

เอกสารอ้างอิง

1. ล่มศักดิ์ หอมกลิ่นแก้ว, ลู่วันชัย นิตศรภูติ, "โรงกลั่นน้ำมันผาง," รายงานการฝึกงานภาคฤดูร้อนระดับปริญญาตรี, ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2527.
2. Virgil, B. G., Petroleum products Handbook, pp. 1-9-1-10, McGraw-Hill Book Co., New York, 1st ed., 1960.
3. Nelson, W. L., Petroleum Refinery Engineering, pp. 10-18, 69-70 374-376. McGraw-Hill Book Co., New York, 4 th ed., 1965.
4. Wilfrid. F., and M. C. Peters, Fuel and Fuel Technology, pp.193-196, Pergamon Press Co., New York, Second (SI) ed., 1980.
5. ภาวิณี คณาวัลลดี, อินทรีย์เคมีพื้นฐานเล่ม 1, หน้า 91-92, ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่, ฉบับครั้งที่ 1, 2522.
6. William, F.B., and R.:L. Davidson, Petroleum Processing Handbook, pp.1-5-1-6, 3-92-3-97, McGraw Hill Co., New York, 1967
7. Sybil, P. P., Encyclopedia of Science and Technology, Vol.14, pp. 1094, McGraw Hill Co., New York, 5th ed., 1982.
8. Goldsmith, J. N., Thorpe's Dictionary of Applied Chemistry, Vol.IX, pp. 404-406, Longman Co., London, 4th ed., 1949.
9. Hitchcox, H. F., and G. A. Weisgerber, "Petroleum Wax Quality and Uses", Petroleum and Chemical Process, Section 4, Exxon Research and Engineering Co., 1969.
10. Meyer, E., Petroleum Sulfonates and Microcrystalline Waxes, pp. 193-209, Chemical Publishing Company Inc., New York, 1968.

11. Phillips, J., "Refine Waxes for Suitable Properties," Petroleum Refiner 38 (Sept, 1959) : 193-198.
12. Hobson, G. D., Modern Petroleum Technology, pp. 794-799, John Willey, New York, 5th ed., 1984.
13. Gruse, W. A., and D. R. Stevens, Chemical Technology of Petroleum, pp. 570-573, McGraw Hill Co., 1960.
14. Hobson, G. D., Modern Petroleum Technology, pp. 426-430, 782-786, John Willey, New York, 5th ed., 1984.
15. Baxendell, P., Petroleum Handbook, pp. 263-266, 6th ed., 1983
16. Sequeira, A. Jr., M. R. McClure, Jr., C. W. Harrison, and R. Maxelon, "Return to basic : How to reduce energy requirements in lube oil solvent extraction and dewaxing processes," Proceeding-Refining Department, Vol.59, pp. 133-142, American Petroleum Institute, 1980.
17. Soudek, M., "What lube oil processes to use," Hydrocarbon Processing, 53, pp.64-65, 1974.
18. Jones, L. D., The Science of Petroleum, Vol. 3, pp. 1950-1951, Oxford University Press, 1938.
19. Theodare, H. West., "Solvent Dewaxing with Methyl Tertiary Butyl Ether," U.S. Pat 4,444,648, Mar 8, 1982.
20. McKetta, J. J., Encyclopedia of Chemical Processing and Design, Vol. 15, pp. 348-349, Marcel Dekker Inc., New York, 1982.
21. Kenneth, A. K., and John J. Mcketta., Advanced in Petroleum Chemistry and Refining, Vol. 8, pp. 212-214, John Wiley and Son, New York, 1964.

22. Penny, W. R., "Crystallization on a Constant Temperature Surface," AICHE Journal, Vol. 14, No. 4, pp. 661-662, 1968.
23. Bondi, A., "Physical Chemistry of Lubricating Oils VI. phase equilibria," Petroleum Refiner, Vol. 26, No. 6., pp.117-119, 1947.
24. Tiedije J. L. and D. M. Macleod, "Higher Ketones as Dewaxing Solvents," Petroleum Refiner, Vol. 34, No. 2, pp. 150-154, 1955.
25. John, C. Chaty and Harold, A. O., "An Engineering Study of the Rotary Drum Crystallizer," AICHE Journal, Vol.10, No.1 pp. 74-78, 1964.
26. Morris, Z., and William, R. W., Fractional Solidification, pp. 409-426, Edward Arnold Publishers, London, 1967.
27. Sullivan, F. W., and W. J. McGill, "Heat of Solution of Paraffin Wax," Industrial and Engineering Chemistry, Vol.19, No.9 pp. 1040-1041, 1927.
28. วิวัฒน์ ตังคะพาณิชย์กุล, อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน, หน้า 31-33, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), กรุงเทพฯ, พิมพ์ครั้งที่ 1, 2526.
29. McCabe, W. L., Unit Operation of Chemical Engineering, pp. 420-421., McGraw-Hill Co., New York, 3rd ed., 1976.
30. Alliance, Handbook of Organic Industrial Solvent, pp. 103, 5th ed., Alliance of American Insures.
31. Mellen, Industrial Solvent Handbook, pp. 130, 268, 339-340, NOYES Data Corporation Park Ridge, New York, 1970.



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

วิธีการทดสอบ



ก.1. การหาปริมาณยีสต์ในน้ำขุ่น

อุปกรณ์และสารเคมี

1. ชุดอุปกรณ์การกรองแบบสุญญากาศ
2. น้ำแข็งและเกลือ
3. น้ำขุ่น
4. diethyl ether และ ethyl alcohol ในอัตราส่วน 1 ต่อ 1 โดยปริมาตร

วิธีการทดลอง

1. ผสมน้ำขุ่น 10 กรัม กับส่วนผสมของ diethyl ether และ ethyl alcohol ในปริมาณที่น้ำขุ่นแอลกอฮอล์ละลายหมด
2. นำสารละลายไปจุ่มลงในอ่างน้ำแข็งผสมเกลือ เพื่อลดอุณหภูมิให้ต่ำลง
3. นำสารละลายมากรอง แยกน้ำขุ่นออกจากยีสต์ในชุดอุปกรณ์การกรองแบบสุญญากาศ
4. ยีสต์ที่ได้จากการกรอง นำไปอบไล่ตัวทำละลายที่อุณหภูมิ 105°C นาน 15 นาที
5. นำยีสต์ที่อบแห้งแล้วใส่ใน desicator เพื่อไล่ความชื้นประมาณ 10 นาที
6. ชั่งน้ำหนักยีสต์ที่ได้
7. คำนวณหาปริมาณโดยร้อยละของยีสต์ในน้ำขุ่น

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณร้อยละยีสต์ในน้ำขุ่น} = \frac{\text{น้ำหนักยีสต์ที่ได้}}{\text{น้ำหนักน้ำขุ่น}} \times 100$$

ก.2 การหาค่าความถ่วงจำเพาะ API (API gravity) ASTM D-287

วัตถุประสงค์

เพื่อหาค่าความถ่วงจำเพาะและความถ่วงจำเพาะ API ของน้ำมัน.

ขอบเขต

วิธีนี้เป็นวิธีการหาค่าความถ่วงจำเพาะและความถ่วงจำเพาะ API โดยใช้ไฮโดรมิเตอร์ที่ทำด้วยแก้ว (ในสูญญากาศ) ของน้ำมันดิบและผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมต่าง ๆ ซึ่งอยู่ในรูปของของเหลว และมีค่า RVP ไม่เกิน 26 ปอนด์

คำจำกัดความ

ความถ่วงจำเพาะ API สามารถแสดงได้ดังสมการ

$$\text{API gravity, deg} = \frac{141.5}{\text{Sp. gr @ } 60^{\circ}\text{F}} - 131.5$$

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้

1. ไฮโดรมิเตอร์
2. เทอร์โมมิเตอร์
3. ภาชนะใส่น้ำมัน มีเส้นผ่าศูนย์กลางภายในมากกว่าเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกของไฮโดรมิเตอร์ ไม่ต่ำกว่า 25 มม. และมีความสูงมากกว่าไฮโดรมิเตอร์ส่วนที่จมอยู่ใต้ผิวหน้าของน้ำมันตัวอย่างไม่น้อยกว่า 25 มม.

