

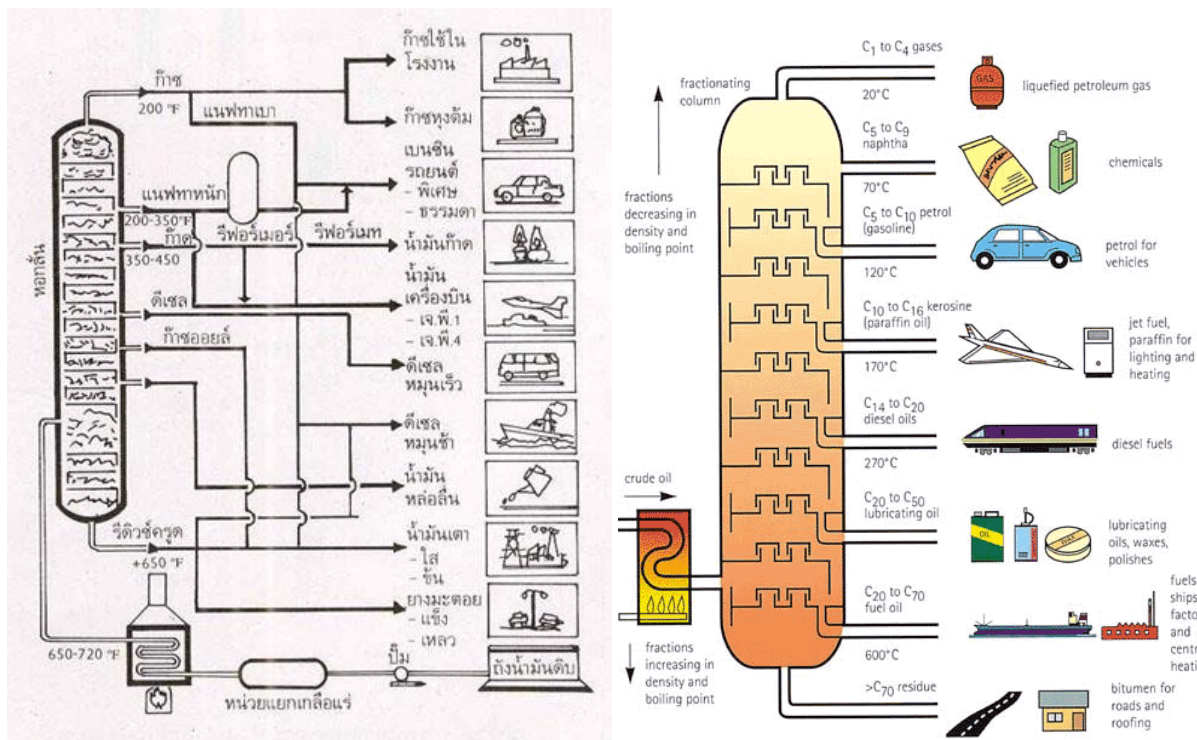
ก๊าซปิโตรเลียมเหลว (Liquefied Petroleum Gas)

ก๊าซปิโตรเลียมเหลว หมายถึง “ก๊าซไฮโดรคาร์บอนเหลว คือ โพรเพน, โพรพิลีน, นอร์มัลบิวเทน, ไอโซบิวเทน หรือบิวทีลีน อย่างใดอย่างหนึ่ง หรือหลายอย่าง ผสมกันเป็นส่วนใหญ่” โดยทั่วไปเรามักเรียก ก๊าซปิโตรเลียมเหลวนี้ว่า ก๊าซ, แก๊ส, แก๊สเหลว หรือแก๊สหุงต้ม ส่วนในวงการค้าและอุตสาหกรรม ชื่อที่เรารู้จักกัน ดี คือ แอล พี แก๊ส (LP GAS) หรือ แอล พี จี (LPG) ซึ่งเป็นอักษรย่อ มาจาก Liquefied Petroleum Gas ดังนั้นเพื่อความสะดวกต่อไปนี้จะเรียกว่า “LPG” หรือ “ก๊าซปิโตรเลียมเหลว”

ก๊าซปิโตรเลียมเหลวโดยทั่วไปมีสภาพเป็นก๊าซที่อุณหภูมิห้องและความดันบรรยากาศ โดยมีน้ำหนัก ประมาณ 1.5 - 2 เท่าของอากาศทั้งนี้ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของ LPG การที่ได้ชื่อว่าปิโตรเลียมเหลวก็เพราะก๊าซ จะถูกอัดให้อยู่ในสภาพของเหลวภายใต้ความดันจนมีสถานะเป็นของเหลวทั้งนี้ก็เพื่อสะดวกต่อการเก็บและการ ขนส่ง แต่เมื่อลดความดันก๊าซเหลวนี้อาจกลายเป็นไอเพื่อสามารถนำมาใช้งานได้ ก๊าซปิโตรเลียมเหลวถูกจัดเป็น เชื้อเพลิงที่มีความสำคัญในปัจจุบัน และมีใช้กันอย่างแพร่หลาย ทั้งในครัวเรือน ร้านอาหาร ภัตตาคาร โรงพยาบาล ร้านอาหารประเภท Fast Food ในห้างสรรพสินค้า ที่พักอาศัยประเภทคอนโดเนียม ตลอดจนพาณิชย์ กรรมและอุตสาหกรรมต่างๆ รวมทั้งภาคขนส่งในรถยนต์รับจ้างและรถยนต์ส่วนบุคคลซึ่งถือเป็นพลังงาน ทางเลือกอีกชนิดหนึ่งเมื่อราคาน้ำมันเชื้อเพลิงมีราคาสูง เนื่องจากเป็นเชื้อเพลิงที่ใช้งานง่าย ราคาไม่แพงเมื่อเทียบกับ แหล่งเชื้อเพลิงชนิดอื่นๆ สามารถขนส่งสะดวกไม่เปลืองที่เก็บทำให้มีปริมาณเหมาะสมต่อรอบปริมาณใช้งาน และที่สำคัญคือ เผาไหม้แล้วเกิดเขม่าน้อยกว่าเชื้อเพลิงชนิดอื่น

1. แหล่งที่มาของก๊าซปิโตรเลียมเหลว แหล่งที่มาของก๊าซมี 2 แหล่งใหญ่ๆ ได้แก่

1.1. ได้จากกระบวนการกลั่นน้ำมันดิบในโรงกลั่นน้ำมัน ซึ่งจะได้ก๊าซโพรเพนและบิวเทนประมาณ 1-2% แต่ก่อนที่จะนำน้ำมันดิบเข้ากลั่น ต้องแยกน้ำและเกลือแร่ที่ปนอยู่ออกเสียก่อน หลังจากนั้นนำน้ำมันดิบมา ให้ความร้อนจนมีอุณหภูมิประมาณ 340 - 400 °C จากนั้นจะถูกส่งเข้าสู่หอกลั่น ซึ่งภายในประกอบด้วยถาด (tray) เป็นชั้น ๆ หลายสิบชั้น ไอร้อนที่ลอยขึ้นไป เมื่อเย็นตัวลงจะกลั่นตัวเป็นของเหลวบนถาดตามชั้นต่าง ๆ และจะอยู่ชั้นใดขึ้นอยู่กับช่วงจุดเดือด องค์ประกอบในน้ำมันที่มีช่วงจุดเดือดต่ำ (เป็นไอดีง่าย) จะลอยขึ้นสู่เบื้อง บนของหอกลั่นได้แก่ พวกไฮโดรคาร์บอนที่มีสถานะเป็นก๊าซ (LPG รวมอยู่ในส่วนนี้ด้วย) ส่วนไฮโดรคาร์บอนที่มี ช่วงจุดเดือดปานกลางและสูงก็จะแยกตัวออกและลอยตัวขึ้นไปจนถึงตอนกลางและตอนล่างของหอกลั่นตามลำดับ ซึ่งได้แก่ องค์ประกอบน้ำมันดิบจากพวกแนพทา (Naphtha), น้ำมันก๊าด, น้ำมันดีเซล และน้ำมันเตา ตามลำดับ



รูปที่ 1 หอกลั่น

องค์ประกอบของน้ำมันดิบจำพวกไฮโดรคาร์บอนที่มีสถานะเป็นก๊าซและก๊าซชนิดต่างๆที่ผสมอยู่ในน้ำมันดิบจะถูกกลั่นโดยจะลอยตัวออกจากด้านบนของหอกลั่นรวมเรียกว่า “ก๊าซปิโตรเลียม” ซึ่งประกอบด้วย ส่วนผสมของก๊าซไฮโดรคาร์บอนที่มีคาร์บอน 1 อะตอมถึง 4 อะตอมและมีก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H₂S), คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂), ไนโตรเจน (N₂), ไฮโดรเจน (H₂) และอื่น ๆ ปนอยู่ จำเป็นต้องกำจัดหรือแยกออกโดย นำก๊าซปิโตรเลียมผ่านเข้าหน่วยแยกก๊าซ LPG (Gas Recovery Unit) และขบวนการตามขั้นตอนของผู้เจริญแล้ว ด้วยเทคโนโลยีซึ่งขอละไว้ที่นี่ ทั้งนี้เพราะการออกแบบกระบวนการกลั่นนั้นมีด้วยกันหลากหลายขึ้นอยู่กับ เทคนิคและค่าใช้จ่ายของกระบวนการกลั่น เพื่อแยกเอาโพรเพนและบิวเทน (ซึ่งต่อไปจะเป็น LPG) ออกมา หลังจากนั้น LPG จะถูกส่งไปเก็บในถังเก็บและมีสภาพเป็นของเหลวภายใต้ความดัน

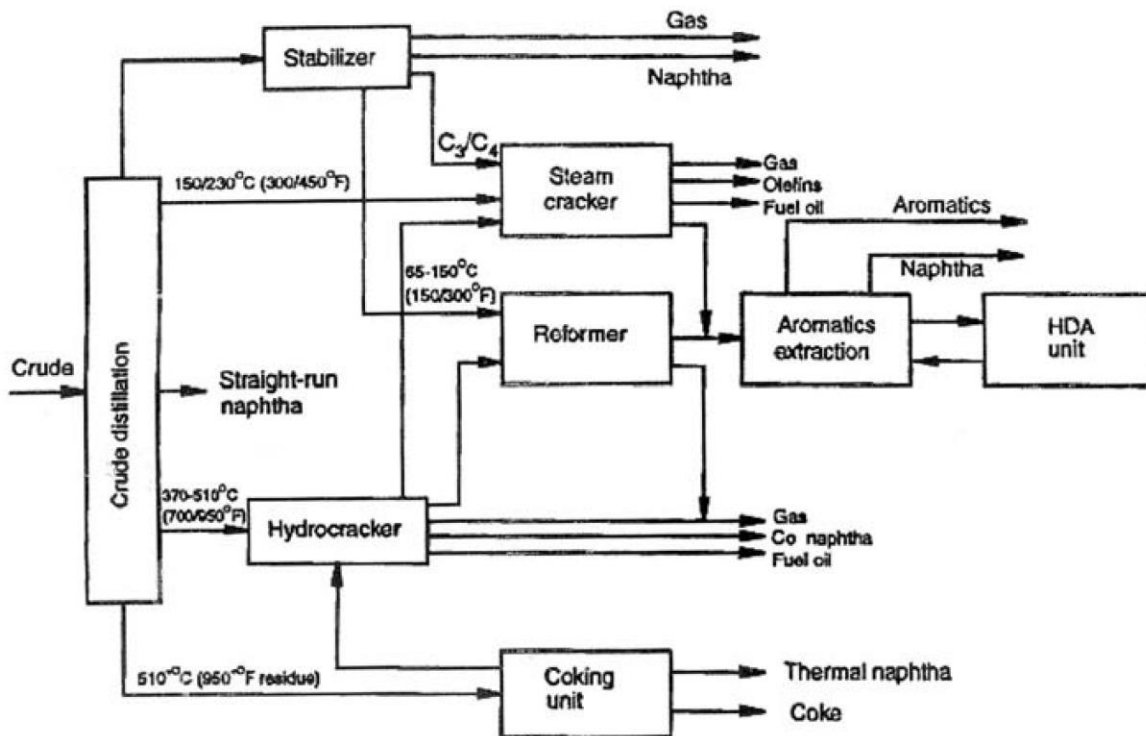


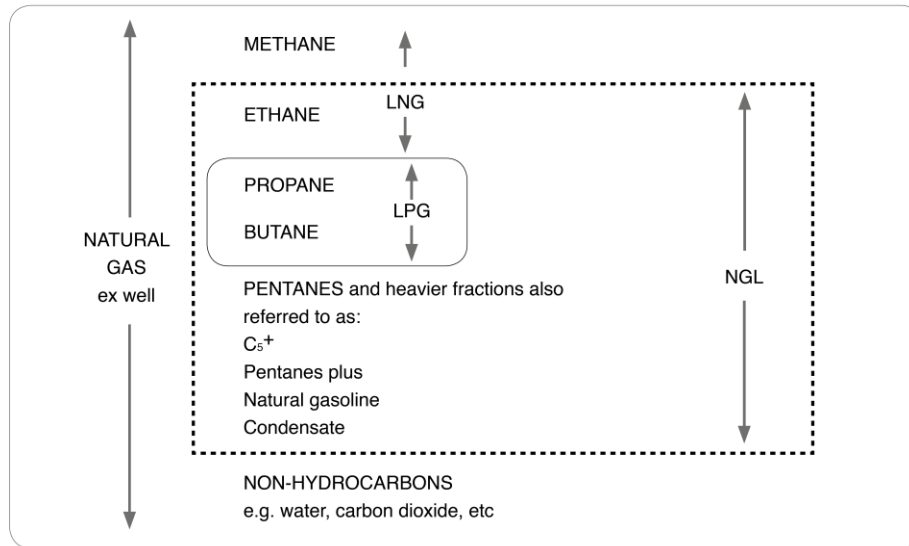
Figure 1.17. A petrochemical refinery configuration.

รูปที่ 2 กระบวนการกลั่นทางด้านปิโตรเคมีจากน้ำมันดิบ

ก๊าซ LPG ที่ได้จากส่วนนี้เป็นผลพลอยได้จากการกลั่นน้ำมันดิบ โดยปริมาณผลิตผลพลอยได้ (by product) ประมาณ 2 % ของผลิตภัณฑ์ที่กลั่นได้

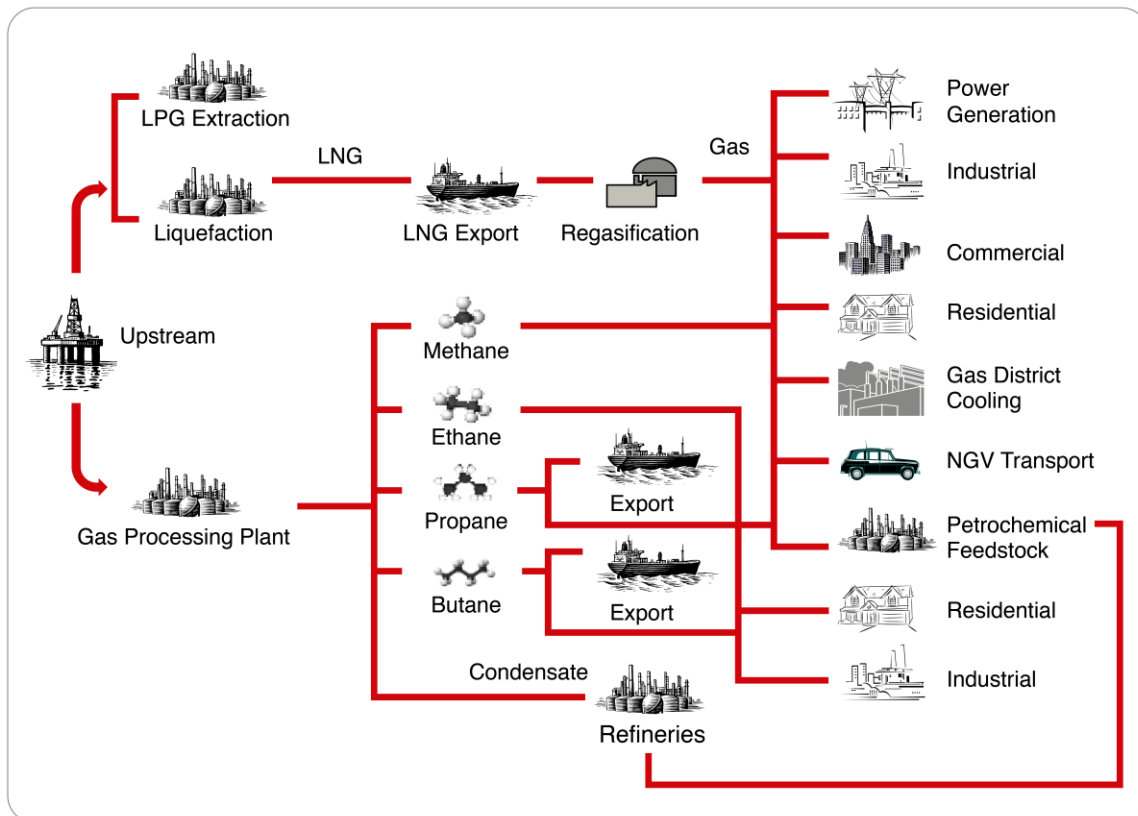
1.2. ได้จากกระบวนการแยกก๊าซธรรมชาติ โดยผ่านโรงแยกก๊าซธรรมชาติ สำหรับประเทศไทย แหล่งขุดเจาะก๊าซธรรมชาติส่วนใหญ่อยู่ในบริเวณอ่าวไทย หลังจากสามารถสำรวจและขุดเจาะพบก๊าซธรรมชาติ ก๊าซธรรมชาติก็จะถูกอัดส่งผ่านระบบท่อความดันสูงจากแท่นขุดเจาะ เติมน้ำมันที่บ่อนพื้นทะเลอ่าวไทยขึ้นบริเวณชายฝั่ง ซึ่งเป็นที่ตั้งของโรงแยกก๊าซธรรมชาติเพื่อทำการแยกก๊าซแต่ละชนิดออกมาลักษณะของก๊าซ LPG ที่ผ่านโรงแยกก๊าซธรรมชาติจะไม่มีสี ไม่มีรสและไม่มีกลิ่น ผู้ดูแลกิจการเจ้าใหญ่สุดในส่วนนี้ หนีไม่พ้น ปตท. ซึ่งยัง งงง อยู่ว่าเป็นบริษัทมหาชนหรือเป็นรัฐวิสาหกิจ

