

รายการอ้างอิง

- [1] สำนักเศรษฐกิจอุตสาหกรรม. การผลิตยางนอกสำหรับยานยนต์. กระทรวงอุตสาหกรรม, 2548.
- [2] ศิริรัตน์ จิตการคำ. การนำยางรถยนต์ที่ใช้แล้วมาเปลี่ยนเป็นผลิตภัณฑ์ตั้งต้นที่มีคุณค่าโดยกระบวนการไพโรไลซิส. วิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2548.
- [3] บุญรักษ์ กาญจนวรรณิชย์. ยางรถยนต์ ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (เมษายน – มิถุนายน 2547.) : 20-24.
- [4] เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร. เทคโนโลยีของยาง. พิมพ์ครั้งที่ 1: ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539.
- [5] อธิพิล แจ้งชัด. เอกสารประกอบการเรียนวิชาเทคโนโลยีการยาง, คณะวิทยาศาสตร์ ภาควิชาเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2544.
- [6] พรพรรณ นิธิอุทัย. สารเคมีสำหรับยาง, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี 2528.
- [7] J.E. Mark, B. Erman and F.R. Eirich, Science and Technology of Rubber, 2nded. San Diego: Academic Press, 1994.
- [8] D.A. Mackillop and M. Myhre, Rubber Recycling, Rubber Chemistry and Technology, 75 (2002): 429–474.
- [9] K. Fukumori, M. Mutsushita, H. Okamoto, N. Sato, Y. Suzuki and K. Takeuchi, Recycling Technology of Tire Rubber, JSAE Review, 23 (2003): 259–264.
- [10] M. Howe-Grant, Encyclopedia of Chemical Technology, Vol.21 4thed. London: Wiley-interscience Publication, 1998.
- [11] S. M. Kohan and P.M. Barkhodor, Mission Analysis for Federal Fuels Biomass Program. Vol.4 Thermochemical Conversion of Biomass to Fuels and Chemistry. Production of Oil and Char Pyrolysis of Wood, January 1979.
- [12] D. Merrick, Coal Combustion and Conversion Technology, London: Macmillan Publishers, 1984.
- [13] ชูศักดิ์ โภคะนุทรานนท์. การคาร์บอนไนซ์แก๊สในฟลูอิดซ์เบด, วิทยานิพนธ์ปริญญาโท ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2536.
- [14] C. Y. Wen and E. S. Lee, Coal Conversion Technology, 2nded. Canada: Addison-Wesley Publishing , 1979.

- [15] ปราโมทย์ ไชยเวช และ นุรักษ์ กฤษดานุรักษ์. ปิโตรเลียมเทคโนโลยี, พิมพ์ครั้งที่ 1. (ม.ป.ท.), 2543.
- [16] N. S. Charles, Heterogeneous Catalysis in Industrial Practice, New York: McGraw – Hill, 1991.
- [17] H. S. Harold, The Chemistry of Hydrocarbon Fuel, New York: 1991.
- [18] S. Raseev, Thermal and Catalytic Processes in Petroleum Refining, New York: Marcel Dekker, 2003.
- [19] J. S. Matson and V. B. Mark, Active Carbon Surface Chemistry and Adsorption from Solution, New York: Marcel Dekker, 1971.
- [20] วิทยา เรื่องพรวิสุทธิ, คะตะไลซิสแบบเฮเทอโรจีเนียส: หลักทฤษฎีและการประยุกต์, กรุงเทพฯ: ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2534.
- [21] J. H. Gray and G. H. Handwerk, Petroleum of Refining: Technology and Economics, Vol. 5 New York: Marcel Dekker, 1975.
- [22] J. H. Gray and G. H. Handwerk, Catalytic Hydrocracking and Hydroprocessing, New York: Marcel Dekker, 1984.
- [23] J. Hagen, Industrial Catalysis, New York: Wiley – VCH, 1999.
- [24] K. Toshiaki, I. Atsushi and Q. Weihua, Hydrodesulfurization and Hydrodenitrogenation, United Stage of America: Wiley-VCH, 1999.
- [25] รงค์พะงา ศรีวรรณ. ไฮโดรดีซัลเฟอไรเซชันของสารกลุ่มเบนโซโทไอฟีนเร่งปฏิกิริยาด้วย โมลิบดีนัม/โคบอลต์/รูทีเนียม, วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาปิโตรเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546.
- [26] M. V. Landau, Deep Hydrotreating of Middle Distillates from Crude and shale oils, Catalysis Today, 36 (1997): 393–429.
- [27] C. Song, An Overview of New Approaches to Deep Desulfurization for Ultra-Clean Gasoline, Diesel Fuel and Jet Fuel, Catalysis Today, 86 (2003): 211–263.
- [28] มณฑิไล แห่งทรัพย์เจริญ, จลนพลศาสตร์การจัดกำมะถันในถ่านหินด้วยกระบวนการเมเยอร์, วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิตภาควิชาเคมีเทคนิค จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2535.
- [29] M. Xiaoliand, Deep Desulfurization of Diesel Fuel by a Novel Integrated Approach, [Online]. 2002. Available from E-mail: cong@psu.edu.

- [30] M. Xiaoliand, S. Lu and S. Chunshan, A New Approach to Deep Desulfurization of Gasoline and Diesel Fuel by Selective Adsorption for Ultra-Clean Fuels and Fuel Cell Application, Catalysis Today, 77 (2002): 107–116.
- [31] P. Jeevanadam, K. J. Klabunde and S. H. Tetzler, Adsorption of thiophenes Out of Hydrocarbons Using Metal Impregnated Nanocrystalline Aluminum Oxide, Microporous and Mesoporous Materials, 79 (2005): 101 – 110.
- [32] I. V. Babich and J. A. Moulijn, Science and Technology of Novel Process for Deep Desulfurization of Oil Refinery Stream: a Review, Fuel 82 (2003): 607–631.
- [33] เขาวานภู ยกัรตน์. การลดสารกำมะถันในน้ำมันดีเซลโดยกระบวนการออกซิเดชันและสกัดด้วยตัวทำละลาย, วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2544.
- [34] T. R. Yang Adsorbents: Fundamentals and Applications, United States of America: John Wiley & Sons, Inc., 2003.
- [35] J. D. Seader and J. H. Ernest, Separation Process Principles, United States of America: John Wiley & Sons, Inc., 1998.
- [36] กฤติยา เสือสีนาค, การดูดซับแก๊สโพรเพนด้วยตัวดูดซับชนิดถ่านที่เตรียมจากกะลามะพร้าว โดยการกระตุ้นด้วยซิงก์คลอไรด์, วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2533.
- [37] T. Y. Ralph, T. Akira and H. Y. Frances, New Sorbents for Desulfurization of Liquid Fuel by π -Complexation, Industrial Engineering Chemistry 40 (2001): 6236 – 6239.
- [38] J. H. Arturo, Q. Gongshin and H. Y. Frances, Desulfurization of Transportation Fuels by π -Complexation Sorbents: Cu(I)-; Ni(II)-; and Zn(II)-Zeolites. Applied Catalysis B: Environmental 56 (2005): 111 – 126.
- [39] S. Ucar, S. Karagoz, A. R. Ozkan and J. Yanik, Evaluation of Two Different Scrap Tires as Hydrocarbon Source by Pyrolysis, Fuel 84 (2005) 1884–1892.
- [40] C. Díez, M.E. Sa´nchez, P. Haxaire, O. Mart´inez and A. Mora´n, Pyrolysis of tyres: A Comparison of the Results from a Fixed-Bed Laboratory Reactor and a Pilot Plant (Rotatory Reactor), J. Anal. Appl. Pyrolysis 74 (2005) 254–258.

