

การออกแบบโครงสร้างการควบคุมกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์
ด้วยหอกลั่นที่มีปฏิกิริยา

**CONTROL STRUCTURE DESIGN OF SODIUM METHOXIDE
PRODUCTION PROCESS VIA REACTIVE DISTILLATION**

ชานาภา เจริญมิตรภาพ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2561

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

การออกแบบโครงสร้างการควบคุมกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์
ด้วยหอกลับที่มีปฏิกิริยา



ชนาภา เจริญมิตรภาพ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์


มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2561

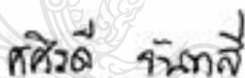
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การออกแบบโครงสร้างการควบคุมกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ ด้วยหอกลั่นที่มีปฏิกิริยา Control Structure Design of Sodium Methoxide Production Process Via Reactive Distillation
ชื่อ - นามสกุล	นางสาวชนากา เจริญมิตรภาพ
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ชัยภพ ศีระวรกุล, วศ.ค.
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธีระวัฒน์ เหมือนศรีชัย, วศ.ค.
ปีการศึกษา	2561

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(อาจารย์วีราภรณ์ ผิวสอาด, D.Eng.)



..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์วราณี มังกละศิริ, วศ.ค.)


..... กรรมการ
(อาจารย์ศศิรีดี จันทสี, วศ.ค.)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธีระวัฒน์ เหมือนศรีชัย, วศ.ค.)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ชัยภพ ศีระวรกุล, วศ.ค.)

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อนุมัติวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโท


..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สิวกอ อ่างทอง, Ph.D.)

วันที่ 29 เดือน ตุลาคม พ.ศ. 2561

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การออกแบบโครงสร้างการควบคุมกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซค์ด้วยหอกลับที่มีปฏิกิริยา
ชื่อ – นามสกุล	นางสาวชนาภา เจริญมิตรภาพ
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ชัยภพ ศิระวรกุล, วศ.ด.
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธีระวัฒน์ เหมือนศรีชัย, วศ.ด.
ปีการศึกษา	2561

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อเสนอการออกแบบโครงสร้างการควบคุมของกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซค์ โดยกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซค์ประกอบด้วยหอกลับแบบมีปฏิกิริยาซึ่งสามารถทำปฏิกิริยาไปพร้อมกับการแยกสารที่ต้องการได้ นอกจากนี้ยังมีหอกลับอีกหนึ่งหน่วยปฏิบัติการเพื่อแยกสารตั้งต้นที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาในหอกลับแบบมีปฏิกิริยากลับมาใช้ใหม่ซึ่งเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตให้มากยิ่งขึ้น

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยเริ่มต้นจากการศึกษากระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซค์นำเสนอโดย ศิริพรและคณะในปี 2017 ได้ทำการปรับปรุงกระบวนการให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นจากกระบวนการอ้างอิงโดยการออกแบบที่สภาวะการทำงานใหม่ การออกแบบจำนวนชั้นในหอกลับทั้งสองใหม่ และการออกแบบโครงสร้างการควบคุมกระบวนการผลิต โดยใช้โปรแกรม Aspen Plus และ Aspen Dynamic สำหรับการจำลองกระบวนการในสภาวะคงตัวและสภาวะพลวัตตามลำดับ

ผลการปรับปรุงกระบวนการพบว่า การเปลี่ยนอุณหภูมิสารป้อน การเปลี่ยนจำนวนชั้นในหอกลับแบบมีปฏิกิริยา และการเปลี่ยนจำนวนชั้นในหอกลับแยกสารตั้งต้น สามารถลดค่าใช้จ่ายในการผลิตได้มากขึ้นเมื่อเทียบกับกระบวนการต้นแบบซึ่งเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและโครงสร้างการควบคุมที่ได้ออกแบบนั้นสอดคล้องกับงานวิจัยที่นำมาอ้างอิง

คำสำคัญ: การออกแบบโครงสร้างการควบคุม กระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซค์ การกักเก็บแบบมีปฏิกิริยา การจำลองกระบวนการ

Thesis Title	Control Structure Design of Sodium Methoxide Production Process Via Reactive Distillation
Name-Surname	Miss Chanapa Charoenmittraphap
Program	Chemical Engineering
Thesis Adviser	Assistant Professor Chaiyapop Siraworakun, D.Eng.
Thesis Co-adviser	Assistant Professor Thirawat Mueansichai, D.Eng.
Academic Year	2018

ABSTRACT

This thesis aimed to propose a control structure design of the sodium methoxide production process. The sodium methoxide process consisted of a reactive distillation column which is used for reacting and separating products. Also, a conventional distillation column was employed for separating and recycling unused reactant back into the process for increasing efficiency of the production process.

The research methodology started with studying the sodium methoxide production process designed by Siriporn et.al. (2017) as a base case process. The base case process was modified to achieve more production efficiency by designing a new operational process, changing number of both distillation column stages and designing control structure for the modified process. This research used the commercial software, Aspen Plus and Aspen Dynamic, to create a simulation in a steady state and a dynamic mode, respectively.

The simulation results show that changing feed stream temperature, changing the number of reactive distillation stages and changing the number of conventional distillation stages could reduce the operating cost of the overall process, which increased the efficiency of production process and the proposed control structure and complied with the referred research papers.

Keywords: control structure design, sodium methoxide production process, reactive distillation, process simulation

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากบุคคลและองค์กรต่างๆ ดังนี้ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยภพ ศิระวรกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีระวัฒน์ เหมือนศรีชัย อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่ให้คำปรึกษา คำแนะนำ ข้อเสนอแนะ และแนวทางในการแก้ปัญหาต่างๆ สำหรับงานวิจัยนี้ด้วยดีตลอดมาจนสำเร็จสมบูรณ์ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่ง

ขอขอบพระคุณดร.วีราภรณ์ ผิวสอาด ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ดร.ศศิธร ดีจันทลี กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร. วรณี มังคละศิริ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ อาจารย์ผู้ทรงคุณวุฒิจากภายนอก ที่กรุณาให้คำแนะนำและให้คำปรึกษาตลอดจนให้ความช่วยเหลือแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ เพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ได้อบรมสั่งสอนและประสิทธิ์ประสาทความรู้วิชาการต่างๆ ขอขอบพระคุณบิดามารดา ที่สนับสนุนทั้งกำลังใจและกำลังทรัพย์ ทุกท่านที่มีส่วนให้ความสนับสนุนช่วยเหลือ รวมทั้งผู้ที่ไม่ได้กล่าวนามมา ณ ที่นี้ด้วย

ชนากา เจริญมิตรภาพ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	(3)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	(4)
กิตติกรรมประกาศ.....	(5)
สารบัญ.....	(6)
สารบัญตาราง.....	(8)
สารบัญรูป.....	(9)
บทที่ 1 บทนำ.....	11
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	11
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	12
1.3 สมมติฐานของการวิจัย.....	12
1.4 ขอบเขตการวิจัย.....	12
1.5 กรอบแนวคิดในการวิจัย.....	13
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	13
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	14
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	14
2.2 ทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน.....	17
2.3 หอกลั่นแบบมีปฏิกิริยา.....	18
2.4 การจำลองกระบวนการ.....	19
2.5 การควบคุมแบบป้อนกลับ.....	21
2.6 บล็อกไดอะแกรมของการควบคุม.....	21
2.7 ตัวควบคุมแบบพีไอดี.....	23
2.8 การประเมินประสิทธิภาพการควบคุม.....	25

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	27
3.1 แผนการดำเนินงาน.....	27
3.2 กระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์.....	29
3.3 การปรับปรุงกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์.....	31
3.4 การเปลี่ยนเป็นสถานะพลวัต.....	34
3.5 การออกแบบโครงสร้างการควบคุม.....	34
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	35
4.1 การปรับปรุงกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์.....	35
4.2 การเปลี่ยนเป็นสถานะพลวัต.....	42
4.3 การออกแบบโครงสร้างการควบคุมแบบแพลนท์ไวด์.....	51
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย การอภิปรายผลและข้อเสนอแนะ.....	54
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	54
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	55
บรรณานุกรม.....	56
ภาคผนวก.....	59
ภาคผนวก ก. ข้อมูลการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์.....	60
ภาคผนวก ข. ผลงานการตีพิมพ์เผยแพร่.....	134
ประวัติผู้เขียน.....	139

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 การคำนวณพารามิเตอร์ปรับจูนแบบซีเลอร์-นิโคลส์.....	24
ตารางที่ 3.1 แผนการดำเนินงาน.....	28
ตารางที่ 3.2 สภาวะการทำงานการผลิตโซเดียมเมทอกไซค์.....	30
ตารางที่ 4.1 ต้นทุนในการออกแบบสภาวะการทำงานแบบใหม่ของเครื่องให้ความร้อน.....	35
ตารางที่ 4.2 ต้นทุนในการลดและเพิ่มจำนวนชั้นปฏิริยาในหอกถันที่มีปฏิริยา	36
ตารางที่ 4.3 ข้อมูลของสารเมทานอลและน้ำในสาย Waste ของหอกถัน RAD ในรูปที่ 4.2	40
ตารางที่ 4.4 ข้อมูลของสารเมทานอลและน้ำในสาย CH ₃ OH ของหอกถัน RAD ในรูป 4.2	40
ตารางที่ 4.5 ข้อมูลของสารเมทานอลและน้ำในสาย Waste ของหอกถัน RAD ในรูปที่ 4.3	40
ตารางที่ 4.6 ข้อมูลของสารเมทานอลและน้ำในสาย CH ₃ OH ของหอกถัน RAD ในรูป 4.3	41
ตารางที่ 4.7 การเปรียบเทียบความดันในกระบวนการในสภาวะคงตัวและ Pressure driven	44
ตารางที่ 4.8 การเปรียบเทียบความดันในแต่ละชั้นของหอกถันที่มีปฏิริยา.....	45
ตารางที่ 4.9 การเปรียบเทียบความดันในแต่ละชั้นของหอกถันดั้งเดิม.....	46
ตารางที่ 4.10 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานในสมการแบบสมดุลและสมการ จลนพลศาสตร์.....	50
ตารางที่ 4.11 การจับคู่ตัวแปรปรับและตัวแปรควบคุม.....	51

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 ปฏิกริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชั่น.....	17
รูปที่ 2.2 หอกล้นแบบมีปฏิกริยา.....	19
รูปที่ 2.3 Feedback control loop.....	22
รูปที่ 2.4 Basic control loop.....	23
รูปที่ 2.5 เปรียบเทียบการตอบสนองของ โหมดการควบคุมต่างๆ.....	24
รูปที่ 3.1 ปฏิกริยาโซเดียมเมทอกไซด์.....	29
รูปที่ 3.2 แผนโครงสร้างกระบวนการผลิต โซเดียมเมทอกไซด์.....	30
รูปที่ 3.3 โครงสร้างกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ด้วยหอกล้นที่มีปฏิกริยาโดยใช้ โปรแกรม Aspen plus	31
รูปที่ 3.4 การออกแบบสภาวะการทำงานใหม่.....	32
รูปที่ 3.5 การออกแบบการทำงานภายใต้ข้อกำหนดใหม่.....	33
รูปที่ 3.6 การออกแบบสภาวะการทำงานใหม่ของหอกล้นดั้งเดิม.....	33
รูปที่ 4.1 กราฟต้นทุนรวมในการผลิตจากการปรับปรุงทั้ง 2 แบบ.....	38
รูปที่ 4.2 กระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ที่ยังไม่ตัดเครื่องแยก (Splitter).....	39
รูปที่ 4.3 กระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ที่ตัดเครื่องแยก (Splitter).....	49
รูปที่ 4.4 การเปรียบเทียบปริมาณเมทานอลกับจำนวนชั้นของหอกล้น.....	42
รูปที่ 4.5 กระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ก่อนเปลี่ยนเป็นสภาวะพลวัต.....	43
รูปที่ 4.6 การเพิ่มอุปกรณ์เพิ่ม/ลด ความดันของกระบวนการผลิต โซเดียมเมทอกไซด์.....	43
รูปที่ 4.7 หน้าจอแจ้งปัญหาการใช้แบบจำลองภายในหอกล้นที่มีปฏิกริยา.....	48
รูปที่ 4.8 แก๊วสมการจลนพลศาสตร์ภายในหอกล้นที่มีปฏิกริยา.....	48
รูปที่ 4.9 สมการ Kinetic factor.....	49

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.10 สูตรอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี.....	49
รูปที่ 4.11 สมการอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีในรูปของสมการเส้นตรง.....	49
รูปที่ 4.12 โครงสร้างการควบคุมกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ด้วยหอกลั่นที่มี ปฏิกิริยา.....	52



บทที่ 1

บทนำ

การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการเกิดผลิตภัณฑ์มักจะเป็นสิ่งที่มีอยู่ในกระบวนการผลิตทั่วไป ซึ่งสารที่ทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยานี้จะต้องได้รับการวิเคราะห์มาแล้วว่าจะไม่เกิดผลเสียต่อผลิตภัณฑ์และสามารถทำปฏิกิริยาให้เกิดผลที่ดีได้อย่างสูงสุด ซึ่งในงานวิจัยนี้มุ่งเน้นไปที่การศึกษาการผลิตตัวเร่งปฏิกิริยาที่สามารถผลิตไบโอดีเซลได้ด้วยการจำลองกระบวนการที่ซับซ้อนและออกแบบโครงสร้างการควบคุมของกระบวนการ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ปัจจุบันมีการวิจัย พัฒนาและเลือกผลิตพลังงานทางเลือกมากมาย อาทิเช่น การผลิตไบโอดีเซล ซึ่งวัฏจักรในการผลิตไบโอดีเซลนั้นสามารถมองเป็นภาพง่ายๆได้ เช่น ต้นสบู่ดำเติบโตด้วยการแลกเปลี่ยนแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และแก๊สชนิดอื่นที่มนุษย์ สัตว์ หรือสิ่งมีชีวิตอื่นๆปล่อยออกมาจนได้เมล็ดของต้นสบู่ดำ เมื่อนำเข้าสู่กระบวนการคัดแยกเปลือกเมล็ดและส่วนของน้ำมันได้แล้วส่วนของเปลือกเมล็ดสามารถนำไปเป็นอาหารสัตว์ได้ และส่วนของน้ำมันจะถูกส่งเข้าสู่โรงงานผลิตไบโอดีเซลเพื่อให้ได้ไบโอดีเซลที่มีคุณภาพสูงสำหรับการใช้ในภาคอุตสาหกรรม โดยในการผลิตไบโอดีเซลในโรงกลั่นนั้นมีหลากหลายวิธี อาทิเช่น การใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา การใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา การใช้เอนไซม์ไลเปส หรือ การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธ์เป็นต้น ซึ่งการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่นิยมใช้คือ การใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเนื่องจาก เบสนั้นเกิดปฏิกิริยาได้เร็ว ราคาข่อมเยว่และยังสามารถเกิดปฏิกิริยาให้ปริมาณไบโอดีเซลที่สูงกว่า โดยเบสที่นิยมนำมาใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์

เวลาต่อมาในงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับตัวเร่งปฏิกิริยาที่สามารถเกิดปฏิกิริยาที่ดีกว่าโซเดียมไฮดรอกไซด์ หลายงานวิจัย ตัวเร่งปฏิกิริยาที่น่าสนใจคือ โซเดียมเมทอกไซด์ โดยในการศึกษาพบว่าการใช้หอกกลั่นแบบมีปฏิกิริยา (Reactive Distillation) เป็นวิธีการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ที่มีประสิทธิภาพสูงเพราะเป็นการรวมการทำงานของเครื่องปฏิกรณ์ (Reactor) และ หอกกลั่น

(Distillation) ทำให้ประหยัดในการใช้พลังงานมากยิ่งขึ้น ซึ่งในกระบวนการผลิตที่มีความซับซ้อนนั้น การจะควบคุมกระบวนการให้อยู่ในสถานะที่เสถียรมีความยาก ในการจะควบคุมกระบวนการที่ซับซ้อนจึงต้องมีการออกแบบ โครงสร้างการควบคุมเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพและสมรรถนะการควบคุมที่ต้องการ ทางผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะออกแบบ โครงสร้างการควบคุมกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ด้วยโปรแกรม Aspen Plus และ โปรแกรม Aspen Dynamic โดยมีการใช้การประเมินประสิทธิภาพการควบคุมเข้ามาพิจารณาผลของการออกแบบ โครงสร้างการควบคุมนี้

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษากระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ ด้วยหอกลับแบบมีปฏิกิริยาในสถานะคงตัวและพลวัต

1.2.2 ออกแบบโครงสร้างการควบคุมของกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ด้วยหอกลับแบบมีปฏิกิริยาในสถานะพลวัต

1.3 สมมติฐานการวิจัย

1.3.1 การออกแบบกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ด้วยหอกลับแบบมีปฏิกิริยาในสถานะคงตัวส่งผลถึงกระบวนการผลิตในสถานะพลวัต

1.3.2 โครงสร้างการควบคุมของกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ด้วยหอกลับแบบมีปฏิกิริยาส่งผลต่อประสิทธิภาพและสมรรถนะการควบคุมของกระบวนการในแบบสถานะพลวัต

1.4 ขอบเขตการวิจัย

1.4.1 ใช้โปรแกรม Aspen Plus จำลองกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ด้วยหอกลับแบบมีปฏิกิริยาในสถานะคงตัว (อ้างอิงจากงานวิจัยคุณศิริภรณ์ เอี่ยมสุขใส)

1.4.2 ปรับปรุงกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ด้วยหอกลับที่มีปฏิกิริยา เพื่อหาสถานะการทำงานที่เหมาะสม

1.4.3 สร้างแบบจำลองใหม่จากการใช้ สมการจลนพลศาสตร์ เนื่องจากการจำลองเดิมสามารถเปลี่ยนเป็นสถานะพลวัตได้

1.4.4 สร้างแบบจำลองกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ในสถานะคงตัวใหม่ ให้มีประสิทธิภาพเทียบเท่าเดิม

1.4.5 ใช้ Aspen Dynamic จำลองกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ด้วยหอกลั่นแบบมีปฏิกิริยาในสถานะพลวัตและออกแบบโครงสร้างการควบคุม

1.4.6 ออกแบบโครงสร้างควบคุมจำนวน 1 โครงสร้าง

1.5 กรอบแนวคิดในการวิจัย

ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดโซเดียมเมทอกไซด์ เกิดจากปฏิกิริยาโซเดียมไฮดรอกไซด์และเมทานอล ซึ่งการผลิตโดยใช้หอกลั่นแบบมีปฏิกิริยา (Reactive Distillation) ทำให้มีคุณภาพที่สูง เพราะหอกลั่นแบบมีปฏิกิริยา คือหอกลั่นที่มีการรวมกันระหว่าง เครื่องปฏิกรณ์ (Reactor) และ หอกลั่น (Distillation) โดยที่ปฏิกิริยาจะเกิดที่ชั้น Reactive section ข้อดีของหอกลั่นแบบมีปฏิกิริยาคือสามารถแยกสารผลิตภัณฑ์ระหว่างเกิดปฏิกิริยาและประหยัดพลังงานมากยิ่งขึ้น โดยในกระบวนการผลิตที่มีความซับซ้อนย่อมมีการควบคุมระบบให้เสถียรนั้นยาก จึงมีการออกแบบโครงสร้างการควบคุมของกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ด้วยหอกลั่นแบบมีปฏิกิริยา โดยการออกแบบโครงสร้างการควบคุมคือ การจับคู่ตัวแปรปรับและตัวแปรควบคุมในกระบวนการเพื่อให้สามารถใช้ชนิดการควบคุมได้ถูกต้อง โดยในงานวิจัยนี้เลือกใช้การควบคุมแบบ PID

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 สามารถจำลองกระบวนการเกิดโซเดียมเมทอกไซด์ด้วยหอกลั่นแบบมีปฏิกิริยาในสถานะคงตัวและสถานะพลวัต

1.6.2 สามารถออกแบบการควบคุมกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ด้วยหอกลั่นแบบมีปฏิกิริยาในสถานะพลวัต

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปัจจุบันตัวเร่งปฏิกิริยามีส่วนสำคัญอย่างมากในงานอุตสาหกรรมเคมีไม่ใช่แค่การผลิตไบโอดีเซล ซึ่งตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีหลากหลายจะทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาที่แตกต่างกัน โดยมีการนำแนวคิดในการผลิตตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีความจำเป็นในงานด้านอุตสาหกรรมมาจำลองกระบวนการผลิตและออกแบบการควบคุมเพื่อศึกษาคุณสมบัติของสารตัวเร่งปฏิกิริยา ในบทนี้จะกล่าวถึงกระบวนการผลิตสารตัวเร่งปฏิกิริยา โซเดียมเมทอกไซด์ด้วยหอกลับแบบมีปฏิกิริยา

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Arick Castillo-Landero , Arturo Jiménez-Gutiérrez และ Rafiqul Gani [1] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับวิธีการปรับปรุงกระบวนการโดยการลดจำนวนอุปกรณ์ของกระบวนการทางเคมีออก วิธีการมีสามขั้นตอนคือ 1.หาทางที่เป็นไปได้ในกระบวนการ 2.ระบุวิธีการทำให้กระบวนการดีขึ้นและ 3. สร้างปรากฏการณ์ทางเคมีที่ใช้ในการพัฒนากระบวนการที่ดีที่สุด วิธีการนี้ใช้สำหรับการเกิดกระบวนการในรูปแบบโมเลกุลสำหรับการสังเคราะห์สารไดออกซิลิน โดยทำปฏิกิริยากับเอทิลีนไกลคอลและ 1,2 บิวทานอลด้วยแอลซีทาดีไฮด์ ในการผลิต 2-เมทิล 1,3 ไดออกโซลิน (2MD) และ 4-เอทิล 2-เมทิล , 1,3-ไดออกโซลิน (4EMD) แสดงให้เห็นถึงแผนงานได้รับการปรับปรุงเป็นกระบวนการที่ใช้หอกลับที่มีปฏิกิริยา

Dandan Shao และ Chengxi Wang [2] ได้ศึกษาเกี่ยวกับแบบจำลองสมดุลของโซเดียมเมทอกไซด์จากโซเดียมไฮดรอกไซด์และเมทานอลในหอกลับแบบมีปฏิกิริยา โดยใช้โปรแกรม Aspen Plus การจำลองสอดคล้องกับข้อมูลของกระบวนการ ผลจากอัตราส่วน ต่างขึ้นบนของหอกลับ ปริมาณน้ำในสายป้อนด้านล่างของหอกลับ และ อัตราส่วนมวลของเมทานอลต่อโซเดียมไฮดรอกไซด์ในสายด้านบนของหอกลับ ผลลัพธ์คือค่าสำหรับอ้างอิงและการเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการอุตสาหกรรม

Devrim B. Kaymak , Hatice Unlu และ Tugcenaz Ofkeli [3] ในการศึกษาเกี่ยวกับการประเมินสมรรถนะการควบคุมของคอลลัมน์ในหอกลิ้นแบบมีปฏิกิริยาที่มีส่วนปฏิกิริยาคู่กัน ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในคอลลัมน์เป็นปฏิกิริยาแบบสองเฟสที่ปฏิกิริยาของของเหลวสามารถย้อนกลับได้ เลือกระบบสมมติฐานเป็นกรณีศึกษาที่เหมาะสมมีการพัฒนาและทดสอบ โครงสร้างการควบคุมที่แตกต่างกัน ในแบบควบคุมอุณหภูมิ และ ควบคุมองค์ประกอบของรูปการควบคุม ผลจากโครงสร้างแบบรูปปิดนั้น แสดงให้เห็นว่า โครงสร้างการควบคุมสามารถทำงานได้ควรมีการควบคุมองค์ประกอบโดยตรง โครงสร้างควบคุมที่มีตัวควบคุมอุณหภูมิ 2 ตัว และตัวควบคุมองค์ประกอบ 2 ตัว ให้การควบคุมที่มีประสิทธิภาพสำหรับคอลลัมน์ในหอกลิ้นที่มีปฏิกิริยาคู่กัน

I. Agirre , V.L. Barrio และคณะ [4] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับ สารอะซิเตทบางตัวที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ และ ดูเป็นตัวเลือกที่ดีสำหรับการใช้งานในสารเติมแต่งของออกซิเจน ดิเซล ในกรณีนี้นำเสนอการผลิต 1,1 ไดทอกซี บิวเทน จาก ไบโอดีทานอลและบิวทานอล โดยบิวทานอลสามารถหาได้จากไบโอบิวทานอล ตามกระบวนการออกซิเดชันบางส่วนหรือกระบวนการดีไฮโดรจีเนชัน ในบทความนี้นำเสนอและกล่าวถึงการพัฒนากระบวนการเกี่ยวกับการสังเคราะห์อะซิเตท รวมถึงการทดลองกับหอกลิ้นแบบมีปฏิกิริยาด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา

José F. O. Grango และ Nuno M. Oliveira [5] ได้ศึกษาเกี่ยวกับ การประเมินการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ที่เจือจางในเมทานอล โดยการออกแบบจะใช้โปรแกรม Aspen Plus และใช้ตัวชี้วัดทางเศรษฐศาสตร์ในการวิเคราะห์ความสามารถเชิงเปรียบเทียบซึ่งรวมถึงการประเมินความเสี่ยงด้วยการจำลองแบบ Monte Carlo ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าวิธีการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์จากโซเดียมเมทิล และ โซเดียมไฮดรอกไซด์ เป็นทางเลือกที่นิยมกันมากที่สุด โดยกระบวนการผลิตจากโซเดียมไฮดรอกไซด์สามารถทำกำไรได้ดีกว่ากระบวนการผลิตจากโซเดียมเมทิล ซึ่งอาจเป็นผลมาจากค่าวัตถุดิบที่สูงขึ้น ค่าสาธารณูปโภค และ ค่าต้นทุนในการผลิต

Natja-nan Boonauwat , Worapon Kiatkittipong และ คณะ [6] ได้ศึกษาการออกแบบกระบวนการผลิตไบโอดีเซลแบบต่อเนื่องด้วยหอกลิ้นแบบมีปฏิกิริยา โดยเปรียบเทียบตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธ์ และ ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธ์ ได้แสดงให้เห็นว่า ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธ์ คือ แมกนีเซียมเมทอกไซด์และตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธ์คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ สามารถสรุปได้ว่ากระบวนการหอกลิ้นแบบมีปฏิกิริยาที่ใช้ตัวเร่งแบบวิวิธพันธ์ได้ให้กระบวนการที่ดีกว่า เพราะว่ามันสามารถจัดสิ่งที่ต้องการได้หลังกระบวนการแยกและการทำให้บริสุทธิ์ตามเงื่อนไขของกระบวนการ

Siriporn Aeamsuksai , Thirawat Muenasichai , Weerinda Appamana และ คณะ [7] ได้ทำการศึกษาโซเดียมเมทอกไซด์ที่ใช้กันในหลายลักษณะ เช่น การผลิตไบโอดีเซล , อาหาร , ยา และกระบวนการปิโตรเคมี สำหรับการผลิตไบโอดีเซลมันมีความสำคัญในฐานะของตัวเร่งปฏิกิริยาของปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันของไตรกลีเซอไรด์และเมทานอลเพื่อผลิตไบโอดีเซล โดยปกติการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์จะใช้เมทานอลและโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นสารตั้งต้น และสารละลายที่ได้จะมีความบริสุทธิ์ทั้ง 2 หกชั้น เป็นโซเดียมเมทอกไซด์ โดยกระบวนการที่เกิดขึ้นจะต้องใช้พลังงานสูงในการศึกษานี้พิจารณาที่การผลิตและการประยุกต์ปฏิกิริยาภายในหอกถัน โดยจำลองกระบวนการด้วยโปรแกรม Aspen Plus องค์ประกอบของคอลัมน์และค่าพารามิเตอร์จะมีการตรวจสอบเกี่ยวกับผลที่ได้จากการออกแบบเพื่อผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ นอกจากนี้ระบบที่ใช้สามารถเปรียบเทียบกับกระบวนการปกติ ผลจะแสดงปฏิกิริยาของหอกถันที่ใช้พลังงานน้อยกว่า

