

รายการอ้างอิง



ภาษาไทย

- ตะวัน สุขน้อย. เอกสารประกอบการสอนวิชาซีไอไลต์และสารมีรูปพจน์ที่เกี่ยวข้อง. ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2540.
- ธารินี กิตติเรืองทอง. กระบวนการร่วมของพอลิพรอพิลีนและลิกไนต์โดยใช้เหล็กบนถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์ม. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต. ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.
- ปราโมทย์ ไชยเวช. ปิโตรเลียมเทคโนโลยี. กรุงเทพฯ : สุนทรออฟเซท, 2537.
- มนตรี ทองคำ. การสังเคราะห์ซีไอไลต์จากถ่านลอยถ่านหิน. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.
- แม่น อมรสิทธิ์. หลักการและเทคนิคการวิเคราะห์เชิงเครื่องมือ. กรุงเทพฯ : ชวนพิมพ์, 2535.
- วิษชากร จารุศิริ. กระบวนการร่วมของพรอพิลีนและแอนทราไซต์โดยใช้เหล็กบนถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์ม. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต. ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.
- วราวุฒิ ประชาสิทธิ์สกุล. การผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์มน้ำมันโดยการกระตุ้นด้วยพลังงานไมโครเวฟ. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต. ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541.
- วิทยา เรื่องพรวิสุทธิ. คะตะไลซิสแบบเฮเทอโรจีเนียส : หลักทฤษฎีและการประยุกต์. กรุงเทพฯ : ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2534.
- อริชา นายสุวรรณ, วรินทร์ ชวศิริ และ วิมลรัตน์ ตระการพฤกษ์. แคตตะลิสต์ในโพรงซีไอไลต์วายเป็นสำหรับการออกซิเดชันสารประกอบไฮโดรเจน. ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541.
- เอกสิทธิ์ แยมศรี. การแปรปรวมของถ่านหินและจาระบีใช้แล้วให้เป็นของเหลว. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต. ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546.

ภาษาอังกฤษ

- Adjaye, J. D., and Bakshishi, N. N. Production of hydrocarbons by catalytic upgrading of a fast pyrolysis bio-oil. Part I: Conversion over various catalysts. Fuel Processing Technology 45 (1995): 161-183.
- Adjaye, J. D., Katikaneni, S. P. R., and Bakhshi N. N. Catalytic conversion of biofuel to hydrocarbons : effect of mixtures of HZSM-5 and silica-alumina catalysts on product distribution. Fuel Processing Technology Elsevier 48 (1996): 115-143.
- Adjaye, J. D., Katikaneni, S. P. R., and Bakshishi, N. N. Catalytic conversion of canola oil to fuels and chemicals over various cracking catalysts. Can. J. Chem. Eng. 73 (1995): 484-497.
- Bansel, R. C. Active Carbon. New York: Marcel Dekler, 1988.
- Bhatia, S., Kee, H. J., Lan, L. M., and Mohamed, A. R. Production of bio-fuel by catalytic cracking of palm oil: Performance of different catalysts. Proc. Biofuel. PORIM Intl. Biofuel Labr. Conf. (1998): 107-112.
- Breck, D. W. Zeolite Molecular Sieve : Structure, Chemistry and Use. New York: Wiley, 1974.
- Casumano, J. C. Catalysis in Coal. New York: Academics Press, 1978.
- Dyer, A. An Introduction to Zeolives Molecular Sieve. New York: John Wiley & Sons, 1988.
- Idem, R. O., Katikaneni, S. P. R., and Bakshishi, N. N. Catalytic conversion of canola oil to fuels and chemicals: Roles of catalyst acidity, basicity, and shape selectivity on product distribution. Fuel Processing Technology 51 (1997):101-125.
- Katikaneni, S. P. R., Adjaya, J. D., and Bakhshi, N. N. Performance of aluminophosphate molecular sieve catalysts for production of hydrocarbons from wood-derived and vegetable oils. Energy Fuels 9 (1995):1065 -1078.
- Katikaneni, S. P. R., Adjaye, J. D.,and Bakhshi, N. N. Studies on the catalytic conversion of canola oil to hydrocarbons: Influence of hybrid catalysts and steam. Energy Fuels 9 (1995): 599-609.