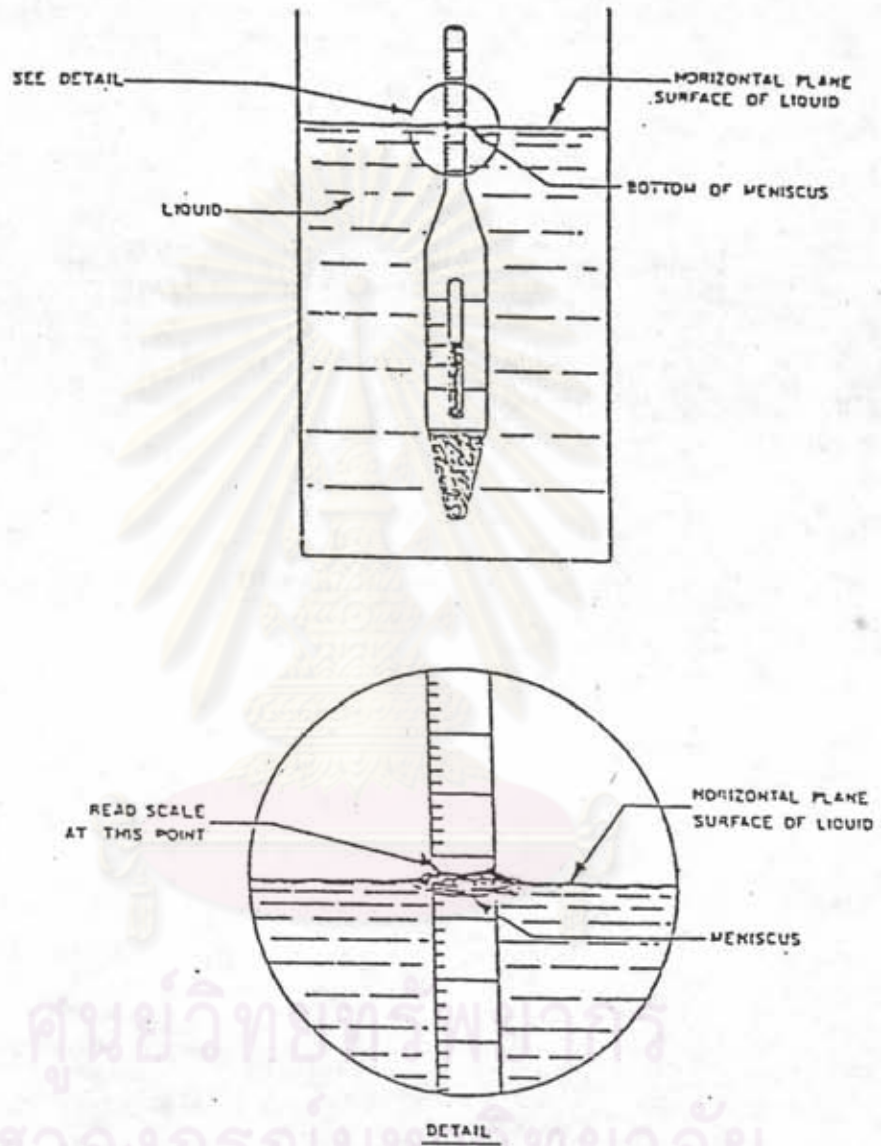
วิธีการทดลอง

1. ปรับอุณหภูมิของน้ำมันให้สอดคล้องตามต้องการ ภาชนะใส่น้ำมันและเทอร์โมมิเตอร์ควรมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิของน้ำมันตัวอย่างก่อนลงมือทำการทดลอง
2. เทน้ำมันตัวอย่างลงในไฮโดรมิเตอร์ที่สะอาดและช้า ๆ สม่ำเสมอเพื่อจะหลีกเลี่ยงการเกิดฟองอากาศและเพื่อที่จะลดอัตราการระเหยของน้ำมันตัวอย่างที่มีสารระเหยได้ที่อยู่ สำหรับ

น้ำมันที่ฉ่ำระเหยได้อยู่มากให้ตกลงในภาชนะใส่น้ำมันโดยการพ่น (Siphon) แล้วแยกเอา ฟองอากาศออกจากผิวหน้าของน้ำมันตัวอย่าง โดยใช้กระดาษกรองที่สะอาดซับฟองออกก่อนวาง ไอโตรมิเตอร์ วางภาชนะใส่น้ำมันซึ่งบรรจุน้ำมันตัวอย่างในแนวตั้ง ณ ตำแหน่งที่ไม่มีกระแสลม และพยายามรักษาอุณหภูมิของน้ำมันตัวอย่างให้คงที่ระหว่างทำการทดสอบและอุณหภูมิของตัวกลาง ที่ล้อมรอบอยู่เปลี่ยนแปลงได้ไม่เกิน 5 °ฟ

3. วางไอโตรมิเตอร์ลงในน้ำมันตัวอย่างอย่างเบา ๆ ให้ลอยอยู่อย่างอิสระไม่ สัมผัสกับผนังข้าง ๆ ของภาชนะใส่น้ำมัน เมื่อไอโตรมิเตอร์อยู่ที่ระดับคงที่แล้วให้กดลงไปอีก 2 ช่องแล้วปล่อย โดยต้องระวังให้ก้านของไอโตรมิเตอร์ส่วนที่เหลือแห้ง เพราะถ้าไม่แห้ง จะทำให้ค่าที่อ่านได้ผิดพลาดไปเนื่องจากน้ำหนักส่วนเกินที่เกาะอยู่บนก้าน แล้วปล่อยทิ้งไว้ให้ ไอโตรมิเตอร์เข้าสู่สมดุลคือ หยุดนิ่งไม่เกิดการเคลื่อนที่ต่อไป เมื่ออุณหภูมิของน้ำมันตัวอย่าง คงที่ในช่วง 0.2 °ฟ ให้อ่านค่าบนไอโตรมิเตอร์ตรงตำแหน่งที่ผิวหน้าของน้ำมันตัวอย่างตัดกับเส้น

ศูนย์จิตยทวิทยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



Hydrometer Scale Reading for Opaque Fluids¹

รูปที่ ก.1 แสดงเครื่องมือวัดความถ่วงจำเพาะ

ก.3 การหาความหนืดคิเนมาติก (Kinematic viscosity)

วัตถุประสงค์

เพื่อหาความหนืดคิเนมาติกของน้ำมัน และไฮพาราฟินในช่วงอุณหภูมิหนึ่ง ๆ

ทฤษฎี

ความหนืดของของเหลวคือ การวัดแรงต้านทานในการไหลของของเหลว คุณสมบัตินี้มีความสำคัญต่อผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมทุกชนิด ความหนืดจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและจะลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น

ความหนืดเป็นคุณสมบัติขั้นพื้นฐานของของเหลวทุกชนิด ความหนืดสามารถแสดงได้เป็นหน่วย โดยไม่ต้องขึ้นอยู่กับวิธีหรือเครื่องมือที่ใช้หาความหนืดที่ว่านี่คือ absolute viscosity ความหนืดสามารถแสดงได้หลายทาง โดยขึ้นอยู่กับเครื่องมือและวิธีที่ใช้หาความหนืดนี้เรียกว่า conventional viscosities

ในกิจการน้ำมันปิโตรเลียม เครื่องมือหาความหนืดตั้งแต่เริ่มกิจการกลั่นน้ำมันปิโตรเลียมก็มี เช่น Redwood, Saybolt และ Engler ในปัจจุบันนี้ได้วิวัฒนาการทำให้หาได้ละเอียดยิ่งขึ้น โดยใช้ capillary viscometer แต่ถึงอย่างไรก็ตามความเหมาะสมนั้นขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของชนิดของน้ำมัน ในที่นี้จะกล่าวถึงแต่เพียง capillary viscometer เท่านั้น

การหาความหนืดคิเนมาติกของน้ำมัน โดยการسابเวลาที่ใช้ในการไหลของน้ำมันที่รู้ปริมาตรแน่นอนผ่าน capillary viscometer ที่ปรับแต่งไว้แล้ว ภายใต้จุดอุณหภูมิที่กำหนด จากค่าความหนืดคิเนมาติกที่ได้ สามารถนำไปคำนวณหาค่า dynamic viscosity โดยคูณด้วยความหนาแน่นของน้ำมัน

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้

1. Saybolt viscometer (U-tubes)
2. viscometer holder สำหรับساب U-tube ให้แช่อยู่ในอ่างน้ำมัน (oil bath)

ในแนวดิ่ง

3. viscometer thermostat and bath คือ อ่างน้ำมันและเครื่องควบคุมอุณหภูมิ
4. เทอร์โมมิเตอร์
5. นาฬิกาจับเวลา

วิธีการทดลอง

1. ควบคุมอุณหภูมิของอ่างน้ำมันให้ได้อุณหภูมิตามต้องการ
2. เลือกใช้ U-tube ให้เหมาะสมกับชนิดของน้ำมัน (ท่อ capillary กว้างสำหรับน้ำมันหนืดมากและท่อแคบสำหรับน้ำมันหนืดน้อย) เวลาที่ใช้ในการไหลของน้ำมันผ่าน U-tube ควรไม่น้อยกว่า 200 วินาที
3. นำน้ำมันตัวอย่างที่จะทดสอบมาให้ความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 50°C (122°F) คนด้วยแท่งแก้วคนจนกระทั่งน้ำมันเป็นเนื้อเดียวกัน (โยอาจเกิดการแข็งตัวอยู่ที่ก้นภาชนะ) ถ่ายตัวอย่าง 100 มล. ใส่ในขวดรูปชมชู้ขนาด 125 มล. ปิดด้วยจุก นำไปจุ่มในอ่างน้ำเดือดประมาณ 30 นาที เขย่าให้เข้ากัน
4. กรอกน้ำมันผ่านกรวยแก้วเล็กลงใน U-tube แล้วนำไปแช่ใน oil bath โดยปิดติดกับขาตั้งในแนวตั้งเป็นเวลาอย่างน้อย 30 นาที เพื่อให้อุณหภูมิของน้ำมันใน U-tube คงที่เท่ากับอุณหภูมิควบคุม
5. ปริมาตรน้ำมันใน U-tube ให้มีปริมาตรที่กำหนด
6. จับเวลาที่น้ำมันไหลผ่าน capillary จากขีดบนถึงขีดล่างเป็นวินาที
7. คำนวณหาความหนืดคิเนมาติก ซึ่งเท่ากับ $= ct$
หน่วย เซนติสโตกส์ (cst)
เมื่อ $c =$ ค่าคงที่ของ U-tube สำหรับแต่ละหลอด | cst/sec
8. สারণมาตรฐานที่ใช้เปรียบเทียบกับค่าคงที่ c อาจใช้ castor oil หรือกลีเซอริน

ความหนืดของน้ำมันละหุ่ง (Castor oil)