Takami Kai , Goon Lum mak และ คณะ [8] ศึกษาเกี่ยวกับวิธีผลิตไบโอดีเซลภายใต้เงื่อนไขการพบอนุภาคของโซเดียมเมทอกไซด์ในไดเมทิลคาร์บอเนตตามแผนที่วางไว้ ไบโอดีเซลคือผลิตภัณฑ์โดยทั่วไปที่ได้จากน้ำมันพืชโดยการทรานเอสเทอร์ฟิเคชันของไตรกลีเซอไรด์กับเมทานอล อย่างไรก็ตามปฏิกิริยาการผลิตกลีเซอรอลเป็นผลพลอยได้และวัตถุดิบไม่ได้ใช้อย่างมีประสิทธิภาพ ทรานเอสเทอร์ฟิเคชันกับ DMC มีการศึกษามากเพราะว่ากลีเซอรอลไม่ได้เป็นรูปร่างในกระบวนการ ถึงแม้ว่าโซเดียมเมทอกไซด์ในรายงานว่าจะไม่ใช้ในปฏิกิริยานี้ แต่ในการเร่งปฏิกิริยาได้เพิ่มขึ้นจากการเตรียมผงตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยการตกผลึก การทรานเอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันคาโนล่ากับ DMC เป็นการศึกษาการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมใช้สำหรับไบโอดีเซล

Wenyng Shi , Jianxin Li และ คณะ [9] กระบวนการรวมของcatalyst composite membranes (CCMS) และโซเดียมเมทอกไซด์ ถูกพัฒนาการผลิตไบโอดีเซลจากของเสียจากไขมันไก่ กรดไขมันอิสระในน้ำมันไก่เปลี่ยนเมทิลเอสเทอร์โดยการเอสเทอร์ฟิเคชันกับเมทานอล โดยใช้ sulfonated polyethersulfone (SPES/PES) NWF (non-woven fiber) น้ำมันได้รับหลังจากเอสเทอร์ฟิเคชันนำออกมาโดยการทรานเอสเทอร์ฟิเคชันของโซเดียมเมทอกไซด์

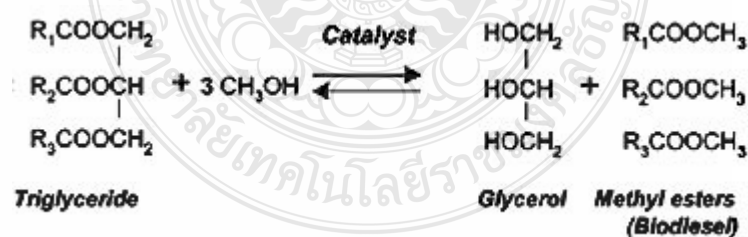
Yuan-Chung Lin , Kuo-Hsiang Hsu และ Jia-Fang Lin [10] ได้ทำการศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากต้นปาล์มด้วยระบบไมโครเวฟและโซเดียมเมทอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ด้วยระบบทำความร้อนแบบไมโครเวฟถูกนำมาใช้ร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมเมทอกไซด์เพื่อเพิ่มผลผลิตเมทิลเอสเทอร์ของต้นปาล์ม ลดการใช้พลังงานและเวลาในการทำปฏิกิริยา ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า

ผลผลิตเมทิลเอสเทอร์ของต้นปาล์มเพิ่มขึ้นตาม ปริมาณสารตัวเร่งปฏิกิริยา , เวลาในการทำปฏิกิริยา , อัตราส่วนเมทานอลต่อน้ำมัน และ ลดลงเมื่อพารามิเตอร์เหล่านี้เพิ่มขึ้นเหนือระดับที่กำหนด

รุ่งทิพย์ ชัยเดช [11] ได้ศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันทอดที่ใช้แล้วโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมเมทอกไซด์ ซึ่งในงานวิจัยทำการทดลองในกระบวนการเอสเทอริฟิเคชันด้วยเครื่องปฏิกรณ์ ที่สภาวะต่างๆ คือความเข้มข้นของปฏิกิริยาโซเดียมเมทอกไซด์ เวลาในการทำปฏิกิริยา อัตราส่วน โมลของเมทานอลต่อน้ำมัน ปริมาณกรดไขมันอิสระ อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา และ ความเร็วรอบในการกวน โดยจะมีการศึกษาและวิเคราะห์ผลได้ของไบโอดีเซลและร้อยละความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซล จากการศึกษาพบว่าค่าที่มีผลต่อไบโอดีเซลมากที่สุดคือ ปริมาณกรดไขมันอิสระ และความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา รองมาคืออัตราส่วน โมลเมทานอลต่อน้ำมัน เวลาในการทำปฏิกิริยาและอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา ตามลำดับ

2.2 ทรานเอสเทอริฟิเคชัน (Tranesterification)

ทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน หรือแอลกอฮอล์ไลซิส (alcoholysis) [12] เป็นปฏิกิริยาเปลี่ยน โมเลกุล ไตรกลีเซอไรด์ ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์เป็นเอสเทอร์ตัวใหม่ หรือ โมโนแอลคิลเอสเทอร์ (mono-alkyl ester) และกลีเซอรอล โดยทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์โมเลกุลขนาดเล็ก ดังสมการ



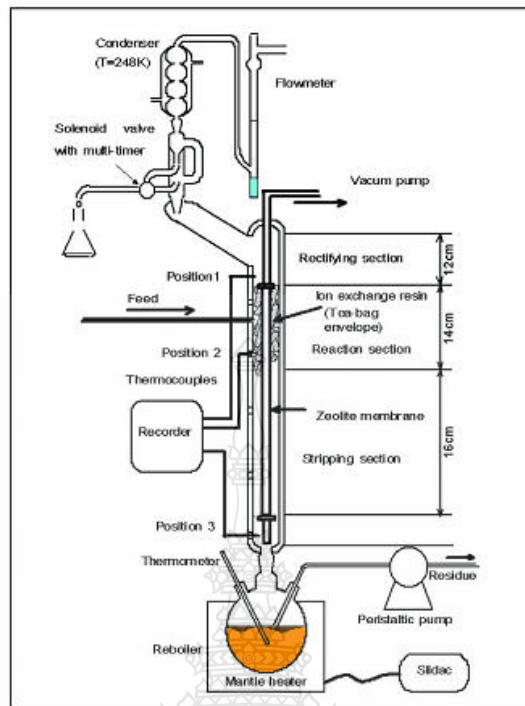
รูปที่ 2.1 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์กับเมทานอล

ในภาวะที่มีตัวเร่งปฏิกิริยา ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันสามารถเกิดได้ที่ความดันบรรยากาศ ตั้งแต่อุณหภูมิห้องถึงจุดเดือดของแอลกอฮอล์ (ประมาณ 65 องศาเซลเซียส) ตัวเร่ง

ปฏิกิริยาที่ใช้โดยทั่วไปเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเอกพันธ์ (homogeneous catalyst) ซึ่งแบ่งออกเป็นสองชนิด คือ กรดและเบส โรงงานผลิตไบโอดีเซลเชิงพาณิชย์เกือบทั้งหมดในปัจจุบันใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส เบสจะเร่งปฏิกิริยาได้เร็วกว่า ใช้ปริมาณเมทานอลน้อยกว่า และใช้ระยะเวลาสั้นกว่า ประมาณ 5 นาทีจนถึงประมาณ 1 ชั่วโมง ขึ้นกับอุณหภูมิ ความเข้มข้น การกวนผสม และอัตราส่วนระหว่างแอลกอฮอล์และน้ำมัน โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบสที่นิยมมากกว่า โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ เนื่องจากมีราคาถูกกว่า และของผสมกลีเซอรอลที่ได้จากกระบวนการที่ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ เป็นที่ต้องการของโรงกลั่นกลีเซอรอลมากกว่าด้วย โซเดียมเมทอกไซด์ (sodium methoxide) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบสอีกชนิดหนึ่งที่ใช้กัน มีความว่องไวมากกว่าโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ละลายในเมทานอล ส่วนหนึ่งเนื่องจากการทำปฏิกิริยาของโซเดียมไฮดรอกไซด์กับเมทานอล ทำให้มีน้ำเกิดขึ้น ($\text{CH}_3\text{OH} + \text{NaOH} \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{O}^-\text{Na}^+ + \text{H}_2\text{O}$) ซึ่งจะปลดความว่องไวของเมทอกไซด์ไอออน (CH_3O^-) ในการเข้าทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

2.3 หอกลั่นแบบมีปฏิกิริยา

หอกลั่นแบบมีปฏิกิริยา (Reactive distillation) [13] เป็นการรวมหอกลั่นและเครื่องปฏิกรณ์เข้าเป็นหน่วยเดียวกัน ซึ่งให้ข้อดีต่างๆ เช่น การแยกผลิตภัณฑ์ออกขณะเกิดปฏิกิริยาทำให้เกิดปฏิกิริยาได้สมบูรณ์ พลังงานความร้อนจากปฏิกิริยาคายความร้อนสามารถใช้เป็นแหล่งพลังงานในการกลั่น แยกสารเป็นการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน หรือลดปัญหาการเกิดอะซีโอโทรป (azeotropes) ซึ่งต้องใช้เทคนิคที่ยุ้งยากและสิ้นเปลืองในการแยก เป็นต้น หอกลั่นแบบมีปฏิกิริยาจัดเป็นเครื่องปฏิกรณ์แบบหลายหน้าที่ที่มีการพัฒนาไปมากจนมีการใช้งานจริงในระดับอุตสาหกรรมแล้ว เช่น ในกระบวนการผลิตเมทิลอะซิเตต พบว่าค่าใช้จ่ายในการลงทุนและค่าใช้จ่ายในการดำเนินการลดลงเหลือเพียง 1 ใน 5 ของกระบวนการดั้งเดิม ในกระบวนการผลิตสารออกซิเจนต์ซึ่งเป็นสารเพิ่มค่าออกเทนที่ใช้ผสมในน้ำมันเชื้อเพลิง (เช่น MTBE และ ETBE) หอกลั่นแบบมีปฏิกิริยาสามารถแก้ปัญหา อะซีโอโทรปและลดการเกิดผลิตภัณฑ์ข้างเคียง เป็นต้น ปัจจุบัน ได้มีงานวิจัยที่ประยุกต์ใช้หอกลั่นแบบมีปฏิกิริยาสำหรับปฏิกิริยาอื่นๆ เช่น การผลิตไบโอดีเซล การใช้กลีเซอรอลเพื่อผลิตเป็นสารออกซิเจนต์ เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยในส่วนของกรรมน้ำที่อื่นๆ เพิ่มเติมกับหอกลั่นแบบมีปฏิกิริยา เช่น การรวมเมมเบรนเพื่อใช้ในการแยกสาร เป็นต้น



รูปที่ 2.2 หอกลิ้นแบบมีปฏิกิริยา (Reactive distillation)

2.4 การจำลองกระบวนการ

การจำลองกระบวนการ [14] ประกอบด้วย ขั้นตอนการออกแบบจำลอง (Model) ของระบบงานจริง (Real System) การดำเนินการทดลองใช้แบบจำลองนั้นเพื่อการเรียนรู้พฤติกรรมของระบบงาน หรือเพื่อประเมินผลการใช้กลยุทธ์ (Strategies) ต่างๆ ในการดำเนินงานภายใต้ข้อกำหนดที่วางไว้ หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือ การจำลองแบบปัญหาซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองส่วนหนึ่ง และขั้นตอนการนำแบบจำลองนั้น ไปใช้งานเชิงวิเคราะห์อีกขั้นหนึ่ง ส่วนการจำลองกระบวนการมีหลักสำคัญคือ ต้องสามารถอธิบายพฤติกรรมที่เกิดขึ้นในระบบงานจริงเพื่อนำผลไปปรับปรุงการดำเนินงานของระบบได้อย่างเหมาะสม

การจำลองกระบวนการได้ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางในขั้นตอนการออกแบบ และการดำเนินงานโดยขั้นตอนการออกแบบมุ่งความสนใจไปที่ การทำคุณวมลและพลังงาน ต้นทุน อุปกรณ์ ซึ่งมักจะเกี่ยวข้องกับเศรษฐศาสตร์ ส่วนขั้นตอนการดำเนินงานจะมุ่งความสนใจไปที่การกำหนดปริมาณและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ การแก้ปัญหาเฉพาะหน้า (Troubleshooting) ของโรงงาน

ความสามารถในการควบคุม (Controllability) ความปลอดภัยในการดำเนินงานและการบำรุงรักษา เพื่อลดต้นทุนศักยภาพการผลิตและเพิ่มความสามารถในการแข่งขันทางการค้า

การจำลองกระบวนการส่วนให้อาศัยซอฟต์แวร์ หรือแพคเกจการจำลองสถานการณ์ (Simulation Packages) เป็นเครื่องมือในการจำลองและให้วิศวกรเรียนรู้ ประกอบกับความก้าวหน้าทางคอมพิวเตอร์ ทำให้การจำลองกระบวนการด้วยคอมพิวเตอร์เป็นที่นิยมมากที่สุด อีกทั้งโปรแกรมที่ใช้ในการจำลองสถานการณ์ถูกพัฒนาโดยนักพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ซึ่งมีให้เลือกใช้อย่างมาก ดังนั้นการจำลองสถานการณ์กระบวนการในปัจจุบันสามารถใช้การจำลองแบบย่อส่วน (Pilot scale) ได้เป็นอย่างดี

เหตุผลที่ต้องสร้างแบบจำลองกระบวนการแทนการทดลองกับกระบวนการจริงมีดังนี้

1. เพราะการทดลองกับกระบวนการจริง อาจก่อให้เกิดความขัดข้องในการดำเนินงานตามปกติ

2. เพราะในการทดลองกับกระบวนการจริงนั้นเป็นการยากที่จะควบคุมเงื่อนไขต่างๆในการทดลองให้คงที่ ทำให้ผลการทดลองที่ได้ในแต่ละครั้งอาจไม่ใช่ผลการทดลองภายใต้เงื่อนไขอันเดียวกัน

3. เพราะการทดลองกับกระบวนการจริงอาจต้องใช้เวลา และค่าใช้จ่ายจำนวนมากจึงจะได้ข้อมูลเพียงพอสำหรับการวิเคราะห์

4. เพราะว่าการทดลองกับกระบวนการจริง อาจเป็นไปได้ที่จะทดลองกับเงื่อนไขทุกรูปแบบที่ผู้วิเคราะห์ต้องการ

อย่างไรก็ตามการจำลองกระบวนการโดยใช้ซอฟต์แวร์ ทางคอมพิวเตอร์นั้น ผู้ใช้จะต้องเข้าใจเกี่ยวกับปัญหาดีพอ และสามารถเขียนสมการทางคณิตศาสตร์ของปัญหานั้นๆ ได้ รู้ถึงฟังก์ชันจุดประสงค์ว่ากระบวนการต้องการอะไร อาทิ เช่น ค่าไรสูงสุด หรือต้นทุนวัตถุดิบและพลังงานที่ใช้ต่ำสุด นอกจากนี้ผู้จำลองกระบวนการต้องมีประสบการณ์หรือความสามารถในการตีค่าตอบที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อแยกแยะและตัดสินใจในผลที่คำนวณได้ไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

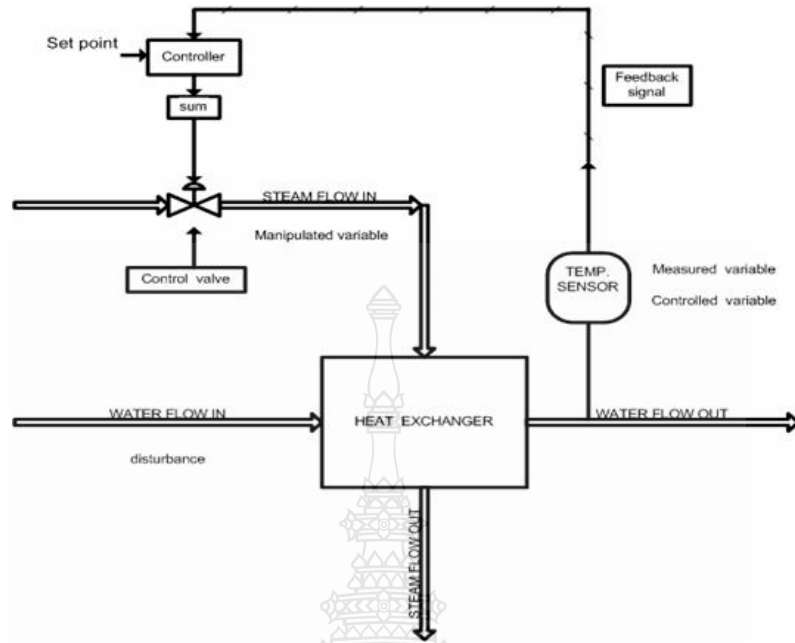
2.5 ระบบควบคุมแบบป้อนกลับ (Feedback)

ระบบควบคุมแบบป้อนกลับ (Feedback Control System) [15] หมายถึง ระบบควบคุมที่ต้องการควบคุมให้สัญญาณด้านออกหรือผลตอบสนองของระบบมีค่าตามที่ต้องการ โดยการนำเอาสัญญาณด้านออกป้อนกลับมาเปรียบเทียบกับสัญญาณด้านเข้า ซึ่งการป้อนกลับนี้จะต้องเป็นการป้อนกลับแบบลบ (Negative Feedback) จากนั้นนำค่าความแตกต่างระหว่างด้านเข้ากับด้านออก ส่งต่อไปยังส่วนสร้างสัญญาณของตัวควบคุม เพื่อสร้างสัญญาณควบคุมที่เหมาะสมที่จะทำให้สัญญาณด้านออกของระบบที่ถูกควบคุมมีค่าตามต้องการ ระบบควบคุมแบบป้อนกลับนี้อาจเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ระบบควบคุมแบบลูปปิด หรือระบบควบคุมอัตโนมัติก็ได้

2.6 บทลึกลับไอะแกรมของการควบคุม

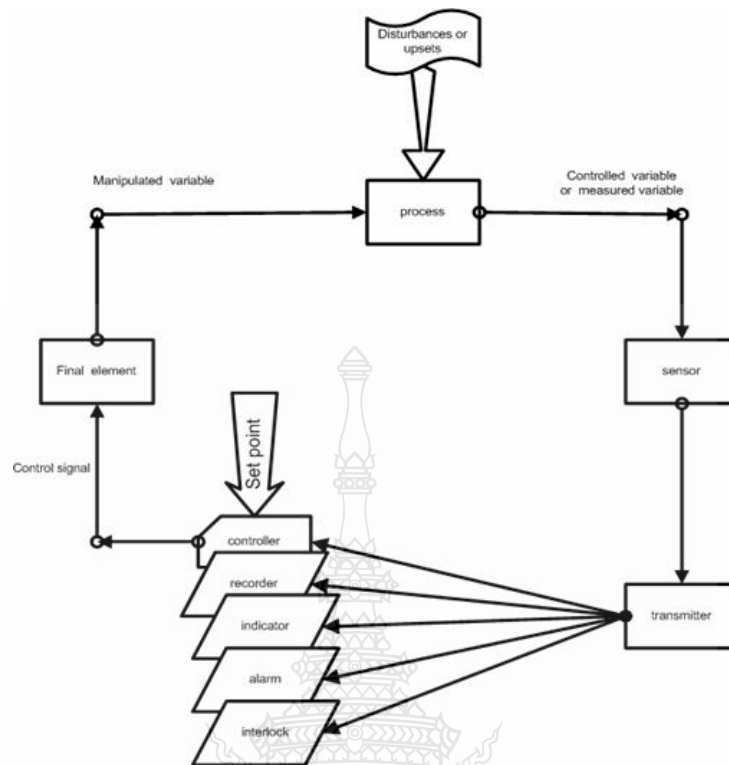
ระบบควบคุมส่วนใหญ่จะอาศัยหลักการของ feedback control loop [16] ในการควบคุมแบบนี้เราจะใช้ sensor เป็นตัววัดค่า controlled variable และส่งข้อมูลให้กับ controller โดยมี comparator ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งใน controller จะทำการเปรียบเทียบสัญญาณ controlled variable นี้กับ Set point ความแตกต่างที่ได้จากค่าทั้งสองจะเรียกว่า error หรือ deviation จากนั้น controller จะนำค่า error signal ไปเป็นตัวกำหนดขนาด และทิศทางของการเปลี่ยนแปลงของ final control element เช่น control valve, damper เป็นต้นเพื่อทำการเปลี่ยนค่า manipulated variable

ค่า controlled variable หรือ measured variable (water temperature :out) จะถูกวัดโดย Sensor แล้วส่งค่ากลับมาที่ controller จากนั้น controller จะส่งสัญญาณที่ผ่านการประมวลผลแล้ว ตาม control mode เพื่อทำการปรับแต่ง manipulated variable(steam flow : in) เพื่อรักษา ค่า controlled variable ให้ได้ค่าตามที่ต้องการ (Set point) อยู่ตลอดเวลา จากการทำงานลักษณะนี้ เราจึงเรียกระบบนี้ว่า feedback control loop หรือ closed loop control ตามรูป



รูปที่ 2.3 Feedback control loop

จากรูป เป็นตัวอย่างของ feedback control loop ถ้าอุณหภูมิของน้ำร้อนที่วัดมาสูงกว่าค่า set point , controller จะส่งสัญญาณไปที่ control valve ลด steam flow rate ทำให้อุณหภูมิของน้ำร้อนลดลง กลับเข้าหา set point ในทางกลับกัน ถ้าอุณหภูมิของน้ำร้อนที่วัดมาได้ต่ำกว่าค่า set point controller ก็จะส่งสัญญาณไปเปิดวาล์วเพิ่มขึ้น เพื่อเพิ่มปริมาณไอน้ำ ทำให้อุณหภูมิของน้ำร้อนเพิ่มขึ้น เป็นเช่นนี้สลับไปมา



รูปที่ 2.4 basic control loop

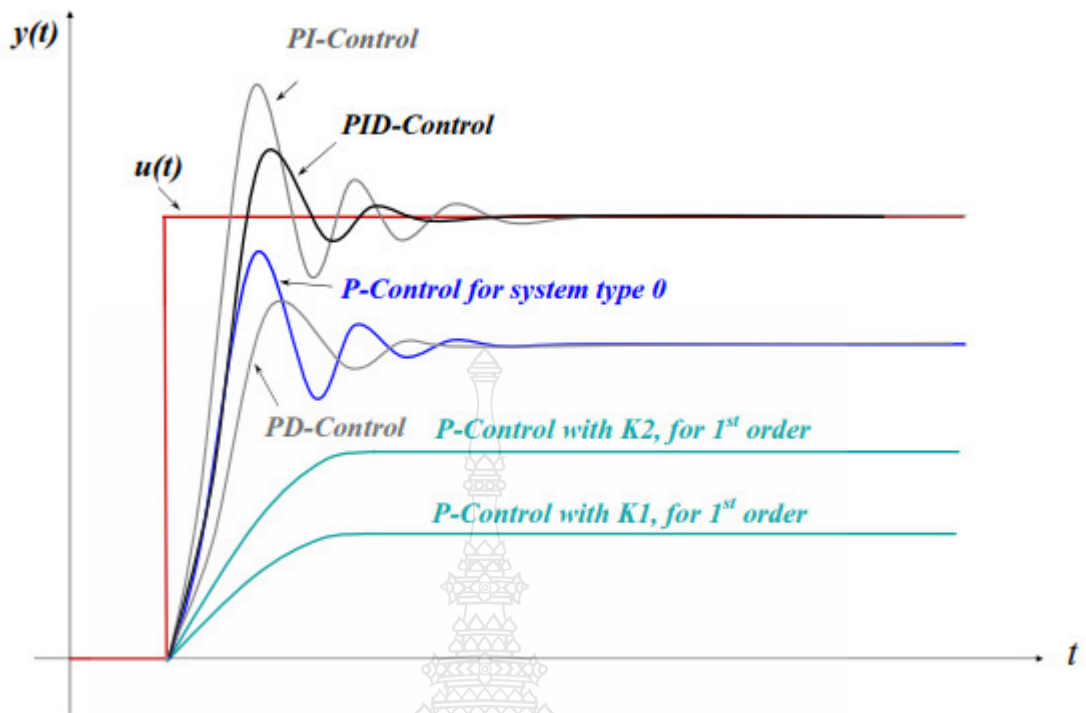
2.7 ตัวควบคุมแบบพีไอดี

ตัวควบคุมแบบพีไอดี [17] เป็นตัวควบคุมแบบพื้นฐานที่ใช้ทั่วไปในการควบคุมกระบวนการ มี mode การควบคุมหลากหลายเช่น P, PI หรือ PID เป็นต้น

1) P-Control จะมีผลของการควบคุมทำให้ค่าตัวแปรควบคุมเข้าใกล้ค่าเป้าหมายมากขึ้นแต่ยังมีความแตกต่างองค่าที่สภาวะคงตัวใหม่กับค่าเป้าหมายอยู่ โดยค่าความแตกต่างนี้เรียกว่าค่า offset

2) PI Control พบว่าผลการควบคุมทำให้ค่าตัวแปรควบคุมเข้าสู่ค่าเป้าหมายได้ ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าการควบคุมแบบ PI ช่วยกำจัดค่า offset ได้ แสดงว่าเข้าสู่ค่าเป้าหมายได้ 100%

3) PID Control จะเห็นได้ว่าการควบคุมแบบ PID ทำให้การแกว่งของการตอบสนองของระบบลดลงทั้งยังราบเรียบขึ้นและเข้าสู่ค่าเป้าหมายที่ต้องการเร็วขึ้น



รูปที่ 2.5 เปรียบเทียบการตอบสนองของโหมดการควบคุมต่างๆ

วิธีการออกแบบตัวควบคุมแบบพีไอดีของซีเลอร์-นิโคลด์ (Ziegler-Nickold) Compensation [18] เริ่มด้วยการเซตค่า K_p และ K_D เป็นศูนย์ จากนั้นจะเพิ่มค่า K_p ไปจนถึงค่า K_{p_c} (Critical Gain) ระบบจะเริ่มแกว่งให้วัดคาบของการแกว่ง P_u และให้ใช้ตารางด้านล่างเพื่อหาค่า (Gain) อื่นๆ

ตารางที่ 2.1 การคำนวณพารามิเตอร์ปรับจูนแบบซีเลอร์-นิโคลด์

	K_C	τ_I	τ_D
P control	$K_U/2.0$	-	-
PI control	$K_U/2.2$	$P_U/1.2$	-
PID control	$K_U/1.7$	$P_U/2.0$	$P_U/8$

2.5.1 แนวทางในการเลือกใช้ตัวควบคุมสำหรับกระบวนการต่างๆ

ออกแบบตัวควบคุมขั้นสูงสำหรับวงควบคุมที่สำคัญ เช่น อุณหภูมิและองค์ประกอบของสาร [19]

1) การควบคุมอัตราการไหลสำหรับวงควบคุมโดยทั่วไปใช้โหมดพีไอ ในการควบคุมในปี (1994) Frue hauf ได้นำเสนอการปรับค่าพารามิเตอร์การควบคุม โดยให้ K_c อยู่ในช่วง (0.5-0.7) และ τ_i อยู่ในช่วง (0.2-0.3) นาที

2) ระดับของเหลว สำหรับวงควบคุมระดับของเหลวโดยทั่วไปใช้โหมดพี หรือ พีไอ ในการควบคุม