- Katikaneni, S. P. R., Adjaye, J. D., Idem, R. O., and Bakhshi, N. N. Catalytic conversion of canola Oil over Potassium-Impregnated HZSM-5 catalysts:C2-C4 olefin production and model reaction studies. Ind. Eng. Chem. Res. 35 (1996): 3332-3346.
- Leng, T., and Mohamed, A. R. Production of fuels form catalytic conversion of palm oil:Preliminary studies. Proc.Reg.Symp.Chem.Eng.1 (1997): 75-81.
- Manjala, M. I., and Mohindar, S. S. Effect of hydrogen pressure and temperature on free radical. Fuel Processing Technology 49 (1996): 197 – 205.
- Montgomery, D. C. Design and Analysis of Experiments. 5th ed. New York: John Wiley & Sons, 2001.
- Prasad, Y. S., Bakshishi, N. N., Mathews, J. F., and Eager, R. L. Catalytic conversion of canola oil to fuels and chemical feedstocks Part I. Effect of process conditions on the performance of HZSM-5 catalyst. The Canadian Journal of Chemical Engineering 64 (1986): 278-284.
- Satterfield, C. N. Heterogeneous Catalysis in Industrial Practice. New York: McGraw-Hill Inc., 1991.
- Schobert, H. H. The Chemistry of Hydrocarbon fuel. New York: 1991.
- Twaiq, F. A., Zabidi, N. A. M., and Bhatia, S. Catalytic conversion of palm oil to hydrocarbons: Performance of various zeolite catalysts. Ind. Eng. Chem. Res. 38 (1999): 3230-3237.
- Twaiq, F. A., Zabidi, N. A. M., Mohamed, A. R., and Bhatia, S. Catalytic conversion of palm oil over mesoporous aluminosilicate MCM-41 for the production of liquid hydrocarbon fuels. Fuel Processing Technology 1660 (2003): 1– 16.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
ข้อมูลการทดลอง



ตารางที่ ก1 ผลการทดลองจากปฏิกิริยาการแตกตัวของน้ำมันพืชใช้แล้วโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา
เหล็กบนถ่านกัมมันต์ที่ภาวะการทดลองต่าง ๆ

Run No.	Factors				% Oil yield	% Gas yield	% Solid yield	% Naphtha	% Kerosene	% Light Gas Oil	% Gas Oil	% Long Residue
	Temp. (°C)	H ₂ (bars)	Time (min)	Catalyst (g.)								
Fe1	400	10	45	0.5	95.80	3.94	0.26	11.37	12.44	46.97	5.45	19.56
Fe2	430	10	45	0.5	88.52	10.45	1.03	22.42	15.15	31.59	3.73	15.63
Fe3	400	20	45	0.5	94.18	5.80	0.02	10.36	11.30	44.26	5.65	22.60
Fe4	430	20	45	0.5	88.02	11.70	0.23	24.65	14.08	26.85	3.96	18.48
Fe5	400	10	60	0.5	91.59	7.98	0.43	14.66	14.80	42.84	5.03	14.26
Fe6	430	10	60	0.5	79.74	17.78	2.48	28.14	16.56	21.86	3.26	9.91
Fe7	400	30	60	0.5	92.25	7.23	0.52	12.94	14.30	43.52	5.32	16.16
Fe8	430	30	60	0.5	82.27	16.19	1.54	27.15	14.59	23.52	4.02	12.99
Fe9	400	10	45	2.0	92.46	5.64	1.90	12.66	14.19	41.43	3.73	20.45
Fe10	430	10	45	2.0	84.60	11.81	3.59	25.38	13.54	27.92	4.23	13.54
Fe11	400	20	45	2.0	95.17	4.65	0.18	12.37	13.80	43.30	5.71	19.99
Fe12	430	20	45	2.0	85.81	13.21	0.98	25.74	15.45	26.60	4.29	13.73
Fe13	400	10	60	2.0	86.41	10.99	2.60	15.36	16.37	38.57	3.91	12.19
Fe14	430	10	60	2.0	78.39	18.18	3.43	30.23	16.35	19.91	2.72	9.18
Fe15	400	30	60	2.0	87.98	9.01	3.01	14.13	18.71	39.04	3.66	12.44
Fe16	430	30	60	2.0	79.84	16.16	4.00	27.85	19.53	21.39	2.81	8.26
Blank	430	10	60	-	89.22	9.84	0.94	18.29	9.81	27.21	7.14	26.77
FeMax	430	10	60	3.0	65.08	28.05	6.87	25.36	12.99	17.57	3.29	5.87
FeNo H ₂ (1)	430	-	60	0.5	88.63	4.35	7.02	16.84	11.52	18.12	11.52	30.63
FeNo H ₂ (2)	430	-	60	2.0	85.65	6.88	7.47	17.99	12.42	18.41	9.42	27.41
Fe(A)	415	10	60	2.0	82.71	14.25	3.04	19.13	16.67	33.11	3.06	10.74
Fe(B)	415	10	60	0.5	88.64	10.28	1.08	17.73	15.96	38.12	4.88	11.97
Fe(C)	430	10	60	1.5	79.5	17.41	3.09	27.03	17.88	20.52	3.38	10.69
Fe(D)	415	10	60	1.5	84.94	12.42	2.64	18.69	16.48	34.45	4.25	11.08
Fe(F)	430	20	60	2.0	80.02	17.25	2.73	28.21	17.86	20.03	3.92	10.00

