet (1.255\ m.) \bullet (1.78\ m.)$$
$$8.94\ l. \leq S\ (l) \leq 22.34\ l.$$

เลือกค่าขั้นหมายมาตรา (scale interval; S) มีค่าเท่ากับ 0.01 m^3 หรือ 10 ลิตร

ค.) เพื่อให้เป็นมาตรฐานในการปัดเศษส่วนทศนิยมเดียวกัน ให้ใช้ตารางที่ 4.1 Rounding steps in dependence upon the volume ดังข้างล่าง เมื่อปริมาตร (volume) เท่ากับ 2.7 m^3 ก็จะได้ค่า rounding step เท่ากับ 1 ลิตร หรือหากพิจารณาในรูปของ % จะได้เท่ากับ 0.4% to 0.2% ของปริมาตร 2.7 m^3

ตารางที่ 4.1 Rounding steps in dependence upon the volume

Volume (m^3)			To be rounded to an integer multiple of (rounding step) (Liters)	Rounding step in % of the volume (%)
	Up to	0.5	0.1	0.2 or more
more than 0.5	up to	1	0.2	0.4 to 0.2
more than 1	up to	2.5	0.5	0.5 to 0.2
more than 2.5	up to	5	1	0.4 to 0.2
more than 5	up to	10	2	0.4 to 0.2
more than 10	up to	25	5	0.5 to 0.2
more than 25	up to	50	10	0.4 to 0.2
more than 50	up to	100	20	0.4 to 0.2
more than 100	up to	250	50	0.5 to 0.2

ตารางที่ 4.2 **Maximum value of the rounding steps in dependence upon the maximum horizontal cross-section of the tank**

In the case of tanks whose maximum horizontal tank cross-section is (m^2; l/mm)			The rounding step is not, however, smaller than (minimum valve)	Corresponding difference in filling height at maximum tank cross-section (mm.)	For orientation: Correlated tank volumes V_{min}; roughly approximated about (m^3)
0.8	up to	1	0.1	0.12 to 0.1	0.2 to 0.8
more than 1	up to	2	0.2	0.2 to 0.1	0.8 to 2
more than 2	up to	5	0.5	0.25 to 0.1	2 to 6
more than 5	up to	10	1	0.2 to 0.1	6 to 12
more than 10	up to	20	2	0.2 to 0.1	12 to 36
more than 20	up to	50	5	0.25 to 0.1	36 to 140
more than 50			10	0.2 or less	more than 140

ง.) จัดทำ filling step schedule

ตาราง filling step schedule ปรับปรุงจากตารางที่ 3.1

Filling range (%)	**Filling step volume** (**In % of the tank volume**)	**S = 10 l.** ปรับ **filling step volume**	**Number of filling steps**	จำนวนที่เติมปริมาตร (ครั้ง)	ปริมาตร (ลิตร)
0 to 1 (0-27 l)	≤ 0.5% = 13.5 l.	10	≥ 2	3	30
1 to 5 (27-135 l)	≤ 1% = 27 l.	20	≥ 4	6	120
5 to 15 (135-405 l)	≤ 2% = 54 l.	50	≥ 5	6	300
15 to 30 (405-810 l)	≤ 5% = 135 l.	100	≥ 3	5	500
30 to 70 (810-1890 l)	≤ 10% = 270 l.	200	≥ 4	4	800
70 to 85 (1890-2295 l)	≤ 5% = 135 l.	100	≥ 3	5	500
85 to 95 (2295-2565 l)	≤ 2% = 54 l.	50	≥ 5	6	300
95 to 99 (2565-2673 l)	≤ 1% = 27 l.	20	≥ 4	6	120
99 to 100 (2673-2700 l)	≤ 0.5% = 13.5 l.	10	≥ 2	3	30
					2,700 ลิตร

ANS

บทที่ 5

การเตรียมแบบมาตราและอุปกรณ์

(Standards and equipment)

ขั้นตอนที่ 5. การเตรียมแบบมาตราและอุปกรณ์ (Standards and equipment)

โดยปกติแล้วเป็นที่ทราบกันอยู่แล้วว่าในทางด้านชั่งตวงวัดตามข้อกำหนดของกฎหมาย (Legal Metrology) ได้จัดแบ่งลำดับความสำคัญของแบบมาตราออกเป็น 4 ระดับจากต่ำไปสูงได้แก่

ก) Working standards

ข) Reference/Control standards

ค) Secondary standards

ง) National/Primary Standards

ในการเลือกใช้ Working standard ที่เหมาะสมในการสอบเทียบหรือตรวจสอบให้คำรับรองถังบรรจุของเหลวในแนวนอนด้วยวิธีการสอบเทียบเปียก (wet calibration) ในทางปฏิบัติสามารถเลือกได้ 2 แบบมาตราคือ

- Volume Standards เช่น ถังตวงแบบมาตร (Prover tank)
- Metering equipment เช่น มาตรวัดแบบมาตรา (master meters)

ในการเลือกแบบมาตราเพื่อนำไปสอบเทียบหรือตรวจสอบให้คำรับรองเครื่องชั่งตวงวัดด้วยกันโดยหลักการแล้ว ***แบบมาตราต้องมีอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาด (maximum permissible error) เท่ากับหรือน้อยกว่า 1/3 เท่าของอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดของเครื่องชั่งตวงวัดนั้น ๆ*** หลักการดังกล่าวนี้สามารถนำไปใช้ในทางปฏิบัติได้กับเครื่องชั่งตวงวัดซึ่งอยู่ภายใต้ขอบเขตการปฏิบัติงานทางด้านชั่งตวงวัดตามข้อกำหนดของกฎหมาย (Legal Metrology)ได้เสมอ

แต่ในกรณีการสอบเทียบถังบรรจุของเหลวในแนวนอนดังกล่าวนี้ไม่มีการกำหนด อัตราเผื่อเหลือเผื่อขาด (Maximum permissible error) แต่อย่างใด ดังที่กล่าวในบทที่ 1 ดังนั้นการกำหนดปริมาตรหรือการแสดงปริมาตรในรายงานผลการสอบเทียบหรือการตรวจสอบให้คำรับรองถังจึงต้องอาศัยว่าค่า uncertainty ของการหาค่าปริมาตรของถังจะต้องมีค่าน้อยเพียงพอและเป็นที่มั่นใจได้

ดังนั้นในการวัดค่าปริมาตรของเหลวภายในถังด้วยการใช้ค่าตัวเลขจากการอ่านค่าจาก scale, dip-stick, หรือ filling table

☞ สำหรับการตรวจสอบให้คำรับรองชั้นแรกค่า uncertainty ดังกล่าวต้องมีค่าน้อยกว่า 0.5% เมื่อเทียบกับค่าปริมาตร แต่ต้องไม่น้อยกว่า 0.5 % ของ minimum space หรือ smallest measurable volume (V_{min})

☞ สำหรับการตรวจสอบให้คำรับรองชั้นหลังค่า uncertainty ดังกล่าวต้องมีค่าน้อยกว่า 1.0 % เมื่อเทียบกับค่าปริมาตร แต่ต้องไม่น้อยกว่า 1.0 % ของ minimum space หรือ smallest measurable volume (V_{min})

จาก OIML R 71, Fixed Storage Tanks General requirements, OIML, Edition 1985 (E) ได้แนะให้หน่วยงานของรัฐซึ่งรับผิดชอบในทางด้านชั่งตวงวัดตามข้อกำหนดกฎหมาย (Legal metrology) ต้องเป็นผู้กำหนดค่าความไม่แน่นอน (uncertainty) และ การเปลี่ยนแปลงระดับของเหลว Δh อันเนื่องจากการสะสมค่าความไม่แน่นอน (cumulative uncertainties) ของการวัดระดับ 2 ระดับติดกัน พบว่าในส่วนของประเทศสาธารณะรัฐเยอรมันจะเป็นการกำหนดค่าความไม่แน่นอน (uncertainty) กับค่า smallest measurable height (h) โดยกำหนดให้ว่า

สำหรับการตรวจสอบให้คำรับรองชั้นแรกค่า uncertainty ต้องมีค่าน้อยกว่า 0.5% เมื่อเทียบกับค่าปริมาตร แต่ต้องไม่น้อยกว่า 0.5 % ของ minimum space หรือ smallest measurable volume (V_{min}) สำหรับค่า smallest measurable height (h) กำหนดให้เท่ากับ 200 มม.

สำหรับประเทศไทยจะใช้ข้อกำหนดเป็นไปตามดังข้างต้นหรือไม่นั้น จำเป็นต้องพิจารณาถึงความเหมาะสมและความสามารถของผู้ที่เกี่ยวข้อง และปัจจัยอื่นๆด้วยเช่นกัน

5.1 เลือกมาตรวัดแบบมาตรา (Master meter) เป็นแบบมาตรา

5.1.1 ข้อกำหนดทั่วไป (General Requirement) สำหรับการสอบเทียบแบบเปียกที่จะกล่าวต่อไปนี้หากพิจารณาในความสะดวกและความคล่องตัวในทางปฏิบัติ มาตรวัดแบบมาตราเป็นตัวเลือกหนึ่งที่ได้รับความนิยม นอกจากความเที่ยง (accuracy) ของมาตรวัดที่ต้องพิจารณาแล้ว

- โครงสร้างของมาตรวัดก็ต้องพิจารณาด้วยปัจจัยหนึ่งเนื่องจากชิ้นส่วนของมาตรวัดซึ่งทำหน้าที่วัดปริมาณของเหลวที่ไหลผ่านมาตรวัดตลอดจนตัวเรือนของมาตราวัดต้องไม่ได้รับอิทธิพลทั้งจากความดันและอุณหภูมิของเหลวขณะทำการวัด
- *ส่วนแสดงค่า (indicator) ของมาตรวัดควรสามารถแสดงปริมาตรได้ละเอียดอย่างน้อยเท่ากับ 0.5% ของปริมาตรของเหลวภายในถังบรรจุของเหลวในแนวนอนที่มีพื้นที่หน้าตัดมากที่สุดด้วยความสูงของเหลวเท่ากับ 10 มม.*

ตัวอย่าง 5.1 ถังบรรจุของเหลวในแนวนอนซึ่งมีปิดหัวปิดท้ายด้วยส่วนของทรงกลม หรือคล้ายกับแคปซูล บน nameplate บ่งบอกว่ามีขนาดพิกัดความจุ (tank volume); V_T เท่ากับ 7 m^3 มีค่าเส้น

ผ่านศูนย์กลางภายใน (internal diameter; D) เท่ากับ 1.59 m และความยาวถังเฉลี่ย (mean tank length; L) เท่ากับ 3.53 m ควรเลือกใช้มาตรวัดแบบมาตราที่สามารถอ่านละเอียดได้เท่าไร

ส่วนแสดงค่าของมาตรวัดแบบมาตราที่เลือกใช้ควรสามารถแสดงปริมาตรได้ละเอียดได้อย่างน้อย เท่ากับ

0.5% x 1.59 x 3.53 x 0.01 x 1000 = 0.28 ลิตร

เลือกมาตรวัดแบบมาตรที่มีส่วนแสดงค่าได้ละเอียดเท่ากับ 0.1 ลิตร หรือ 0.2 ลิตร

ANS

- ขั้นหมายมาตราของส่วนแสดงค่าที่มีค่าน้อยที่สุด ที่หมุนไปได้ 1 รอบ, และ ส่วนแสดงค่า (indicator) ของมาตรวัดควรสามารถแสดงปริมาตรได้ละเอียดอย่างน้อยเท่ากับ 0.5% ของปริมาตรของเหลวภายในถังบรรจุของเหลวในแนวนอนที่มีพื้นที่หน้าตัดมากที่สุดด้วยความสูงของเหลวเท่ากับ 10 มม. ก่อนต่อเมื่อ

0.5% ของปริมาตรของเหลวภายในถังบรรจุของเหลวในแนวนอนที่มีพื้นที่หน้าตัดมากที่สุดด้วยความสูงของเหลวเท่ากับ 10 มม.

= *2 mm length หรือ*

= *1/5 ของค่าขั้นหมายมาตรา (scale interval) ของส่วนแสดงค่าของมาตรวัด*

- หากสมมุติให้ขั้นหมายมาตราของส่วนแสดงค่าที่มีค่าน้อยที่สุดเมื่อหมุนไปได้ครบ 1 รอบ ภายใน 1 รอบสมมุติแบ่งให้มี 100 ค่าขั้นหมายมาตรา (scale interval) เราพอจัดแบ่งมาตรวัดแบบมาตราที่เหมาะสมได้ 2 กลุ่ม และเป็นไปตามเงื่อนไขดังข้างบนที่กล่าว

ตารางที่ 5.1 ค่าขั้นหมายมาตรา (scale interval) ของมาตรวัดแบบมาตรา

Tank Volume	Value of one revolution	Scale interval
7 m^3 or less	10 liters	0.1 liter
7 m^3 or more	100 liters	1 liter

เราสามารถเลือกมาตรวัดแบบมาตรา Class 0.5 , OIML R117 เป็นแบบมาตราในการสอบเทียบถังบรรจุของเหลวในแนวนอนเป็นเงื่อนไขที่ดีมาก โดยปกติจะเลือก*มาตรวัดชนิด oval gear meter หรือ rotary piston meter* ในปัจจุบันมาตรวัดชนิด magnetic flow meter ก็เริ่มได้รับความนิยมเพิ่มมากขึ้นเช่นกัน แต่จากประสบการณ์ของประเทศที่ได้ปฏิบัติงานทางด้านการสอบเทียบ ถังบรรจุของเหลวในแนวนอนยอมรับว่า มาตรวัดชนิด oval gear meter เป็นมาตรวัดที่ให้ผลความเที่ยงสูงและผลการวัดที่มีเสถียรภาพมากในช่วงระยะอายุเวลาการใช้งานที่นานพอสมควร

5.1.2 ค่าความผิดพลาดของมาตรวัด (Meter Error) เป็นไปตามที่กำหนดเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาตรที่ทำการวัด โดยคิดเป็นค่าเปอร์เซนต์ของปริมาตร ในที่นี้สำหรับมาตรวัดแบบมาตรา Class 0.5 , OIML R117 ต้องมีค่าความผิดพลาด (meter error) ต่ำกว่าหรือเท่ากับ ± 0.5%

(1) อัตราเผื่อเหลือเผื่อขาด สำหรับมาตรวัดแบบมาตรา Class 0.5 , OIML R117 ครอบคลุมทั้งระบบมาตรวัดแบบมาตราซึ่ง จะรวมถึงอุปกรณ์ เช่น strainer, gas separator หรือ gas eliminator เป็นต้น ดังในรูปที่ 26

ตารางที่ 5.2 อัตราเผื่อเหลือเผื่อขาด สำหรับมาตรวัดแบบมาตรา Class 0.5 , OIML R117

ปริมาณที่ทดสอบ V (ลิตร)	อัตราเผื่อเหลือเผื่อขาด (Class 0.5 , OIML R117)
0.02 ถึง 0.1	± 2 มล.
0.1 ถึง 0.2	± 0.02 V
0.2 ถึง 0.4	± 4 มล.
0.4 ถึง 1	± 0.01 V
1 ถึง 2	± 10 มล.
ตั้งแต่ 2	± 0.005 V

(2) อัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดสำหรับมาตรวัดที่ยังไม่ได้ติดตั้งเข้าระบบการวัดปริมาตรของเหลว กำหนดให้เป็นครึ่งหนึ่งของอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาด ตาม (1) แต่ต้องไม่ต่ำกว่า 0.3% ของปริมาตรที่ทดสอบ

(3) อัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดสำหรับปริมาตรของเหลวน้อยสุดที่วัดได้ (คือปริมาณน้อยที่สุดที่ระบบการวัดปริมาณของเหลวสามารถวัดได้อย่างถูกต้อง) เป็นสองเท่าของอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดตาม (1) สำหรับมาตรวัดที่ได้ติดตั้งเข้าระบบการวัดปริมาตรของเหลว และ เป็นสองเท่าของอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดตาม (2) สำหรับมาตรวัดที่ยังไม่ได้ติดตั้งเข้าระบบการวัดปริมาตรของเหลว

(4) อัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดสำหรับทุกกรณีต้องไม่น้อยกว่าอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดสำหรับปริมาตรของเหลวน้อยสุดที่วัดได้

(5) ผลผิดของมาตรวัดที่ผิดในทิศทางเดียวกันทุกกรณีต้องไม่เกินกว่าครึ่งหนึ่งของอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดที่กำหนดให้

(6) ช่วงผลผิดของระบบการวัดปริมาตรของเหลว ต้องไม่เกินครึ่งหนึ่งของช่วงอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาด

(7) อัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดอาจจะกำหนดให้น้อยกว่านี้ก็ได้ ถ้าการทดสอบความถูกต้องของมาตรวัดด้วยของเหลวคนละชนิดกับของเหลวที่จะใช้กับมาตรวัดนี้ โดยให้สำนักงานกลางเป็นผู้กำหนด

(8) ผลการวัดปริมาตรของเหลวของมาตรวัดที่ปริมาตรมากว่าหรือเท่ากับ 5 เท่าของปริมาตรวัดได้น้อยที่สุด มาตรวัดต้องมีค่าผลผิดของความสามารถในการทำซ้ำได้ (repeatability error) ไม่มากกว่า 2 ใน 5 เท่าของค่าอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาด

(9) อัตราเผื่อเหลือเผื่อขาด (Maximum permissible error) สำหรับส่วนแปลงค่า (Conversion device) เมื่อตรวจสอบการทำงานส่วนแปลงค่าซึ่งทำหน้าที่แปลงค่าปริมาตรวัดได้ ณ สภาวะขณะวัด (Metering conditions) ไปยังค่าปริมาตรที่สภาวะพื้นฐาน (Base condition) ถูกตรวจสอบให้คำรับรองแยกออกจากวิธีการตรวจสอบระบบการวัดปริมาตรของเหลว อัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดของการแสดงค่าหลังจากแปลงค่าอนุญาตให้ผิดฝ่ายมากและผิดฝ่ายน้อยเท่ากับ 0.5อัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดตาม (1) แต่ต้องไม่น้อยกว่าค่าที่มากที่สุดระหว่าง 2 ค่าดังนี้

ก.) ครึ่งหนึ่งของค่าขั้นหมายมาตราของส่วนแสดงค่าสำหรับค่าปริมาตรที่แปลงค่า

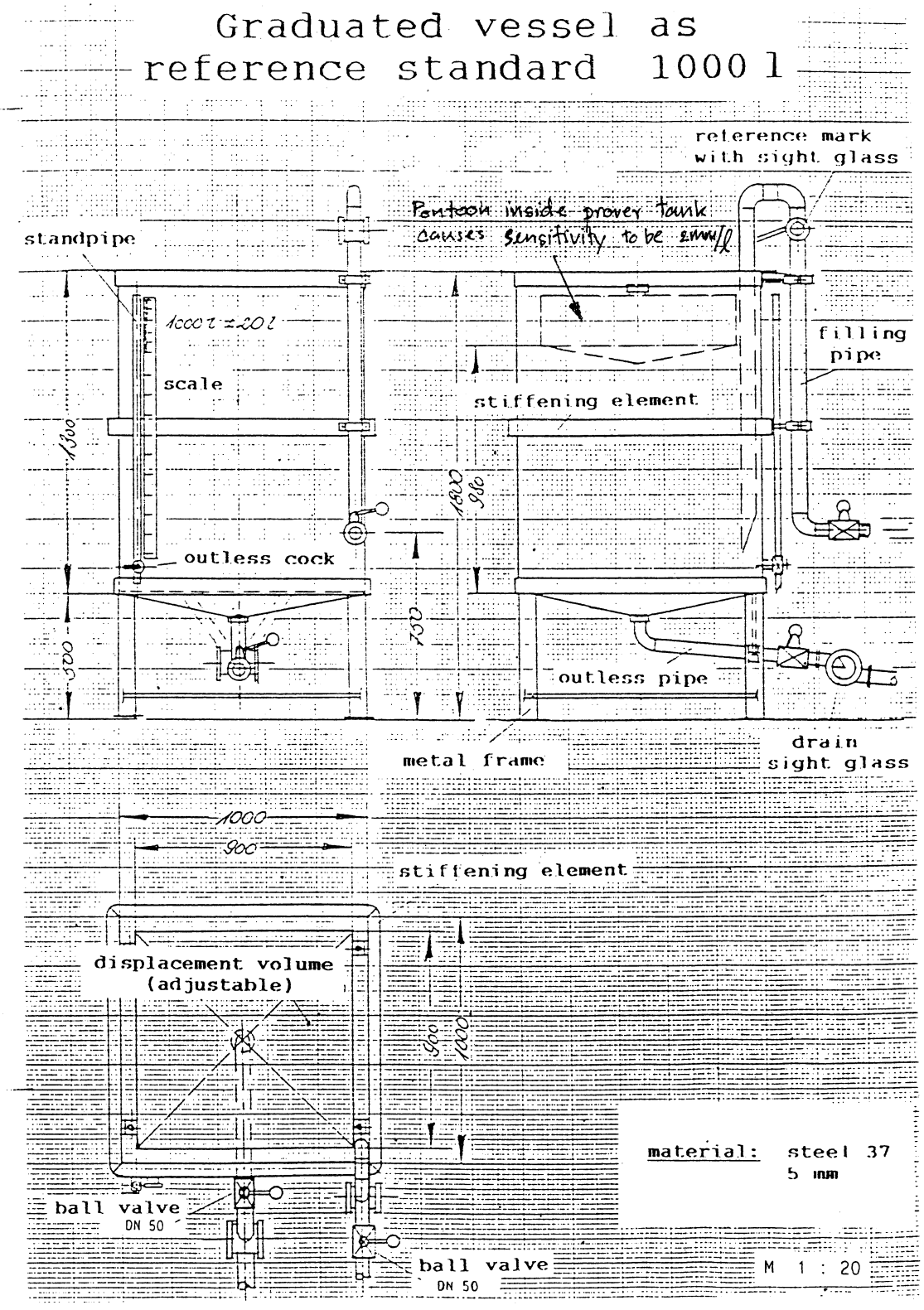
ข.) ครึ่งหนึ่งของค่าสมบูรณ์ของอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดของปริมาตรน้อยสุดที่วัดได้ (Minimum Measured Quantity)โดยระบบการวัดปริมาตรของเหลว

รายละเอียดมากกว่านี้ให้ไปศึกษาเพิ่มเติมใน OIML R117

5.1.3 การสอบเทียบมาตรวัดแบบมาตราด้วยถังตวงแบบมาตรา ข้อพิจารณาต่อไปก็คือก่อนนำมาตรวัดแบบมาตราไปใช้จำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องทำการสอบเทียบมาตรวัดแบบมาตราซึ่งในที่นี้ถือเป็น Working standards สอบเทียบกับ Reference/Control standards ซึ่งในที่นี้เราเลือกถังตวงแบบมาตรา ดังแสดงในรูปที่ 24 และ 25 ในการสอบเทียบมาตรวัดด้วยถังตวงแบบมาตรา สิ่งที่ต้องคำนึงได้แก่

(1) **ขนาดต่ำสุดของถังตวงแบบมาตราที่ใช้ในการสอบเทียบ**ควรมีขนาดเท่ากับปริมาตรการส่งจ่ายโดยมาตรวัดดังกล่าวภายใต้ระยะเวลาการสอบเทียบอย่างน้อยเป็นเวลา 1 นาที ที่อัตราการไหลทำงาน (normal full flow) หรือที่อัตราการไหลที่เราต้องการนำไปใช้งานจริง