- [41] C. Berruenco, E. Esperanza, F.J. Mastral, J. Ceamanos and P. Garcí'a-Bacaicoa, Pyrolysis of Waste Tyres in an Atmospheric Static-Bed Batch Reactor: Analysis of the Gases Obtained, *J. Anal. Appl. Pyrolysis* 74 (2005) 245–253.
- [42] A. Zabaniotou, P. Madau, P.D. Oudenne, C.G. Jung, M.-P. Delplancke and A. Fontana, Active Carbon Production from Used Tire in Two-Stage Procedure: Industrial Pyrolysis and Bench Scale Activation with H₂O–CO₂ Mixture, *J. Anal. Appl. Pyrolysis* 72 (2004) 289–297.
- [43] M. M. Barbooti, T. J. Mohamed, A. A. Hussain and F. O. Abas, Optimization of Pyrolysis Conditions of scrap tires under inert gas atmosphere, *J. Anal. Appl. Pyrolysis* 72 (2004) 165–170.
- [44] C. Dí'ez, O. Martí'nez, L.F. Calvo, J. Cara and A. Mora'n, Pyrolysis of tyres. Influence of the Final Temperature of the Process on Emissions and the Calorific Value of the Products Recovered, *Waste Management* 24 (2004) 463–469.
- [45] M. Itoh, T. Suzuki, Y. Tsujimoto, K. Yoshii, Y. Takegami and Y. Watanabe, Two-Stage Pyrolysis of Heavy Oils. 3. Pyrolysis of Tar-Sand Bitumens. Relation Between Ethylene Yield and Structural Characteristics of Heavy Oils, *Fuel* 62 (1983) 98–102.
- [46] อุบลรัตน์ ลิ้มประภาสิริกุล, การแจกแจงผลิตภัณฑ์และพฤติกรรมของกำมะถันระหว่างการไพโรไลส์ วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547.
- [47] M. Xue, R. Chitrakar, K. Sakane, T. Hirotsu, K. Ooi, Y. Yoshimura, Q. Feng and N. Sumida, Selective Adsorption of Thiophene and 1-Benzothiophene on Metal-Ion-Exchanged Zeolites in Organic Medium, *Journal of Colloid and Interface Science* 285 (2005) 487 – 492.
- [48] A. J. Hernandez-Maldonado, F. H. Yang, G. Qi and R. T. Yang, Desulfurization of Transportation Fuels by π -Complexation Sorbents: Cu(I)-, Ni(II)-, and Zn(II)-Zeolites, *Applied Catalysis B: Environmental* 56 (2005) 111 – 126.
- [49] มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. คาร์บอนแบล็กสำหรับอุตสาหกรรมยาง, กระทรวงอุตสาหกรรม, 2546.
- [50] General Information of Crude Oil, IRANIAN HEAVY, Iran, August 1973.
- [51] General Information of Crude Oil, Lan Karbu, Thailand, 1987.

- [52] ASTM Standard, D 388, : American Society for Testing Materials, U.S.A., 1989.
- [53] ASTM Standard, D 2015, Gross Calorific Values of Coal and Coke by the Adiabatic Bomb Calorimeter: American Standard Society for Testing and Materials, U.S.A., 1989.
- [54] ASTM Standard, D 2887-93, Standard Test Method for Boiling Range Distribution of Petroleum Fractions by Gas Chromatography American Standard Society for Testing and Materials, U.S.A., 1993.
- [55] ASTM Standard, D 3172, Practice for Proximate Analysis of Coal and Coke: American Society for Testing Materials, U.S.A., 1989.
- [56] ASTM Standard, D 3173, Moisture in the Analysis Sample of Coal and Coke: American Society for Testing Materials, U.S.A., 1989.
- [57] ASTM Standard, D 3174, Ash in the Analysis Sample of Coal and Coke: American Society for Testing Materials, U.S.A., 1989.
- [58] ASTM Standard, D 3175, Volatile Matter in the Analysis Sample of Coal and Coke: American Society for Testing Materials, U.S.A., 1989.
- [59] ASTM Standard, D 3177, Total Sulfur in the Analysis Sample of Coal and Coke: American Society for Testing Materials, U.S.A., 1989.
- [60] ASTM Standard, D 240, Heat of Combustion of Liquid Hydrocarbon Fuels by Bomb Calorimeter: American Society for Testing Materials, U.S.A., 2002

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การคำนวณและข้อมูลการทดลอง

การคำนวณ

1. การคำนวณร้อยละการเปลี่ยนรวม

ร้อยละการเปลี่ยนของยางรถยนต์ (Dry ash free basis, daf)

$$= 100 \times [(W_{daf} - W_R) / W_{daf}]$$

2. การคำนวณร้อยละผลได้ของเหลว

$$\text{ร้อยละผลได้ของเหลว (daf)} = 100 \times [W_{Liq} / W_{daf}]$$

3. การคำนวณร้อยละผลได้ของแข็ง

$$\text{ร้อยละผลได้ของแข็ง (daf)} = 100 \times [W_R / W_{daf}]$$

4. การคำนวณร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์แก๊ส

$$\text{ร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์แก๊ส (daf)} = 100 - \text{ร้อยละผลได้ของเหลว} - \text{ร้อยละผลได้ของแข็ง}$$

5. การคำนวณร้อยละองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ของเหลว

ปริมาณ naphtha, kerosene, light gas oil, gas oil และ long residue ในผลิตภัณฑ์

$$= \frac{[(W_{fl} \times \text{น้ำหนักน้ำมันเบา}) + (W_{fh} \times \text{น้ำหนักน้ำมันหนัก})]}{\text{ร้อยละผลได้ของเหลว} \times W_{daf}}$$