ตารางที่ ก2 ผลการทดลองจากปฏิกิริยาการแตกตัวของน้ำมันพืชใช้แล้วโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5 ที่ภาวะการทดลองต่าง ๆ

Run No.	Factors				% Liquid yield	% Gas yield	% Solid yield	% Naphtha	% Kerosene	% Light Gas Oil	% Gas Oil	% Long Residue
	Temp. (°C)	H ₂ (bars)	Time (min)	Catalyst (g.)								
H1	400	10	45	0.05	96.61	3.14	0.25	9.66	9.66	40.58	5.80	30.92
H2	430	10	45	0.05	90.55	8.84	0.61	22.64	12.68	29.43	4.53	21.28
H3	400	20	45	0.05	94.18	5.8	0.02	10.36	11.30	44.26	5.65	22.60
H4	430	20	45	0.05	88.02	11.7	0.28	26.41	14.08	25.09	3.96	18.48
H5	400	10	60	0.05	92.65	6.74	0.61	12.04	13.90	36.60	5.56	24.55
H6	430	10	60	0.05	83.60	15.3	1.10	26.75	13.79	22.99	3.76	16.30
H7	400	20	60	0.05	92.44	7.1	0.46	11.09	12.02	43.45	5.55	20.34
H8	430	20	60	0.05	82.92	15.99	1.09	27.36	14.93	21.73	3.98	14.93
H9	400	10	45	0.2	95.18	4.7	0.12	13.33	11.42	44.73	5.71	19.99
H10	430	10	45	0.2	86.01	13.13	0.86	23.22	14.36	26.06	5.16	17.20
H11	400	20	45	0.2	95.17	4.65	0.18	12.37	10.94	44.25	5.71	21.89
H12	430	20	45	0.2	85.81	13.21	0.98	25.74	15.45	26.60	4.29	13.73
H13	400	10	60	0.2	90.08	9.55	0.37	16.21	12.61	37.38	4.95	18.92
H14	430	10	60	0.2	81.37	17.18	1.45	26.85	16.27	21.97	4.07	12.21
H15	400	20	60	0.2	92.80	6.83	0.37	14.85	12.71	39.25	5.57	20.42
H16	430	20	60	0.2	82.45	16.45	1.10	29.27	14.43	20.61	3.30	14.84
Blank	430	10	60	0.05	89.22	9.84	0.94	18.29	9.81	27.21	7.14	26.77
MAX	430	10	60	0.5	72.74	24.90	2.36	23.28	11.64	26.91	3.64	7.27
No H ₂ (1)	430	-	60	0.05	89.43	6.35	4.22	18.78	8.94	17.89	12.07	31.75
No H ₂ (2)	430	-	60	0.2	87.22	8.46	4.32	19.19	10.47	19.19	10.47	27.91
H(A)	415	10	60	0.2	87.82	11.24	0.94	18.44	13.17	34.25	4.83	17.12
H(B)	415	10	60	0.05	89.40	9.90	0.70	16.99	12.34	35.04	4.47	20.56
H(C)	430	10	60	0.1	81.66	16.97	1.37	26.13	15.52	21.23	4.08	14.70
H(D)	415	10	60	0.1	89.97	9.26	0.77	17.99	12.60	33.29	4.50	21.59
H(F)	430	15	60	0.2	83.21	15.43	1.36	26.63	15.81	22.47	3.74	14.56

Temp : อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา (องศาเซลเซียส)

H₂ Pressure : ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น (บาร์)

Time : เวลาในการทำปฏิกิริยา (นาที)

Catalyst : น้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยา (กรัม)

ภาคผนวก ข
ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบผลิตภัณฑ์แก๊ส

ตารางที่ ข1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบผลิตภัณฑ์แก๊สที่ภาวะการทดลองต่าง ๆ จากปฏิกิริยาการแตกตัวของน้ำมันพืชใช้แล้วโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์

Run No.	Factors				CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	CO ₂
	Temp. (°C)	H ₂ (bars)	Time (min)	Catalyst (g.)					
GasFe1	430	10	45	0.5	9.20	8.50	4.66	1.25	76.39
GasFe2	400	10	60	0.5	9.42	6.64	3.20	1.30	79.44
GasFe3	415	10	60	0.5	12.53	9.23	4.98	1.65	71.61
GasFe4	430	10	60	0.5	13.17	12.61	7.24	1.98	65.00
GasFe5	430	10	60	Blank	9.65	7.55	5.56	1.42	75.82
GasFe6	430	10	60	1.5	13.16	12.50	7.30	2.01	65.03
GasFe7	430	10	60	2.0	13.12	12.24	7.55	2.07	65.02
GasFe8	430	10	45	2.0	12.05	11.63	5.81	1.81	68.70
GasFe9	400	10	60	2.0	10.40	7.43	5.29	1.13	75.74
GasFe10	415	10	60	2.0	10.53	9.16	6.73	1.77	71.81