(2) **ขีดขั้นหมายมาตราละเอียดต่ำสุด (discrimination)** ของถังตวงแบบมาตรา การเลือกใช้ขนาดและความแม่นยำของถังตวงแบบมาตราจึงมีความจำเป็นและสำคัญ ในการพิจารณาอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดของเครื่องตวงแบบมาตราจึงกำหนดไว้ว่า ***"ขนาดของถังตวงแบบมาตราที่ใช้สำหรับตรวจสอบให้คำรับรองมาตรวัดปริมาตรของเหลวนั้นที่พิกัดความจุของถังตวงแบบมาตราต้องมีอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดมีค่าไม่เกิน ±1/5 เท่าของอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดของมาตรวัดปริมาตรของเหลวที่ปริมาตรทดสอบหรือปริมาตรของถังตวงที่ต้องการทดสอบนั้น"*** แต่ทั้งนี้ปริมาตรที่ทดสอบนั้นต้องมีค่ามากกว่าปริมาตรน้อยที่สุดที่วัดได้ (Minimum Measured Quantity of Measuring System) แต่อย่างไรก็ตามเราอาจเลือกให้ถังตวงแบบมาตรามีค่าอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดน้อยกว่า ±1/5 เท่า เช่น มีค่าเท่ากับ ±1/10 เท่าของอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดของมาตรวัดปริมาตรของเหลวที่ปริมาตรทดสอบหรือปริมาตรของถังตวงที่ต้องการทดสอบก็สามารถกระทำได้แต่อย่างไรก็ตามก็ต้องคำนึงถึงค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นอีกทั้งต้องระลึกว่าเป็นการกระทำเกินความจำเป็นหรือไม่



รูปที่ 24 ถังตวงแบบมาตราขนาด 1,000 ลิตรใช้ตรวจสอบมาตรวัดแบบมาตรา

(3) ***เส้นผ่านศูนย์กลางคอถังตวงแบบมาตรา (The neck diameter of Prover Tank)*** เส้นผ่านศูนย์กลางคอถังตวงแบบมาตราต้องกว้างเพียงพอ ไม่ก่อให้เกิดปัญหาของการล็อกของของเหลวหรืออากาศ (Vapor Lock) ขณะใส่ของเหลวลงไปหรือถ่ายของเหลวออกอีกทั้งต้องมีขนาดเพียงพอสำหรับการทำความสะอาดและตรวจสอบภายในถังตวงแบบมาตราได้ แต่ขณะเดียวกันขนาดของคอถังตวงแบบมาตราก็ต้องมีขนาดเล็กเพียงพอต่อการวัดปริมาตรด้วยความเที่ยงตรงตามอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดที่กำหนด อีกทั้งมีความไวและตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาตรของเหลวภายในถังตวงแบบมาตราได้รวดเร็วและง่ายต่อการอ่านค่าปริมาตรภายในถังตวงแบบมาตรา ในแง่ของการติดตั้งถังตวงแบบมาตราให้ได้ระดับก็จำเป็นต้องให้ความสนใจเช่นกัน เนื่องจากหากคอถังใหญ่เกินไปผลผิดของการอ่านค่าเนื่องจากอิทธิพลของความลาดเอียงของการติดตั้งถังตวงแบบมาตราก็มีผลมากกว่าถังตวงแบบมาตราที่มีคอถังขนาดเล็กกว่า ดังนั้นอาจพอกำหนดได้ว่า *"ความแตกต่างของระดับของเหลวภายในคอเครื่องตวงแบบมาตราอย่างน้อยที่สุด 3 มม. จะต้องมีค่าเท่ากับค่าสมบูรณ์ของอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดของถังตวงแบบมาตราที่พิกัดนั้นๆ"* ก็สามารถกระทำได้

แต่เนื่องจากการกำหนดขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางคอถังตวงแบบมาตราเป็นเรื่องที่มีความยืดหยุ่นเพื่อความเหมาะสมกับการใช้งานในภาคสนาม ดังนั้นเส้นผ่านศูนย์กลางคอถังตวงแบบมาตราพอกำหนดให้มีขนาดได้ในช่วงกว้างช่วงหนึ่งดังนี้คือ

$$\frac{5\text{mm.}}{\text{MPE.}} \leq \frac{\Delta h}{\text{MPE.}} \leq \frac{30\text{mm.}}{\text{MPE.}}$$

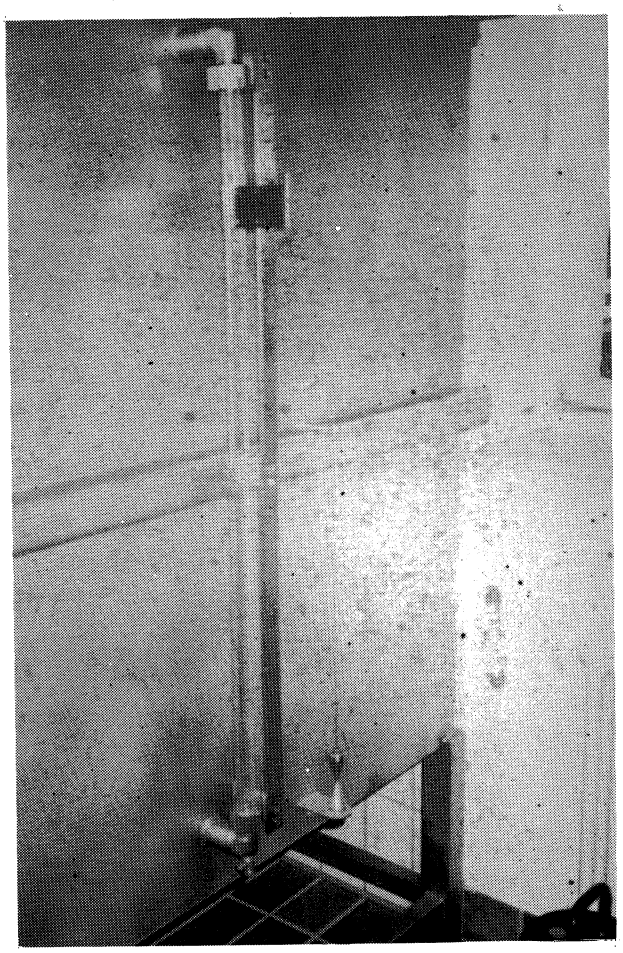
เมื่อ

Δh = ความแตกต่างของระดับของเหลวภายในคอถังตวงแบบมาตรา (mm.)

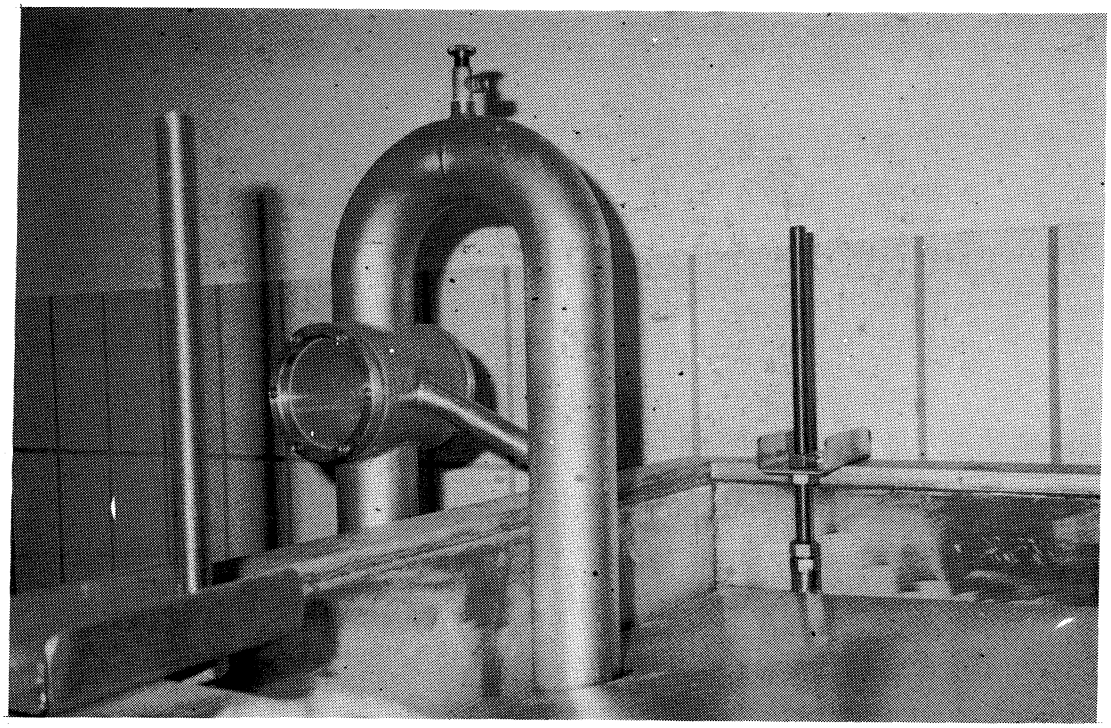
MPE. = อัตราเผื่อเหลือเผื่อขาด (Maximum Permissible Errors)

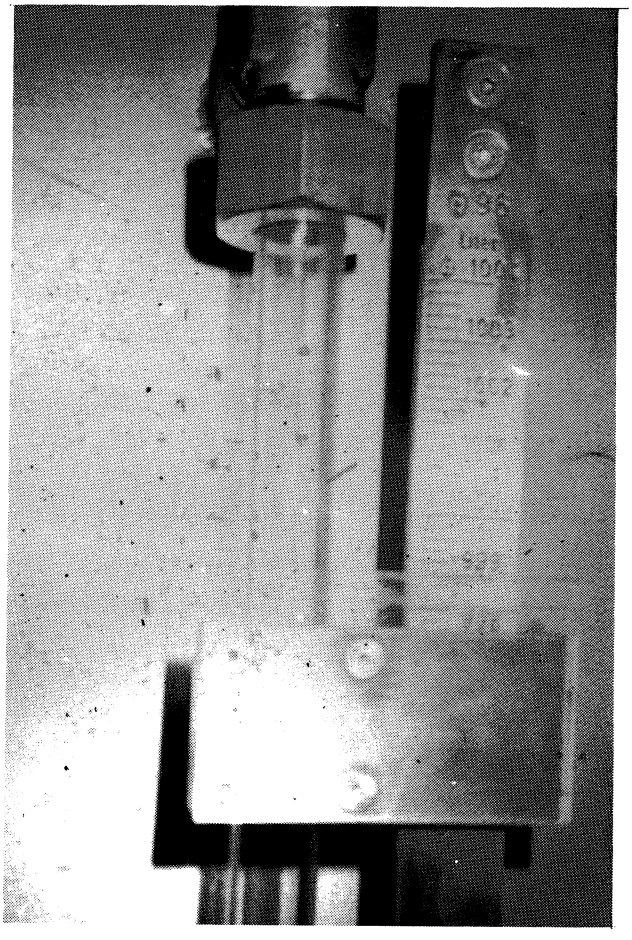
(4) ***แผ่นแสดงขั้นหมายมาตรา (Scale Plate)*** แผ่นแสดงขั้นหมายมาตราสำหรับคอถังตวงแบบมาตราชนิดอยู่ด้านบน (top neck) ของตัวถังตวงแบบมาตราควรสามารถแสดงพิกัดกำลังของถังตวงแบบมาตราและแสดงปริมาตรอย่างน้อยประมาณ ±1% ของพิกัดความจุของถังตวงแบบมาตราบนแผ่นแสดงขั้นหมายมาตรา สำหรับคอถังตวงแบบมาตราชนิดอยู่ด้านล่าง (bottom neck) ของถังตวงแบบมาตราขนาดใหญ่ควรสามารถแสดงพิกัดความจุของถังตวงแบบมาตราและแสดงปริมาตรอย่างน้อยประมาณ ±0.5% ของพิกัดกำลังของถังตวงแบบมาตราบนแผ่นแสดงขั้นหมายมาตรา

หรืออาจจะพิจารณาให้แผ่นแสดงขั้นหมายมาตราสำหรับคอถังตวงแบบมาตราชนิดอยู่ด้านบน (top neck) ต้องแสดงพิกัดความจุของถังตวงแบบมาตราและแสดงปริมาตรอย่างน้อยจาก 5 ถึง 30 เท่าของอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดของพิกัดความจุของถังตวงแบบมาตราบนแผ่นแสดงขั้นหมายมาตราก็สามารถกระทำได้

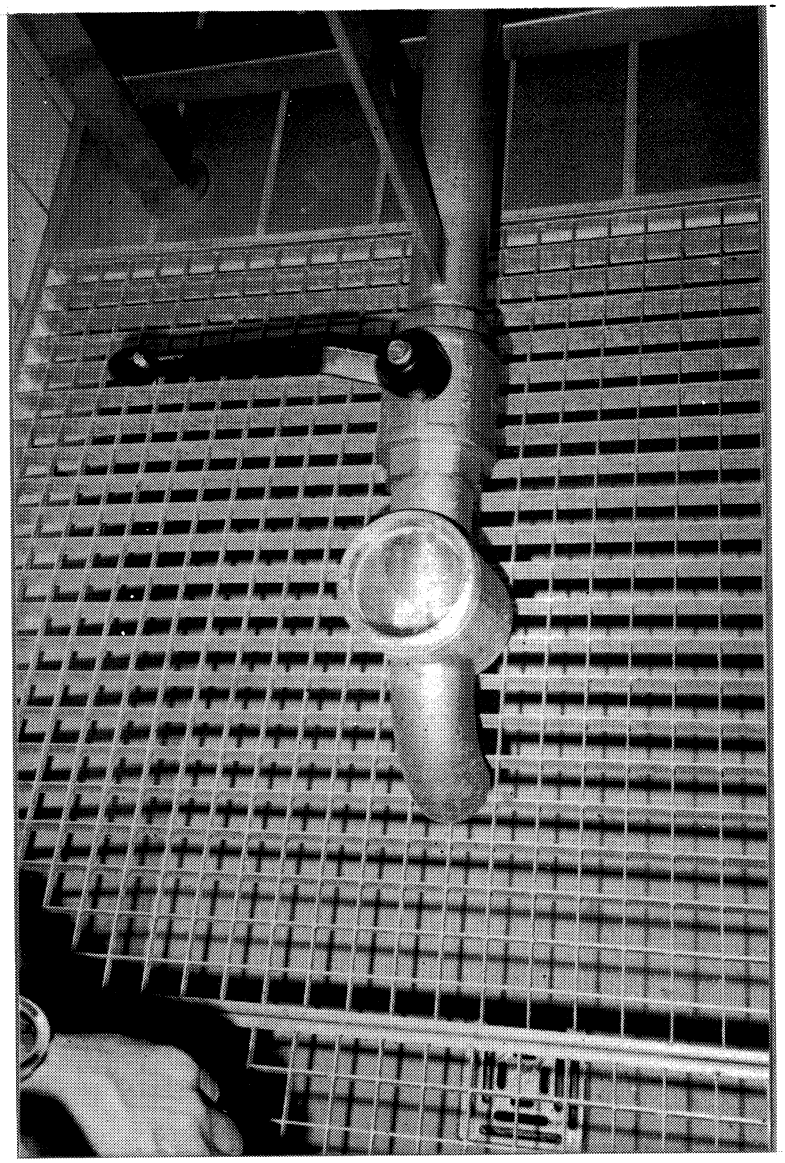


รูปที่ 25 ภาพถ่ายถังตวงแบบ
มาตราขนาด 1,000 ลิตร





รูปที่ 25 (ต่อ) ภาพถ่ายถังตวงแบบมาตราขนาด 1,000 ลิตร



รูปที่ 25 (ต่อ) ภาพถ่ายถังตวงแบบมาตราขนาด 1,000 ลิตร

ตัวอย่าง 5.2 ถังตวงแบบมาตราขนาดพิกัดความจุ 10 ลิตรใช้ตรวจสอบให้คำรับรองมาตรวัดปริมาตรของเหลวชั้นความเที่ยง 0.5 ซึ่งมีอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดเท่ากับ 0.3% ในกรณีที่ยังไม่ถูกติดตั้งเข้าระบบการวัดปริมาตร แผ่นแสดงชั้นหมายมาตราชนิดอยู่ด้านบนถังตวงแบบมาตราควรสามารถแสดงได้กี่มิลลิลิตร

พิจารณาจากอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดของถังตวงแบบมาตราขนาดพิกัดความจุ 10 ลิตรมีค่าเท่ากับ $0.3\% \times (1/5) = 0.06\%$ หรือ $0.06\% \times 10$ ลิตร = 6 ml.

เมื่อเลือกเงื่อนไขของการแสดงปริมาตรของแผ่นแสดงขั้นหมายมาตรามีค่าเท่ากับ 12 เท่าของอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดของพิกัดความจุของถังตวงแบบมาตรา แผ่นแสดงขั้นหมายมาตราสำหรับคอเครื่องตวงแบบมาตราอยู่ด้านบน (top neck) ต้องแสดงพิกัดความจุของถังตวงแบบมาตราและแสดงปริมาตรอย่างน้อยเท่ากับ

$$12 \times 6 \text{ ml} = \pm 72 \text{ ml}$$

นั้นคือ แผ่นแสดงขั้นหมายมาตราสำหรับคอถังตวงแบบมาตราต้องแสดงขั้นหมายมาตราด้วยปริมาตร 72 ml เหนือและใต้ขีดแสดงพิกัดความจุถังตวงแบบมาตราที่มีค่าเท่ากับ 10 ลิตร

ANS

(5) **ความหนืด (Viscosity)** โดยปกติแล้วการใช้ถังตวงแบบมาตราในการสอบเทียบเหมาะกับผลิตภัณฑ์ที่มีความหนืดในช่วงระหว่าง 0-5 cSt แต่ถ้าหากสูงกว่า 5 cSt แล้วของเหลวนั้นมีความคงรูปในตัวเองสูง จึงมักตกค้างอยู่ภายในถังตวงแบบมาตราส่งผลให้การระบายของเหลวดังกล่าวออกให้หมดจากถังตวงแบบมาตรากระทำได้ยาก เมื่อถังตวงแบบมาตรามีของเหลวตกค้างสะสมอยู่ยิ่งทำให้เกิดผลผิดในการตรวจสอบให้คำรับรองเพิ่มสูงมากขึ้น ดังนั้นในกรณีที่ของเหลวมีค่าความหนืดสูงกว่า 5 cSt ควรใช้มาตรวัดมาตรฐาน (master meter) ซึ่งได้รับการสอบเทียบมาแล้วก่อนหน้านี้กับ ท่อสอบเทียบ (pipe prover) หรือถังตวงแบบมาตราชั้นความเที่ยงสูงกว่า working standard ทั้งนี้เพราะมาตรวัดมาตรฐาน (master meter) ส่วนใหญ่ได้รับผลกระทบต่อผลของความหนืดของเหลวน้อยมาก แต่ในที่นี้เราใช้น้ำสะอาดเป็นตัวกลางสอบเทียบมาตรวัดด้วยถังตวงแบบมาตรา ดังนั้นปัจจัยเรื่องความหนืดจึงหมดไป

(6) **อุณหภูมิ (Temperature)** สำหรับถังตวงแบบมาตราซึ่งไม่มีฉนวนหุ้ม ช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมกับการใช้งานคือ 0-50 °C หรือ 32-122 °F แต่ทั้งนี้และทั้งนั้นต้องคำนึงถึงอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมด้วยเช่นกัน ดังนั้นหากพบว่าในการใช้ถังตวงแบบมาตราซึ่งไม่มีฉนวนหุ้มเพื่อทำการสอบเทียบมาตรวัดซึ่งวัดผลิตภัณฑ์ที่มีอุณหภูมิต่างกับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมเกินกว่า 10 °C (18 °F) ก็ให้หยุดดำเนินการสอบเทียบทันที ดังนั้นในทางปฏิบัติวิธีที่ดีที่สุดก็คือในขณะทำการสอบเทียบมาตรวัดต้องรักษาให้การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของผลต่างระหว่างอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมกับของเหลวที่ใช้เป็นตัวกลางทดสอบให้น้อยมากที่สุดเท่าที่กระทำได้

(7) **อัตราการไหล** ในทางทฤษฎีไม่มีขีดจำกัดเกี่ยวกับอัตราการไหล แต่ในทางปฏิบัติมีข้อจำกัดไว้ที่อัตราการไหลประมาณ 300 $ม^3$/ชม. หรือประมาณ 2,000 บาร์เรลต่อชั่วโมง ดังนั้นถังตวงแบบมาตราที่เป็นไปตามข้อกำหนด API/IP จะถูกกำหนดให้มีปริมาตรของถังตวงแบบมาตราสำหรับการสอบเทียบมาตรวัดขนาดไม่น้อยกว่าปริมาณการส่งจ่ายของมาตรวัดจ่ายผ่านมาตรวัดในเวลาหนึ่งนาที เพราะฉะนั้นสำหรับอัตราการไหล 300 $ม^3$/ชม. ขนาดเล็กสุดของถังตวงแบบมาตราจะเท่ากับ 5 $ม^3$ (30 อเมริกาบาร์เรล) ซึ่งมีปัญหาในทางปฏิบัติที่ต้องเคลื่อนย้ายถังตวงแบบมาตราซึ่งมีขนาดใหญ่ๆ รวมถึงการติดตั้งและการดูแลรักษาถังตวงแบบมาตราดังกล่าว การเลือกใช้มาตรวัดมาตรฐาน (master meter) ที่มีชั้นความเที่ยงสูงกว่ามาสอบเทียบมาตรวัดด้วยกัน ที่อัตราการไหลมากกว่า 300 $ม^3$/ชม. จึงเป็นตัวเลือกที่น่าพิจารณามากทางหนึ่ง

(8) **ความดัน** จะเห็นได้ว่าถังตวงแบบมาตราส่วนใหญ่จะเป็นระบบเปิดนั้นคือถังตวงแบบมาตราจะมีฝาเปิด ของเหลวภายในถังสัมผัสโดยตรงกับความดันบรรยากาศ แต่ถ้าหากมีฝาปิดก็เป็นเพียงฝาปิดป้องกันสิ่งสกปรกตกหล่นลงในถังตวงแบบมาตราเท่านั้น ถังตวงแบบมาตรา

จึงใช้สำหรับการวัดปริมาตรที่ความดันบรรยากาศ ดังนั้นไม่ว่าภายในมาตรวัดจะมีความดันเท่าไร หลังจากผ่านมาตรวัดดังกล่าวแล้วของเหลวก็จะถูกวัดที่ความดันบรรยากาศ ด้วยเหตุนี้การใช้ตัวแปรแก้ไขค่าปริมาณเพื่อใช้แก้ไขความดันจึงต้องกระทำด้วยความเหมาะสม

(9) ชนิดผลิตภัณฑ์ โดยปกติถังตวงแบบมาตราถูกจำกัดให้ใช้กับผลิตภัณฑ์น้ำมันตามเงื่อนไขของความหนืดดังที่ได้กล่าวมาแล้วอีกทั้งยังสามารถใช้กับน้ำได้ด้วย เมื่อพบว่าผลิตภัณฑ์ที่ใช้ไม่เหมาะสม เป็นของเหลวที่ใช้ในการทดสอบทำปฏิกิริยากับตัวถังตวงแบบมาตรา เป็นต้น การเลือกใช้แบบมาตราชนิดอื่นๆ ที่เหมาะสมควรได้รับการพิจารณาใช้แทนถังตวงแบบมาตราต่อไป