โดย

$$W_{daf} = \text{น้ำหนักของยางรถยนต์ที่ปราศจากความชื้นและเถ้า}$$

$$W_R = \text{น้ำหนักกากของแข็งที่ปราศจากความชื้นและเถ้าหลังล้างด้วยเตตระไฮโดรฟูแรน}$$

$$W_{Liq} = \text{น้ำหนักของผลิตภัณฑ์เหลว}$$

$$W_{fl} = \text{ร้อยละโดยน้ำหนักของแต่ละสารองค์ประกอบในน้ำมันเบา}$$

$$W_{fh} = \text{ร้อยละโดยน้ำหนักของแต่ละสารองค์ประกอบในน้ำมันหนัก}$$

ตัวอย่างการคำนวณ

ภาวะของการทดลอง

อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส

เวลา 10 นาที

อัตราการไหลแก๊สไนโตรเจน 1.0 ลิตรต่อนาที

การคำนวณ

น้ำหนักยางเริ่มต้น = 50 กรัม

น้ำหนักของยางรถยนต์ที่ปราศจากความชื้นและเถ้า (Dry ash free basis) = 46.98

น้ำหนักน้ำมันเบา = 17.29 กรัม

น้ำหนักน้ำมันหนัก = 9.3 กรัม

น้ำหนักของเหลว = 26.59 กรัม

น้ำหนักกากของแข็ง (Dry basis) = 16.41 กรัม

น้ำหนักกากของแข็งที่ปราศจากความชื้นและเถ้า (Dry ash free basis) = 14.34 กรัม

ร้อยละโดยน้ำหนักของแต่ละสารองค์ประกอบในน้ำมันเบา = 38.2

ร้อยละโดยน้ำหนักของแต่ละสารองค์ประกอบในน้ำมันหนัก = 18.9

$$\text{ร้อยละการเปลี่ยนรวม} = \frac{100 \times [46.98 - 14.34]}{46.98} = 69.5$$

$$\text{ร้อยละผลได้ของเหลว} = 100 \times [26.59 / 46.98] = 56.6$$

$$\text{ร้อยละผลได้ของแข็ง} = 100 \times [14.34 / 46.98] = 30.5$$

$$\text{ร้อยละผลได้แก๊ส} = 100 - 56.6 - 30.5 = 12.9$$

ร้อยละผลได้ naphtha ในผลิตภัณฑ์ของเหลว

$$= \frac{[(38.2 \times 17.29) + (18.9 \times 9.3)] \times 100}{56.6 \times 46.98}$$

$$= 31.4$$

ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์สมบัติของแข็ง

1. การวิเคราะห์ของแข็งแบบประมาณ (Proximate Analysis : ASTM D 3173-D 3175)

1.1 ปริมาณความชื้นในตัวอย่างของแข็ง (Standard Test Method for Moisture in the Analysis Sample of Coal and Coke : ASTM D 3173)

หลักการ

นำตัวอย่างของแข็งที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 250 ไมโครเมตร มาให้ความร้อนในตู้อบ ที่อุณหภูมิ 105-110 องศาเซลเซียส เพื่อให้ไอน้ำระเหยจากของแข็ง ค่าความชื้นคำนวณได้จากน้ำหนักของของแข็งที่หายไป

เครื่องมือ

1. ตู้อบ
2. ถ้วยกระเบื้อง (Porcelain Crucible) พร้อมฝาปิด
3. เดซิกเคเตอร์ (Desiccator)

วิธีการทดลอง

1. อบถ้วยกระเบื้องพร้อมฝาในตู้อบที่อุณหภูมิ 105-110 องศาเซลเซียส ประมาณ 30 นาที ทิ้งให้เย็นในเดซิกเคเตอร์ ประมาณ 15 นาที ชั่งน้ำหนักและบันทึกผล
2. ชั่งตัวอย่างของแข็งประมาณ 1 กรัม ใส่ถ้วยกระเบื้องที่ทราบน้ำหนักแน่นอน ปิดฝาทันที บันทึกน้ำหนักตัวอย่างของแข็ง
3. นำเข้าตู้อบที่อุณหภูมิประมาณ 105-110 องศาเซลเซียสนาน 1 ชั่วโมง (จนกระทั่งน้ำหนักของตัวอย่างของแข็งคงที่) ทิ้งให้เย็นในเดซิกเคเตอร์
4. ชั่งน้ำหนักถ้วยกระเบื้องที่มีตัวอย่างของแข็งที่อบแล้วพร้อมฝาปิด บันทึกผล

การคำนวณ

$$M = \frac{(W_1 - W_2)}{W} \times 100$$

เมื่อ M = ร้อยละของปริมาณความชื้น

W_1 = น้ำหนักของถาดอะลูมิเนียมพร้อมฝาปิดรวมน้ำหนักของแข็งเริ่มต้นก่อนอบ (กรัม)

W_2 = น้ำหนักของถาดอะลูมิเนียมพร้อมฝาปิดรวมน้ำหนักของแข็งเริ่มต้นก่อนอบ (กรัม)

W = น้ำหนักของตัวอย่างของแข็ง (กรัม)

1.2 ปริมาณเถ้าในตัวอย่างของแฉิ่ง (Standard Test Method for Ash in the Analysis Sample of Coal and Coke from Coal : ASTM D 3174)

หลักการ

นำตัวอย่างของแฉิ่งที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 250 ไมโครเมตร มาให้ความร้อนในเตาเผา (Muffle Furnace) ที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียสจนน้ำหนักคงที่ ร้อยละปริมาณเถ้าคำนวณจาก น้ำหนักที่เหลืออยู่หลังจากเผา

เครื่องมือ

1. เตาเผา
2. ถ้วยกระเบื้องพร้อมฝา
3. เดซิกเคเตอร์

วิธีการทดลอง

1. ปิดฝา และเผาถ้วยกระเบื้องพร้อมฝาในเตาเผาที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง นำออกมาทำให้เย็นในเดซิกเคเตอร์ ชั่งน้ำหนัก และบันทึกผล
2. ชั่งตัวอย่างของแฉิ่งประมาณ 1 กรัม ใส่ในถ้วยกระเบื้องที่ทราบน้ำหนักแน่นอน ปิดฝาทันที บันทึกน้ำหนักตัวอย่างของแฉิ่ง (หรืออาจใช้ตัวอย่างของแฉิ่งที่ผ่านการอบหาความชื้นแล้ว)
3. นำถ้วยกระเบื้องที่มีตัวอย่างของแฉิ่งพร้อมฝา เข้าเตาเผาที่อุณหภูมิห้องโดยไม่ต้องปิดฝา ค่อย ๆ ให้ความร้อนด้วยอัตราการเพิ่มอุณหภูมิที่ทำให้อุณหภูมิของเตาเผาถึง 400-500 องศาเซลเซียส ภายใน 1 ชั่วโมง เมื่ออุณหภูมิถึง 750 องศาเซลเซียส เเผาของแฉิ่งจนกระทั่งน้ำหนักคงที่
4. นำถ้วยกระเบื้องและฝาออกจากเตาเผา ทิ้งไว้ให้เย็นในเดซิกเคเตอร์