ตารางที่ ข2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบผลิตภัณฑ์แก๊สที่ภาวะการทดลองต่าง ๆ จากปฏิกิริยาการแตกตัวของน้ำมันพืชใช้แล้วโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5

Run No.	Factors				CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	CO ₂
	Temp. (°C)	H ₂ (bars)	Time (min)	Catalyst (g.)					
GasHZ1	430	10	45	0.05	17.44	12.61	4.81	1.95	63.19
GasHZ2	400	10	60	0.05	12.12	8.98	3.98	1.61	73.32
GasHZ3	415	10	60	0.05	17.39	12.04	6.06	2.29	62.22
GasHZ4	430	10	60	0.05	21.58	15.16	6.00	2.63	54.63
GasHZ5	430	10	60	Blank	9.65	7.55	5.56	1.42	75.82
GasHZ6	430	10	60	0.1	21.52	13.87	6.82	2.01	55.78
GasHZ7	430	10	60	0.2	22.30	13.49	6.74	2.03	55.44
GasHZ8	430	10	45	0.2	19.52	12.89	5.40	1.16	61.03
GasHZ9	400	10	60	0.2	13.57	9.50	4.65	2.02	70.26
GasHZ10	415	10	60	0.2	18.96	14.52	4.98	2.33	59.21

ภาคผนวก ค

ตัวอย่างการคำนวณการวิเคราะห์เชิงสถิติ

การวิเคราะห์เชิงสถิติได้วางรูปแบบการทดลองเป็น 2^k แฟกทอเรียล n เรพลีเคต และอยู่ภายใต้สมมติฐานว่าตัวแปรและค่าการวิเคราะห์มีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง

1. สัญลักษณ์ของการทดลองแบบแฟกทอเรียล

- 1.1 k หมายถึง จำนวนตัวแปรที่ทำการศึกษา
- 1.2 n หมายถึง จำนวนการทดลองที่ภาวะการทดลองเดียวกัน
- 1.3 อักษรภาษาอังกฤษตัวใหญ่ (A, B, C) แทนปัจจัยที่ต้องการศึกษาเช่น อุณหภูมิ ความดัน เป็นต้น
- 1.4 อักษรภาษาอังกฤษตัวใหญ่ที่เขียนรวมกัน (Combination) เช่น AB, AC, BC, ABC หมายถึงปฏิริยาสัมพันธ์ (Interaction)
- 1.5 อักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กที่เขียนรวมกัน เช่น ab, ac, bc, abc หมายถึงการทดลองซึ่งเกิดจากการรวมกันของอิทธิพลปัจจัยต่าง ๆ เรียกว่า Treatment Combination

การทดลองที่แต่ละปัจจัยมี 2 ระดับ จะแทนแต่ละระดับของแต่ละปัจจัยเป็น -1 และ $+1$ โดย -1 แทนระดับต่ำ $+1$ แทนระดับสูง

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่มีต่อร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันจากปฏิกิริยาการแตกตัวของน้ำมันพืชใช้แล้วโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5 ซึ่งออกแบบการทดลองเป็น 2^4 แฟกทอเรียล แบบ 2 เรพลีเคต โดยกำหนดสัญลักษณ์และระดับของตัวแปร ดังนี้

ตารางที่ค1 สัญลักษณ์และระดับของตัวแปรที่ทำการศึกษา

ปัจจัย	ระดับ	
	(-1) ต่ำ	(+1) สูง
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส), A	400	430
ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น (บาร์), B	10	20
เวลา (นาที), C	45	60
น้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5(กรัม), D	0.05	0.2

สัญลักษณ์แทนการทดลองซึ่งเกิดจากการรวมกันของอิทธิพลปัจจัยต่าง ๆ มีความหมายคือ การทดลองที่ปรากฏสัญลักษณ์ของปัจจัยใดแสดงว่าทำการทดลองที่ระดับ +1 ของปัจจัยนั้น และปัจจัยที่ไม่ปรากฏสัญลักษณ์ทำที่ระดับ -1 เช่น

(-1) แสดงว่าทำการทดลองที่ระดับ -1 ทุกปัจจัย

a ทำการทดลองที่ระดับอุณหภูมิ +1 และปัจจัยอื่น ๆ ทำที่ระดับ -1 ดังนั้นภาวะของการทดลองคือ อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส ความดัน 10 บาร์ เวลา 45 นาที และน้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยา 0.05 กรัม

ab ทำการทดลองที่ระดับอุณหภูมิ +1 ความดัน +1 และปัจจัยอื่น ๆ ทำที่ระดับ -1

2. ความหมายของคำที่สำคัญ

อิทธิพลหลัก (Main Effect) หมายถึง อิทธิพลของปัจจัยที่ศึกษา

ปฏิกิริยาสัมพันธ์ (Interaction) หมายถึง การแสดงออกของระดับต่าง ๆ ในปัจจัยหนึ่งไม่เท่ากันเมื่อเปรียบเทียบกับจากระดับหนึ่งไปอีกระดับหนึ่งของอีกปัจจัย