โดยทั่วไปองค์ประกอบของก๊าซธรรมชาติ (Natural Gas) จะมีองค์ประกอบตามรูปที่ 3



LNG = liquefied natural gas
LPG = liquefied petroleum gas
NGL = natural gas liquids

รูปที่ 3 Constituents of Natural Gas



รูปที่ 4 Natural Gas Value Chain

FIG. 1-1
Typical Components of Industry Streams

	Components											
	CO ₂	H ₂ S	N ₂	C ₁	C ₂	C ₃	iC ₄	nC ₄	iC ₅	nC ₅	C ₆	C ₇ +
Inert Gas	•		•									
Acid Gas	•	•										
LNG			•	•	•	•	•	•				
Natural Gas	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
LPG					•	•	•	•				
Natural Gasoline						•	•	•	•	•	•	•
NGL					•	•	•	•	•	•	•	•
Condensate (Stabilized)							•	•	•	•	•	•

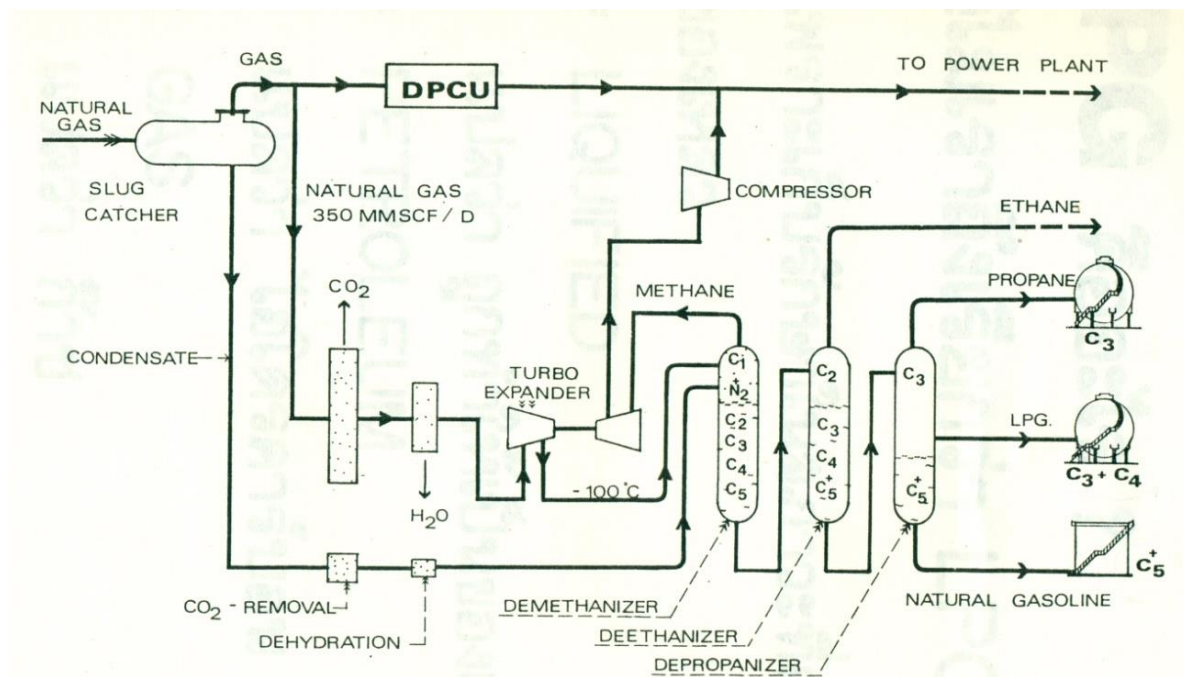
รูปที่ 5 องค์ประกอบของก๊าซ และของเหลวปิโตรเลียม

Properties	Value
Relative molar mass	17–20
Carbon content, weight %	73.3
Hydrogen content, weight %	23.9
Oxygen content, weight %	0.4
Hydrogen/carbon atomic ratio	3.0–4.0
Relative density, 15 °C	0.72–0.81
Boiling point, °C	–162
Autoignition temperature, °C	540–560
Octane number	120–130
Methane number	69–99
Stoichiometric air/fuel ratio, weight	17.2
Vapor flammability limits, volume %	5–15
Flammability limits	0.7–2.1
Lower heating/calorific value, MJ/kg	38–50
Stoichiometric lower heating value, MJ/kg	2.75
Methane concentration, volume %	80–99
Ethane concentration, volume %	2.7–4.6
Nitrogen concentration, volume %	0.1–15
Carbon dioxide concentration, volume %	1–5
Sulfur concentration, weight % ppm	<5
Specific CO ₂ formation, g/MJ	38–50

ตารางที่ 1 องค์ประกอบของก๊าซธรรมชาติ (Natural Gas)

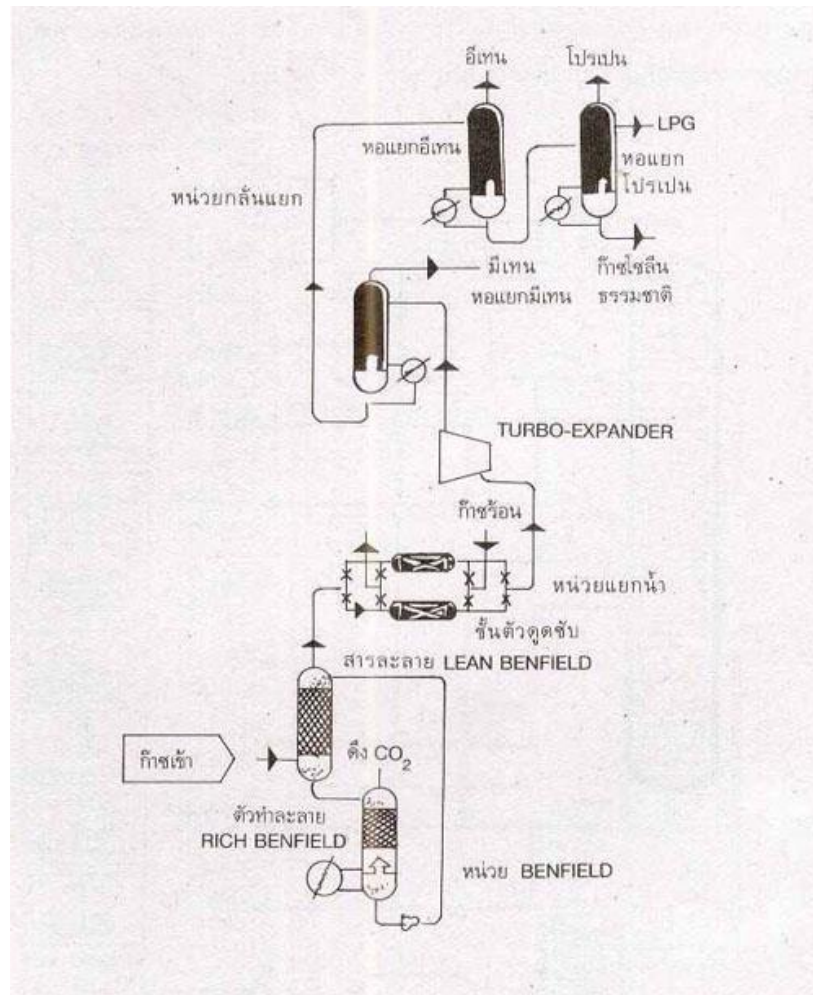
เมื่อนำก๊าซธรรมชาติขึ้นมาจากแหล่งขุดเจาะจากแหล่งธรรมชาติแล้วขนส่งทางท่อเข้าสู่โรงแยกก๊าซ (Gas Separation Plant) เพื่อทำการแยกเอาสารไฮโดรคาร์บอนที่มีอยู่ในก๊าซธรรมชาติออกเป็นผลิตภัณฑ์ชนิดต่าง ๆ คือ มีเทน (Methane) อีเทน (Ethane) โพรเพน (Propane) บิวเทน (Butane) และก๊าซอื่นๆ กระบวนการแยกก๊าซธรรมชาติ (รูปที่ 6) เริ่มต้นด้วยการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) และน้ำที่เจือปน

อยู่ในก๊าซธรรมชาติออกก่อน โดยกระบวนการ Benfield ซึ่งใช้โปตัสเซียมคาร์บอเนต (K_2CO_3) เป็นตัวจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และกระบวนการดูดซับ (Absorption Process) โดยใช้สารจำพวก Molecular Sieve ซึ่งมีลักษณะเป็นรูพรุน ทำหน้าที่ดูดซับน้ำ ก๊าซธรรมชาติที่แห้งจากหน่วยนี้จะผ่านเข้าไปใน Turbo-expander เพื่อลดอุณหภูมิจาก 250 °K เป็น 170 °K และลดความดันลงจาก 43 บาร์ เป็น 16 บาร์ ก่อนแล้วจึงเข้าสู่หอแยกมีเทน (De-methanizer) มีเทนจะถูกกลั่นแยกออกไป และส่วนที่เหลือคือส่วนผสมของ ก๊าซไฮโดรคาร์บอนที่มีคาร์บอนตั้งแต่ 2 อะตอมขึ้นไป (ethane plus stream) ซึ่งอยู่ในสถานะของเหลวและจะออกทางส่วนล่างของหอแยก จากนั้นผลิตภัณฑ์ของเหลวดังกล่าวจะถูกต่อไปยังหอแยกอีเทน (De-ethanizer) และหอแยกโพรเพน (De-propanizer) เพื่อแยกอีเทนและโพรเพนออกตามลำดับต่อไป ในหอแยกโพรเพนนี้เองตัวโพรเพนจะถูกแยกออกทางด้านบนของหอ ส่วน LPG ซึ่งเป็นส่วนผสมของโพรเพนและบิวเทนจะถูกแยกออกมาจากส่วนกลางของหอ และส่วนผลิตภัณฑ์ที่ออกจากหอทางด้านล่างคือ ก๊าซโซลีนธรรมชาติ (Natural Gasoline) ทั้งนี้อย่าสับสนกับก๊าซธรรมชาติเหลว (NGL; Natural Gas Liquid) ซึ่งเป็นชื่อเรียกรวมของผลิตภัณฑ์ดังในรูปที่ 4 และในรูปที่ 5



รูปที่ 6 ขั้นตอนการแยกก๊าซธรรมชาติ

สำหรับ LPG ซึ่งผลผลิตที่ได้จากการแยกก๊าซธรรมชาติจะมีก๊าซโพรเพนและบิวเทนในก๊าซธรรมชาติประมาณ 6-10%



รูปที่ 7 ขั้นตอนการแยกก๊าซธรรมชาติ

ลักษณะของก๊าซ LPG ที่ได้จากโรงแยกก๊าซธรรมชาติจะมีคุณสมบัติคล้ายกับคุณสมบัติของก๊าซที่ผ่านโรงกลั่นน้ำมันเช่นเดียวกัน คือ จะไม่มีสี ไม่มีรส (ไม่เคยชิมเช่นกัน) และไม่มิกกลิ่น ด้วยเหตุนี้ในการใช้งานก๊าซ LPG ทั้งในรูปการจัดเก็บภายในถังความดันสูงหรือเพื่อการขนส่งจึงต้องเติมสารมีกลิ่นซึ่งค่อนข้างมีกลิ่นเหม็นลงไป เรียกว่า “Mercaptan-เมอร์แคปแทน” เพื่อประโยชน์หากมีการรั่วไหลออกจากถังบรรจจะทำให้เราได้กลิ่นก่อนล่วงหน้า และสามารถแก้ปัญหาได้ทันการณ์

นอกจากนี้ในกรณีที่ประเทศไม่สามารถขุดเจาะก๊าซธรรมชาติ (Natural Gas) ได้เอง การผลิต LPG (มาถึงจุดนี้จะมีบางคนเริ่มมีนอะไรคือ LPG หรือเปล่า หากมีก็ขอให้กลับไปอ่านนิยามในย่อหน้าแรกของบทความนะขอรับ !) จึงอยู่ในรูปของการนำเข้า NGL (Natural Gas Liquid) เพราะไม่สามารถนำเข้าก๊าซธรรมชาติ (Natural Gas) ได้เนื่องจากปริมาณการขนส่งด้วยเรือไม่คุ้มค่าทางเศรษฐกิจยกเว้นสามารถขนส่งด้วยระบบท่อ การนำเข้าผลิตภัณฑ์ในรูปของ NGL (Natural Gas) จึงมีความคุ้มค่ามากกว่า ดังนั้นเมื่อนำเข้ามาแล้วก็ต้องนำ NGL เข้ากระบวนการแยกก๊าซเช่นเดียวกันโดยมีขั้นตอนดังในรูปที่ 8 ในบางประเทศหรือบางบริษัทอาจมี

ขั้นตอนที่แตกต่างจากรูปที่ 8 ก็ได้ขึ้นอยู่กับเทคโนโลยีที่ใช้ ในที่นี้ยกขึ้นมาเพื่อความสนุกและความมั่นคงครับ เอาให้
 มั่นกันไปข้างหนึ่งแต่ที่แน่ๆ ผมมีนก่อน

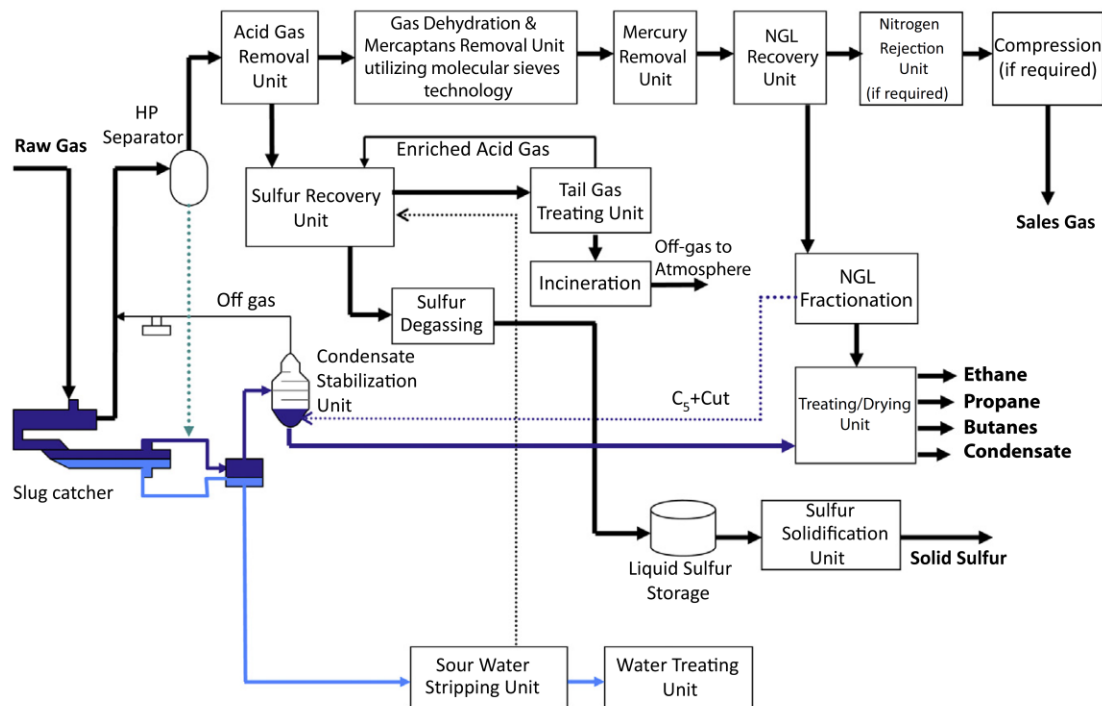
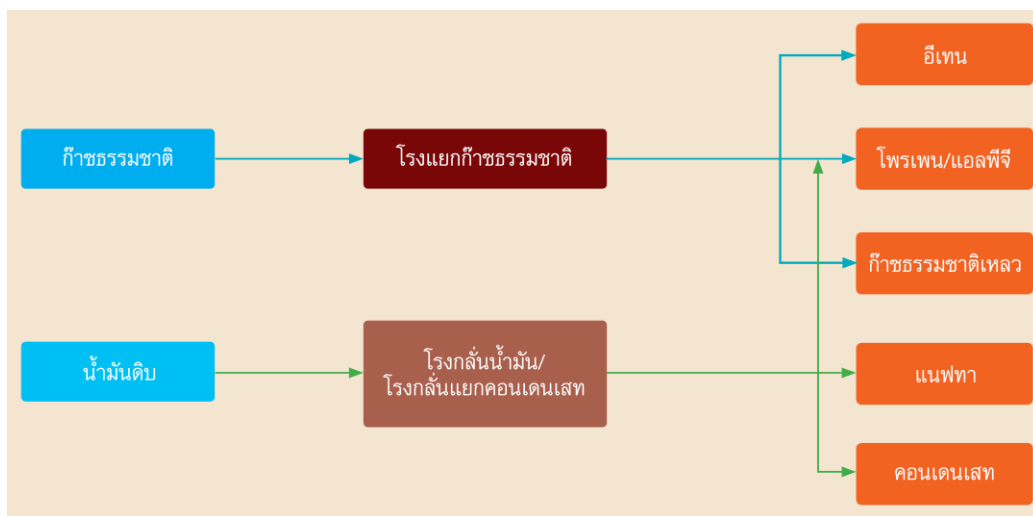


FIGURE 3-3

Process units in a gas plant for NGL production.