(10) อากาศและไอ มาตรวัดซึ่งทำการวัดของเหลวที่ไหลผ่านมาตรวัดเป็นค่าปริมาตรแต่ค่าปริมาตรดังกล่าวไม่สามารถบอกได้ว่าเป็นปริมาตรของของเหลว หรือปริมาตรของอากาศหรือไอ ดังนั้นจำเป็นต้องมีระบบสำหรับทำหน้าที่แยกอากาศหรือไอออกจากของเหลวภายในระบบมาตรวัดให้หมดเสียก่อนที่ของเหลวไหลผ่านมาตรวัด หรือหากพูดอีกนัยหนึ่งว่า โดยปกติแล้วมาตรวัดแบบมาตราจะใช้วัดของเหลวชนิดของเหลวสถานะเดียว (single phase) หากของเหลวที่ไหลผ่านมาตรวัดแบบมาตราเป็นของไหลที่มี 2 สถานะ(two phases) คือเป็นสถานะของเหลวและสถานะไอ หรือมากกว่า 2 สถานะ ก็จะส่งผลถึงความแม่นยำและความถูกต้องของมาตรวัด ดังนั้นจึงต้องมีวิธีการที่จะกำจัดหรือทำให้ของเหลวใดๆ ก่อนเข้าและไหลผ่านมาตรวัดอยู่ในสถานะเพียงสถานะเดียวคือ สถานะของเหลวเท่านั้น

ตัวอย่าง 5.3 มาตรวัดแบบมาตรา Class 0.5, OIML R117 ชนิด Oval gear meter มีอัตราการไหลสูงสุด 250 l/min และอัตราการไหลต่ำสุด 50 l/min หากต้องการช่วงความแม่นยำ (accuracy span) สำหรับมาตรวัดแบบมาตรา Class 0.5, OIML R117 ซึ่งติดตั้งเข้ากับระบบแล้วจงกำหนดขนาดแบบมาตราเพื่อทำการสอบเทียบมาตรวัดแบบมาตรา

ก) ขนาดต่ำสุดของถังตวงแบบมาตราที่ใช้ในการสอบเทียบ ควรมีค่าอย่างน้อยเท่ากับ 250 l/min x 1 min = 250 l แต่เพื่อความมั่นใจเราอาจเลือกถังตวงแบบมาตราที่มีพิกัดความจุเท่ากับ 500 ลิตร หรือ 1,000 ลิตร ซึ่งอาจเหมาะสมกว่าในทางปฏิบัติ

สำหรับในที่นี้เราเลือก ถังตวงแบบมาตรา 1,000 ลิตร

ข) อัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดของถังตวงแบบมาตรา ขนาดของถังตวงแบบมาตราที่ใช้สำหรับตรวจสอบให้คำรับรองมาตรวัดปริมาตรของเหลวนั้นที่พิกัดความจุของถังตวงแบบมาตราต้องมีอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดมีค่าไม่เกิน ±1/5 เท่าของอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดของมาตรวัดปริมาตรของเหลวที่ปริมาตรทดสอบหรือปริมาตรของถังตวงที่ต้องการทดสอบนั้น แต่ทั้งนี้ปริมาตรที่ทดสอบนั้นต้องมีค่ามากกว่าปริมาตรน้อยที่สุดที่วัดได้ (Minimum Measured Quantity of Measuring System) ของระบบมาตรวัด แต่อย่างไรก็ตามเราอาจเลือกให้ถังตวงแบบมาตรามีค่าอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดน้อยกว่า ±1/5 เท่า เช่น มีค่าเท่ากับ ±1/10 เท่าของอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดของมาตรวัดปริมาตรของเหลวที่ปริมาตรทดสอบหรือปริมาตรของถังตวงที่ต้องการทดสอบก็สามารถกระทำได้แต่อย่างไรก็ตามก็ต้องคำนึงถึงค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นอีกทั้งต้องระลึกว่าเป็นการ

กระทำเกินความจำเป็นหรือไม่ สำหรับในภาคสนาม การเลือกถังตวงแบบมาตรามีค่าอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดอยู่ระหว่าง ±1/3 ถึง ±1/5 เท่าของอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดของมาตรวัดถือว่าเพียงพออยู่ในระดับที่น่าเชื่อถือระดับหนึ่งแล้ว

ในขณะเดียวกันถังตวงแบบมาตราชั้นสูงกว่า (secondary standard) ซึ่งใช้เพื่อทำการสอบเทียบถังตวงแบบมาตราต่ำลงมา (working standard) ต้องมีอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดไม่เกินกว่า ±1/5 ของอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดของถังตวงแบบมาตรา (working standard)

มาตรวัดแบบมาตรา Class 0.5, OIML R117 นั้นหมายถึงมาตรวัดมีอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดเท่ากับ ±0.5% (เมื่อติดตั้งเข้ากับระบบแล้ว) ดังนั้นหากเลือกถังตวงแบบมาตราควรมีผลผิดหรืออัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดอย่างน้อยสุดเท่ากับ 1/3 (ภาคสนาม) ของ ±0.5% ซึ่งมีค่าเท่ากับ ± 0.166% เมื่อคิด ± 0.166% ของปริมาตรสอบเทียบ 1,000 ลิตร นั้นหมายความว่าถังตวงแบบมาตราควรมีขีดขั้นหมายมาตราละเอียดต่ำสุด (discrimination) ไม่เกิน 1.66 ลิตร (1,000 ลิตร x 0.166%) จึงจะสามารถตรวจสอบว่าถังตวงแบบมาตรามีผลผิดเท่ากับ ±0.166% หรือไม่ แต่เนื่องจากงานทางด้านชั่งตวงวัดตามข้อกำหนดของกฎหมาย (Legal Metrology) นั้นได้กำหนดให้เครื่องชั่งตวงวัดทั้งหมดต้องแสดงค่าขั้นหมายมาตรา (scale interval) ในหน่วยเมตริกและแสดงค่าในรูปของ 1×10^k, 2×10^k หรือ 5×10^k โดย k เป็นเลขจำนวนเต็มบวก หรือจำนวนเต็มลบหรือศูนย์ แต่ถ้าหากเป็นไปได้หรือเรามีถังตวงแบบมาตราซึ่งสามารถมีผลผิดหรืออัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดเท่ากับ 1/10 ของ ±0.5% ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.05% นั้นหมายความว่าถังตวงแบบมาตราควรมีขีดขั้นหมายมาตราละเอียดต่ำสุด (discrimination) ไม่เกิน 0.5 ลิตร (1,000 ลิตร x 0.05%) ก็สามารถเลือกใช้งานได้เช่นเดียวกัน

ค) เส้นผ่านศูนย์กลางคอถังตวงแบบมาตรา (The neck diameter of Prover Tank) จาก *ขนาดของถังตวงแบบมาตราที่ใช้สำหรับตรวจสอบให้คำรับรองมาตรวัดปริมาตรของเหลวนั้นที่พิกัดความจุของถังตวงแบบมาตราต้องมีอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดมีค่าไม่เกิน ±1/5 เท่าของอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดของมาตรวัดปริมาตรของเหลวที่ปริมาตรทดสอบหรือปริมาตรของถังตวงที่ต้องการทดสอบนั้น* ในที่นี้เราเลือก ±1/5 เท่า

ดังนั้นอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดของถังตวงแบบมาตราขนาดพิกัดความจุ 1,000 ลิตรมีค่าเท่ากับ

$$0.5\% \times (1/10) = 0.05\%$$

หรือ $$\text{MPE.} = 0.05\% \times 1{,}000 \text{ ลิตร} = 0.5 \text{ l.}$$

จากสูตรปริมาตรคอถังตวงแบบมาตรา

ปริมาตร ΔV = พื้นที่หน้าตัดคอถังตวงแบบมาตรา × ความสูงของคอถังตวงแบบมาตรา (Δh)

และใช้ความสัมพันธ์

$$\frac{5\text{mm.}}{\text{MPE.}} \leq \frac{\Delta h}{\text{MPE.}} \leq \frac{30\text{mm.}}{\text{MPE.}}$$

โดยในที่นี้เราเลือกเงื่อนไขที่ Δh เท่ากับ 5 mm.

$$\frac{\Delta h}{\Delta V} = \frac{5\text{ mm.}}{\text{MPE.}} = \frac{5\text{ mm.}}{500\,\text{ml.}}$$

เมื่อ 1 ml. = 1 cm^3 = 1000 mm^3

ดังนั้น 500 ml. = 500×10^3 mm^3

ดังนั้นเป็นการพิจารณาเงื่อนไขที่ $\frac{5\text{mm.}}{\text{MPE.}}$

$$\Delta V = \frac{\pi D^2}{4} \times \Delta h$$

$$D^2 = \frac{\Delta V}{\Delta h} \times \frac{4}{\pi}$$

$$D^2 = \frac{500\times10^3}{5} \times \frac{4}{\pi} \quad = 127323.96 \text{ mm.}$$

$$D = 356.83 \text{ mm.}$$

เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของคอถังตวงแบบมาตราขนาดพิกัดความจุเท่ากับ 1,000 ลิตร มีขนาดเท่ากับ 356.83 มิลลิเมตร หรือมี Sensitivity เท่ากับ 5 ม.ม./0.5 ลิตร

หากเราเลือกอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดของถังตวงแบบมาตราขนาดพิกัดความจุ 1,000 ลิตร มีค่าเท่ากับ ±1/5 เท่าของอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดของมาตรวัดปริมาตรของเหลวนั้นคือ 0.5%×(1/5) = 0.1% หรือ MPE. = 0.1%×1,000 ลิตร = 10 l.

โดยในที่นี้เราเลือกเงื่อนไขที่ Δh เท่ากับ 5 mm.

$$\frac{\Delta h}{\Delta V} = \frac{5\text{ mm.}}{\text{MPE.}} = \frac{5\text{ mm.}}{10{,}000\,\text{ml.}}$$

$$\Delta V = \frac{\pi D^2}{4} \times \Delta h$$

$$D^2 = \frac{\Delta V}{\Delta h} \times \frac{4}{\pi}$$

$$D^2 = \frac{10{,}000\times10^3}{5} \times \frac{4}{\pi} \quad = 2{,}546{,}479.09 \text{ mm.}$$

$$D = 1595.77 \text{ mm.}$$

มี Sensitivity เท่ากับ 5 ม.ม./10 ลิตร หรือประมาณ 2 ม.ม./4 ลิตร

สรุป เลือกถังตวงแบบมาตราพิกัดความจุ 1,000 ลิตรและเมื่อเลือกอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดของถังตวงแบบมาตราขนาดพิกัดความจุ 1,000 ลิตรมีค่าเท่ากับ 0.5%×(1/10) = 0.05%

ดังนั้นขีดขั้นหมายมาตราละเอียดต่ำสุด (discrimination) ไม่เกิน 0.5 ลิตร, มี Sensitivity เท่ากับ 5 ม.ม./0.5 ลิตรหรือประมาณ 2 ม.ม./0.2 ลิตร แต่ถ้าหากเราเลือกอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดของถังตวงแบบมาตรา 0.5%×(1/5) = 0.1% ก็จะได้ว่าคอถังตวงแบบมาตรามี Sensitivity เท่ากับ 5 ม.ม./10 ลิตร หรือประมาณ 2 ม.ม./4 ลิตร

ดังนั้นเลือกขนาดคอถังตวงแบบมาตราที่มี Sensitivity ที่มีค่าตั้งแต่ 5 ม.ม./0.5 ลิตรจนถึง 2 ม.ม./4 ลิตร

แต่สำหรับถังตวงแบบมาตราซึ่งได้รับการออกแบบพิเศษดังแสดงในรูปที่ 24 สามารถมี Sensitivity เท่ากับ 2 ม.ม./1 ลิตร ก็ถือว่าเพียงพอแล้วและมี Sensitivity อยู่ในช่วง 5 ม.ม./0.5 ลิตรจนถึง 2 ม.ม./4 ลิตร ครบตามเงื่อนไข

ANS

ตัวอย่าง 5.4 เส้นผ่านนศูนย์กลางภายในของคอถังตวงแบบมาตราที่มีขนาดพิกัดความจุเท่ากับ 20 ลิตรควรมีขนาด ? โดยเมื่อใช้ตรวจสอบตัวมาตรวัดปริมาตรของเหลวชั้นความเที่ยง class 0.5 ,OIML R117 ซึ่งมีอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดเท่ากับ 0.3% ก่อนถูกติดตั้งเข้ากับระบบการวัดปริมาตรของเหลว

เนื่องจากใช้ตรวจสอบตัวมาตรวัดปริมาตรของเหลวชั้นความเที่ยง 0.5 ซึ่งมีอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดเท่ากับ 0.3% จากที่ว่า *"ขนาดของถังตวงแบบมาตราที่ใช้สำหรับตรวจสอบให้คำรับรองมาตรวัดปริมาตรของเหลวนั้นที่พิกัดความจุของถังตวงแบบมาตราต้องมีอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดมีค่าไม่เกิน ±1/5 เท่าของอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดของมาตรวัดปริมาตรของเหลวที่ปริมาตรทดสอบหรือปริมาตรของถังตวงที่ต้องการทดสอบนั้น"* ดังนั้นอัตราเผื่อเหลือเผื่อขาดของถังตวงแบบมาตราขนาดพิกัดความจุ 20 ลิตรมีค่าเท่ากับ

$$0.3\% \times (1/5) = 0.06\%$$

หรือ $$MPE. = 0.06\% \times 20 \text{ ลิตร} = 12 \text{ ml.}$$

จากสูตร

ปริมาตร ΔV = พื้นที่หน้าตัดคอถังตวงแบบมาตรา × ความสูงของคอถังตวงแบบมาตรา (Δh)

และใช้ความสัมพันธ์

$$\frac{5\text{mm.}}{\text{MPE.}} \leq \frac{\Delta h}{\text{MPE.}} \leq \frac{30\text{mm.}}{\text{MPE.}}$$

โดยในที่นี้เราเลือกเงื่อนไขที่ Δh มีค่าเท่ากับ 5 mm.

$$\frac{\Delta h}{\Delta V} = \frac{5\,\text{mm.}}{\text{MPE.}} = \frac{5\,\text{mm.}}{12\,\text{ml.}}$$

เมื่อ 1 ml. = 1 cm^3 = 1000 mm^3

ดังนั้น 12 ml. $= 12\times10^{3}\ mm^{3}$

ดังนั้นเป็นการพิจารณาเงื่อนไขที่ $\frac{5\,mm.}{MPE.}$

$$\Delta V = \frac{\pi D^2}{4}\times\Delta h$$

$$D^2 = \frac{\Delta V}{\Delta h}\times\frac{4}{\pi}$$

$$D^2 = \frac{12\times10^{3}}{5}\times\frac{4}{\pi} = 3055.87$$

$$D = 55.28 \quad mm.$$

เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของคอถังตวงแบบมาตราขนาดพิกัดความจุเท่ากับ 20 ลิตรมีขนาดเท่ากับ 55.28 มิลลิเมตร หรือมี Sensitivity เท่ากับ 5 ม.ม./12 มิลลิลิตร

พิจารณาเงื่อนไขที่ Δh มีค่าเท่ากับ $\frac{30\,mm.}{MPE.}$

$$\Delta V = \frac{\pi D^2}{4}\times\Delta h$$

$$D^2 = \frac{\Delta V}{\Delta h}\times\frac{4}{\pi}$$

$$D^2 = \frac{12\times10^{3}}{30}\times\frac{4}{\pi} \quad = \quad 509.313$$

$$D = 22.57 \quad mm.$$

เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของคอถังตวงแบบมาตราขนาดพิกัดความจุเท่ากับ 20 ลิตรมีขนาดเท่ากับ 22.57 มิลลิเมตร ซึ่งจะเป็นขนาดเล็กเกินไปไม่เหมาะสมกับการใช้งานในทางปฏิบัติ จึงเป็นหน้าที่ของวิศวกรหรือผู้รับผิดชอบที่ต้องคำนึงถึงปัจจัยต่างประกอบ เช่นของเหลวมีฟองมากเกินไปหรือไม่, วัสดุอุปกรณ์ที่มีอยู่สำหรับจัดทำถังตวงแบบมาตรา, ความสะดวกของการอ่านค่าบริเวณคอถังตวงแบบมาตรา, ความไวต่อการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของเหลวภายในถังตวงแบบมาตรา เป็นต้น

ANS

5.1.4 องค์ประกอบชุดมาตรวัดแบบมาตรา อย่างน้อยควรประกอบด้วย ดูรูปที่ 26

(1) วาล์วควบคุมการไหล (regulation valve)

(2) มาตรวัดความดัน (Pressure gage)

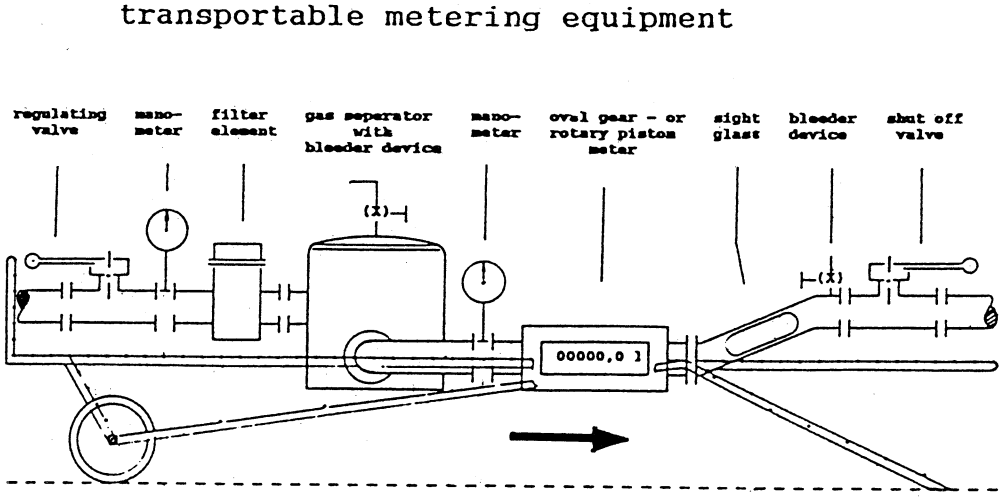
(3) ตัวกรองของเหลว (filter or strainer)

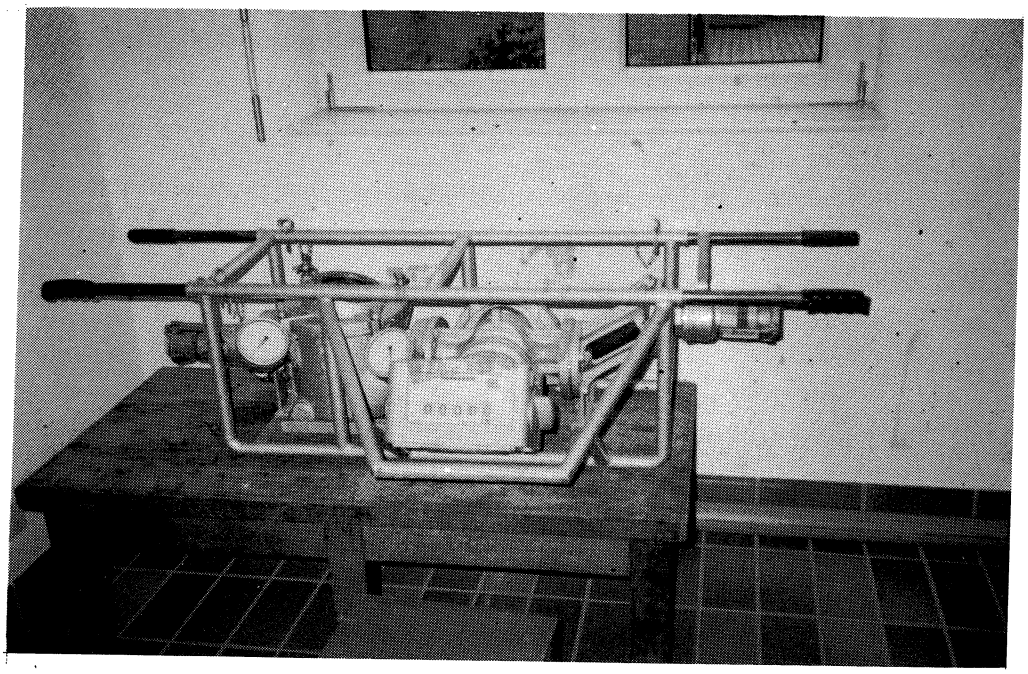
(4) เครื่องกำจัดไอ (Vapor eliminator หรือ gas separator)

(5) มาตรวัดแบบมาตรา (master meter) แบบ oval gear หรือ rotary piston

(6) Sight glass

(7) วาล์วปิด-เปิด (Shut-off valve)





รูปที่ 26 ระบบมาตรวัดแบบมาตรา (Oval gear meter) Max. flow 250 l/min, Min. flow 50 l/min ชนิดเคลื่อนที่ได้

นอกจากนี้ควรจัดให้มีวิธีการที่สามารถทำการ drain ของเหลวในบริเวณที่เป็นจุดต่ำสุดของแต่ละช่วงของระบบทุกๆจุดของระบบ และจัดให้มีท่อ vent ให้ทุกตำแหน่งที่เป็นจุดสูงสุดแต่ละช่วงของระบบ การจัดให้ระบบของชุดมาตรวัดแบบมาตราสามารถทำการ drain และ vent ได้สะดวกไม่เพียงเป็นประโยชน์ในการทำงานของระบบดังกล่าวแต่ยังช่วยให้สามารถมั่นใจว่าระบบของชุดมาตรวัดแบบมาตราดังกล่าวปราศจากอากาศติดค้างหลงเหลืออยู่ภายในระบบ ถึงแม้จะมีเครื่องกำจัดไออยู่แล้วก็ตาม

5.1.5 Test Procedure

(a) หลังจากตรวจสอบสภาพโดยทั่วไปของชุดมาตรวัดแบบมาตรา เช่น วาล์วไม่รั่ว, ท่อต่อเชื่อมกันสนิท, strainer ไม่ตัน, Pressure gauge ได้รับการสอบเทียบจากหน่วยงานของรัฐหรือห้องปฏิบัติการที่น่าเชื่อถือ เป็นต้น

(b) จัดวางชุดมาตรวัดในแนวราบ เพื่อให้ระบบสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ เช่นในบางกรณีเครื่องกำจัดไอ (Vapor eliminator หรือ gas separator) สามารถทำงานได้สมบูรณ์ก็ต่อเมื่อติดตั้งอยู่ในแนวราบตัวเครื่องต้องตั้งในแนวตั้งฉากกับพื้น เป็นต้น

(c) ต่อเชื่อมระบบท่อเข้ากับมาตรวัดจากแหล่งน้ำสะอาด รวมทั้งต่อเชื่อมระบบท่อด้านทางออกของระบบมาตรวัดเข้าสู่ถังตวงแบบมาตรา ตรวจสอบไม่ให้มีรอยรั่วในท่อด้านทางออกดังกล่าว เพื่อให้แน่ใจว่าปริมาตรน้ำทั้งหมดที่ถูกวัดด้วยมาตรวัดแบบมาตราได้ไหลเข้าสู่ถังตวงแบบมาตราทั้งหมด

(d) แหล่งน้ำที่เลือกใช้ควรสะอาดเพียงพอและ strainer สามารถกรองสิ่งสกปรกได้ดีเพียงพอเพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดจากสิ่งแปลกปลอมหลุดเข้าไปในมาตรวัด