อิทธิพลแฟกทอเรียล (Factorial Effects) หมายถึง อิทธิพลต่าง ๆ ทั้งอิทธิพลหลักและปฏิกิริยาสัมพันธ์ทั้งหมดในการทดลองซึ่งจะมีเท่ากับ จำนวนการรวมตัว - 1 หรือเท่ากับองศาความเป็นอิสระ (Degree of Freedom) ของสิ่งทดลอง

3. สูตรการคำนวณ

3.1 Contrast เท่ากับ ผลรวมของค่าการทดลองแต่ละ Treatment คูณกับสัมประสิทธิ์(-1 หรือ +1) ของตัวแปรหรือปฏิสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร

$$3.2 \text{ Effect Estimate}_{AB...K} = \frac{2}{n2^k} (\text{Contrast}_{AB...K})$$

$$3.3 \quad \text{Sum of Squares}_{AB...K} : SS_{AB...K} = \frac{2}{n^{2^k}} (\text{Contrast}_{AB...K})^2$$

3.4 Total of Sum of Squares :

$$SS_T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n y_{ijk}^2 - y^2 \dots / N ; N = \text{จำนวนค่าสังเกตทั้งหมด}$$

3.5 Sum of Squares Error :

$$SS_E = SS_T - \text{Sum Squares of Main Effect}$$

3.6 Mean of Square : $MS = \text{Sum of Squares} / \text{Degree of Freedom}$

$$3.7 \quad \% \text{Normal Probability} = \frac{(\text{Cumulative frequency} - 0.5) * 100}{(\text{Total Cumulative frequency})}$$

3.8 $F_0 = \text{Mean Square of Effect} / \text{Mean Square of Error}$

4. ตัวอย่างการคำนวณ

รูปแบบของ Treatment Combinations อิทธิพลแพกทอเรียล และค่าสัมประสิทธิ์ที่ใช้ในการคำนวณแสดงในตารางที่ ค2

เครื่องหมาย + และ - คือ +1 และ -1 ซึ่งเป็นค่าสัมประสิทธิ์ของการเปรียบเทียบ หรือ อิทธิพลแพกทอเรียลต่าง ๆ นั้นเอง ดังนั้นอิทธิพลแพกทอเรียล A คือ การเปรียบเทียบระหว่างระดับ -1 และ +1 ของปัจจัย A

วิธีการหาค่าสัมประสิทธิ์ คือ

อิทธิพลแพกทอเรียล A : ให้ค่า + แก่ Treatment Combinations ที่มีสัญลักษณ์ a นอกนั้นให้ค่า -

อิทธิพลแพกทอเรียล B : ให้ค่า + แก่ Treatment Combinations ที่มีสัญลักษณ์ b นอกนั้นให้ค่า -

อิทธิพลปฏิริยาสัมพันธ์ AB : ให้คูณสัมประสิทธิ์ของ A กับ B เข้าด้วยกันได้เป็นสัมประสิทธิ์ของ AB

ตารางที่ ค2 ค่าสัมประสิทธิ์ของอิทธิพลต่าง ๆ ที่ใช้ในการคำนวณการวิเคราะห์ความแปรปรวน

Treatment Combination	Factorial Effects														
	A	B	AB	C	AC	BC	ABC	D	AD	BD	ABD	CD	ACD	BCD	ABCD
(1)	-1	-1	1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	1
a	1	-1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	1	1	-1	-1
b	-1	1	-1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	1	-1	1	-1
ab	1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1
c	-1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1
ac	1	-1	-1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1
bc	-1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1
abc	1	1	1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
d	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1
ad	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1
bd	-1	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1
abd	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1
cd	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1
acd	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1
bcd	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1
abcd	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

ตัวอย่างการวิเคราะห์อิทธิพลของตัวแปรที่มีต่อร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์น้ำมัน โดยวางรูปแบบการทดลองเป็น 2^4 แฟกทอเรียล แบบ 2 เรพลิเคต แสดงผลดังตารางที่ ค3 หลังจากนั้นนำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณค่า Contrast, Effect Estimate และ Sum of Squares แสดงผลดังตารางที่ ค4