รูปที่ 8 ขั้นตอนการแยกก๊าซ NGL เพื่อให้ได้ก๊าซ LPG



รูปที่ 9 แหล่งผลิตหลักให้ได้ก๊าซ LPG

ก๊าซปิโตรเลียมเหลวที่ได้มาจากระบวนการแยกก๊าซธรรมชาติจะประกอบด้วยโพรเพน (propane) เป็นส่วนใหญ่ทั้งนี้จะได้ผลิตภัณฑ์ใดมากน้อยเพียงใดหรือจะมีสัดส่วนของ C₃ และ C₄ เท่าใดขึ้นอยู่กับแหล่งของก๊าซธรรมชาติ ส่วนในกระบวนการกลั่นน้ำมันดิบของโรงกลั่นน้ำมันนั้นจะได้บิวเทน (butane) เป็นส่วนใหญ่แต่อาจมีการผสมของผลิตภัณฑ์ C₃ และ C₄ ในรูปของไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัว (Un-saturated Hydrocarbon) ซึ่งมักประกอบด้วยโพรพิลีน (Propylene) นอร์มัลบิวทิลีน (n-butylene) ไอโซบิวทิลีน (iso-butylene) และ butylene-2 เอาละชื่อเรียกผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมเริ่มปวดหัวแล้ว แต่ต้องค่อยๆ เรียนรู้กันไปว่ามันคืออะไร

FIG. 2-1
GPA Liquefied Petroleum Gas Specifications
(This Table Extracted From GPA Standard 2140-97)

Product Characteristics	Product Designation				
	Commercial Propane	Commercial Butane	Commercial B-P Mixtures	Propane HD-5	Test Methods
Composition	Predominantly propane and/or propylene.	Predominantly butanes and/or butylenes.	Predominantly mixtures of butanes and/or butylenes with propane and/or propylene.	not less than 90 liquid volume percent propane; not more than 5 liquid volume percent propylene.	ASTM D-2163-91
Vapor pressure at 100°F, psig, max. at 37.8°C, kPa (ga), max.	208 1434	70 483	208 1434	208 1434	ASTM D-1267-95
Volatile residue: temperature at 95% evaporation, °F, max. or °C, max. butane and heavier, liquid volume percent max. pentane and heavier, liquid volume percent max.	-37 -38.3 2.5 —	36 2.2 — 2.0	36 2.2 — 2.0	-37 -38.3 2.5 —	ASTM D-1837-94 ASTM D-2163-91 ASTM D-2163-91
Residual matter: residue on evaporation of 100 ml, max. oil stain observation	0.05ml pass (1)	— —	— —	0.05 ml pass (1)	ASTM D-2158-92 ASTM D-2158-92
Corrosion, copper strip, max.	No. 1	No. 1	No. 1	No. 1	ASTM D-1838-91 (Note A)
Total sulfur, ppmw	185	140	140	123	ASTM D-2784-92
Moisture content	pass	—	—	pass	GPA Propane Dryness Test (Cobalt Bromide) or D-2713-91
Free water content	—	none	none	—	—
(1) An acceptable product shall not yield a persistent oil ring when 0.3 ml of solvent residue mixture is added to a filter paper in 0.1 increments and examined in daylight after 2 minutes as described in ASTM D-2158.					
NOTE A: "This method may not accurately determine the corrosivity of the liquefied petroleum gas if the sample contains corrosion inhibitors or other chemicals which diminish the corrosivity of the sample to the copper strip. Therefore, the addition of such compounds for the sole purpose of biasing the test is prohibited."					

รูปที่ 10 Liquefied Petroleum Gas Specifications and Test Methods, Gas Processors Association, GPA Standard 2140-97

2. คุณสมบัติทางเคมี

เนื่องจากการใช้คำว่า LPG กันหลากหลายสถาบัน Gas Processors Association (GPA) จึงได้กำหนดมาตรฐานของ LPG ขึ้นมาพร้อมวิธีการตรวจสอบชื่อมาตรฐานว่า GPA Standard 2140-97 Liquefied Petroleum Gas Specifications and Test Methods ดังในรูปที่ 10 และรูปที่ 11 ซึ่งย่อข้อมูลลงมาในบางมิติซึ่งพอจะแบ่งออกเป็น 4 กลุ่มคือ

1. Commercial Propane : องค์ประกอบหลักคือ โพรเพน และ/หรือ โพรพิลีน

2. Commercial Butane : องค์ประกอบหลักคือ บิวเทน และ/หรือ บิวทิลีน
3. Commercial B-P Mixture : องค์ประกอบหลักเป็นส่วนผสมระหว่าง คือ โพรเพน และ/หรือ โพรพิลีน กับบิวเทน และ/หรือ บิวทิลีน
4. Propane HD-5 : ประกอบด้วยโพรเพนไม่น้อยกว่า 90% โดยปริมาตร กับโพรพิลีนไม่เกิน 5 % โดยปริมาตร

Component	Commercial Propane	HD-5 Propane	Commercial Butane/Propane Mix	Test Method (ASTM)
Composition	Propane and propylene	90% propane (min) 5% propylene (max)	butanes/ butylenes with propane/ propylenes	D-2163
Butane+, liq vol	2.5% max	2.5% max	--	
Pentane+, liq vol	--	--	2.0% max	
Moisture Content	pass	pass	--	D-2713
Residual Matter (mL)	0.05 mL	0.05 mL	--	D-2158
Total Sulfur ppm (incl. odorant)	185	123	140	D-2784
Cu Strip Corrosion, max	No. 1	No. 1	No. 1	D-1838
Vapor Pressure 100°F, psig max 38°C, kPa, max	208 1434	208 1434	208 1434	D-1267

รูปที่ 11 GPA 2140-97 LPG Specification (ย่อ)

จากรูปแบบส่วนผสมหรือองค์ประกอบของ LPG ในทางพฤกษศาสตร์ 4 รูปแบบแล้วประเทศไทยเราก็เป็นอย่างไรละครับ เมื่อไปดู “ประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่อง หลักเกณฑ์ และวิธีการในการเก็บรักษา การกำหนดบุคลากรที่รับผิดชอบ และการยกเว้นไม่ต้องปฏิบัติตามพระราชบัญญัติวัตถุอันตราย พ.ศ. 2535 สำหรับสถานที่ใช้ก๊าซปิโตรเลียมเหลว ที่กรมธุรกิจพลังงานรับผิดชอบ พ.ศ. 2554” ได้นิยามก๊าซปิโตรเลียมเหลวไว้ว่า

“ก๊าซปิโตรเลียมเหลว” หมายความว่า ก๊าซปิโตรเลียมเหลวที่ประกอบด้วยโพรเพน โพรพิลีน นอร์แมลปิวเทน ไอโซบิวเทน หรือบิวทิลีน อย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่างผสมกันเป็นส่วนใหญ่ซึ่งบรรจุลงในถังก๊าซหุงต้มหรือถังเก็บและจ่ายก๊าซ

เรามาดูข้อมูลจากกรมธุรกิจพลังงานได้มีประกาศกรมฯ ที่มีชื่อว่า “ประกาศกรมธุรกิจพลังงาน เรื่อง กำหนดลักษณะและคุณภาพของก๊าซปิโตรเลียมเหลว พ.ศ. 2547” โดยก๊าซปิโตรเลียมเหลวที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงภายในประเทศไทยต้องมีลักษณะและคุณภาพตามรายละเอียดแนบท้ายประกาศกรมธุรกิจพลังงาน ดังตารางด้านล่าง ทั้งนี้ วิธีทดสอบอาจใช้วิธีอื่นที่เทียบเท่าก็ได้ แต่ในกรณีที่มีข้อโต้แย้งให้ใช้วิธีที่กำหนดในรายละเอียดนี้

รายละเอียดแนบท้ายประกาศกรมธุรกิจพลังงาน

เรื่อง กำหนดลักษณะและคุณภาพของก๊าซปิโตรเลียมเหลว พ.ศ. 2547

รายการ	ข้อกำหนด	อัตราสูงต่ำ		วิธีทดสอบ
1.	ความดันไอ ณ อุณหภูมิ 37.8 °ซ. กิโลปาสคาล (Vapour Pressure @ 37.8 °C, kPa)	ไม่สูงกว่า	1,380	ASTM D 1267
2.	การกลั่น °ซ. (Distillation, °C) อุณหภูมิของจุดเดือด เมื่อก๊าซปิโตรเลียมเหลวระเหยไปใน อัตราส่วนร้อยละ 95 โดยปริมาตร (95% Evaporated)	ไม่สูงกว่า	2.2	ASTM D 1837
3.	ปริมาณเพนเทนและสารอื่นที่มีน้ำหนักโมเลกุลมากกว่าเพนเทน ต่อก๊าซปิโตรเลียมเหลวโดยปริมาตรร้อยละโดยปริมาตร (Pentane and Composition Content, % vol.)	ไม่สูงกว่า	2.0	ASTM D 2163
4.	การกัดกร่อน (Corrosion)	ไม่สูงกว่า	หมายเลข 1	ASTM D 1838
5.	ปริมาณกำมะถัน ส่วนในล้านส่วนโดยน้ำหนัก (Sulphur Content, ppm by wt.)	ไม่สูงกว่า	140	ASTM D 2784
6.	ปริมาณกากหลังการระเหยของก๊าซปิโตรเลียมเหลว 100 มล. มีลิลิตร (Residue , ml)	ไม่สูงกว่า	0.05	ASTM D 2158
7.	ปริมาณน้ำ (Water Content)		ไม่มี	ตรวจพินิจด้วยสายตา
8.	สารที่ให้กลิ่นซึ่งไวต่อความรู้สึก (Odorant)		มี	ตรวจด้วย วิธีดมกลิ่น

ด้วยเหตุนี้ LPG ในประเทศไทยจึงเป็น LPG ที่ครอบคลุมทั้ง 4 รูปแบบตามที่ GPA Standard 2140-97 Liquefied Petroleum Gas Specifications and Test Methods กำหนด นั่นคือยาใหญ่ครีบ โดยมีองค์ประกอบหลักเป็นส่วนผสมตามที่นิยามครีบ “LPG ประกอบด้วยโพรเพน โพรพิลีน นอร์แมลบิวเทน ไอโซบิวเทน หรือบิวทิลีน อย่างใดอย่างหนึ่ง หรือ หลายอย่าง ผสมกันเป็นส่วนใหญ่” ด้วยเหตุนี้ LPG (ในประเทศไทย) จึงเป็นส่วนผสมของสารไฮโดรคาร์บอนที่มีความหลากหลายและปริมาณสัดส่วนอาจแตกต่างกันบ้าง แต่โดยภาพรวมแล้วส่วนประกอบหลักของก๊าซ LPG จะมีด้วยกัน 4 ตัวหลักๆ ที่เราควรทำความรู้จัก คือ

1. โพรเพน (Propane; C_3H_8) ในหน้าร้อนของประเทศไทยจะมีความดันอยู่ที่ประมาณ 175 - 200 Psi (ที่อุณหภูมิ 15 °C จะมีความดัน 6.5 bar)
2. โพรพิลีน (Propylene; C_3H_6)

3. บิวเทน (Butane; C_4H_{10}) จากข้อมูลเบื้องต้นโดยประมาณ เราพบว่าบิวเทนในหน้าร้อนของประเทศไทยจะมีความดันอยู่ที่ประมาณ 80 - 100 Psi (ที่อุณหภูมิ 15 °C จะมีความดัน 1.0 bar)

4. บิวทิลีน (Butylene; C_4H_8) ซึ่งรวมถึงนอร์มัลบิวทิลีน (n-butylene; nC_4H_8) และไอโซบิวเทน (iC_4H_8)

ทั้งจากองค์ประกอบข้างบนเราจึงพอสรุปโดยหลักการเพื่อใช้ทำงานในทางปฏิบัติว่าก๊าซ LPG ประกอบด้วยไฮโดรคาร์บอนซึ่งใน 1 โมเลกุลจะมีส่วนประกอบของคาร์บอน (C) 3 อะตอม และคาร์บอน (C) 4 อะตอม หรือ $C_3 + C_4$ (ไม่ใช่ซ้ำรายการ ซี 3 กับซี 4 นะครับ อันนี้ระบบนี้ยกเลิกไปแล้วครับ) นอกจากนี้ก๊าซ LPG ยังคงมีองค์ประกอบสารไฮโดรคาร์บอนอื่นๆอีก

คราวนี้วกกลับมาเรื่องงานซึ่งตวงวัดตามข้อกำหนดของกฎหมาย (Legal Metrology) ในการร่างประกาศกระทรวงพาณิชย์ เรื่องมาตรวัดปริมาตรของเหลวนั้น เราได้ร่างกำหนดนิยามของคำว่า “ของเหลว” โดยให้ครอบคลุมถึงน้ำมันเชื้อเพลิง แล้วปรับใช้นิยามของ “น้ำมันเชื้อเพลิง” ตามพระราชบัญญัติควบคุมน้ำมันเชื้อเพลิง (ฉบับ 2) พ.ศ. 2550 มาตรา 4 และพระราชบัญญัติการค้าน้ำมันเชื้อเพลิง พ.ศ. 2543 มาตรา 4 มาใช้ซึ่งนิยามของน้ำมันเชื้อเพลิงดังกล่าวครอบคลุมถึงก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) แต่ถูกตัดออกไปในคณะกรรมการซึ่งตวงวัดฯ ทำให้การเชื่อมโยงถึงทอพระราชบัญญัติมาตราซึ่งตวงวัด พ.ศ. 2542 เข้ากับ พระราชบัญญัติควบคุมน้ำมันเชื้อเพลิง พ.ศ. 2542 และพระราชบัญญัติการค้าน้ำมันเชื้อเพลิง พ.ศ. 2543 เพื่อให้ราบเรียบเข้าด้วยกันเกิดรอยตะเข็บขึ้นมา

น้ำมันเชื้อเพลิง หมายความว่า

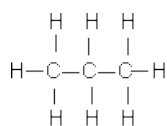
(1) ก๊าซธรรมชาติ ก๊าซปิโตรเลียม น้ำมันดิบ น้ำมันเบนซิน น้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องบิน น้ำมันก๊าด น้ำมันดีเซล น้ำมันเตา และ น้ำมันหล่อลื่น

