การออกแบบโครงสร้างการควบคุมแบบแพลนท์ไวด์สำหรับกระบวนการผลิตไบโอดีเซล จากน้ำมันปาล์มใช้แล้ว โดยมีกรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

นายธีรพันธ์ รุจิระชุณห์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2551
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PLANTWIDE CONTROL STRUCTURE DESIGN FOR AN ACID-CATALYZED PROCESS TO PRODUCE BIODIESEL FROM USED PALM OIL

Mr. Teerapan Rujirachun

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering Program in Chemical Engineering

Department of Chemical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2008

Copyright of Chulalongkorn University

511818

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การออกแบบโครงสร้างการควบคุมแบบแพลนท์ไวด์สำหรับกระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มใช้แล้วโดยมีกรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา
โดย	นายธีรพันธ์ รุจิระชุณห์
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	อาจารย์ ดร.สุรเทพ เขียวหอม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มนตรี วงศ์ศรี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ศราวุธ ริมดุสิต)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(อาจารย์ ดร.สุรเทพ เขียวหอม)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มนตรี วงศ์ศรี)

..... กรรมการ

(อาจารย์ ดร.อภินันท์ สุทธิธารธวัช)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีรวัฒน์ ปัตทวีคงคา)

ธีรพันธ์ รุจิระชุณห์ : การออกแบบโครงสร้างการควบคุมแบบแพลนท์ไวด์สำหรับกระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มใช้แล้วโดยมีกรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา. (PLANTWIDE CONTROL STRUCTURE DESIGN FOR AN ACID-CATALYZED PROCESS TO PRODUCE BIODIESEL FROM USED PALM OIL) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : อ. ดร. สุรเทพ เขียวเทพ, อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม : ผศ. ดร. มนตรี วงศ์ศรี, 103 หน้า.

งานวิจัยนี้เป็นการนำหลักการแพลนท์ไวด์มาใช้ในการออกแบบโครงสร้างการควบคุมกระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มใช้แล้วโดยมีกรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งเป็นกระบวนการที่มีพฤติกรรมเชิงพลวัตของกระบวนการค่อนข้างซับซ้อน ซึ่งมีการนำเมทานอล และพลังงานกลับเข้ามาป้อนรวมกับสายเมทานอลใหม่ ดังนั้นโครงสร้างการควบคุมจึงมีผลต่อสมรรถนะในการดำเนินการเป็นอย่างยิ่ง โดยสามารถออกแบบโครงสร้างการควบคุมด้วยวัตถุประสงค์ที่ต่างกันได้ 3 โครงสร้าง และนำแต่ละโครงสร้างการควบคุมมาเปรียบเทียบสมรรถนะในการควบคุม เมื่อระบบถูกรบกวนด้วยตัวแปรที่ทำให้กำลังการผลิตเปลี่ยนแปลงคือปริมาณของเมทานอลในระบบเปลี่ยนแปลง หรืออุณหภูมิขาเข้าเครื่องปฏิกรณ์เปลี่ยนแปลง โครงสร้างการควบคุมที่ 1 เป็นโครงสร้างการควบคุมที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ด้วยอัตราการไหลของสารผลิตภัณฑ์ ซึ่งข้อดีของกระบวนการนี้คือ ความบริสุทธิ์ของผลิตภัณฑ์ที่ได้ค่อนข้างคงที่ แต่อัตราการผลิตไม่คงที่ ส่วนโครงสร้างการควบคุมที่ 2 เลือกวัดอัตราการไหลของเมทานอลรวมที่ป้อนเข้าเครื่องปฏิกรณ์ เพื่อปรับเมทานอลใหม่ในระบบ ผลการทดสอบทางพลวัตพบว่าค่าคงที่ของกระบวนการต่อการตอบสนองการรบกวนเร็วกว่าโครงสร้างที่ 1 แต่ความบริสุทธิ์ของผลิตภัณฑ์ และอัตราการไหล มีความแปรปรวนมากกว่า แต่มีจุดเด่นคือระบบควบคุมต้องใช้พลังงานเพื่อทำให้กระบวนการกลับสู่ค่าเป้าหมายน้อยกว่าโครงสร้างการควบคุมที่ 1 และ 3 ส่วนโครงสร้างการควบคุมที่ 3 นำโครงสร้างการควบคุมที่ 2 มาเพิ่มวงจรควบคุมแบบแคสเคด เพื่อควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ และเพิ่มการควบคุมอัตราการไหลของสายผลิตภัณฑ์ ส่งผลให้ระบบมีการตอบสนองการรบกวนที่เร็ว และยังสามารถให้ความบริสุทธิ์รวมถึงอัตราการผลิตของผลิตภัณฑ์ที่คงที่ ดังนั้นเมื่อพิจารณาทั้งในด้านสมรรถนะการควบคุมและการใช้พลังงานเพื่อให้กระบวนการกลับสู่ค่าเป้าหมายแล้วโครงสร้างการควบคุมแบบที่ 2 เหมาะสมกับกระบวนการผลิตไบโอดีเซลโดยมีกรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยามากที่สุด