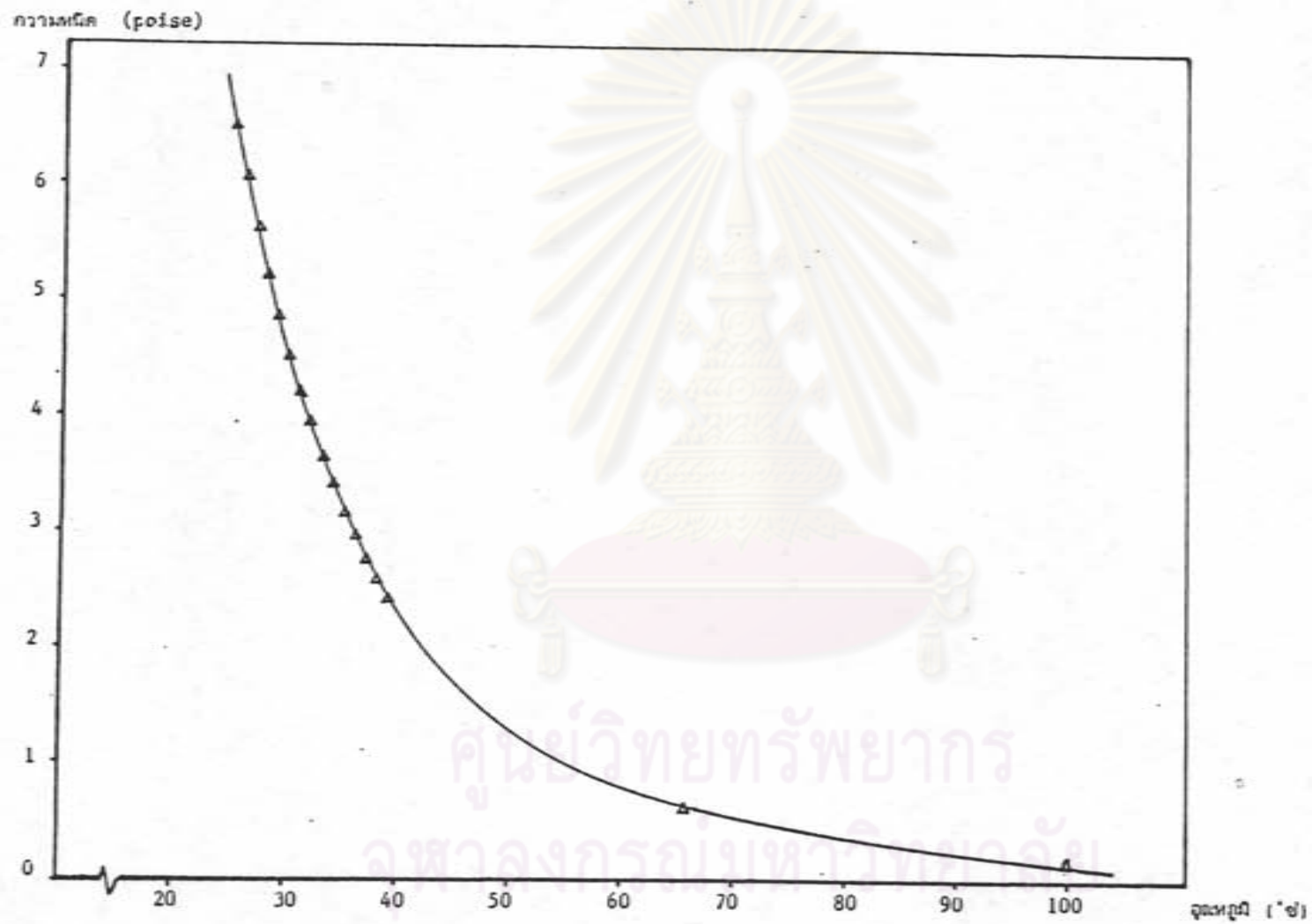
อุณหภูมิ (°C)	ความหนืด (poise)
5	37.60
6	34.475
7	31.56
8	28.90
9	26.45
10	24.18
11	22.075
12	20.045
13	18.25
14	16.61
15	15.14
16	13.805
17	12.65
18	11.625
19	10.71
20	9.86
21	9.06
22	8.34
23	7.67
24	7.06
25	6.51
26	6.04

ศูนย์เวชศาสตร์พยากรณ์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อุณหภูมิ (°C) ความหนืด (poise)

27	5.61
28	5.21
29	4.85
30	4.51
31	4.21
32	3.94
33	3.65
34	3.40
35	3.16
36	2.94
37	2.74
37.8	2.729
38	2.58
39	2.44
40	2.31
65.6	0.605
100	0.169

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ก.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดของน้ำในหลอดกับอุณหภูมิ

รูปที่ ก.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดของน้ำในหลอดกับอุณหภูมิ

ก.4 การหาจุดไหลเท (pour point) ของน้ำมันปิโตรเลียม (ASTM D97)

วัตถุประสงค์

เพื่อหาจุดไหลเทของน้ำมัน.

ขอบเขต

วิธีนี้ใช้ทดสอบน้ำมันปิโตรเลียมได้ทุกชนิด

คำจำกัดความ

จุดไหลเทคือ จุดอุณหภูมิที่น้ำมันสามารถไหลได้ เมื่อถูกทำให้เย็นลงโดยไม่มีกระบวนการภายใต้ภาวะที่กำหนดไว้

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้

1. หลอดทดสอบ
2. เทอร์โมมิเตอร์
3. ลูกคอร์ก
4. พลอก
5. แผ่นรอง
6. แหวนรอง
7. อ่างควบคุมอุณหภูมิ

วิธีการทดลอง

1. เทน้ำมันตัวอย่างลงในหลอดทดสอบให้มีความสูงเท่ากับขีดระดับที่กำหนดไว้ ถ้าจำเป็นก็อุ่นน้ำมันตัวอย่างในอ่างน้ำร้อน เพื่อให้สามารถเทลงในหลอดทดสอบได้
2. ปิดหลอดทดสอบให้แน่นด้วยลูกคอร์ก เสียบเทอร์โมมิเตอร์ลงในแนวตั้งที่กึ่งกลางของหลอดทดสอบ โดยให้กระเปาะเทอร์โมมิเตอร์จุ่มลงในน้ำมันตัวอย่าง ให้ส่วนเริ่มต้น capillary อยู่ใต้ผิวน้ำมันตัวอย่าง $1/8$ นิ้ว

3. ฉนวนน้ำมันตัวอย่างโดยไม่มีกวนในอ่างน้ำร้อนที่มีอุณหภูมิไม่เกิน 118 °ฟ จนอุณหภูมิของน้ำมันตัวอย่างถึง 115 °ฟ แล้วนำออกมาทิ้งไว้ให้มีอุณหภูมิ 90 °ฟ ในอากาศหรือในน้ำเป็นซึ่งมีอุณหภูมิ 77 °ฟ แล้ววางไว้ในปลอก

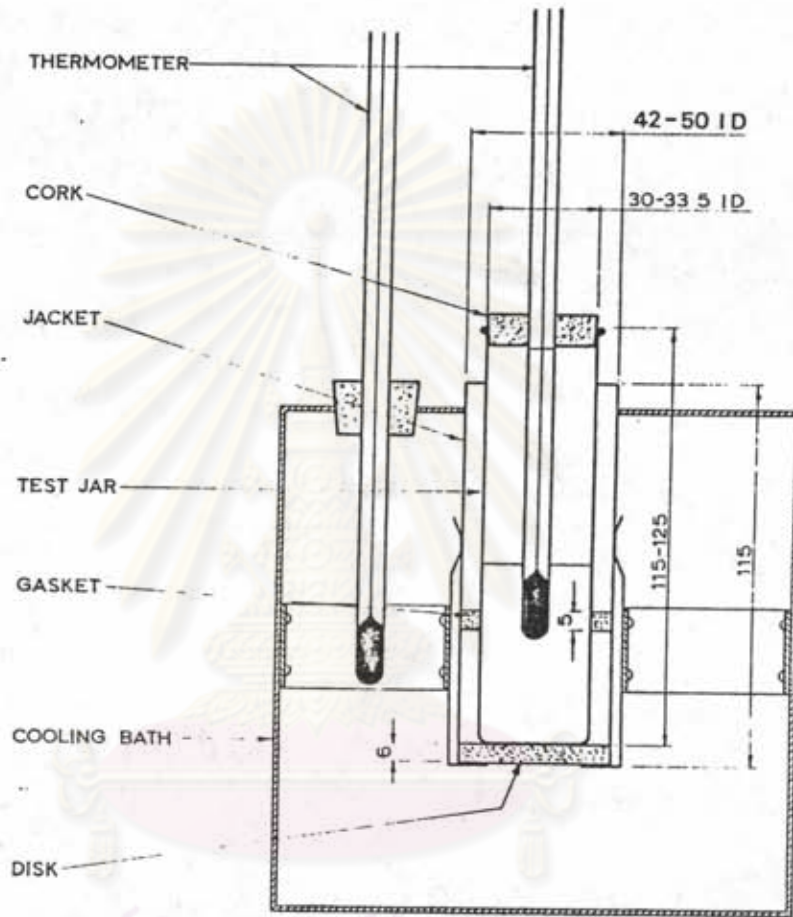
4. วางแผ่นรองลงในส่วนล่างของปลอกและสวมแหวนรองเข้ากับหลอดทดสอบโดยให้สูงจากแผ่นรอง 1 นิ้ว แผ่นรอง แหวนรอง และผิวในของปลอกต้องแห้ง และสะอาดก่อนทำการทดสอบ

5. หลังจากน้ำมันตัวอย่างถูกทำให้เป็นलगจนเริ่มเกิดผลึกไฮ ให้ระมัดระวังอย่ารีบกวนน้ำมันตัวอย่างและระวังอย่าให้เทอร์โมมิเตอร์เกิดการช๊อค เพราะจะทำให้ได้ค่าต่ำกว่าค่าจริง

6. รักษาอุณหภูมิของอ่างควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ที่ 30-35 °ฟ ปิดปลอกซึ่งประกอบด้วยหลอดทดสอบให้แน่นและอยู่ในแนวตั้งในอ่างควบคุมอุณหภูมิ โดยให้ขอบบนของปลอกอยู่สูงกว่าตัวกลางในอ่างควบคุมอุณหภูมิไม่เกิน 1 นิ้ว