3) ความดัน สำหรับวงควบคุมความดันโดยทั่วไปจะใช้โหมดพีไอในการควบคุม

4) อุณหภูมิ สำหรับรูปการควบคุมอุณหภูมิเป็นการยากที่จะกำหนด เนื่องจากความหลากหลายของกระบวนการและความหลากหลายของอุปกรณ์การถ่ายเทความร้อน โดยทั่วไปจะใช้โหมดพีไอดีในการควบคุมเพื่อให้ได้ผลการตอบสนองที่เร็วกว่าโหมดพีไอ

5) สารองค์ประกอบ วงควบคุมสารองค์ประกอบโดยทั่วไปจะใช้ในการควบคุมเช่นเดียวกับวงอุณหภูมิแต่จะมีข้อที่แตกต่างกันคือ

ก) noise ของเครื่องมือส่งผลกับอุปกรณ์

ข) Time delay ที่เกี่ยวข้องกับเครื่องมือวิเคราะห์และตัวอย่างอาจจะเป็นปัจจัยสำคัญในการควบคุมทั้ง 2 ข้อนี้สามารถมีประสบการณ์มาแล้วถึงจะทำได้ดี

2.8 การประเมินประสิทธิภาพการควบคุม

1. ผลรวมค่าสัมบูรณ์ของค่าความคลาดเคลื่อน (Integral of Absolute value of Error , IAE)

$$IAE = \int_0^{\infty} |e(t)| dt$$

เกณฑ์ในการพิจารณาค่า IAE เป็นการประเมินประสิทธิภาพการควบคุมโดยมองภาพรวมองความผิดพลาดทั้งหมดในกระบวนการ

2. ผลรวมค่ากำลังสองของค่าความคลาดเคลื่อน (Integral of Square of Error , ISE)

$$ISE = \int_0^{\infty} e^2(t)dt$$

เกณฑ์ในการพิจารณาค่า ISE เป็นการประเมินประสิทธิภาพการควบคุมในหน่วยการควบคุมที่มีค่า Overshoot สูงๆ เช่น การควบคุมในหน่วยของอุณหภูมิ เพราะจะเห็นค่าความผิดพลาดได้ชัดเจน

3. ผลรวมค่าสัมบูรณ์ของค่าความคลาดเคลื่อนที่คิดน้ำหนักตามเวลาที่ผ่านไป (Integral of Time weighted Absolute value of Error , ITAE) [20]

$$ITAE = \int_0^{\infty} t|e(t)|dt$$

เกณฑ์ในการพิจารณาค่า ITAE เป็นการประเมินประสิทธิภาพการควบคุมที่มีเวลามาเกี่ยวข้องด้วย โดยเมื่อเวลาผ่านไปค่าความผิดพลาดก็ยิ่งสูงขึ้นด้วย เหมาะสำหรับกระบวนการที่มีการเข้าสู่ค่าเป้าหมายช้าๆ

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

การผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ด้วยหอกลั่นแบบมีปฏิกิริยา เพื่อศึกษากระบวนการผลิตในสถานะคงที่และออกแบบโครงสร้างการควบคุมในสถานะจลนพลศาสตร์ด้วยโปรแกรม Aspen Plus และ โปรแกรม Aspen Dynamic ในขั้นตอนการดำเนินการวิจัย จะกล่าวถึงรายละเอียดขั้นตอนการดำเนินงาน แผนการดำเนินงาน ระยะเวลาที่ใช้ในการศึกษาและจำลองกระบวนการ ศึกษาคุณภาพของโซเดียมเมทอกไซด์ที่ผลิตจากการจำลองกระบวนการ วิธีการดำเนินงานมีขั้นตอนดังนี้

3.1 แผนการดำเนินงาน

- 3.1.1 ศึกษาค้นคว้าข้อมูลและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- 3.1.2 รวบรวมข้อมูลและวางแผนการดำเนินงาน
- 3.1.3 จำลองกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ด้วยหอกลั่น แบบมีปฏิกิริยาในสถานะคงตัว ด้วยโปรแกรม Aspen Plus
- 3.1.4 ปรับปรุงกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ด้วยหอกลั่นที่มีปฏิกิริยา เพื่อหาสถานะการทำงานที่เหมาะสม
- 3.1.5 สร้างแบบจำลองกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ในสถานะคงตัว จากสมการจลนพลศาสตร์ใหม่
- 3.1.6 ออกแบบ โครงสร้างการควบคุมกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ด้วยหอกลั่นที่มีปฏิกิริยา
- 3.1.7 สรุปผลและทำรูปเล่มรายงาน

ตารางที่ 3.1 แผนการดำเนินงานของการทำวิทยานิพนธ์

ขั้นตอนการดำเนินการ	2560			2561		
	มิ.ย.- ก.ค.	ส.ค.-ก.ย.	ต.ค.-พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.-มี.ค.	
1. ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ด้วยหอกลับแบบมีปฏิกิริยา	←-----→ ←-----→					
2. หางานวิจัยและบทความที่สอดคล้อง	←-----→ ←-----→					
3. ศึกษาและฝึกทักษะการใช้โปรแกรม Aspen Plus และ Aspen Dynamic			←-----→ ←-----→			
4. จำลองกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ด้วยหอกลับแบบมีปฏิกิริยาในสถานะคงตัวด้วยโปรแกรม Aspen Plus				←-----→ ←-----→		
5. ปรับปรุงกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ด้วยหอกลับที่มีปฏิกิริยาเพื่อหาสภาวะการทำงานที่เหมาะสม					←-----→ ←-----→	

ตารางที่ 3.1 แผนการดำเนินงานของการทำวิทยานิพนธ์ (ต่อ)

ขั้นตอนการดำเนินการ	2561			
	เม.ย. - พ.ค.	มิ.ย. - ก.ค.	ส.ค. - ก.ย.	ต.ค. - พ.ย.
6. สร้างแบบจำลองกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ในสถานะคงตัวจากสมการจลนพลศาสตร์ใหม่	←-----→ ←-----→			
7. ทดสอบกระบวนการในสถานะพลวัต		←-----→ ←-----→		

ตารางที่ 3.1 แผนการดำเนินงานของการทำวิทยานิพนธ์ (ต่อ)

ขั้นตอนการดำเนินการ	2561			
	เม.ย. - พ.ค.	มิ.ย. - ก.ค.	ส.ค. - ก.ย.	ต.ค. - พ.ย.
8. ออกแบบโครงสร้างการควบคุม กระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ ด้วยหอกลั่นที่มีปฏิกิริยา		←---→ ←====→		←---→ ←====→
9. สรุปผลและทำรูปเล่มรายงาน				←---→ ←====→
-----		-----		
แสดงแผนการดำเนินงาน				แสดงการดำเนินงานจริง

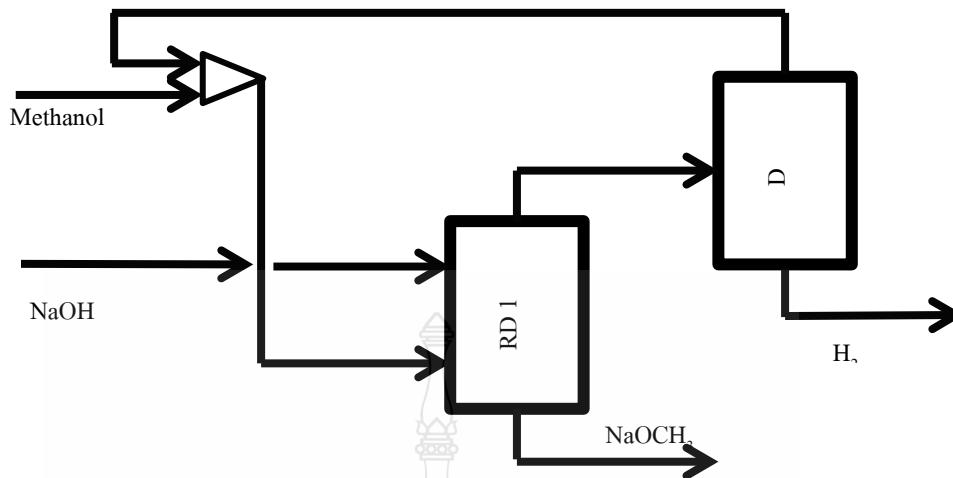
3.2 กระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์

กระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ด้วยหอกลั่นที่มีปฏิกิริยาเป็นกระบวนการหนึ่งที่สำคัญในการผลิตตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีประสิทธิภาพ ซึ่งกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์มีปฏิกิริยา ดังนี้



รูปที่ 3.1 ปฏิกิริยาโซเดียมเมทอกไซด์

จากสมการปฏิกิริยาของโซเดียมเมทอกไซด์คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ทำปฏิกิริยากับเมทานอลผ่านหอกลั่นที่มีปฏิกิริยา จะได้ผลิตภัณฑ์เป็นโซเดียมเมทอกไซด์และสารที่เป็นไอผสมก่อนนำเข้าหอกลั่นแบบทั่วไป ในการแยกเมทานอลเพื่อนำกลับมาใช้เป็นสารตั้งต้นและของเสียออกจากกัน



รูปที่ 3.2 แผนโครงสร้างกระบวนการผลิตโซเดียมเมทาคริเลต

ใช้โปรแกรม Aspen Plus ในการจำลองกระบวนการที่สภาวะคงตัวซึ่งในกระบวนการมีเครื่องให้ความร้อน 1 เครื่อง หอกั่นที่มีปฏิกิริยา 1 เครื่อง และ หอกั่นทั่วไป 1 เครื่อง ซึ่งในโปรแกรมการสร้างแบบจำลองต้องใช้ข้อมูลพื้นฐานที่เหมาะสมในการจำลองกระบวนการ เช่น อุณหภูมิ ความดัน อัตราไหลของสารที่ป้อนเข้า ปฏิกิริยาที่ใช้ในกระบวนการ ดังตารางที่ 1 โดยใช้ข้อมูลอ้างอิงของคุณศิริภรณ์และคณะ

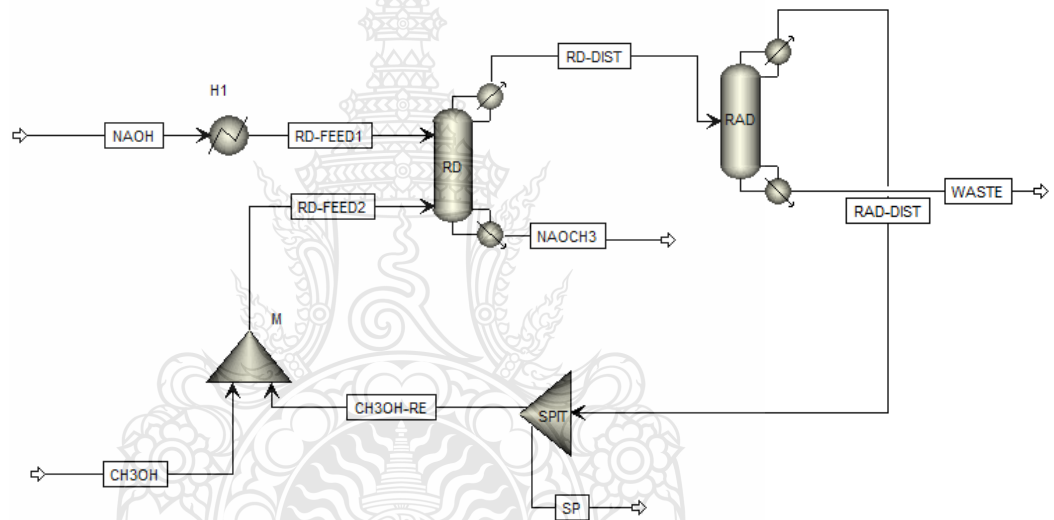
ตารางที่ 3.2 สภาวะการทำงานการผลิตโซเดียมเมทาคริเลต

Line	Condition		
	Flow rate (kg/hr)	Temperature (°C)	Pressure (atm)
NaOH	999.5	30	1
RD-FEED 1	999.5	75	1
CH ₃ OH	1400	30	1
RD-FEED 2	5870.61	64.65	1
RD-Dist	5320.11	74.65	1
NaOCH ₃	1550	86.13	1
RAD-Dist	4506.67	64.65	1

ตารางที่ 3.2 สภาวะการทำงานการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (ต่อ)

Line	Condition		
	Flow rate (kg/hr)	Temperature (°C)	Pressure (atm)
Waste	813.45	81.64	1
CH3OH-RE	4470.61	64.65	1

จำลองกระบวนการโดยใช้โปรแกรม Aspen Plus โดยใช้ข้อมูลตารางที่ 1 จะได้กระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ ตามรูปที่ 3.3



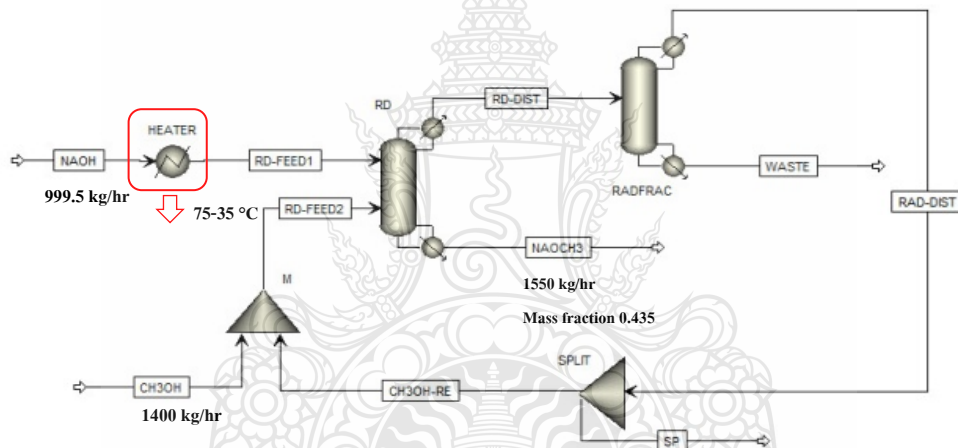
รูปที่ 3.3 โครงสร้างกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ด้วยหอกลั่นที่มีปฏิริยาโดยใช้โปรแกรม Aspen Plus

3.3 การปรับปรุงกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์

ในกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ด้วยหอกลั่นที่มีปฏิริยาประกอบไปด้วยเครื่องให้ความร้อน หอกลั่นที่มีปฏิริยาและหอกลั่นแบบทั่วไป โดยกำหนดอัตราการไหล อุณหภูมิ และความดันในการป้อนสารโซเดียมไฮดรอกไซด์และเมทานอล

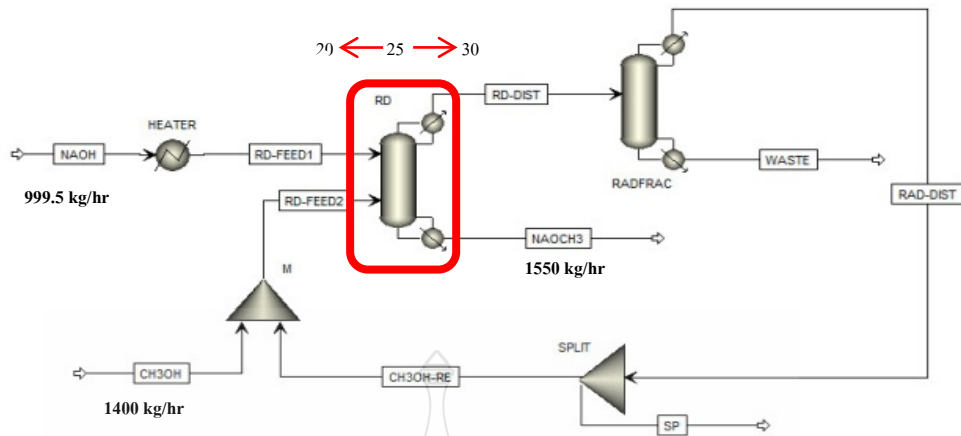
การปรับปรุงกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ด้วยหอกลั่นที่มีปฏิกิริยาทำเพื่อลดค่าใช้จ่ายที่มีในกระบวนการให้ลดลงจากเดิม โดยที่การเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขบางส่วนนั้นไม่กระทบต่อกระบวนการผลิตทั้งหมด ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ การออกแบบสภาวะการทำงานใหม่, การออกแบบการทำงานภายใต้ข้อกำหนดใหม่ และ การออกแบบสภาวะการทำงานใหม่ของหอกลั่นแบบทั่วไป

3.3.1 การออกแบบสภาวะการทำงานใหม่ คือ การเปลี่ยนอุณหภูมิการทำงานของเครื่องให้ความร้อนว่าส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ออกมาหรือไม่ ซึ่งอุณหภูมิที่อ้างอิงมาคือ 75 องศาเซลเซียส ทำการเปลี่ยนโดยการลดอุณหภูมิที่ละ 5 องศาเซลเซียส เพื่อทดลองอุณหภูมิปฏิกิริยาให้ใกล้เคียงกับอุณหภูมิห้อง จึงเป็นอุณหภูมิระหว่าง 35 องศาเซลเซียส ถึง 75 องศาเซลเซียส



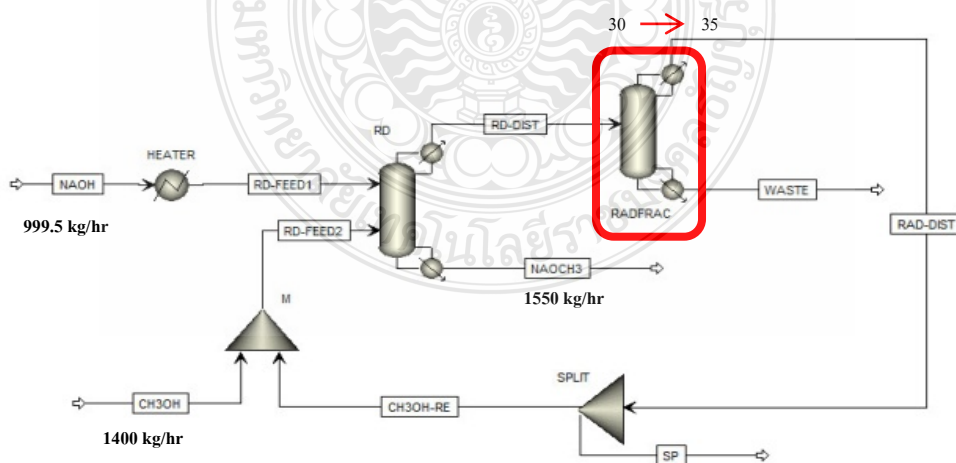
รูปที่ 3.4 การออกแบบสภาวะการทำงานใหม่

3.3.2 การออกแบบการทำงานภายใต้ข้อกำหนดใหม่ คือ การลดและเพิ่มจำนวนชั้นของหอกลั่นที่มีปฏิกิริยา เนื่องจากภายในหอกลั่นที่มีปฏิกิริยามีการกำหนดจำนวนชั้นในส่วนของการทำปฏิกิริยา ดังนั้นจึงทำการลดและเพิ่มเพื่อศึกษาว่าการลดและเพิ่มจำนวนชั้นของหอกลั่นส่งผลต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์โซเดียมเมทอกไซด์หรือไม่ ซึ่งจำนวนชั้นตามเอกสารอ้างอิงคือ 25 ชั้น ทำการลดและเพิ่มทีละ 1 ชั้น จำนวนชั้นของหอกลั่นที่มีปฏิกิริยาจึงอยู่ระหว่าง 20 ชั้น ถึง 30 ชั้น



รูปที่ 3.5 การออกแบบการทำงานภายใต้ข้อกำหนดใหม่

3.3.3 การออกแบบสภาวะการทำงานใหม่ของหอกลั่นแบบทั่วไป ในกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ด้วยหอกลั่นที่มีปฏิริยาจะเห็นได้ว่าสารที่ออกมาจากหอกลั่นที่มีปฏิริยามิทั้งโซเดียมเมทอกไซด์ที่เป็นผลิตภัณฑ์ที่เราต้องการและสาย RD-DIST เป็นสารผสมที่เข้าสู่หอกลั่นแบบทั่วไป เพื่อกลั่นแยกระหว่างเมทานอลและน้ำ โดยน้ำจะถูกกลั่นออกไปในสาย waste ส่วนหนึ่งและอีกส่วนจะถูกแยกที่เครื่องแยก (Splitter) ซึ่งในการแยกสารออกนั้น เมทานอลบางส่วนเสียไปกับการแยกของหอกลั่น ซึ่งในการออกแบบสภาวะการทำงานใหม่ของหอกลั่นแบบทั่วไป นั้นจะทำการเพิ่มจำนวนชั้นของหอกลั่นว่าส่งผลต่อสารเมทานอลที่นำกลับมาเป็นสารตั้งต้นหรือไม่ โดยจำนวนชั้นของหอกลั่นตามเอกสารอ้างอิง คือ 30 ชั้น ทำการเพิ่มทีละ 1 ชั้น จนถึง 35 ชั้น



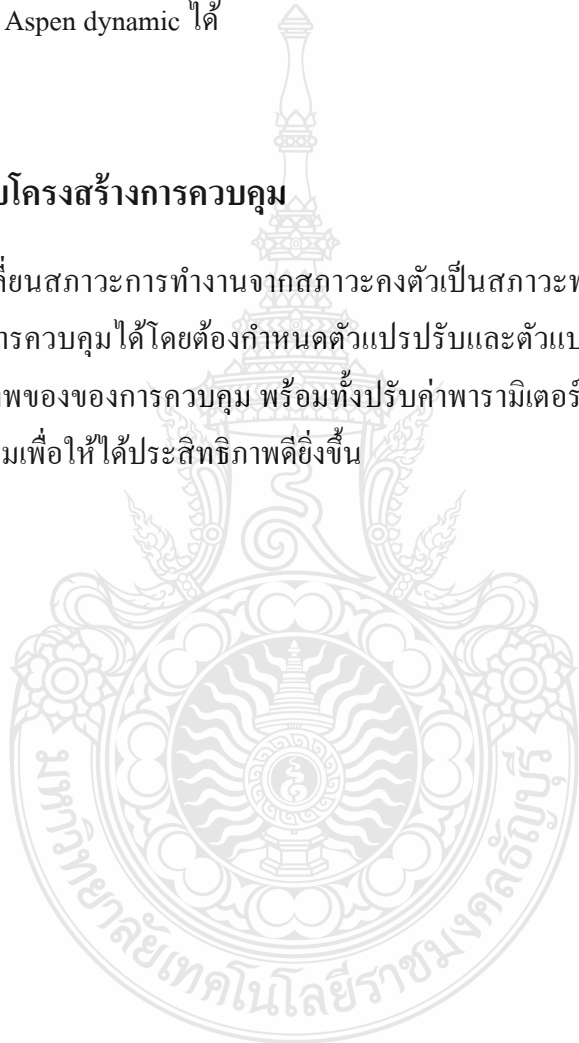
รูปที่ 3.6 การออกแบบสภาวะการทำงานใหม่ของหอกลั่นทั่วไป

3.4 การเปลี่ยนเป็นเป็นสถานะพลวัต

การจะออกแบบโครงสร้างการควบคุมของกระบวนการผลิตจำเป็นต้องเปลี่ยนกระบวนการจากสถานะคงตัวให้เป็นสถานะพลวัตเสียก่อนโดยใช้โปรแกรม Aspen dynamic ในรูปแบบของการขับเคลื่อนด้วยความดัน (Pressure Driven) ซึ่งในการจำลองแบบสถานะพลวัตต้องมีการเปลี่ยนความดันของกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ทั้งกระบวนการจึงจะสามารถออกแบบโครงสร้างการควบคุมด้วยโปรแกรม Aspen dynamic ได้

3.5 การออกแบบโครงสร้างการควบคุม

หลังจากที่เปลี่ยนสถานะการทำงานจากสถานะคงตัวเป็นสถานะพลวัตได้แล้ว จึงจะสามารถออกแบบโครงสร้างการควบคุมได้โดยต้องกำหนดตัวแปรปรับและตัวแปรควบคุมของกระบวนการ และศึกษาประสิทธิภาพของการควบคุม พร้อมทั้งปรับค่าพารามิเตอร์ของโครงสร้างการควบคุม และลักษณะการควบคุมเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น



บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 การปรับปรุงกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์

การปรับปรุงกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ด้วยหอกลับที่มีปฏิกิริยาแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ การออกแบบสภาวะการทำงานใหม่ , การออกแบบการทำงานภายใต้ข้อกำหนดใหม่ และ การออกแบบสภาวะการทำงานใหม่ของหอกลับชนิดดั้งเดิม

4.1.1 การทดลองจำลองกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ด้วยหอกลับที่มีปฏิกิริยาด้วยการออกแบบสภาวะการทำงานใหม่นั้น การลดอุณหภูมิไม่ได้ส่งผลต่อผลิตภัณฑ์ที่ออกมาแต่สามารถช่วยลดต้นทุนที่เกิดขึ้นในการผลิตได้ โดยอุณหภูมิที่ช่วยลดต้นทุนได้มากที่สุดคือ 35 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 4.1 ต้นทุนในการออกแบบสภาวะการทำงานแบบใหม่ของเครื่องให้ความร้อน

Temperature (°C)	NaOCH ₃ (Mass Fraction)	Overall Cost (USD/year)
35	0.435	7,487,063
40	0.435	7,487,065
45	0.435	9,550,164
50	0.435	9,546,045
55	0.435	7,489,850

ตารางที่ 4.1 ต้นทุนในการออกแบบสภาวะการทำงานแบบใหม่ของเครื่องให้ความร้อน (ต่อ)

Temperature (°C)	NaOCH ₃ (Mass Fraction)	Overall Cost (USD/year)
60	0.435	9,545,733
65	0.435	7,489,538
70	0.435	7,486,827
75	0.435	7,672,106

4.1.2 การทดลองการจำลองกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ด้วยหอกถั่วที่มีปฏิกิริยาด้วยการออกแบบการทำงานภายใต้ข้อกำหนดใหม่นั้น การลดและเพิ่มจำนวนชั้นภายในหอก ถั่วเหล่านั้นไม่ส่งผลต่อผลิตภัณฑ์ที่ออกมาและยังช่วยในการลดต้นทุนในการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ได้อีกด้วย โดยจำนวนชั้นที่ลดต้นทุนการผลิตได้มากที่สุดคือ จำนวนชั้นที่ 20 ชั้น

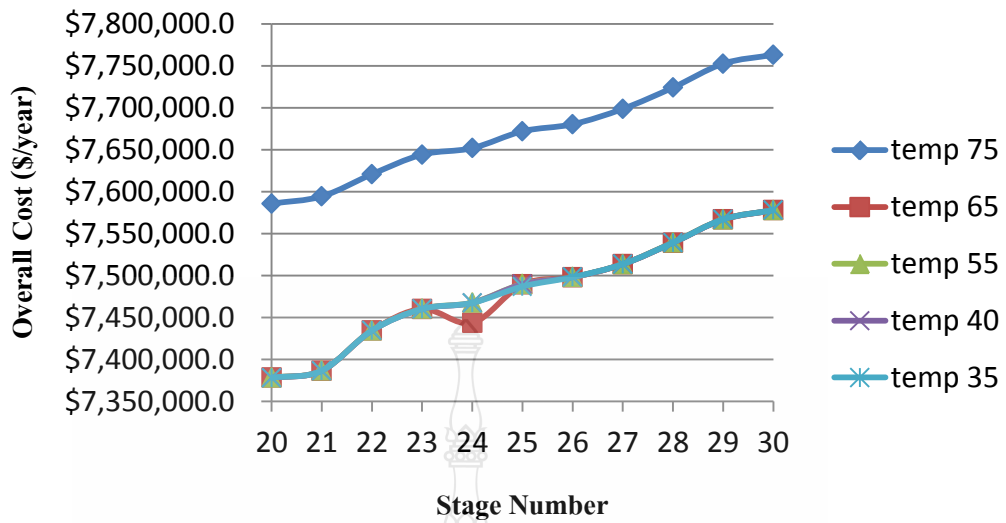
ตารางที่ 4.2 ต้นทุนในการการลดและเพิ่มจำนวนชั้นปฏิกิริยาในหอกถั่วที่มีปฏิกิริยา