การคำนวณ

$$A = \frac{(W_3 - W_4)}{W} \times 100$$

เมื่อ

A	=	ร้อยละของเถ้า
W_3	=	น้ำหนักของครุชิลเบลพร้อมฝาและเถ้า (กรัม)
W_4	=	น้ำหนักของครุชิลเบลพร้อมฝา (กรัม)
W	=	น้ำหนักของตัวอย่างของแฉิ่ง (กรัม)

1.3 ปริมาณสารระเหยในตัวอย่างของแข็ง (Standard Test Method for Volatile Matter in the Analysis Sample of Coal and Coke : ASTM D 3175)

หลักการ

นำตัวอย่างของแข็งที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 250 ไมโครเมตร ให้ความร้อนในเตาเผาแบบท่อ (Tubular Furnace) ปริมาณสารระเหยคำนวณได้จากน้ำหนักของตัวอย่างของแข็งที่หายไป

เครื่องมือ

1. เตาเผาแบบท่อ
2. ครูซิเบิลทำจากนิเกิลพร้อมฝา
3. เดซิกเคเตอร์

วิธีการทดลอง

1. เตาครูซิเบิลพร้อมฝาในเตาเผาอุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที
2. นำออกจากเตาเผา ทิ้งให้เย็นในเดซิกเคเตอร์ จนถึงอุณหภูมิห้อง ชั่งน้ำหนักของครูซิเบิลพร้อมฝา บันทึกผล
3. ชั่งตัวอย่างของแข็งประมาณ 1 กรัม ใส่ในถ้วยนิเกิลที่ทราบน้ำหนักแน่นอน ปิดฝาให้สนิทบันทึกน้ำหนักตัวอย่าง
4. นำถ้วยนิเกิลพร้อมตัวอย่างของแข็งเผาในเตาเผาแบบท่อ ให้ความร้อนแก่ของแข็งที่บริเวณด้านบนของเตาเผาแบบท่อนาน 3 นาที และบริเวณกลางเตาเผาอุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส อีก 7 นาที ตามลำดับ
5. นำถ้วยนิเกิลออกจากเตาเผา ทิ้งให้เย็นในเดซิกเคเตอร์ ชั่งน้ำหนักของถ้วยนิเกิลพร้อมฝาและของแข็งที่เหลือ บันทึกผล

การคำนวณ

$$V = \left(\left(\frac{W_5 - W_6}{W} \right) \times 100 \right) - M$$

เมื่อ	V	=	ร้อยละของสารระเหย
	M	=	ร้อยละของความชื้น
	W ₅	=	น้ำหนักของครูซิเบิลพร้อมฝาและน้ำหนักของของแข็งก่อนเผา (กรัม)
	W ₆	=	น้ำหนักของครูซิเบิลพร้อมฝาและน้ำหนักของของแข็งหลังเผา (กรัม)
	W	=	น้ำหนักตัวอย่างของแข็งเริ่มต้น (กรัม)

1.4 ปริมาณคาร์บอนคงตัวในตัวอย่างของแข็ง

การคำนวณ

$$\text{ร้อยละของคาร์บอนคงตัว} = \text{ร้อยละความชื้น} - \text{ร้อยละเถ้า} - \text{ร้อยละสารระเหย}$$

2. การหาค่าความร้อนของของแข็ง (Standard Test Method for Gross Calorific Value of Coal and Coke by Adiabatic Bomb Calorimeter : ASTM D2015)

หลักการ

เผาตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์ภายใต้บรรยากาศแก๊สออกซิเจน ความร้อนที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ภายในบอมบ์จะถ่ายเทให้กับน้ำที่อยู่รอบ ๆ ค่าความร้อนคำนวณได้จากผลคูณของความแตกต่างของอุณหภูมิ (ก่อนและหลังจุดระเบิด) กับค่าความจุความร้อนของเครื่องแคลอริมิเตอร์ ซึ่งหาได้จากการเผากรดเบนโซอิก (Benzoic acid) ภายใต้ภาวะเดียวกัน

เครื่องมือ

1. Oxygen Bomb Calorimeter

สารเคมี

1. น้ำกลั่น
2. กรดเบนโซอิก (C_6H_5COOH) ควรได้รับมาตรฐานของ National Institute of Standard and Technology
3. เมทิลออเรนจ์ (Methyl Orange) เมทิลเรด (Methyl Red) หรือเมทิลเพอเพิล (Methyl Purple)
4. แก๊สออกซิเจน ความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.5
5. สารละลายมาตรฐานโซเดียมคาร์บอเนต ความเข้มข้น 0.0709 N (3.76 กรัมต่อลิตร)
สารละลายนี้ปริมาตร 1 มิลลิลิตรมีค่าเท่ากับ 1 แคลอรี
6. น้ำล้างบอมบ์ ละลายสารละลายเมทิลออเรนจ์อิ่มตัว 1 มิลลิลิตรในน้ำกลั่น 1 ลิตร

การวิเคราะห์

การหาค่าความจุความร้อนมาตรฐานของบอมบ์แคลอริมิเตอร์

1. ชั่งกรดเบนโซอิกประมาณ 1 กรัม ให้มีความละเอียดถึง 0.0001 กรัม ใส่ในถ้วยใส่ตัวอย่างของเครื่อง
2. ตัดลวด (Fuse Wire) ความยาวประมาณ 10 เซนติเมตร ผูกที่ปลายทั้งสองข้างของส่วนจุดระเบิด ให้ลวดแตะผิวตัวอย่างของแข็งในถ้วย
3. ล้างภายในบอมบ์ให้สะอาดด้วยน้ำกลั่น และเติมน้ำกลั่นลงในบอมบ์ 1 มิลลิลิตร

4. ประกอบบอมบ์ ปิดฝาให้แน่น อัดแก๊สออกซิเจนมีความดัน 30 บรรยากาศ และต้องเท่ากันทุกครั้ง ระวังอย่าให้ตัวอย่างกระจายจากถ้วยใส่ตัวอย่าง
5. นำบอมบ์ที่อัดแก๊สออกซิเจนแล้ววางลงในถังน้ำที่ปรับอุณหภูมิ ต่อขั้วไฟฟ้าสำหรับจุดระเบิด
6. เติมน้ำกลั่นลงในถังน้ำที่ปรับอุณหภูมิปริมาณ 2000 มิลลิลิตร ปรับอุณหภูมิของน้ำ โดยการกวนให้อุณหภูมิคงที่และต่ำกว่าอุณหภูมิของห้องประมาณ 1-2 องศาเซลเซียส
7. ทิ้งไว้ 5 นาที เพื่อให้อุณหภูมิคงที่
8. เมื่ออุณหภูมิคงที่ บันทึกเป็นอุณหภูมิเริ่มต้น (T_1) กดปุ่มจุดระเบิด
9. จับเวลาทุก ๆ 1 นาทีจนกระทั่งอุณหภูมิคงที่ บันทึกเป็นอุณหภูมิสุดท้าย (T_2)
10. ปิดเครื่องและนำบอมบ์ออกจากเครื่อง ค่อย ๆ ลดความดัน ถ้าภายในมีเขม่าหรือเผาไหม้ไม่หมดให้ทำใหม่
11. ล้างภายในบอมบ์ทุกส่วนด้วยน้ำล้างบอมบ์ที่เตรียมไว้ จนหมดความเป็นกรดและมีปริมาตรประมาณ 250 มิลลิลิตร ไตเตรตน้ำล้างด้วยสารละลายมาตรฐานโซเดียมคาร์บอเนต บันทึกปริมาตรที่ใช้
12. วัดความยาวหลอดที่เหลือ บันทึกผล