7. เริ่มทดสอบจุดไหลเทที่อุณหภูมิ 20 °ฟ ก่อนจะถึงจุดไหลเทที่คาดไว้และทดสอบขณะที่อุณหภูมิลดลงทุก ๆ 5 °ฟ โดยค่อย ๆ หีบหลอดทดสอบออกจากปลอกอย่างระมัดระวัง แล้วเขียงหลอดทดสอบเล็กน้อย (การหีบหลอดทดสอบขึ้นมาและวางกลับลงในปลอก ไม่ควรใช้เวลาดีกว่า 3 วินาที) ถ้าน้ำมันตัวอย่างยังคงไหลได้ให้วางหลอดทดสอบลงในปลอกอ่างควบคุมอุณหภูมิดังเดิม ถ้าน้ำมันตัวอย่างไม่ไหลขณะเขียงหลอดทดสอบ ให้ถือหลอดทดสอบในแนวราบนาน 5 วินาที อ่านค่าอุณหภูมิที่ไว้ ค่าจุดไหลเทคืออุณหภูมิที่มากกว่าจุดแข็งตัว (Solid point) 5 °ฟ (3 °ซ) ค่าที่ได้คือ จุดไหลเท

ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ๓.3 แสดง เครื่องมือวัดจุดติดไฟของน้ำมัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ก.5 การหาจุดหลอมเหลวของขี้ผึ้งปิโตรเลียม (cooling curve), ASTM D-87

วัตถุประสงค์

เพื่อหาจุดหลอมเหลวของ พาราฟินของน้ำมัน

ขอบเขต

วิธีนี้เป็นวิธีการหาจุดหลอมเหลวของขี้ผึ้งปิโตรเลียม (petroleum waxes) แต่ไม่เหมาะสำหรับขี้ผึ้งปิโตรเลียม (petrolatum) หรือขี้ผึ้งที่ผสมกับขี้ผึ้งพาราฟินหรือสเกล (Scale)

คำจำกัดความ

จุดหลอมเหลวของขี้ผึ้งปิโตรเลียม (เส้นโค้งการเย็นตัว, cooling curve) คือ จุดอุณหภูมิที่ขี้ผึ้งมีอัตราการเปลี่ยนแปลงจุดอุณหภูมิต่ำสุดเป็นครั้งแรก เมื่อมีการเย็นตัวภายใต้ภาวะที่กำหนด

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้

1. เทอร์โมมิเตอร์
2. หลอดทดสอบ (test tube)
3. ปลูก (air bath)
4. อ่างน้ำ (water bath)

วิธีการทดลอง

1. วางปลูกของหลอดทดสอบลงในอ่างน้ำที่มีน้ำอยู่ในระดับต่ำกว่าขอบบนประมาณ 0.5 นิ้ว (13 มม.) และมีอุณหภูมิในช่วง 60 ถึง 80°ฟ (16 ถึง 28°ซ) ตลอดการทดลอง
2. ฉุนขี้ผึ้งให้ร้อนในอ่างน้ำร้อนที่มีอุณหภูมิสูงกว่าจุดหลอมเหลวที่คาดคะเนไว้ไม่เกิน 20°ซ จนมีอุณหภูมิสูงกว่าจุดหลอมเหลวประมาณ 15°ฟ (8°ซ) ห้ามฉุนขี้ผึ้งด้วยเปลวไฟหรือเตาโดยตรง

3. เทลสารตัวอย่างเหลวลงในหลอดทดสอบสูง 2 นิ้ว (51 มม.) เติบเทอร์โมมิเตอร์ลงในหลอดทดสอบให้ห่างจากกันหลอด $3/8$ นิ้ว (9.5 มม.) แล้ววางหลอดทดสอบลงในบล็อกซึ่งขณะมีสารตัวอย่างเหลวยังคงมีอุณหภูมิสูงกว่าจุดหลอมเหลว 15°F (8°C)

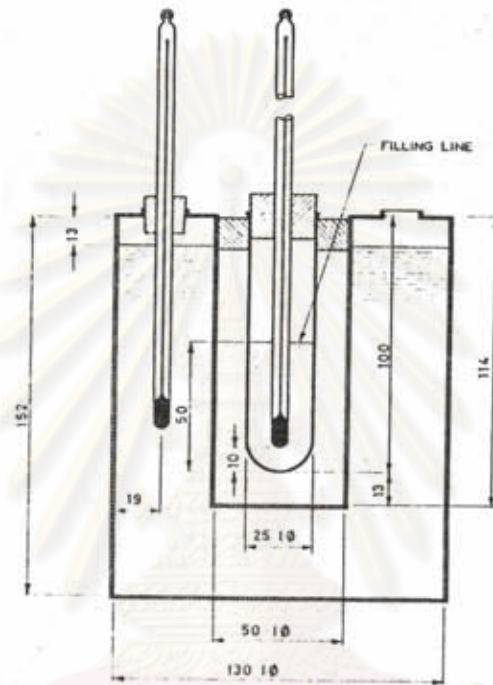
4. อ่านอุณหภูมิของสารตัวอย่างทุก 15 วินาที (ความละเอียด 0.05°C) การทดลองจะสมบูรณ์เมื่อ

4.1 อุณหภูมิ 5 จุดมีค่าต่างกันน้อยกว่า 0.2°F (0.1°C) หรือ

4.2 หลังจากอุณหภูมิเริ่มลดลงแล้วภายใน 3 นาทีมีผลต่างน้อยกว่า 0.2°F (0.1°C)



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ก.4 แสดงเครื่องมือวัดจุดหลอมเหลวของไข

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ก.6 การหาความหนาแน่นของซีดี

อุปกรณ์และสารเคมี

1. ขวดวัดความหนาแน่น
2. ของเหลวที่ทราบความหนาแน่น (น้ำกลั่น)
3. ซีดีจากโม่หิน

วิธีทดลอง

1. ชั่งน้ำหนักขวดวัดความหนาแน่น (W_1)
2. ตักซีดีใส่ขวดวัดความหนาแน่นจำนวนหนึ่งแล้วชั่งน้ำหนักขวดและซีดี (W_2)
3. ใส่น้ำกลั่นที่ทราบความหนาแน่น (น้ำกลั่น) แล้วชั่งน้ำหนักของขวดซีดี

และของเหลว (W_3)

4. คำนวณหาความหนาแน่นของซีดี

การคำนวณ

1. คำนวณปริมาตรของเหลว

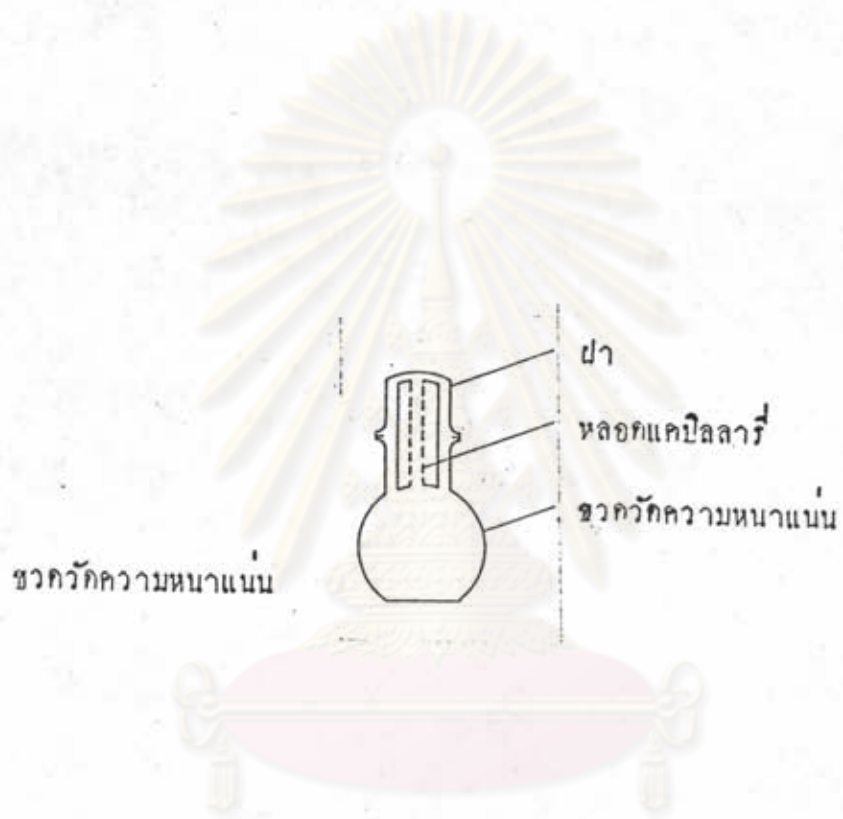
$$\text{ปริมาตรของเหลว} = \frac{W_3 - W_2}{\text{ความหนาแน่นของของเหลว}} \quad \text{หน่วยเป็น ซม.}^3$$

2. คำนวณปริมาตรของซีดี

$$\text{ปริมาตรของซีดี} = \text{ปริมาตรของขวดวัดความหนาแน่น} - \text{ปริมาตรของเหลว} \quad \text{หน่วยเป็น ซม.}^3$$

3. คำนวณความหนาแน่นของซีดี

$$\text{ความหนาแน่นของซีดี} = \frac{W_2 - W_1}{\text{ปริมาตรของซีดี}} \quad \text{หน่วยเป็น กรัมต่อ ซม.}^3$$



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย

ข.1 โทลูอีน (Toluene) (30)

Physical properties

Boiling point	111°C
Flash point	40°F
Flammable limit % by Vol. in air	
Lower	1.2
Upper	7.1
Evaporation rate (Ether = 1)	4.5
Specific gravity @ 75°F	0.9
Vapor volume	31 cu.ft
Threshold limit values	
TWA	100 ppm.
STEL	150 ppm.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข.2 เอทิลแอลกอฮอล์ (ethyl alcohol, ETOH) (31)