(2) สิ่งอื่นที่ใช้หรืออาจใช้เป็นวัตถุติดในการกลั่นหรือผลิตเพื่อให้ได้มาซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ใช้หรืออาจใช้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงหรือเป็นสิ่งหล่อลื่น หรือสิ่งอื่นที่ใช้หรืออาจใช้เป็นเชื้อเพลิงหรือเป็นสิ่งหล่อลื่น

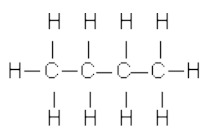
ซึ่งได้ตัด “ก๊าซธรรมชาติ” ออกไปเนื่องจากในร่างประกาศกระทรวงฯ ดังกล่าวตีกรอบเฉพาะของเหลวสถานะเดียวเท่านั้น ดังนั้นหากซึ่งตวงวัดเราในวันหนึ่งวันใดเกิดมีกันว่าน้ำมันเชื้อเพลิงคืออะไร ก็ขอให้กลับไปดูนิยาม “น้ำมันเชื้อเพลิง” จากพระราชบัญญัติควบคุมน้ำมันเชื้อเพลิง พ.ศ. 2542 และพระราชบัญญัติการค้าน้ำมันเชื้อเพลิง พ.ศ. 2543 แล้วปรับใช้ให้ดีเพราะงานซึ่งตวงวัดตามข้อกำหนดของกฎหมายนั้นกรอบจำกัดเฉพาะ Trading (การค้า) คือ Products และ Services ซึ่งก็คือการค้าน้ำมันเชื้อเพลิง จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องหันไปมองพระราชบัญญัติฯ ทั้ง 2 อยู่เสมอและหากต้องออกกฎระเบียบใดก็ขอให้ถกถอเนื้อหาให้เข้ากับพระราชบัญญัติฯ ทั้งสองดังกล่าวด้วย

สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ปรากฏอยู่ในส่วนผสมของก๊าซปิโตรเลียมเหลว อาจแบ่งเป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ พหุไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัว (Saturated Hydrocarbon) และไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัว (Unsaturated Hydrocarbon)

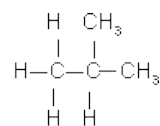
กลุ่มไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัว (Saturated Hydrocarbon) ได้แก่ โพรเพน (Propane) นอร์มัลบิวเทน (n-butane หรือ Normal Butane; nC_4) และ ไอโซบิวเทน (iso-butane หรือ Isobutane; iC_4) เพราะมีพันธะเคมีจับตัวกันระหว่าง C และ H เป็นพันธะเดียว



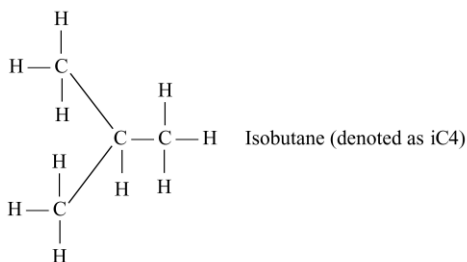
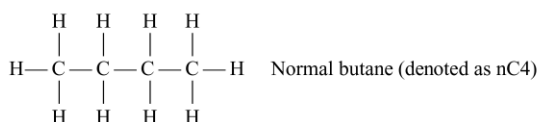
Propane



n-butane

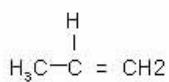


iso-butane

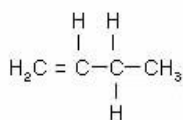


รูปที่ 12 พันธเคมีของกลุ่มไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัว (Saturated Hydrocarbon)

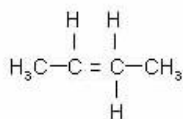
กลุ่มไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัว (Unsaturated Hydrocarbon) ได้แก่ โพรพิลีน (Propylene), นอร์มัลบิวทิลีน (n-butylene) และ ไอโซบิวทิลีน (iso-butylene)



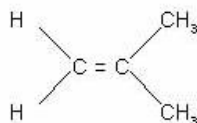
Propylene



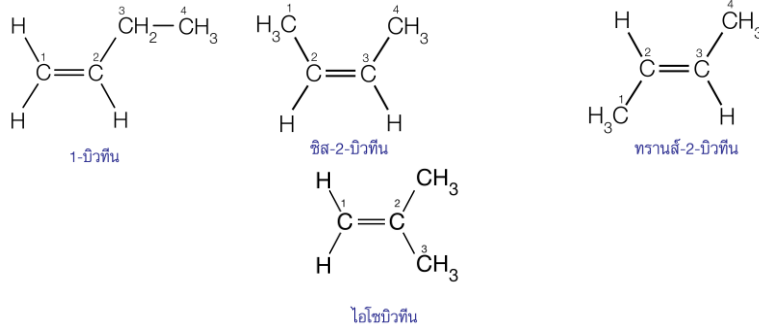
n-butylene (butene-1)



Butylene-2 (mixture of cis and trans isomers)



iso-butylene (2 methylpropane) (iso-butene)

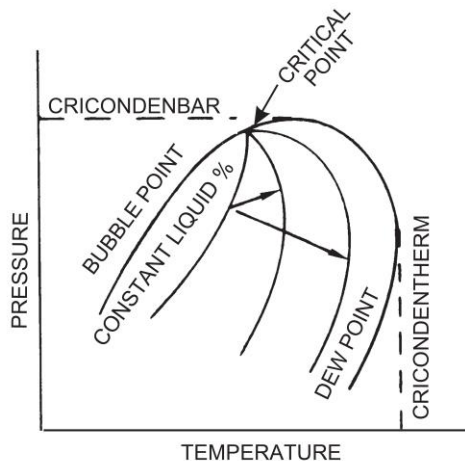


รูปที่ 13 พันธเคมีของกลุ่มไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัว (Unsaturated Hydrocarbon)

3. คุณสมบัติทางกายภาพ ก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) ที่ใช้กันอยู่มี 2 สถานะ คือ ของเหลวและก๊าซ ดังนั้น จำเป็นต้องทราบถึงคุณสมบัติทางกายภาพของก๊าซปิโตรเลียมเหลวทั้งสองสถานะ ดังนี้

3.1. ก๊าซปิโตรเลียมเหลวเมื่ออยู่ในสถานะเป็นของเหลว

(ก.) จุดเดือด และสภาวะวิกฤติ LPG มีจุดเดือดต่ำมาก คือ โพรเพนมีจุดเดือดเท่ากับ -42°C , นอร์มัลบิวเทนมีจุดเดือดเท่ากับ -0.5°C , ไอโซบิวเทนมีจุดเดือดเท่ากับ -11.7°C ดังนั้น LPG มีสถานะเป็นก๊าซ ที่อุณหภูมิปกติและความดันบรรยากาศเว้นเสียแต่จะถูกอัดด้วยความดันหรือทำให้ LPG มีอุณหภูมิลดต่ำกว่าจุดเดือด ค่าความดันที่ทำให้ LPG เป็นของเหลวต่อเมื่อเพิ่มความดันให้สูงกว่าค่าความดันไอของ LPG (Vapor Pressure) ตัวอย่างเช่นที่อุณหภูมิของโพรเพนเท่ากับ 15°C จะมีค่าความดันไอของโพรเพนเท่ากับ 7.3 เท่าความดันบรรยากาศ และหากอุณหภูมิของโพรเพนสูงขึ้นแล้วค่าความดันไอของโพรเพนก็จะสูงขึ้นตามไปด้วยเช่นกัน ตัวอย่างเช่นเมื่อโพรเพนมีอุณหภูมิ 96.67°C ความดันที่ต้องใช้อัดโพรเพนอย่างน้อยต้องมากกว่า 41.94 เท่าความดันบรรยากาศจึงจะทำให้โพรเพนมีสถานะเป็นของเหลว แต่เราพบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงกว่านี้โพรเพนจะไม่เป็นของเหลวแม้ว่าจะอัดด้วยความดันมากกว่า 41.94 บรรยากาศก็ตาม ด้วยเหตุนี้เราจึงเรียกสภาวะที่อุณหภูมิ 96.67°C และความดัน 41.94 เท่าความดันบรรยากาศของโพรเพนว่า “สภาวะวิกฤติ (Critical Point)” ของ โพรเพน



รูปที่ 12 สภาวะวิกฤติ (Critical Point)

ส่วนประกอบ	จุดเดือด (°F)
C ₂ H ₄ เอทิลีน (อีthin)	-155
C ₂ H ₆ อีเทน	-128
C ₃ H ₈ โพรพีลีน	-54
C ₃ H ₈ โพรเพน*	-44
iC ₄ H ₁₀ ไอโซบิวเทน	11
C ₄ H ₈ บิวทิลีน (บิวติน)	13-39
nC ₄ H ₁₀ บิวเทน	31
iC ₅ H ₁₂ ไอโซเพนเทน	82
nC ₅ H ₁₂ เพนเทน	97

* โพรเพน เป็นส่วนประกอบของก๊าซ LPG ในตลาดปัจจุบัน

ตารางที่ 2 องค์ประกอบก๊าซ LPG

Table 1-2 Physical Constants for Pure Components (Whitson and Brule, 2000)						
Compound	Formula	Molecular Weight	Critical Constants			
			P _c psia (kPa)	T _c °R (°K)	V _c ft ³ /lb (m ³ /kg)	Z _c
Methane	CH ₄	16.043	667.8 (4604)	343 (190.6)	0.0991 (0.0062)	0.2884
Ethane	C ₂ H ₆	30.070	707.8 (4880)	549.8 (305.4)	0.0788 (0.00492)	0.2843
Propane	C ₃ H ₈	44.097	616.3 (4249)	665.7 (369.8)	0.0737 (0.0046)	0.2804
n-Butane	C ₄ H ₁₀	58.124	550.7 (3797)	765.3 (425.2)	0.0702 (0.00438)	0.2736
Isobutane	C ₄ H ₁₀	58.124	529.1 (3648)	734.7 (408.2)	0.0724 (0.00452)	0.2824
n-Pentane	C ₅ H ₁₂	72.151	488.6 (3369)	845.4 (469.7)	0.0675 (0.00422)	0.2623
Isopentane	C ₅ H ₁₂	72.151	490.4 (3381)	828.8 (460.4)	0.0679 (0.00424)	0.2701
Neopentane	C ₅ H ₁₂	72.151	464.0 (3199)	781.11	0.0674 (0.00421)	0.2537
n-Hexane	C ₆ H ₁₄	86.178	436.9 (3012)	913.4 (507.4)	0.0688 (0.0043)	0.2643
n-Heptane	C ₇ H ₁₆	100.205	396.8 (2736)	972.5 (540.3)	0.0691 (0.00432)	0.2633
n-Octane	C ₈ H ₁₈	114.232	360.6 (2486)	1023.9 (568.8)	0.0690 (0.0043)	0.2587
n-Nonane	C ₉ H ₂₀	128.30	332 (2289)	1070.3 (594.6)	0.0684 (0.00427)	0.2536
n-Decane	C ₁₀ H ₂₂	142.30	304 (2096)	1111.8 (617.7)	0.0679 (0.00424)	0.2462
Ethylene	C ₂ H ₄	28.054	729.8 (5032)	508.6 (282.6)	0.0737 (0.0046)	0.2765
Propene	C ₃ H ₆	42.081	669. (4613)	656.9 (364.9)	0.0689 (0.0043)	0.2752
Acetylene	C ₂ H ₂	26.038	890.4 (6139)	555.3 (308.5)	0.0695 (0.00434)	0.2704
Carbon dioxide	CO ₂	44.010	1071. (7382)	547.6 (304.2)	0.0342 (0.00214)	0.2742
Hydrogen sulfide	H ₂ S	34.076	1306 (9005)	672.4 (373.6)	0.0459 (0.00287)	0.2831
Sulfur dioxide	SO ₂	64.059	1145. (7894)	775.5 (430.8)	0.0306 (0.00191)	0.2697
Nitrogen	N ₂	28.013	493 (3399)	227.3 (126.3)	0.0514 (0.00321)	0.2916
Water	H ₂ O	18.015	3208. (22,105)	1165.0 (647.2)	0.0500 (0.00312)	0.2350

ตารางที่ 3 คุณสมบัติของก๊าซชนิดต่างๆ

(ข.) ความหนาแน่น ปริมาตรจำเพาะและความถ่วงจำเพาะ ความหนาแน่น คือ อัตราส่วนของน้ำหนักต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร เช่น ที่อุณหภูมิ 15.5 °C ความหนาแน่นของโพรเพนมีค่าเท่ากับ 507 กิโลกรัมต่อ

ลูกบาศก์เมตร สำหรับส่วนกลับของความหนาแน่นก็คือ “ปริมาตรจำเพาะ” นั่นเอง โพรเพนมีค่าปริมาตรจำเพาะเท่ากับ 2 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน สำหรับค่าความถ่วงจำเพาะจะแสดงถึงอัตราส่วนของความหนาแน่นระหว่างก๊าซปิโตรเลียมเหลวที่อุณหภูมิใดอุณหภูมิหนึ่งเทียบกับน้ำที่อุณหภูมิ 4 °C ตัวอย่างเช่น ค่าความถ่วงจำเพาะของโพรเพนเหลวที่อุณหภูมิ 15 °C มีค่าเท่ากับ 0.5077 ส่วนนอร์มัลบิวเทนและไอโซบิวเทนจะมีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 0.5844 และ 0.5631 ตามลำดับ

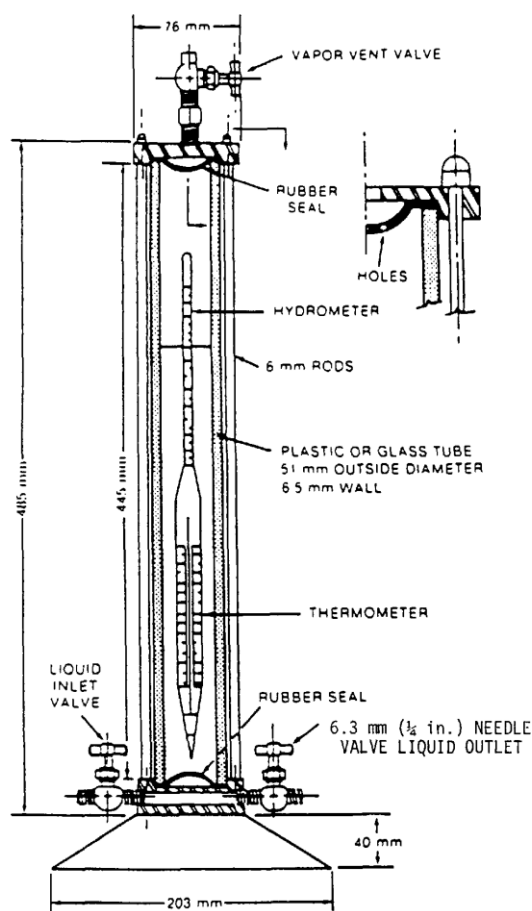


FIG. 1 Pressure Thermohydrometer Cylinder

รูปที่ 15 ASTM D1657-89 Standard Test Method for Density or Relative Density of Light Hydrocarbons by Pressure Thermohydrometer, ASTM

ดังนั้นจากคุณสมบัติของก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) ในสถานะที่เป็นของเหลวซึ่งมีค่าความหนาแน่นน้อยกว่า 1,000 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (ความหนาแน่นของน้ำโดยประมาณ) LPG จึงเบากว่าน้ำและถ้าหากเกิดมี LPG รั่วขึ้นในสภาวะแวดล้อมปกติ LPG บางส่วนจะกลายเป็นไอกระจายไปโดยรอบบริเวณ บางส่วนที่กลายเป็นไอไม่ทันที่ยังคงสภาพเป็นของเหลวอยู่ก็จะไหลลงสู่ท่อวางระบาย และหากมีน้ำอยู่ในท่อวางระบาย LPG ก็จะลอยบนผิวหน้าของน้ำไปจนกว่าระเหยกลายเป็นไอ

หาก LPG มีสัดส่วนผสมระหว่างโพรเพน และ Butane พบว่าในฤดูร้อนจะให้ โพรเพน มีเปอร์เซ็นต์ สัดส่วนผสมสูงขึ้นและลดสัดส่วน Butane เพราะโพรเพน เบากว่า Butane ในทางกลับกัน เมื่อถึงฤดูหนาวที่มี อุณหภูมิติดลบจะบรรจุให้ Butane มีเปอร์เซ็นต์สัดส่วนผสมสูงขึ้นและลดสัดส่วนโพรเพนลงเพราะ Butane มีความดันไอสูงกว่า และมีจุดเดือดที่สูงกว่าเมื่อเทียบกับคุณสมบัติของโพรเพน เพื่อให้สามารถจุดไฟติด