การคำนวณ

$$E = \frac{[H(g) + e_1 + e_2]}{T}$$

เมื่อ

E	=	ค่าความจุความร้อนของเครื่องแคลอริมิเตอร์ (จุลต่อองศาเซลเซียส)
H	=	ความร้อนของการเผาไหม้ของกรดเบนโซอิก (จุลต่อกรัม)
g	=	น้ำหนักกรดเบนโซอิกที่ใช้ (กรัม)
e_1	=	ปริมาตรของสารละลายที่ใช้ไตเตรต (มิลลิลิตร) โดย 1 มิลลิลิตร เทียบเท่ากับ 10 บีบียู
e_2	=	ความยาวหลอดที่ถูกเผาไหม้ (เซนติเมตร) × ค่าความร้อนของหลอด (บีบียูต่อเซนติเมตร)
T	=	$T_2 - T_1$ ผลต่างอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)

ทำการทดลองเหมือนที่กล่าวมาทุกประการตั้งแต่ข้อ 1-12 โดยเปลี่ยนจากกรดเบนโซอิก เป็นของแข็งแล้วคำนวณค่าความร้อนได้จากสมการต่อไปนี้

$$Q_v(\text{gross}) = \frac{[(TE) - e_1 - e_2 - e_3]}{g}$$

เมื่อ	$Q_v(\text{gross})$	= ค่าความร้อนของของแข็ง (จุลต่อกรัม)
	T	= $T_f - T_i$ (องศาเซลเซียส)
	e_1	= ปริมาตรของสารละลายที่ใช้ไตเตรต (มิลลิลิตร) โดย 1 มิลลิลิตร เทียบเท่ากับ 10 จูล
	e_2	= ความยาวหลอดที่ถูกเผาไหม้ (เซนติเมตร) \times ค่าความร้อนของหลอด (จุลต่อเซนติเมตร)
	e_3	= 25×10^3 (จูล) \times ร้อยละกำมะถัน \times น้ำหนักของแข็งที่ใช้ (กรัม)

3. การวิเคราะห์ปริมาณกำมะถันรวม (Standard Test Method for Total Sulfur in the Analysis Sample of Coal and Coke : ASTM D3172 Method B : Bomb Washing Method)

หลักการ

กำมะถันจากน้ำที่ได้จากการล้างบอมบ์ จะถูกทำให้อยู่ในรูปตะกอนแบเรียมซัลเฟต (BaSO_4)

เครื่องมือ

- เตาเผา (Muffle Furnace)
- ถ้วยกระเบื้องพร้อมฝาปิด
- เดซิเคเตอร์

สารเคมี

- น้ำกลั่น
- แอมโมเนียไฮดรอกไซด์เข้มข้น (conc. NH_4OH) ความถ่วงจำเพาะ 0.90
- สารละลายแอมโมเนียไฮดรอกไซด์เจือจาง (1+10) โดยผสมแอมโมเนียไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 ส่วนกับน้ำกลั่น 10 ส่วนโดยปริมาตร
- กรดไฮโดรคลอริก (1+1) โดยผสมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1 ส่วนกับน้ำกลั่น 1 ส่วนโดยปริมาตร

5. สารละลายแบเรียมคลอไรด์ (BaCl_2) ละลายแบเรียมคลอไรด์ 100 กรัมในน้ำกลั่นและเจือจางให้ได้ปริมาตร 1 ลิตร
6. สารละลายซิลเวอร์ไนเตรต (AgNO_3) ละลายซิลเวอร์ไนเตรต 0.43 กรัมในน้ำกลั่น และปรับปริมาตรสารละลายให้เป็น 100 มิลลิลิตร
7. กระจกทรงเบอร์ 1 และเบอร์ 42

วิธีการทดลอง

1. นำน้ำที่ได้จากการล้างบอมบ์และไตเตรตแล้วมาปรับให้เป็นกลางด้วยสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์เจือจาง (จาก pH = 5.5 เป็น pH = 7.0)
2. นำไปต้มจนเดือดแล้วกรองด้วยกระจกทรงเบอร์ 1 ล้างกระจกทรงให้ทั่วด้วยน้ำร้อน 5-6 ครั้ง
3. เติมกรดไฮโดรคลอริกที่เตรียมไว้ 1 มิลลิลิตร นำไปต้มและเติมสารละลายแบเรียมคลอไรด์ 10 มิลลิลิตรทีละน้อยด้วยปิเปต คนให้ทั่วตลอดเวลา ต้มต่อให้เดือดอีก 15 นาที ตั้งทิ้งไว้ค้างคืนหรืออย่างน้อย 2 ชั่วโมง
4. กรองตะกอนแบเรียมซัลเฟตด้วยกระจกทรงเบอร์ 42 ล้างด้วยน้ำร้อนจนหมดแบเรียมคลอไรด์ (ทดสอบได้ด้วยการหยดสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตลงในน้ำล้างตะกอน 8-10 มิลลิลิตรแล้วน้ำไม่ขุ่น)
5. นำกระจกทรงที่มีตะกอนแบเรียมซัลเฟตใส่ถ้วยกระเบื้องที่ทราบน้ำหนักแน่นอน ห่อกระจกหลวม ๆ เพื่อป้องกันตะกอนกระเด็นออกจากถ้วย
6. เเผาที่อุณหภูมิ 800-850 องศาเซลเซียสจนน้ำหนักคงที่ นำออกจากเตาเผา ปิดฝาและทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์
7. ชั่งน้ำหนักและบันทึกผล

การคำนวณ

$$\text{ร้อยละกำมะถันรวม} = 13.738 \times (A - B)/C$$

- เมื่อ A = น้ำหนักรวมของตะกอนแบเรียมซัลเฟต (BaSO_4) จากตัวอย่างและครุชิล (กรัม)
- B = น้ำหนักของครุชิล (กรัม)
- C = น้ำหนักของแข็งเริ่มต้น (กรัม)

4. การจำแนกคักข์ของถ่านหิน (Standard Test Method for Coal by rank: ASTM D388)