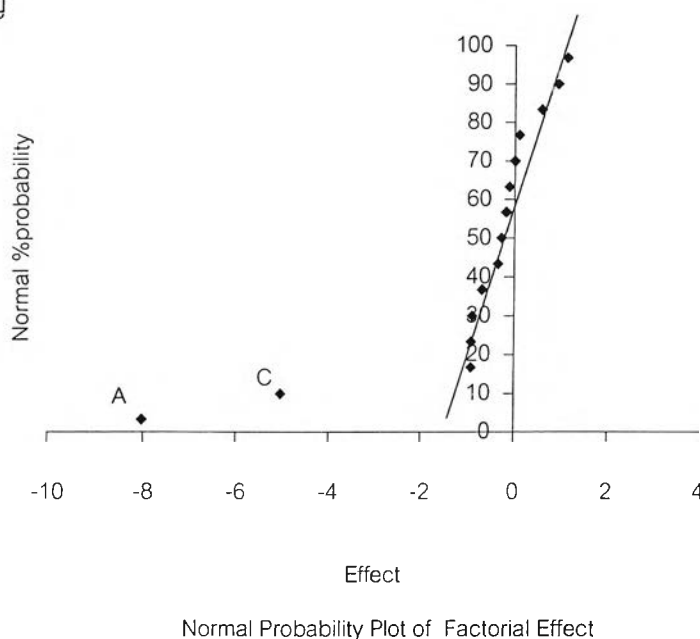
ตารางที่ ค3 ภาวะของตัวแปร และร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์น้ำมัน

การทดลอง	Treatment	ตัวแปร				ร้อยละผลได้
	Combination	อุณหภูมิ (องศา	ความดัน	เวลา	ตัวเร่งปฏิกิริยา	ผลิตภัณฑ์ น้ำมัน
		เซลเซียส), A	(บาร์), B	(นาที), C	(กรัม), D	
1	(1)	400	10	45	0.05	96.61
2						94.55
3	a	430	10	45	0.05	90.55
4						88.32
5	b	400	20	45	0.05	94.18
6						94.02
7	ab	430	20	45	0.05	88.02
8						87.22
9	c	400	10	60	0.05	92.65
10						88.65
11	ac	430	10	60	0.05	83.60
12						83.33
13	bc	400	20	60	0.05	92.44
14						91.45
15	abc	430	20	60	0.05	82.92
16						83.66
17	d	400	10	45	0.2	95.18
18						94.65
19	ad	430	10	45	0.2	86.01
20						88.02
21	bd	400	20	45	0.2	95.17
22						96.54
23	abd	430	20	45	0.2	85.81
24						90.13
25	cd	400	10	60	0.2	90.08
26						88.36
27	acd	430	10	60	0.2	81.37
28						78.21
29	bcd	400	20	60	0.2	92.80
30						91.54
31	abcd	430	20	60	0.2	82.45
32						81.02

ตารางที่ ค4 ผลการคำนวณ Contrast, Effect Estimate และ Sum of Squares ของร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์น้ำมัน

Treatment Combination	A	B	AB	C	AC	BC	ABC	D	AD	BD	ABD	CD	ACD	BCD	ABCD	Oil Yield	
-1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	1	96.61	94.55
a	1	-1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	1	1	-1	-1	90.55	88.32
b	-1	1	-1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	1	-1	1	-1	94.18	94.02
ab	1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	88.02	87.22
c	-1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	92.65	88.65
ac	1	-1	-1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	83.6	83.33
bc	-1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	92.44	91.45
abc	1	1	1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	82.92	83.66
d	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	95.18	94.65
ad	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	86.01	88.02
bd	-1	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	95.17	96.54
abd	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	85.81	90.13
cd	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	90.08	88.36
acd	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	81.37	78.21
bcd	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	92.80	91.54
abcd	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	82.45	81.02
Contrast	-128.230	9.230	-80.450	-14.830	-5.590	-14.590	-14.370	14.830	17.930	-10.910	-4.310	1.630	-1.730	-2.830	0.230		
Effect Estimate	-8.014	0.577	-5.028	-0.927	-0.349	-0.912	-0.898	0.927	1.121	-0.682	-0.269	0.102	-0.108	-0.177	0.014		
Sum of Squares	513.842	2.662	202.256	6.873	0.977	6.652	6.453	6.873	10.046	3.720	0.581	0.083	0.094	0.250	0.002		

นำผลการคำนวณค่า Effect Estimate มาสร้าง Normal probability plot จากรูปที่ ค1 พบว่า ตัวแปรที่เบี่ยงเบนออกจากเส้นตรง คือ A แทน อุณหภูมิ และ C แทน เวลาในการเกิดปฏิกิริยาซึ่งแสดงว่าตัวแปรเหล่านี้เป็นปัจจัยที่มีผลต่อร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์น้ำมัน นอกจากนี้เมื่อนำผลจากการคำนวณ Contrast, Effect Estimate และ Sum of Squares มาสร้างตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) ดังแสดงในตารางที่ ค5 พบเช่นเดียวกันว่า อุณหภูมิ และเวลาในการเกิดปฏิกิริยาซึ่งมีค่า F_0 ที่ได้จากการคำนวณ คือ 186.91 และ 73.57 ตามลำดับ มีค่ามากกว่า ค่า F ที่ได้จากตารางคือ 4.18 ที่ความเชื่อมั่น 95% ซึ่งเป็นการยืนยันว่า อุณหภูมิ และเวลาในการเกิดปฏิกิริยาเป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันอย่างมีนัยสำคัญ



รูปที่ ค1 Normal Probability Plot ของตัวแปรที่มีผลต่อร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์น้ำมัน

ตารางที่ ค5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์น้ำมัน

Source of Variation	Sum of Square	Degrees of	Mean Square	F_0
A(Temperature)	513.84	1	513.84	186.91
C(Time)	202.26	1	202.26	73.57
Error	79.72	29	2.75	
Total	795.82	31		

ใช้ค่า $\alpha = 0.05$ ได้ค่า $F_{0.05, 1, 29} = 4.18$

ภาคผนวก ง
การวิเคราะห์ค่าการกระจายตัวขององค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมัน
ตามคาบจุดเดือด (Boiling Distribution)

การวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์น้ำมันด้วย Simulated Distillation Gas Chromatography
การวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์น้ำมันด้วยวิธีนี้จะวิเคราะห์ตามจุดเดือดของสารดังต่อไปนี้

IBP - 200°C = naphtha

200°C - 250°C = kerosene

250°C - 350°C = light gas oil

350°C - 370°C = gas oil

370°C - FBP = long residue

การวิเคราะห์เริ่มด้วยการนำผลิตภัณฑ์น้ำมันไปละลายในคาร์บอนไดซัลไฟด์ในอัตรา 1 ส่วนใน 100 ส่วน โดยปริมาตร วิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี ยี่ห้อ Varian รุ่น CP-3800 สำหรับวิเคราะห์องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมันตามจุดเดือด ตามมาตรฐาน ASTM D2887 พร้อมทั้งดีเทคเตอร์แบบ FID ซอฟต์แวร์ Simulated Distillation รุ่น Star Simulated Distillation Version 5.5 คอลัมน์ที่ใช้เป็น Capillary Column มี Stationary Phase คือ CP-SIL 5CB ยาว 15 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.25 มิลลิเมตร และความหนาของฟิล์ม 0.25 ไมครอน ภาวะที่ใช้คือ

อุณหภูมิหัวฉีด (Injector Temperature) เท่ากับ 298 องศาเซลเซียส

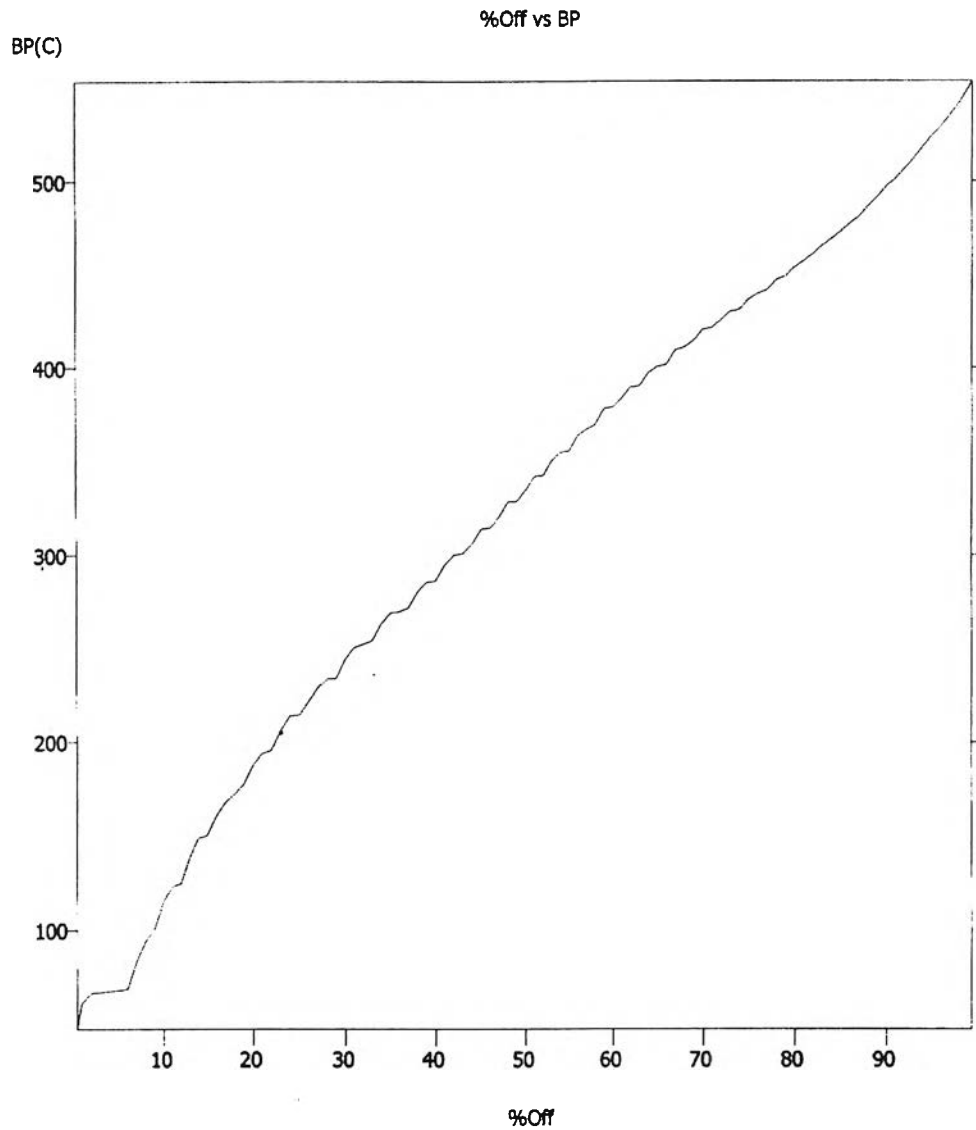
อุณหภูมิคอลัมน์ (Column Temperature or Oven Temperature) ซึ่งจะใช้เป็นแบบโปรแกรมอุณหภูมิ (Temperature Program) 1 ขั้นตอน และมีไนโตรเจนเหลวเป็นตัวให้ความเย็นเพื่อควบคุมอุณหภูมิด้วย คือ เริ่มต้นที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 0.01 นาที จากนั้นเพิ่มอุณหภูมิด้วยอัตราการให้ความร้อน 20 องศาเซลเซียสต่อนาที จนถึงอุณหภูมิตสุดท้ายที่ 320 องศาเซลเซียสแล้วคงที่เป็นเวลา 8.50 นาที