(e) ปล่อยน้ำผ่านระบบมาตรวัด เพื่อทำการ wet run ถังตวงแบบมาตรา โดยระหว่างนั้นให้ทำการไล่อากาศภายในระบบมาตรวัดให้ออกไปพร้อมกันด้วย ทั้งโดยการ Vent หรือ drain เมื่อระดับน้ำภายในถังตวงแบบมาตราถึงระดับปริมาตรทดสอบแล้ว ให้ทำการถ่ายน้ำออกจากถังตวงแบบมาตราดังกล่าวออกจนหมด และคอยอย่างน้อย 30 วินาที (drain time) ก่อนทำการปิดวาล์วถังตวงแบบมาตรา

(f) ทำการปรับส่วนแสดงค่ามาตรวัดแบบมาตราให้แสดงค่าศูนย์ (rezero) พร้อมทั้งทำการจดบันทึกตัวเลข accumulation volume ของมาตรวัด

(g) ทำการทดสอบมาตรวัดที่อัตราการไหลแตกต่างกันอย่างน้อย 4 – 5 อัตราการไหล และควรทำซ้ำอย่างน้อย 2 ครั้งที่แต่ละอัตราการไหล โดยผลการทดสอบที่อัตราการไหลเดียวกันต้องมี reproducibility ไม่เกิน ±0.1% ของปริมาตรทดสอบ

ตารางที่ 5.3 อัตราไหลทดสอบมาตรวัดแบบมาตรา Class 0.5 , OIML R117

ครั้งที่	อัตราการไหล
1.	Q_{max}
2.	0.8 Q_{max}
3.	0.5 Q_{max}
4.	0.4 Q_{max}
5.	Q_{min}

ตัวอย่าง 5.5 การสอบเทียบมาตรวัดแบบมาตรา Class 0.5, OIML R117 ชนิด Oval gear meter มีอัตราการไหลสูงสุด 250 l/min และอัตราการไหลต่ำสุด 50 l/min ด้วยถังตวงแบบมาตรา ที่อัตราการไหลเท่าไร

ครั้งที่	Flow rate (l/min)	ครั้งที่	Flow rate (l/min)
1	50	6	50
2	100	7	100
3	150	8	150
4	200	9	200
5	250	10	250

ไม่ควรทำการสอบเทียบในลักษณะ 50-50-100-100-150-150-200-200-250-250 l/min แต่อย่างไรก็ตามก็พออนุโลมได้

ANS

(h) **ข้อสังเกต** การปรับอัตราการไหลจะทำการปรับที่ regulating valve ซึ่งติดตั้งก่อนทางเข้ามาตรวัด เมื่อมาตรวัดวัดปริมาตรได้เท่ากับปริมาตรของถังตวงแบบมาตราก็ทำการปิดวาว์ลด้านทางออกจากมาตรวัดด้วย shut off valve การกระทำเช่นนี้เนื่องจากเราสามารถควบคุมตัวเลขซึ่งแสดงปริมาตรด้วยมาตรวัดตรงตามปริมาตรที่ต้องการและรักษาความดันภายในระบบให้มีสภาวะเท่ากันหรือคล้ายกันเมื่อเปรียบเทียบที่สภาวะเริ่มต้นทุกครั้ง อีกทั้งไม่ต้องกังวลโมเมนต์เฉื่อย (inertial moment) ของมวลของน้ำเนื่องจากความดันของระบบ เพราะหากใช้ regulating valve ซึ่งติดตั้งก่อนทางเข้ามาตรวัด ทำหน้าที่ทั้งเป็นตัวปรับอัตราการไหลและทำการปิดเปิดแล้วพบว่า จะทำให้มีปริมาตรน้ำส่วนหนึ่งยังคงไหลต่อออกไปจากระบบจนกว่าระบบมีความดันเท่ากับความดันบรรยากาศซึ่งเท่ากับความดันภายในถังตวงแบบมาตราด้วยอิทธิพลของโมเมนต์เฉื่อยของมวลน้ำและเป็นปริมาตรที่ไม่สามารถควบคุมได้ขึ้นอยู่กับการทำงานและความดันค้างในระบบในแต่ละครั้ง

(i) ทำการบันทึกค่าปริมาตรซึ่งมาตรวัดแบบมาตราแสดง รวมทั้งปริมาตรที่อ่านได้จากถังตวงแบบมาตรา นอกจากนี้ให้วัดอุณหภูมิภายในถังตวงด้วย ในการอ่านค่าปริมาตรและอุณหภูมิที่ถังตวงแบบมาตราเมื่อสิ้นสุดการทดสอบแต่ละครั้งที่อัตราการไหลหนึ่งๆ ***ให้รีบกระทำอย่างรวดเร็วไม่เช่นนั้น ค่าอุณหภูมิภายในถังจะมีค่าเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น ซึ่งค่าที่ได้จะไม่ใช่ค่าที่แท้จริง***

(j) ในระหว่างทำการทดสอบให้ตรวจสอบความดันตกคร่อม strainer ด้วย ทั้งนี้ต้องไม่ให้ความดันตกคร่อมของตัว strainer ต่างกันมากเกินกว่า 10% (เมื่อเทียบระหว่างความดันด้านทางเข้ากับความดันด้านทางออก)

(k) ทำการคำนวณปริมาตรภายในถังตวงแบบมาตราโดยค่าที่อ่านได้ต้องถูกปรับไปยังค่าปริมาตรที่อุณหภูมิอ้างอิง 15 ^{o}C (ถังตวงแบบมาตราถูกสอบเทียบและค่าขั้นหมายมาตราแสดงปริมาตรที่ 15 ^{o}C) ลบด้วยปริมาตรแสดงของมาตรวัด ก็จะได้ทราบผลผิดของมาตราที่แต่ละอัตราการไหล รายละเอียดการคำนวณเป็นไปตามหัวข้อข้างล่าง

5.1.6 การคำนวณ

ทำการแปลงค่าปริมาตรที่อ่านได้จากถังตวงแบบมาตรา V_{Pr} ตามสเกลของถังตวงแบบมาตราซึ่งเป็นค่าปริมาตรถังตวงแบบมาตราที่ถูกปรับค่าปริมาตรไปยังสภาวะอ้างอิงหรือสภาวะมาตรฐานแล้ว (อุณหภูมิอ้างอิงและความดันบรรยากาศประจำแต่ละถัง) และปรับค่าปริมาตรซึ่งอ่านได้จากมาตรวัดซื้อขาย V_{mr} (indicated volume) ไปเป็นค่าปริมาตรที่ค่าสภาวะอ้างอิง (T_o , P_{atm}) เพื่อสามารถทำการสอบเทียบปริมาตรที่สภาวะเดียวกัน

รายละเอียดการคำนวณและความหมายของตัวแปรแก้ไขค่าต่างๆ ตลอดจนเนื้อหาอื่นๆจะไม่ขอกล่าวในที่นี้ ผู้อ่านสามารถหาอ่านได้ในหนังสือของสำนักงานกลางชั่งตวงวัด **"การคำนวณผลการสอบเทียบทางด้านปริมาตร"**, วีระศักดิ์, สาธิต, เมตตา

- **สำหรับถังตวงแบบมาตรา (Tank Prover)** มีสภาวะขณะทำการสอบเทียบ ณ อุณหภูมิ (T_P) และความดันบรรยากาศ (P_P = P_{atm} = P_0) และอ่านปริมาตรได้ที่คอถังตวงแบบมาตราเท่ากับ V_{Pr} ตามสเกลของถังตวงแบบมาตราซึ่งเป็นสเกลที่อุณหภูมิอ้างอิงของถังตวงแบบมาตรา ดังนั้นจึงต้องทำการปรับค่าปริมาตรที่อ่านได้จากถังตวงแบบมาตรา อันเนื่องจากอิทธิพลของอุณหภูมิมีผลต่อผนังถังตวงแบบมาตราด้วย

$$V_{TOP} = V_{Pr} \times C_{tsP} \qquad (a)$$

เราจะได้ค่าปริมาตรจริงที่อุณหภูมีขณะสอบเทียบ จากนั้นทำการปรับค่าปริมาตรของเหลวที่สภาวะอุณหภูมิขณะสอบเทียบ T_P ไปเป็นอุณหภูมิอ้างอิง T_0 ขณะมีความดัน P_P = P_{atm} อันเนื่องจากอิทธิพลของอุณหภูมิมีผลต่อของเหลว

$$V_{0P} = V_{TOP} \times C_{tlP} \qquad (b)$$

ดังนั้น

$$V_{0P} = V_{Pr} \times C_{tsP} \times C_{tlP} \qquad (c)$$

- ***สำหรับมาตรวัด*** (ไม่มีตัวชดเชยค่าอุณหภูมิอัตโนมัติ) สภาวะขณะทำการสอบเทียบมาตรวัด อ่านค่าปริมาตรส่งจ่ายได้ V_{mr} จากตัวมาตรวัดโดยมาตรวัดมีอุณหภูมิ T_m และความดันภายในมาตรวัดหรือระบบตำแหน่งใกล้มาตรวัด (P_m)

ทำการปรับค่าปริมาตรที่อ่านได้จากมาตรวัดจากสภาวะอุณหภูมิ T_m ไปเป็นอุณหภูมิ T_0 ขณะที่มีความดัน P_m อันเนื่องมาจากอิทธิพลของอุณหภูมิมีผลต่อของเหลว

$$V_{0Pm} = V_{mr} \times C_{tlm} \qquad (d)$$

ในขณะเดียวกันก็ทำการปรับค่าปริมาตรของเหลวที่สภาวะความดัน P_m ไปยังปริมาตรที่ความดันบรรยากาศหรือความดันอ้างอิง P_{atm} ขณะที่มีอุณหภูมิ T_0 อันเนื่องจากอิทธิพลของความดันมีผลต่อของเหลวภายในตัวเรือนมาตรวัด

$$V_{0m} = V_{0Pm} \times C_{plm} \qquad (e)$$

ดังนั้นแทนค่า สมการ (d) ลงใน สมการ (e)

$$V_{0m} = V_{mr} \times C_{plm} \times C_{tlm} \qquad (f)$$

ค่าปริมาตรที่อ่านได้จากมาตรวัด V_{mr} ถูกปรับไปที่ปริมาตรที่สภาวะมาตรฐานหรือสภาวะอ้างอิง ดังในสมการ (f)

- ***การหาค่ามิเตอร์แฟคเตอร์ (Meter Factor)*** จากความหมายของมิเตอร์แฟคเตอร์ เพราะฉะนั้นเราจะได้ว่า

$$MF = \frac{V_{0P}}{V_{0m}}$$

$$= \frac{V_{Pr} \times C_{tsP} \times C_{tlP}}{V_{mr} \times C_{plm} \times C_{tlm}} \qquad (g)$$

- ***ค่าความผิดพลาดของมาตรวัด (Meter Error or Deviation)*** จากนิยามจะได้ว่า

$$Error(@T_0, P_{atm}) = V_{0m} - V_{0P} \qquad (h)$$

ซึ่งโดยปกติแล้วมักนิยมบอกค่าความผิดพลาดของมาตรวัด (meter error) เป็นเปอร์เซ็นต์โดยเทียบจากค่ามิเตอร์แฟคเตอร์ (meter factor) ดังนี้คือ

$$\%\text{Error}(@T_0, P_{atm}) = \frac{V_{0m} - V_{0P}}{V_{0P}} \times 100\%$$

$$= \left(\frac{V_{0m}}{V_{0P}} - 1\right) \times 100\%$$

$$= \left(\frac{1}{MF} - 1\right) \times 100\ \% \qquad \text{(i)}$$

ในการตรวจสอบให้คำรับรองมาตรวัดซื้อขายให้ค่าความผิดพลาดของมาตรวัด (meter error) ไม่เกิน ±0.5%

$$\%\text{Error}(@T_0, P_{atm}) \leq \pm 0.5\% \qquad \text{(j)}$$

เนื่องจากในการสอบเทียบหรือตรวจสอบให้คำรับรอง ถังบรรจุของเหลวในแนวนอน จะใช้ ***น้ำสะอาด***เป็นตัวกลางของเหลวซึ่งก็มีข้อดีหลายประการด้วยกัน เช่น

- ความจุความร้อนมาก (high heat capacity) นั้นหมายถึงหากอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมมีการเปลี่ยนแปลงไปหากไม่มากนัก น้ำยังคงรักษาค่าอุณหภูมิของน้ำได้ค่อนข้างคงที่
- มีสัมประสิทธิ์การขยายตัวต่ำ (low coefficient of expansion) ส่งผลให้ปริมาตรของน้ำมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นหรือลดลง ค่อนข้างน้อยหากมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ
- การลดปริมาตรเนื่องจากความดัน (low compressibility) มีค่าน้อย
- เป็นของเหลวที่ราคาถูกหาง่าย อีกทั้งง่ายต่อการเก็บรักษา

ดังนั้นค่าของ

☞ C_{tlP} และ C_{tlm} ถือมีค่าน้อยมากตัดทิ้งได้ เนื่องใช้น้ำสะอาดเป็นตัวกลางทดสอบ

☞ C_{plm} ถือมีค่าน้อยมากตัดทิ้งได้ การลดปริมาตรเนื่องจากความดัน (low compressibility) ของน้ำมีค่าน้อย

$$V_{0P} = V_{Pr} \times C_{tsP} \times C_{tlP}$$

$$= V_{Pr} \times C_{tsP}$$

$$V_{0m} = V_{mr} \times C_{plm} \times C_{tlm}$$

$$= V_{mr}$$

$$\%\text{Error}(@T_0, P_{atm}) = \frac{V_{0m} - V_{0P}}{V_{0P}} \times 100\%$$

$$= \frac{V_{mr} - (V_{Pr} \times C_{tsP})}{(V_{Pr} \times C_{tsP})} \times 100\% \leq \pm 0.5\%$$

เมื่อ C_{ts} *คือ ค่าแก้ไขค่าสำหรับอิทธิพลของอุณหภูมิมีผลต่อโลหะ (Correction for The Effect of Temperature on Steel)* ; C_{ts} *หรือ (CTS);* C_{ts} เป็นตัวแปรไม่มีหน่วย (non-dimensional value) ภาชนะบรรจุใดๆซึ่งทำด้วยโลหะ เช่น ท่อสอบเทียบ (pipe prover) , ถัง

ตวงแบบมาตรา(tank prover) เป็นต้น เมื่ออยู่ภายใต้สภาวะที่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจะส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของภาชนะบรรจุนั้นๆด้วย ในทางฟิสิกส์พบว่าการเปลี่ยนแปลงทางปริมาตรซึ่งไม่คำนึงถึงรูปร่างของภาชนะจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับสัมประสิทธิการขยายตัวทางความร้อน (the cubical coefficient of thermal expansion) ของวัสดุที่ใช้ทำภาชนะนั้นๆ ด้วยเหตุนี้ตัวแปรแก้ไขปรับค่าปริมาณสำหรับอิทธิพลของอุณหภูมิกระทำต่อโลหะ ซึ่งเรียกว่า C_{ts} ***(the correction factor for the effect of temperature on steel)*** คำนวณได้จาก

$$C_{ts} = 1 + \gamma(T - T_o) \qquad (k)$$

เมื่อ

T = อุณหภูมิผนังของภาชนะบรรจุของเหลว เช่น ท่อสอบเทียบ (pipe prover) , ถังตวงแบบมาตรา (tank prover);^{o}C

T_O = อุณหภูมิอ้างอิงของผนังของภาชนะบรรจุของเหลว เช่น ท่อสอบเทียบ(pipe prover) , ถังตวงแบบมาตรา(tank prover) :^{o}C

γ = Coefficient of cubical expantion per ^{o}F (^{o}C) ของโลหะที่ใช้ทำภาชนะบรรจุของเหลว

- mild *or* low carbon steel

  γ = 0.0000186 / ^{o}F

  = 0.0000335 / ^{o}C

- series 300 stainless steels

  γ = 0.0000265 / ^{o}F

  = 0.0000477 / ^{o}C

- 17-4 stainless steels

  γ = 0.0000018 / ^{o}F

  = 0.0000324 / ^{o}C

หรือ γ = 0.000012 / ^{o}F

= 0.0000216 / ^{o}C

โลหะและสารชนิดอื่นๆ ให้ดูตามตารางที่ 5.4

ตารางที่ 5.4 Coefficient of cubical expansion ของโลหะและสารชนิดอื่นๆ

Material	Coefficient of cubical expansion ($cm^3/°C$)
Aluminum	-
Brass	0.000054
Cast iron	0.000030
Copper	0.000050
Glass, borosilicate (T1CA)	0.000010
Glass, borosilicate (T1CB)	0.000015
Glass, soda-lime	0.000025
Invar	0.0000012
Lead	0.000087
Platinum	0.000027
Polycarbonate plastic	0.000450
Polypropylene plastic	0.000240
Polystyrene plastic	0.000210
Steel, stainless	0.000048
Steel, tape, mild	0.0000335
Steel, low carbon	0.000035
Steel, template	0.000035
Water (20 °C)	0.000021

หากสังเกตุจะพบว่า ค่า C_{ts} จะมีค่ามากกว่า 1 เมื่ออุณหภูมิใดๆ (T) มีค่ามากกว่าอุณหภูมิอ้างอิง(T_o) และจะมีค่าน้อยกว่า 1 เมื่อเมื่ออุณหภูมิใดๆ (T) มีค่าน้อยกว่า อุณหภูมิอ้างอิง (T_o)

ดังนั้นในการแก้ไขปริมาตรของภาชนะบรรจุโลหะใดๆ เช่น ท่อสอบเทียบ (pipe prover), ถังตวงแบบมาตรา (tank prover) หรือ ถังตวงแบบมาตราชนิดเคลื่อนที่ได้ (a portable test measure) จากปริมาตรที่อุณหภูมิอ้างอิง(V_o) ไปเป็นปริมาตรที่อุณหภูมิใดๆ (V_T) หาได้จาก

$$V_T = V_o \times C_{ts} \qquad (I)$$

ยกตัวอย่างเช่นถ้าหากอุณหภูมิอ้างอิงเท่ากับ 30 °C ดังนั้นเมื่อเรารู้ค่าปริมาตรที่อุณหภูมิอ้างอิง(30 °C) ก็จะสามารถคำนวนหาปริมาตรที่อุณหภูมิอื่นๆ ได้จาก

$$V_T = V_{30} \times C_{ts}$$

แต่ในทางกลับกันเมื่อเรารู้ค่าปริมาตรที่อุณหภูมิใดๆ ก็จะสามารถคำนวนหาปริมาตรที่อุณหภูมิอ้างอิงได้จาก

$$V_{30} = \frac{V_T}{C_{ts}}$$

รายละเอียดการคำนวณหาปริมาตรสามารถอ่านเพิ่มเติมได้จากหนังสือของสำนักงานกลางชั่งตวงวัด ***"การคำนวณผลการสอบเทียบทางด้านปริมาตร"***

ตัวอย่าง 5.6 สอบเทียบมาตรวัดแบบมาตรา Class 0.5, OIML R117 ชนิด Oval gear meter มีอัตราการไหลสูงสุด 250 l/min และอัตราการไหลต่ำสุด 50 l/min ด้วยถังตวงแบบมาตรา จงหา deviation ของมาตรวัดที่อัตราการไหลแตกต่างกัน ผลการสอบเทียบดังกล่าวผ่านหรือไม่ ?

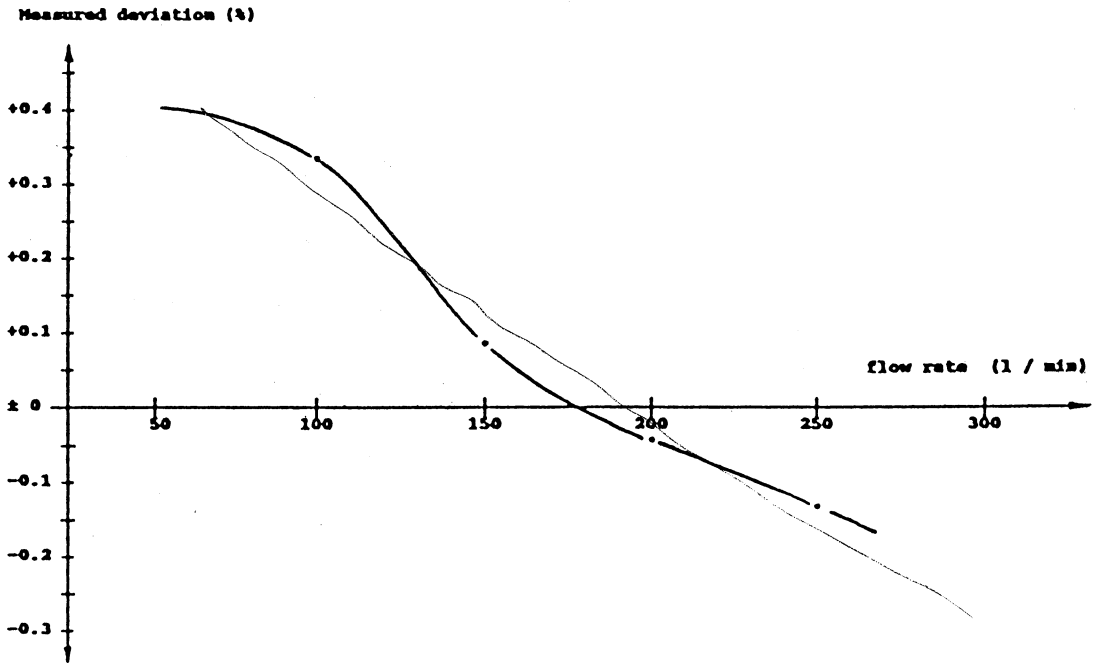
เจ้าหน้าที่นายตรวจ: Satit C.			**วันที่ 01/01/2001**		**Certificate No. : 001/2545**		
มาตรวัด : Oval gear meter		Serial No. 4569-698					
Flow Rate	Indication of meter	Indication of Prover Tank	Temp. in Prover Tank	Correction Volume	Measured deviation after correction $\%\text{Error}(@\,T_0, P_{atm}) = \frac{V_{0m} - V_{0P}}{V_{0P}} \times 100\%$		
(l/min)	V_m	V_p	(°C)	V_{0p}	(l)	(%)	Mean Value (%)
250	1000.0	1001.5	9.8	1001.3	-1.3	-0.13	-0.13
	1000.0	1001.5	10.1	1001.3	-1.3	-0.13	
200	1000.0	1000.7	9.9	1000.5	-0.5	-0.05	-0.04
	1000.0	1000.5	10.1	1000.3	-0.3	-0.03	
150	1000.0	999.3	10.0	999.1	0.9	0.09	0.09
	1000.0	999.3	10.2	999.1	0.9	0.09	
100	1000.0	996.8	10.0	996.6	3.4	0.34	0.34
	1000.0	996.8	10.2	996.6	3.4	0.34	
50	1000.0	996.1	10.1	995.9	4.1	0.41	0.40
	1000.0	996.3	10.2	996.1	3.9	0.39	
Accumulation Number		End	4423614 ลิตร				**PASS (< ±0.5%)**
		Start	4413022 ลิตร		10,592 ลิตร		

ตัวอย่าง 5.7 จงแสดงผลการสอบเทียบมาตรวัดแบบมาตรา Class 0.5, OIML R117 ชนิด Oval gear meter มีอัตราการไหลสูงสุด 250 l/min และอัตราการไหลต่ำสุด 50 l/min ด้วยถังตวงแบบมาตราในรูปของการเขียนกราฟแสดง Performance ของมาตรวัด และแสดงอยู่ในรูปของสมการ