ตารางที่ ข1 การจำแนกถ่านหินตามมาตรฐานของสหรัฐอเมริกา ASTM D388

Class	Group	Fixed Carbon Limited, percent (Dry, mineral Matter -Free Bassis)		Volatile Matter Limits percent (Dry, mineral Matter -Free Bassis)		Calorific Value Limits Btu /pound (moisture, mineral Matter -Free Bassis)		Agglomerating Character
		Equal or Greater Than	Less than	Greater than	Equal or less Than	Equal or Greater Than	Less than	
1. Anthracitic	1. Meta anthracite	96	...	...	2	...	...	nonagglomerating
	2. Anthracite	92	98	2	8	...	...
	3. Semianthracite	86	92	8	14	...	...
2. Bituminous	1. Low volatile bituminous coal	78	86	14	22	...	...	commonly
	2. Medium volatile bituminous coal	69	78	22	31	...	...	agglomerating
	3. High volatile A bituminous coal	...	60	31	...	14000	...	
	4. High volatile B bituminous coal	...	...	...	...	13000	14000	
	5. High volatile C bituminous coal	...	...	...	...	11500	13000	
						10500	11500	agglomerating
3. Subbituminous	1. Subbituminous A coals	...	...	...	...	10500	11500	nonagglomerating
	2. Subbituminous B coals	...	...	...	...	9500	10500	
	3. Subbituminous C coals	...	...	...	...	8300	9500	
4. Lignite	1. Lignite A	...	...	...	...	6300	8300	nonagglomerating
	2. Lignite B	...	...	...	...	...	6300	



ภาคผนวก ค

การวิเคราะห์ยางรถยนต์ด้วย TG/DTA

การวิเคราะห์ยางรถยนต์ด้วยเครื่อง TG/DTA (Thermogravimetric/Differential Thermal Analyzer) ภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์คือ