Physical properties of 95% ethyl alcohol

Acidity as acetic acid	0.0025 g/100 ml. max
Color, Pt-Co scale	10 max
Distillation range at 760 mm Hg	77-88°C
Non-volatile matter	Not more than 0.0025 gm when 100 ml are evaporated and heated to constant weight at 100°C to 110°C
Permanganate time	30 min.
Reducing substances	At least 25 min. permanganate time at 15°C
Relative evaporation rate, n-Butyl Acetate = 100	230
Specific gravity at 15.56 (60/60°F)	0.8160
Weight per gallon at 20°C	6.76 lbs.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข.3 ไดเอธิล อีเธอร์ (diethyl ether) (31)

Typical Properties and Specification

Apparent ignition temperature in air	190°C
Boiling point at 760 mm	34.5°C
Coefficient of expansion	0.00164 per 1°C
Constant-boiling mixture (% by wt.)	
Diethyl ether 99%, Carbon disulfide 1.0%	B.P. at 760 mm. 34.5°C
Diethyl ether 44.5%, Methyl formate 55.5%	B.P. at 760 mm. 28.2°C
Diethyl ether 98.9%, Water 1.1%	B.P. at 760 mm. 34.1°C
Electrical conductivity at 25°C	4×10^{-3} recip. ohm
Explosive limits	2.34 - 6.15 %
Flash point	- 40°F
Freezing point	-116.2°C
Heat of Combustion	651 Cal./mol.
Heat of vaporization	83.96 Cal./g at B.P.
Refractive index at 17°C	1.3542
Specific gravity at 20/20°C	0.7146
Specific heat at 30°C	0.5476 Cal./g.
Surface tension at 20°C	17.0 dynes./sq.cm.
Solubility in water at 20°C	6.9% by wt.
Solubility of Water in Solvent at 20°C	1.3% by wt
Viscosity at 20°C	0.00233 poise
Vapor pressure at 20°C	442.0 mm. Hg
Weight per gallon at 20°C	5.95 lbs.
Weight per gallon at 17°C	5.3542 lbs.
Acidity as acetic	0.002% by wt. max

ข.4 คุณสมบัติทางกายภาพของเมทิล เอธิล คีโตน (methyl ethyl ketone, MEK)

Azeotropic mixtures

	% by wt		% by wt	B.P. (°C)
methyl ethyl ketone	37.5	Benzene	62.5	78.4
	73	tert-butyl alc.	27	77.5
	84.7	carbon disulfide	15.3	45.9
	29	carbon tetrachloride	71	73.8
	40	1,3-Cyclohexadiene	60	73.0
	40	Cyclohexane	60	72.0
	12	Ethyl acetate	82	77.0
	60	Ethyl alcohol	40	74.8
	20	Ethyl sulfide	80	77.5
	70	Isopropyl alcohol	30	77.5
	52	Methyl propionate	48	79.3
	55	Propyl formate	45	79.5
	75	Propyl mercaptan	25	55.5
	45	Thiophene	55	76.0

Ternary mixtures

					B.P. (°C)		
(1)	methyl ethyl ketone	22.2	water	3.0	CCl ₄	74.8	65.7
(2)		17.8		8.9		73.8	68.9
	upper layer of (2)	19.0		0.4		80.6	
	lower layer of (2)	3.5		96.4		0.1	

Typical properties and specification

Boiling point at 760 mm	79.6°C
Coefficient of expansion	0.00076 per°F
Electrical conductivity	1.0×10^{-7} ohms at 25°C
Explosive limits	1.97% - 10.2%
Flash point (Tag closed cup)	25°F
Freezing point	-86.4°C
Heat of combustion	582 Cal./mole
Latent heat of vaporization at 20°C	106.0 cal/g
Refractive index, N 20/D	1.3788
Solubility of water at 20/20°C	23.4 % b/v wt
Specific heat	0.55 Cal./g
Specific gravity at 20/20°C	0.805-0.807
Surface tension	
0°C	26.9 dynes/sq.cm
20	24.6
40	22.3
75	18.4
Viscosity at 15°C	0.00423 poise
Weight per gallon at 20°C	6.72 lbs.
Acidity (as acetic)	0.0025 Hy wt (max.)
Distillation range (ASTM)	70°-80.5°C
Non-volatile matter	3 mg. per 100 ml. (max.)
Purity	99%

ภาคผนวก ค

ค.1 การหาค่าความร้อนของการตกผลึกไฮพาราฟิน

1. เครื่องมือทดลอง

รูปที่ ค.1 แสดง adiabatic calorimeter ที่ใช้ทดลอง ประกอบด้วยถังขึ้นโน, a ฟิล์ม thermometer, t และ heating coil, c เบอร์ 24 nichrome resistance wire ความยาว $\frac{1}{2}$ นิ้ว (13 ม.ม.) พร้อมช่องเปิด, O สำหรับใส่ไฮและที่กวน, S ซึ่งหมุนได้โดยขลุ่ย, P

ภายนอกถังขึ้นโนจะเป็น jacket ที่บรรจุน้ำไว้ เพื่อควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ด้วยน้ำร้อน, h และน้ำเย็น, f ส่วน heating coil ใช้ไฟจากแบตเตอรี่ 24 โวลต์ ขณะทดลองบันทึกกระแสและโวลต์ทุก ๆ 50 วินาที

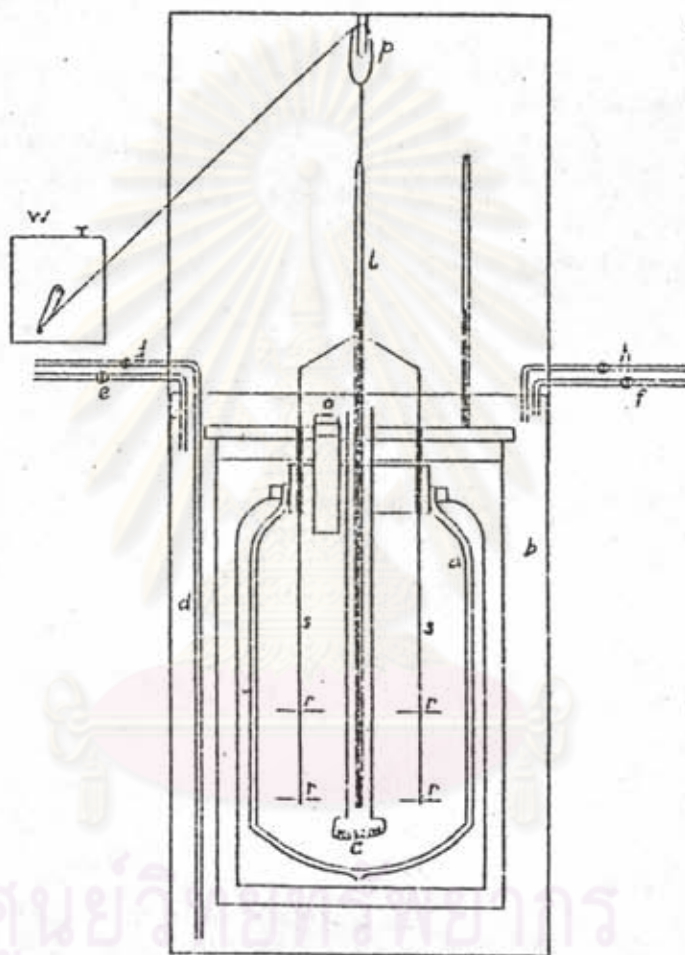
2. สารที่ใช้ทดลอง

ไฮพาราฟินได้จากการตกผลึกช้าของ slack wax จนไม่มีน้ำมันปน

3. ขั้นตอนการทดลอง

เติม 400 กรัมของน้ำมันลงใน calorimeter และกวนด้วยความเร็ว 600 rpm พร้อมทั้งอุ่นให้ร้อนจนถึงอุณหภูมิที่ต้องการด้วย heating coil ซึ่งอุณหภูมิจะสูงกว่าอุณหภูมิห้องเล็กน้อย แต่การทดลองครั้งต่อ ๆ ไปจะทำที่อุณหภูมิห้องเพื่อลดการสูญเสียความร้อนเนื่องจากการแผ่รังสี (radiation losses) หลังจากนั้นกวนต่อไปและปรับอุณหภูมิ water bath ให้เท่ากับอุณหภูมิของ calorimeter โดยการปรับน้ำร้อนหรือน้ำเย็น จนอุณหภูมิคงที่ใน 5 นาที เติมน้ำลงไป 20 กรัมอย่างรวดเร็วพร้อมทั้งจดอุณหภูมิ calorimeter ไว้

อ่านอุณหภูมิ calorimeter และ water bath ทุก ๆ 50 วินาที และปรับให้อุณหภูมิเท่ากันตลอดเวลา จนน้ำละลายในน้ำมันหมดอุณหภูมิ calorimeter จะเริ่มลดลง ใน ช่วง 200 วินาที ถ้าอุณหภูมิไม่ลดลงอีกแสดงว่าระบบอยู่ในสภาวะนิ่ง ทำการเปิด calorimeter



รูปที่ ค.1 แสดงเครื่องมือหาค่าความร้อนของการตกผลึก (adiabatic calorimeter)

ออกทันทีเพื่อหาว่าไฮไลละลายหมดแล้ว heat of solution คำนวณได้จากการลดลงของอุณหภูมิ กับ specific heat ของน้ำในการแก้ไข (correction) โดยการเปรียบเทียบกับน้ำ (water equivalent of calorimeter)