ผลการสอบเทียบมาตรวัดที่อัตราการไหลแตกต่างกันจากตัวอย่าง 5.6 ได้ผลดังในตาราง

Flow rate (l/min)	50	100	150	200	250
Deviation (%)	+0.40	+0.34	+0.09	-0.04	-0.13

ก) แสดงผลการสอบเทียบมาตรวัดแบบมาตราด้วยถังตวงแบบมาตราในรูปของการเขียนกราฟแสดง Performance ของมาตรวัด ดังแสดงในรูปที่ 27



รูปที่ 27 กราฟแสดงสมรรถนะของระบบมาตรวัดแบบมาตราหลังจากสอบเทียบกับถังตวงแบบมาตรา

ข) แสดงผลการสอบเทียบมาตรวัดแบบมาตราด้วยถังตวงแบบมาตราในรูปของสมการแสดง Performance ของมาตรวัด

Flow rate (l/min) ; x	50	100	150	200	250
Deviation (%) ; y	+0.40	+0.34	+0.09	-0.04	-0.13

โดยปกติแล้วสมรรถนะของมาตรวัดจะอยู่ในรูปสมการ Polynomial function ซึ่งหากต้องการความละเอียดมากๆ แล้วจำเป็นต้องเพิ่มเทอม x^n จำนวนมากขึ้นและค่า n มีค่าสูงขึ้นเช่นกัน แต่ในกรณีนี้เราใช้ x^2 ก็เพียงพอต่อการปฏิบัติงานในด้านชั่งตวงวัดตามข้อกำหนดของกฎหมาย (Legal Metrology) ดังนั้นสมการ Polynomial function ซึ่งแสดงสมรรถนะของมาตรวัดจึงอยู่ในรูป

$$y = a_0 + a_1 \bullet x + a_2 \bullet x^2$$

เมื่อ

y = measured diviation calculated

x = selected flow rate

โดยสามารถหาค่าสัมประสิทธิ์ a_0 , a_1 และ a_2 หาได้จากการแก้สมการ 3 สมการดังข้างล่าง

$$\sum y_i = a_0 \bullet n + a_1 \bullet \sum x_i + a_2 \bullet \sum x_i^2$$
$$\sum (x_i \bullet y_i) = a_0 \bullet \sum x_i + a_1 \bullet \sum x_i^2 + a_2 \bullet \sum x_i^3$$
$$\sum (x_i^2 \bullet y_i) = a_0 \bullet \sum x_i^2 + a_1 \bullet \sum x_i^3 + a_2 \bullet \sum x_i^4$$

I=	1	2	3	4	5	
Σy_i	+0.4	+0.34	+0.09	-0.04	-0.13	**0.66**
Σx_i	50	100	150	200	250	**750**
Σx_i^2	2500	10000	22500	40000	62500	**137500**
Σx_i^3	125000	1000000	3375000	8000000	15625000	**28125000**
Σx_i^4	6250000	100000000	506250000	1600000000	3906250000	**6118750b00**
$\Sigma (x_i^2 * y_I)$	1000	3400	2025	-1600	-8125	**-3300**
$\Sigma (x_i * y_I)$	20	34	13.5	-8	-32.5	**27**

แทนค่าลงในสมการ

$$0.66 = a_0 \bullet 5 + a_1 \bullet 75 + a_2 \bullet 137{,}500$$
$$27 = a_0 \bullet 750 + a_1 \bullet 137{,}500 + a_2 \bullet 28{,}125{,}000$$
$$-3300 = a_0 \bullet 137{,}500 + a_1 \bullet 28{,}125{,}000 + a_2 \bullet 6{,}118{,}750{,}000$$

ทำการหา Determination (DET)

$$D_0 = \begin{vmatrix} 5 & 750 & 137{,}500 \\ 750 & 137{,}500 & 28{,}125{,}000 \\ 137{,}500 & 28{,}125{,}000 & 6{,}118{,}750{,}000 \end{vmatrix} = 1.0938 \times 10^{13}$$

$$a_0 = \frac{\begin{vmatrix} 0.66 & 75 & 137{,}500 \\ 27 & 137{,}500 & 28{,}125{,}000 \\ -3300 & 28{,}125{,}000 & 6{,}118{,}750{,}000 \end{vmatrix}}{D_0} = \frac{6.496 \times 10^{12}}{1.0938 \times 10^{13}} = 0.5940$$

$$a_1 = \frac{\begin{vmatrix} 5 & 0.66 & 137,500 \\ 750 & 27 & 28,125,000 \\ 137,500 & -3300 & 6,118,750,000 \end{vmatrix}}{D_0} = \frac{3.7125 \times 10^{10}}{1.0938 \times 10^{13}} = -0.0034$$

$$a_2 = \frac{\begin{vmatrix} 5 & 75 & 0.66 \\ 750 & 137,500 & 27 \\ 137,500 & 28,125,000 & -3300 \end{vmatrix}}{D_0} = \frac{1.8750 \times 10^{7}}{1.0938 \times 10^{13}} = 1.7143 \times 10^{-6}$$

$$y = 0.5940 - 0.0034 \bullet x + 1.7143 \times 10^{-6} \bullet x^2$$

สมการข้างบนเป็นตัวแทนของคุณลักษณะของมาตรวัดแบบมาตรา ซึ่งเราสามารถหาค่าความผิดพลาดของมาตรวัดซื้อขาย (Meter Error or Deviation) ได้ที่ทุกๆ ค่าอัตราการไหล เช่น ที่อัตราการไหล เท่ากับ 130 l/min มาตรวัดแบบมาตรามีค่าความผิดพลาดของมาตรวัดซื้อขาย (Meter Error or Deviation) เท่ากับ

$$y = 0.5940 - 0.0034 \bullet (130) + 1.7143 \times 10^{-6} \bullet (130)^2 = +0.18\%$$

ANS

5.2 เลือกถังตวงแบบมาตรา (Prover Tank) เป็นแบบมาตรา

สามารถเลือกใช้ถังตวงแบบมาตราใช้ทำการสอบเทียบแบบเปียกกับถังบรรจุของเหลวในแนวนอนได้โดยตรง ขนาดของถังตวงที่ใช้ควรมีพิกัดกำลังตั้งแต่ 50 ลิตรขึ้นไป นอกจากนี้เป็นที่ทราบกันดีว่าถังตวงแบบมาตราจะมีลักษณะการทำงาน 2 แบบด้วยกันคือ

- Overflow-type neck
- Sight-glass with scale-type neck

ในทางปฏิบัติแล้วควรเลือกใช้ ถังตวงแบบมาตราชนิด Overflow-type neck เนื่องจากง่ายต่อการปรับปริมาตรในการสอบเทียบและไม่จำเป็นต้องอ่านค่าในการเติมแต่ละครั้ง นั้นหมายถึงเราจะได้ปริมาตรจำนวนเต็มเท่าๆกันทุกๆที่ใช้งาน ถังตวงแบบมาตราชนิด Sight-glass with scale-type neck เหมาะที่จะเป็นแบบมาตราในการสอบเทียบมาตรวัดแบบมาตราเนื่องจากสามารถอ่านค่าปริมาตรได้ละเอียด

การเลือกถังตวงแบบมาตราก็ทำการเลือกคล้ายกับการเลือกถังตวงเพื่อนำไปใช้เป็นแบบมาตราสอบเทียบมาตรวัดดังในหัวข้อ 5.1

ตัวอย่างรายงานผลการสอบเทียบมาตรวัดแบบมาตรา

Eichamt München-Traunstein

Local Verification Office

DIE BEI DEN MESSUNGEN VERWENDETEN NORMALE SIND AN DIE NATIONALEN NORMALE DER BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND BEI DER PHYSIKALISCH-TECHNISCHEN BUNDESANSTALT (PTB) ANGESCHLOSSEN.
THE STANDARDS USED FOR THE MEASUREMENTS ARE TRACEABLE TO THE NATIONAL STANDARDS OF THE FEDERAL REPUBLIC OF GERMANY AT THE PHYSIKALISCH-TECHNISCHE BUNDESANSTALT (PTB).

Prüfschein

Inspection certificate

Nummer des Prüfscheines *Number of the inspection certificate*	P-0010/02/00 AZ.: 2.2.6.1.2
Gegenstand der Prüfung *Object of inspection*	Transportable metering equipment as working standard for wet calibration
Hersteller *Manufacturer*	Bopp & Reuter Mannheim
Identifikation *Identification*	Type: 0150 R 5s/A4 No.: 520901
Antragsteller *Applicant*	Verification Office Munich
Anzahl der Seiten des Prüfscheines *Number of pages of the inspection certificate*	2
Ort und Datum der Prüfung *Place and date of inspection*	Munich, 30.03.2000
Gültigkeit der Prüfung bis *This inspection is valid until*	-

Stempelzeichen (22 00) 00
Marking

Prüfscheine ohne Unterschrift und Dienstsiegel haben keine Gültigkeit. Dieser Prüfschein darf nur vollständig und unverändert weiterverbreitet werden. Auszüge oder Änderungen bedürfen der Genehmigung der Eichbehörde.
Inspection certificates without signature and official stamp are not valid. This inspection certificate may only be reproduced in complete and unchanged form. Extracts or amendments require the approval of the verification authority.

Ort und Datum *Place and date*	Dienstsiegel *Official stamp*	Unterschrift *Signature*
München, 31.03.2000	EICHAMT MÜNCHEN-TRAUNSTEIN BAYERN	I.V Seidl

FB-A12/10-0

Dienststelle München Franz-Schrank-Str. 11 80638 München Telefon 089/17901- 0
Telefax 089/17901-233

(Stand: 12.1999)

Zusätzliche Angaben zum Gegenstand der Prüfung
Additional comments concerning object of inspection
Maximum flow rate: 250 l/min
Minimum flow rate: 50 l/min (limited to ≥100 l/min)
Scale interval: 0.1 l

Prüfverfahren
Inspection procedure
Inspection was made in compliance ith following regulation:

- Testing instructions of the Bavarian State Office of Weights and Measures regardig the inspection and handling of standard metering equipment for water.

Umgebungsbedingungen
Environmental conditions
For the determination of the uncertainty of measurement the environmental conditions were considered.

Ergebnis der Prüfung
Inspection result
The metering equipment keeps the maximum permissible error of a working standard for the verification of measuring containers in accordance with Verification Ordinance, Annex 4 - section 2 (in its valid version).

Flow rate [l/min]	Measured deviation [%]
250	- 0.13
200	- 0.04
150	+ 0.09
100	+ 0.34
50	+ 0.40

Uncertainty of measurement of the inspection procedure: 0.05 %

Meßunsicherheit
Uncertainty of measurement
This is the expanded uncertainty of measurement resulting from the standard uncertainty of measurement by expansion factor k = 2. The standard uncertainty was calculated upon the uncertainty share resulting from the testing equipment, the inspection procedure and the environmental conditions.

Hinweise
Notes
5 protective stamps are affixed.

Ende des Prüfscheines
End of inspection certificate

Dienststelle München Franz-Schrank-Str. 11 80638 München Telefon 089/17901- 0
Telefax 089/17901-233

บทที่ 6

การเติมของเหลวเข้าสู่ถังพร้อมกับการวัดระดับความสูงของของเหลว (Filling of the storage tank and Dipping) รายงานผลการทดสอบและผลการวัด (Measurement results)

ขั้นตอนที่ 6. การเติมของเหลวเข้าสู่ถังพร้อมกับการวัด ระดับความสูงของของเหลว(Filling of the storage tank and Dipping)

โดยหลักการการเลือกน้ำเป็นตัวกลางสำหรับการสอบเทียบแบบเปียกเป็นสิ่งที่เหมาะสมมากที่สุดในปัจจุบัน เนื่องจากหากใช้ผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมเช่น เบนซิน พบว่าส่งผลให้ไปเพิ่ม Uncertainty ของการวัดที่อุณหภูมิ 20 °C ทั้งนี้ก็เพราะว่าผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมมีการเปลี่ยนแปลงปริมาตรเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิสูงประมาณ 5 เท่าเมื่อเทียบกับการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของน้ำหากมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิค่าเท่าๆกัน

ก่อนที่จะทำการปล่อยน้ำลงไปใน ถังบรรจุของเหลวในแนวนอน ต้องตรวจสอบสภาพภายในถังด้วยว่ามีสิ่งสกปรก หรือเศษวัสดุตกค้างอยู่ภายในของถังหรือไม่ ในกรณีที่ถังมีส่วนแสดงค่าด้วย Standpipes ดูรูปที่ 4 และ 9 ต้องทำการถ่ายของเหลวภายในออกให้หมด โดยเฉพาะบริเวณข้อต่อของ Standpipes เนื่องจากหากมีของเหลวภายใน Standpipes และของเหลวดังกล่าวไม่ใช่น้ำแต่เป็นของเหลวชนิดที่แตกต่างออกไปและหากยิ่งมีความหนาแน่นที่ต่างจากความหนาแน่นของน้ำก็ส่งผลให้การอ่านระดับของเหลวภายใน Standpipes ผิดพลาดเพิ่มสูงมากยิ่งขึ้น ดังนั้นเพื่อให้มั่นใจควรทำการล้าง Standpipes และข้อต่อของ Standpipes ด้วยน้ำสะอาดก่อนดำเนินการต่อไป นอกจากนี้การตรวจสอบการอุดตันบริเวณข้อต่อของ Standpipes ซึ่งต่อเชื่อมกับตัวถังก็ต้องตรวจสอบให้แน่ใจว่าไม่มีสิ่งขีดขวางหรืออุดตัน แต่อย่างใด

การตรวจสอบวาล์วด้านทางออกจากตัวถังว่ารั่วหรือไม่ก็เป็นสิ่งจำเป็น อีกทั้งต้องมั่นใจว่าท่อ hose ซึ่งต่อออกจากด้าน discharge ของมาตรวัดมายังถัง ไม่มีการรั่วไหลและปริมาตรน้ำที่ผ่านการวัดทั้งหมดด้วยมาตรวัดได้ไหลเข้าสู่ถังทั้งหมด

การเติมน้ำเข้าสู่ถังสามารถกระทำได้ 2 แบบด้วยกันคือการเติมเข้าทางด้านล่างของถังบรรจุของเหลวในแนวนอน (bottom filling) และการเติมเข้าทางด้านบนของถังบรรจุของเหลวในแนวนอน (top filling) พบว่าการเติมเข้าทางด้านล่างของถัง (bottom filling) มีข้อดีมากเนื่องจากหลังจากเติมน้ำเข้าถังแล้วระดับน้ำภายในถังสามารถกลับคืนสู่สภาพนิ่งได้อย่างรวดเร็วทำให้ผลการ dipping ระดับความสูงของเหลวภายในถังให้ผลแม่นยำ กว่าแบบการเติมเข้าทางด้านบนของถัง (top filling) เนื่องจากหากเติมน้ำด้วยวิธี top filling ต้องรอคอยด้วยระยะเวลานานพอสมควรจนกว่าระดับน้ำภายในถังจะนิ่งทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดถังบรรจุของเหลวในแนวนอน อย่างไรก็ตาม

bottom filling ก็มีข้อเสียเช่นกัน นั้นก็คือจะมีแรงดันต้านกลับ (back pressure) ดันกลับมายังตัวมาตรวัดแบบมาตรา (หากใช้แบบมาตรา) เมื่อระดับน้ำภายในถังบรรจุของเหลวในแนวนอนมีระดับสูงขึ้น สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสึกของระดับน้ำภายในถัง (h) กับความดันที่เปลี่ยนแปลงตาม (P) ดังสมการข้างล่าง

$$P = \rho gh$$

สำหรับกรณีที่ใช้มาตรวัดเป็นแบบมาตรานั้น การเติมของเหลวเข้าสู่ถังบรรจุของเหลวในแนวนอนผ่านมาตรวัดแบบมาตราต้องดำเนินการด้วยการบรรจุของเหลวด้วยอัตราการไหลที่คงที่เท่ากันทุกๆครั้ง ที่แต่ละปริมาตรดังในตารางขั้นตอนการเติมของเหลว (Filling step schedule) หนึ่งๆ ทั้งนี้เพื่อสามารถใช้ ค่าผลผิดมาตรวัด (meter error) ของมาตรวัดแบบมาตราด้วยค่าคงที่ตลอดช่วงการคำนวณปริมาตรและระดับความสูงของน้ำภายในถัง หากมาตรวัดไม่มีส่วนแสดงค่าอัตราการไหลสามารถใช้วิธีการง่ายๆที่พอจะประมาณให้มาตรวัดวัดน้ำด้วยอัตราการไหลคงที่นั้นก็คือจับเวลาเทียบกับปริมาตรที่มาตราวัดวัดได้ เช่น 15 ลิตร/30 วินาที = 30 ลิตร/นาที เป็นต้น ดูรูปที่ 28 เป็นการจัดเรียงอุปกรณ์ที่จำเป็นและสำคัญในการสอบเทียบถังบรรจุของเหลวในแนวนอนด้วยแบบ top filling

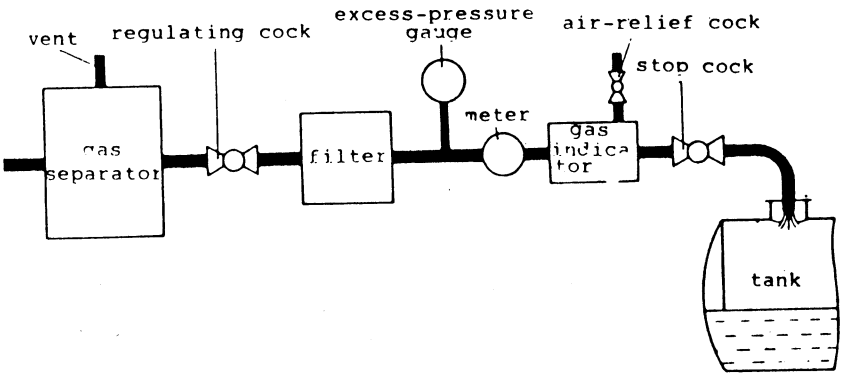


Fig.
Metering equipment for wet calibration

รูปที่ 28 การจัดเรียงอุปกรณ์รวมทั้งมาตรวัดแบบมาตราเพื่อสอบเทียบถังบรรจุของเหลวในแนวนอน แบบ top filling

ค่าที่ยอมรับได้สำหรับค่าผลผิดของส่วนแสดงค่าของมาตรวัดแบบมาตราในการสอบเทียบถังบรรจุของเหลวในแนวนอนด้วยการสอบเทียบแบบเปียก (Allowance for the error of indication of the meter in wet calibration)

ตามที่ได้รู้จากบทที่ผ่านมาแล้วว่าส่วนแสดงค่าของมาตรวัดหรือมาตรวัดแบบมาตราเองมีผลผิด (meter error) เช่นกันดังสมการ

$$\%\text{Meter Error}(@T_0, P_{atm}) = \frac{V_{0m} - V_{0P}}{V_{0P}} \times 100\%$$

$$= \frac{V_{mr} - (V_{Pr} \times C_{tsP})}{(V_{Pr} \times C_{tsP})} \times 100\% \leq \pm 0.5\%$$

ดังนั้นในการที่จะได้ปริมาตรที่เติมลงไปในแต่ละครั้ง (filling step volume) ถูกต้องตามความต้องการของตารางขั้นตอนการเติมของเหลว (Filling step schedule) การปิด-เปิดวาล์วเมื่อมาตรวัดแสดงปริมาตรสอดคล้องกับปริมาตรที่ถูกต้องกับ filling step volume ก็เป็นเรื่องที่ต้องให้ความใส่ใจเนื่องจากมีผลต่อผลผิดของการสอบเทียบถังบรรจุของเหลวในแนวนอนด้วยเช่นกัน การที่จะทราบค่าปริมาตรของส่วนแสดงค่าของมาตรวัดจริงๆ สอดคล้องกับ filling step volume สามารถกระทำได้ 2 วิธีคือ

(ก) การแสดงค่าปริมาตรล่วงหน้าของมาตรวัดเมื่อเทียบกับปริมาตรที่เติมลงไปในแต่ละครั้ง (filling step volume;ΔV) หรือ ΔV_{err} เป็นไปตามสมการผลต่าง

$$\Delta V_{err} = \Delta V - K$$

หรือ

$$\Delta V = \Delta V_{err} + K$$

เมื่อตัวแปรแก้ไขค่าแสดงผลผิดการแสดงค่าปริมาตรล่วงหน้า K คือ

$$K = -\frac{\%\text{Meter error}}{100} \bullet \Delta V$$

(ข) การแสดงค่าปริมาตรล่วงหน้าของมาตรวัดเมื่อเทียบกับปริมาตรที่เติมลงไปในแต่ละครั้ง (filling step volume;ΔV) หรือ ΔV_{err} เป็นไปตามสมการผลคูณ

$$\Delta V_{err} = \Delta V \bullet F$$

หรือ

$$\Delta V = \frac{\Delta V_{err}}{F}$$

เมื่อตัวแปรแก้ไขค่าแสดงผลผิดการแสดงค่าปริมาตรล่วงหน้า F คือ

$$F = \frac{\%\text{Meter error}}{100} + 1$$

ตัวอย่าง 6.1 การคำนวณหาค่าที่มาตรวัดแสดงค่าจริงทั้งในกรณีที่ ขั้นหมายมาตราบน Dip-stick แสดงเป็นขั้นหมายมาตราในรูปของปริมาตร (scale interval of volume graduation) และแสดงเป็นขั้นหมายมาตราในรูปของระยะห่างระหว่างขั้นหมายมาตรา (scale interval of length graduation) เมื่อให้มาตรวัดวัดน้ำแบบมาตราวัดปริมาตรด้วยอัตราการไหลคงที่และมี % meter error เท่ากับ −0.25%

Filling	Filling step Volume	Correction; K $K = \frac{\%Metererror}{100} \bullet \Delta V$	Advance of the indication $\Delta V_{err} = \Delta V - K$	Actual reading of the meter
V; Liters	ΔV; Liters	K; Liters	ΔV_{err}; Liters	**Liters**
0				**0.00**
	200	+0.5	199.5	
200				**199.5**
	200	+0.5	199.5	
400				**399.0**
	200	+0.5	199.5	
600				**598.5**
	400	+1.0	399.0	
1,000				**997.5**
	400	+1.0	399.0	
1,400				**1396.5**
	400	+1.0	399.0	
1,800				**1795.5**

Filling	Filling step Volume	Correction; K $F = \frac{\%Meter\ error}{100} + 1$	Advance of the indication $\Delta V_{err} = \Delta V \bullet F$	Actual reading of the meter
V; Liters	ΔV; Liters	F; Liters	ΔV_{err}; Liters	**Liters**
0				**0.00**
	200	0.9975	199.5	
200				**199.5**
	200	0.9975	199.5	
400				**399.0**
	200	0.9975	199.5	
600				**598.5**
	400	0.9975	399.0	
1,000				**997.5**
	400	0.9975	399.0	
1,400				**1396.5**
	400	0.9975	399.0	
1,800				**1795.5**

ANS

ตัวอย่าง 6.2 ในตัวอย่างนี้จะกลับกับตัวที่ผ่านมานั้นก็คือ อ่านค่าปริมาตรจากมาตรวัดโดยตรง แล้วย้อนหาก filling step volume ,เพื่อให้มาตรวัดแบบมาตราวัดปริมาตรน้ำด้วยอัตราการไหลคงที่ และมี % meter error เท่ากับ −0.25%