Stage	NaOCH ₃ (Mass Fraction)	Overall Cost (USD/year)
20	0.435	7,585,855
21	0.435	7,594,464
22	0.435	7,620,914
23	0.435	7,644,303

ตารางที่ 4.2 ต้นทุนในการการลดและเพิ่มจำนวนชั้นปฏิกิริยาในหอกลับที่มีปฏิกิริยา (ต่อ)

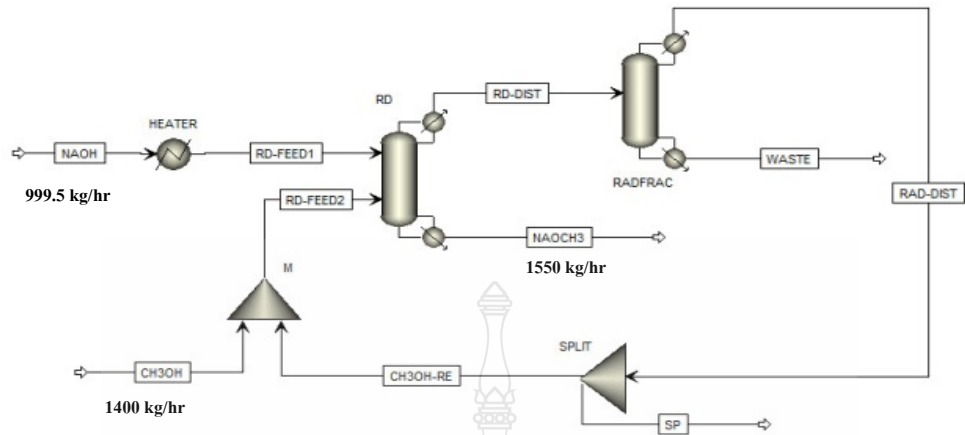
Stage	NaOCH ₃ (Mass Fraction)	Overall Cost (USD/year)
24	0.435	7,651,993
25	0.435	7,672,106
26	0.435	7,680,454
27	0.435	7,698,773
28	0.435	7,724,172
29	0.435	7,752,652
30	0.435	7,763,232

4.1.3 จากการทดลองการปรับปรุงกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ด้วยหอกลับที่มีปฏิกิริยาทั้ง 2 แบบ คือ การจำลองการออกแบบสภาวะการทำงานใหม่ และการออกแบบภายใต้ข้อกำหนดใหม่ เมื่อนำผลการทดลองทั้ง 2 แบบมารวมกันจะแสดงให้เห็นถึงต้นทุนในการผลิตของโซเดียมเมทอกไซด์อย่างชัดเจน โดยในกระบวนการปรับปรุงการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ด้วยหอกลับที่มีปฏิกิริยาที่ดีที่สุดนั้น อุณหภูมิจะอยู่ที่ 35 องศาเซลเซียส และ จำนวนชั้นของหอกลับคือ 20 ชั้น

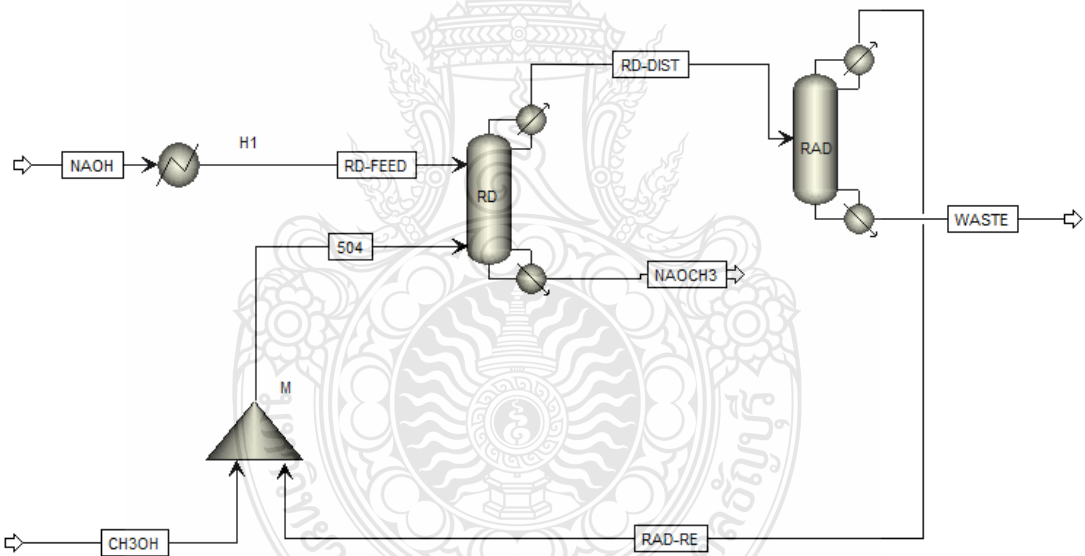


รูปที่ 4.1 กราฟต้นทุนรวมในการผลิตจากการปรับปรุงทั้ง 2 แบบ

4.1.4 การออกแบบสภาวะการทำงานใหม่ของหอกลั่นดั้งเดิม ด้วยการเพิ่มจำนวนชั้นของหอกลั่นนั้น จำเป็นที่จะต้องเปลี่ยนค่า Reflux ratio และ Distillate to feed ratio ของภายในหอกลั่นดั้งเดิม โดยการเปลี่ยนค่าทั้งสองค่านี้จะมีประสิทธิภาพมากขึ้นเมื่อควบคู่กับการเพิ่มจำนวนชั้นภายในหอกลั่น ซึ่งส่งผลต่อเมทานอลที่ถูกส่งมากลับในชั้นตอนนี้ โดยการเพิ่มจำนวนชั้นภายในหอกลั่นนั้น หากยิ่งเพิ่มจะยิ่งลดจำนวนเมทานอลที่ออกไปในสายของ waste และสามารถลดเครื่องแยก (Splitter) ได้เนื่องจากน้ำถูกแยกภายในหอกลั่นให้อยู่ในสาย Waste จนแทบไม่เหลือในสายที่จะป้อนกลับมาใช้ในสายสารตั้งต้น



รูปที่ 4.2 กระบวนการผลิตโซเดียมเมทาอกไซด์ที่ยังไม่ตัดเครื่องแยก (Splitter)



รูปที่ 4.3 กระบวนการผลิตโซเดียมเมทาอกไซด์ที่ตัดเครื่องแยก (Splitter)

ในการลดเครื่องแยก (Splitter) (รูปที่ 4.3) ไม่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิตโซเดียมเมทาอกไซด์ โดยเปรียบเทียบข้อมูลของสารเมทานอลและน้ำภายในสาย Waste และ สาย CH₃OH ของ รูปที่ 4.2 และ สาย RAD-RE ของรูปที่ 4.3 ซึ่งเป็นสายที่เข้าสู่เครื่องผสม (mixer) ก่อนเข้าสู่หอกลั่นที่มีปฏิกิริยาเพื่อผลิตโซเดียมเมทาอกไซด์

ตารางที่ 4.3 ข้อมูลของสารเมทานอลและน้ำในสาย Waste ของหอกลั่น RAD ในรูปที่ 4.2

Rad Stage	CH ₃ OH		H ₂ O		Mass flow
	Mass Fraction	Comp mass flow	Mass Fraction	Comp mass flow	
30	0.515014	221.428	0.484986	208.517	429.945
31	0.515014	221.428	0.484986	208.517	429.945
32	0.515014	221.428	0.484986	208.517	429.945
33	0.515014	221.428	0.484986	208.517	429.945
34	0.515014	221.428	0.484986	208.517	429.945
35	0.515014	221.428	0.484986	208.517	429.945

ตารางที่ 4.4 ข้อมูลของสารเมทานอลและน้ำในสาย CH₃OH-RE ของหอกลั่น RAD ในรูปที่ 4.2

Rad Stage	CH ₃ OH		H ₂ O		Mass flow
	Mass Fraction	Comp mass flow	Mass Fraction	Comp mass flow	
30	0.999986	2381.95	1.41388×10^{-5}	0.0336785	2381.99
31	0.999986	2381.95	1.41388×10^{-5}	0.0336785	2381.99
32	0.999986	2381.95	1.41388×10^{-5}	0.0336785	2381.99
33	0.999986	2381.95	1.41388×10^{-5}	0.0336785	2381.99
34	0.999986	2381.95	1.41388×10^{-5}	0.0336785	2381.99
35	0.999986	2381.95	1.41388×10^{-5}	0.0336785	2381.99

ตารางที่ 4.5 ข้อมูลของสารเมทานอลและน้ำในสาย Waste ของหอกลั่นชนิด RAD ในรูปที่ 4.3

Rad Stage	CH ₃ OH		H ₂ O		Mass flow
	Mass Fraction	Comp mass flow	Mass Fraction	Comp mass flow	
30	0.000164398	0.0737895	0.999836	448.772	448.846
31	6.01591×10^{-5}	0.0270025	0.99994	448.826	448.853
32	2.2003×10^{-5}	0.00987624	0.999978	448.849	448.859
33	8.04578×10^{-6}	0.00361147	0.999992	448.861	448.865

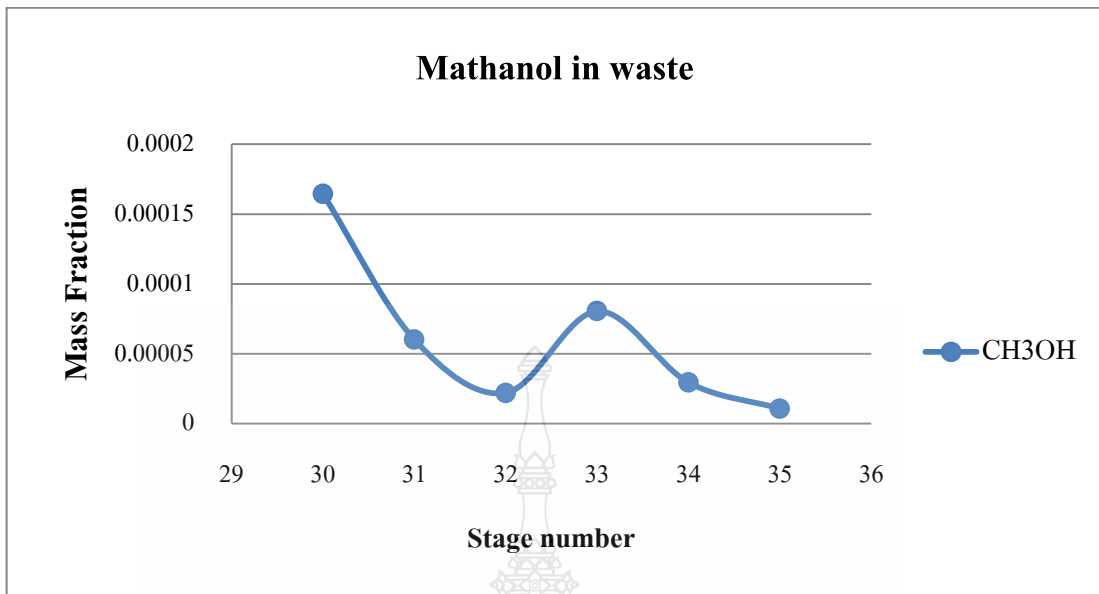
ตารางที่ 4.5 ข้อมูลของสารเมทานอลและน้ำในสาย Waste ของหอกลั่นชนิด RAD ในรูปที่ 4.3 (ต่อ)

Rad Stage	CH ₃ OH		H ₂ O		Mass flow
	Mass Fraction	Comp mass flow	Mass Fraction	Comp mass flow	
34	2.94182×10^{-6}	0.0013205	0.999997	448.869	448.871
35	1.07536×10^{-6}	0.000482656	0.999999	448.831	448.832

ตารางที่ 4.6 ข้อมูลของสารเมทานอลและน้ำในสาย RAD-RE ของหอกลั่นชนิด RAD ในรูปที่ 4.3

Rad Stage	CH ₃ OH		H ₂ O		Mass flow
	Mass Fraction	Comp mass flow	Mass Fraction	Comp mass flow	
30	0.979552	9808.85	0.0204479	204.758	10013.6
31	0.97956	9809.04	0.0204443	204.725	10013.8
32	0.979559	9809.21	0.0204411	204.696	10013.9
33	0.979561	9809.52	0.0204391	204.679	10014.2
34	0.979562	9809.52	0.0204379	204.67	10014.2
35	0.979563	9808.61	0.02043971	204.669	10013.3

จากตารางที่ 4.5 และ ตารางที่ 4.6 แสดงให้เห็นว่ายิ่งเพิ่มจำนวนชั้นของหอกลั่นดั้งเดิม จะสามารถนำเมทานอลกลับเข้าภายในกระบวนการได้มากขึ้น แต่ค่าต้นทุนจะเพิ่มขึ้นด้วย จึงจำเป็นจะต้องวิเคราะห์ข้อมูลว่าการเพิ่มจำนวนชั้นของหอกลั่นเท่าใดจึงจะคุ้มค่ากับการลงทุนมากที่สุด

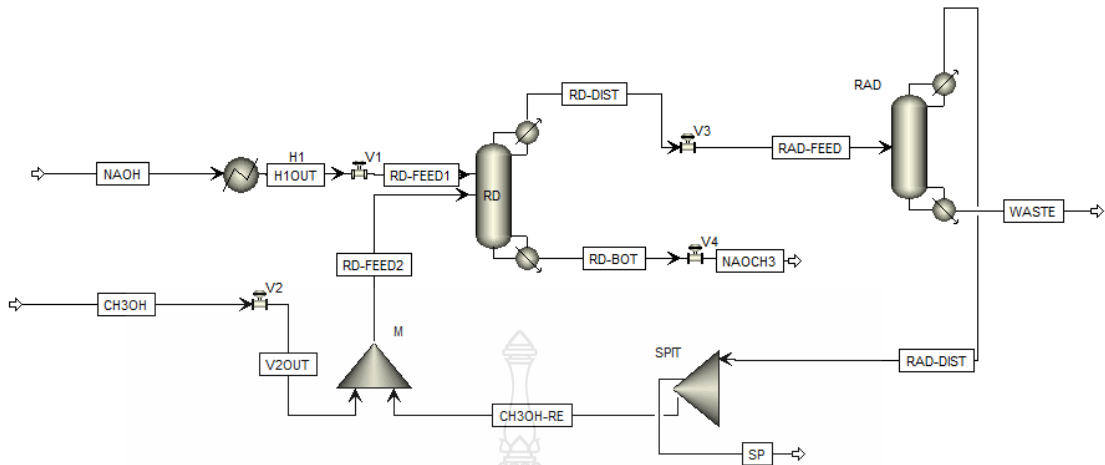


รูปที่ 4.4 การเปรียบเทียบปริมาณเมทานอลกับจำนวนชั้นของหอกถั่ว

จากการวิเคราะห์ข้อมูลเมทานอลในสาย Waste ที่ออกมาจากหอกถั่วดั้งเดิม โดยเป็นการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนชั้นภายในหอกถั่วกับจำนวนมวลของเมทานอลถึงความคุ้มค่าในการลงทุน ซึ่งจากรูปที่ 4.4 แสดงให้เห็นว่า ถ้าเพิ่มจำนวนชั้นมากขึ้นเมทานอลจะยิ่งน้อยลงแต่ค่าการลงทุนจะมากขึ้นด้วย ดังนั้นจำนวนชั้นที่เหมาะสมที่สุด หอกถั่วที่ใช้จำนวนชั้น 32 ชั้น จึงจะเหมาะสมกับการลงทุน

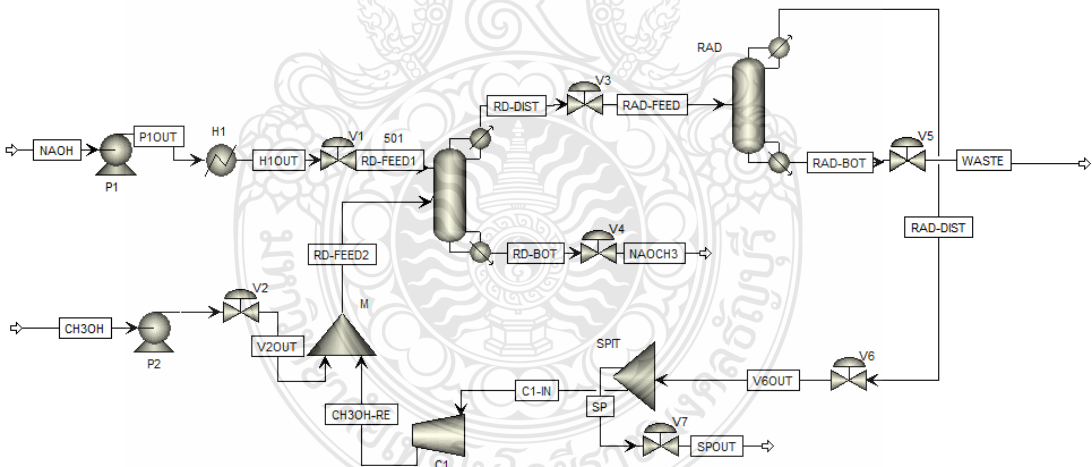
4.2 การเปลี่ยนเป็นเป็นสถานะพลวัต

ในการเปลี่ยนการจำลองกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ด้วยหอกถั่วที่มีปฏิกิริยาจากสถานะคงตัวเป็นสถานะพลวัต จะต้องมีกรอบการใส่ตัวเลขสำหรับรองรับการออกแบบการควบคุมของกระบวนการ โดยตัวเลขที่จะเพิ่มเข้าไปในกระบวนการนั้นจะต้องไม่ทำงานทับซ้อนกันเอง ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 กระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ก่อนเปลี่ยนเป็นสภาวะพลวัต

เนื่องจากในสภาวะพลวัตใช้รูปแบบการทำงานเป็นแบบขับเคลื่อนด้วยความดัน (Pressure Driven) จึงต้องเพิ่มความดันให้เพียงพอต่อกระบวนการผลิตทั้งหมด ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 การเพิ่มอุปกรณ์เพิ่ม/ลดความดันของกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์

จากการเพิ่มความดันทั้งระบบเพื่อให้สอดคล้องกับการเปลี่ยนเป็นสภาวะพลวัตในรูปแบบของการขับเคลื่อนด้วยความดัน (Pressure driven) โดยที่ความดันไม่ส่งผลต่อกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ด้วยหอกลั่นที่มีปฏิกิริยา

ตารางที่ 4.7 การเปรียบเทียบความดันในกระบวนการในสถานะคงตัวและ Pressure driven

Unit	Name in process	Pressure	
		Steady state (atm)	Pressure driven (atm)
Pump	P1	-	5.33
Heater	H1	1	5.23
Valve	V1	-	P_{drop} 1.23
Pump	P2	-	4.23
Valve	V2	-	P_{drop} 1
Mixer	M	-	-
Reactive Distillation	501	1	4
Valve	V3	-	P_{drop} 1
Valve	V4	-	P_{drop} 1
Radfrac	RAD	1	3
Valve	V5	-	P_{drop} 1
Valve	V6	-	P_{drop} 1
Splitter	SPIT	1	1.81
Valve	V7	-	P_{drop} 1
Compressor	C1	-	Increase 2.42

จากตารางที่ 4.7 เห็นได้ว่าวาล์วเป็นตัวสำคัญในระบบที่เป็นการขับเคลื่อนด้วยความดัน และอุปกรณ์บางชนิดที่จะมีการลดความดันเมื่อผ่านตัวของมันจึงจำเป็นต้องติดตั้งปั๊มและคอมเพรสเซอร์เพื่อช่วยให้ความดันเข้าสู่สมดุลต่อกระบวนการ ซึ่งภายในหอกถันที่มีปฏิกิริยาและหอกถันดั้งเดิม มีการเปลี่ยนแปลงความดันของในแต่ละชั้นของหอกถัน โดยในการจำลองที่สถานะคงตัวนั้นไม่มีการสูญเสียความดันในแต่ละชั้น ซึ่งสามารถเปรียบเทียบได้ในตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 การเปรียบเทียบความดันในแต่ละชั้นของหอกลั่นที่มีปฏิกิริยา

Reactive Distillation		
Stage	Pressure (atm)	
	Steady state	Pressure driven
1	1	4
2	1	4.01
3	1	4.02
4	1	4.03
5	1	4.04
6	1	4.05
7	1	4.06
8	1	4.07
9	1	4.08
10	1	4.09
11	1	4.1
12	1	4.11
13	1	4.12
14	1	4.13
15	1	4.14
16	1	4.15
17	1	4.16
18	1	4.17
19	1	4.18

ตารางที่ 4.8 การเปรียบเทียบความดันในแต่ละชั้นของหอกลั่นที่มีปฏิกิริยา (ต่อ)

Reactive Distillation		
Stage	Pressure (atm)	
	Steady state	Pressure driven
20	1	4.19
21	1	4.2
22	1	4.21
23	1	4.22
24	1	4.23
25	1	4.24

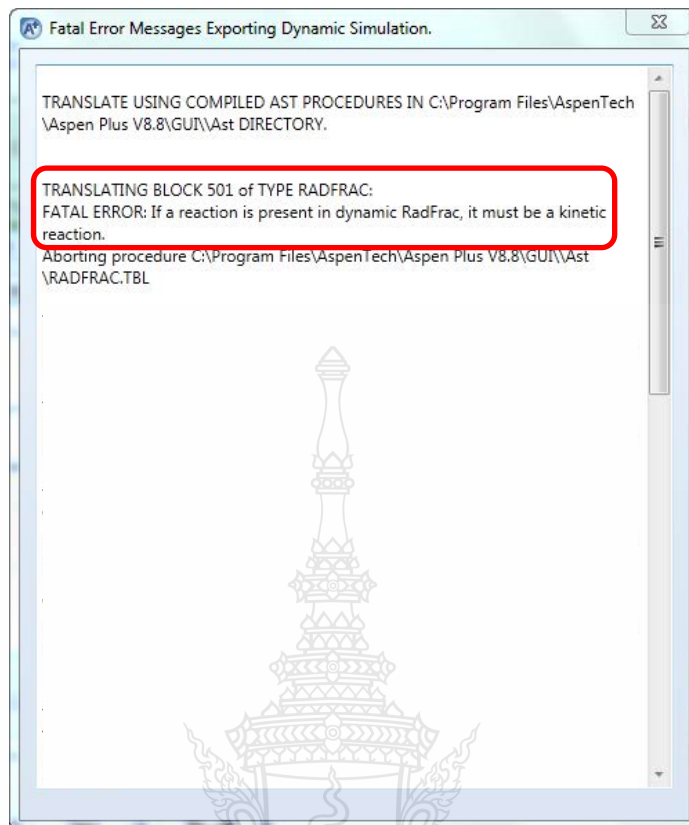
ตารางที่ 4.9 การเปรียบเทียบความดันในแต่ละชั้นของหอกลั่นดั้งเดิม

Distillation Radfrac		
Stage	Pressure (atm)	
	Steady state	Pressure driven
1	1	2.81
2	1	2.82
3	1	2.83
4	1	2.84
5	1	2.85
6	1	2.86
7	1	2.87
8	1	2.88
9	1	2.89
10	1	2.9
11	1	2.91
12	1	2.92

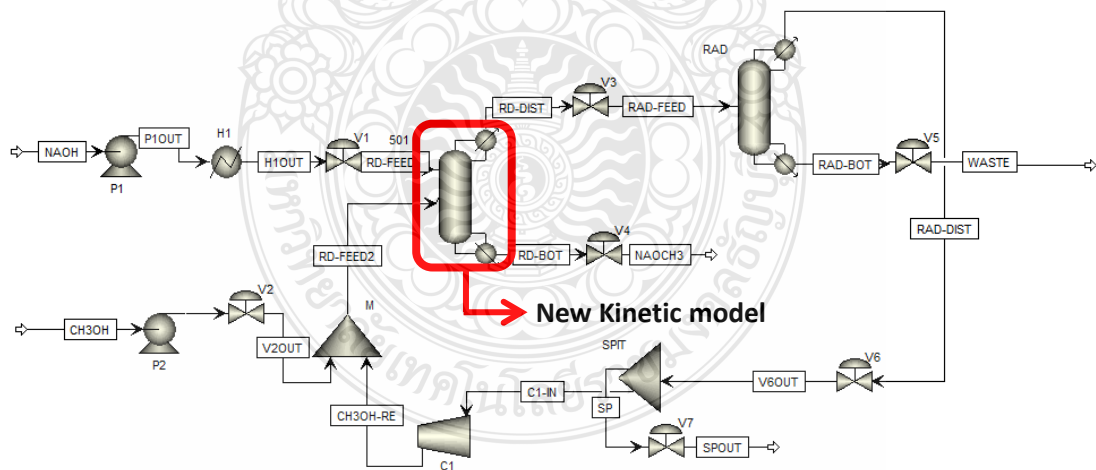
ตารางที่ 4.9 การเปรียบเทียบความดันในแต่ละชั้นของหอกลั่นดั้งเดิม (ต่อ)

Distillation Radfrac		
Stage	Pressure (atm)	
	Steady state	Pressure driven
13	1	2.93
14	1	2.94
15	1	2.95
16	1	2.96
17	1	2.97
18	1	2.98
19	1	2.99
20	1	3.00
21	1	3.01
22	1	3.02
23	1	3.03
24	1	3.04
25	1	3.05
26	1	3.06
27	1	3.07
28	1	3.08
29	1	3.09
30	1	3.1

เมื่อโปรแกรมตรวจสอบถึงการเปลี่ยนจากสภาวะคงตัวเป็นสภาวะพลวัต แต่ในงานวิจัยที่อ้างอิงมานั้นใช้สมการปฏิกิริยาแบบสมดุล (Equilibrium) ทำให้โปรแกรม Aspen dynamic ไม่สามารถเปลี่ยนกระบวนการจากสภาวะคงตัวเป็นสภาวะพลวัตได้ จึงต้องเปลี่ยนสมการปฏิกิริยาเคมีที่ใช้ภายในหอกลั่นที่มีปฏิกิริยา จากสมการแบบสมดุล (Equilibrium) เป็นสมการแบบจลนพลศาสตร์ (Kinetic)



รูปที่ 4.7 หน้าจอแจ้งปัญหาการใช้แบบจำลองภายในหอกลั่นที่มีปฏิกิริยา



รูปที่ 4.8 แก้ไขสมการจลนพลศาสตร์ภายในหอกลั่นที่มีปฏิกิริยา

ในสมการจลนพลศาสตร์จะใช้กฎพลังงานที่แตกต่างจากสมการสมดุล ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องคำนวณหาพลังงานใหม่ โดยสมการจลนพลศาสตร์จะใช้สมการในรูปที่ 4.9

$$K = kt^n e^{-E/RT} \quad (1)$$

รูปที่ 4.9 สมการ Kinetic factor

โดยสมการจลนพลศาสตร์ที่นำมาในใช้หอกลั่นที่มีปฏิริยานั้นอ้างอิงมาจากงานวิจัยของตันตัน เขาและ เฉิงซี หวาง โดยใช้สูตรอัตราการเกิดปฏิริยาเคมี

$$-r_A = KC_A^n \quad (2)$$

รูปที่ 4.10 สูตรอัตราการเกิดปฏิริยาเคมี

ทำการแก้สมการเพื่อให้สมการอัตราการเกิดปฏิริยาเคมีเพื่อหาค่า A (pre exponential factor) และ ค่า E (The activation energy) ให้อยู่รูปของสมการเส้นตรง $y = mx+c$

$$\ln K = \ln A e^{\frac{-E}{RT}} \quad (3)$$

$$\ln K = \ln A + \left(\frac{-E}{R}\right)\left(\frac{1}{T}\right) \quad (4)$$

รูปที่ 4.11 สมการอัตราการเกิดปฏิริยาเคมีในรูปของสมการเส้นตรง

$$\begin{aligned} \text{โดยที่ } \ln K &= y \\ \ln A &= c \\ \left(\frac{-E}{R}\right) &= m \\ \left(\frac{1}{T}\right) &= x \end{aligned}$$