(ค.) ความหนืด คือ ความสามารถในการต้านทานการไหลของของไหล (ของเหลวหรือก๊าซ) ที่มีต่อ ภาชนะหรือท่อ ของไหลต่างชนิดกันจะมีความหนืดแตกต่างกัน ก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) ในสภาพของเหลว จะมีความหนืดน้อยมาก (ความหนืดของน้ำเท่ากับ 1 เซนติพอยส์) จากคุณสมบัติอันนี้ ทำให้ก๊าซเหลวรั่วซึมได้ง่าย กว่าของเหลวชนิดอื่น นอกจากนี้ก๊าซปิโตรเลียมเหลวไม่มีคุณสมบัติในการหล่อลื่นเนื่องจากมีความหนืดต่ำ ดังนั้นอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง เช่น ปั๊มที่ใช้ร่วมกับ LPG จึงเกิดการสึกหรอสูงมากเมื่อเทียบกับปั๊มที่ใช้กับน้ำมัน ปิโตรเลียมเพราะฉะนั้นอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับก๊าซปิโตรเลียมเหลวจึงต้องออกแบบให้เหมาะสมทนทานต่อการสึก หรอและแรงดันสูงได้ อนึ่ง อุณหภูมิจะมีผลต่อความหนืดของของไหล กล่าวคือ ของไหลที่มีสถานะเป็นของเหลว เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นค่าความหนืดจะลดลง แต่ถ้าเป็นก๊าซ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นค่าความหนืดก็สูงขึ้นด้วย

(ง.) ความดันไอ (Vapor Pressure) ก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) เมื่อถูกบรรจุอยู่ในภาชนะปิด ภายใต้อุณหภูมิและความดันจะมีสถานะเป็นของเหลว LPG เหลวจะระเหยเป็นไอเต็มช่องว่างที่อยู่เหนือระดับส่วนที่เป็น ของเหลวจนกระทั่งถึงจุดอิ่มตัว (Saturation Point) จึงจะหยุดระเหย ค่าความดันของก๊าซ LPG ที่จุดอิ่มตัวนี้ เรียกว่า “ค่าความดันไออิ่มตัว” ค่าความดันไออิ่มตัวเป็นตัวบ่งบอกคุณสมบัติการระเหย (Volatility) ของสาร นั้นๆ กล่าวคือถ้าสารใดมีความดันไอสูงแสดงว่าสารนั้นสามารถระเหยได้เร็ว นอกจากนี้ค่าความดันไอ LPG ยัง เป็นค่าที่ขึ้นกับอุณหภูมิ LPG ณ ขณะนั้นโดยตรง กล่าวคือ ถ้าอุณหภูมิสูงค่าความดันไออิ่มตัวก็สูงขึ้นด้วย ตัวอย่างในรูปที่ 16 ที่อุณหภูมิของโพรเพน 0 °C มีค่าความดันเท่ากับ 4.5 bar แต่เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นเป็น 38 °C จะมีค่าความดันสูงขึ้นเป็น 14.5 bar

Name	Propane	Butane
Composition	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀ (N and I forms)
Molecular weight	44	58
Boiling point at 1 bar(a)	-45 °C	-2 °C
Pressure at 0 °C	4.5 bar	0.5 bar
Pressure at 38°C	14.5 bar	4.8 bar
Cu Expans @0°C	0.00256 /°C	0.00180 /°C
Cu Expans @20°C	0.00302 /°C	0.00198 /°C
Cu Expans @40°C	0.00377 /°C	0.00221 /°C

Table 2: Some properties of propane and butane

รูปที่ 16 คุณสมบัติบางประการของ Propane และ Butane

(จ.) ความร้อนแฝงในการระเหย ความร้อนแฝงในการระเหย คือ ปริมาณความร้อนที่ต้องใช้ในการ ระเหยต่อหน่วยน้ำหนักของสารเพื่อเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นก๊าซที่จุดเดือดปกติ (ณ ความดันบรรยากาศ) หรือปริมาณความร้อนที่ต้องถูกดึงออกต่อหน่วยน้ำหนักของสารเพื่อให้ได้กลิ่นตัวเป็นของเหลวที่ความดัน

บรรยากาศ ทั้งนี้ค่าความร้อนแฝงดังกล่าวจะมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งก๊าซปิโตรเลียมเหลวมีค่าความร้อนแฝงน้อยมากเมื่อเทียบกับความร้อนแฝงของน้ำ ดังนั้นเมื่อ LPG ถูกปล่อยออกจากภาชนะเก็บ LPG จะระเหยทันที การที่ LPG ระเหยได้ต้องได้รับความร้อนหรือดึงความร้อนจากบริเวณใกล้เคียงซึ่งจะทำให้บริเวณที่ถูกดึงความร้อนไปจะมีความเย็นจัดเพราะฉะนั้นถ้า LPG รั่วไหลออกมาถูกผิวหนังเราหรือส่วนหนึ่งส่วนใดของร่างกายจะทำให้ผิวหนังหรือส่วนนั้นๆของร่างกายนั้นได้รับความเย็นจัดจนถึงกับเนื้อเยื่อตาย

(ฉ.) ความร้อนจำเพาะ ค่าความร้อนจำเพาะ คือปริมาณความร้อนที่ทำให้วัตถุหนึ่งหน่วยน้ำหนักมีอุณหภูมิสูงขึ้นหนึ่งองศา มีหน่วยเป็นกิโลแคลอรี / กิโลกรัม / °C หรือ บีทียู/ปอนด์/°F เช่น เมื่ออยู่ในสถานะของเหลว ความดันคงที่ 1 บรรยากาศ อุณหภูมิ 25 °C ค่าความร้อนจำเพาะของโพรเพนมีค่าเท่ากับ 0.6023 ส่วนนอร์มัลบิวเทน, ไอโซบิวเทน, commercial propane และ commercial butane จะมีค่าความร้อนจำเพาะเท่ากับ 0.5748, 0.5824, 0.60 และ 0.57 ตามลำดับ

(ข.) อุณหภูมิของจุดติดไฟ (Ignition Temperature) เมื่อค่อย ๆ เพิ่มอุณหภูมิให้กับเชื้อเพลิงจนเลยอุณหภูมิต่ำสุดแล้ว เชื้อเพลิงก็จะเริ่มลุกไหม้เองแม้จะไม่มีประกายไฟหรือสาเหตุของการติดไฟ อุณหภูมิต่ำสุดที่เริ่มเกิดการลุกไหม้ตามธรรมชาตินี้เรียกว่า “อุณหภูมิของจุดติดไฟ (Ignition Temperature)” เนื่องจากอุณหภูมิจุดติดไฟของโพรเพน คือ 460 - 580 °C และของบิวเทนคือ 410 - 550 °C ดังนั้นก๊าซปิโตรเลียมเหลวจึงติดไฟได้ยากกว่าเมื่อเทียบกับน้ำมันเบนซินซึ่งมีจุดติดไฟ 280 - 430 °C และน้ำมันดีเซล 250 - 340 °C เมื่อมองดูในเทอมนี้เราพบว่าก๊าซปิโตรเลียมเหลวค่อนข้างมีความปลอดภัยสูงกว่าเมื่อเทียบกับน้ำมันเบนซินแต่ขอแนะนำอย่าไปลองทดสอบเองนะครับ อาจทำให้ชิ้นส่วนของร่างกายขาดหายได้หาผลเสียว่า

(ข.) สมบัติการขยายตัว ก๊าซปิโตรเลียมเหลวมีสมบัติการขยายตัวที่ 15 °C ประมาณ 0.300/°C สำหรับโพรเพน และ 0.002/°C สำหรับบิวเทน พบว่าอุณหภูมียิ่งสูงการขยายตัวยิ่งมาก ตัวเลขนี้จำเป็นอย่างยิ่งใช้ในการคำนวณปริมาตรสูงสุดที่สามารถจะบรรจุก๊าซลงภาชนะหรือถังเก็บได้ในสภาพอุณหภูมิต่างๆ กัน ดังนั้นการบรรจุก๊าซปิโตรเลียมเหลวลงในถังจะต้องเหลือที่ว่างเหนือก๊าซเหลวไว้ โดยในส่วนช่องว่างนี้จะมีไอก๊าซอยู่ทั้งนี้เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความดันที่เกิดการขยายตัวของของเหลวในกรณีที่ก๊าซได้รับความร้อนผิดปกติ นอกจากนี้ระบบท่อส่งต่าง ๆ ที่ส่งก๊าซปิโตรเลียมเหลวจำเป็นต้องมีกลไกอุปกรณ์นิรภัยแบบระบายความดัน เช่น Pressure Relief Valve เป็นต้น

3.2. คุณสมบัติทางกายภาพของก๊าซปิโตรเลียมเหลว เมื่ออยู่ในสถานะเป็นก๊าซ

(ก.) ความหนาแน่น ปริมาตรจำเพาะและความถ่วงจำเพาะ ค่าความถ่วงจำเพาะของก๊าซปิโตรเลียมเหลวเมื่อเป็นก๊าซจะแสดงถึงอัตราส่วนของความหนาแน่นระหว่างก๊าซกับอากาศที่อุณหภูมิและความดันเดียวกัน หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่าเป็นตัวเลขที่ชี้ให้เห็นว่าก๊าซปิโตรเลียมเหลวเมื่อเป็นก๊าซจะหนักเป็นกี่เท่าของอากาศ (เมื่อความหนาแน่นของ อากาศ = 1)

ที่อุณหภูมิ 15.5 °C (60 °F) ณ ความดันบรรยากาศ

โพรเพน มีค่าความถ่วงจำเพาะเมื่อเป็นก๊าซ เท่ากับ 1.5

บิวเทน มีค่าความถ่วงจำเพาะเมื่อเป็นก๊าซ เท่ากับ 2.0

ดังนั้น ก๊าซปิโตรเลียมเหลวในสถานะที่เป็นก๊าซจะหนักกว่าอากาศเมื่อเกิดการรั่วไหลขึ้น ก๊าซจะไปรวมตัวอยู่ในบริเวณที่ต่ำและถ้าบริเวณที่ต่ำนั้นเป็นรางระบายน้ำหรือคูคลอง ก๊าซอาจจะไหลตามน้ำไปทำให้เกิดอุบัติเหตุไฟไหม้ ณ จุดซึ่งห่างไกลจากบริเวณที่ก๊าซรั่วได้ นอกจากนี้ค่าความหนืดก๊าซปิโตรเลียมเหลวในสถานะของก๊าซจะมีความหนืดสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

(ข.) **ความสามารถในการอัดตัวของก๊าซ LPG (Compressibility factor)** สำหรับก๊าซอุดมคติ (Ideal Gas) ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิ ความดันและปริมาตร สามารถแสดงโดยสมการสถานะ (Equation of State) คือ

$$PV = nRT$$

เมื่อ P = ความดัน ,
V = ปริมาตร ,
n = จำนวนโมล,
R = Gas Constant,
T = อุณหภูมิ

แต่สำหรับก๊าซ LPG จะมีลักษณะเบี่ยงเบนไปจากก๊าซอุดมคติ ดังนั้นเพื่อให้สามารถใช้สมการสถานะได้จึงจำเป็นต้องเพิ่มค่าความสามารถในการอัดตัวของก๊าซ (Compressibility factor, Z) เข้าไปในสมการคือ $PV = ZnRT$ สำหรับก๊าซไม่อุดมคติ โดยที่ Z จะมีค่าน้อยกว่า 1 คือที่อุณหภูมิ 15 °C ณ ความดันบรรยากาศ โพรเพน นอร์มัลบิวเทน และไอโซบิวเทน มีค่า Z = 0.984 , 0.969 และ 0.971 ตามลำดับ

(ค.) **ช่วงการลุกไหม้ (Flammability Limits in Air)** ก๊าซที่สันดาปได้จะมีช่วงส่วนผสมกับอากาศเพียงช่วงเดียวที่จุดไฟแล้วลุกไหม้ได้เพราะมีอากาศผสมอยู่ในปริมาณที่พอเหมาะ ช่วงการลุกไหม้ได้จะแสดงค่าเป็นอัตราส่วนร้อยละ (%) ปริมาตรก๊าซต่ออากาศ ค่าทางด้านความเข้มข้นสูงของช่วงการลุกไหม้ เรียกว่า “อัตราส่วน Higher Explosion Limit (U.E.L)” ส่วนทางด้านความเข้มข้นต่ำของช่วงการลุกไหม้เรียกว่า “อัตราส่วน Lower Explosion Limit (L.E.L)” ก๊าซ LPG จะสามารถลุกไหม้หรือติดไฟได้ก็ต่อเมื่อมีก๊าซผสมอยู่ในอากาศ 2-9% คือถ้ามีก๊าซ LPG ต่ำกว่า 2 ส่วนหรือมากกว่า 9 ส่วนในส่วนผสมของก๊าซกับอากาศกับอากาศ 100 ส่วน ส่วนผสมนั้นก็เลยจะไม่ติดไฟ ซึ่งค่อยอ่านในเนื้อต่อไป

(ง.) **อุณหภูมิของเปลวไฟ (Flame temperature)** อุณหภูมิของเปลวไฟที่ได้จากการเผาไหม้ของ LPG สูงมากพอที่จะหลอมโลหะต่าง ๆ ได้ เช่น หลอมเหล็ก ทองเหลือง อลูมิเนียม และแก้ว เป็นต้น โดยโพรเพน มี

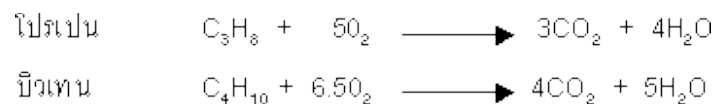
อุณหภูมิของเปลวไฟในอากาศ 1,930 °C และบิวเทน 1,900 °C ดังนั้นจึงเหมาะสำหรับงานอุตสาหกรรมหลอมโลหะ นอกจากนี้ยังสามารถนำไปใช้ในการอบเครื่องเคลือบดินเผาอบสี ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

(จ.) **ค่าออกเทน (Octane Number)** LPG ในสถานะก๊าซที่ใช้สำหรับยานพาหนะนั้นจะมีค่าออกเทน (Octane No.) สูงประมาณ 95-110 ซึ่งสูงกว่าค่าออกเทนของน้ำมันเบนซินจึงเหมาะกับการใช้เป็นเชื้อเพลิงของรถยนต์มาก แต่จะมีปัญหาในเรื่องอุณหภูมิของเปลวไฟของ LPG เมื่อมีการระเบิดในกระบอกสูบซึ่งจะมีอุณหภูมิสูงกว่าน้ำมันเบนซินทำให้เครื่องร้อนมากกว่าต้องแลกเอาครับ

(ฉ.) **อัตราส่วนปริมาตรของเหลว/ก๊าซ (Liquid/Vapor Volume Ratio)** LPG เหลวเมื่อระเหยและเปลี่ยนสถานะไปเป็นก๊าซ พบว่าปริมาตรจะเปลี่ยนแปลงไปอย่างมากกล่าวคือที่อุณหภูมิ 15.5 °C (60 °F) โพรเพนเหลว 1 หน่วยปริมาตร เมื่อกลายเป็นก๊าซจะมีปริมาตรเป็น 274 หน่วยหรือพูดง่าย ๆ คือขยายตัวไป 274 เท่าตัว ส่วนบิวเทนเหลว 1 หน่วยปริมาตร เมื่อกลายเป็นก๊าซจะมีปริมาตรเป็น 233 หน่วย

ดังนั้น LPG ในสถานะที่เป็นของเหลว ถ้ารั่วออกมาจะมีอันตรายมากกว่าที่เป็นก๊าซเพราะปริมาณ LPG สถานะของเหลวที่รั่วไหลออกมาเมื่อกลายเป็นสถานะก๊าซจะเพิ่มปริมาตรมากขึ้น 274 เท่าตัว การขยายตัวแพร่ตัว โอกาสที่ไปพบประกายไฟ โอกาสการระเบิดก็ยิ่งมาก อันตรายก็ยิ่งหายห่วงมีก็ห่วงก็หายครับ จะอะไรเสียอีกครับก็มันจะรุนแรงสิครับ

(ช.) **ปริมาณอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ (Air Requirement)** ก๊าซออกซิเจนเป็นก๊าซที่มีส่วนผสมอยู่ในอากาศ 21 % โดยปริมาตรและเป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยให้เกิดการเผาไหม้ ดังนั้นปริมาณอากาศที่ป้อนเข้าไปในห้องเผาไหม้จะต้องมีปริมาณที่แน่นอนในกรณีที่ก๊าซ LPG เผาไหม้อย่างสมบูรณ์ทั้งหมดก็จะกลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำและการเปลี่ยนแปลงนี้เขียนเป็นสมการเคมีได้ดังต่อไปนี้