Filling Approx. Value	Advance of the indication $\Delta V_{err} = \Delta V - K$	Actual reading of the meter	Correction; K $K = \frac{\%\text{Meter error}}{100} \bullet \Delta V$	Filling step Volume $\Delta V = \Delta V_{err} + K$	Filling
Liters	ΔV_{err}; Liters	Liters	K; Liters	ΔV; Liters	V; Liters
0		0			**0.00**
	200		+0.5	200.5	
200		200			**200.5**
	200		+0.5	200.5	
400		400			**401.0**
	200		+0.5	200.5	
600		600			**601.5**
	200		+0.5	200.5	
800		800			**802.0**
	200		+0.5	200.5	
1,000		1,000			**1002.5**
	500		+1.2	501.2	
1,500		1,500			**1503.7**

ANS

จากตัวอย่างในการคำนวณจะเห็นได้ว่าปริมาตรที่เพิ่มขึ้น/ลดลง เนื่องจากผลผิดของมาตรวัดมีค่าน้อยมาก ต่างจากปริมาตรที่เติมลงไปในแต่ละครั้ง (filling step volume; ΔV) น้อยมาก ในทางปฏิบัติหากมาตรวัดอยู่ในชั้นความเที่ยง class 0.5, OIML R117 แล้วก็ถือว่าน่าจะยอมรับได้ โดยไม่ต้องทำการแก้ไขค่าผลผิดของส่วนแสดงค่าของมาตรวัดแบบมาตรานั้นๆ

การหาระดับของเหลวภายในถังบรรจุของเหลวในแนวนอน (Determination of the filling level; Dipping)

หลังจากเติมน้ำเข้าสู่ถังบรรจุของเหลวในแนวนอนครบตามปริมาตรที่กำหนดไว้ในแต่ละครั้ง (filling step volume) จากนั้นรอคอยด้วยระยะเวลาช่วงหนึ่ง (ควรเป็นช่วงระยะเวลาเท่ากันหรือใกล้เคียงกัน แต่ละการวัดปริมาตร filling step volume) จนมั่นใจว่าระดับน้ำภายในถังนิ่งแล้ว จึงทำการวัดระดับความสูงของน้ำภายในถัง หากเครื่องมือที่ใช้ในการวัดระดับความสูงของน้ำ ได้แก่ dipsticks หรือ dipping tapes แต่เนื่องจากเราไม่สามารถเข้าไปในถังบรรจุของเหลวในแนวนอนเพื่ออ่านระดับน้ำจาก dipsticks หรือ dipping tapes ได้โดยตรง อีกทั้งน้ำก็ไม่ทิ้งร่องรอยหรือคราบ

ไว้บนเครื่องวัดระดับความสูงดังกล่าว ดังนั้นจำเป็นต้องหาเทคนิคเข้าช่วยเพื่อให้สามารถแยกแยะแนวระดับความสูงของน้ำที่ปรากฏอยู่บนเครื่องมือวัดระดับความสูงดังกล่าว ซึ่งมีเทคนิคหลายวิธีการด้วยกัน เช่น ใช้น้ำยาทาบน dipsticks หรือ dipping tapes บริเวณที่คาดหรือประมาณว่าระดับน้ำควรอยู่ ณ บริเวณความสูงนั้นช่วงหนึ่ง น้ำยาดังกล่าวจะทำปฏิกริยากับน้ำและเปลี่ยนสีอย่างเห็นได้ชัดส่งผลให้เราสามารถจำแนกแนวรอยต่อระหว่างน้ำกับอากาศหลังจากดึงเครื่องมือวัดระดับความสูงนั้นขึ้นมาเราก็จะทราบระดับความสูงของน้ำภายในถังบรรจุของเหลวในแนวนอนได้ หรืออาจใช้วิธีการง่ายๆและได้ผลไม่ต่างกันมากนักอีกทั้งเป็นการประหยัดไม่ต้องซื้อน้ำยาดังกล่าวที่มีราคาค่อนข้างแพงเพียงแต่ใช้สบู่อาบน้ำชนิดก้อนทาบางๆบน dipsticks หรือ dipping tapes บริเวณที่สบู่โดนน้ำจะมีรอยเคลือบของสบู่จางลงไปอย่างเห็นได้ชัด

วิธีการ Dipping

1) กำหนดตำแหน่งที่จะหย่อน dipsticks หรือ dipping tapes ซึ่งต้องเป็นตำแหน่งที่มั่นคงแข็งแรงไม่เปลี่ยนแปลง เรียกเป็นตำแหน่งอ้างอิง (reference position) ตำแหน่งดังกล่าวนี้จะถูกใช้เป็นตำแหน่งในการวัดระดับของน้ำภายในถังทุกๆครั้งในระหว่างทำการสอบเทียบ พร้อมกันนั้นให้ยึดเอาตำแหน่งอ้างอิงนั้นเพื่อหาระดับความสูงอ้างอิง (reference height) ควบคู่กันอีกด้วย สมมุติให้ Reference height เท่ากับ 1,380 มม.
2) ทาน้ำยาหรือสบู่บน dipsticks หรือ dipping tapes บริเวณที่พอประมาณได้ว่าระดับความสูงของน้ำควรอยู่ที่บริเวณดังกล่าว
3) นำ dipsticks หรือ dipping tapes หย่อนลงในถังบรรจุของเหลวในแนวนอนหลังจากปล่อยน้ำเข้าถังตาม filling step schedule เป็นเวลาช่วงครู่ก่อนทำการ dip จริง แต่ต้องจัดให้ dipsticks หรือ dipping tapes อยู่ในระดับที่สูงกว่าระดับความสูงน้ำจริงๆ โดยประมาณ 1 เซนติเมตร และค่าเริ่มต้นเท่ากับ "0" ให้หันเข้าภายในถัง ตำแหน่งก้นถัง
4) หลังจากนั้นค่อยๆ ปล่อย dipsticks หรือ dipping tapes ลงจนได้ระดับเท่ากับ ความสูงอ้างอิง (reference height) ในที่นี้ให้มีค่าเท่ากับ 1,380 มม. จากนั้นให้รีบยก dipsticks หรือ dipping tapes ขึ้นทันทีอย่างรวดเร็ว
5) ทำการ dip ระดับความสูงของน้ำซ้ำกันอย่างน้อย 3 ครั้งในแต่ละค่าระดับความสูงค่าหนึ่ง ในกรณีที่ใช้เครื่องวัดระดับความสูงด้วย dipsticks หรือ dipping tapes ทั้งนี้ผลการวัดระดับความสูงต้องต่างกันไม่เกิน 1 มิลลิเมตร หากผลต่างกันเกินกว่า 1 มิลลิเมตร ให้ทำการวัดใหม่แต่ต้องรอจนระดับของน้ำภายในถังนิ่งจริง ส่วนในกรณีที่เป็น standpipe and scale สามารถอ่านค่าระดับความสูงได้เลย
6) ในกรณีที่เป็น dipstick ที่ไม่มี scale ให้รีบทำการวัดระยะห่างระหว่างรอยต่อของน้ำกับตำแหน่งระนาบอ้างอิง (reference plan) ของ dipstick นั้น โดยตำแหน่งระนาบอ้างอิง (reference plan) ของ dipstick and scale ดังแสดงในรูปที่ 3

7) เพื่อลดความผิดพลาด เมื่อทราบค่าระยะความสูงของน้ำ ให้รีบดำเนินการคำนวณผลต่างของความสูงของแต่ละ filling step และความยาวของค่าขั้นหมายมาตรา (scale division) หรือ l/mm

8) ในกรณีที่ไม่สามารถดำเนินการสอบเทียบหรือตรวจสอบให้คำรับรอง ถังบรรจุของเหลวในแนวนอนให้แล้วเสร็จด้วยระยะเวลาติดต่อกัน ก่อนที่จะหยุดดำเนินการและก่อนที่จะเริ่มดำเนินการใหม่ให้ทำการวัดระดับความสูงของน้ำอย่างน้อย 3 ครั้ง เพื่อเปรียบเทียบผลความสูง หากต่างกันเกิน 1 มิลลิเมตร ให้ทำใหม่

ขั้นตอนที่ 7. รายงานผลการทดสอบและผลการวัด (Measurement results)

7.1) Test report (measurement record) การบันทึกผลการทดสอบ นอกจากรายละเอียดเกี่ยวกับ ถังบรรจุของเหลวในแนวนอนแล้ว ข้อมูลที่มีความสำคัญต่อการดำเนินงานได้อย่างถูกต้องเหมาะสมต้องทราบถึง

(1) ชนิดของเหลวที่ใช้เป็นตัวกลางสอบเทียบ และอุณหภูมิของของเหลวนั้นๆ

(2) แบบมาตราที่เลือกใช้ ชุดมาตรวัดแบบมาตรา ซึ่งควรครอบคลุมข้อมูลอัตราการไหล, ความดัน และผลผิดของมาตรวัด

(3) ชนิดเครื่องวัดระดับของเหลว เช่น dipsticks หรือ standpipe

(4) ชนิดของขั้นหมายมาตราและค่าขั้นหมายมาตรา (scale interval)

(5) ตำแหน่งของ sum level และ upper boundary of measuring space

(6) เครื่องมือและอุปกรณ์ซึ่งติดตั้งถาวรกับถังและอาจมีอิทธิพลต่อการวัดระดับ

(7) ระยะและระดับการติดตั้งตลอดจนอุปกรณ์ที่สำคัญประจำถังบรรจุของเหลวในแนวนอน จัดทำในรูปแบบสเก็ต ดังแสดงไว้ในรูปที่ 29 และ รูปที่ 30

(8) ระยะเวลาที่ถูกขัดจังหวะและหยุดทำงานในแต่ละช่วง

การปัดค่าทศนิยม

การบันทึกผลการทดสอบ นอกจากบันทึกค่าปริมาตรจาก filling step schedule แล้วค่าปริมาตรที่วัดได้จริงจากมาตรวัดก็ต้องบันทึกด้วย การปัดค่าทศนิยมและเศษส่วนต้องเป็นไปตามเงื่อนไขดังนี้

- การบันทึกค่าความสูงของระดับของเหลว ซึ่งวัดด้วย dipstick, dipping tape หรือ scale จะต้องปัดค่าให้ลงตัวที่ 0.5 มม.
- การบันทึกค่า l/mm จะปัดทศนิยมให้มี 2 ตำแหน่งหลังจุดทศนิยม

ตัวอย่าง 6.3 ถังบรรจุของเหลวในแนวนอนซึ่งมีปิดหัวปิดท้ายด้วยส่วนของทรงกลม หรือคล้ายกับแคปซูล บน nameplate บ่งบอกว่ามีขนาดพิกัดความจุ (tank volume) เท่ากับ 50 m^3 มีค่าเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน (internal diameter; D) เท่ากับ 2.5 m และความยาวถังเฉลี่ย (mean tank length; L) เท่ากับ 10.2 m

ก.) ทำขั้นหมายมาตราบน Dip-stickโดยให้แสดงเป็นขั้นหมายมาตราในรูปของปริมาตร (scale interval of volume graduation)

1) หาค่า V_{min} ของถังมีค่าเท่าใด

$$V_{min} = D \bullet L \bullet h$$

จากข้อกำหนดให้ smallest measurable height (h) = 200 mm.
ดังนั้นค่า V_{min}

$$\begin{aligned} V_{min} &= (250 \text{ cm.}) \bullet (1020 \text{ cm.}) \bullet (20 \text{ cm}) \\ &= 5{,}100{,}000 \text{ cm}^3 \\ &= 5{,}100 \text{ l.} \end{aligned}$$

2) คำนวณหา ค่าขั้นหมายมาตรา (scale interval) จากการคำนวณดังสมการข้างล่าง หากเราทราบค่าเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน (internal diameter; D) และความยาวถังเฉลี่ย (mean tank length; L) ของถังบรรจุของเหลวในแนวนอน เพื่อกำหนดปริมาตรของเหลวก่อนเทใส่หรือปล่อยลงในถังบรรจุของเหลวในแนวนอนในแต่ละครั้งในขั้นตอนแรก

$$0.004 \text{ m.} \bullet D \bullet L \leq S\ (m^3) \leq 0.01 \text{ m.} \bullet D \bullet L$$

$$0.004 \text{ m.} \bullet (2.5 \text{ m.}) \bullet (10.2 \text{ m.}) \leq S\ (m^3) \leq 0.01 \text{ m.} \bullet (2.5 \text{ m.}) \bullet (10.2 \text{ m.})$$

$$102 \text{ l} \leq S\ (m^3) \leq 255 \text{ l.}$$

เลือก S = 200 l

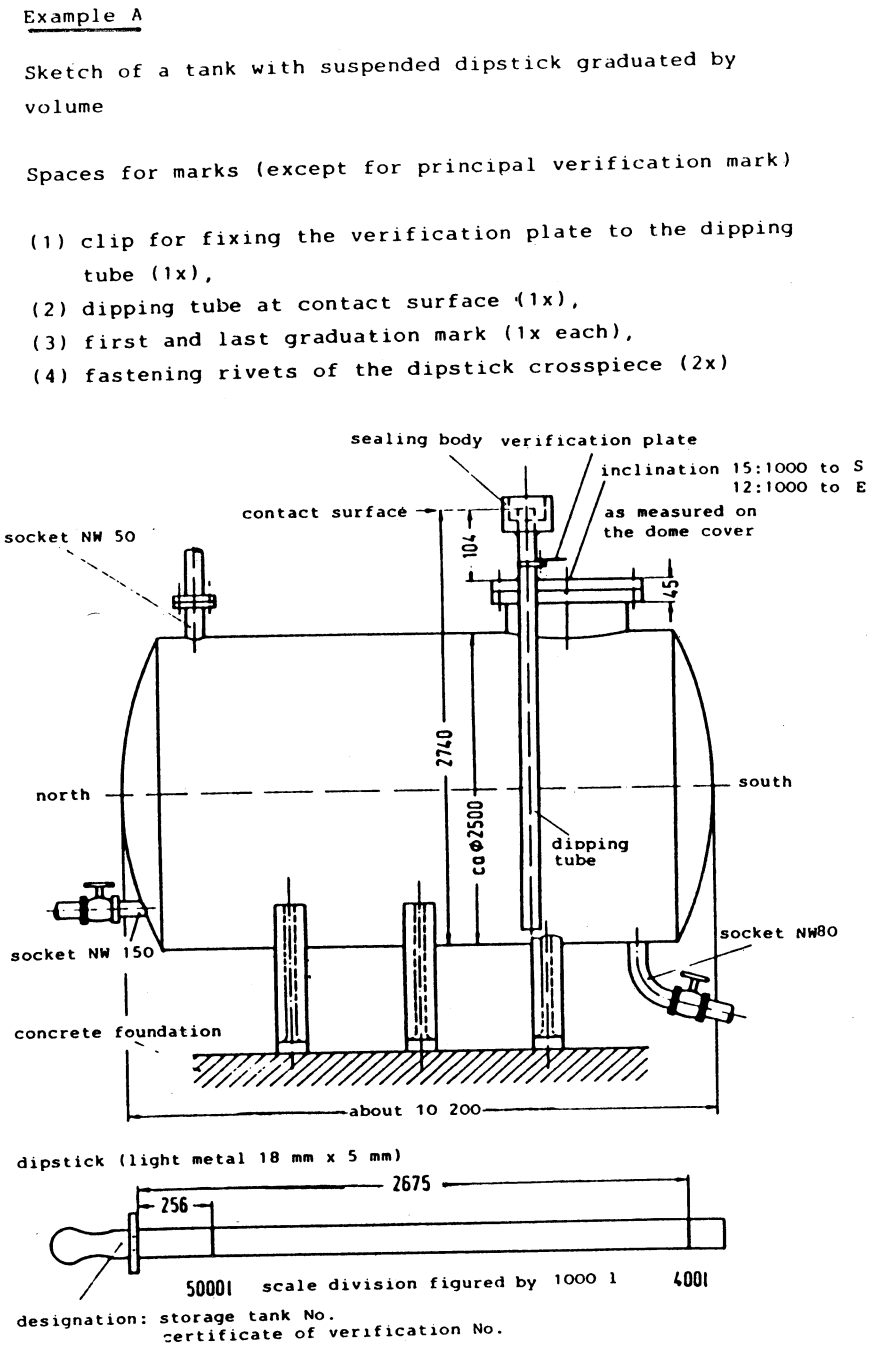
Graduation of a suspended dipstick by volume: 50,000 L

	Tank volume	V_T = 50 m^3		
	D = 2.5 m	**L** = 10.2 m	V_{min} = 5100 l	**S** = 200 l
Filling	Filling step volume	Indication of dipstick	Difference in indication	Scale interval; S
V; Liters	ΔV; Liters	H; mm.	ΔH; mm.	**ΔH/ΔV; mm.**
0		-		
	200			
200		-		
	200			
400		2675.0		
	200		23.5	23.50
600		2651.5		
	400		42.5	21.25
1,000		2609.0		
	400		34.0	17.00
1,400		2575.0		
	400		32.0	16.00
1,800		2543.0		
	400		28.5	14.25
2,200		2514.5		
	400		28.0	14.00
2,600		2486.5		
	400		26.5	13.25
3,000		2460.0		
	1,000		61.0	12.20
4,000		2399.0		
	1,000		56.5	11.30
5,000		2342.5		

Etc. up to

49,600		309.0		
	200		23.0	23.00
49,800		286.0		
	200		30.0	30.00
50,000		256.0		

ทำการสเก็ตภาพของ ถังบรรจุของเหลวในแนวนอนตลอดจนอุปกรณ์ติดตั้งที่สำคัญ แนบกับใบรายงายการตรวจสอบให้คำรับรอง ดังแสดงในรูปที่ 29



รูปที่ 29 การ sketch ภาพถังบรรจุของเหลวในแนวนอนมีขั้นหมายมาตราในรูปของปริมาตรในส่วนที่สำคัญๆเพื่อเก็บประวัติไว้พร้อมแนบไว้ในรายงาน

ข.) ทำขั้นหมายมาตราบน **Dip-stick**โดยให้แสดงเป็นขั้นหมายมาตราในรูปของระยะห่างระหว่างขั้นหมายมาตรา (**scale interval of length graduation**)

Graduation of a standing dipstick by length: 50,000 L

	Tank volume $V = 50\ m^3$			
	$D = 2.5\ m$	$L = 10.2\ m$	$V_{min} = 5100\ l$	$S = 200\ l$	
Filling	Filling step volume	Indication of dipstick	Difference in indication	Liter per millimeter value
V; Liters	ΔV; Liters	H; mm.	ΔH; mm.	**ΔV/ΔH; l/mm.**
0		-		
	200			
200		-		
	200			
400		25.5		
	200		23.0	8.70
600		48.5		
	200		22.0	9.09
800		70.5		
	200		21.0	9.52
1,000		91.5		
	500		41.5	12.05
1,500		133.0		
	500		38.0	13.16
2,000		171.0		
	500		35.5	14.08
2,500		206.5		
	1,000		63.5	15.75
3,500		270.0		
	1,000		59.0	16.95
4,500		329.0		
	1,000		56.5	17.70
5,500		385.5		

Etc. up to

49,600		2391.0		
	200		23.0	8.70
49,800		2414.0		
	200		30.0	6.67
50,000		2444.0		

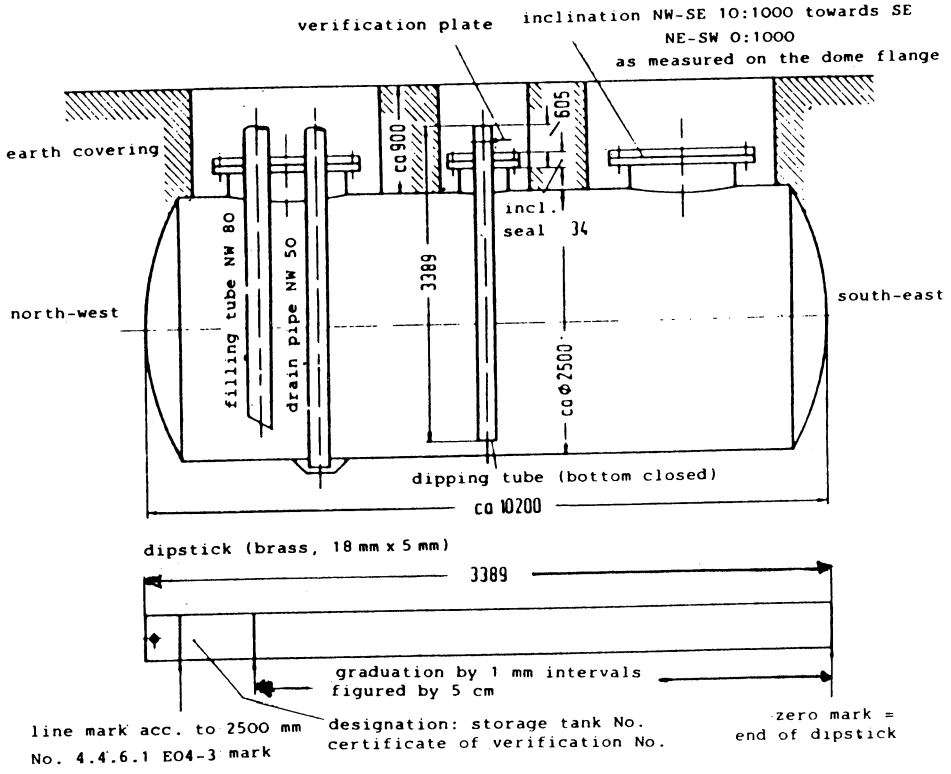
ทำการเสก็ตภาพของ ถังบรรจุของเหลวในแนวนอนตลอดจนอุปกรณ์ติดตั้งที่สำคัญ แนบกับใบรายงายการตรวจสอบให้คำรับรอง ดังแสดงในรูปที่ 30

Example B

Sketch of a tank with dipstick graduated by length

Spaces for marks (except for principal verification mark)

(1) clip for fixing the verification plate to the dipping tube (2x)
(2) upper edge of dipping tube (1x),
(3) first and last graduation mark (1x each),
(4) line mark according to No. 4.4.6.1 EO 4-3 (1x)



รูปที่ 30 การ sketch ภาพถังบรรจุของเหลวในแนวนอนมีขั้นหมายมาตราในรูปของระยะห่างระหว่างขั้นหมายมาตรา ในส่วนที่สำคัญๆเพื่อเก็บประวัติไว้พร้อมแนบไว้ในรายงาน

บทที่ 7

การนำเสนอข้อมูลต่อเนื่อง

Data smoothing of measured values

การสอบเทียบแบบเปียก (Wet calibration)

ขั้นตอนที่ 8. การนำเสนอข้อมูลต่อเนื่อง (Data smoothing of measured values)

หลังจากได้ผลการวัดและความสัมพันธ์ของระดับความสูงของเหลวด้วยค่าสอดคล้องกับปริมาตรที่ระดับความสูงดังกล่าวภายในถังบรรจุของเหลวในแนวนอน แต่ปรากฏว่าข้อมูลจากการสอบเทียบไม่ใช่ข้อมูลที่ให้ความสัมพันธ์ของระดับของเหลวกับปริมาตรอย่างต่อเนื่อง เป็นเพียงข้อมูลที่ระดับค่าความสูงเป็นช่วงๆ ดังนั้นจึงไม่สามารถบ่งบอกค่าปริมาตรที่ระดับความสูงซึ่งบังเอิญไปตกอยู่ระหว่างข้อมูลค่าความสูง 2 ค่า การที่จะสามารถทราบปริมาตรที่ค่าความสูงดังกล่าวนั้นจำเป็นต้องทำการ interpolate ระหว่างข้อมูลของความสูงของเหลวระหว่างระดับความสูงที่สูงกว่าและต่ำกว่าค่าความสูงที่ต้องการ ดังนั้นจำเป็นอย่างยิ่งที่ช่วยลดข้อผิดพลาดของการ interpolate ข้อมูลดังกล่าวด้วยการจัดเชื่อมต่อช่องว่างระหว่างค่าระดับความสูงแต่ละค่าด้วยการทำ data fitting หรือ data smoothing หรือ data modeling