เมื่อได้สมการจลนพลศาสตร์มาแทนปฏิกิริยาเคมีของสมการสมดุล โดยที่สมการปฏิกิริยาเคมีใหม่นั้นจะไม่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ด้วยหอกลับที่มีปฏิกิริยา ซึ่งสามารถเปรียบเทียบการทำงานได้ดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.10 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานในสมการแบบสมดุลและสมการจลนพลศาสตร์

Line	Condition					
	Equilibrium model			Kinetic model		
	Flow rate (kg/hr)	Temperature (°C)	Pressure (atm)	Flow rate (kg/hr)	Temperature (°C)	Pressure (atm)
NaOH	999.5	30	1	999.5	30	1
RD-FEED 1	999.5	75	1	999.5	75	4
CH3OH	1400	30	1	1400	30	1
RD-FEED 2	5870.61	64.65	1	5870.49	106.592	4.23
RD-Dist	5320.11	74.65	1	5319.99	116.379	4
NaOCH3	1550	86.13	1	1550	132.497	3.24
RAD-Dist	4506.67	64.65	1	4506.56	94.1617	2.81
Waste	813.45	81.64	1	813.426	116.818	3.1
CH3OH-RE	4470.61	64.65	1	4470.49	167.102	4.23

หลังตรวจสอบกระบวนการด้วย Presseure Checker เพื่อเปลี่ยนกระบวนการจากสถานะคงตัวเป็นสถานะพลวัต โปรแกรมจะเปลี่ยนจากโปรแกรม Aspen Plus เพื่อเข้าสู่โปรแกรม Aspen Dynamic จะขึ้นหน้าจอแสดงการเป็นสถานะพลวัตต่อไป

4.3 การออกแบบโครงสร้างการควบคุมแบบแพลนท์ไว้ต์

จากการศึกษาบทความของ Devrim B. Kaymak และคณะ (2017) สามารถออกแบบโครงสร้างการควบคุมการจำลองกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซค์ด้วยหอกลั่นที่มีปฏิกิริยาโดยใช้โปรแกรม Aspen Dynamic ได้ดังนี้

การออกแบบโครงสร้างการควบคุมจะเป็นการจับคู่ตัวแปรปรับ ตัวแปรควบคุมและวาล์วควบคุม โดยในการควบคุมจะแบ่งออกเป็น 2 หน่วยหลักคือ 1.หน่วยการทำงานของหอกลั่นที่มีปฏิกิริยา และ 2. หน่วยการทำงานของหอกลั่นแบบทั่วไป

1. การควบคุมหอกลั่นที่มีปฏิกิริยาจำเป็นต้องควบคุมอัตราการเกิดปฏิกิริยาของคุณภาพผลิตภัณฑ์โดยการควบคุมอุณหภูมิภายในหอกลั่นที่มีปฏิกิริยาด้วยหม้อต้มซ้ำของหอกลั่นที่มีปฏิกิริยา , ควบคุมอัตราการไหลขาเข้าของหอกลั่นที่มีปฏิกิริยาด้วยวาล์ว V1 และ วาล์ว V2 , วาล์ว V3 ใช้ควบคุมความดันในชั้นที่ 1 ภายในหอกลั่นที่มีปฏิกิริยา , วาล์ว V4 ใช้ในการควบคุมระดับชั้นของเหลวในหม้อต้มซ้ำของภายในหอกลั่นที่มีปฏิกิริยา

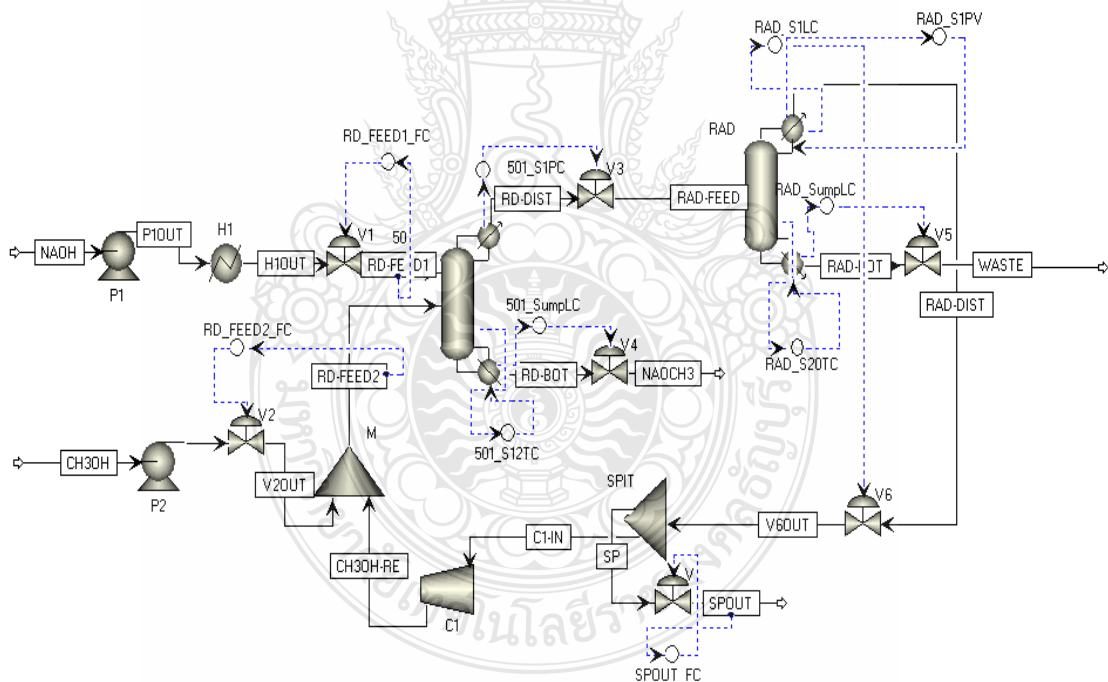
2. การควบคุมหอกลั่นแบบทั่วไป ควบคุมด้วยอุณหภูมิภายในหอกลั่นแบบทั่วไปด้วย Reboiler Duty , ควบคุมความดันภายในหอกลั่นด้วย Condenser Duty , ใช้วาล์ว V5 ควบคุมระดับชั้นของเหลวในหม้อต้มซ้ำ , ใช้วาล์ว V6 ในการควบคุมระดับชั้นภายในเครื่องควบแน่นของหอกลั่นแบบทั่วไป สำหรับวาล์ว V7 ใช้ในการควบคุมอัตราการไหลของเครื่องแยกแต่ในการทดลองสามารถพิสูจน์ว่าการตัดเครื่องแยกออกจากระบบได้โดยไม่กระทบต่อกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซค์ โดยตัวแปรควบคุมและตัวแปรปรับทั้งหมดสามารถประกอบได้ใน ตารางที่ 4.11 และภาพที่ 4.12

ตารางที่ 4.11 การจับคู่ตัวแปรปรับและตัวแปรควบคุม

ตัวแปรควบคุม	ตัวแปรปรับ	วาล์วควบคุม
Flow NaOH	Feed Flowrate (1)	V1
Flow CH ₃ OH	Feed Flowrate (2)	V2

ตารางที่ 4.11 การจับคู่ตัวแปรปรับและตัวแปรควบคุม (ต่อ)

ตัวแปรควบคุม	ตัวแปรปรับ	วาล์วควบคุม
RD Column Pressure stage 1	Distillate Flowrate	V3
RD base Level	RD Bottom Flowrate	V4
RD column Temperature stage 12	Reboiler Heat Input	RD Reboiler Duty
RAD column Temperature stage 20	Reboiler Heat Input	RAD Reboiler Duty
RAD base Level	RAD Bottom Flowrate	V5
RAD base Level	RAD Distillate Flowrate	V6
RAD Column Pressure	Condenser Cooler Input	RAD Condenser Duty
Flow Splitter	Feed Flowrate	V7



รูปที่ 4.12 โครงสร้างการควบคุมกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ด้วยหอกลั่นที่มีปฏิกิริยา

จากการวิเคราะห์ ผลของการออกแบบโครงสร้างการควบคุมกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ด้วยหอกลั่นที่มีปฏิกิริยาพบว่า โปรแกรมไม่สามารถหาค่าเริ่มต้น (Initialization) ของกระบวนการผลิตได้ เนื่องจากเมื่อทำการวิเคราะห์ในแต่ละหน่วยปฏิบัติงานของกระบวนการพบว่า

ในหน่วยปฏิบัติงานของหอกลั่นที่มีปฏิริยาที่มีปฏิริยาอิเล็กทรอนิกส์โทรไลต์อาจจะทำให้ไม่สามารถหาค่าเริ่มต้นในการควบคุมได้ จึงทำการออกแบบโครงสร้างกระบวนการผลิตโดยใช้ทางทฤษฎีเป็นการอ้างอิงหลักในการออกแบบซึ่งอ้างอิงจากงานวิจัยของ Devrim B. Kaymak และคณะ จึงได้โครงสร้างการควบคุมกระบวนการดังต่อไปนี้

1. ควบคุมอัตราการไหลสารป้อนด้วยวาล์ว V1 เพื่อกำหนดอัตราการไหลของสารโซเดียมไฮดรอกไซด์ให้อยู่ในค่าที่กำหนด และวาล์ว V2 กำหนดอัตราการไหลของสารเมทานอล

2. ควบคุมความดันภายในหอกลั่นที่มีปฏิริยาด้วยวาล์ว V3 เพื่อควบคุมความดันของไอสารผสมภายในหอกลั่นให้อยู่ในค่าที่เหมาะสม และพลังงานของเครื่องควบแน่นภายในหอกลั่นแบบทั่วไปควบคุมความดันให้อยู่ในค่าที่เหมาะสม

3. ควบคุมระดับของเหลวภายในหอกลั่นที่มีปฏิริยาด้วยวาล์ว V4 เพื่อกำหนดระดับของเหลวอยู่ในค่าที่เหมาะสม และภายในหอกลั่นแบบทั่วไปด้วยวาล์ว V5 และ วาล์ว V6 เพื่อกำหนดระดับของเหลวอยู่ในค่าที่เหมาะสม

4. ควบคุมอุณหภูมิภายในหอกลั่นที่มีปฏิริยาด้วยพลังงานความร้อนของหม้อต้มซ้ำในหอกลั่นที่มีปฏิริยาเพื่อให้ได้อุณหภูมิที่เหมาะสม ซึ่งอุณหภูมิภายในหอกลั่นที่มีปฏิริยานั้นจะส่งผลทางอ้อมต่อการเกิดปฏิริยาของสารและประสิทธิภาพในการแยกของสาร ควบคุมอุณหภูมิภายในหอกลั่นแบบทั่วไปด้วยพลังงานความร้อนของหม้อต้มซ้ำภายในหอกลั่น

5. ควบคุมอัตราการไหลของสารที่ออกจากเครื่องแยกด้วยวาล์ว V7 เพื่อกำหนดอัตราการไหลของสารให้เกิดสมดุลของมวลสารในระบบ

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย การอภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

บทนี้ได้กล่าวถึงบทสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะในการออกแบบ โครงสร้างการควบคุม กระบวนการผลิต โซเดียมเมทอกไซด์ด้วยหอกลับที่มีปฏิกิริยา

5.1 สรุปการวิจัย

งานวิจัยชิ้นนี้ต้องการศึกษาเกี่ยวกับการออกแบบ โครงสร้างการควบคุม กระบวนการผลิต โซเดียมเมทอกไซด์ด้วยหอกลับที่มีปฏิกิริยา ซึ่งมีการปรับปรุงกระบวนการผลิต โซเดียมเมทอกไซด์ ควบคุมไปด้วยเพื่อหาความคุ้มค่าในการผลิต โดยในการปรับปรุงกระบวนการผลิต โซเดียมเมทอกไซด์ ด้วยหอกลับที่มีปฏิกิริยานั้นมีหน่วยการทำงานหลัก 3 หน่วยคือ เครื่องให้ความร้อน , หอกลับที่มีปฏิกิริยา และ หอกลับชนิด Radfrac ผลจากการจำลองกระบวนการทั้ง 3 แบบพบว่า

5.1.1 การลดหรือเพิ่มความร้อนในเครื่องให้ความร้อนไม่ส่งผลต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ โดยสามารถลดอุณหภูมิจาก 75 องศาเซลเซียสได้ถึง 35 องศาเซลเซียส

5.1.2 การลดหรือเพิ่มจำนวนชั้นภายในหอกลับที่มีปฏิกิริยาไม่ส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ โดยจำนวนชั้นภายในหอกลับที่มีปฏิกิริยาสามารถลดจาก จำนวนชั้น 25 ชั้น ถึง 20 ชั้น

5.1.3 การเพิ่มจำนวนชั้นภายในหอกลับชนิด Radfrac ไม่ส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ โดยจำนวนชั้นภายในหอกลับที่เหมาะสมคือ จำนวน 32 ชั้น

5.1.4 ได้ศึกษาบทความการออกแบบ โครงสร้างการควบคุมแบบแพลนท์ไวต์และนำเสนอ โครงสร้างการควบคุม กระบวนการผลิต โซเดียมเมทอกไซด์ด้วยหอกลับที่มีปฏิกิริยา

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 สมการปฏิกิริยาเคมีควรมีทั้งแบบสมการสมดุล และสมการแบบจลนพลศาสตร์เพื่อศึกษาข้อแตกต่างกันของระหว่างสมการสองปฏิกิริยา

5.2.2 ในงานวิจัยนี้ใช้การคำนวณค่าทางเศรษฐศาสตร์ของโปรแกรมเป็นหลักจึงอาจไม่ตรงกับมูลค่าจริงของตลาด

5.2.3 ประเมินสมรรถนะของโครงสร้างการควบคุมกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ด้วยหอกลับที่มีปฏิกิริยา



บรรณานุกรม

- [1] Arick Castillo-Landero , Arturo Jiménez-Gutiérrez and Rafiqul Gani (2017) “Development of an Intensified reactive distillation Process for the synthesis of dioxolane products” The 27th European Symposium on Computer Aided Process Engineering (ESCAPE 27)
- [2] Dandan Shou and Chengxi Wang (2012) “Simulation of process for preparing sodium methoxide using aspen plus” Advanced Matherials Research Vols. 557-559 (2012) pp 2350-2354
- [3] Devrim B. Kaymak , Hatice Unlu และ Tugcenaz Ofkeli (2017) “Control of a reactive distillation column with double reactive sections for two0stage consecutive reactions” Chemical Engineering and Processing : Process Internsification 113(2017)86-93
- [4] I. Agirre , V.L. Barrio , B. GÜemez , J.F. Cambra and P.L. Arias (2011) “Catalytic reactive distillation process development for 1,1 diethoxy butane production from renewable source” Bioresource Techonology 102 (2011) 1289-1297
- [5] José F. O. Grango and Nuno M. Oliveira (2016) “Process Simulation and Techno-Economic Analisis of the Production of Sodium Methoxide” I&EC research 55,56 156-157
- [6] Natja-nan Boon-anuwat , Worapon Kiatkittipong , Farid Aïouache and Suttichai Asssbumrungrat. (2015). “Process design of continuous biodiesel production by reactive distillation: Comparison between homogenous and heterogeneous catalysts”. Chemical Engineering and Processing 33-34

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [7] Siriporn Aeamsuksai , Thirawat Muenasichai , Weerinda Appamana , kanokwan Ngaosuwan , Worapon kiatkittipong , Palang Bumroongsakulsawat and suddichai Assabumrungrat. (2017) “Process simulation of sodium methoxide production from methanol and sodium hydroxide using reactive distillation”. Session: Industrail Chemistry and Innovations: IC-P-015
- [8] Takami Kai , Goon Lum Mak , Shohei Wada , Tsutomu Nakazato , Hirokazu Takanashi and Yoshimitsu Umeura. (2014) “Production of biodiesel fuel from canola oil with dimethyl carbonate using an active sodium methoxide catalyst prepared by crystallization” . Bioresource Technology 163 360-363
- [9] Wenying Shi , Jianxin Li , Benqiao He , Feng Yan , Zhenyu Cui , Kaiwei Wu , Ligang Lin , Xiaomin Qian and Yu Cheng. (2013) “Biodiesel production from waste chicken fat with low free fatty acids by an integrated catalytic process of composite membrane and sodium methoxide” . Bioresource Technology 139 316-322
- [10] Yuan-Chung Lin , Kuo-Hsiang Hsu and Jia-Fang Lin .(2014) “Rapid palm-biodiesel production assisted by microwave system and sodium methoxide catalyst”. Fuel 115 306-311
- [11] รุ่งทิพย์ ชัยเดช. (2014) “การผลิตไบโอดีเซลแบบต่อเนื่องจากน้ำมันทอดใช้แล้วโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมเมทอกไซด์”. สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- [12] “ทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน”. เทคโนโลยีการผลิตไบโอดีเซล วิชาการดอทคอม เข้าถึงได้จาก : <http://www.vcharkarn.com/varticle/37458> [สืบค้นเมื่อ 9 สิงหาคม 2560]
- [13] “หอกลั่นแบบมีปฏิกิริยา”. เครื่องปฏิกรณ์ จุฬาลักษณ์ุกรม เข้าถึงได้จาก <http://www.chulapedia.chula.ac.th/index.php> [สืบค้นเมื่อ 15 สิงหาคม 2560]

บรรณานุกรม (ต่อ)

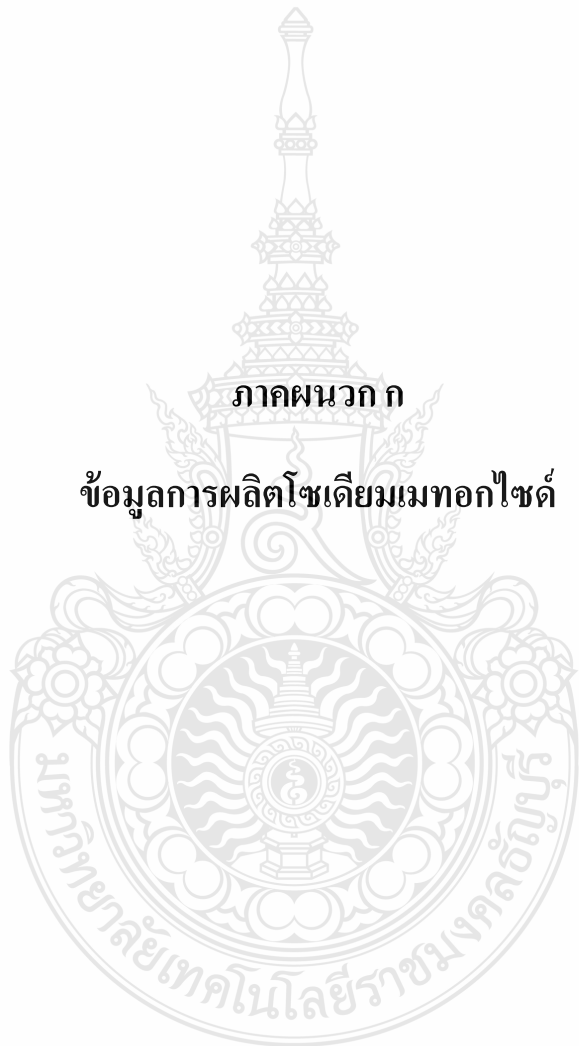
- [14] Sayfon Kietawarin. 2002 “Control Structure design applied to hydrodealkylation process plantwide control problem”. Bangkok : Chulalongkorn University.
- [15] “พื้นฐานของระบบควบคุม (Basic of Control System)”. เข้าถึงได้จาก http://mte.kmutt.ac.th/elearning/Transient_Response_Analysis/webpage%205.html [สืบค้นเมื่อ 23 สิงหาคม 2560]
- [16] “Process Control”. เข้าถึงได้จาก <http://www.bookclubman.com/process%20control%20sample%20file-1.htm> [สืบค้นเมื่อ 25 สิงหาคม 2560]
- [17] น.ต.กัปตัน เดียวตระกูล. “คอนโทรลเลอร์แบบพีไอดี”. เข้าถึงได้จาก <http://www.navy.mi.th/elecwww/magaz/magazine/no16/18.pdf> [สืบค้นเมื่อ 23 สิงหาคม 2560]
- [18] สุชาติ จันทร์จรมานิตย์. “Control Systems ระบบควบคุม” เข้าถึงได้จาก http://suchart.rmutl.ac.th/04-220-308/CT_L06.pdf [สืบค้นเมื่อ 25 สิงหาคม 2560]
- [19] ซิกเลอร์-นิโคลส์. เข้าถึงได้จาก http://eng.sut.ac.th/me/box/3_54/425311/02%20PID%20control%20design.pdf [สืบค้นเมื่อ 25 สิงหาคม 2560]
- [20] IAE. เข้าถึงได้จาก http://www.online-courses.vissim.us/Strathclyde/measures_of_controlled_system_pe.htm [สืบค้นเมื่อ 25 สิงหาคม 2560]

ภาคผนวก



ภาคผนวก ก

ข้อมูลการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์



ตารางที่ ก.1 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 35°C , RD = 20 stage ,
RAD = 30 stage)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
NAOH	0	0.5	0	0.5	30	1	999.5
CH ₃ OH	1	0	0	0	30	1	1400
RD-FEED1	0	0.5	0	0.5	35	1	999.5
RD-FEED2	1	0	0	0	64.65	1	5870.67
RD-DIST	0.929	0	0	0.071	74.36	1	5320.17
NAOCH ₃	0.339	0	0.435	0.225	86.64	1	1550
WASTE	0.538	0	0	0.464	80.46	1	813.453
RAD-DIST	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4506.68
SP	0.99	0	0	0.01	64.65	1	36.05
CH ₃ OH-RE	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4470.66

ตารางที่ ก.2 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 35°C , RD = 21 stage ,
RAD = 30 stage)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
NAOH	0	0.5	0	0.5	30	1	999.5
CH ₃ OH	1	0	0	0	30	1	1400
RD-FEED1	0	0.5	0	0.5	35	1	999.5
RD-FEED2	1	0	0	0	64.65	1	5870.63

ตารางที่ ก.2 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 35°C , RD = 21 stage ,
RAD = 30 stage) (ต่อ)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
RD-DIST	0.929	0	0	0.071	74.39	1	5320.17
NAOCH3	0.34	0	0.435	0.225	86.596	1	1550
WASTE	0.537	0	0	0.463	80.51	1	813.447
RAD-DIST	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4506.68
SP	0.99	0	0	0.01	64.65	1	36.05
CH3OH-RE	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4470.63

ตารางที่ ก.3 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 35°C , RD = 22 stage ,
RAD = 30 stage)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
NAOH	0	0.5	0	0.5	30	1	999.5
CH3OH	1	0	0	0	30	1	1400
RD-FEED1	0	0.5	0	0.5	35	1	999.5
RD-FEED2	1	0	0	0	64.65	1	5870.63
RD-DIST	0.929	0	0	0.071	74.38	1	5320.13
NAOCH3	0.340	0	0.435	0.225	86.61	1	1550
WASTE	0.537	0	0	0.463	80.46	1	813.447
RAD-DIST	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4506.68
SP	0.99	0	0	0.01	64.65	1	36.05
CH3OH-RE	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4470.63

ตารางที่ ก.4 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 35°C , RD = 23 stage ,
RAD = 30 stage)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
NAOH	0	0.5	0	0.5	30	1	999.5
CH ₃ OH	1	0	0	0	30	1	1400
RD-FEED1	0	0.5	0	0.5	35	1	999.5
RD-FEED2	1	0	0	0	64.65	1	5870.63
RD-DIST	0.929	0	0	0.071	74.38	1	5320.13
NAOCH ₃	0.340	0	0.435	0.225	86.61	1	1550
WASTE	0.537	0	0	0.463	80.49	1	813.447
RAD-DIST	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4506.68
SP	0.99	0	0	0.01	64.65	1	36.05
CH ₃ OH-RE	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4470.63

ตารางที่ ก.5 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 35°C , RD = 24 stage ,
RAD = 30 stage)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
NAOH	0	0.5	0	0.5	30	1	999.5
CH ₃ OH	1	0	0	0	30	1	1400
RD-FEED1	0	0.5	0	0.5	35	1	999.5
RD-FEED2	1	0	0	0	64.65	1	5870.63
RD-DIST	0.929	0	0	0.071	74.38	1	5320.13
NAOCH ₃	0.340	0	0.435	0.225	86.60	1	1550

ตารางที่ ก.5 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 35°C , RD = 24 stage ,
RAD = 30 stage) (ต่อ)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
WASTE	0.537	0	0	0.463	80.49	1	813.447
RAD-DIST	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4506.68
SP	0.99	0	0	0.01	64.65	1	36.05
CH3OH-RE	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4470.63

ตารางที่ ก.6 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 35°C , RD = 25 stage ,
RAD = 30 stage)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
NAOH	0	0.5	0	0.5	30	1	999.5
CH3OH	1	0	0	0	30	1	1400
RD-FEED1	0	0.5	0	0.5	35	1	999.5
RD-FEED2	1	0	0	0	64.65	1	5870.67
RD-DIST	0.929	0	0	0.071	74.39	1	5320.17
NAOCH3	0.34	0	0.435	0.224	86.596	1	1550
WASTE	0.536	0	0	0.464	80.51	1	813.453
RAD-DIST	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4506.68
SP	0.99	0	0	0.01	64.65	1	36.05
CH3OH-RE	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4470.66

ตารางที่ ก.7 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 35°C , RD = 26 stage ,
RAD = 30 stage)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
NAOH	0	0.5	0	0.5	30	1	999.5
CH ₃ OH	1	0	0	0	30	1	1400
RD-FEED1	0	0.5	0	0.5	35	1	999.5
RD-FEED2	1	0	0	0	64.65	1	5870.62
RD-DIST	0.929	0	0	0.071	74.39	1	5320.12
NAOCH ₃	0.34	0	0.435	0.224	86.596	1	1550
WASTE	0.536	0	0	0.464	80.51	1	813.447
RAD-DIST	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4506.68
SP	0.99	0	0	0.01	64.65	1	36.05
CH ₃ OH-RE	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4470.66

ตารางที่ ก.8 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 35°C , RD = 27 stage ,
RAD = 30 stage)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
NAOH	0	0.5	0	0.5	30	1	999.5
CH ₃ OH	1	0	0	0	30	1	1400
RD-FEED1	0	0.5	0	0.5	35	1	999.5
RD-FEED2	1	0	0	0	64.65	1	5870.67
RD-DIST	0.929	0	0	0.071	74.39	1	5320.17
NAOCH ₃	0.34	0	0.435	0.224	86.58	1	1550

ตารางที่ ก.8 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 35°C , RD = 27 stage ,
RAD = 30 stage) (ต่อ)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
WASTE	0.536	0	0	0.464	80.51	1	813.453
RAD-DIST	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4506.68
SP	0.99	0	0	0.01	64.65	1	36.05
CH3OH-RE	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4470.66

ตารางที่ ก.9 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 35°C , RD = 28 stage ,
RAD = 30 stage)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
NAOH	0	0.5	0	0.5	30	1	999.5
CH3OH	1	0	0	0	30	1	1400
RD-FEED1	0	0.5	0	0.5	35	1	999.5
RD-FEED2	1	0	0	0	64.65	1	5870.62
RD-DIST	0.929	0	0	0.071	74.39	1	5320.12
NAOCH3	0.34	0	0.435	0.224	86.58	1	1550
WASTE	0.536	0	0	0.464	80.53	1	813.447
RAD-DIST	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4506.68
SP	0.99	0	0	0.01	64.65	1	36.05
CH3OH-RE	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4470.60