ยางรถยนต์ขนาด 250 – 850 ไมโครเมตร

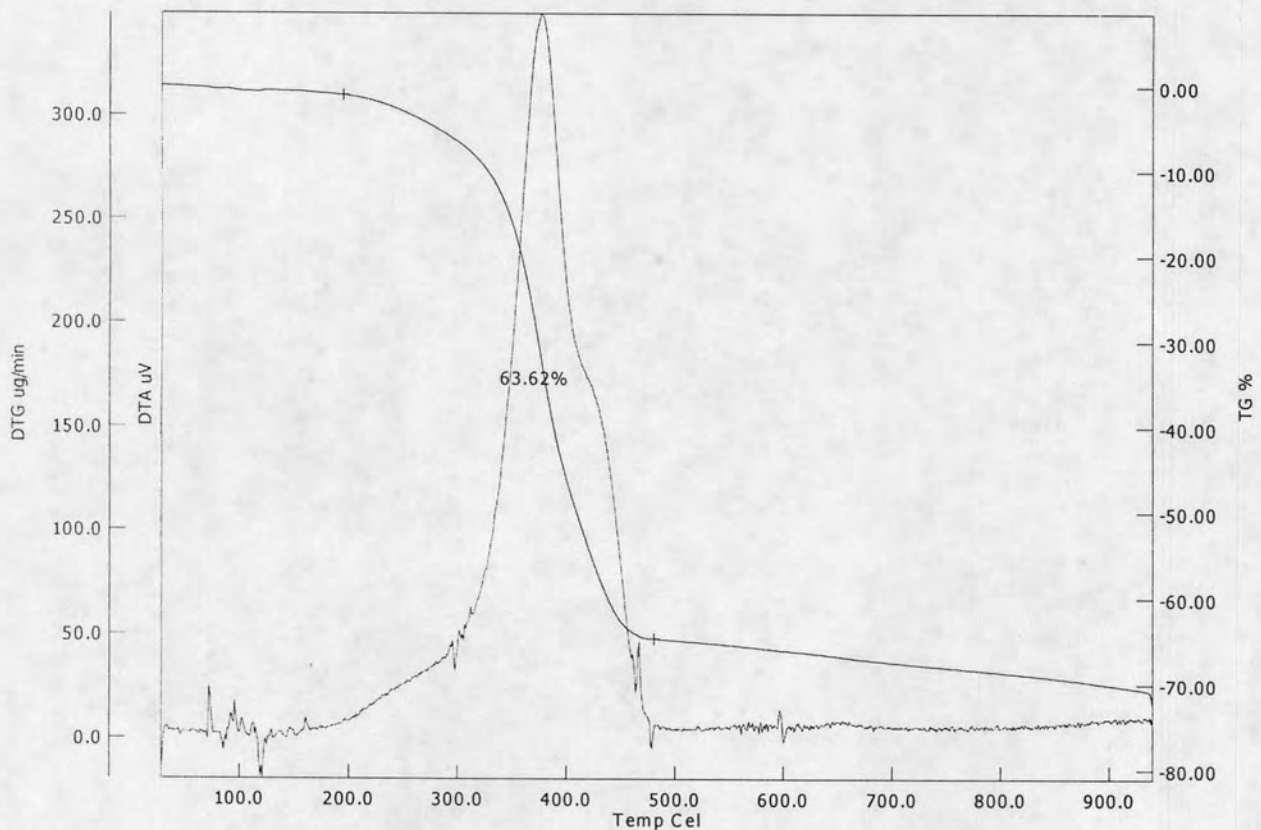
น้ำหนักยางรถยนต์ประมาณ 5 มิลลิกรัม

อุณหภูมิ 40 – 950 องศาเซลเซียส

อัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที

แก๊สตัวพา ไนโตรเจน ด้วยอัตราการไหล 50 มิลลิลิตรต่อนาที

ได้รูปแบบการสลายตัวดังรูป ค1



รูปที่ ค1 การสลายตัวของยางรถยนต์ด้วยเครื่อง TG/DTA

ภาคผนวก ง

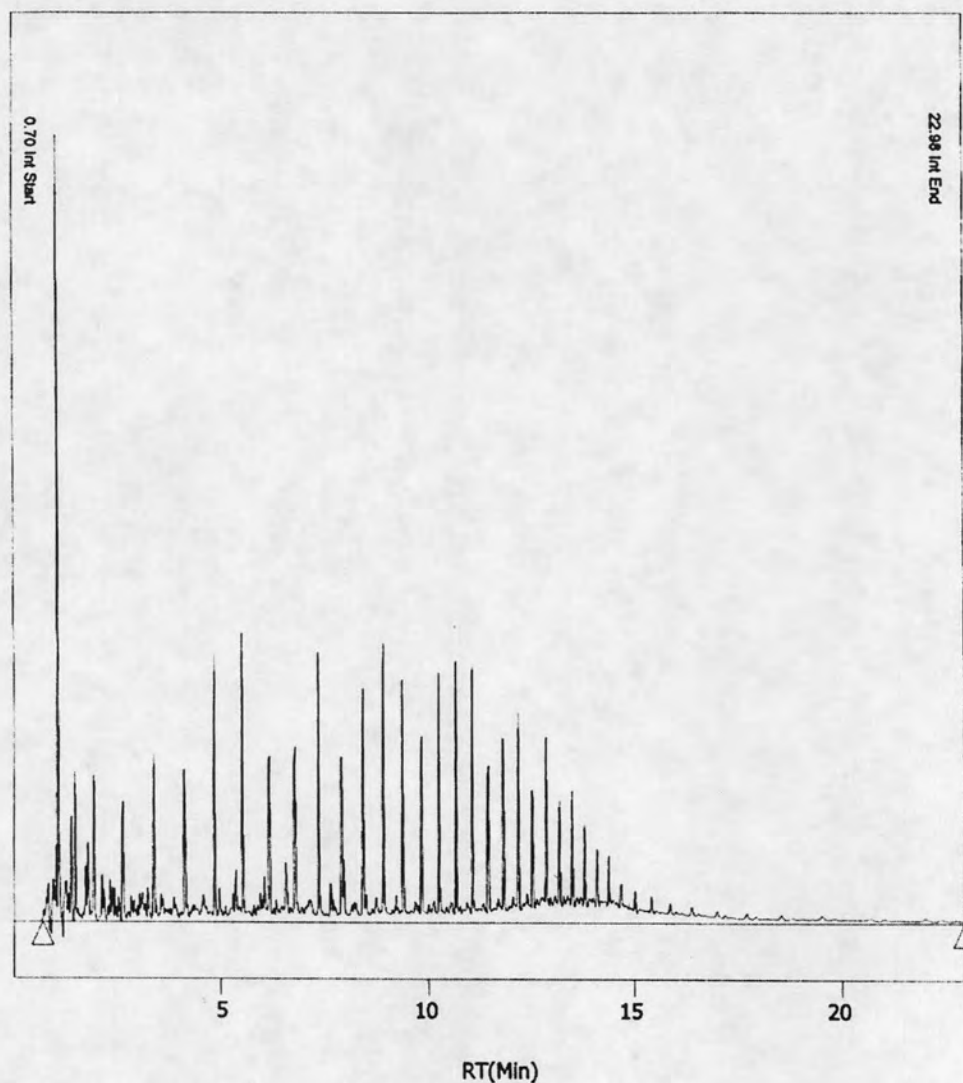
การวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ของเหลว



1. ตัวอย่างโครมาโทแกรมแสดงผลการแยกผลิตภัณฑ์ของเหลว

ผลิตภัณฑ์ของเหลวจะถูกนำมาละลายด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ในอัตราส่วน 1 ต่อ 100 โดยปริมาตร วิเคราะห์ห้องค์ประกอบโดยใช้ Simulated Distillation Gas Chromatograph ตามมาตรฐาน ASTM D 2887 จะได้โครมาโทแกรมดังแสดงในรูปที่ ง1

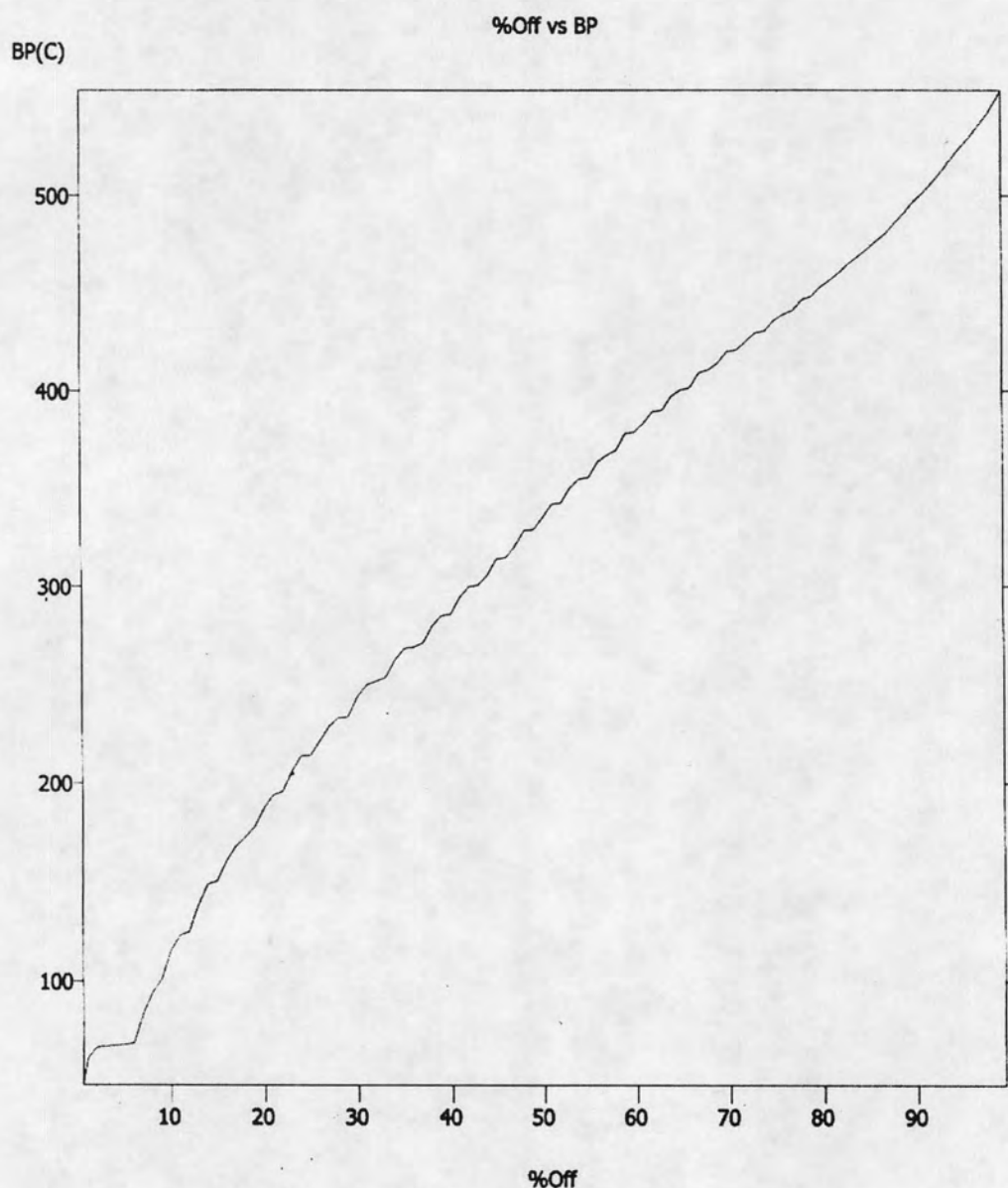
Analysis Chromatogram



รูปที่ ง1 ตัวอย่างโครมาโทแกรมการวิเคราะห์น้ำมันดิบจาก Simulated Distillation Gas Chromatograph