นอกจากนี้ภายใต้ผลการสอบเทียบถังบรรจุของเหลวในแนวนอนนั้นก็มีผลผิดประกอบค่าที่วัดไม่ว่าเป็นผลผิด random error และ systematic error (หรือ bias error) ซึ่งเป็นเรื่องที่หลีกเลี่ยงไม่ได้หากเรายังคงต้องทำการวัดหรือหาค่าปริมาณทางด้านฟิสิกส์

ในการหาค่าปริมาณทางด้านฟิสิกส์ปกติแล้วเราไม่สามารถหาค่าดังกล่าวได้โดยตรงหรือวัดได้โดยตรง ในขณะเดียวกันก็ยังมีปัจจัยหรืออิทธิพลที่มีผลต่อค่าปริมาณทางฟิสิกส์ดังกล่าวด้วยเช่นกัน ซึ่งปกติค่าปริมาณฟิสิกส์ใดๆ เช่น ปริมาตร หรือค่าความสูง ต่างมีตัวแปรที่เกี่ยวข้องอยู่เสมอ เช่นการหาค่าปริมาตร จากสูตรง่ายๆพื้นฐาน

$$V = \frac{m}{\rho}$$

ดังนั้นจะได้ว่า

$$V = f(m, \rho,)$$

ในขณะเดียวกันความหนาแน่นยังขึ้นอยู่กับตัวแปรอื่นๆด้วยเช่นกัน

$$\rho = f(\mu, T, P, ...)$$

ซึ่งในการวัดตัวแปรแต่ละค่าต่างก็มีผลผิดแฝงเข้ามาเช่นกัน การแพร่ขยายตัวของผลผิด (error propagation) เนื่องจากการวัดหรือหาค่าปริมาณทางด้านฟิสิกส์ซึ่งเป็นตัวแปรที่เกี่ยวข้อง

ด้วยเหตุนี้การจัดการกับข้อมูลที่ต้องนำมาแสดงในรูปของกราฟเพื่อสามารถนำไปใช้งานในทางปฏิบัติได้อย่างเหมาะสม จึงช่วยได้มาก

วิธีการนำเสนอข้อมูลต่อเนื่อง

ในการนำเสนอข้อมูลการสอบเทียบเพื่อแสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าระดับความสูงของเหลวที่สอดคล้องกับปริมาตรของเหลวภายในถังบรรจุของเหลวในแนวนอนซึ่งได้จากการสอบเทียบแบบเปียก โดยนำเสนอในรูปแบบของกราฟความสัมพันธ์ของระดับความสูงของเหลวที่วัดได้ภายในถังกับปริมาตรภายในถังเพื่อความสะดวกในการใช้งาน นั้นมีด้วยกัน 3 วิธีการคือ

1. Least Square Fit (GauBian Method)
2. Spline Function
3. Manual (Trial and Error) Method

ย่อมแน่นอนละที่แต่ละวิธีการนั้นมีทั้งข้อดี หากพูดในแง่ของความถูกต้องและน่าเชื่อถือและได้ math model ที่สามารถนำไปใช้งานได้สะดวกในอนาคตแล้ว Least Square Fit (GauBian Method) นับว่าเป็นวิธีการที่ดีที่สุดในที่นี้ แต่เนื่องจากการที่สามารถใช้วิธีการนี้ได้นั้นจำเป็นต้องการบุคลที่มีความรู้ในทางคณิตศาสตร์ที่พื้นฐานที่ดีอยู่พอสมควรเนื่องจากต้องทำการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้มาว่าควรจะมีความสัมพันธ์ในรูปของสมการทางคณิตศาสตร์ ในเบื้องต้น จากนั้นก็จะต้องดำเนินการตามวิธีการของ Least Square Fit (GauBian Method) ต่อไป นอกจากนี้ยังมีข้อดีที่มี mode ทดสอบสมการจนกว่าถูกต้องหรือเหมาะสมกับข้อมูลด้วย

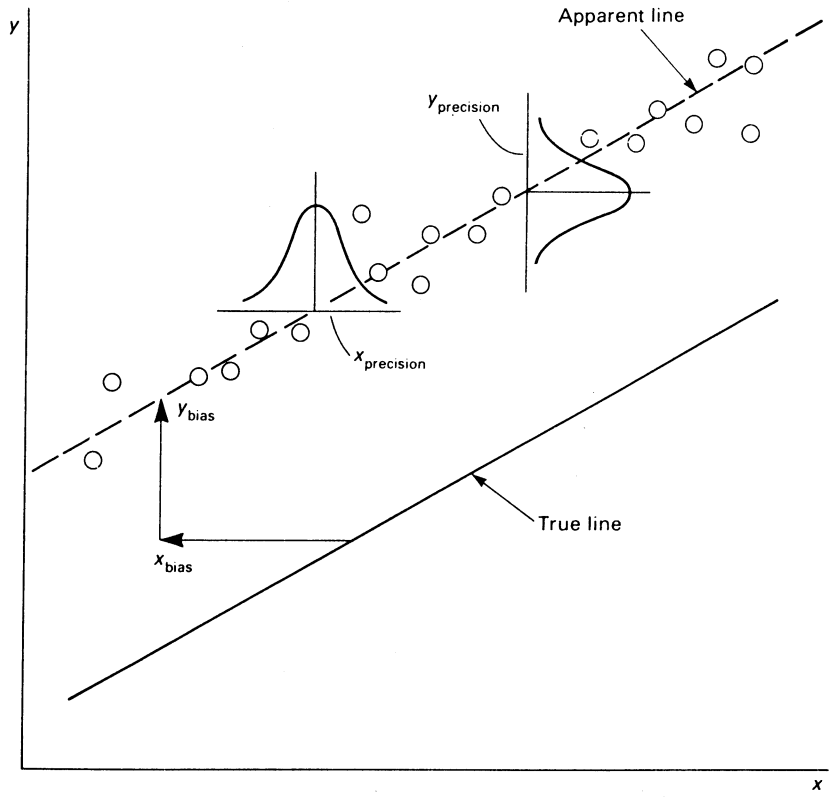
แต่ถ้าหากใช้ software ซึ่งใช้ Spline Function ก็สามารถให้ผลได้ดีเช่นกันแต่จำเป็นต้องใช้วิธีการที่เหมาะสมและมีประสบการณ์ในการปรับค่า smoothing factor; S เพื่อปรับ curve ของกราฟให้ได้ดีและผ่านข้อมูลทุกจุดและให้ใกล้เคียงความเป็นจริงมากที่สุด ดังนั้นหากปรับค่า smoothing factor; S ไม่ถูกต้องอาจนำไปสู่ความผิดพลาดที่เกินความเป็นจริงได้มากที่เดียว อีกทั้งไม่มี mode ทดสอบตัวกราฟ

A. Least Square Fit (GauBian Method)

จากรูปที่ 31 จะเห็นได้ว่าเป็นการลากเส้นผ่านข้อมูลจากผลการทดลอง ซึ่งอาจรวมเอาทั้ง Systematic error (หรือ bias error) และ precision error เนื่องจาก systematic error (หรือ bias error) จะมีแนวโน้มทำให้ข้อมูลทั้งหมดผิดพลาดและขยับห่างจาก true line หรือเส้นกราฟที่ถูกต้องจริงๆ ในบางครั้งอาจถึงเปลี่ยนแปลงค่าความชันเส้นกราฟด้วย ในขณะที่ precision error จะเป็นสาเหตุทำให้ข้อมูลจากผลการทดลองกระจัดกระจายรอบๆ true line หรือเส้นกราฟที่ถูกต้องจริงๆ ไม่ว่าค่า y และ ค่า x ต่างก็อาจมีผลผิดทั้งที่เป็น systematic error (หรือ bias error) และ precision error ด้วยเหตุนี้วัตถุประสงค์ของการลากเส้นกราฟให้เหมาะสมกับข้อมูลที่ได้จากการทดลอง (curve fitting) นั้นจึงทำเพื่อหาค่าเฉลี่ยของ precision error ของทั้งค่า y และ ค่า x ด้วยการลากเส้นผ่านกลุ่มกระจัดกระจายข้อมูลที่ได้จากการทดลองดังกล่าว เรียกว่า “Apparent line”

นั้นเอง ด้วยเหตุนี้ curve fitting จึงเป็นเรื่องของการวิเคราะห์ทางสถิติของ precision error แต่ไม่มีผลทำให้ลดหรือปรับค่าแก้ไข systematic error (หรือ bias error) ได้แม้แต่อย่างใด การที่จะทำ curve fitting ของ systematic error (หรือ bias error) จึงต้องใช้วิธีการอื่นๆ ซึ่งไม่ขอกล่าวในที่นี้

Figure Bias and precision error in line fitting



รูปที่ 31 รูปแสดงการ curve fitting ซึ่งมี systematic error หรือ bias error และ precision error ในวิธีการ Least Square fit

แต่สิ่งที่ต้องพึงระลึกเสมอว่าวิธีการ Least Square Fit จะใช้ได้ภายใต้เงื่อนไขที่ว่า เป็นการปรับวิเคราะห์ทางสถิติของ precision error ของค่าตัวแปร y_i เท่านั้น ด้วยความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรในรูปของสมการเส้นตรง $y(x) = a + bx$ โดย Least squares เป็นวิธีการตั้งสมมุติฐานว่าค่า x_i ไม่มีผลผิด (error-free) แม้แต่น้อย ดังนั้นผลของ curve fitting ด้วยการใช้วิธี Least Square Fit จะได้ผลที่แย่มากหาก x_i มีค่า precision error สูงมาก

ซึ่งในที่นี้ค่าตัวแปร y_i ก็คือค่าปริมาตรภายในถังบรรจุของเหลวในแนวนอน ในขณะที่ค่าตัวแปร x_i คือค่าผลการวัดระดับความสูงของเหลวภายในถัง ซึ่งถือว่าเป็นการวัดในมิติเดียว พอถือว่ามีค่าผลผิดน้อยมาก จึงสามารถใช้ Least Square Fit เพื่อในการ curve fitting ได้

สำหรับถังบรรจุของเหลวในแนวนอน (Horizontal storage tank) หรือ ถังบรรจุของเหลวซึ่งติดตั้งอยู่กับที่ในรูปทรงกระบอกในแนวนอน (Fixed storage tank in the form of horizontal cylinders) ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรบรรจุภายในถังกับระดับความสูงของเหลวภายในถังขึ้นอยู่กับรูปทรงของถัง พอจะแบ่งออกได้ 2 รูปทรงหลัก คือ

1. รูปทรงกระบอกในแนวนอนโดยหัวท้ายจะเป็นแผ่นเรียบ ดังในรูปที่ 23, Tank No 2 (20 m^3) ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรบรรจุภายในถังกับระดับความสูงของเหลวภายในถังมีความสัมพันธ์เป็นสมการเชิงเส้นตรง

$$F(x) = p_1 + p_2 x \qquad \text{"Straight-line relationship"}$$

การทำ curve fitting ด้วยการใช้วิธี Least Square Fit

- สมการเส้นตรง
$$y(x_i) = a + bx_i$$
- สมมุติฐานว่าค่า x_i ไม่มีผลผิด (error-free) แม้แต่น้อย
- เป็นการปรับวิเคราะห์ทางสถิติของ precision error ของค่าตัวแปร y_i เท่านั้น
- ข้อมูลจากผลการทดลอง N ชุด

หาสัมประสิทธิ์ a และ b

$$a = \frac{\sum y_i \sum x_i^2 - \sum x_i \sum x_i y_i}{n\sum x_i^2 - \left(\sum x_i\right)^2}$$

$$b = \frac{n\sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{n\sum x_i^2 - \left(\sum x_i\right)^2}$$

การหาค่า a และ b ก็เพื่อให้ค่าผลรวมของค่าเบี่ยงเบนยกกำลังสองของข้อมูล (the sum of the squared deviations of the data) จาก fitted line; S^2 มีค่าน้อยที่สุด ยิ่งเข้าใกล้ 0 แสดงว่าการทำ curve fitting มีความถูกต้องสูง

$$S^2 = \sum_{i=1}^{N}\left[y_i - y(x_i)\right]^2$$

นอกจากนี้ยังพบว่าได้มีตัวแปร correlation coefficient; r อีกตัวแปรที่ใช้แสดงความน่าเชื่อถือ (reliability) ของการทำ curve fitting เป็นดัชนีอีกตัวหนึ่ง

$$r^2 = \frac{\sum\left(y(x_i) - y_m\right)^2}{S^2 + \sum\left(y(x_i) - y_m\right)^2}$$

เมื่อ

$$y_m = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} y_i$$

หรือ

$$r^2 = b \cdot \frac{n\sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{n\sum y_i^2 - \left(\sum y_i\right)^2}$$

ทำ curve fitting มีความถูกต้องสูง ก็ต่อเมื่อ r^2 มีค่าเข้าใกล้ 1 แต่อย่างไร ก็ยังเป็นดัชนีที่ไม่ค่อยไวต่อผลการทำ curve fitting ว่าดีและแม่นยำมากเท่าใดนัก จึงได้มีอีกดัชนี

$$\frac{s_{y/x}}{s_{yy}} = \frac{\sqrt{\left(\frac{1}{(N-2)}\sum_{i=1}^{N}[y_i - y(x_i)]^2\right)}}{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N} y_i^2 - \frac{1}{N}\left(\sum_{i=1}^{N} y_i\right)^2}{N-1}}}$$

$$\frac{s_{y/x}}{s_{yy}} = \left(\frac{N-1}{N-2}\right)^{1/2} \left(1-r^2\right)^{1/2}$$

เมื่อ

$s_{y/x}$ คือ Standard error of the y-data about the fit

s_{yy} คือ Mean total variation

ทำ curve fitting มีความถูกต้องสูง ก็ต่อเมื่อ $s_{y/x} / s_{yy}$ มีค่าเข้าใกล้ 0 ยิ่งมากยิ่งดี หรือพูดอีกนัยหนึ่งว่า $(1-r^2)^{1/2}$ มีค่าเข้าใกล้ 0 แสดงว่าการทำ curve fitting มีความถูกต้องสูงได้เหมือนกัน

2. รูปทรงกระบอกในแนวนอนซึ่งมีปิดหัวปิดท้ายด้วยส่วนของทรงกลมหรือคล้ายกับแคปซูล ดังรูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรบรรจุภายในถังกับระดับความสูงของเหลวภายในถังไม่ได้มีความสัมพันธ์เป็นสมการเชิงเส้นตรงเสียทีเดียว คือจะมีความสัมพันธ์เป็นเชิงเส้นตรงในช่วงความสูงของระดับของเหลวบริเวณกลางถัง แต่บริเวณช่วงความสูงก้นถังและบริเวณช่วงความสูงใกล้เต็มถังนั้นความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรบรรจุภายในถังกับระดับความสูงของเหลวภายในถังไม่ได้มีความสัมพันธ์เป็นสมการเชิงเส้นตรง ทั้งนี้พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรบรรจุภายในถังกับระดับความสูงของเหลวภายในถังอยู่ในรูปแบบโมเดลทางคณิตศาสตร์ (Math model) ในรูปของสมการ

$$F(x) = p_1 + p_2 x + p_3 \sinh\left(\frac{x - p_4}{p_4}\right)$$

จึงจำเป็นต้องมีการประยุกต์ curve fitting ด้วยการใช้วิธี Least Square Fit คือ

$F_1(x) = p_1 + p_2 x$ "Straight-line relationship"

$F_2(x) = p_3 \sinh\left(\frac{x - p_4}{p_4}\right)$ "GauBian distribution"

หากทำ partial differentiation ฟังก์ชัน F(x) และต้องมีค่านั้นคือต้องไม่มีค่าเท่ากับ 0 ทุกเทอม จึงถือว่าเป็นฟังก์ชันที่เหมาะสมกับงานนี้

$$\frac{\partial F}{\partial p_i} \neq 0 \text{ ; Not all terms}$$

จากนั้นทำการหาค่าสัมประสิทธิ์ภายในฟังก์ชัน F(x) แล้วทำการปรับเปลี่ยนค่าสัมประสิทธิ์จนกระทั่งให้ค่า Chi-Squared (χ^2)-test มีค่าน้อยต่ำสุด ดังสมการข้างล่าง

$$\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{Y_i - F_i}{\Delta Y_i}\right)^2 = \chi^2 = \text{Minimum}$$

เมื่อ

N = จำนวนค่าที่วัดได้ หรือค่าระดับความสูงของเหลวที่วัดได้พร้อมปริมาตรที่วัดได้เป็นคู่ๆ 1 คู่ถือเป็น 1 ค่า

n = จำนวนสัมประสิทธิ์

Y_i = ค่าที่วัดได้ ในที่นี้คือค่าปริมาตรที่วัดได้

ΔY_i = Random error ของค่าที่วัดได้ ในที่นี้คือค่าปริมาตรที่วัดได้

F_i = ค่าของ model function

χ^2-test เหมาะสมกับข้อมูลจากผลการทดลองที่มีจำนวนมาก

B. Spline Function

ดูเหมือนจะเริ่มเป็นทางออกในการทำงานวิธีการหนึ่ง เนื่องจากเป็นการใช้ software สำเร็จรูป เพียงแต่อาจต้องอาศัยประสบการณ์ในการกำหนดค่าตัวแปรต่างๆให้เหมาะสม หลังจากนั้นก็ปล่อยให้เครื่องคอมพิวเตอร์และ software สำเร็จรูป ทำงานของเขาไป เราก็จะได้กราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรบรรจุภายในถังกับระดับความสูงของเหลวภายในถังออกมา

C. Manual (Trial and Error) Method

หากจำเป็นจริงๆ แล้วและไม่สามารถหา software ของ Spline Function หรือไม่เข้าใจการคำนวณคณิตศาสตร์ด้วยวิธี Least Square Fit (GauBian Method) การเลือกใช้วิธีการแบบ Manual (Trial and Error) Method เพื่อเติมข้อมูลในช่องว่างระหว่างค่าระดับความสูงของเหลวที่วัดได้ในแต่ละค่าก็ถือว่าพอยอมรับได้ แต่ทั้งนี้และทั้งนั้นต้องหาข้อยุติเสียก่อนระหว่างหน่วยงานที่เกี่ยวข้องตลอดจนเจ้าของถังบรรจุของเหลวในแนวนอนว่ายอมรับได้หรือไม่ เพื่อลดปัญหาและการเสียเวลา

ตัวอย่าง 7.1 ทำการสอบเทียบถังบรรจุของเหลวในแนวนอนขนาด 2,760 ลิตรด้วยวิธีการสอบเทียบแบบเปียก ด้วยแบบมาตรา oval meter ซึ่งมี Q_{max} = 35 l/min และ Q_{min} = 7 l/min ทำการสอบเทียบที่อัตราการไหลคงที่ที่ ประมาณ 35 l/min

1) แบบมาตร oval meter ได้รับสอบเทียบเรียบร้อยแล้ว ดังนั้นการสอบเทียบด้วยอัตราการไหลคงที่ 35 l/min ทำให้เราใช้ meter factor ด้วยค่าคงที่เท่ากันทุกครั้งในการเติมของเหลวเข้าถังบรรจุของเหลวในแนวนอนในแต่ละ filling step
2) บันทึกตำแหน่งติดตั้ง และการเอียงของถังว่ามีเท่าไรไปในทิศทางไหนบ้าง ทำการบันทึกผล โดยเราสามารถใช้บันทึกผลของความลาดเอียงเพื่อใช้ตรวจสอบตำแหน่งติดตั้งถังบรรจุของเหลวในแนวนอนเมื่อเวลาผ่านไปว่าความลาดเอียงของถังเปลี่ยนแปลงหรือไม่ เนื่องจากความลาดเอียงของถังหากเปลี่ยนแปลงไปจะทำให้ตารางสอบเทียบประจำถัง คลาดเคลื่อนไปด้วยเช่นกัน
3) ตรวจสอบตำแหน่งติดตั้งวาล์วตลอดจนหน้าแปลนต่างๆว่าปิดสนิท ดีหรือไม่ หากวาล์วหรือหน้าแปลนมีการรั่วซึม ต้องทำการซ่อมแซมให้เรียบร้อยเสียก่อน ทั้งนี้ให้ถือว่าการสอบเทียบเป็นขั้นตอนสุดท้ายหลังจากทำการสอบเทียบเสร็จถังบรรจุของเหลวในแนวนอนต้องสามารถใช้งานได้ทันที
4) จัดทำ filling steps ในที่นี้ผู้ประกอบการซึ่งเป็นเจ้าของแจ้งให้ทราบว่าปริมาตรการบรรจุประมาณ 2,760 ลิตร

	Filling steps		
	Volume in %	Volume in Liters	Filled volume in Liters
	0	0	0
1	0.5	13.8	13.8
2	0.5	13.8	27.6
3	1	27.6	55.2
4	1	27.6	82.8
5	1	27.6	110.4
6	1	27.6	138
7	2	55.2	193.2
8	2	55.2	248.4
9	2	55.2	303.6
10	2	55.2	358.8
11	2	55.2	414
12	5	138	552
13	5	138	690
14	5	138	828
15	10	276	1104
16	10	276	1380
17	10	276	1656
18	10	276	1932
19	5	138	2070
20	5	138	2208
21	5	138	2346
22	2	55.2	2401.2
23	2	55.2	2456.4
24	2	55.2	2511.6
25	2	55.2	2566.8

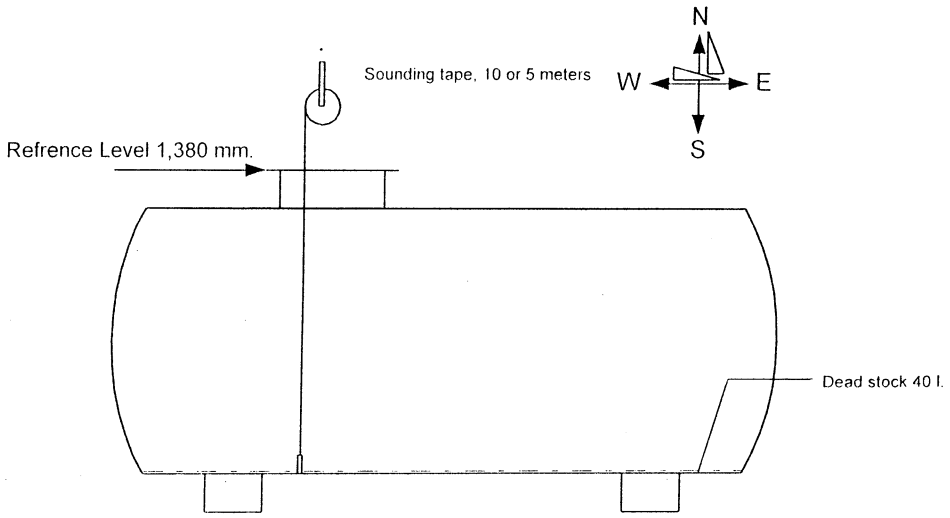
26	2	55.2	2622
27	1	27.6	2649.6
28	1	27.6	2677.2
29	1	27.6	2704.8
30	1	27.6	2732.4
31	0.5	13.8	2746.2
32	0.5	13.8	2760