ดังจะเห็นได้จากสมการเหล่านี้ ปริมาณออกซิเจนที่จำเป็นต่อการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์จะเป็น 5 เท่าในกรณีของโพรเพน และ 6.5 เท่าในกรณีของบิวเทน เนื่องจากปริมาณออกซิเจนในอากาศมีประมาณ 21% ฉะนั้นในการเผาไหม้โพรเพนอย่างสมบูรณ์ 1 ลูกบาศก์เมตรจะต้องใช้อากาศ 24 ลูกบาศก์เมตร ส่วนบิวเทน 1 ลูกบาศก์เมตรจะใช้อากาศ 31 ลูกบาศก์เมตรดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันเบนซินแล้ว LPG ต้องการปริมาณอากาศมากกว่าเล็กน้อย

(ซ.) **ค่าความร้อนของการเผาไหม้ (heat of combustion)** ค่าความร้อนของการเผาไหม้ของก๊าซ LPG หมายถึงค่าปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นจากการนำเอาก๊าซ LPG หนึ่งหน่วยน้ำหนัก หรือหนึ่งหน่วยปริมาตรมาเผาไหม้ที่ความดันบรรยากาศและอุณหภูมิปกติ (25 °C) ค่าความร้อนของการเผาไหม้เป็นค่าที่บ่งบอกถึงคุณสมบัติของเชื้อเพลิง และใช้ในการคำนวณหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องจักร

(ณ.) สี กลิ่น และการละลาย LPG บริสุทธิ์ ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ดังนั้น บริษัท ผู้ผลิตก๊าซ LPG จึงต้องเติมสารประกอบที่มีกลิ่นเหม็นลงไปด้วย เพื่อให้ผู้ใช้รู้ตัวเมื่อก๊าซ LPG เกิดรั่ว หรือผู้ใช้ลืมปิดวาล์วใช้ก๊าซ สารประกอบที่เติมลงไปเพื่อให้ก๊าซ LPG มีกลิ่นเหม็นเป็นสารพวกเมอร์แคปแทน (Mercaptan) นอกจากนี้ ก๊าซ LPG มีคุณสมบัติเป็นตัวทำละลาย (Solvent) เช่นเดียวกับพวกน้ำมันระเหยจึงสามารถละลายหรือทำให้ อุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ทำมาจากยางธรรมชาติเสียคุณสมบัติได้ เช่น ปะเก็นหรือซีลต่าง ๆ ดังนั้นอุปกรณ์ที่นำมาใช้กับถังที่บรรจุก๊าซ LPG ควรใช้วัสดุอื่นที่ไม่ได้ทำมาจากยาง ธรรมชาติ เช่น ยางสังเคราะห์ เป็นต้น

Table B.1.2(a) (English) Approximate Properties of LP-Gases

	Commercial Propane	Commercial Butane
Vapor pressure in psi (absolute pressure) at		
70°F	145	32
100°F	218	52
105°F	233	56
130°F	315	84
Specific gravity of liquid at 60°F	0.504	0.582
Initial boiling point at 14.7 psia, °F	-44	15
Weight per gallon of liquid at 60°F, lb	4.20	4.81
Specific heat of liquid, Btu/lb at 60°F	0.630	0.549
Cubic feet of vapor per gallon at 60°F	36.38	31.26
Cubic feet of vapor per pound at 60°F	8.66	6.51
Specific gravity of vapor (air = 1) at 60°F	1.50	2.01
Ignition temperature in air, °F	920-1,120	900-1,000
Maximum flame temperature in air, °F	3,595	3,615
Limits of flammability in air, percent of vapor in air-gas mixture:		
Lower	2.15	1.55
Upper	9.60	8.60
Latent heat of vaporization at boiling point:		
Btu per pound	184	167
Btu per gallon	773	808
Total heating values after vaporization:		
Btu per cubic foot	2,488	3,280
Btu per pound	21,548	21,221
Btu per gallon	91,502	102,032

Table B.1.2(b) (Metric) Approximate Properties of LP-Gases

	Commercial Propane	Commercial Butane
Vapor pressure in kPa (absolute pressure) at		
20°C	1,000	220
40°C	1,570	360
45°C	1,760	385
55°C	2,170	580
Specific gravity	0.504	0.582
Initial boiling point at 1.00 atm pressure, °C	-42	-9
Weight per cubic meter of liquid at 15.56°C, kg	504	582
Specific heat of liquid, kilojoules per kilogram, at 15.56°C	1.464	1.276
Cubic meter of vapor per liter of liquid at 15.56°C	0.271	0.235
Cubic meter of vapor per kilogram of liquid at 15.56°C	0.539	0.410
Specific gravity of vapor (air = 1) at 15.56°C	1.50	2.01
Ignition temperature in air, °C	493-549	482-538
Maximum flame temperature in air, °C	1,980	2,008
Limits of flammability in air, % of vapor in air-gas mixture:		
Lower	2.15	1.55
Upper	9.60	8.60
Latent heat of vaporization at boiling point:		
Kilojoules per kilogram	428	388
Kilojoules per liter	216	226
Total heating value after vaporization:		
Kilojoules per cubic meter	92,430	121,280
Kilojoules per kilogram	49,920	49,140
Kilojoules per liter	25,140	28,100

4. การจัดเก็บก๊าซ LPG

จะมีอยู่ด้วยกัน 3 รูปแบบที่นิยมกันคือ

4.1. Pressurized Gas Tankers จัดเก็บก๊าซ LPG ภายในภาชนะภายใต้ความดันสูงประมาณ 80-190 Psi (6 – 13 barg) ในการออกแบบถึงความดันจึงต้องออกแบบให้สามารถรองรับความดันไม่น้อยกว่าที่ประมาณ 18 barg โดยสามารถรองรับอุณหภูมิสูงสุดที่ทนได้ในการขนย้าย LPG เข้าออกถึงสำรองที่ 45 °C ส่งผลให้ขนาดถึงสำรองรูปแบบนี้ที่ได้รับการออกแบบสำหรับการขนส่งจึงมีขนาดไม่เกิน 1,000 m³ ซึ่งเรามักพบเห็นในการขนส่งทางบกด้วยรถยนต์



รูปที่ 18 ถึงสำรองแบบเก็บด้วยความดัน

4.2. Semi-Refrigerated /Semi-Pressurized Gas Carriers จัดเก็บก๊าซ LPG ไว้ภายใต้อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเดือดของก๊าซ LPG ซึ่งจุดเดือดของก๊าซ LPG อยู่ที่ประมาณ -50 °C ดังนั้นความดันภายในถึงจะเหลือเพียง 2.8 - 7.0 barg ขนาดถึงที่ได้รับการออกแบบสำหรับการขนส่งจึงมีขนาดไม่เกิน 12,000 m³ โดยประมาณ

4.3. Fully Refrigerated Gas Carriers เป็นการจัดเก็บก๊าซด้วยสภาวะภายในถึงจัดเก็บที่มีความดันเท่ากับหรือใกล้เคียงความดันบรรยากาศ โดยควบคุมอุณหภูมิภายในถึงสำรองให้เท่ากับหรือใกล้เคียงอุณหภูมิจุดเดือดของก๊าซนั้นๆ สำหรับการจัดเก็บก๊าซโพรเพนจะควบคุมอุณหภูมิภายในถึงสำรองแบบนี้เท่ากับอุณหภูมิจุดเดือดของก๊าซโพรเพนซึ่งอยู่ที่ -42 °C หรือต่ำกว่าเล็กน้อยเช่นที่ -45 °C ส่วน Butane จัดเก็บที่อุณหภูมิ -2 °C ดังนั้นด้วยระบบจัดเก็บก๊าซวิธีนี้จึงมีการจัดเก็บที่อุณหภูมิต่ำสุดของถึงสำรองอยู่ที่ -50 °C และมีความดันภายในถึงขณะใช้งาน (Working Pressure) ประมาณ 250 millibar (ดูรูปที่ 19) ขนาดถึงที่ได้รับการออกแบบสำหรับการขนส่งจึงมีขนาดระหว่าง 5,000 - 75,000 m³

FIG. 6-12
Single Containment Tank

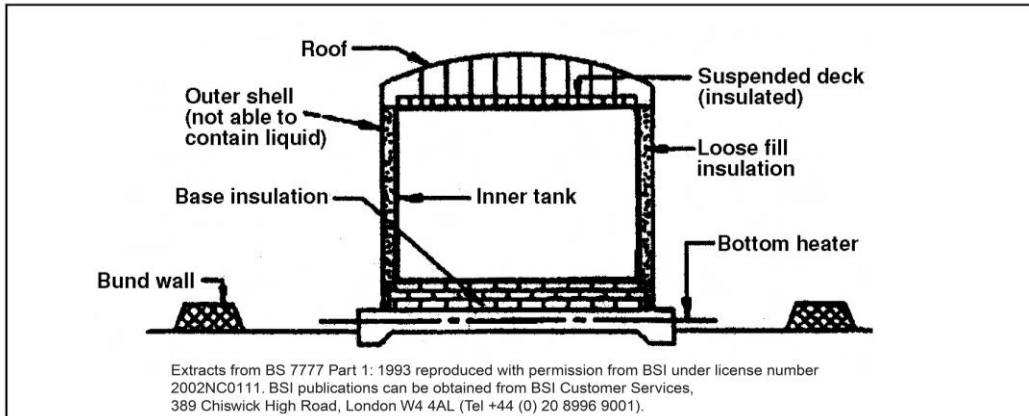


FIG. 6-13
Double Containment Tank

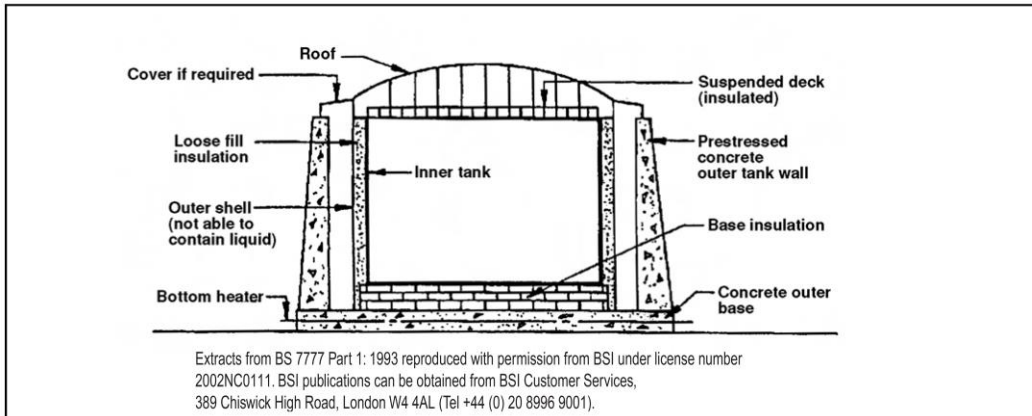
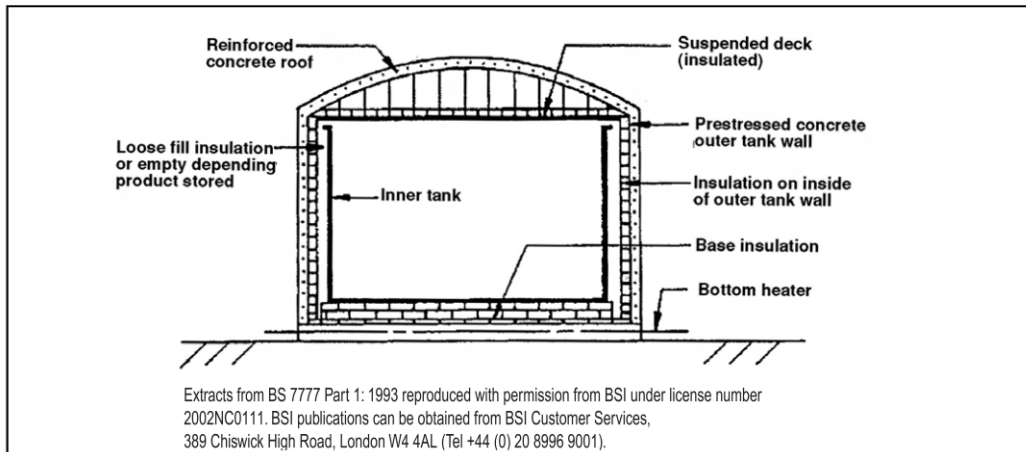


FIG. 6-14
Full Containment Tank



รูปที่ 19 Fully Refrigerated Storage Tanks หรือ Cold Storage Tanks หรือ Cryogenic Storage Tanks 3 รูปแบบตาม BS 7777 Part1-1993



รูปที่ 20 Fully Refrigerated Storage Tanks

ด้วยเหตุนี้เราจึงไม่เห็นการขนส่งด้วยวิธีการจัดเก็บด้วยวิธีการนี้กับการขนส่งทางบกแต่จะพบเห็นในการขนส่งทางเรือเดินทางข้ามมหาสมุทรเนื่องจากสามารถจัดเก็บได้ปริมาณมาก ยกตัวอย่างในกรณีที่ ปตท. ทำการซ่อมแซมโรงแยกก๊าซธรรมชาติประจำปี ทำให้กำลังการผลิตก๊าซลดลงส่งผลให้ปริมาณก๊าซ LPG มีไม่พอใช้ภายในประเทศ ปตท.ก็จะสั่งนำเข้าก๊าซโพรเพน และ/หรือ ก๊าซ Butane และ/หรือก๊าซ LPG (ส่วนผสมของก๊าซโพรเพนกับก๊าซ Butane) จากต่างประเทศเป็นลำเรือใหญ่ๆ ซึ่งขนส่งด้วยวิธีการจัดเก็บแบบ Fully Refrigerated Gas Carriers นะครับ



รูปที่ 21 Fully Refrigerated Gas Carriers

5. โทษของก๊าซ LPG

เนื่องจากอุตสาหกรรมทางด้านปิโตรเลียมนั้น ความเสียหายจากการระเบิดของผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมในแต่ละครั้งนั้นสร้างความเสียหายให้กับผู้ประกอบการอย่างรุนแรงทั้งในรูปของชีวิตและทรัพย์สิน รวมทั้งความเสียหายทางด้านธุรกิจ รวมไปถึงจนถึงสถานะแวดล้อมบริเวณโดยรอบพื้นที่อีกแล้ว ยังมีความเสียหายต่างๆทั้งทางตรงและทางอ้อม ทั้งในระยะสั้นและระยะยาว ทำให้มีการศึกษาในเรื่องการระเบิดของผลิตภัณฑ์กันอย่างจริงจัง ก่อนอื่นเราต้องทำความเข้าใจในเรื่ององค์ประกอบของการจุดติดไฟหรือการระเบิดเสียก่อน ประกอบด้วย 3 องค์ประกอบคือ

1. สารไวไฟ (Flammable Gas or Material) หรือส่วนที่เป็นไอระเหยผสมอยู่ในอากาศ
2. ก๊าซออกซิเจนในปริมาณที่เหมาะสมและเพียงพอ
3. แหล่งจุดไฟ (Ignition Source) มีพลังงานความร้อนที่เพียงพอ เช่น เปลวไฟ การเกิดประกายไฟ หรือการถ่ายเทประจุไฟฟ้าสถิต ประกายไฟจากการลัดวงจรไฟฟ้าหรือจากหน้าสัมผัสสวิตช์ไฟ เป็นต้น



รูปที่ 22 องค์ประกอบของการจุดติดไฟหรือการระเบิด

แต่ก็นั่นแหละไม่ใช่ช้อยๆ หากมีองค์ประกอบครบทั้ง 3 ประการแล้วจะเกิดการติดไฟหรือระเบิดไปเสียทุกครั้ง ยังต้องคำนึงถึงชนิดสารไวไฟนั้นๆว่ามีคุณสมบัติอย่างไรเมื่อผสมเจือปนเข้ากับอากาศแล้วก่อให้เกิดสภาพจุดติดไฟ (Explosive Atmosphere) มารู้จักนิยามการระเบิดเสียก่อน

การระเบิด คือ ปฏิกิริยาเคมีของสารไวไฟกับออกซิเจนและปลดปล่อยพลังงานความร้อนสูงมาก หรือความดันสูงมาก หรือทั้งความร้อนและความดันสูงมากร่วมกัน ทั้งนี้สารไวไฟอาจอยู่ในรูปของแก๊ส (Gas) หรือไอระเหย (Vapor)