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี	ลายมือชื่อนิสิต .....
สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี	ลายมือชื่ออ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....
ปีการศึกษา 2551	ลายมือชื่ออ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม .....

5070303021 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING

KEYWORDS : BIODIESEL / ACID-CATALYST / CONTROL STRUCTURE / DYNAMIC SIMULATION / PLANTWIDE PROCESS CONTROL

TEERAPAN RUJIRACHUN: PLANTWIDE CONTROL STRUCTURE DESIGN FOR AN ACID-CATALYZED PROCESS TO PRODUCE BIODIESEL FROM USED PALM OIL. ADVISOR : SOORATHEP KHEAWHOM, Ph.D., CO-ADVISOR : ASST. PROF. MONTREE WONGSRI, D.Sc., 103 pp.

This study is to use plantwide control strategies for designing a control structure of an acid-catalyzed process to produce biodiesel from used palm oil which is complex process consisting of material or energy recycle streams. Thus, the control structure significantly affects the operation performance. Three control structures are proposed, and their performances for withstanding disturbances that cause production rate change are evaluated. The disturbances consisting of the amount of methanol and feed temperature before entering the reactor are introduced. The first control structure uses a product flow rate to control the quality of products. The result shows that the product purity is quite steady but the product flow rate is fluctuated. The second control structure measures total methanol flow rate in the process, and adjusts the fresh methanol feed rate accordingly. This structure shows faster dynamic response than that of the first control structure. Moreover, the heat load used to handle disturbances is the lowest. The product purity and flow rate of this structure are more fluctuated than the first control structure. In the third control structure, a cascade control is introduced to the second control structure for controlling the product purity. The product flow rate control is also added. This control structure has dynamic response similar to those obtained by the second control structure. The second control structure is the best control structure to handle disturbances due to it gives better control performances and lower heat load required.

Department : Chemical Engineering Student's Signature : Teerapan Rujirachun

Field of Study : Chemical Engineering Advisor's Signature : Soorathep Kheawhom

Academic Year : 2008 Co-Advisor's Signature : M. Wongsri

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณอาจารย์ ดร.สุรเทพ เขียวหอม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มนตรี วงศ์ศรี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ให้คำแนะนำทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จด้วยความช่วยเหลือจากท่าน ตลอดจนข้อเสนอแนะแนวความคิดต่างๆ ของงานวิจัยด้วยดีตลอดมาจนเสร็จสมบูรณ์ รวมทั้งรองศาสตราจารย์ ดร.ศราวุธ ริมดุสิต ประธานกรรมการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีรวัฒน์ ปัตทวีคงคา ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกมหาวิทยาลัย และอาจารย์ ดร.อภินันท์ สุทธิธารธวัช ที่กรุณามาร่วมเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้ให้ความสนใจและได้ข้อคิดที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัยฉบับนี้ ขอขอบคุณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่เป็นแหล่งความรู้ให้ข้าพเจ้าได้ศึกษาค้นคว้าตลอดการทำงานวิจัย และขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์และบัณฑิตวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ช่วยเหลือในด้านการศึกษาแลการทำงานวิจัยครั้งนี้จนสำเร็จการศึกษา ขอขอบคุณเพื่อนๆ รุ่นพี่ และน้องๆ ที่ให้คำแนะนำและให้ความช่วยเหลือ ตลอดจนให้กำลังใจด้วยดีตลอดมา

ท้ายสุดนี้ผู้ทำการวิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และผู้มีอุปการะคุณที่ให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจให้ตลอดจนสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ฌ

สารบัญภาพ..... ญ

บทที่ 1 บทนำ..... 1

1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา..... 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... 2