4. ตัวอย่างการคำนวณ heat of solution

gas oil (sp. heat 0.386)	หนัก 400 กรัม	
wax (m.p 125°F (51.7°C), sp.heat 0.6)	หนัก 20 กรัม	
		Temp. (°C)
room		28.3
oil ใน calorimeter		
เริ่มต้น		30.4
สุดท้าย		26.95
	ลดลง	3.53
wax		
เริ่มต้น		28.30
สุดท้าย		26.95
	ลดลง	1.35
ความร้อนที่ให้โดยน้ำมัน	$400 \times 0.386 \times 3.53 =$	545.0 cal.
ความร้อนที่ให้โดยไข	$20 \times 0.6 \times 1.35 =$	16.2 cal.
water equivalent of calorimeter	$58 \times 3.53 =$	204.7 cal.
ความร้อนทั้งหมดที่ถูกดูดกลืนเมื่อละลายไข 20 กรัม	$=$	765.9 cal.
heat of solution	$=$	$\frac{765.9}{20}$
	$=$	38.3 calories/gm
	$=$	68.94 Btu/lb.

heat of crystallization มีค่าเท่ากับ heat of solution (ในน้ำแข็ง
ชนิดเดียวกัน) แต่เครื่องหมายตรงกันข้ามกัน กล่าวคือ heat of crystallization ระบบจะคาย
ความร้อนให้สิ่งแวดล้อมขณะที่ heat of solution จะรับความร้อนจากสิ่งแวดล้อม

5. การหาค่า water equivalent ของ calorimeter

เติม 400 กรัมของน้ำลงใน calorimeter และอุ่นให้ร้อนจนมีอุณหภูมิเท่ากับ
อุณหภูมิสุดท้ายของการทดลองก่อน ปรับอุณหภูมิ water bath ให้เท่ากับ calorimeter พร้อม
กวนตลอดเวลาจนอุณหภูมิไม่เปลี่ยนแปลงในช่วงเวลา 200 วินาที เปิดสวิตช์จ่ายไฟเข้า heating
coil พร้อมจับเวลา อ่านค่ากระแส, โวลต์ทุก ๆ 50 วินาที น้ำร้อนถูกใช้ในการปรับอุณหภูมิ
water bath ให้เท่า calorimeter จนกระทั่งช่วงอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเท่ากับช่วงอุณหภูมิที่ลดลงใน
การทดลองหา heat of solution จึงปิดสวิตช์ coil แต่ยังคงกวนต่อไปเรื่อย

เฉลี่ยค่ากระแสและโวลต์ในช่วงจ่ายไฟเข้า coil

คำนวณกำลังไฟ (วัตต์) และ calorie ที่ให้จากสูตร

$$\frac{\text{เวลา (วินาที)}}{4.182} \times \text{วัตต์} = \text{calories}$$

$$\text{water equivalent ของ calorimeter} = \frac{323}{5.48}$$

$$= 58.9 \text{ cal/degree}$$

ตัวอย่างการคำนวณ

อุณหภูมิของน้ำ

สุดท้าย = 50.74

เริ่มต้น = 45.26

เพิ่มขึ้น = 5.48

เวลาในการอุ่น = 450 วินาที

โวลต์เฉลี่ย = 14.35

กระแสเฉลี่ย = 1.63

วัตต์เฉลี่ย = 23.37

$$\frac{450 \times 23.37}{4.182} = 2515 \text{ cal input}$$

$$\frac{400 \times 5.48}{323 \text{ cal ที่รับ โดย calorimeter}} = \frac{2192 \text{ cal ที่รับโดยน้ำ}}{\text{ในช่วง } 5.48^{\circ}\text{C}}$$

คำนวณได้ 59.05, 56.31, 54.38, 61.08, 58.94 ค่าเฉลี่ย 57.95 (หรือ 58 cal/degree)



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ค.2 การหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม

1. การวัดอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็น

ในแต่ละการทดลอง อัตราการไหลของน้ำหล่อเย็นจะขึ้นอยู่กับความดันด้านออกของปั๊ม รูปที่ ค.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับความดันด้านออกที่ได้จากการวัด เพื่อคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมจากค่าอัตราการถ่ายเทความร้อน

2. การคำนวณอัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านผิวจานเหล็ก

ในการทดลองนี้ใช้น้ำเป็นตัวเปรียบเทียบในการหาอัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านผิวจานเหล็กโดยไม่เกิดขึ้นของผลสกนบนผิวจาน

ตัวอย่างการคำนวณ

สภาวะการทดลองที่เลือกใช้ในตัวอย่าง จุดอุณหภูมิสารละลาย 30.0°C , ความเร็วรอบ 0.5 rpm. , จุดอุณหภูมิเข้าและออก = 14.5 และ 16.1°C , อัตราการไหล $0.792 \text{ ft}^3/\text{min}$ Specific heat ของน้ำ (C_p) $1.0 \text{ Btu/lb}^{\circ}\text{F}$ และความหนาแน่นของน้ำ = 62.23 lb/ft^3 ที่ 30°C แทนค่าในสมการ $q = m^{\circ}\text{C} \Delta T$

จะได้

$$q = (62.23 \text{ lb/ft}^3)(0.792 \text{ ft}^3/\text{min})(1.0 \text{ Btu/lb}^{\circ}\text{F})(2.88^{\circ}\text{F})$$

$$q = 8514 \text{ Btu/hr.}$$

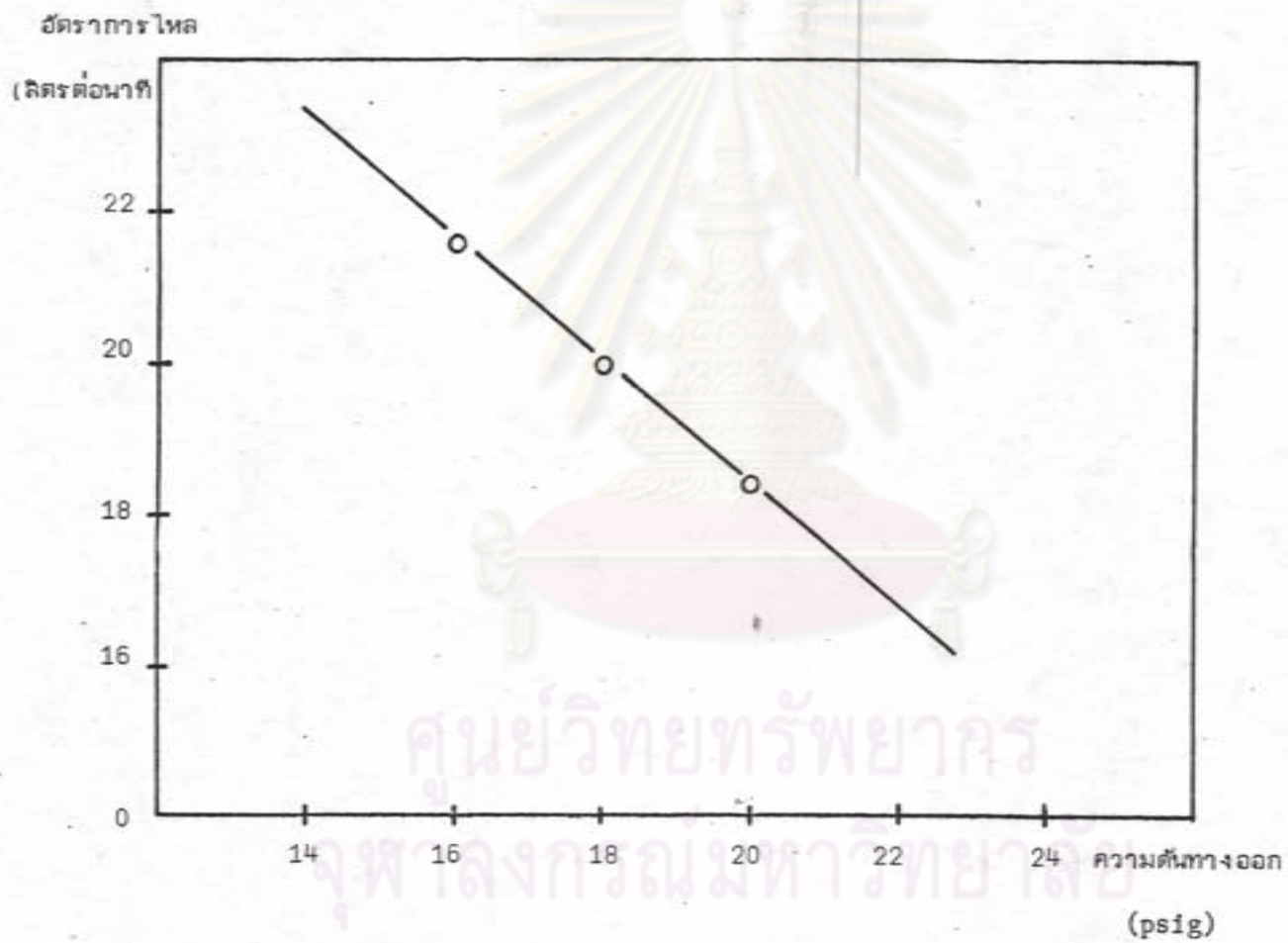
3. การคำนวณสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของชั้นขอบเขตด้านอุณหภูมิสูง (h_o)

สภาวะการทดลองที่เลือกใช้ในตัวอย่าง จุดอุณหภูมิสารละลาย 30.0°C , ความเร็วรอบ 0.5 rpm , จากสมการที่ (11)

$$q_1 = h_o A (t_h - t_w) \quad (11)$$

$$(8514 \text{ Btu/hr}) = h_o (65.52 \text{ ft}^2)(25.06^{\circ}\text{F})$$

$$h_o = 5.18 \text{ Btu/ft}^2 \cdot \text{hr}^{\circ}\text{F}$$



รูปที่ ค.2

แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันทางออกของปืนน้ำเป็น กับอัตราการไหลของน้ำล่อเป็น

ตารางที่ ค.1

แสดงอัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านผิวจานเหล็กที่อุณหภูมิสารละลาย 30 °C