ตารางที่ ก.10 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 35°C , RD = 29 stage ,
RAD = 30 stage)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
NAOH	0	0.5	0	0.5	30	1	999.5
CH ₃ OH	1	0	0	0	30	1	1400
RD-FEED1	0	0.5	0	0.5	35	1	999.5
RD-FEED2	1	0	0	0	64.65	1	5870.62
RD-DIST	0.929	0	0	0.071	74.39	1	5320.12
NAOCH ₃	0.34	0	0.435	0.224	86.58	1	1550
WASTE	0.536	0	0	0.464	80.53	1	813.447
RAD-DIST	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4506.68
SP	0.99	0	0	0.01	64.65	1	36.05
CH ₃ OH-RE	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4470.60

ตารางที่ ก.11 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 35°C , RD = 30 stage ,
RAD = 30 stage)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
NAOH	0	0.5	0	0.5	30	1	999.5
CH ₃ OH	1	0	0	0	30	1	1400
RD-FEED1	0	0.5	0	0.5	35	1	999.5
RD-FEED2	1	0	0	0	64.65	1	5870.62
RD-DIST	0.929	0	0	0.071	74.40	1	5320.12
NAOCH ₃	0.34	0	0.435	0.224	86.57	1	1550

ตารางที่ ก.11 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 35°C , RD = 30 stage ,
RAD = 30 stage) (ต่อ)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
WASTE	0.536	0	0	0.464	80.53	1	813.447
RAD-DIST	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4506.68
SP	0.99	0	0	0.01	64.65	1	36.05
CH3OH-RE	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4470.62

ตารางที่ ก.12 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 40°C , RD = 20 stage ,
RAD = 30 stage)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
NAOH	0	0.5	0	0.5	30	1	999.5
CH3OH	1	0	0	0	30	1	1400
RD-FEED1	0	0.5	0	0.5	40	1	999.5
RD-FEED2	1	0	0	0	64.65	1	5870.67
RD-DIST	0.929	0	0	0.071	74.40	1	5320.17
NAOCH3	0.340	0	0.435	0.224	86.58	1	1550
WASTE	0.536	0	0	0.464	80.52	1	813.445
RAD-DIST	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4506.66
SP	0.99	0	0	0.01	64.65	1	36.05
CH3OH-RE	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4470.61

ตารางที่ ก.13 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 40°C , RD = 21 stage ,
RAD = 30 stage)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
NAOH	0	0.5	0	0.5	30	1	999.5
CH ₃ OH	1	0	0	0	30	1	1400
RD-FEED1	0	0.5	0	0.5	40	1	999.5
RD-FEED2	1	0	0	0	64.65	1	5870.61
RD-DIST	0.929	0	0	0.071	74.40	1	5320.11
NAOCH ₃	0.341	0	0.435	0.224	86.57	1	1550
WASTE	0.535	0	0	0.465	80.53	1	813.445
RAD-DIST	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4506.67
SP	0.99	0	0	0.01	64.65	1	36.05
CH ₃ OH-RE	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4470.61

ตารางที่ ก.14 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 40°C , RD = 22 stage ,
RAD = 30 stage)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
NAOH	0	0.5	0	0.5	30	1	999.5
CH ₃ OH	1	0	0	0	30	1	1400
RD-FEED1	0	0.5	0	0.5	40	1	999.5
RD-FEED2	1	0	0	0	64.65	1	5870.61
RD-DIST	0.929	0	0	0.071	74.41	1	5320.11
NAOCH ₃	0.341	0	0.435	0.224	86.56	1	1550

ตารางที่ ก.14 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 40°C , RD = 22 stage ,
RAD = 30 stage) (ต่อ)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ O H	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
WASTE	0.535	0	0	0.465	80.54	1	813.445
RAD-DIST	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4506.67
SP	0.99	0	0	0.01	64.65	1	36.05
CH3OH-RE	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4470.61

ตารางที่ ก.15 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 40°C , RD = 23 stage ,
RAD = 30 stage)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ O H	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
NAOH	0	0.5	0	0.5	30	1	999.5
CH3OH	1	0	0	0	30	1	1400
RD-FEED1	0	0.5	0	0.5	40	1	999.5
RD-FEED2	1	0	0	0	64.65	1	5870.61
RD-DIST	0.929	0	0	0.071	74.41	1	5320.11
NAOCH3	0.341	0	0.435	0.224	86.55	1	1550
WASTE	0.535	0	0	0.465	80.56	1	813.445
RAD-DIST	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4506.67
SP	0.99	0	0	0.01	64.65	1	36.05
CH3OH-RE	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4470.62

ตารางที่ ก.16 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 40°C , RD = 24 stage ,
RAD = 30 stage)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
NAOH	0	0.5	0	0.5	30	1	999.5
CH ₃ OH	1	0	0	0	30	1	1400
RD-FEED1	0	0.5	0	0.5	40	1	999.5
RD-FEED2	1	0	0	0	64.65	1	5870.62
RD-DIST	0.929	0	0	0.071	74.42	1	5320.12
NAOCH ₃	0.341	0	0.435	0.224	86.55	1	1550
WASTE	0.535	0	0	0.465	80.56	1	813.446
RAD-DIST	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4506.67
SP	0.99	0	0	0.01	64.65	1	36.05
CH ₃ OH-RE	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4470.62

ตารางที่ ก.17 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 40°C , RD = 25 stage ,
RAD = 30 stage)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
NAOH	0	0.5	0	0.5	30	1	999.5
CH ₃ OH	1	0	0	0	30	1	1400
RD-FEED1	0	0.5	0	0.5	40	1	999.5
RD-FEED2	1	0	0	0	64.65	1	5870.62

ตารางที่ ก.17 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 40°C , RD = 25 stage ,
RAD = 30 stage) (ต่อ)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
RD-DIST	0.929	0	0	0.071	74.42	1	5320.12
NAOCH3	0.341	0	0.435	0.223	86.54	1	1550
WASTE	0.534	0	0	0.466	80.58	1	813.446
RAD-DIST	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4506.67
SP	0.99	0	0	0.01	64.65	1	36.05
CH3OH-RE	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4470.62

ตารางที่ ก.18 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 40°C , RD = 26 stage ,
RAD = 30 stage)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
NAOH	0	0.5	0	0.5	30	1	999.5
CH3OH	1	0	0	0	30	1	1400
RD-FEED1	0	0.5	0	0.5	40	1	999.5
RD-FEED2	1	0	0	0	64.65	1	5870.62
RD-DIST	0.929	0	0	0.071	74.42	1	5320.12
NAOCH3	0.341	0	0.435	0.224	86.53	1	1550
WASTE	0.535	0	0	0.465	80.58	1	813.445
RAD-DIST	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4506.67
SP	0.99	0	0	0.01	64.65	1	36.05
CH3OH-RE	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4470.62

ตารางที่ ก.19 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 40°C , RD = 27 stage ,
RAD = 30 stage)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
NAOH	0	0.5	0	0.5	30	1	999.5
CH3OH	1	0	0	0	30	1	1400
RD-FEED1	0	0.5	0	0.5	40	1	999.5
RD-FEED2	1	0	0	0	64.65	1	5870.62
RD-DIST	0.929	0	0	0.071	74.42	1	5320.12
NAOCH3	0.341	0	0.435	0.224	86.53	1	1550
WASTE	0.534	0	0	0.466	80.58	1	813.445
RAD-DIST	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4506.67
SP	0.99	0	0	0.01	64.65	1	36.05
CH3OH-RE	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4470.62

ตารางที่ ก.20 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 40°C , RD = 28 stage ,
RAD = 30 stage)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
NAOH	0	0.5	0	0.5	30	1	999.5
CH3OH	1	0	0	0	30	1	1400
RD-FEED1	0	0.5	0	0.5	40	1	999.5
RD-FEED2	1	0	0	0	64.65	1	5870.62
RD-DIST	0.929	0	0	0.071	74.42	1	5320.12
NAOCH3	0.342	0	0.435	0.223	86.53	1	1550

ตารางที่ ก.20 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 40°C , RD = 28 stage ,
RAD = 30 stage) (ต่อ)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
WASTE	0.534	0	0	0.466	80.58	1	813.446
RAD-DIST	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4506.67
SP	0.99	0	0	0.01	64.65	1	36.05
CH3OH-RE	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4470.62

ตารางที่ ก.21 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 40°C , RD = 29 stage ,
RAD = 30 stage)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
NAOH	0	0.5	0	0.5	30	1	999.5
CH3OH	1	0	0	0	30	1	1400
RD-FEED1	0	0.5	0	0.5	40	1	999.5
RD-FEED2	1	0	0	0	64.65	1	5870.62
RD-DIST	0.929	0	0	0.071	74.42	1	5320.12
NAOCH3	0.341	0	0.435	0.224	86.52	1	1550
WASTE	0.534	0	0	0.466	80.60	1	813.445
RAD-DIST	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4506.67
SP	0.99	0	0	0.01	64.65	1	36.05
CH3OH-RE	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4470.62

ตารางที่ ก.22 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 40°C , RD = 30 stage ,
RAD = 30 stage)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
NAOH	0	0.5	0	0.5	30	1	999.5
CH ₃ OH	1	0	0	0	30	1	1400
RD-FEED1	0	0.5	0	0.5	40	1	999.5
RD-FEED2	1	0	0	0	64.65	1	5870.62
RD-DIST	0.929	0	0	0.071	74.43	1	5320.12
NAOCH ₃	0.341	0	0.435	0.224	86.51	1	1550
WASTE	0.533	0	0	0.467	80.66	1	813.445
RAD-DIST	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4506.67
SP	0.99	0	0	0.01	64.65	1	36.05
CH ₃ OH-RE	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4470.62

ตารางที่ ก.23 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 45°C , RD = 20 stage ,
RAD = 30 stage)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
NAOH	0	0.5	0	0.5	30	1	999.5
CH ₃ OH	1	0	0	0	30	1	1400
RD-FEED1	0	0.5	0	0.5	45	1	999.5
RD-FEED2	1	0	0	0	64.65	1	5870.57
RD-DIST	0.929	0	0	0.071	74.43	1	5320.07
NAOCH ₃	0.342	0	0.435	0.223	86.53	1	1550

ตารางที่ ก.23 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 45°C , RD = 20 stage ,
RAD = 30 stage) (ต่อ)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
WASTE	0.533	0	0	0.467	80.59	1	813.438
RAD-DIST	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4506.63
SP	0.99	0	0	0.01	64.65	1	36.05
CH3OH-RE	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4470.58

ตารางที่ ก.24 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 45°C , RD = 21 stage ,
RAD = 30 stage)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
NAOH	0	0.5	0	0.5	30	1	999.5
CH3OH	1	0	0	0	30	1	1400
RD-FEED1	0	0.5	0	0.5	45	1	999.5
RD-FEED2	1	0	0	0	64.65	1	5870.57
RD-DIST	0.929	0	0	0.071	74.43	1	5320.07
NAOCH3	0.342	0	0.435	0.223	86.53	1	1550
WASTE	0.533	0	0	0.467	80.59	1	813.438
RAD-DIST	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4506.63
SP	0.99	0	0	0.01	64.65	1	36.05
CH3OH-RE	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4470.58

ตารางที่ ก.25 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 45°C , RD = 22 stage ,
RAD = 30 stage)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
NAOH	0	0.5	0	0.5	30	1	999.5
CH ₃ OH	1	0	0	0	30	1	1400
RD-FEED1	0	0.5	0	0.5	45	1	999.5
RD-FEED2	1	0	0	0	64.65	1	5870.61
RD-DIST	0.929	0	0	0.071	74.44	1	5320.11
NAOCH ₃	0.342	0	0.435	0.223	86.50	1	1550
WASTE	0.533	0	0	0.467	80.62	1	813.445
RAD-DIST	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4506.67
SP	0.99	0	0	0.01	64.65	1	36.05
CH ₃ OH-RE	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4470.61

ตารางที่ ก.26 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 45°C , RD = 23 stage ,
RAD = 30 stage)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
NAOH	0	0.5	0	0.5	30	1	999.5
CH ₃ OH	1	0	0	0	30	1	1400
RD-FEED1	0	0.5	0	0.5	45	1	999.5
RD-FEED2	1	0	0	0	64.65	1	5870.61
RD-DIST	0.929	0	0	0.071	74.44	1	5320.11
NAOCH ₃	0.342	0	0.435	0.223	86.49	1	1550

ตารางที่ ก.26 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 45°C , RD = 23 stage ,
RAD = 30 stage) (ต่อ)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
WASTE	0.533	0	0	0.467	80.63	1	813.445
RAD-DIST	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4506.67
SP	0.99	0	0	0.01	64.65	1	36.05
CH3OH-RE	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4470.62

ตารางที่ ก.27 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 45°C , RD = 24 stage ,
RAD = 30 stage)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
NAOH	0	0.5	0	0.5	30	1	999.5
CH3OH	1	0	0	0	30	1	1400
RD-FEED1	0	0.5	0	0.5	45	1	999.5
RD-FEED2	1	0	0	0	64.65	1	5870.62
RD-DIST	0.929	0	0	0.071	74.45	1	5320.12
NAOCH3	0.342	0	0.435	0.223	86.49	1	1550
WASTE	0.533	0	0	0.467	80.64	1	813.445
RAD-DIST	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4506.67
SP	0.99	0	0	0.01	64.65	1	36.05
CH3OH-RE	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4470.62

ตารางที่ ก.28 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 45°C , RD = 25 stage ,
RAD = 30 stage)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
NAOH	0	0.5	0	0.5	30	1	999.5
CH ₃ OH	1	0	0	0	30	1	1400
RD-FEED1	0	0.5	0	0.5	45	1	999.5
RD-FEED2	1	0	0	0	64.65	1	5870.62
RD-DIST	0.928	0	0	0.072	74.45	1	5320.12
NAOCH ₃	0.342	0	0.435	0.222	86.48	1	1550
WASTE	0.532	0	0	0.468	80.64	1	813.446
RAD-DIST	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4506.67
SP	0.99	0	0	0.01	64.65	1	36.05
CH ₃ OH-RE	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4470.62

ตารางที่ ก.29 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 45°C , RD = 26 stage ,
RAD = 30 stage)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
NAOH	0	0.5	0	0.5	30	1	999.5
CH ₃ OH	1	0	0	0	30	1	1400
RD-FEED1	0	0.5	0	0.5	45	1	999.5
RD-FEED2	1	0	0	0	64.65	1	5870.62
RD-DIST	0.928	0	0	0.072	74.45	1	5320.12
NAOCH ₃	0.342	0	0.435	0.222	86.48	1	1550

ตารางที่ ก.29 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 45°C , RD = 26 stage ,
RAD = 30 stage) (ต่อ)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
WASTE	0.532	0	0	0.468	80.64	1	813.446
RAD-DIST	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4506.67
SP	0.99	0	0	0.01	64.65	1	36.05
CH3OH-RE	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4470.62

ตารางที่ ก.30 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 45°C , RD = 27 stage ,
RAD = 30 stage)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
NAOH	0	0.5	0	0.5	30	1	999.5
CH3OH	1	0	0	0	30	1	1400
RD-FEED1	0	0.5	0	0.5	45	1	999.5
RD-FEED2	1	0	0	0	64.65	1	5870.62
RD-DIST	0.928	0	0	0.072	74.46	1	5320.12
NAOCH3	0.342	0	0.435	0.222	86.47	1	1550
WASTE	0.532	0	0	0.468	80.66	1	813.446
RAD-DIST	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4506.67
SP	0.99	0	0	0.01	64.65	1	36.05
CH3OH-RE	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4470.62

ตารางที่ ก.31 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 45°C , RD = 28 stage ,
RAD = 30 stage)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
NAOH	0	0.5	0	0.5	30	1	999.5
CH ₃ OH	1	0	0	0	30	1	1400
RD-FEED1	0	0.5	0	0.5	45	1	999.5
RD-FEED2	1	0	0	0	64.65	1	5870.62
RD-DIST	0.928	0	0	0.072	74.46	1	5320.12
NAOCH ₃	0.342	0	0.435	0.222	86.46	1	1550
WASTE	0.532	0	0	0.468	80.66	1	813.446
RAD-DIST	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4506.67
SP	0.99	0	0	0.01	64.65	1	36.05
CH ₃ OH-RE	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4470.62

ตารางที่ ก.32 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 45°C , RD = 29 stage ,
RAD = 30 stage)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
NAOH	0	0.5	0	0.5	30	1	999.5
CH ₃ OH	1	0	0	0	30	1	1400
RD-FEED1	0	0.5	0	0.5	45	1	999.5
RD-FEED2	1	0	0	0	64.65	1	5870.62
RD-DIST	0.928	0	0	0.072	74.46	1	5320.12
NAOCH ₃	0.342	0	0.435	0.222	86.46	1	1550

ตารางที่ ก.32 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 45°C , RD = 29 stage ,
RAD = 30 stage) (ต่อ)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
WASTE	0.532	0	0	0.468	80.67	1	813.446
RAD-DIST	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4506.67
SP	0.99	0	0	0.01	64.65	1	36.05
CH3OH-RE	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4470.62

ตารางที่ ก.33 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 45°C , RD = 30 stage ,
RAD = 30 stage)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
NAOH	0	0.5	0	0.5	30	1	999.5
CH3OH	1	0	0	0	30	1	1400
RD-FEED1	0	0.5	0	0.5	45	1	999.5
RD-FEED2	1	0	0	0	64.65	1	5870.62
RD-DIST	0.928	0	0	0.072	74.46	1	5320.12
NAOCH3	0.342	0	0.435	0.222	86.46	1	1550
WASTE	0.532	0	0	0.468	80.66	1	813.446
RAD-DIST	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4506.67
SP	0.99	0	0	0.01	64.65	1	36.05
CH3OH-RE	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4470.62

ตารางที่ ก.34 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 50°C , RD = 20 stage ,
RAD = 30 stage)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
NAOH	0	0.5	0	0.5	30	1	999.5
CH ₃ OH	1	0	0	0	30	1	1400
RD-FEED1	0	0.5	0	0.5	50	1	999.5
RD-FEED2	1	0	0	0	64.65	1	5870.64
RD-DIST	0.928	0	0	0.072	74.46	1	5320.12
NAOCH ₃	0.342	0	0.435	0.222	86.47	1	1550
WASTE	0.532	0	0	0.468	80.66	1	813.45
RAD-DIST	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4506.69
SP	0.99	0	0	0.01	64.65	1	36.05
CH ₃ OH-RE	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4470.62

ตารางที่ ก.35 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 50°C , RD = 21 stage ,
RAD = 30 stage)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
NAOH	0	0.5	0	0.5	30	1	999.5
CH ₃ OH	1	0	0	0	30	1	1400
RD-FEED1	0	0.5	0	0.5	50	1	999.5
RD-FEED2	1	0	0	0	64.65	1	5870.64
RD-DIST	0.928	0	0	0.072	74.47	1	5320.14
NAOCH ₃	0.342	0	0.435	0.222	86.46	1	1550

ตารางที่ ก.35 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 50°C , RD = 21 stage ,
RAD = 30 stage) (ต่อ)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
WASTE	0.532	0	0	0.468	80.67	1	813.45
RAD-DIST	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4506.69
SP	0.99	0	0	0.01	64.65	1	36.05
CH3OH-RE	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4470.64

ตารางที่ ก.36 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 50°C , RD = 22 stage ,
RAD = 30 stage)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
NAOH	0	0.5	0	0.5	30	1	999.5
CH3OH	1	0	0	0	30	1	1400
RD-FEED1	0	0.5	0	0.5	50	1	999.5
RD-FEED2	1	0	0	0	64.65	1	5870.64
RD-DIST	0.928	0	0	0.072	74.47	1	5320.14
NAOCH3	0.342	0	0.435	0.222	86.45	1	1550
WASTE	0.531	0	0	0.469	80.68	1	813.45
RAD-DIST	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4506.69
SP	0.99	0	0	0.01	64.65	1	36.05
CH3OH-RE	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4470.64

ตารางที่ ก.37 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 50°C , RD = 23 stage ,
RAD = 30 stage)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
NAOH	0	0.5	0	0.5	30	1	999.5
CH ₃ OH	1	0	0	0	30	1	1400
RD-FEED1	0	0.5	0	0.5	50	1	999.5
RD-FEED2	1	0	0	0	64.65	1	5870.64
RD-DIST	0.928	0	0	0.072	74.47	1	5320.14
NAOCH ₃	0.343	0	0.435	0.221	86.44	1	1550
WASTE	0.531	0	0	0.469	80.69	1	813.45
RAD-DIST	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4506.69
SP	0.99	0	0	0.01	64.65	1	36.05
CH ₃ OH-RE	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4470.63

ตารางที่ ก.38 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 50°C , RD = 24 stage ,
RAD = 30 stage)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
NAOH	0	0.5	0	0.5	30	1	999.5
CH ₃ OH	1	0	0	0	30	1	1400
RD-FEED1	0	0.5	0	0.5	50	1	999.5
RD-FEED2	1	0	0	0	64.65	1	5870.63
RD-DIST	0.928	0	0	0.072	74.48	1	5320.13
NAOCH ₃	0.343	0	0.435	0.221	86.43	1	1550

ตารางที่ ก.38 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 50°C , RD = 24 stage ,
RAD = 30 stage) (ต่อ)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
WASTE	0.531	0	0	0.469	80.70	1	813.45
RAD-DIST	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4506.68
SP	0.99	0	0	0.01	64.65	1	36.05
CH3OH-RE	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4470.63

ตารางที่ ก.39 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 50°C , RD = 25 stage ,
RAD = 30 stage)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
NAOH	0	0.5	0	0.5	30	1	999.5
CH3OH	1	0	0	0	30	1	1400
RD-FEED1	0	0.5	0	0.5	50	1	999.5
RD-FEED2	1	0	0	0	64.65	1	5870.61
RD-DIST	0.928	0	0	0.072	74.48	1	5320.11
NAOCH3	0.343	0	0.435	0.221	86.48	1	1550
WASTE	0.532	0	0	0.468	80.64	1	813.444
RAD-DIST	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4506.66
SP	0.99	0	0	0.01	64.65	1	36.05
CH3OH-RE	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4470.61

ตารางที่ ก.40 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 50°C , RD = 26 stage ,
RAD = 30 stage)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
NAOH	0	0.5	0	0.5	30	1	999.5
CH ₃ OH	1	0	0	0	30	1	1400
RD-FEED1	0	0.5	0	0.5	50	1	999.5
RD-FEED2	1	0	0	0	64.65	1	5870.63
RD-DIST	0.928	0	0	0.072	74.48	1	5320.13
NAOCH ₃	0.343	0	0.435	0.221	86.41	1	1550
WASTE	0.530	0	0	0.47	80.72	1	813.45
RAD-DIST	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4506.68
SP	0.99	0	0	0.01	64.65	1	36.05
CH ₃ OH-RE	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4470.63

ตารางที่ ก.41 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 50°C , RD = 27 stage ,
RAD = 30 stage)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
NAOH	0	0.5	0	0.5	30	1	999.5
CH ₃ OH	1	0	0	0	30	1	1400
RD-FEED1	0	0.5	0	0.5	50	1	999.5
RD-FEED2	1	0	0	0	64.65	1	5870.63
RD-DIST	0.928	0	0	0.072	74.49	1	5320.13
NAOCH ₃	0.344	0	0.435	0.221	86.41	1	1550

ตารางที่ ก.41 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 50°C , RD = 27 stage ,
RAD = 30 stage) (ต่อ)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
WASTE	0.530	0	0	0.47	80.73	1	813.45
RAD-DIST	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4506.68
SP	0.99	0	0	0.01	64.65	1	36.05
CH3OH-RE	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4470.63

ตารางที่ ก.42 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 50°C , RD = 28 stage ,
RAD = 30 stage)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
NAOH	0	0.5	0	0.5	30	1	999.5
CH3OH	1	0	0	0	30	1	1400
RD-FEED1	0	0.5	0	0.5	50	1	999.5
RD-FEED2	1	0	0	0	64.65	1	5870.63
RD-DIST	0.928	0	0	0.072	74.49	1	5320.13
NAOCH3	0.343	0	0.435	0.221	86.40	1	1550
WASTE	0.530	0	0	0.47	80.74	1	813.45
RAD-DIST	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4506.68
SP	0.99	0	0	0.01	64.65	1	36.05
CH3OH-RE	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4470.63

ตารางที่ ก.43 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 50°C , RD = 29 stage ,
RAD = 30 stage)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
NAOH	0	0.5	0	0.5	30	1	999.5
CH ₃ OH	1	0	0	0	30	1	1400
RD-FEED1	0	0.5	0	0.5	50	1	999.5
RD-FEED2	1	0	0	0	64.65	1	5870.63
RD-DIST	0.928	0	0	0.072	74.50	1	5320.13
NAOCH ₃	0.343	0	0.435	0.221	86.40	1	1550
WASTE	0.530	0	0	0.47	80.74	1	813.45
RAD-DIST	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4506.68
SP	0.99	0	0	0.01	64.65	1	36.05
CH ₃ OH-RE	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4470.63

ตารางที่ ก.44 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 50°C , RD = 30 stage ,
RAD = 30 stage)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
NAOH	0	0.5	0	0.5	30	1	999.5
CH ₃ OH	1	0	0	0	30	1	1400
RD-FEED1	0	0.5	0	0.5	50	1	999.5
RD-FEED2	1	0	0	0	64.65	1	5870.63
RD-DIST	0.928	0	0	0.072	74.50	1	5320.13
NAOCH ₃	0.344	0	0.435	0.221	86.39	1	1550

ตารางที่ ก.44 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 50°C , RD = 30 stage ,
RAD = 30 stage) (ต่อ)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
WASTE	0.529	0	0	0.471	80.75	1	813.45
RAD-DIST	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4506.68
SP	0.99	0	0	0.01	64.65	1	36.05
CH3OH-RE	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4470.63

ตารางที่ ก.45 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 55°C , RD = 20 stage ,
RAD = 30 stage)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
NAOH	0	0.5	0	0.5	30	1	999.5
CH3OH	1	0	0	0	30	1	1400
RD-FEED1	0	0.5	0	0.5	55	1	999.5
RD-FEED2	1	0	0	0	64.65	1	5870.64
RD-DIST	0.928	0	0	0.072	74.49	1	5320.14
NAOCH3	0.343	0	0.435	0.221	86.41	1	1550
WASTE	0.530	0	0	0.47	80.72	1	813.45
RAD-DIST	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4506.69
SP	0.99	0	0	0.01	64.65	1	36.05
CH3OH-RE	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4470.64

ตารางที่ ก.46 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 55°C , RD = 21 stage ,
RAD = 30 stage)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
NAOH	0	0.5	0	0.5	30	1	999.5
CH ₃ OH	1	0	0	0	30	1	1400
RD-FEED1	0	0.5	0	0.5	55	1	999.5
RD-FEED2	1	0	0	0	64.65	1	5870.64
RD-DIST	0.928	0	0	0.072	74.50	1	5320.14
NAOCH ₃	0.343	0	0.435	0.221	86.40	1	1550
WASTE	0.530	0	0	0.47	80.74	1	813.45
RAD-DIST	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4506.69
SP	0.99	0	0	0.01	64.65	1	36.05
CH ₃ OH-RE	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4470.64

ตารางที่ ก.47 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 55°C , RD = 22 stage ,
RAD = 30 stage)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
NAOH	0	0.5	0	0.5	30	1	999.5
CH ₃ OH	1	0	0	0	30	1	1400
RD-FEED1	0	0.5	0	0.5	55	1	999.5
RD-FEED2	1	0	0	0	64.65	1	5870.64
RD-DIST	0.928	0	0	0.072	74.50	1	5320.14
NAOCH ₃	0.344	0	0.435	0.221	86.40	1	1550