ดูเหมือนว่าจะมีจำนวนของ filling step มากเกินไป อีกทั้งจำนวนปริมาตรที่เติมลงไม่เป็นจำนวนเต็ม ยากต่อการทำงานในภาคปฏิบัติดังนั้นเราจึงขอทำการปรับให้เหมาะสมกับการปฏิบัติงานใหม่เป็น ดังตารางข้างล่าง แต่อย่างไรก็ตามก็ยังคงอยู่ภายใต้เงื่อนไขของการจัดทำ filling step ที่กำหนดไว้

	Filling steps		
	Volume in Liters	Filled volume in Liters	Volume in %
	0	0	0.0
1	20	20	0.7
2	20	40	0.7
3	20	60	0.7
4	40	100	1.4
5	60	160	2.2
6	100	260	3.6
7	140	400	5.1
8	200	600	7.2
9	260	860	9.4
10	320	1180	11.6
11	400	1580	14.5
12	320	1900	11.6
13	260	2160	9.4
14	200	2360	7.2
15	140	2500	5.1
16	100	2600	3.6
17	60	2660	2.2
18	40	2700	1.4
19	20	2720	0.7
20	20	2740	0.7
21	20	2760	0.7

4) หา reference level ได้เท่ากับ 1,380 มม. บนหน้าแปลนของถังบรรจุของเหลวในแนวนอน

5) แต่พอเอาเข้าจริงๆ แล้วเนื่องจากถังบรรจุของเหลวในแนวนอนมีการติดตั้งเอียงและมี dead stock 40 l เพราะต้องทำการเติมน้ำเข้าถังเพื่อตรวจสอบว่าน้ำที่เติมเข้าไปได้ท่วมพื้นถังทั้งหมดไม่มีส่วนใดโผล่พ้นผิวน้ำเนื่องจากถังเอียง ดังนั้นจึงทำการปรับ filling step ใหม่และได้ผลการสอบเทียบเป็นดังนี้



Tank Capacity 2400 liters

รูปที่ 32 ภาพการปฏิบัติงานตรวจสอบให้คำรับรองถังบรรจุของเหลวในแนวนอน

				Reference Level		**1380 mm**
		Filling steps				
	Filled volume in Liters	Volume in Liters	Filling height In mm	Differences In mm	Liter/mm (l/mm)	Filling step volume in %
	0	0	Dead stock	Dead stock	-	0.0
1	20	20	Dead stock	Dead stock	-	0.7
2	40	20	29	29	1.4	0.7
3	60	20	45	16	1.3	0.7
4	100	40	71	26	1.5	1.4
5	160	60	105	34	1.8	2.2
6	260	100	168	63	1.6	3.6
7	400	140	236	68	2.1	5.1
8	600	200	319	83	2.4	7.2
9	860	260	417	98	2.7	9.4
10	1180	320	534	117	2.7	11.6
11	1580	400	675	141	2.8	14.5
12	1900	320	790	115	2.8	11.6

13	2160	260	894	104	2.5	9.4
14	2260	100	936	42	2.4	3.6
15	2320	60	964	28	2.1	2.2
16	2360	40	983	19	2.1	1.4
17	2380	20	992	9	2.2	0.7
18	2400	20	1001	9	2.2	0.7
	Full					

6) ทำ data smoothing ดังแสดงไว้ในตารางที่ 7.1 และรูปที่ 33

Horizontal cylindrical tank, 2400 l, measured values after step-wise filling

Volume [l]	Height [mm]
40	29
60	45
100	71
160	105
260	168
400	236
600	319
860	417
1180	534
1580	675
1900	790
2160	894
2260	936
2320	964
2360	983
2380	992
2400	1001

Horizontal cylindrical tank, values for the dip-stick of a tank of 2400 l
after data-smoothing by a spline function

Volume [l]	Height [mm]
40	29,82074
60	45,22196
80	57,90735
100	70,59274
120	82,66286
140	94,73298
160	106,8031
180	118,72269
200	130,64227
220	142,56185
240	154,48143
260	166,40101
280	176,25917
300	186,11734
320	195,97551
340	205,83368
360	215,69185
380	225,55001
400	235,40818
420	243,65628
440	251,90437
460	260,15247
480	268,40056
500	276,64865
520	284,89675
540	293,14484
560	301,39294
580	309,64103
600	317,88913
620	325,49435
640	333,09958
660	340,70481
680	348,31004
700	355,91527
720	363,52049
740	371,12572
760	378,73095
780	386,33618
800	393,94141
820	401,54664
840	409,15186
860	416,75709
880	424,01261
900	431,26813
920	438,52365
940	445,77917
960	453,03469
980	460,29021
1000	467,54573
1020	474,80125
1040	482,05677
1060	489,31229
1080	496,56781
1100	503,82333
1120	511,07885
1140	518,33437
1160	525,58989
1180	532,84541
1200	539,99333
1220	547,14124
1240	554,28915
1260	561,43706
1280	568,58498
1300	575,73289
1320	582,8808
1340	590,02871
1360	597,17663
1380	604,32454
1400	611,47245
1420	618,62036
1440	625,76828
1460	632,91619
1480	640,0641
1500	647,21201
1520	654,35993
1540	661,50784
1560	668,65575
1580	675,80366
1600	683,02654
1620	690,24941
1640	697,47229
1660	704,69516
1680	711,91803
1700	719,14091
1720	726,36378
1740	733,58665
1760	740,80953
1780	748,0324
1800	755,25528
1820	762,47815
1840	769,70102
1860	776,9239
1880	784,14677
1900	791,36964
1920	799,28212
1940	807,1946
1960	815,10708
1980	823,01956
2000	830,93204
2020	838,84452
2040	846,75699
2060	854,66947
2080	862,58195
2100	870,49443
2120	878,40691
2140	886,31939
2160	894,23187
2180	902,63932
2200	911,04677
2220	919,45422
2240	927,86167
2260	936,26912
2280	945,48132
2300	954,69352
2320	963,90573
2340	973,35775
2360	982,80977
2380	992,03682
2400	1000,9107

ตารางที่ 7.1 ค่าตัวเลขหลังจากนำผลการสอบเทียบ
ไปนำเสนอข้อมูลต่อเนื่องด้วยซอฟแวร์

Horizontal cylindrical tank, data-smoothing for a tank of 2400 l

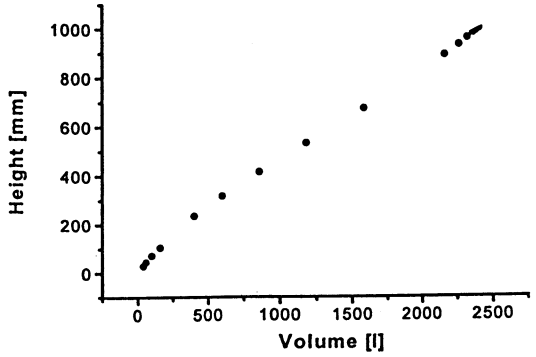


Fig.1: Measured data points

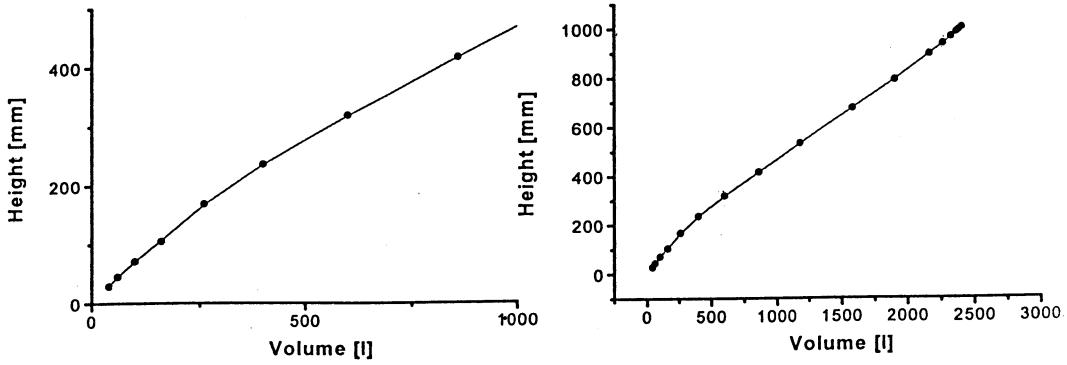


Fig. 2: Measured data points with spline function

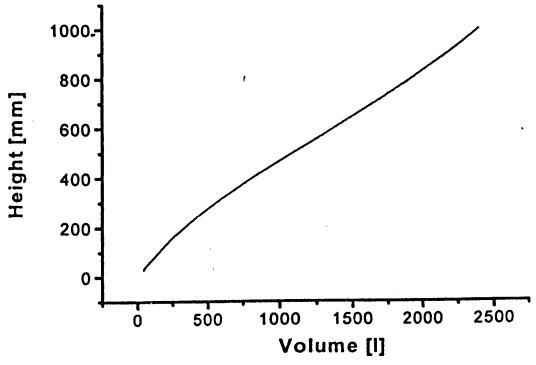


Fig. 3: Spline function

รูปที่ 33

Fig 1 นำผลการสอบเทียบมา plot จุด

Fig 2 ทำการเชื่อมจุดของผลการสอบเทียบเข้าด้วยกันด้วย spline function

Fig 3 สรุปความสัมพันธ์ของข้อมูลด้วยการนำเสนอข้อมูลต่อเนื่อง

ตัวอย่าง 7.2 ทำการสอบเทียบถังบรรจุของเหลวในแนวนอนขนาด 2,760 ลิตรด้วยวิธีการสอบเทียบแบบเปียก

1. รายงานผลการสอบเทียบ ดังในตารางที่ 7.2

Horizontal cylindrical tank, 12000 l, measured values after step-wise filling

Volume [l]	Height [mm]
200	70,8
300	100
400	127
500	152,3
600	175,3
700	197
800	218
1000	257,3
1400	331,3
1800	396,5
2200	457,8
2600	516,8
3000	573
3500	641,3
4000	707
4500	772,9
5000	837
5500	899,5
6000	962,5
6500	1025
7000	1087,7
7500	1151,3
8000	1216
8500	1281,8
9000	1349,8
9500	1420,2
10000	1492
10500	1571,2
11000	1656,2
11500	1752
11600	1773,9
11700	1797,8
11800	1822,8
11900	1849
12000	1880

ตารางที่ 7.2 ผลการสอบเทียบถังบรรจุของเหลวในแนวนอนขนาด 12,000 ลิตร

2. ทำ data smoothing ดังแสดงไว้ในตารางที่ 7.3 และรูปที่ 34

Horizontal cylindrical tank, values for the dip-stick of a tank of 12000 l
after data-smoothing by a spline function

Volume [l]	Height [mm]
200	72,5136
300	99,41344
400	127,04993
500	151,97488
600	175,2741
700	196,8734
800	218,24684
900	238,05171
1000	257,85657
1100	275,96097
1200	294,06536
1300	312,16976
1400	330,27415
1500	346,78335
1600	363,29254
1700	379,80173
1800	396,31092
1900	411,61923
2000	426,92753
2100	442,23583
2200	457,54413
2300	472,31484
2400	487,08554
2500	501,85624
2600	516,62695
2700	530,6352
2800	544,64346
2900	558,65172
3000	572,65998
3100	586,34917
3200	600,03835
3300	613,72754
3400	627,41673
3500	641,10592
3600	654,28932
3700	667,47272
3800	680,65612
3900	693,83952
4000	707,02292
4100	720,17149
4200	733,32005
4300	746,46862
4400	759,61719
4500	772,76576
4600	785,57348
4700	798,3812
4800	811,18892
4900	823,99664
5000	836,80436
5100	849,36527
5200	861,92619
5300	874,4871
5400	887,04801
5500	899,60893
5600	912,17171

Volume [l]	Height [mm]
5700	924,73449
5800	937,29727
5900	949,86006
6000	962,42284
6100	974,94018
6200	987,45752
6300	999,97486
6400	1012,4922
6500	1025,00954
6600	1037,57034
6700	1050,13115
6800	1062,69196
6900	1075,25276
7000	1087,81357
7100	1100,51908
7200	1113,22459
7300	1125,9301
7400	1138,63561
7500	1151,34112
7600	1164,30447
7700	1177,26781
7800	1190,23115
7900	1203,19449
8000	1216,15784
8100	1229,30475
8200	1242,45167
8300	1255,59858
8400	1268,7455
8500	1281,89241
8600	1295,54503
8700	1309,19765
8800	1322,85027
8900	1336,5029
9000	1350,15552
9100	1364,13932
9200	1378,12312
9300	1392,10693
9400	1406,09073
9500	1420,07453
9600	1434,64361
9700	1449,21269
9800	1463,78176
9900	1478,35084
10000	1492,91991
10100	1508,60374
10200	1524,28757
10300	1539,9714
10400	1555,65523
10500	1571,33905
10600	1588,61295
10700	1605,88685
10800	1623,16075
10900	1640,43465
11000	1657,70854
11100	1676,22144

Volume [l]	Height [mm]
11200	1694,73434
11300	1713,24724
11400	1731,76013
11500	1750,27303
11600	1774,43267
11700	1797,8222
11800	1822,75706
11900	1849,86725
12000	1878,05361

ตารางที่ 7.3 ค่าตัวเลขหลังจากนำผลการสอบเทียบไปนำเสนอข้อมูลต่อเนื่องด้วยซอฟแวร์

Horizontal cylindrical tank, data-smoothing for a tank of 12000 l

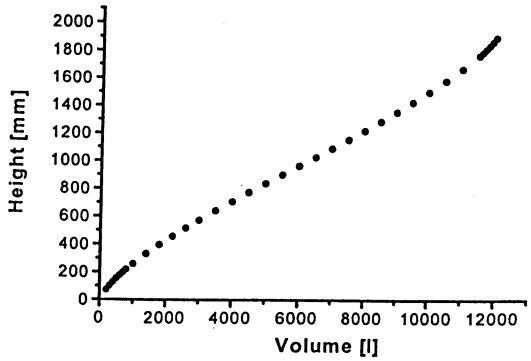


Fig.1: Measured data points

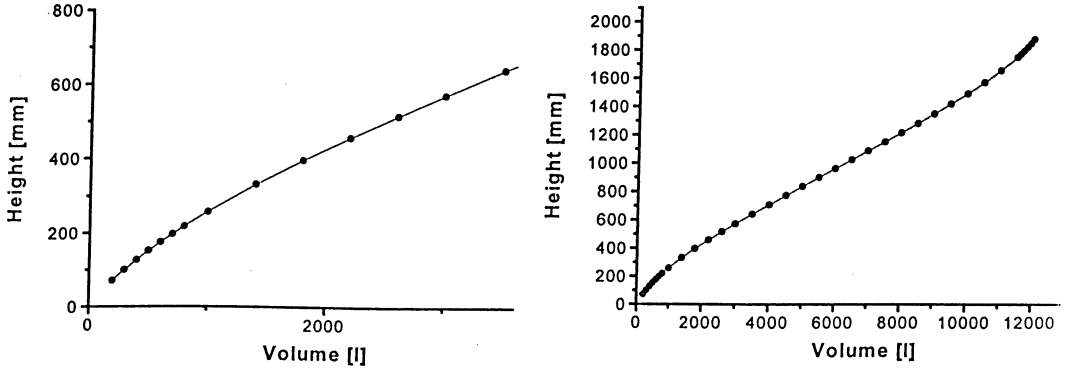


Fig. 2: Measured data points with spline function

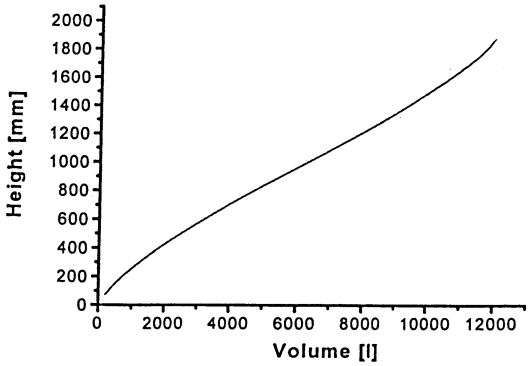


Fig. 3: Spline function

รูปที่ 34

Fig 1 นำผลการสอบเทียบมา plot จุด

Fig 2 ทำการเชื่อมจุดของผลการสอบเทียบเข้าด้วยกันด้วย spline function

Fig 3 สรุปความสัมพันธ์ของข้อมูลด้วยการนำเสนอข้อมูลต่อเนื่อง

ตัวอย่างใบรายงานผลการสอบเทียบแบบเปียก

ถังบรรจุของเหลวในแนวนอนหรือถังบรรจุของเหลวซึ่งติดตั้งอยู่กับที่ในรูปแบบทรงกระบอกในแนวนอน (Fixed storage tanks in the form of horizontal cylinder)

Eichamt München-Traunstein

Local Verification Office

DIE BEI DEN MESSUNGEN VERWENDETEN NORMALE SIND AN DIE NATIONALEN NORMALE DER BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND BEI DER PHYSIKALISCH-TECHNISCHEN BUNDESANSTALT (PTB) ANGESCHLOSSEN
THE STANDARDS USED FOR THE MEASUREMENTS ARE TRACEABLE TO THE NATIONAL STANDARDS OF THE FEDERAL REPUBLIC OF GERMANY AT THE PHYSIKALISCH-TECHNISCHE BUNDESANSTALT (PTB)

Eichschein

Verification certificate

Nummer des Eichscheines *Number of the verification certificate*	E-0010/09/00 AZ.: 2.2.4.2.4
Gegenstand der Eichung *Object of verification*	Storage Tank used as measuring device Total Volume: 29600 l
Hersteller *Manufacturer*	XYZ
Identifikation *Identification*	Type: horizontal cylinder Serial number: 3
Antragsteller *Applicant*	XYZ
Anzahl der Seiten des Eichscheines *Number of pages of the verification certificate*	3
Ort und Datum der Eichung *Place and date of verification*	München, 07.03.2000
Gültigkeit der Eichung bis *This verification is valid until*	2012

Stempelzeichen *Marking* 12

Eichscheine ohne Unterschrift und Dienstsiegel haben keine Gültigkeit. Dieser Eichschein darf nur vollständig und unverändert weiterverbreitet werden. Auszüge oder Änderungen bedürfen der Genehmigung der Eichbehörde.
Verification certificates without signature and official stamp are not valid. This verification certificate may only be reproduced in complete and unchanged form. Extracts or amendments require the approval of the verification authority.

Ort und Datum *Place and date*	Dienstsiegel *Official stamp*	Unterschrift *Signature*
München, 10.03.2000	BAYERN · EICHAMT MÜNCHEN-TRAUNSTEIN	I.V. Seidl

FB-A12/10-0

Dienststelle München Franz-Schrank-Str. 11 80638 München Telefon 089/17901- 0
Telefax 089/17901-233

(Stand: 12.1999)

Zusätzliche Angaben zum Gegenstand der Eichung
Additional comments concerning object of verification

Material:	Steel
Measuring device:	Dip-stick
Inclination:	Measured on the dome cover in the longitudinal direction: 15:1000 to the south in the transverse direction: 12:1000 to the east

Prüfverfahren
Test procedure

Wet calibration at growing liquid levels with cold water meter standard no. 7 of the Munich Verification Office.

Measuring liquid/temperature: water/about 10°C

The calibration was carried out in compliance with the following regulations:
1. PTB Testing instructions Volume 13, Storage Tanks in the Form of Horizontal Cylinders
2. German Verification Ordinance, Appendix 4, Section 2
3. PTB-Requirements (PTB-A 4.2)

Ergebnis der Eichung
Verification result

On the basis of the measuring results the dip-stick was graduated by a scale ranging from 500 l to 29600 l at intervals of 100 l by 100 l.
The scale numbering graduates 1000 l by 1000 l; in addition the scale lines for 500 l and 29600 l are specially marked.
The maximum scale value of 29600 l is 1949,0 mm above the lower edge of the dip-stick.

Meßunsicherheit
Uncertainty of measurement

In the case of correct volume measurements with the help of the prepared dip-stick, the uncertainty will be smaller than 0,5 % of the measured volume. However, the uncertainty will never be smaller than 0,5 % of the minimum space. The volume of the minimum space is 4770 l. The measurement of volume values of less than 4770 l may result in a measuring uncertainty exceeding 0,5 % of the measured volume.
The measured volume should be rounded off to the whole multiple of 10 l.

Dienststelle München Franz-Schrank-Str. 11 80638 München Telefon 089/17901- 0
Telefax 089/17901-233

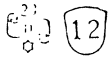
Hinweise
Notes

Verification validity will expire at the end of 2012.
According to § 13 EO ("Verification Ordinance") validity will expire prematurely i.a.
- in case of manipulations which might influence the metrological characteristics of the instrument
- if the range of use is extended or restricted
- if the principal mark or the protective marks are unrecognizable, invalicated or removed from the instrument.

Stamping: The number of the verification certificate "09/00" of the Munich Verififcation Office and the serial number "3" are indicated on the dip-stick. Protective marks are at the beginning and at the end of the graduation.

Plate: A plate protected by marks was affixed to the tank. It contains the following data:

storage container no.:	**3**
year of contruction:	**2000**
total volume:	**29600 l**
number of the verification certificate:	**E-0010/09/00**
verification:	



Ende des Eichscheines
End of verification certificate

เอกสารอ้างอิง

ส่วนที่ 1 ถังบรรจุของเหลวซึ่งติดตั้งอยู่กับที่ในรูปแบบทรงกระบอกในแนวนอน (Fixed storage tanks in the form of horizontal cylinders) หรือต่อไปนี้จะเรียกสั้น ๆว่า *"ถังบรรจุของเหลวในแนวนอน (horizontal storage tank)"*

1. ***OIML R 71, Fixed Storage Tanks General requirements***, OIML, Edition 1985(E)
2. ***การคำนวณผลการสอบเทียบทางด้านปริมาตร***, วีระศักดิ์ วิสุทธาธรรม, สาธิต ชูสุวรรณ,เมตตา เนียมเปรม, สำนักงานกลางมาตราชั่งตวงวัด กรมทะเบียนการค้า
3. ***PTB Testing Instruction, Storage Tanks in the Form of Horizontal Cylinders,*** Dr. konrad Bonke , Siegfried Raschke, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, 1984
4. ***OIML R 117, Measuring system for liquids other than water***, OIML, Edition 1995 (E)
5. ***OIML R 118, Testing procedures and test report format for pattern evaluation of fuel dispensers for motor vehicles***, OIML, Edition 1995(E)
6. ***Instrumentation and process measurements,*** W. BOLTON, Longman Scientific & Technical, 1993
7. ***MECHANICAL MEASUREMENTS,*** Thomas G. Beckwith, Roy D. Marangoni, John H. Lienhard, Addison-Wesley Publishing Company, 5th edition, 1993
8. ***Verification Equipment for National Metrology ,*** OIML: ***Service ,*** March 1986
9. ***Measurement Systems, Application and Design,*** Ernest O. Doebelin, McGRAW-HILL INTERNATIONAL BOOK COMPANY, Third edition 1984
10. ***Applied Instrumentation in the Process Industries*** , Volume I , Second edition, A Survey , W.G. Andrew , H.B. Williams , 1979
11. ***Vocabulary of Legal Metrology, Fundamental terms,*** OIML, Edition 1978