1.3 ขอบเขตของการวิจัย..... 2

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 3

1.5 ขั้นตอนการทำงานวิจัย..... 3

1.6 เนื้อหาวิทยานิพนธ์..... 3

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 5

2.1 ความหมายของไบโอดีเซล..... 5

2.2 การผลิตไบโอดีเซล..... 6

2.3 ปฏิกิริยาทรานเอสเทอริฟิเคชั่น..... 6

2.4 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาทรานเอสเทอริฟิเคชั่นระบบที่ใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา..... 9

2.5 กระบวนการผลิตไบโอดีเซลและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 12

2.6 การจำลองกระบวนการ..... 13

2.7 หลักการออกแบบโครงสร้างระบบควบคุมแบบแพลนท์ไวด์..... 14

2.8 ตัวอย่างการควบคุมแบบแพลนท์ไวด์..... 22

2.9 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องการออกแบบโครงสร้างระบบควบคุมแบบแพลนท์ไวด์..... 26

หน้า

บทที่ 3 กระบวนการผลิตไบโอดีเซลกับหลักการควบคุมแบบแพลนท์ไวด์..... 28
3.1 การจำลองกระบวนการ..... 28
3.2 การประยุกต์ใช้หลักการแพลนท์ไวด์สำหรับกระบวนการผลิตไบโอดีเซล..... 35

บทที่ 4 ผลการออกแบบโครงสร้างการควบคุม..... 41
4.1 บทนำ..... 41
4.2 โครงสร้างการควบคุมแบบที่ 1..... 43
4.3 โครงสร้างการควบคุมแบบที่ 2..... 57
4.4 โครงสร้างการควบคุมแบบที่ 3..... 69

บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์ผลการวิจัย..... 80
5.1 การเปรียบเทียบโครงสร้างการควบคุม..... 80
5.2 สรุปผลการวิจัย..... 88
5.3 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัย..... 88

รายการอ้างอิง..... 89
ภาคผนวก..... 92
ภาคผนวก ก 93
ภาคผนวก ข 98
ภาคผนวก ค 100
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 103

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
ตารางที่ 2.1	คุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผ่านกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชั่นโดยเทียบกับน้ำมันดีเซลมาตรฐาน.....	8
ตารางที่ ก.1.1	ค่าพารามิเตอร์ของอุปกรณ์.....	93
ตารางที่ ก.1.2	ค่าพารามิเตอร์ของกระแสในกระบวนการผลิตไบโอดีเซล.....	95
ตารางที่ ค.2.1	สรุปค่าพารามิเตอร์เครื่องควบคุมของแต่ละโครงสร้างการควบคุม.....	102

สารบัญภาพ

ภาพ		หน้า
รูปที่ 2.1	ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชั่น	7
รูปที่ 2.2	ลำดับขั้นปฏิกิริยาพื้นฐาน ของปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชั่น	7
รูปที่ 2.3	แผนผังแสดงขั้นตอนกระบวนการผลิตไบโอดีเซล	13
รูปที่ 2.4	ควบคุมระดับที่มีทิศทางเดียวกับอัตราการไหลของสารในระบบ Luyben (1998)	23
รูปที่ 2.5	การควบคุมระดับที่มีทิศทางตรงข้ามกับอัตราการไหลของสารในระบบ Luyben (1998)	23
รูปที่ 2.6	โครงสร้างการควบคุมที่กำหนดอัตราการป้อนสารเข้ากระบวนการ Luyben (1999)	24
รูปที่ 2.7	โครงสร้างการควบคุมที่กำหนดระดับของเหลวของเครื่องปฏิกรณ์ Luyben (1999)	25
รูปที่ 3.1	หน่วยทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอริฟิเคชั่นในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มใช้แล้วโดยมีกรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา	30
รูปที่ 3.2	หน่วยแยกเมทานอลเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มใช้แล้วโดยมีกรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา	31
รูปที่ 3.3	หน่วยกำจัดความเป็นกรดในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มใช้แล้วโดยมีกรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา	32
รูปที่ 3.4	หน่วยแยกกลีเซอรอลออกจากไบโอดีเซลในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มใช้แล้วโดยมีกรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา	32
รูปที่ 3.5	หน่วยทำไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์ยิ่งขึ้นในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มใช้แล้วโดยมีกรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา	33
รูปที่ 3.6	หน่วยทำกลีเซอรอลให้บริสุทธิ์ยิ่งขึ้นในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มใช้แล้วโดยมีกรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา	33
รูปที่ 3.7	กระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มใช้แล้วโดยมีกรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา	34
รูปที่ 4.1	โครงสร้างการควบคุมกระบวนการผลิตไบโอดีเซลแบบที่ 1	43