ความเร็วรอบ (rpm)	อุณหภูมิเข้า (°C)	อุณหภูมิออก (°C)	ผลต่างของอุณหภูมิ		ความดันทางออก (psig)	อัตราการไหลน้ำหล่อเย็น (จากรูปที่)		อัตราการถ่ายเท ความร้อน (Btu/hr)
			°C	°F		l/min	ft ³ /min	
0.05	14.8	16.8	2.0	3.6	17.2	20.7	0.735	9882
0.25	14.2	16.0	1.8	3.24	15.4	22.1	0.785	9498
0.50	14.5	16.1	1.6	2.88	15.2	22.3	0.792	8514
0.75	14.95	16.65	1.6	2.88	15.3	22.2	0.788	8472
1.28	15.75	17.35	1.6	2.88	15.3	22.2	0.788	8472

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.2

แสดงอัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านผิวจานเหล็กที่ความเร็วรอบ 0.5 รอบต่อนาที

อุณหภูมิสารละลาย (°C)	อุณหภูมิน้ำเข้า (°C)	อุณหภูมิน้ำออก (°C)	ผลต่างของอุณหภูมิ		ความดันทางออก (psig)	อัตราการไหลของน้ำหล่อเย็น (จากรูปที่)		อัตราการถ่ายเทความร้อน q, Btu/hr
			°C	°F		l/min	ft ³ /min	
30	14.5	16.1	1.6	2.88	15.2	22.3	0.792	8514
32	17.0	18.8	1.8	3.24	15.3	22.2	0.788	9534
34	18.1	20.1	2.0	3.60	15.3	22.2	0.788	10590

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.3 แสดงสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของชั้นขอบเขตด้านอุณหภูมิสูงที่
อุณหภูมิสารละลาย 30 °ซ

ผล	ความเร็วรอบ (rpm)	0.05	0.25	0.5	0.75	1.28
	จำนวนรอบใน 140 นาที		7	35	70	105
พื้นที่ถ่ายเทความร้อนทั้งหมด (ft ²)		6.552	32.76	65.52	98.28	167.73
t _w (°C)		16.89	16.17	16.08	16.05	16.03
h _o (Btu/ft ² .hr.°F)		63.91	11.65	5.18	3.43	1.01

ตารางที่ ค.4 แสดงสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของชั้นขอบเขตด้านอุณหภูมิสูงที่ความเร็ว
รอบ 0.5 รอบต่อนาที

ผล	อุณหภูมิสารละลาย (°ซ)	30	32	34
	t _w (°C)		16.08	16.09
t _h (°C)		30	32	34
h _o (Btu/ft ² .hr.°F)		5.18	5.08	5.02

4. การคำนวณความต้านทานการถ่ายเทความร้อนของชั้นสิ่งเกาะทางด้านจุดหนีสูง (r_h)

ตารางที่ ค.5 แสดงความต้านทานการถ่ายเทความร้อนของชั้นสิ่งเกาะทางด้านจุดหนีสูงของการทดลอง A1 ถึง A6

การทดลอง	A1	A2	A3	A4	A5	A6
ผล						
ปริมาตรไฮโดรเจนที่แยกได้ (ft^3)	1.24	1.14	0.71	0.27	0.25	0.048
ความหนาของชั้นไฮโดรเจน (S_h) (mm)	2.22	2.04	1.27	0.48	0.45	0.086
ความต้านทานการถ่ายเทความร้อน (r_h) ($\text{ft}^2 \cdot \text{hr} \cdot ^\circ\text{F} / \text{Btu}$)	0.053	0.049	0.030	0.012	0.011	0.002

หมายเหตุ

สภาวะการทดลอง - อัตราส่วนตัวทำละลายผสมต่อน้ำใน 1/1 ถึง 6/1

- ความเร็วรอบ 1.28 rpm.

- จุดหนีสารละลาย 30°ซ

- จุดหนีน้ำหล่อเย็น 16°ซ

ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.6 แสดงความต้านทานการถ่ายเทความร้อนของชั้นสิ่ง เกาะทางต้าน
จุดหนีสูงของการทดลอง B1 ถึง B5

การทดลอง ผล	B1	B2	B3	B4	B5
ปริมาณไอน้ำที่แยกได้ (ft ³)	0.03	0.036	0.078	0.073	0.25
ความหนาของชั้นไอน้ำ (S _h) (mm)	1.37	0.33	0.36	0.22	0.45
ความต้านทานการถ่ายเท ความร้อน (r _h) (ft ² .hr.°F/Btu)	0.033	0.0076	0.0085	0.0053	0.011

หมายเหตุ

- สภาวะการทดลอง - อัตราส่วนตัวทำละลายผสมต่อไอน้ำ 5/1
- ความเร็วรอบ 0.05-1.28 rpm.
- จุดหนีสารละลาย 30°ซ
- จุดหนีน้ำหล่อเย็น 16°ซ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.7

แสดงความต้านทานการถ่ายเทความร้อนของชั้นสิ่ง เกาะทางด้าน

อุณหภูมิสูงของการทดลอง C1 ถึง C3.

ผล / การทดลอง	C1	C2	C3
ปริมาณไฮโดรเจนที่แยกได้ (ft ³)	0.078	0.026	0.021
ความหนาของชั้นไฮดรอนิว (S _h) (mm)	0.357	0.119	0.096
ความต้านทานการถ่ายเทความร้อน (r _h) (ft ² .hr. °F/Btu)	8.5 x 10 ⁻³	2.84 x 10 ⁻³	2.29 x 10 ⁻³

หมายเหตุ

- สภาวะการทดลอง - อัตราส่วนตัวทำละลายผสมต่อน้ำมัน 5/1
- ความเร็วรอบ 0.5 rpm
- อุณหภูมิสารละลาย 30-34 °C
- อุณหภูมิน้ำหล่อเย็น 16 °C

ตัวอย่างการคำนวณ

สภาวะการทดลองที่เลือกใช้ในตัวอย่าง อัตราส่วนตัวทำละลายผสมต่อน้ำมัน 5/1, ความเร็วรอบ 0.5 rpm., อุณหภูมิสารละลาย 30.0 °C และอุณหภูมิน้ำหล่อเย็น 16.0 °C

จากสมการ

$$r_h = \frac{S_h}{k_h}$$

เมื่อ

$$k_h = 0.14 \text{ Btu/ft.hr.}^\circ\text{F}$$

$$r_h = \frac{(1.19 \times 10^{-3} \text{ ft})}{(0.14 \text{ Btu/ft.hr.}^\circ\text{F})}$$

$$r_h = 0.0085 \text{ ft}^2\text{.hr.}^\circ\text{F/Btu}$$

จากสมการ $r_w = \frac{S_w}{k_w}$

เมื่อ $k_w =$ thermal conductivity
ของจานเหล็กไร้สนิมเบอร์ 304 ทน $\frac{1}{8}$ นิ้ว
 $= 9.4 \text{ Btu/ft. hr} \cdot \text{F}$

และ $S_w =$ ความหนาของจานเหล็กไร้สนิม
 $= 0.01 \text{ ft}$

แทนค่าได้ $r_w = \frac{(0.01 \text{ ft})}{(9.4 \text{ Btu/ft}^2 \cdot \text{hr} \cdot \text{F})}$
 $r_w = 1.06 \times 10^{-3} \text{ ft}^2 \cdot \text{hr} \cdot \text{F/Btu}$

$r_c \ll r_h$ และ h_i มีค่ามาก

จากสมการ $U = \frac{1}{\frac{1}{h_o} + r_h + r_w}$

$= \frac{1}{\frac{1}{5.18} + 0.0085 + 0.00106}$

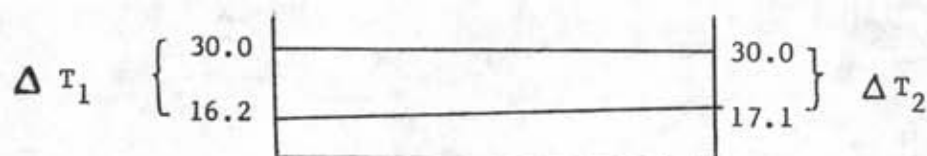
$U = 4.94 \text{ Btu/ft}^2 \cdot \text{hr} \cdot \text{F}$

จากผลการทดลองที่กล่าวว่าการทดลองที่เหมาะสม ทำการหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเท
ความร้อนรวมได้จากสมการ

$q = U A \Delta \bar{T}$
 $= m \cdot C_p \Delta T$

และ $\Delta \bar{T} = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln (\Delta T_2 / \Delta T_1)}$

เมื่อ T_1 และ T_2 แสดงดังรูป



จะได้
$$U = \frac{(0.707 \text{ ft}^3/\text{min})(62.23 \text{ lb}/\text{ft}^3)(1 \text{ Btu}/\text{lb}\cdot\text{F})(0.9 \times 1.8\text{ }^\circ\text{F})}{(65.52 \text{ ft}^2)(13.3\text{ }^\circ\text{F})}$$

$$U = 4.91 \text{ Btu}/\text{ft}^2 \cdot \text{hr}\cdot\text{F} \text{ ที่สภาวะเหมาะสม}$$

ทำการคำนวณหาค่าความต้านทานการถ่ายเทความร้อน, r_h ได้จาก

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_o} + r_h + r_w}$$

เมื่อ

$$h_o = 5.18 \text{ Btu}/\text{ft}^2 \cdot \text{hr} \cdot \text{F}$$

$$r_w = 1.06 \times 10^{-3} \text{ ft}^2 \cdot \text{hr}\cdot\text{F}/\text{Btu}$$

จะได้
$$r_h = 0.00956 \text{ ft}^2 \cdot \text{hr}\cdot\text{F}/\text{Btu}$$

เปรียบเทียบค่า r_h ที่ได้จากการทดลองกับค่าที่กำหนดไว้ในหน้า 138 พบว่า
มีค่าใกล้เคียงกัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ง



ง.1 ปริมาณและมูลค่าการนำเข้าและส่งออกไฮพาราฟีนและอื่น ๆ

ตารางที่ ง.1 แสดงปริมาณและมูลค่าการนำเข้าและส่งออกไฮพาราฟีน

ปี	นำเข้า		ส่งออก	
	ปริมาณ (ก.ก.)	ราคาC.I.F(บาท)	ปริมาณ (ก.ก.)	ราคาF.O.B(บาท)
2527	5,309,561	105,735,839	-	-
2526	9,162,311	110,048,332	70 (ลาว)	1,575
2525	7,447,364	96,508,398	2,480 (ลาว)	64,016
2524	9,575,800	153,065,984	112 (ศรีลังกา)	4,502
2523	6,984,070	115,996,517	-	-

ที่มา : กรมศุลกากร 2527

ตารางที่ ง.2 แสดงปริมาณและมูลค่าการนำเข้าและส่งออกไฮเกลือแร่ชนิดอื่น

ปี	นำเข้า		ส่งออก	
	ปริมาณ (ก.ก.)	ราคาC.I.F(บาท)	ปริมาณ (ก.ก.)	ราคาF.O.B(บาท)
2527	582,572	9,421,453	504	16,887
2526	599,275	10,744,441	600	41,769
2525	348,482	6,987,143	-	-
2524	465,670	9,213,473	-	-
2523	141,493	3,945,391	-	-

ที่มา : กรมศุลกากร, 2527.