2. ตัวอย่างกราฟแสดงการกลั่นตามจุดเดือด

โครมาโทแกรมที่ได้จากการแยกสารด้วยแก๊สโครมาโทกราฟี จะนำไปเปลี่ยนเป็นกราฟแสดงการกลั่นตามจุดเดือดด้วยโปรแกรม Simulated Distillation โดยจะทำการเทียบกับกราฟโครมาโทแกรมของสารผสมมาตรฐานตาม ASTM D2887 และโครมาโทแกรมเมื่อไม่มีการฉีดสารใด ๆ (Blank) ดังแสดงในรูปที่ ๖2 จากนั้นจึงทำการแบ่งสัดส่วนของผลิตภัณฑ์ของเหลวตามช่วงจุดเดือด ตามที่ได้อธิบายในบทที่ 3



รูปที่ ๖2 ตัวอย่างกราฟแสดงการกลั่นตามจุดเดือดของน้ำมันดิบจาก Simulated Distillation Gas Chromatograph

3. การวิเคราะห์หาคุณภาพของน้ำมัน Crude Oil Evaluation [15, 16]

เป็นวิธีการวิเคราะห์หาคุณภาพของน้ำมันดิบอย่างละเอียด เพื่อหาองค์ประกอบและสมบัติของส่วนต่างๆ ในน้ำมันดิบเริ่มต้นเพื่อหาปริมาณและองค์ประกอบของน้ำมันที่มีอยู่โดยวิธี Simulated Distillation Gas Chromatography โดยการนำมากลั่นแยกตามคาบจุดเดือด (Boiling Point Range) อย่างละเอียด โดยแบ่งเป็นส่วนแคบๆตามคาบจุดเดือด 5 – 10 องศาเซลเซียส แต่มีค่าใช้จ่ายที่แพงมากและใช้เวลาลึ้งไม่นิยมทำกัน ปัจจุบันจึงใช้วิธีแยกน้ำมันดิบออกตามคาบจุดเดือดกว้างๆให้พอดีกับที่จะนำไปใช้ประโยชน์ในการผลิตน้ำมันสำเร็จรูป ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น

1. คาบจุดเดือดตั้งแต่ IBP (Initial Boiling Point) ถึง 200 องศาเซลเซียส เรียกว่าส่วนของแก๊สโซลีน (Gasoline Fraction) มักใช้ในการผลิตน้ำมันเบนซิน
2. คาบจุดเดือดระหว่าง 200 – 250 องศาเซลเซียส เรียกว่าส่วนน้ำมันก๊าด (Kerosine Fraction) มักใช้ในน้ำมันก๊าดที่ให้แสงสว่าง ถ้าจุดเกิดควันไม่ต่ำเกินไป น้ำมันก๊าดที่มีคุณภาพดี และมีจุดเยือกแข็งต่ำสามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในอากาศยานไอพ่นได้ ซึ่งก็ต้องขึ้นกับสมบัติอื่นๆด้วย
3. คาบจุดเดือดระหว่าง 250 – 350 องศาเซลเซียส เรียกว่าส่วนของแก๊สออยล์ชนิดเบา (Light Gas Oil Fraction) เหมาะในการนำมาใช้เป็นน้ำมันเครื่องยนต์
4. คาบจุดเดือดระหว่าง 350 – 370 องศาเซลเซียส เรียกว่าส่วนแก๊สออยล์ (Gas Oil Fraction) เหมาะในการนำมาใช้เป็นน้ำมันเครื่องยนต์ดีเซล
5. คาบจุดเดือดมากกว่า 370 องศาเซลเซียส เรียกว่ากากน้ำมัน (Residue) สามารถนำไปใช้ได้หลายอย่างแล้วแต่สมบัติของกากน้ำมัน เช่น นำมาใช้เป็นน้ำมันเตา หรือนำไปผลิตเป็นยางมะตอย หรือผลิตเป็นน้ำมันเครื่องหรือนำมาเป็นสารป้อนในอุตสาหกรรม (Feed Stock)

ภาคผนวก จ

การวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์แก๊สโดยแก๊สโครมาโทกราฟี

เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีที่ใช้วิเคราะห์คือเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas Chromatograph) Shimadzu GC-2014 ดีเทคเตอร์ (Detector) แบบ TCD และคอลัมน์แบบ packed column คือ Porapak-Q และ เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas Chromatograph) Thermo Finigan TRANCE ดีเทคเตอร์ (Detector) แบบ TCD และคอลัมน์แบบ packed column คือ HayeSep-Q โดยข้อมูลและภาวะของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี แสดงดังตาราง จ1

ตาราง จ1 ข้อมูลและภาวะของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี

3000 Micro GC	Porapak Q	HayeSep-Q
Injector Type	Timed	Timed
Carrier Gas	Helium	Helium
Detector Type	TCD	TCD
Inlet Type	Heated	Heated
Sample Inlet Temperature (°C)	45	45
Injector Temperature (°C)	90	90
Column Temperature (°C)	50	50
Detector Temperature (°C)	200	200
Sampling Time (ms)	30	30
Inject Time (ms)	20	20
Run Time (min)	30	30
Post Run Time (s)	60	60
Pressure Equilibration Time (s)	20.00	20.00
Column Pressure (psi)	20.00	20.00
Post Run Pressure (psi)	Enabled	Enabled
Detector Filament	High	High
Detector Sensitivity	50	50
Detector Data Rate (Hz)	-	-
Backflush Time (s)		

ภาคผนวก จ

สมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยาทางการค้า

ตัวเร่งปฏิกิริยา นิกเกิลโมลิบดีนัม

ตาราง จ1 สมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยา นิกเกิลโมลิบดีนัมทางการค้า

Composition	NiO/MoO ₃ on alumina oxide carrier
- Ni(W/W)	<= 5
- Mo(W/W)	<=16
Form	Extrudates with 2.5 mm diameter
Operating Temperature	180 - 450 oC (350 - 840 oF)
Temperature	
Resistance	Up to 520 oC (970 oC)
Colour	Greenish
Odour	Odourless
pH value	Approx. 6
Bulk density	Approx. 750 kg/m ³
Solubility in water	Sparingly soluble
Regeneration	Can be regenerated in situ with a steam/air mixture
Life	Up to 5 years and more depending on the application
Storage	Should be stored in a cool and dry
Handling	Avoid the contact with skin, eyes and clothing and avoid breathing the dust during filling the catalyst
LD 50	> 2000 mg/kg
LC 50	> 5000 mg/L

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ว่าที่ร้อยตรีกัมปนาท ปราศราศี เกิดวันที่ 2 ธันวาคม 2526 ได้รับการแต่งตั้งยศเป็นว่าที่ร้อยตรี ในปี พ.ศ. 2548 สำเร็จการศึกษาปริญญาตรี วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมีวิศวกรรม ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2547 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตร วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมีเทคนิค ภาควิชาเคมีเทคนิค จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2548