ภาพ หน้า

รูปที่ 4.2 โครงสร้างการควบคุมภายในหอกลั่นหน่วยแยกเมทานอลเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่..... 44
รูปที่ 4.3 โครงสร้างการควบคุมภายในหอกลั่นหน่วยทำไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์ยิ่งขึ้น..... 44
รูปที่ 4.4 โครงสร้างการควบคุมภายในหอกลั่นหน่วยทำไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์ยิ่งขึ้น..... 45
รูปที่ 4.5 การรบกวนระบบที่อุณหภูมิขาเข้าเครื่องปฏิกรณ์ที่หน่วยทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอริฟิเคชั่น..... 45
รูปที่ 4.6 การตอบสนองทางพลวัตของโครงสร้างที่ 1 เมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิขาเข้าเครื่องปฏิกรณ์..... 45
รูปที่ 4.7 การรบกวนระบบที่อัตราการไหลของเมทานอลใหม่..... 51
รูปที่ 4.8 การตอบสนองทางพลวัตของโครงสร้างที่ 1 เมื่อเปลี่ยนแปลงปริมาณเมทานอลในกระบวนการ..... 51
รูปที่ 4.9 โครงสร้างการควบคุมกระบวนการผลิตไบโอดีเซลแบบที่ 2..... 57
รูปที่ 4.10 โครงสร้างการควบคุมภายในหอกลั่นหน่วยแยกเมทานอลเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่แบบ ที่ 2..... 58
รูปที่ 4.11 โครงสร้างการควบคุมภายในหอกลั่นหน่วยทำไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์ยิ่งขึ้นแบบที่ 2..... 58
รูปที่ 4.12 โครงสร้างการควบคุมภายในหอกลั่นหน่วยทำกลีเซอรอลให้บริสุทธิ์ยิ่งขึ้นแบบที่ 2..... 59
รูปที่ 4.13 การรบกวนระบบที่อุณหภูมิขาเข้าเครื่องปฏิกรณ์หน่วยทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอริฟิเคชั่น..... 59
รูปที่ 4.14 การตอบสนองทางพลวัตของโครงสร้างที่ 2 เมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิขาเข้าเครื่องปฏิกรณ์..... 59
รูปที่ 4.15 การรบกวนระบบที่อัตราการไหลของเมทานอลใหม่..... 63
รูปที่ 4.16 การตอบสนองทางพลวัตของโครงสร้างที่ 2 เมื่อเปลี่ยนแปลงปริมาณเมทานอลในกระบวนการ..... 64
รูปที่ 4.17 โครงสร้างการควบคุมกระบวนการผลิตไบโอดีเซลแบบที่ 3..... 69
รูปที่ 4.18 โครงสร้างการควบคุมภายในหอกลั่นหน่วยทำไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์ยิ่งขึ้นแบบที่ 3..... 70

ภาพ หน้า

รูปที่ 4.19 โครงสร้างการควบคุมภายในหอกลั่นหน่วยทำกลีเซอรอลให้บริสุทธิ์ยิ่งขึ้นแบบที่ 3..... 70
รูปที่ 4.20 การตอบสนองทางพลวัตของโครงสร้างที่ 3 เมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิขาเข้าเครื่องปฏิกรณ์..... 70
รูปที่ 4.21 การตอบสนองทางพลวัตของโครงสร้างที่ 3 เมื่อเปลี่ยนแปลงปริมาณเมทานอลในกระบวนการ..... 75
รูปที่ 5.1 กราฟการสรุปผลค่าไอเออีของโครงสร้างการควบคุมกรณีรบกวนกระบวนการโดยเปลี่ยนอุณหภูมิขาเข้าเครื่องปฏิกรณ์..... 82
รูปที่ 5.2 กราฟการสรุปผลค่าไอเออีของโครงสร้างการควบคุมกรณีรบกวนกระบวนการโดยการเปลี่ยนแปลงปริมาณเมทานอลในกระบวนการ..... 85