ตารางที่ ก.47 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 55°C , RD = 22 stage ,
RAD = 30 stage) (ต่อ)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
WASTE	0.529	0	0	0.471	80.74	1	813.45
RAD-DIST	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4506.69
SP	0.99	0	0	0.01	64.65	1	36.05
CH3OH-RE	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4470.64

ตารางที่ ก.48 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 55°C , RD = 23 stage ,
RAD = 30 stage)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
NAOH	0	0.5	0	0.5	30	1	999.5
CH3OH	1	0	0	0	30	1	1400
RD-FEED1	0	0.5	0	0.5	55	1	999.5
RD-FEED2	1	0	0	0	64.65	1	5870.64
RD-DIST	0.928	0	0	0.072	74.50	1	5320.14
NAOCH3	0.343	0	0.435	0.221	86.40	1	1550
WASTE	0.529	0	0	0.471	80.76	1	813.45
RAD-DIST	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4506.69
SP	0.99	0	0	0.01	64.65	1	36.05
CH3OH-RE	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4470.64

ตารางที่ ก.49 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 55°C , RD = 24 stage ,
RAD = 30 stage)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
NAOH	0	0.5	0	0.5	30	1	999.5
CH ₃ OH	1	0	0	0	30	1	1400
RD-FEED1	0	0.5	0	0.5	55	1	999.5
RD-FEED2	1	0	0	0	64.65	1	5870.63
RD-DIST	0.928	0	0	0.072	74.51	1	5320.14
NAOCH ₃	0.344	0	0.435	0.220	86.37	1	1550
WASTE	0.529	0	0	0.471	80.77	1	813.45
RAD-DIST	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4506.69
SP	0.99	0	0	0.01	64.65	1	36.05
CH ₃ OH-RE	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4470.63

ตารางที่ ก.50 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 55°C , RD = 25 stage ,
RAD = 30 stage)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
NAOH	0	0.5	0	0.5	30	1	999.5
CH ₃ OH	1	0	0	0	30	1	1400
RD-FEED1	0	0.5	0	0.5	55	1	999.5
RD-FEED2	1	0	0	0	64.65	1	5870.63
RD-DIST	0.928	0	0	0.072	74.51	1	5320.13
NAOCH ₃	0.344	0	0.435	0.220	86.37	1	1550

ตารางที่ ก.50 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 55°C , RD = 25 stage ,
RAD = 30 stage) (ต่อ)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
WASTE	0.529	0	0	0.471	80.78	1	813.45
RAD-DIST	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4506.69
SP	0.99	0	0	0.01	64.65	1	36.05
CH3OH-RE	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4470.63

ตารางที่ ก.51 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 55°C , RD = 26 stage ,
RAD = 30 stage)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
NAOH	0	0.5	0	0.5	30	1	999.5
CH3OH	1	0	0	0	30	1	1400
RD-FEED1	0	0.5	0	0.5	55	1	999.5
RD-FEED2	1	0	0	0	64.65	1	5870.63
RD-DIST	0.928	0	0	0.072	74.51	1	5320.14
NAOCH3	0.344	0	0.435	0.220	86.37	1	1550
WASTE	0.528	0	0	0.472	80.77	1	813.45
RAD-DIST	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4506.69
SP	0.99	0	0	0.01	64.65	1	36.05
CH3OH-RE	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4470.63

ตารางที่ ก.52 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 55°C , RD = 27 stage ,
RAD = 30 stage)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
NAOH	0	0.5	0	0.5	30	1	999.5
CH ₃ OH	1	0	0	0	30	1	1400
RD-FEED1	0	0.5	0	0.5	55	1	999.5
RD-FEED2	1	0	0	0	64.65	1	5870.63
RD-DIST	0.928	0	0	0.072	74.51	1	5320.14
NAOCH ₃	0.344	0	0.435	0.220	86.37	1	1550
WASTE	0.528	0	0	0.472	80.77	1	813.45
RAD-DIST	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4506.69
SP	0.99	0	0	0.01	64.65	1	36.05
CH ₃ OH-RE	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4470.63

ตารางที่ ก.53 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 55°C , RD = 28 stage ,
RAD = 30 stage)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
NAOH	0	0.5	0	0.5	30	1	999.5
CH ₃ OH	1	0	0	0	30	1	1400
RD-FEED1	0	0.5	0	0.5	55	1	999.5
RD-FEED2	1	0	0	0	64.65	1	5870.63
RD-DIST	0.928	0	0	0.072	74.53	1	5320.14
NAOCH ₃	0.344	0	0.435	0.220	86.35	1	1550

ตารางที่ ก.53 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 55°C , RD = 28 stage ,
RAD = 30 stage) (ต่อ)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
WASTE	0.528	0	0	0.472	80.80	1	813.45
RAD-DIST	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4506.68
SP	0.99	0	0	0.01	64.65	1	36.05
CH3OH-RE	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4470.63

ตารางที่ ก.54 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 55°C , RD = 29 stage ,
RAD = 30 stage)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
NAOH	0	0.5	0	0.5	30	1	999.5
CH3OH	1	0	0	0	30	1	1400
RD-FEED1	0	0.5	0	0.5	55	1	999.5
RD-FEED2	1	0	0	0	64.65	1	5870.63
RD-DIST	0.928	0	0	0.072	74.53	1	5320.13
NAOCH3	0.344	0	0.435	0.220	86.34	1	1550
WASTE	0.527	0	0	0.473	80.81	1	813.45
RAD-DIST	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4506.68
SP	0.99	0	0	0.01	64.65	1	36.05
CH3OH-RE	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4470.63

ตารางที่ ก.55 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 55°C , RD = 30 stage ,
RAD = 30 stage)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
NAOH	0	0.5	0	0.5	30	1	999.5
CH ₃ OH	1	0	0	0	30	1	1400
RD-FEED1	0	0.5	0	0.5	55	1	999.5
RD-FEED2	1	0	0	0	64.65	1	5870.63
RD-DIST	0.928	0	0	0.072	74.53	1	5320.13
NAOCH ₃	0.344	0	0.435	0.220	86.34	1	1550
WASTE	0.527	0	0	0.473	80.81	1	813.45
RAD-DIST	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4506.68
SP	0.99	0	0	0.01	64.65	1	36.05
CH ₃ OH-RE	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4470.63

ตารางที่ ก.56 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 60°C , RD = 20 stage ,
RAD = 30 stage)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
NAOH	0	0.5	0	0.5	30	1	999.5
CH ₃ OH	1	0	0	0	30	1	1400
RD-FEED1	0	0.5	0	0.5	60	1	999.5
RD-FEED2	1	0	0	0	64.65	1	5870.63
RD-DIST	0.928	0	0	0.072	74.53	1	5320.13
NAOCH ₃	0.344	0	0.435	0.220	86.36	1	1550

ตารางที่ ก.56 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 60°C , RD = 20 stage ,
RAD = 30 stage) (ต่อ)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
WASTE	0.527	0	0	0.473	80.79	1	813.45
RAD-DIST	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4506.68
SP	0.99	0	0	0.01	64.65	1	36.05
CH3OH-RE	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4470.63

ตารางที่ ก.57 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 60°C , RD = 21 stage ,
RAD = 30 stage)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
NAOH	0	0.5	0	0.5	30	1	999.5
CH3OH	1	0	0	0	30	1	1400
RD-FEED1	0	0.5	0	0.5	60	1	999.5
RD-FEED2	1	0	0	0	64.65	1	5870.63
RD-DIST	0.928	0	0	0.072	74.53	1	5320.13
NAOCH3	0.345	0	0.435	0.220	86.35	1	1550
WASTE	0.528	0	0	0.472	80.81	1	813.45
RAD-DIST	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4506.68
SP	0.99	0	0	0.01	64.65	1	36.05
CH3OH-RE	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4470.63

ตารางที่ ก.58 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 60°C , RD = 22 stage ,
RAD = 30 stage)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
NAOH	0	0.5	0	0.5	30	1	999.5
CH ₃ OH	1	0	0	0	30	1	1400
RD-FEED1	0	0.5	0	0.5	60	1	999.5
RD-FEED2	1	0	0	0	64.65	1	5870.63
RD-DIST	0.928	0	0	0.072	74.53	1	5320.13
NAOCH ₃	0.344	0	0.435	0.220	86.36	1	1550
WASTE	0.527	0	0	0.473	80.79	1	813.45
RAD-DIST	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4506.68
SP	0.99	0	0	0.01	64.65	1	36.05
CH ₃ OH-RE	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4470.63

ตารางที่ ก.59 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 60°C , RD = 23 stage ,
RAD = 30 stage)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
NAOH	0	0.5	0	0.5	30	1	999.5
CH ₃ OH	1	0	0	0	30	1	1400
RD-FEED1	0	0.5	0	0.5	60	1	999.5
RD-FEED2	1	0	0	0	64.65	1	5870.63
RD-DIST	0.928	0	0	0.072	74.53	1	5320.13
NAOCH ₃	0.345	0	0.435	0.219	86.36	1	1550

ตารางที่ ก.59 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 60°C , RD = 23 stage ,
RAD = 30 stage) (ต่อ)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
WASTE	0.527	0	0	0.473	80.79	1	813.45
RAD-DIST	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4506.68
SP	0.99	0	0	0.01	64.65	1	36.05
CH3OH-RE	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4470.63

ตารางที่ ก.60 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 60°C , RD = 24 stage ,
RAD = 30 stage)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
NAOH	0	0.5	0	0.5	30	1	999.5
CH3OH	1	0	0	0	30	1	1400
RD-FEED1	0	0.5	0	0.5	60	1	999.5
RD-FEED2	1	0	0	0	64.65	1	5870.63
RD-DIST	0.928	0	0	0.072	74.53	1	5320.13
NAOCH3	0.345	0	0.435	0.219	86.36	1	1550
WASTE	0.527	0	0	0.473	80.79	1	813.45
RAD-DIST	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4506.68
SP	0.99	0	0	0.01	64.65	1	36.05
CH3OH-RE	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4470.63

ตารางที่ ก.61 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 60°C , RD = 25 stage ,
RAD = 30 stage)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
NAOH	0	0.5	0	0.5	30	1	999.5
CH ₃ OH	1	0	0	0	30	1	1400
RD-FEED1	0	0.5	0	0.5	60	1	999.5
RD-FEED2	1	0	0	0	64.65	1	5870.63
RD-DIST	0.928	0	0	0.072	74.55	1	5320.13
NAOCH ₃	0.345	0	0.435	0.219	86.31	1	1550
WASTE	0.526	0	0	0.474	80.85	1	813.45
RAD-DIST	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4506.68
SP	0.99	0	0	0.01	64.65	1	36.05
CH ₃ OH-RE	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4470.63

ตารางที่ ก.62 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 60°C , RD = 26 stage ,
RAD = 30 stage)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
NAOH	0	0.5	0	0.5	30	1	999.5
CH ₃ OH	1	0	0	0	30	1	1400
RD-FEED1	0	0.5	0	0.5	60	1	999.5
RD-FEED2	1	0	0	0	64.65	1	5870.63
RD-DIST	0.928	0	0	0.072	74.55	1	5320.13
NAOCH ₃	0.345	0	0.435	0.219	86.30	1	1550

ตารางที่ ก.62 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 60°C , RD = 26 stage ,
RAD = 30 stage) (ต่อ)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
WASTE	0.526	0	0	0.474	80.86	1	813.45
RAD-DIST	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4506.68
SP	0.99	0	0	0.01	64.65	1	36.05
CH3OH-RE	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4470.63

ตารางที่ ก.63 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 60°C , RD = 27 stage ,
RAD = 30 stage)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
NAOH	0	0.5	0	0.5	30	1	999.5
CH3OH	1	0	0	0	30	1	1400
RD-FEED1	0	0.5	0	0.5	60	1	999.5
RD-FEED2	1	0	0	0	64.65	1	5870.63
RD-DIST	0.927	0	0	0.073	74.55	1	5320.13
NAOCH3	0.346	0	0.435	0.219	86.30	1	1550
WASTE	0.526	0	0	0.474	80.86	1	813.45
RAD-DIST	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4506.68
SP	0.99	0	0	0.01	64.65	1	36.05
CH3OH-RE	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4470.62

ตารางที่ ก.64 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 60°C , RD = 28 stage ,
RAD = 30 stage)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
NAOH	0	0.5	0	0.5	30	1	999.5
CH ₃ OH	1	0	0	0	30	1	1400
RD-FEED1	0	0.5	0	0.5	60	1	999.5
RD-FEED2	1	0	0	0	64.65	1	5870.62
RD-DIST	0.928	0	0	0.072	74.56	1	5320.12
NAOCH ₃	0.345	0	0.435	0.219	86.28	1	1550
WASTE	0.526	0	0	0.474	80.88	1	813.45
RAD-DIST	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4506.68
SP	0.99	0	0	0.01	64.65	1	36.05
CH ₃ OH-RE	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4470.62

ตารางที่ ก.65 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 60°C , RD = 29 stage ,
RAD = 30 stage)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
NAOH	0	0.5	0	0.5	30	1	999.5
CH ₃ OH	1	0	0	0	30	1	1400
RD-FEED1	0	0.5	0	0.5	60	1	999.5
RD-FEED2	1	0	0	0	64.65	1	5870.62
RD-DIST	0.927	0	0	0.073	74.56	1	5320.12
NAOCH ₃	0.345	0	0.435	0.219	86.28	1	1550

ตารางที่ ก.65 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 60°C , RD = 29 stage ,
RAD = 30 stage) (ต่อ)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
WASTE	0.525	0	0	0.475	80.88	1	813.45
RAD-DIST	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4506.68
SP	0.99	0	0	0.01	64.65	1	36.05
CH3OH-RE	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4470.62

ตารางที่ ก.66 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 60°C , RD = 30 stage ,
RAD = 30 stage)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
NAOH	0	0.5	0	0.5	30	1	999.5
CH3OH	1	0	0	0	30	1	1400
RD-FEED1	0	0.5	0	0.5	60	1	999.5
RD-FEED2	1	0	0	0	64.65	1	5870.62
RD-DIST	0.927	0	0	0.073	74.56	1	5320.12
NAOCH3	0.345	0	0.435	0.219	86.27	1	1550
WASTE	0.525	0	0	0.475	80.89	1	813.45
RAD-DIST	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4506.68
SP	0.99	0	0	0.01	64.65	1	36.05
CH3OH-RE	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4470.62

ตารางที่ ก.67 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 65°C , RD = 20 stage ,
RAD = 30 stage)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
NAOH	0	0.5	0	0.5	30	1	999.5
CH ₃ OH	1	0	0	0	30	1	1400
RD-FEED1	0	0.5	0	0.5	65	1	999.5
RD-FEED2	1	0	0	0	64.65	1	5870.62
RD-DIST	0.927	0	0	0.073	74.56	1	5320.12
NAOCH ₃	0.345	0	0.435	0.219	86.30	1	1550
WASTE	0.526	0	0	0.474	80.88	1	813.45
RAD-DIST	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4506.68
SP	0.99	0	0	0.01	64.65	1	36.05
CH ₃ OH-RE	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4470.62

ตารางที่ ก.68 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 65°C , RD = 21 stage ,
RAD = 30 stage)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
NAOH	0	0.5	0	0.5	30	1	999.5
CH ₃ OH	1	0	0	0	30	1	1400
RD-FEED1	0	0.5	0	0.5	65	1	999.5
RD-FEED2	1	0	0	0	64.65	1	5870.62
RD-DIST	0.927	0	0	0.073	74.56	1	5320.12
NAOCH ₃	0.345	0	0.435	0.219	86.29	1	1550

ตารางที่ ก.68 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 65°C , RD = 21 stage ,
RAD = 30 stage) (ต่อ)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
WASTE	0.526	0	0	0.474	80.87	1	813.45
RAD-DIST	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4506.68
SP	0.99	0	0	0.01	64.65	1	36.05
CH3OH-RE	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4470.62

ตารางที่ ก.69 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 65°C , RD = 22 stage ,
RAD = 30 stage)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
NAOH	0	0.5	0	0.5	30	1	999.5
CH3OH	1	0	0	0	30	1	1400
RD-FEED1	0	0.5	0	0.5	65	1	999.5
RD-FEED2	1	0	0	0	64.65	1	5870.62
RD-DIST	0.927	0	0	0.073	74.56	1	5320.12
NAOCH3	0.345	0	0.435	0.219	86.29	1	1550
WASTE	0.526	0	0	0.474	80.87	1	813.45
RAD-DIST	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4506.68
SP	0.99	0	0	0.01	64.65	1	36.05
CH3OH-RE	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4470.62

ตารางที่ ก.70 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 65°C , RD = 23 stage ,
RAD = 30 stage)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
NAOH	0	0.5	0	0.5	30	1	999.5
CH ₃ OH	1	0	0	0	30	1	1400
RD-FEED1	0	0.5	0	0.5	65	1	999.5
RD-FEED2	1	0	0	0	64.65	1	5870.62
RD-DIST	0.927	0	0	0.073	74.57	1	5320.12
NAOCH ₃	0.346	0	0.435	0.218	86.29	1	1550
WASTE	0.526	0	0	0.474	80.90	1	813.45
RAD-DIST	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4506.68
SP	0.99	0	0	0.01	64.65	1	36.05
CH ₃ OH-RE	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4470.62

ตารางที่ ก.71 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 65°C , RD = 24 stage ,
RAD = 30 stage)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
NAOH	0	0.5	0	0.5	30	1	999.5
CH ₃ OH	1	0	0	0	30	1	1400
RD-FEED1	0	0.5	0	0.5	65	1	999.5
RD-FEED2	1	0	0	0	64.65	1	5870.62
RD-DIST	0.927	0	0	0.073	74.58	1	5320.12
NAOCH ₃	0.346	0	0.435	0.218	86.26	1	1550

ตารางที่ ก.71 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 65°C , RD = 24 stage ,
RAD = 30 stage) (ต่อ)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
WASTE	0.525	0	0	0.475	80.91	1	813.45
RAD-DIST	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4506.68
SP	0.99	0	0	0.01	64.65	1	36.05
CH3OH-RE	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4470.62

ตารางที่ ก.72 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 65°C , RD = 25 stage ,
RAD = 30 stage)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
NAOH	0	0.5	0	0.5	30	1	999.5
CH3OH	1	0	0	0	30	1	1400
RD-FEED1	0	0.5	0	0.5	65	1	999.5
RD-FEED2	1	0	0	0	64.65	1	5870.62
RD-DIST	0.927	0	0	0.073	74.58	1	5320.12
NAOCH3	0.346	0	0.435	0.218	86.26	1	1550
WASTE	0.525	0	0	0.475	80.91	1	813.45
RAD-DIST	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4506.68
SP	0.99	0	0	0.01	64.65	1	36.05
CH3OH-RE	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4470.62

ตารางที่ ก.73 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 65°C , RD = 26 stage ,
RAD = 30 stage)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
NAOH	0	0.5	0	0.5	30	1	999.5
CH ₃ OH	1	0	0	0	30	1	1400
RD-FEED1	0	0.5	0	0.5	65	1	999.5
RD-FEED2	1	0	0	0	64.65	1	5870.62
RD-DIST	0.927	0	0	0.073	74.59	1	5320.12
NAOCH ₃	0.347	0	0.435	0.218	86.24	1	1550
WASTE	0.524	0	0	0.476	80.93	1	813.45
RAD-DIST	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4506.68
SP	0.99	0	0	0.01	64.65	1	36.05
CH ₃ OH-RE	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4470.62

ตารางที่ ก.74 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 65°C , RD = 27 stage ,
RAD = 30 stage)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
NAOH	0	0.5	0	0.5	30	1	999.5
CH ₃ OH	1	0	0	0	30	1	1400
RD-FEED1	0	0.5	0	0.5	65	1	999.5
RD-FEED2	1	0	0	0	64.65	1	5870.62
RD-DIST	0.927	0	0	0.073	74.59	1	5320.12
NAOCH ₃	0.347	0	0.435	0.218	86.23	1	1550

ตารางที่ ก.74 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 65°C , RD = 27 stage ,
RAD = 30 stage) (ต่อ)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
WASTE	0.524	0	0	0.476	80.93	1	813.45
RAD-DIST	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4506.68
SP	0.99	0	0	0.01	64.65	1	36.05
CH3OH-RE	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4470.62

ตารางที่ ก.75 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 65°C , RD = 28 stage ,
RAD = 30 stage)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
NAOH	0	0.5	0	0.5	30	1	999.5
CH3OH	1	0	0	0	30	1	1400
RD-FEED1	0	0.5	0	0.5	65	1	999.5
RD-FEED2	1	0	0	0	64.65	1	5870.62
RD-DIST	0.927	0	0	0.073	74.59	1	5320.12
NAOCH3	0.347	0	0.435	0.218	86.23	1	1550
WASTE	0.524	0	0	0.476	80.95	1	813.45
RAD-DIST	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4506.68
SP	0.99	0	0	0.01	64.65	1	36.05
CH3OH-RE	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4470.62

ตารางที่ ก.76 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 65°C , RD = 29 stage ,
RAD = 30 stage)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
NAOH	0	0.5	0	0.5	30	1	999.5
CH ₃ OH	1	0	0	0	30	1	1400
RD-FEED1	0	0.5	0	0.5	65	1	999.5
RD-FEED2	1	0	0	0	64.65	1	5870.62
RD-DIST	0.927	0	0	0.073	74.60	1	5320.12
NAOCH ₃	0.347	0	0.435	0.218	86.22	1	1550
WASTE	0.523	0	0	0.477	80.95	1	813.45
RAD-DIST	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4506.68
SP	0.99	0	0	0.01	64.65	1	36.05
CH ₃ OH-RE	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4470.62

ตารางที่ ก.77 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 65°C , RD = 30 stage ,
RAD = 30 stage)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
NAOH	0	0.5	0	0.5	30	1	999.5
CH ₃ OH	1	0	0	0	30	1	1400
RD-FEED1	0	0.5	0	0.5	65	1	999.5
RD-FEED2	1	0	0	0	64.65	1	5870.62
RD-DIST	0.927	0	0	0.073	74.60	1	5320.12
NAOCH ₃	0.347	0	0.435	0.218	86.21	1	1550

ตารางที่ ก.77 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 65°C , RD = 30 stage ,
RAD = 30 stage) (ต่อ)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
WASTE	0.523	0	0	0.477	80.96	1	813.45
RAD-DIST	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4506.68
SP	0.99	0	0	0.01	64.65	1	36.05
CH3OH-RE	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4470.62

ตารางที่ ก.78 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 70°C , RD = 20 stage ,
RAD = 30 stage)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
NAOH	0	0.5	0	0.5	30	1	999.5
CH3OH	1	0	0	0	30	1	1400
RD-FEED1	0	0.5	0	0.5	70	1	999.5
RD-FEED2	1	0	0	0	64.65	1	5870.63
RD-DIST	0.927	0	0	0.073	74.59	1	5320.13
NAOCH3	0.347	0	0.435	0.218	86.21	1	1550
WASTE	0.524	0	0	0.476	80.92	1	813.45
RAD-DIST	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4506.68
SP	0.99	0	0	0.01	64.65	1	36.05
CH3OH-RE	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4470.62

ตารางที่ ก.79 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 70°C , RD = 21 stage ,
RAD = 30 stage)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
NAOH	0	0.5	0	0.5	30	1	999.5
CH ₃ OH	1	0	0	0	30	1	1400
RD-FEED1	0	0.5	0	0.5	70	1	999.5
RD-FEED2	1	0	0	0	64.65	1	5870.63
RD-DIST	0.927	0	0	0.073	74.60	1	5320.13
NAOCH ₃	0.347	0	0.435	0.218	86.23	1	1550
WASTE	0.524	0	0	0.476	80.94	1	813.45
RAD-DIST	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4506.68
SP	0.99	0	0	0.01	64.65	1	36.05
CH ₃ OH-RE	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4470.62

ตารางที่ ก.80 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 70°C , RD = 22 stage ,
RAD = 30 stage)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
NAOH	0	0.5	0	0.5	30	1	999.5
CH ₃ OH	1	0	0	0	30	1	1400
RD-FEED1	0	0.5	0	0.5	70	1	999.5
RD-FEED2	1	0	0	0	64.65	1	5870.63
RD-DIST	0.927	0	0	0.073	74.60	1	5320.13
NAOCH ₃	0.347	0	0.435	0.218	86.22	1	1550

ตารางที่ ก.80 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 70°C , RD = 22 stage ,
RAD = 30 stage) (ต่อ)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
WASTE	0.524	0	0	0.476	80.96	1	813.45
RAD-DIST	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4506.68
SP	0.99	0	0	0.01	64.65	1	36.05
CH3OH-RE	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4470.62

ตารางที่ ก.81 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 70°C , RD = 23 stage ,
RAD = 30 stage)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
NAOH	0	0.5	0	0.5	30	1	999.5
CH3OH	1	0	0	0	30	1	1400
RD-FEED1	0	0.5	0	0.5	70	1	999.5
RD-FEED2	1	0	0	0	64.65	1	5870.63
RD-DIST	0.927	0	0	0.073	74.60	1	5320.13
NAOCH3	0.347	0	0.435	0.218	86.21	1	1550
WASTE	0.523	0	0	0.477	80.96	1	813.45
RAD-DIST	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4506.68
SP	0.99	0	0	0.01	64.65	1	36.05
CH3OH-RE	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4470.62

ตารางที่ ก.82 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 70°C , RD = 24 stage ,
RAD = 30 stage)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
NAOH	0	0.5	0	0.5	30	1	999.5
CH ₃ OH	1	0	0	0	30	1	1400
RD-FEED1	0	0.5	0	0.5	70	1	999.5
RD-FEED2	1	0	0	0	64.65	1	5870.62
RD-DIST	0.927	0	0	0.073	74.60	1	5320.13
NAOCH ₃	0.347	0	0.435	0.218	86.22	1	1550
WASTE	0.523	0	0	0.477	80.96	1	813.45
RAD-DIST	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4506.68
SP	0.99	0	0	0.01	64.65	1	36.05
CH ₃ OH-RE	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4470.62

ตารางที่ ก.83 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 70°C , RD = 25 stage ,
RAD = 30 stage)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
NAOH	0	0.5	0	0.5	30	1	999.5
CH ₃ OH	1	0	0	0	30	1	1400
RD-FEED1	0	0.5	0	0.5	70	1	999.5
RD-FEED2	1	0	0	0	64.65	1	5870.62
RD-DIST	0.927	0	0	0.073	74.62	1	5320.12
NAOCH ₃	0.348	0	0.435	0.217	86.19	1	1550

ตารางที่ ก.83 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 70°C , RD = 25 stage ,
RAD = 30 stage) (ต่อ)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
WASTE	0.523	0	0	0.477	80.99	1	813.45
RAD-DIST	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4506.68
SP	0.99	0	0	0.01	64.65	1	36.05
CH3OH-RE	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4470.62

ตารางที่ ก.84 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 70°C , RD = 26 stage ,
RAD = 30 stage)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
NAOH	0	0.5	0	0.5	30	1	999.5
CH3OH	1	0	0	0	30	1	1400
RD-FEED1	0	0.5	0	0.5	70	1	999.5
RD-FEED2	1	0	0	0	64.65	1	5870.62
RD-DIST	0.927	0	0	0.073	74.62	1	5320.12
NAOCH3	0.348	0	0.435	0.217	86.18	1	1550
WASTE	0.523	0	0	0.477	81.00	1	813.45
RAD-DIST	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4506.68
SP	0.99	0	0	0.01	64.65	1	36.05
CH3OH-RE	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4470.62