๔.2 สถานภาพน้ำมันและแก๊สธรรมชาติในประเทศไทย

ตารางที่ ๔.3 แสดงการผลิตน้ำมันและแก๊สธรรมชาติในประเทศไทย (2528)

ลำดับ	บริษัท	ชนิดและแหล่ง	จำนวนที่ผลิตปัจจุบัน	จำนวนที่คาดว่าจะขยาย
1	บริษัทยูเนี่ยน ออยล์ ออฟ ไทยแลนด์	แก๊สธรรมชาติ อ่าวไทย เอรಾವัน บรรพต ลีตุล กะพง ปลาทอง และปลาแดง	350 ล้าน ลูกบาศก์ฟุต	450-500 ล้าน ลูกบาศก์ฟุต
2	บริษัท ไทยเชลล์ เอ็กซ์พลอเรชัน	น้ำมันดิบ แหล่งสิริกิติ์ ลานกระบือ จังหวัดกำแพงเพชร	20,000 บาเรลต่อวัน	25,000 บาเรลต่อวัน
3	บริษัท เท็กซัส แปซิฟิก	แก๊สธรรมชาติ อ่าวไทยตอนใต้ของ แหล่งเอราวัน	-	ไม่ต่ำกว่า 250 ล้าน ลูกบาศก์ฟุต
4	บริษัท เอสโซ่ เอ็กซ์พลอเรชัน	แก๊สธรรมชาติ แหล่งน้ำพอง	-	200 ล้าน ลูกบาศก์ฟุต
5	การพลังงานทหาร	น้ำมันดิบ แหล่งแม่ลูนหลวง ฝาง	1,500 บาเรลต่อวัน	-

ตารางที่ ง.4 แสดงการกลั่นน้ำมันในประเทศไทย

ลำดับ	โรงกลั่น	กำลังการผลิตปัจจุบัน	กำลังการผลิตที่คาดว่าจะขยาย
1	โรงกลั่นน้ำมันไทย	65,000	-
2	โรงกลั่นน้ำมันเอสโซ่	46,000	63,000
3	โรงกลั่นน้ำมันบางจาก	65,000	-
4	โรงกลั่นฝาง	1,500	-
	รวม	177,500	

ตารางที่ ง.5 แสดงเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า

ชนิด (หน่วย)	2526	2527	2528
น้ำมันเตา (ล้านลิตร)	1,832.1	1,577.8	1,579
น้ำมันดีเซล (ล้านลิตร)	40.8	20.0	26
ถ่านลิกไนท์ (พันตัน)	1,573.4	1,849.3	3,194
แก๊สธรรมชาติ (ล้านลูกบาศก์ฟุต)	54,462.4	72,663.8	75,920

ตารางที่ ๖.6 สรุปสถานการณ์น้ำมัน

ชนิดน้ำมัน	ปริมาณน้ำมันที่กักเก็บได้ (ล้านลิตร)			ความต้องการใช้ (ล้านลิตร)		
	2526	2527	2528	2526	2527	2528
เบนซิน	2,062.8	1,822.3	2,301.1	2,066.9	2,116.4	2,184.4
น้ำมันกาซ	433.3	235.4	229.4	538.0	311.0	418.3
ดีเซล	3,052.3	2,479.1	3,581.8	4,402.3	5,244.7	5,500.7
น้ำมันเตา	2,160.8	2,152.6	2,723.6	3,364.3	3,90.4	2,675.3
น้ำมันเครื่องบิน	1,059.8	955.0	978.0	1,142.5	1,209.5	1,226.3
แก๊สหุงต้ม	228.0	221.4	1,098.0	830.6	951.7	1,085.2
รวม	8,997.0	7,865.8	10,911.9	12,344.6	13,023.7	13,090.2

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จ.3 แหล่งน้ำมันดิบในโลก

ตารางที่ จ.7 แสดงแหล่งน้ำมันที่มีจุดไหลเทสูง

ลำดับ	แหล่ง (ที่ตั้ง)	ผู้ผลิต	คุณภาพน้ำมัน
1	Jackson (Onshore Australia)	Delhi	pour point 24°C (max) sulphur content 0.05 % wt. wax content 20% wt(max) API gravity 41 Gas/oil ratio (GOR) 0.35 m ³ /m ³ (2 Scf/Bbl)
2	Zelda (Offshore Sumatra)	Iiapco	pour point 41°C sulphur content 0.05 % wt. wax content 15.59% wt API gravity 30.3°C GOR 35.5 m ³ /m ³ (200 Scf/Bbl)
3	Handil (Offshore-Indonesia)	Total	pour point 35°C sulphur content 0.09 % wt wax content 15% wt API gravity 29 GOR 120 m ³ /m ³ (670 Scf/Bbl)

ตารางที่ ง.7 (ต่อ)

ลำดับ	แหล่ง (ที่ตั้ง)	ผู้ผลิต	คุณภาพน้ำมัน
4	Ula (Offshore Norway)	Statoil	pour point 30°C sulphur content 0.1% wt cloud point 40°C wax content 9.5% wt GOR 670 Scf/Bbl API gravity 36.9
5	Mekee (Onshore New Zealand)	Petrocarp	pour point 33°C sulphur content - wax content 35% wt GOR 600 Scf/Bbl API gravity 39 oil viscosity @ 32°C 2.1 CP @ 26°C 1945 CP
6	Sirikit (Onshore Thailand)	Shell	pour point 34°C (inhibited 28°C) sulphur content - wax content 18.6% wt GOR 2500 Scf/Bbl (H.P. well stream) 1000 Scf/Bbl (L.P well stream)

ตารางที่ ง.7 (ต่อ)

ลำดับ	แหล่ง (ที่ตั้ง)	ผู้ผลิต	คุณภาพน้ำมัน
7	Beatrice (North Sea, UK)	Britoil	API gravity 44.6 Oil viscosity @ 66°C 4.0 CP @ 30°C 9.0 CP pour point 18 to 20°C cloud point 45 to 50°C sulphur content 0.2% wt wax content 17% wt GOR 22.3 m ³ /m ³ (126 Scf/Bbl)
8	Cormorant (North Sea, UK)	Shell	pour point 10°C sulphur content (North) 0.8% wt (South) 0.6 to 1.1% wt GOR(North) 220-320 Scf/Bbl (South) 530-660 Scf/Bbl
9	Thistle (North Sea, UK)	Britoil	pour point 7.2-12°C sulphur content 0.3% wt wax content 9% wt GOR 38 m ³ /m ³ (216 Scf/Bbl) API gravity 38.4

ตารางที่ ง.7 (ต่อ)

ลำดับ	แหล่ง (ที่ตั้ง)	ผู้ผลิต	คุณภาพน้ำมัน
10	Lalang (Malacca, ST)	Hudbay Oil	Viscosity @ 20°C 5.87 CP @ 37.8°C 4.26 CP Wellhead temp. 150°F Wellhead press 1000 psig pour point 35°C sulphur content 0.16% wt wax content 20% wt API gravity 38.1 GOR 13 m ³ /m ³ (70 Scf/Bbl)
11	Lucina Marine (Offshore Gabon)	Shell	Cloud point 55°C
12	Arimbi (Offshore Java)	Atlantic Richfield	pour point 38°C
13	Bentayan (Onshore Sumata)	Asamera	pour point 43°C
14	Pamaguan (Onshore Indonesia)	Huffco	pour point 40°C
15	Ramba (Onshore Indonesia)	Asamera	pour point 27°C

ตารางที่ ง.7 (ต่อ)

ลำดับ	แหล่ง (ที่ตั้ง)	ผู้ผลิต	อุณหภูมิพิกัด
16	Tanjung Laban (Onshore Indonesia)	Asamera	pour point 27°C
17	Udang (Offshore Indonesia)	Conoco	pour point 38°C
18	Bombay High (Offshore India)	Ongc	pour point 30°C
19	Kapuni (Onshore New Zealand)	Shell BP Todd	pour point 21-24°C

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียน

นายอภิชัย ศิริพจน์กุล เกิดเมื่อวันที่ 17 มิถุนายน พ.ศ. 2503 ที่กรุงเทพมหานคร
 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี จากมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม
 ปี พ.ศ. 2525 ทำงานครั้งแรกที่บริษัทอุตสาหกรรมปิโตรเคมีสกลไทย จำกัด จังหวัดระยอง
 ในตำแหน่ง Center Control-room Boardman เป็นเวลา 2 ปี หลังจากนั้นศึกษาต่อที่
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สาขาวิชาเคมีเทคนิคและสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาโท ในปี พ.ศ. 2530



ศูนย์วิทยทรัพยากร
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย