รายการอ้างอิง

Alex, H.W., Dusko, P., Naoko, E. Assessment of four biodiesel production processes using HYSYS.Plant. Bioresource Technology 99 (2008): 6587–6601.

Alexander, J., Groenendijik, Alexandre, C., Dimian, and Piet, D., Iedama. Systems analysis in handling impurities in complex plants. Computers chem. Eng vol 20 (1996): s805-s810.

Alexander, J., Groenendijik, Alexandre, C., Dimian, and Piet, D., Iedama. System approach for evaluating dynamics and plantwide control of complex plants. AIChE J. vol. 46, (2000): 133-145.

Buckley, P.S. Techniques of Process Control Newyork: Wiley, (1964).

Canakci, M., Gerpan, J.V. Biodiesel production via acid catalysis. Trans.: Am. Agric. Eng. 42 (5), (1999): 1203-1210.

Chiu, C.W., Goff, M.J., Suppes, G.J. Distribution of methanol and catalysts between biodiesel and glycerin phases. AIChE Journal vol.51 (2005): 1274–1278.

Egle, S., Violeta, M., Prutenis, J., and Saulius, K. Kinetics of free fatty acids esterification with methanol in the production of biodiesel fuel, Master's Thesis. Institute of Environment Lithuanian University of Agriculture (2004).

Erik, A., Wolf, and Sigurd Skogestad. Temperature cascade control of distillation columns. Ind. Eng. Chem. Res. vol.35, (1996): 475-484.

Freedman, B., Butterfield, R.O., Pryde, E.H. Transesterification kinetics of soybean oil. J. Am. Oil Soc. Chem. 63 (1986) 1375-1380.

George, S., Chistine Ng. Synthesis of Control Systems for Chemical Plants. Computers and Chemical Engineering. 20 (1996) S999-S1004.

George, S., Chistine Ng. Perspectives on the synthesis of plantwide control structure. J. Process control structure. 10 (2000) 97-111.

Goff, M.J., Bauer, N.S., Lopes, S., Sutterlin, W.R., Suppes, G.J. Acid-catalyzed alcoholysis of soybean oil. Journal of the American Oil Chemists Society 81 (2004) 415–420.

Goodrum, J.W. Volatility and boiling points of biodiesel from vegetable oils and tallow. Biomass Bioenergy 22 (2002) 205-211.

Hyprotech Ltd., HYSYS.PLANT 3.1 documentation (2002)

Luyben, M.L.; Luyben, W.L. Design and Control of a Complex Process Involving Two Reaction Steps, Three Distillation Columns and Two Recycle Streams. Ind. Eng. Chem. Res. 34 (1995): 3885-3898.

Luyben, M.L., Tyreus, B.D., Luyben, W.L. Plantwide control design procedure. AIChE J., vol.43 (1997): 3161-3174.

Luyben, W.L., Tyreus, B.D., Luyben, M.L. Plantwide Process Control. New York: McGraw Hill (1999): 273-293.

Luyben, W.L. Plantwide Dynamic Simulations in Chemical Processing and Control New york: Marcel Dekker (2002).

McBride, N. Modeling the production of biodiesel from waste frying oil. B.A.Sc. Thesis. Department of Chemical Engineering University of Ottawa (1999).

McCabe, W.J., Smith, J.C., Harriott, P. Unit Operations of Chemical Engineering sixth ed. McGraw Hill, Boston (2001).

Qiu, Q.F., Rangaiah, G.P., and Krishnaswamy, P.R. Application of a plant-wide control design to HAD process. Computers and Chemical Engineering journal 27 (2003): 73-94.

Seborg, D.E., Edgar, T.F. and Mellichamp, D.A. Process Dynamic and Control. New York: John Wiley & Sons (1989).

Skogestad, S. Control structure design for complete chemical plants. Computers and Chemical Engineering journal 28 (2004): 219-234.

Turton, R., Bailie, R.C., Whiting, W.B., Shaeiwitz, J.A. Analysis, Synthesis, and Design of Chemical Processes, 2nd ed. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey (2003).

Ulrich, G. D. A Guide to Chemical Engineering Process Design and Economics. New York: Wiley (1984).

Wongsri and Poothanakul, P. Plantwide control design for a Butane Isomerization Process. Master's Thesis. Department of Chemical Engineering Graduate School. Chulalongkorn University (2002).

Wongsri and Kietawarin, S. Control structure design applied to hydrodealkylation process plantwide control problem. Master's Thesis. Department of Chemical Engineering Graduate School. Chulalongkorn University (2003).

Zhang, Y., and McLean D.D. Biodiesel production from waste cooking oil: 1. Process design and technological assessment. Bioresource Technology 89 (2003): 1-16.

Zheng, S., Kates, M., Dube, M.A., and McLean, D.D. Acid-catalyzed production of biodiesel from waste frying oil. Biomass and Bioenergy 30 (2006): 267–272.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ข้อมูลการจำลองกระบวนการที่สภาวะคงตัว

ก.1 กระบวนการผลิตไบโอดีเซล

ตาราง ก.1.1 ค่าพารามิเตอร์ของอุปกรณ์

เครื่องปฏิกรณ์หน่วยทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอริฟิเคชั่น	เส้นผ่านศูนย์กลาง (เมตร)	4.33
	ความยาว (เมตร)	6.50
	ขนาด (ลูกบาศก์เมตร)	95.66
	ความร้อนที่ป้อน (กิโลจูลต่อชั่วโมง)	27234.24
เครื่องปฏิกรณ์หน่วยกำจัดความเป็นกรด	เส้นผ่านศูนย์กลาง (ฟุต)	0.71
	ความยาว (ฟุต)	1.06
	ขนาด (ลูกบาศก์ฟุต)	0.41
	ความร้อนที่ป้อน (กิโลจูลต่อชั่วโมง)	284503.38
หอกลั่นหน่วยแยกเมทานอลเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่	เส้นผ่านศูนย์กลาง (เมตร)	1.5
	จำนวนเทรย์	10
	เทรย์ที่ป้อนเข้า	5
	รีฟลักซ์เรทิโอ	2
	ขนาดรีฟลักซ์ดรัม (ลูกบาศก์เมตร)	2
	ขนาดหม้อต้มซ้ำ (ลูกบาศก์เมตร)	2
หอกลั่นหน่วยทำไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์ยิ่งขึ้น	เส้นผ่านศูนย์กลาง (เมตร)	1.5
	จำนวนเทรย์	4
	เทรย์ที่ป้อนเข้า	2
	รีฟลักซ์เรทิโอ	2
	ขนาดรีฟลักซ์ดรัม (ลูกบาศก์เมตร)	2
	ขนาดหม้อต้มซ้ำ (ลูกบาศก์เมตร)	2

หอกลั่นหน่วยทำกลีเซอรอลให้บริสุทธิ์ยิ่งขึ้น	เส้นผ่านศูนย์กลาง (เมตร)	7.24
	จำนวนเทรย์	4
	เทรย์ที่ป้อนเข้า	2
	รีฟลักซ์เรทิโอ	2
	ขนาดรีฟลักซ์ดรัม (ลูกบาศก์เมตร)	2
	ขนาดหม้อต้มซ้ำ (ลูกบาศก์เมตร)	2
เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน	ขนาดเชลล์ (ลูกบาศก์เมตร)	0.1
	ขนาดทิวป์ (ลูกบาศก์เมตร)	0.1
เครื่องแยกแฟรช	เส้นผ่านศูนย์กลาง (เมตร)	0.71
	ความยาว (เมตร)	1.06
	ขนาด (ลูกบาศก์เมตร)	0.41
	ความร้อนที่ป้อน (กิโลจูลต่อชั่วโมง)	800850.29
หน่วยแยกกลีเซอรอลออกจากไบโอดีเซล	เส้นผ่านศูนย์กลาง (เมตร)	0.76
	ความยาว (เมตร)	1.13
	ขนาด (ลูกบาศก์เมตร)	0.53
	ความร้อนที่ป้อน (กิโลจูลต่อชั่วโมง)	844008.37
ค่าทางจลนพลศาสตร์ปฏิกิริยาทรานเอสเทอริฟิเคชั่น	AF (1/h)	1.27
	EF (kJ/mol)	13.34

ตาราง ก.1.2 ค่าพารามิเตอร์ของกระแสในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลสภาวะคงตัวมวลสาร

	Fresh Methanol	Fresh Sulfuric	Recycle Methanol	Used Oil	101B	102
เศษส่วนการกลายเป็นไอ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	25	25	67.75	24.88	25.5	59.23
ความดัน (กิโลปาสคาล)	101.3	101.3	140	101.3	140	140
อัตราการไหล (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)	220	51.50	810	1030	271.5	1081.5
ความร้อน (กิโลจูลต่อชั่วโมง)	-1.64E+6	-4.20E+5	-5.92E+6	-2.78E+6	-2.06E+6	-7.98E+6
	105C	107B	202	Fresh CaO	203A	203D
เศษส่วนการกลายเป็นไอ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	1
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	60	70.05	191.6	25	178.4	325
ความดัน (กิโลปาสคาล)	140	192.2	195	175	135	90
อัตราการไหล (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)	1030	2045	1235	29.5	1255	1184
ความร้อน (กิโลจูลต่อชั่วโมง)	-2.72E+6	-1.03E+7	-4.07E+5	8.75E+3	-3.71E6	-3.01E+6
	203G-	Fresh Water	301A	302A	Product Biodiesel	Product Glycerol
เศษส่วนการกลายเป็นไอ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14	0.16
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	65.12	25	65	65.02	325.5	248.2
ความดัน (กิโลปาสคาล)	235	260	120.3	110.7	101.3	32.22
อัตราการไหล (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)	1184	450	1257	586.57	1036	116.1
ความร้อน (กิโลจูลต่อชั่วโมง)	-4.01E+6	-7.91E+6	-6.39E+6	-7.59E+7	-2.25E+6	-7.68E+5

เศษส่วนโดยมวล

	101B	102	107B	202	203G-	102
น้ำมันปาล์มใช้แล้ว	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
น้ำ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0067	0.00
กรดซัลฟิวริค	0.1897	0.0477	0.0252	0.0417	0.00	0.0477
เมทานอล	0.8103	0.9523	0.4112	0.0252	0.0199	0.9523
กลีเซอรอล	0.00	0.00	0.0574	0.0951	0.0992	0.00
ไบโอดีเซล	0.00	0.00	0.5062	0.8380	0.8742	0.00
	105C	107B	202	203G-	301A	302A
น้ำมันปาล์มใช้แล้ว	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
น้ำ	0.00	0.00	0.00	0.0067	0.1751	0.9718
กรดซัลฟิวริค	0.00	0.0252	0.0417	0.00	0.00	0.00
เมทานอล	0.00	0.4112	0.0252	0.0199	0.0005	0.0046
กลีเซอรอล	0.00	0.0574	0.0951	0.0992	0.0012	0.0235
ไบโอดีเซล	0.00	0.5062	0.8380	0.8742	0.8232	0.00
	Product Biodiesel	Product Glycerol				
น้ำมันปาล์มใช้แล้ว	0.00	0.0007				
น้ำ	0.00	0.0011				
กรดซัลฟิวริค	0.00	0.00				
เมทานอล	0.00	0.00				
กลีเซอรอล	0.0014	0.9982				
ไบโอดีเซล	0.9986	0.00				

ค่าพลังงาน

	Cooling 1	Heating 1	Cooling 2	Heating 2
ความร้อน (กิโลจูลต่อชั่วโมง)	2.707E+6	3.047E+6	1.550E+6	2.776E+6
	Cooling 3	Heating 3	E1	E3
ความร้อน (กิโลจูลต่อชั่วโมง)	3.242E+7	3.323E+7	40.35	187.3
	E4	E5	E7	E8
ความร้อน (กิโลจูลต่อชั่วโมง)	2.723E+4	472.5	2.845E+5	8.009E+5
	E9	E10	E11	E12
ความร้อน (กิโลจูลต่อชั่วโมง)	1.073E+6	304.8	8.440E+5	3.927E+4
	E13			
ความร้อน (กิโลจูลต่อชั่วโมง)	91.44			

ภาคผนวก ข

Tray Sizing T-201

Tray	Pressure (kPa)	Temp (C)	Net Liquid (kgmole/h)	Net Vapour (kgmole/h)
1_Main TS	190	81.36	53.01	75.84
2_Main TS	190.56	81.44	53.02	78.29
3_Main TS	191.11	81.52	53.02	78.30
4_Main TS	191.67	81.61	52.67	78.31
5_Main TS	192.22	84.92	87.70	77.95
6_Main TS	192.78	85.00	87.72	81.10
7_Main TS	193.33	85.09	87.74	81.12
8_Main TS	193.89	85.17	87.77	81.15
9_Main TS	194.44	85.26	87.64	81.17
10_Main TS	195	86.67	75.27	81.04

Tray Sizing T-401

Tray	Pressure (kPa)	Temp (C)	Net Liquid (kgmole/h)	Net Vapour (kgmole/h)
1_Main TS	120	240.41	16.22	36.70
2_Main TS	120.33	298.40	40.29	28.46
3_Main TS	120.67	329.85	56.63	36.45
4_Main TS	121	333.26	59.13	52.79

Tray Sizing T-501

Tray	Pressure (kPa)	Temp (C)	Net Liquid (kgmole/h)	Net Vapour (kgmole/h)
1_Main TS	110	102.25	532.97	799.43
2_Main TS	110.74	102.52	819.29	799.44
3_Main TS	111.48	103.22	753.48	818.02
4_Main TS	112.22	179.21	407.34	752.21

ภาคผนวก ค

ค.1 การปรับแต่งพารามิเตอร์เครื่องควบคุม

เริ่มจากการปรับแต่งพารามิเตอร์เครื่องควบคุมทีละวงแยกกันโดยใช้สมการคำนวณหาพารามอเตอร์เครื่องควบคุมของโคเฮน-คูณ (Cohen Coon) (Stephannopoulos, 1984) ดังสมการทดสอบาเสถียรภาพของวงควบคุมจนได้การตอบสนองที่มีเสถียรภาพ นำพารามิเตอร์เครื่องควบคุมที่ได้มาจำลองสถานการณ์พร้อมกันทั้งกระบวนการ ปรับแต่งพารามิเตอร์เครื่องควบคุมอีกครั้งจนได้การตอบสนองที่มีสเถียรภาพกระบวนการ

สมการเครื่องควบคุมชนิดพีไอ

$$K_c = \frac{1}{K}\frac{\tau}{t_d}\left(0.9 + \frac{t_d}{12\tau}\right) \qquad \text{(ค.1)}$$

$$\tau_1 = t_d\left(\frac{30 + 3t_d/\tau}{9 + 20t_d/\tau}\right) \qquad \text{(ค.2)}$$

ตัวอย่างปรับแต่งพารามิเตอร์กระบวนการผลิตไบโอดีเซล (โครงสร้างการควบคุมแบบที่ 1)

1. จำลองสถานการณ์กระบวนการผลิตไบโอดีเซล โดยมีหอกลั่นรีไซเคิลเมทานอล หอกลั่นไบโอดีเซล หอกลั่นกลีเซอรอล ปั๊ม เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน เครื่องแยกแฟรช เครื่องปฏิกรณ์เคมี

2. โดยแบ่งลักษณะของกระบวนการออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนของการแยกสาร ที่ประกอบด้วยหน่วยย่อย คือ หอกลั่นรีไซเคิลเมทานอล หอกลั่นไบโอดีเซล หอกลั่นกลีเซอรอล เครื่องแยกแฟรช และเครื่องสกัดสาร ส่วนที่ 2 คือส่วนของการเกิดปฏิกิริยา ได้แก่ เครื่องปฏิกรณ์เคมี

3. พิจารณาที่ส่วนของการแยกสาร โดยพิจารณาหอกลั่นรีไซเคิลเมทานอล เป็นอันดับแรก กำหนดวงควบคุมหลักคือ วงควบคุมของอุณหภูมิของหม้อต้มซ้ำ ใช้เครื่องควบคุมชนิดพีไอ วงควบคุมรองคือ วงควบคุมของความดันในหอกลั่น ได้ค่าดังแสดงในตารางที่ ค.1

4. กำหนดระดับของเหลวที่ก้นหอ และยอดหอกลั่นรีไซเคิลเมทานอล ให้มีค่าเท่ากับ 2 ตามคำแนะนำของหนังสือกระบวนการควบคุมแบบแพลนไวด์ (Luyben, 1998)

5. นำค่าการปรับแต่งพารามิเตอร์ดังกล่าวมาใช้ในโหมดอัตโนมัติ

6. พิจารณาหน่วยหอกลั่นไบโอดีเซล และหอกลั่นกลีเซอรอล โดยใช้หลักการพิจารณาเช่นเดียวกับการพิจารณาในหอกลั่นรีไซเคิลเมทานอล แล้วนำค่าการปรับแต่งพารามิเตอร์ดังกล่าวมาใช้ในโหมดอัตโนมัติ

7. พิจารณาเครื่องแยกแฟรช โดยวงควบคุมหลักคือ ความดันและอุณหภูมิของเครื่องแยกแฟรช โดยใช้สมการที่ ค.1 และ ค.2 นำค่าที่ได้นี้ไปใช้ในโหมดอัตโนมัติ วงควบคุมรองคือ ระดับของเหลวในเครื่องแยกแฟรช

8. พิจารณาเครื่องสกัดสาร เมื่อพิจารณาจากการดำเนินการของเครื่องสกัดสาร พบว่าวงควบคุมหลักคือ อัตราการไหลของน้ำที่ป้อนเข้าเครื่องสกัดสาร เพื่อรักษาอัตราการสกัดของเครื่องไว้

9. พิจารณาส่วนของการเกิดปฏิกิริยา โดยวงควบคุมหลักคือ ความดันและอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ โดยใช้สมการที่ ค.1 และ ค.2 นำค่าที่ได้นี้ไปใช้ในโหมดอัตโนมัติ วงควบคุมรองคือ ระดับของเหลวในเครื่องปฏิกรณ์

10. เมื่อได้ค่าการปรบแต่งพารามิเตอร์สำหรับทั้งส่วนของการแยกสาร และส่วนของการเกิดปฏิกิริยาแล้ว นำค่าทั้งหมดมาใช้ในโหมดอัตโนมัติ โดยการต่อทั้งส่วนเข้าด้วยกันจะได้ค่าพารามิเตอร์ที่เสถียรภาพ ดังตารางที่ ค.2.1

ค.2 สรุปพารามิเตอร์เครื่องควบคุมของโครงสร้างการควบคุม

ตาราง ค.2.1 สรุปพารามิเตอร์เครื่องควบคุมของโครงสร้างการควบคุมทั้งหมด

	โครงสร้างแบบบที่ 1		โครงสร้างแบบบที่ 2		โครงสร้างแบบบที่ 3	
	Kc	τ_i	*Kc*	τ_i	*Kc*	τ_i
ลูปควบคุมอัตราการไหล	0.5	0.3	0.5	0.3	0.5	0.3
ลูปความดัน	2	10	2	10	2	10
ลูปควบคุมอุณหภูมิเครื่องปฏิกรณ์ R-101A/B	43.41	12.35	13.28	11.89	9.83	10.42
ลูปควบคุมอุณหภูมิหอกลั่นรีไซเคิลเมทานอล	2	10	2	10	2	10
ลูปควบคุมอุณหภูมิหอกลั่นไบโอดีเซล	2.01	10.3	3.58	5.33	2	10
ลูปควบคุมอุณหภูมิหอกลั่นกลีเซอรอล	10.34	23.44	5.49	19.27	13.41	25.61
ลูปควบคุมระดับของเหลว	2	-	2	-	2	-
ลูปควบคุมคุณภาพผลิตภัณฑ์	-	-	-	-	1	21.2

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ชื่อ-สกุล	นายธีรพันธ์ รุจิระชุณห์
วัน เดือน ปีเกิด	11 กันยายน พ.ศ.2528
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	1 ซอยรังสิต-ปทุมธานี 12 ซอย 6 ตำบลประชาธิปัตย์ อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี 12130
โทรศัพท์	087 508 1289 0 2567 3342

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2542	มัธยมต้น โรงเรียนสามเสนวิทยาลัย กรุงเทพฯ การเรียนเฉลี่ย 2.76
พ.ศ. 2545	สำเร็จการศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ จากเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ผลการเรียนเฉลี่ย 3.89
พ.ศ. 2549	สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ผลการเรียนเฉลี่ย 3.01
พ.ศ. 2550	เข้ารับการศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ผลการเรียนเฉลี่ย 3.50