ตารางที่ ก.85 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 70°C , RD = 27 stage ,
RAD = 30 stage)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
NAOH	0	0.5	0	0.5	30	1	999.5
CH ₃ OH	1	0	0	0	30	1	1400
RD-FEED1	0	0.5	0	0.5	70	1	999.5
RD-FEED2	1	0	0	0	64.65	1	5870.62
RD-DIST	0.927	0	0	0.073	74.62	1	5320.12
NAOCH ₃	0.348	0	0.435	0.217	86.19	1	1550
WASTE	0.523	0	0	0.477	81.01	1	813.45
RAD-DIST	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4506.68
SP	0.99	0	0	0.01	64.65	1	36.05
CH ₃ OH-RE	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4470.62

ตารางที่ ก.86 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 70°C , RD = 28 stage ,
RAD = 30 stage)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
NAOH	0	0.5	0	0.5	30	1	999.5
CH ₃ OH	1	0	0	0	30	1	1400
RD-FEED1	0	0.5	0	0.5	70	1	999.5
RD-FEED2	1	0	0	0	64.65	1	5870.62
RD-DIST	0.927	0	0	0.073	74.62	1	5320.12
NAOCH ₃	0.348	0	0.435	0.217	86.16	1	1550

ตารางที่ ก.86 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 70°C , RD = 28 stage ,
RAD = 30 stage) (ต่อ)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
WASTE	0.522	0	0	0.478	81.02	1	813.45
RAD-DIST	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4506.68
SP	0.99	0	0	0.01	64.65	1	36.05
CH3OH-RE	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4470.62

ตารางที่ ก.87 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 70°C , RD = 29 stage ,
RAD = 30 stage)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
NAOH	0	0.5	0	0.5	30	1	999.5
CH3OH	1	0	0	0	30	1	1400
RD-FEED1	0	0.5	0	0.5	70	1	999.5
RD-FEED2	1	0	0	0	64.65	1	5870.62
RD-DIST	0.927	0	0	0.073	74.62	1	5320.12
NAOCH3	0.348	0	0.435	0.217	86.16	1	1550
WASTE	0.522	0	0	0.478	81.02	1	813.45
RAD-DIST	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4506.68
SP	0.99	0	0	0.01	64.65	1	36.05
CH3OH-RE	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4470.62

ตารางที่ ก.88 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 70°C , RD = 30 stage ,
RAD = 30 stage)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
NAOH	0	0.5	0	0.5	30	1	999.5
CH ₃ OH	1	0	0	0	30	1	1400
RD-FEED1	0	0.5	0	0.5	70	1	999.5
RD-FEED2	1	0	0	0	64.65	1	5870.62
RD-DIST	0.927	0	0	0.073	74.63	1	5320.12
NAOCH ₃	0.348	0	0.435	0.217	86.15	1	1550
WASTE	0.522	0	0	0.478	81.03	1	813.45
RAD-DIST	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4506.68
SP	0.99	0	0	0.01	64.65	1	36.05
CH ₃ OH-RE	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4470.62

ตารางที่ ก.89 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 75°C , RD = 20 stage ,
RAD = 30 stage)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
NAOH	0	0.5	0	0.5	30	1	999.5
CH ₃ OH	1	0	0	0	30	1	1400
RD-FEED1	0	0.5	0	0.5	75	1	999.5
RD-FEED2	1	0	0	0	64.65	1	5870.58
RD-DIST	0.927	0	0	0.073	74.65	1	5320.08
NAOCH ₃	0.348	0	0.435	0.216	86.19	1	1550

ตารางที่ ก.89 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 75°C , RD = 20 stage ,
RAD = 30 stage) (ต่อ)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
WASTE	0.522	0	0	0.478	80.99	1	813.441
RAD-DIST	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4506.67
SP	0.99	0	0	0.01	64.65	1	36.05
CH3OH-RE	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4470.62

ตารางที่ ก.90 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 75°C , RD = 21 stage ,
RAD = 30 stage)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
NAOH	0	0.5	0	0.5	30	1	999.5
CH3OH	1	0	0	0	30	1	1400
RD-FEED1	0	0.5	0	0.5	75	1	999.5
RD-FEED2	1	0	0	0	64.65	1	5870.59
RD-DIST	0.927	0	0	0.073	74.63	1	5320.08
NAOCH3	0.348	0	0.435	0.216	86.17	1	1550
WASTE	0.522	0	0	0.478	81.01	1	813.441
RAD-DIST	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4506.67
SP	0.99	0	0	0.01	64.65	1	36.05
CH3OH-RE	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4470.62

ตารางที่ ก.91 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 75°C , RD = 22 stage ,
RAD = 30 stage)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
NAOH	0	0.5	0	0.5	30	1	999.5
CH ₃ OH	1	0	0	0	30	1	1400
RD-FEED1	0	0.5	0	0.5	75	1	999.5
RD-FEED2	1	0	0	0	64.65	1	5870.6
RD-DIST	0.927	0	0	0.073	74.63	1	5320.1
NAOCH ₃	0.348	0	0.435	0.216	86.16	1	1550
WASTE	0.522	0	0	0.478	81.03	1	813.441
RAD-DIST	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4506.65
SP	0.99	0	0	0.01	64.65	1	36.05
CH ₃ OH-RE	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4470.6

ตารางที่ ก.92 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 75°C , RD = 23 stage ,
RAD = 30 stage)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
NAOH	0	0.5	0	0.5	30	1	999.5
CH ₃ OH	1	0	0	0	30	1	1400
RD-FEED1	0	0.5	0	0.5	75	1	999.5
RD-FEED2	1	0	0	0	64.65	1	5870.6
RD-DIST	0.927	0	0	0.073	74.63	1	5320.1
NAOCH ₃	0.348	0	0.435	0.216	86.15	1	1550
WASTE	0.520	0	0	0.479	81.04	1	813.441

ตารางที่ ก.92 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 75°C , RD = 23 stage ,
RAD = 30 stage) (ต่อ)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
RAD-DIST	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4506.66
SP	0.99	0	0	0.01	64.65	1	36.05
CH3OH-RE	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4470.6

ตารางที่ ก.93 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 75°C , RD = 24 stage ,
RAD = 30 stage)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
NAOH	0	0.5	0	0.5	30	1	999.5
CH3OH	1	0	0	0	30	1	1400
RD-FEED1	0	0.5	0	0.5	75	1	999.5
RD-FEED2	1	0	0	0	64.65	1	5870.6
RD-DIST	0.927	0	0	0.073	74.63	1	5320.1
NAOCH3	0.348	0	0.435	0.216	86.16	1	1550
WASTE	0.522	0	0	0.478	81.03	1	813.441
RAD-DIST	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4506.66
SP	0.99	0	0	0.01	64.65	1	36.05
CH3OH-RE	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4470.6

ตารางที่ ก.94 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 75°C , RD = 25 stage ,
RAD = 30 stage)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
NAOH	0	0.5	0	0.5	30	1	999.5
CH ₃ OH	1	0	0	0	30	1	1400
RD-FEED1	0	0.5	0	0.5	75	1	999.5
RD-FEED2	1	0	0	0	64.65	1	5870.61
RD-DIST	0.927	0	0	0.073	74.65	1	5320.11
NAOCH ₃	0.348	0	0.435	0.216	86.13	1	1550
WASTE	0.520	0	0	0.479	81.04	1	813.445
RAD-DIST	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4506.67
SP	0.99	0	0	0.01	64.65	1	36.05
CH ₃ OH-RE	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4470.6

ตารางที่ ก.95 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 75°C , RD = 26 stage ,
RAD = 30 stage)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
NAOH	0	0.5	0	0.5	30	1	999.5
CH ₃ OH	1	0	0	0	30	1	1400
RD-FEED1	0	0.5	0	0.5	75	1	999.5
RD-FEED2	1	0	0	0	64.65	1	5870.61
RD-DIST	0.927	0	0	0.073	74.65	1	5320.11
NAOCH ₃	0.348	0	0.435	0.216	86.12	1	1550

ตารางที่ ก.95 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 75°C , RD = 26 stage ,
RAD = 30 stage) (ต่อ)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
WASTE	0.520	0	0	0.479	81.08	1	813.445
RAD-DIST	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4506.66
SP	0.99	0	0	0.01	64.65	1	36.05
CH3OH-RE	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4470.61

ตารางที่ ก.96 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 75°C , RD = 27 stage ,
RAD = 30 stage)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
NAOH	0	0.5	0	0.5	30	1	999.5
CH3OH	1	0	0	0	30	1	1400
RD-FEED1	0	0.5	0	0.5	75	1	999.5
RD-FEED2	1	0	0	0	64.65	1	5870.61
RD-DIST	0.927	0	0	0.073	74.65	1	5320.11
NAOCH3	0.348	0	0.435	0.216	86.11	1	1550
WASTE	0.520	0	0	0.479	81.08	1	813.446
RAD-DIST	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4506.66
SP	0.99	0	0	0.01	64.65	1	36.05
CH3OH-RE	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4470.62

ตารางที่ ก.97 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 75°C , RD = 28 stage ,
RAD = 30 stage)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
NAOH	0	0.5	0	0.5	30	1	999.5
CH ₃ OH	1	0	0	0	30	1	1400
RD-FEED1	0	0.5	0	0.5	75	1	999.5
RD-FEED2	1	0	0	0	64.65	1	5870.61
RD-DIST	0.927	0	0	0.073	74.66	1	5320.11
NAOCH ₃	0.349	0	0.435	0.215	86.10	1	1550
WASTE	0.520	0	0	0.479	81.09	1	813.445
RAD-DIST	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4506.66
SP	0.99	0	0	0.01	64.65	1	36.05
CH ₃ OH-RE	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4470.61

ตารางที่ ก.98 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 75°C , RD = 29 stage ,
RAD = 30 stage)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
NAOH	0	0.5	0	0.5	30	1	999.5
CH ₃ OH	1	0	0	0	30	1	1400
RD-FEED1	0	0.5	0	0.5	75	1	999.5
RD-FEED2	1	0	0	0	64.65	1	5870.61
RD-DIST	0.927	0	0	0.073	74.66	1	5320.11
NAOCH ₃	0.349	0	0.435	0.215	86.10	1	1550

ตารางที่ ก.98 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 75°C , RD = 29 stage ,
RAD = 30 stage) (ต่อ)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
WASTE	0.520	0	0	0.479	81.09	1	813.445
RAD-DIST	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4506.66
SP	0.99	0	0	0.01	64.65	1	36.05
CH3OH-RE	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4470.61

ตารางที่ ก.99 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 75°C , RD = 30 stage ,
RAD = 30 stage)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
NAOH	0	0.5	0	0.5	30	1	999.5
CH3OH	1	0	0	0	30	1	1400
RD-FEED1	0	0.5	0	0.5	75	1	999.5
RD-FEED2	1	0	0	0	64.65	1	5870.61
RD-DIST	0.926	0	0	0.074	74.67	1	5320.11
NAOCH3	0.349	0	0.435	0.215	86.09	1	1550
WASTE	0.519	0	0	0.481	81.11	1	813.446
RAD-DIST	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4506.66
SP	0.99	0	0	0.01	64.65	1	36.05
CH3OH-RE	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4470.62

ตารางที่ ก.100 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 75°C , RD = 25 stage ,
RAD = 31 stage)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
NAOH	0	0.5	0	0.5	30	1	999.5
CH ₃ OH	1	0	0	0	30	1	1400
RD-FEED1	0	0.5	0	0.5	75	1	999.5
RD-FEED2	1	0	0	0	64.65	1	5870.61
RD-DIST	0.927	0	0	0.073	74.66	1	5320.11
NAOCH ₃	0.349	0	0.435	0.215	86.10	1	1550
WASTE	0.520	0	0	0.479	81.06	1	813.445
RAD-DIST	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4506.66
SP	0.99	0	0	0.01	64.65	1	36.05
CH ₃ OH-RE	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4470.61

ตารางที่ ก.101 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 75°C , RD = 25 stage ,
RAD = 32 stage)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
NAOH	0	0.5	0	0.5	30	1	999.5
CH ₃ OH	1	0	0	0	30	1	1400
RD-FEED1	0	0.5	0	0.5	75	1	999.5
RD-FEED2	1	0	0	0	64.65	1	5870.61
RD-DIST	0.927	0	0	0.073	74.65	1	5320.11
NAOCH ₃	0.349	0	0.435	0.215	86.13	1	1550

ตารางที่ ก.101 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 75°C , RD = 25 stage ,
RAD = 32 stage) (ต่อ)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
WASTE	0.520	0	0	0.479	81.06	1	813.445
RAD-DIST	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4506.66
SP	0.99	0	0	0.01	64.65	1	36.05
CH3OH-RE	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4470.61

ตารางที่ ก.102 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 75°C , RD = 25 stage ,
RAD = 33 stage)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
NAOH	0	0.5	0	0.5	30	1	999.5
CH3OH	1	0	0	0	30	1	1400
RD-FEED1	0	0.5	0	0.5	75	1	999.5
RD-FEED2	1	0	0	0	64.65	1	5870.61
RD-DIST	0.927	0	0	0.073	74.65	1	5320.11
NAOCH3	0.349	0	0.435	0.215	86.13	1	1550
WASTE	0.520	0	0	0.479	81.06	1	813.445
RAD-DIST	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4506.66
SP	0.99	0	0	0.01	64.65	1	36.05
CH3OH-RE	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4470.61

ตารางที่ ก.103 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 75°C , RD = 25 stage ,
RAD = 34 stage)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
NAOH	0	0.5	0	0.5	30	1	999.5
CH ₃ OH	1	0	0	0	30	1	1400
RD-FEED1	0	0.5	0	0.5	75	1	999.5
RD-FEED2	1	0	0	0	64.65	1	5870.61
RD-DIST	0.927	0	0	0.073	74.65	1	5320.11
NAOCH ₃	0.349	0	0.435	0.215	86.13	1	1550
WASTE	0.520	0	0	0.479	81.06	1	813.445
RAD-DIST	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4506.66
SP	0.99	0	0	0.01	64.65	1	36.05
CH ₃ OH-RE	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4470.61

ตารางที่ ก.104 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 75°C , RD = 25 stage ,
RAD = 35 stage)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
NAOH	0	0.5	0	0.5	30	1	999.5
CH ₃ OH	1	0	0	0	30	1	1400
RD-FEED1	0	0.5	0	0.5	75	1	999.5
RD-FEED2	1	0	0	0	64.65	1	5870.61
RD-DIST	0.927	0	0	0.073	74.65	1	5320.11
NAOCH ₃	0.349	0	0.435	0.215	86.13	1	1550

ตารางที่ ก.104 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ (T = 75°C , RD = 25 stage ,
RAD = 35 stage) (ต่อ)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
WASTE	0.520	0	0	0.479	81.06	1	813.445
RAD-DIST	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4506.66
SP	0.99	0	0	0.01	64.65	1	36.05
CH3OH-RE	0.99	0	0	0.01	64.65	1	4470.61

ตารางที่ ก.105 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ เมื่อตัดเครื่องแยกออก (T = 75°C ,
RD = 25 stage , RAD = 30 stage)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
NAOH	0	0.5	0	0.5	30	1	999.5
CH3OH	1	0	0	0	30	1	1400
RD-FEED1	0	0.5	0	0.5	75	1	999.5
RD-FEED2	1	0	0	0	64.65	1	5870.61
RD-DIST	0.927	0	0	0.073	74.65	1	5320.11
NAOCH3	0.349	0	0.435	0.215	86.13	1	1550
WASTE	0.00016	0	0	0.9998	81.06	1	448.846
CH3OH-RE	0.9796	0	0	0.02	64.65	1	10013.6

ตารางที่ ก.106 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ เมื่อตัดเครื่องแยกออก (T = 75°C ,
RD = 25 stage , RAD = 31 stage)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
NAOH	0	0.5	0	0.5	30	1	999.5
CH3OH	1	0	0	0	30	1	1400
RD-FEED1	0	0.5	0	0.5	75	1	999.5
RD-FEED2	1	0	0	0	64.65	1	5870.61
RD-DIST	0.927	0	0	0.073	74.65	1	5320.11
NAOCH3	0.349	0	0.435	0.215	86.13	1	1550
WASTE	6.01591 x 10 ⁻⁵	0	0	0.99	81.06	1	448.853
CH3OH-RE	0.9796	0	0	0.02	64.65	1	10013.8

ตารางที่ ก.107 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ เมื่อตัดเครื่องแยกออก (T = 75°C ,
RD = 25 stage , RAD = 32 stage)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
NAOH	0	0.5	0	0.5	30	1	999.5
CH3OH	1	0	0	0	30	1	1400
RD-FEED1	0	0.5	0	0.5	75	1	999.5
RD-FEED2	1	0	0	0	64.65	1	5870.61
RD-DIST	0.927	0	0	0.073	74.65	1	5320.11
NAOCH3	0.349	0	0.435	0.215	86.13	1	1550
WASTE	2.2003 x 10 ⁻⁵	0	0	0.99	81.06	1	448.859
CH3OH-RE	0.9796	0	0	0.02	64.65	1	10013.9

ตารางที่ ก.108 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ เมื่อตัดเครื่องแยกออก (T = 75°C ,
RD = 25 stage , RAD = 33 stage)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
NAOH	0	0.5	0	0.5	30	1	999.5
CH3OH	1	0	0	0	30	1	1400
RD-FEED1	0	0.5	0	0.5	75	1	999.5
RD-FEED2	1	0	0	0	64.65	1	5870.61
RD-DIST	0.927	0	0	0.073	74.65	1	5320.11
NAOCH3	0.349	0	0.435	0.215	86.13	1	1550
WASTE	8.04578 x 10 ⁻⁶	0	0	0.99	81.06	1	448.859
CH3OH-RE	0.9796	0	0	0.02	64.65	1	10014.2

ตารางที่ ก.109 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ เมื่อตัดเครื่องแยกออก (T = 75°C ,
RD = 25 stage , RAD = 34 stage)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
NAOH	0	0.5	0	0.5	30	1	999.5
CH3OH	1	0	0	0	30	1	1400
RD-FEED1	0	0.5	0	0.5	75	1	999.5
RD-FEED2	1	0	0	0	64.65	1	5870.61
RD-DIST	0.927	0	0	0.073	74.65	1	5320.11
NAOCH3	0.349	0	0.435	0.215	86.13	1	1550
WASTE	2.94182 x 10 ⁻⁶	0	0	0.99	81.06	1	448.859
CH3OH-RE	0.9796	0	0	0.02	64.65	1	10014.2

ตารางที่ ก.110 ค่ากระแสกระบวนการผลิตโซเดียมเมทอกไซด์ เมื่อตัดเครื่องแยกออก (T = 75°C ,
RD = 25 stage , RAD = 35 stage)

Steam	Composition				Condition		
	CH ₃ OH	NaOH	NaOCH ₃	H ₂ O	T (°C)	P (atm)	Total mass flow (KG/HR)
NAOH	0	0.5	0	0.5	30	1	999.5
CH ₃ OH	1	0	0	0	30	1	1400
RD-FEED1	0	0.5	0	0.5	75	1	999.5
RD-FEED2	1	0	0	0	64.65	1	5870.61
RD-DIST	0.927	0	0	0.073	74.65	1	5320.11
NAOCH ₃	0.349	0	0.435	0.215	86.13	1	1550
WASTE	1.07536 x 10 ⁻⁶	0	0	0.99	81.06	1	448.859
CH ₃ OH-RE	0.9796	0	0	0.02	64.65	1	10013.3





ภาคผนวก ข

ผลงานการตีพิมพ์เผยแพร่

Table 1. Sodium Methoxide Production Data

Line	Condition		
	Flow rate (kg/hr)	Temperature °C	Pressure (atm)
NaOH	999.5	30	1
RD-FEED 1	999.5	75	1
CH ₃ OH	1400	30	1
RD-FEED 2	5870.61	64.65	1
RD-Dist	5320.11	74.65	1
NaOCH ₃	1550	86.13	1
RAD-Dist	4506.67	64.65	1
Waste	813.45	81.64	1
CH ₃ OH-RE	4470.61	64.65	1

B. Development of Sodium Methoxide Production Plant

To develop the such process, firstly the original process (Fig. 1) was re-simulated by ASPEN PLUS software. The simulation results were evaluated by economic tools to obtain the base case values. Secondly, the base case process was re-designed for unit operation specifications and operating conditions to achieve low energy while maintain the product quality.

III. RESULTS AND DISCUSSIONS

For base case process, the reactive distillation was designed as 30 stages, operating temperature is 75°C and production rate of sodium methoxide is 1550 kg/hr. Development of the base case process to achieve low energy is considered into two factors, operating temperature and reactive distillation stage number. The operating temperature is the directly affected on the energy usage of the sodium methoxide production plant. The reactive distillation stage number is the indirectly affected on the energy usage. In fact, while the less stage numbers usually consume energy less than more stage numbers. In the same way with capital cost, the less stage numbers are also cheaper than more stage numbers. However, the less stage numbers also give the low product quality than more stage numbers.

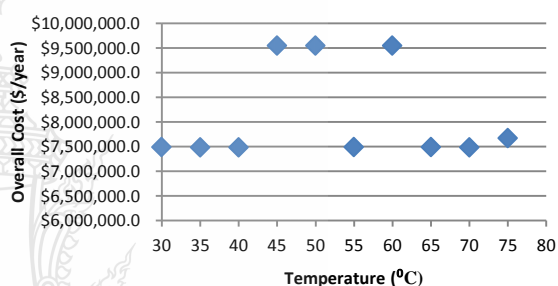
In this article, the operating temperature was studied from 75°C to 30°C by 5°C decreasing step and the stage numbers was studied from 30 stages to 20 stages by 1

stages decreasing step. The production rate for all condition was maintained at 1550 kg/hr. and production quality was also maintained at the original value of the base case.

A. Operating Temperature Effects

Fig. 2. shows effects of operating temperature on the overall cost while the stage number is fixed at 30. It can be seen that at 45, 50 and 60°C the overall cost is significantly much more than other temperatures. This may be due to the error of economic tools software. Neglecting these three temperatures, It can be noticed that the original operating temperature (75°C) gives slightly overall cost more than other temperatures. It can be concluded that operating temperature have the little effects on the overall cost. However, if the operating temperature was chosen at 30°C, the heater could be removed from the plant to decrease some capital cost.

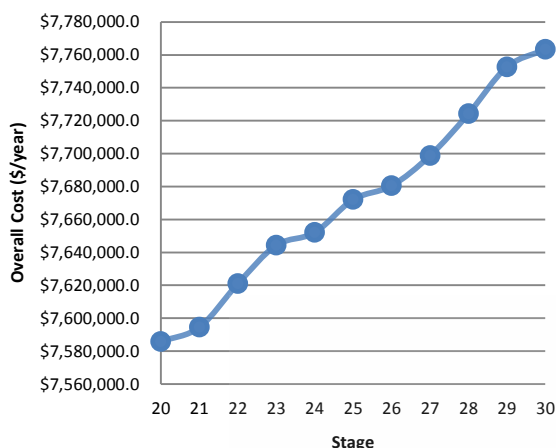
Fig. 2. Operating Temperature Effects on Overall Cost



B. Reactive Distillation Stage Number Effects

Fig. 3. shows effects of reactive distillation stage number on the overall cost while the operating temperature is 75°C. It can be clearly seen that the less stage number give overall cost less than more stage. In this work, the stage number can be decrease to 20 stages while the production rate and product quality are maintained at original base case value.

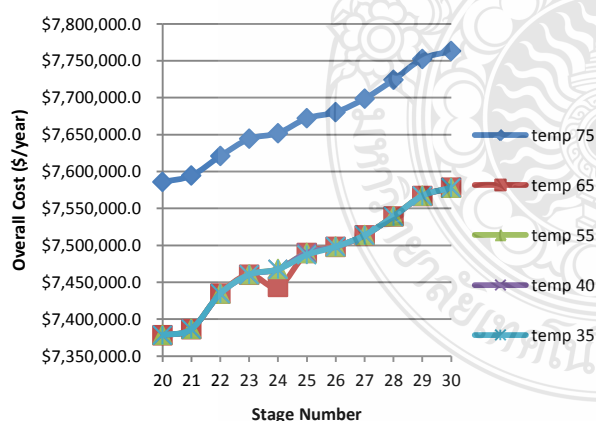
Fig. 3. Reactive Distillation Stage Number Effects on overall cost



C. Effects of Temperature and Stage Number

Fig. 4. shows effects of temperature and stage number on the overall cost. The temperatures at 45, 50 and 60°C were neglected due to simulation error. It can be seen that the overall cost of operating temperature at 75°C is higher than other temperatures at all stage number. This can conclude that the original base case conditions are not at optimal value. Simulation results show that the other temperatures give nearly the same overall cost at all stage numbers. For the advantage of economic cost, the optimal reactive distillation stage number is 20 stages while the optimal operating temperature is 30°C as discussed previously.

Fig. 4. Effects of Temperature and Stage Number of overall cost



IV. CONCLUSIONS

In this article, the development of reactive distillation based sodium methoxide production plant was investigated. The original base case process was re-simulated and re-designed for both operating temperature and reactive distillation stage number while the production rate and product quality were fixed at the original value. The operating temperature can be decreased from 75°C to 30°C. At new operating

temperature (30°C), the heater can be removed from the production plant, it could decrease either energy consumption and capital investment cost. The reactive distillation stage number can be decrease from 30 to 20 stages, it could also decrease either capital investment cost and energy consumption. The new design gives the overall cost about 7.4M\$/years while the original design give overall cost about 7.75M\$/years. This research could be one of the appropriate way to reduce biodiesel production cost for the sustained energy.

ACKNOWLEDGMENT

This work was financial supported by the research supported fund of faculty of engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi (RMUTT).

REFERENCES

- [1] Wenying Shi , Jianxin Li , Benqiao He , Feng Yan , Zhenyu Cui , Kaiwei Wu , Ligang Lin , Xiaomin Qian and Yu Cheng. "Biodiesel production from waste chicken fat with low free fatty acids by an integrated catalytic process of composite membrane and sodium methoxide", *Bioresource Technology*, 139, 2013, pp. 316-322
- [2] Yuan-Chung Lin , Kuo-Hsiang Hsu and Jia-Fang Lin, "Rapid palm-biodiesel production assisted by microwave system and sodium methoxide catalyst", *Fuel*, 115, 2014, pp.306-311
- [3] Takami Kai , Goon Lum Mak , Shohei Wada , Tsutomu Nakazato , Hirokazu Takanashi and Yoshimitsu Umeura. "Production of biodiesel fuel from canola oil with dimethyl carbonate using an active sodium methoxide catalyst prepared by crystallization", *Bioresource Technology*, 163, 2014, pp.360-363
- [4] Natja-nan Boon-anuwat, Worapon Kiatkittipong, Farid Aiouache and Suttichai Assabumrungrat. "Process design of continuous biodiesel production by reactive distillation: Comparison between homogenous and heterogeneous catalysts". *Chemical Engineering and Processing*, 2015, pp. 33-34
- [5] Siriporn Aeamsuksai, Thirawat Muenasichai, Weerinda Appamana, kanokwan Ngaosuan, Worapon kiatkittipong, Palang Bumroongsakulsawat and suttichai Assabumrungrat. "Process simulation of sodium methoxide production from methanol and sodium hydroxide using reactive distillation". Session: Industrail Chemistry and Innovations:, 2017, IC-P-015

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นางสาวชานาภา เจริญมิตรภาพ
วัน เดือน ปีเกิด	29 พฤศจิกายน 2534
ที่อยู่	579,581 ถนนรามอินทรา แขวงท่าแร้ง เขตบางเขน จังหวัดกรุงเทพฯ 10230
การศึกษา	สำเร็จการศึกษาระดับวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ประสบการณ์ทำงาน	เจ้าหน้าที่โครงการห้องเรียนพิเศษวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์เข้มข้น ระดับมัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนสตรีวิทยา ๒ ในพระราชูปถัมภ์สมเด็จพระศรีนครินทราบรมราชชนนี พ.ศ. 2557 ถึง พ.ศ. 2559
เบอร์โทรศัพท์	089-989-5075
อีเมลล์	c.charoenmittrap@gmail.com