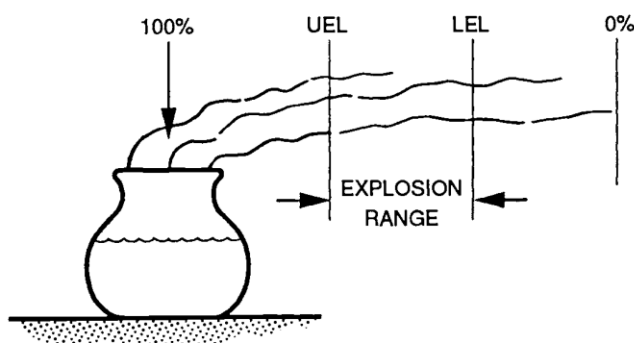
สารแต่ละชนิดมีคุณสมบัติในการจุดติดไฟต่างกัน ดังนั้นแม้ครบองค์ประกอบการจุดติดไฟหรือการระเบิด (สารไวไฟ ออกซิเจนและประกายไฟ) สารบางชนิดจะเกิดการติดไฟหรือระเบิด แต่สารบางชนิดอาจจะไม่ทำให้

เกิดการระเบิดหรือไฟไหม้ขึ้นได้ เราจึงต้องมาดูคุณสมบัติที่สำคัญของสารไวไฟที่ปนเปื้อนในอากาศและทำให้เกิดสภาพบรรยากาศที่จุดติดไฟได้ (Explosive Atmosphere) มี 5 ประการ คือ

1. **Lower Explosive Limit (LEL)** คือ ปริมาณเปอร์เซ็นต์ของสารไวไฟ (Flammable Gas or Material) หรือส่วนที่เป็นไอระเหยขั้นต่ำผสมอยู่ในอากาศ จนมีส่วนผสมที่เหมาะสมทำให้เกิดสภาพจุดติดไฟหรือระเบิดได้ (Explosive mixture) หากมีปริมาณเปอร์เซ็นต์ของสารไวไฟหรือส่วนที่เป็นไอระเหยเจือปนในอากาศเข้มข้นหรือปริมาณต่ำกว่าค่านี้ ก็จะไม่ก่อให้เกิดการจุดติดไฟหรือระเบิด



รูปที่ 23 ขอบเขตการการจุดติดไฟของสารไวไฟ (Explosive Limits)

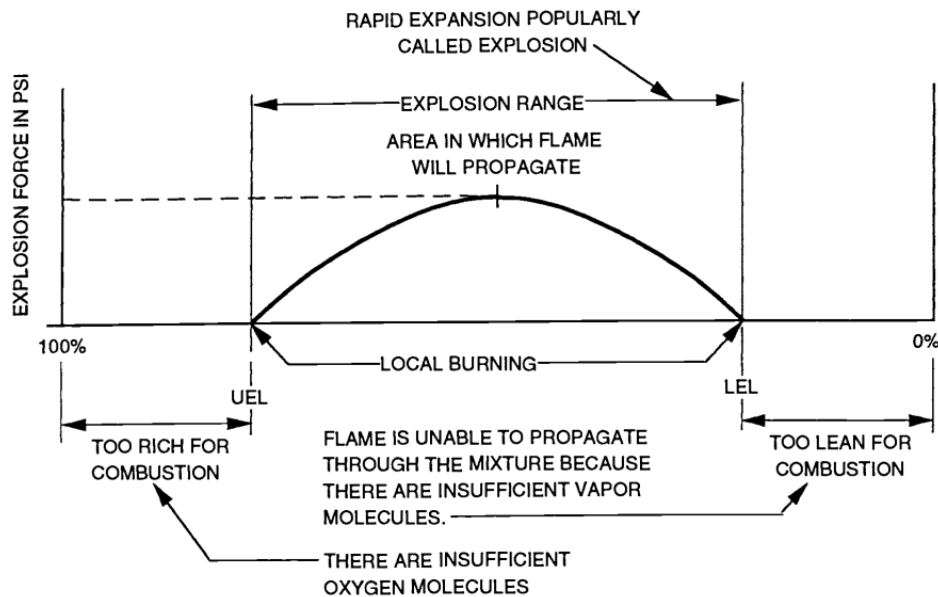


รูปที่ 24 ความเข้มข้นของไอสารไวไฟในเทอมของปริมาณเปอร์เซ็นต์ของสารไวไฟหรือส่วนที่เป็นไอระเหยผสมอยู่ในอากาศ

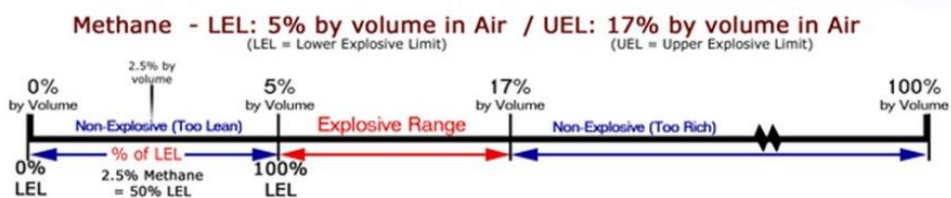
2. **Upper Explosive Limit (UEL)** คือ ปริมาณเปอร์เซ็นต์ของสารไวไฟ (Flammable Gas or Material) หรือส่วนที่เป็นไอระเหยมากที่สุดผสมอยู่ในอากาศ จนมีส่วนผสมที่เหมาะสมทำให้เกิดสภาพจุดติดไฟหรือระเบิดได้ (Explosive Mixture) หากมีปริมาณเปอร์เซ็นต์ของสารไวไฟหรือส่วนที่เป็นไอระเหยเจือปนในอากาศเข้มข้นหรือปริมาณสูงกว่าค่านี้ ก็จะไม่ก่อให้เกิดการจุดติดไฟหรือระเบิด

ด้วยเหตุนี้การจุดติดไฟ หรือระเบิดจะเกิดขึ้นได้ต้องอยู่ในสภาพตั้งแต่ Lower Explosive Limit (LEL) จนถึง Upper Explosive Limit (UEL) ดูรูปที่ 25 ทั้งนี้ขอบเขตการจุดติดไฟของสารไวไฟตั้งแต่ LEL จนถึง UEL

ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของสารไวไฟแต่ละชนิด ยกตัวอย่างเช่น ก๊าซ Methane จะมี LEL เท่ากับ 5% และ UEL 17% โดยปริมาตรของอากาศ นั้นหมายความว่าหากในอากาศที่มีอัตราส่วนผสมของก๊าซ Methane ต่ออากาศอยู่ระหว่าง 5 : 95 จนถึง 17 : 83 แล้วหากเกิดประกายไฟขึ้นโอกาสการระเบิดจะสามารถเกิดขึ้นได้สูงทันที แต่ถ้าหากอัตราส่วนผสมของก๊าซ Methane ต่ออากาศน้อยกว่านี้ 5 : 95 หรือมากกว่า 17 : 83 หากเกิดประกายไฟขึ้นโอกาสจะเกิดการระเบิดเป็นไปได้ยาก (ดูรูปที่ 26)

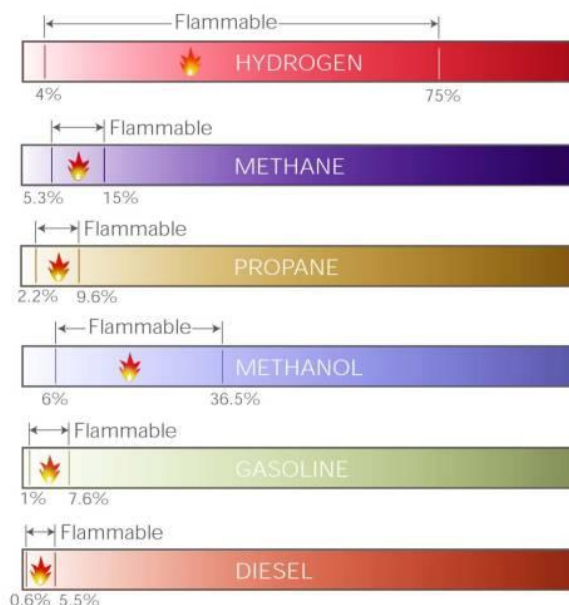


รูปที่ 25 ขอบเขตการการจุดติดไฟของสารไวไฟ



รูปที่ 26 ตัวอย่างขอบเขตการการจุดติดไฟของก๊าซ Methane

3. **Flash Point** คือ ค่าอุณหภูมิต่ำสุดที่ทำให้สารไวไฟที่มีสถานะเป็นของเหลวเกิดการระเหยกลายเป็นไอจากนั้นผสมอยู่ในอากาศในสัดส่วนที่เหมาะสมก่อให้เกิดประกายไฟได้บริเวณเหนือของเหลวชนิดนั้น เราเรียกของเหลวประเภทนี้ว่า “Flammable Liquid” ซึ่งจะมี Flash point ต่ำกว่า 100 °F (37.78 °C) สำหรับของเหลวที่มี Flash point สูงกว่า 100 °F (37.78 °C) เรียกว่า “Combustible Liquid” จากคุณสมบัติดังกล่าวเราสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการรักษาและจัดเก็บสารไวไฟให้อยู่ในสภาวะอุณหภูมิต่ำกว่า Flash point ไม่ทำให้เกิดสภาพของพื้นที่อันตรายขึ้นได้ ก็จะปลอดภัย



รูปที่ 27 ตัวอย่างขอบเขตการจุดติดไฟของสารไวไฟ

4. **Auto-Ignition Temperature** คือ อุณหภูมิต่ำที่สุดที่ทำให้แก๊ส หรือไอระเหยของสารไวไฟซึ่งผสมอยู่ในบรรยากาศจะเกิดการลุกติดไฟได้เองโดยไม่จำเป็นต้องมีประกายไฟในพื้นที่ที่มีการรั่วไหลของแก๊สหรือไอระเหยของสารไวไฟถ้ามีการใช้งานเครื่องจักรกลหรืออุปกรณ์ไฟฟ้าซึ่งทำให้เกิดความร้อนสูงที่ส่วนใดส่วนหนึ่ง (Hot Spot) โดยความร้อนที่เกิดขึ้นนี้มีอุณหภูมิสูงกว่า ค่า Auto-Ignition Temperature ของแก๊สหรือไอนั้นๆ อาจจะทำให้สารไวไฟในบรรยากาศเกิดการลุกติดไฟขึ้นเองได้

5. **Vapor Density** คือ ความหนาแน่นของแก๊สหรือไอระเหยของสารไวไฟเมื่อเทียบกับอากาศ ถ้าค่าความหนาแน่นของแก๊สหรือไอนั้นมากกว่า 1.0 แสดงว่าแก๊สหรือไอนั้นหนักกว่าอากาศเมื่อเกิดมีการรั่วไหล แก๊สหรือไอนี้จะลอยอยู่ในระดับต่ำ แต่ถ้าค่าความหนาแน่นของแก๊สหรือไอนั้นน้อยกว่า 1.0 แสดงว่าแก๊สหรือไอนั้นเบากว่าอากาศ เมื่อเกิดมีการรั่วไหลแก๊สหรือไอนี้จะลอยขึ้นสูง

อุตสาหกรรมทางด้านปิโตรเลียมได้ทำการศึกษา Explosion Limits ของผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมพอสรุปได้บางชนิดดังตารางที่ 4 ดังนั้นหากมีองค์ประกอบครบ 3 ประการและอัตราส่วนของของเหลวปิโตรเลียมกับอากาศอยู่ในระหว่าง Lower Explosion Limit (L.E.L) กับ Higher Explosion Limit (U.E.L) การจุดติดไฟหรือระเบิดจะเกิดขึ้นได้ (รูปที่ 28) ยกตัวอย่างเช่น ก๊าซ โพรเพน จะมี L.E.L เท่ากับ 2.1 และ U.E.L 9.4 นั้นหมายความว่า หากในอากาศมีอัตราส่วนผสมของก๊าซ โพรเพน ต่ออากาศอยู่ระหว่าง 2.1 : 97.9 จนถึง 9.4 : 90.6 แล้วเกิดประกายไฟขึ้น จะมีโอกาสเกิดการระเบิดขึ้นได้สูง แต่ถ้าหากอัตราส่วนผสมของก๊าซ โพรเพน ต่ออากาศน้อยกว่านี้ 2.1 : 97.9 หรือมากกว่า 9.4 : 90.6 หากเกิดประกายไฟขึ้น การระเบิดก็เกิดขึ้นได้ยาก

EXPLOSION LIMITS

Name of Product	Lower Explosion Limit L.E.L.	Upper Explosion Limit U.E.L.
<u>Liquefied Gases</u>		
Methane	5	14
Ammonia	16	25
Butane	1.5	8.5
C4 Crude	2	11.5
Ethane	3	15.5
Ethylene	2.7	34
MAPP gas	2.3	10.8
Ethylene Oxide	2.6	100
Propylene Oxide	1.9	24
Propylene	2	11.7
Raffinate 2 - C4	2	11.5
Spent C4	2	11
Vinyl Chloride Monomer	4	29
<u>Chemicals</u>		
Aromatic Oil	1	8
Benzene	1	8
Gasoline	1	7
Cumene	0.8	7
Di-Cyclo Pentadiene	1	7
Di-Ethylene Glycol	3	7
Ethyl Benzene	1	7.8
Naphtha	0.9	6
Styrene	1.1	8
Toluene	1.2	7

Note : Information received from Messrs. DOW Chemical Nederland B.V.
Terneuzen.

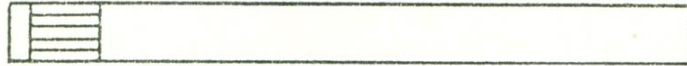
ตารางที่ 4 Explosion Limits ของผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม

หากเกิดปัญหาน้ำมันและกลวการระเบิดก็ควรหาอุปกรณ์ตัวที่สามารถวัดค่าอัตราส่วน Lower Explosion Limit (L.E.L) กับ Higher Explosion Limit (U.E.L) แต่ถ้าสามารถหาได้ก็หาเอาพวกอุปกรณ์ชนิด Gas Detector (ก่อนใช้งานก็ตรวจสอบกับไฟเช็คแก๊สที่ใช้สูบบูหรือโดยเปิดวาล์วแก๊สไฟเช็ค แต่ไม่ต้องสะกิดถ่านให้ไฟติดละ) แทนก็ยังดีหรือหลีกเลี่ยงการกระทำใดที่อาจก่อให้เกิดมืองค์ประกอบครบ 3 ประการคือ เชื้อเพลิง อากาศ และประกายไฟ ซึ่งหากตัดปัจจัยหนึ่งปัจจัยใดออกไปได้ การระเบิดจะไม่เกิดขึ้นละครับ

1. PROPANE

0 % 2.1 9.4

100 % Propane



100 % E.A. = Explosion Area

0 % Air

2. AMMONIA

0 %

14

28.0

100 % Ammonia



100 %

E.A.

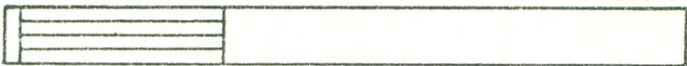
0 % Air

3. PROPYLENE OXIDE

0 %

1.9

24.0

100 % Propylene
Oxide

100 %

E.A.

0 % Air

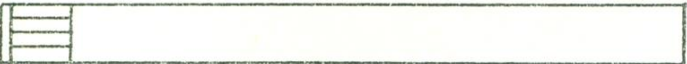
4. BENZENE

0 %

1.4

7.1

100 % Benzene



100 % E.A.

0 % Air

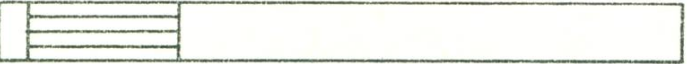
5. ETHANOL

0 %

4.3

19.0

100 % Ethanol



100 %

E.A.

0 % Air

6. ACRYLONITRILE

0 %

5.4

46.6

100 % Acryloni-
trile

100 %

E.A.

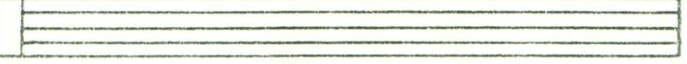
0 % Air

7. ETHYLENE OXIDE

0 %

3.0

100 % Ethylene



100 %

E.A.

0 % Air

รูปที่ 28 ตัวอย่าง Lower Explosion Limit กับ Higher Explosion Limit การจุดติดไฟหรือระเบิดจะเกิดขึ้นได้

Gas	LEL	UEL
Acetone	2.6	13.0
Acetylene	2.5	100.0
Acrylonitrile	3.0	17
Allene	1.5	11.5
Ammonia	15.0	28.0
Benzene	1.3	7.9
1,3-Butadiene	2.0	12.0
Butane	1.8	8.4
n-Butanol	1.7	12.0
1-Butene	1.6	10.0
Cis-2-Butene	1.7	9.7
Trans-2-Butene	1.7	9.7
Butyl Acetate	1.4	8.0
Carbon Monoxide	12.5	74.0
Carbonyl Sulfide	12.0	29.0
Chlorotrifluoroethylene	8.4	38.7
Cumene	0.9	6.5
Cyanogen	6.6	32.0
Cyclohexane	1.3	7.8
Cyclopropane	2.4	10.4
Deuterium	4.9	75.0
Diborane	0.8	88.0
Dichlorosilane	4.1	98.8
Diethylbenzene	0.8	–
1,1-Difluoro-1-Chloroethane	9.0	14.8
1,1-Difluoroethane	5.1	17.1
1,1-Difluoroethylene	5.5	21.3
Dimethylamine	2.8	14.4
Dimethyl Ether	3.4	27.0
2,2-Dimethylpropane	1.4	7.5
Ethane	3.0	12.4
Ethanol	3.3	19.0
Ethyl Acetate	2.2	11.0
Ethyl Benzene	1.0	6.7
Ethyl Chloride	3.8	15.4
Ethylene	2.7	36.0
Ethylene Oxide	3.6	100.0
Gasoline	1.2	7.1

Gas	LEL	UEL
Heptane	1.1	6.7
Hexane	1.2	7.4
Hydrogen	4.0	75.0
Hydrogen Cyanide	5.6	40.0
Hydrogen Sulfide	4.0	44.0
Isobutane	1.8	8.4
Isobutylene	1.8	9.6
Isopropanol	2.2	–
Methane	5.0	15.0
Methanol	6.7	36.0
Methylacetylene	1.7	11.7
Methyl Bromide	10.0	15.0
3-Methyl-1-Butene	1.5	9.1
Methyl Cellosolve	2.5	20.0
Methyl Chloride	7.0	17.4
Methyl Ethyl Ketone	1.9	10.0
Methyl Mercaptan	3.9	21.8
Methyl Vinyl Ether	2.6	39.0
Monoethylamine	3.5	14.0
Monomethylamine	4.9	20.7
Nickel Carbonyl	2.0	–
Pentane	1.4	7.8
Picoline	1.4	–
Propane	2.1	9.5
Propylene	2.4	11.0
Propylene Oxide	2.8	37.0
Styrene	1.1	–
Tetrafluoroethylene	4.0	43.0
Tetrahydrofuran	2.0	–
Toluene	1.2	7.1
Trichloroethylene	12.0	40.0
Trimethylamine	2.0	12.0
Turpentine	0.7	–
Vinyl Acetate	2.6	–
Vinyl Bromide	9.0	14.0
Vinyl Chloride	4.0	22.0
Vinyl Fluoride	2.6	21.7
Xylene	1.1	6.6

ตารางที่ 5 LEL& UEL

Sources: Data extracted from Gas Data Book, 7th edition, copyright 2001 by Matheson Gas Products, and from Bulletin 627, Flammability Characteristics of Combustible Gases and Vapors, copyright 1965 by U.S. Department of the Interior, Bureau of Mines.

หากก๊าซ LPG โดนผิวหนังของเรา ผิวหนังจะไหม้เหมือนโดนถูกไฟลวกทั้งนี้ก็เพราะเวลาที่ก๊าซ LPG เปลี่ยนสถานะจากของเหลวที่มีความดันสูงกลายเป็นไอจะดูดความร้อนแฝงจากสิ่งแวดล้อมซึ่งในที่นี้ก็คือ ความชื้น ภายในผิวหนังเรานั่นเอง

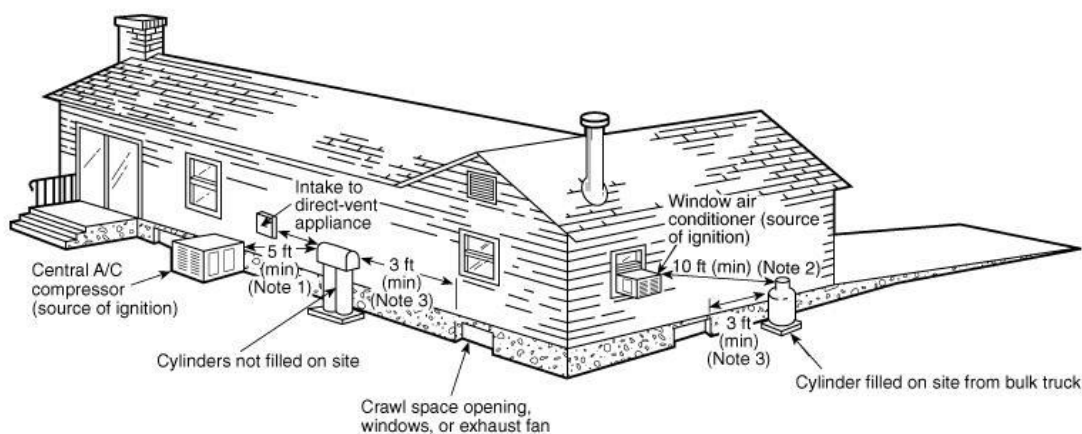
นอกจากนี้ก๊าซ LPG ยังมีน้ำหนักมากกว่าอากาศโดยทั่วไป ดังนั้นหากมีการรั่วไหลออกจากถังบรรจุก๊าซ LPG จะไปแทนที่อากาศ ซึ่งรวมถึงก๊าซออกซิเจนที่เราใช้หายใจที่มีอยู่ในอากาศประมาณ 17 % ของอากาศ

ทั้งหมดส่งผลให้หากมีใครอยู่บริเวณนั้นจะขาดออกซิเจนและตายลงได้เช่นเดียวกัน ถ้าไม่สามารถเคลื่อนย้ายออกนอกพื้นที่ได้ทันเวลา

หากก๊าซ LPG มีการรั่วไหล ออกจากภาชนะถึงบรรจุก๊าซความดัน ก๊าซ LPG จะสามารถขยายตัวได้ประมาณ 270 เท่าเลยทีเดียว

6. การจัดวางถังบรรจุก๊าซความดันสำหรับบรรจุก๊าซเหลว LPG

ตามข้อกำหนด NFPA 58 มาตรฐานความปลอดภัยได้กำหนดการจัดวางถังบรรจุก๊าซความดันสำหรับจัดเก็บก๊าซ LPG ดังเช่นในรูปที่ 29 และรูปที่ 30 แต่อย่างไรก็ตามหากต้องการจัดวางถังจริงๆ ต้องไปปรึกษากรมโยธาธิการดีกว่าครับ เพราะข้อมูลทันสมัยกว่าและที่สำคัญถูกต้องตามกฎหมาย



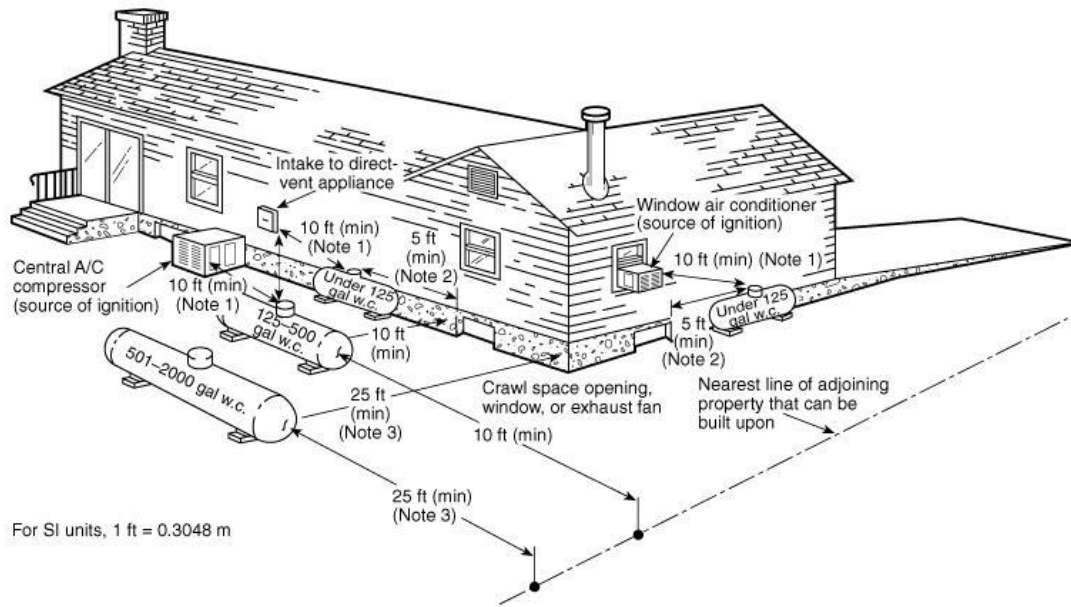
For SI units, 1 ft = 0.3048 m

Note 1: 5-ft minimum from relief valve in any direction away from any exterior source of ignition, openings into direct-vent appliances, or mechanical ventilation air intakes. Refer to 6.3.7.

Note 2: If the cylinder is filled on site from a bulk truck, the filling connection and vent valve must be at least 10 ft from any exterior source of ignition, openings into direct-vent appliances, or mechanical ventilation air intakes. Refer to 6.3.9.

Note 3: Refer to 6.3.7.

(ก)

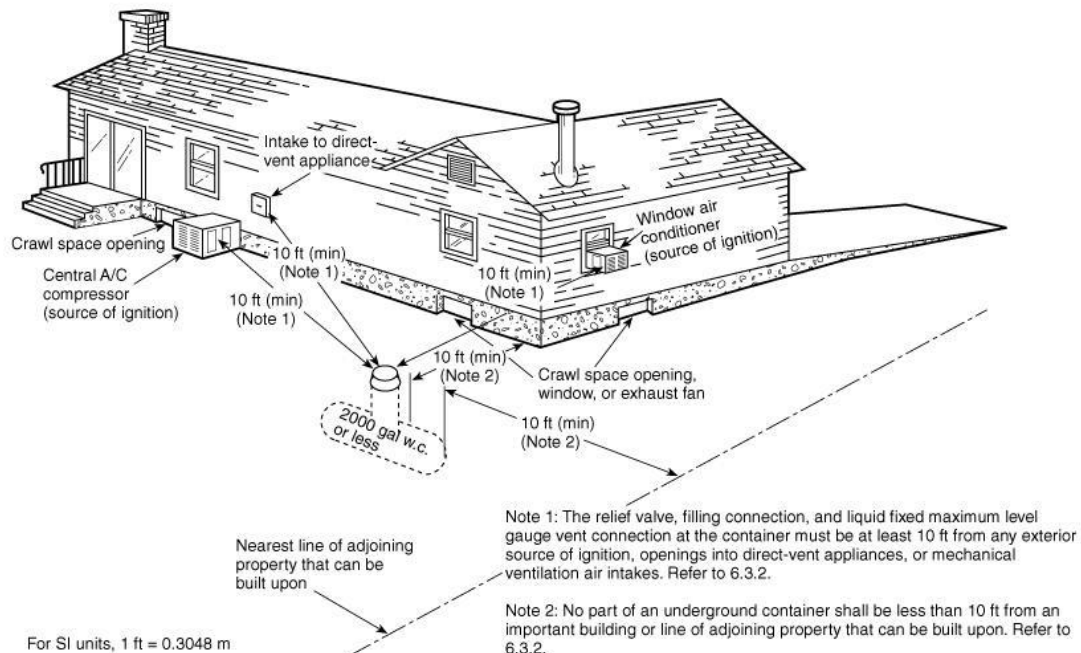


Note 1: Regardless of its size, any ASME container filled on site must be located so that the filling connection and fixed maximum liquid level gauge are at least 10 ft from any external source of ignition (e.g., open flame, window A/C, compressor), intake to direct-vented gas appliance, or intake to a mechanical ventilation system. Refer to 6.3.9.

Note 2: Refer to 6.3.9.

Note 3: This distance may be reduced to no less than 10 ft for a single container of 1200 gal (4.5 m³) water capacity or less, provided such container is at least 25 ft from any other LP-Gas container of more than 125 gal (0.5 m³) water capacity. Refer to 6.3.3.

(ก)



Note 1: The relief valve, filling connection, and liquid fixed maximum level gauge vent connection at the container must be at least 10 ft from any exterior source of ignition, openings into direct-vented appliances, or mechanical ventilation air intakes. Refer to 6.3.2.

Note 2: No part of an underground container shall be less than 10 ft from an important building or line of adjoining property that can be built upon. Refer to 6.3.2.

(ค)

รูปที่ 29 ข้อกำหนด NFPA 58 – 2004 มาตรฐานความปลอดภัยได้กำหนดการจัดวางถังบรรจุก๊าซความดัน

Liquefied Petroleum Gas (LPG)

Introduction	- Discovered by Dr. Walter Snelling in 1910. - First commercial production was in 1912 and sold commercially by 1920. - First LPG cooking stove was made in 1912. - First LPG-fueled car was developed in 1913.
Definition	A mixture of propane and butane which has been liquefied by reducing the temperature, increasing the pressure or a combination of both. LPG is commonly called “bottled gas.”
Composition	- It is made up primarily by propane (C_3H_8) and butane (C_4H_{10}), or a mix of the two. - Other hydrocarbons that include propylene, butylenes, isobutene and isobutylene may also be present.
Characteristics	- A higher percentage of propane is used in winter since propane is lighter than butane and the same for butane in summer since it has a higher vapor pressure and lower boiling point. - Non-toxic, flammable gas, odorless, colorless and heavier than air. - Volume typically is 250 times smaller in a liquid state based on composition, pressure and temperature. - Can be easily condensed, packaged, stored and utilised, which makes it an ideal energy source for a wide range of applications.
Boiling Point	Varies considerably from about $-42^{\circ}C$ to $0^{\circ}C$ ($-44^{\circ}F$ to $32^{\circ}F$) at atmospheric pressure.
Uses	- Transportation - Domestic use - Industrial - Petrochemical
Calorific Value (in Gas State)	1 ft³ propane = 2,716 Btu 1 ft³ n-butane = 3,572 Btu
Energy Density (in Liquid State)	- Specific energy propane (p) = 50.4 MJ/kg that is equivalent to 25,400 MJ/m³ (25.4 MJ/l) - Specific energy n-butane (p) = 49.5 MJ/kg that is equivalent to 28,800 MJ/m³ (28.8 MJ/l) (Note: p means pressurised for propane and n-butane)
Pricing Formulas	- Wholesale market price of LPG (quoted in USD). - Annual consumption - Cost plus

รูปที่ 30 ข้อมูลทั่วไปของ LPG

ก่อนจบขอตั้งคำถามทิ้งไว้สักข้อว่า มีบริษัทหนึ่งถามว่า “มาตรฐานปริมาณของเหลวของบริษัทใช้วัดซื้อขายโพรพิลีน (Propylene) มาตรฐานปริมาณของเหลวดังกล่าวต้องได้รับการตรวจสอบให้คำรับรองหรือเปล่า ?” ถ้าตอบได้ น่าจะแสดงว่าอ่านบทความแล้วเข้าใจ ถ้ายังมึนก็กลับไปอ่านอีกรอบเถอะ สาธุ

แหล่งข้อมูลอ้างอิง

1. http://www.doeb.go.th/v3/knowledge/knowledge_article_Natural1.htm
2. http://www.doeb.go.th/knowledge/knowledge_article_Natural2.htm
3. GPA Standard 2140-97, Liquefied Petroleum Gas Specifications and Test Methods, Gas Processors Association, 1997
4. Natural Gas Conversion Guide, 2012, International Gas Union (IGU)
5. Report No: 2006/268-Issue 1, REVIEW OF LPG FLOW MEASUREMENT TECHNOLOGIES AND MEASUREMENT ISSUES, Nov 2006, A Report for National Measurement System Programme Unit, Department of Trade & Industry, NEL
6. Handbook of Petroleum Processing, DAVID S. J. “STAN” JONES, PETER R. PUJADÓ, 2006 Springer
7. ENGINEERING DATA BOOK, FPS VERSION, Volumes I & II, 12 Edition, 2004, Gas Processors Suppliers Association
8. สารานุกรม เปิดโลกปิโตรเคมี Petrochemical Encyclopedia, บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน), 2554
9. NFPA 58 Liquefied Petroleum Gas Code, 2004 Edition, National Fire Protection Association
10. ประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่อง หลักเกณฑ์ และวิธีการในการเก็บรักษา การกำหนดบุคลากรที่รับผิดชอบ และการยกเว้นไม่ต้องปฏิบัติตามพระราชบัญญัติวัตถุอันตราย พ.ศ. 2535 สำหรับสถานที่ใช้ก๊าซปิโตรเลียมเหลว ที่กรมธุรกิจพลังงานรับผิดชอบ พ.ศ. 2554
11. Handbook of Natural Gas Transmission and Processing, Principles and Practices, 3rd Edition, Saeid Mokhatab, William A. Poe, John Y. Mak, 2015, Elsevier Inc & Gulf Professional Publishing