อุณหภูมิดีเทคเตอร์ (Detector Temperature) เท่ากับ 320 องศาเซลเซียส

แก๊สตัวพา (Carrier Gas) เป็นแก๊สฮีเลียมโดยมีอัตราการไหล 1.5 มิลลิลิตรต่อนาที ด้วย Split ratio เท่ากับ 2

ตัวอย่างกราฟแสดงการกลั่นตามจุดเดือด

โครมาโทแกรมที่ได้จากการแยกสารด้วยแก๊สโครมาโทกราฟี จะนำไปเปลี่ยนเป็นกราฟแสดงการกลั่นตามจุดเดือดด้วยโปรแกรม Simulated Distillation โดยจะทำการเทียบกับกราฟโครมาโทแกรมของสารผสมมาตรฐานตาม ASTM D2887 และโครมาโทแกรมของการทำงานของเครื่องเมื่อไม่มีการฉีดสารใด ๆ (Blank) ดังแสดงในรูปที่ ง1



รูปที่ ง1 ตัวอย่างกราฟแสดงการกลั่นตามคาบจุดเดือดขององค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมันจาก Simulated Distillation Gas Chromatography

ภาคผนวก จ

เครื่องไมโครแก๊สโครมาโทกราฟี (3000MicroGC)

เครื่องไมโครแก๊สโครมาโทกราฟี (3000MicroGC – SN: US10314007) ใช้สำหรับ
วิเคราะห์องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์แก๊ส ภาวะและคุณสมบัติของเครื่องไมโครแก๊สโครมาโทกราฟี
แสดงในตาราง จ1

ตารางที่ จ1 ภาวะและคุณสมบัติของเครื่องไมโครแก๊สโครมาโทกราฟี
(3000MicroGC – SN: US10314007)

3000 GC Setpoints	A	B	C
Sample Inlet Temperature (°C)	45	45	45
Injector Temperature (°C)	100	55	85
Column Temperature (°C)	110	60	90
Sampling Time (s)	110	60	90
Inject Time (ms)	10	30	30
Run Time (s)	240	240	240
Post Run Time (s)	10	30	30
Column Pressure (psi)	40	20	25
Post Run Pressure (psi)	40	20	33
Detector Filament	Enabled	Enabled	Enabled
Detector Sensitivity	High	High	High
Detector Data Rate (Hz)	50	50	50
Baseline Offset (mV)	50	30	10
3000 GC Configuration			
Injector Type	Backflush	Timed	Timed
Carrier Gas	Argcn	Helium	Helium
Column Type	Molecular Sieve	Plot Q	OV-1
Detector Type	TCD	TCD	TCD
Inlet Type	Heated	Heated	Heated

ภาคผนวก จ

สมบัติทางกายภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์

การตรวจวัดพื้นที่ผิวรูพรุนทั้งหมด (Surface Area) ด้วยเครื่อง BET Surface Area แสดงในตาราง จ1

ตารางที่ จ1 การวิเคราะห์พื้นที่ผิวรูพรุนของตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์

ร้อยละของเหล็กบนถ่านกัมมันต์	พื้นที่ผิวรูพรุนทั้งหมด (S_{BET}) ตารางเมตร/กรัม
5 % Fe/Active carbon	570

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวมารีนา มงคล เกิดเมื่อวันที่ 17 กรกฎาคม 2523 ที่กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมีวิศวกรรม ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2544 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ.2545

