

การศึกษาความเป็นไปได้ของการผลิตกรดแอสติกด้วยเมทานอล
จากกระบวนการผลิตกรดเทเรพทาลิกบริสุทธิ์

FEASIBILITY STUDY OF ACETIC ACID PRODUCTION BY USING METHANOL
FROM PURIFIED TEREPHTHALIC ACID PROCESS



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2560

KMITL-2017-EN-M-220-197

การศึกษาความเป็นไปได้ของการผลิตกรดแอสติกด้วยเมทานอล
จากกระบวนการผลิตกรดเทเรพทาลิกบริสุทธิ์

FEASIBILITY STUDY OF ACETIC ACID PRODUCTION BY USING METHANOL
FROM PURIFIED TEREPHTHALIC ACID PROCESS



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

KMITL-2017-EN-M-220-197

FEASIBILITY STUDY OF ACETIC ACID PRODUCTION BY USING METHANOL
FROM PURIFIED TEREPHTHALIC ACID PROCESS



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN CHEMICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2017

KMITL-2017-EN-M-220-197

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2017

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับบริการเชิงงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาความเป็นไปได้ของการผลิตกรดแอสติกด้วยเมทานอลจากกระบวนการผลิตกรดเทเรพทาสิกบริสุทธิ์

Thesis Title Feasibility Study of Acetic Acid Production by Using Methanol from Purified Terephthalic Acid Process

นักศึกษา นายนิจิต หงส์บิน

รหัสประจำตัว 57601356

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.อัญชลีพร วาริตสวัสดิ์ หล่อทองคำ

หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2017-EN-M-220-197

| คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ | | ลายมือชื่อ |
|--------------------------|------------------------|------------|
| ศ.ดร.ธราพงษ์ | วิทิตศานต์ | |
| ผศ.ดร.กุลนันท์ | เกียรติกิตติพงษ์ | |
| ดร.ณัฐนนท์ | ไพบุลย์ศิลป์ | |
| ผศ.ดร.สันติ | วิฒนานุสรณ์ | |
| รศ.ดร.อัญชลีพร | วาริตสวัสดิ์ หล่อทองคำ | |

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันพุธที่ 1 พฤศจิกายน พ.ศ. 2560 เวลา 13.00-15.00 น.
สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 5 ห้องประชุม 3

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร. คมสัน มาลีสี)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
วันที่ 1 พฤศจิกายน พ.ศ. 2560

| | |
|-----------------------------|---|
| หัวข้อวิทยานิพนธ์ | การศึกษาความเป็นไปได้ของการผลิตกรดแอสิติกด้วยเมทานอล จากกระบวนการผลิตกรดเทรฟทาลิกบริสุทธิ์ |
| นักศึกษา | นายนิจิต หงส์บิน |
| รหัสประจำตัว | 57601356 |
| ปริญญา | วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต |
| สาขาวิชา | วิศวกรรมเคมี |
| พ.ศ. | 2560 |
| อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ | รศ.ดร.อัญชลีพร วาริทสวัสดิ์ หล่อทองคำ |

บทคัดย่อ

โครงการนี้ศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตกรดแอสิติกจากเมทานอลซึ่งเป็นผลพลอยได้ในกระบวนการผลิตกรดเทรฟทาลิกบริสุทธิ์ของโรงงานที่เป็นกรณีศึกษา และแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ เทคโนโลยีกระบวนการผลิตสำหรับปฏิกิริยาเมทานอลคาร์บอนิลเลชันที่ศึกษาคือกระบวนการคาทิวาของบริษัท บีพี เคมิคอลส์ จำกัด ด้วยสารละลายตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธ์ของอิริเดียมและเมทิลไอโอไดด์ที่มีสารละลายรูทีเนียมเป็นโพรโมเตอร์ และใช้โปรแกรม Aspen Plus Version 9 จำลองกระบวนการผลิต จากข้อมูลกระบวนการผลิตกรดเทรฟทาลิกบริสุทธิ์ พบว่าองค์ประกอบในกระแสที่ออกจากส่วนล่างของหอกลั่นที่ไ้แยกเมทิลแอสิตेट ประกอบด้วยเมทิลแอสิตेट 60 kg/h เมทานอล 335 kg/h น้ำ 2,400 kg/h และกรดแอสิติก 580 kg/h และเมื่อวิเคราะห์ด้วยการทดลองแบบพื้นผิวตอบสนอง (Response surface methodology) พบว่าต้องแยกเมทิลแอสิตेटและเมทานอล ออกจากน้ำที่เป็นองค์ประกอบหลักด้วยหอกลั่นแบบถาด ชนิด Sieve ขนาด 8 ชั้น ก่อนป้อนร่วมกับสารละลายตัวเร่งปฏิกิริยาย้อนกลับเข้าเครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่องขนาด 325 L เพื่อผลิตกรดแอสิติก ภาวะปฏิบัติการที่เหมาะสมของการเกิดปฏิกิริยาเมทานอลคาร์บอนิลเลชัน คือ กระแสป้อนประกอบด้วยเมทิลแอสิตेटและเมทานอล 17.5 wt% อิริเดียม 845 ppm เมทิลไอโอไดด์ 8.5 wt% รูทีเนียม 2,100 ppm น้ำ 14 wt% และกรดแอสิติก 60 wt% อัตราการไหลเชิงมวลรวม 2,211 kg/h ทำปฏิกิริยากับแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ 325 kg/h อุณหภูมิการทำปฏิกิริยา 190°C ความดัน 33 barg กระแสที่ออกจากเครื่องปฏิกรณ์ประกอบด้วยสารละลายตัวเร่งปฏิกิริยาและกรดแอสิติก 2,029 kg/h จากนั้นแยกสารละลายตัวเร่งปฏิกิริยาและกรดแอสิติกโดยใช้ถังเฟลชและหอกลั่นแบบถาด ชนิด Sieve ขนาด 8 ชั้น ได้ผลิตภัณฑ์กรดแอสิติก 722 kg/h ระยะเวลาคืนทุนที่คำนวณเบื้องต้นเท่ากับ 2 ปี 2 เดือน และอัตราผลตอบแทน 58.62% เมื่อกำหนดอัตราผลตอบแทนการลงทุนขั้นต่ำ 15% โดยยังไม่ได้พิจารณาต้นทุนของระบบท่อ ระบบควบคุม อุปกรณ์วัด และตัวเร่งปฏิกิริยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|-----------------------|---|
| Thesis | Feasibility Study of Acetic Acid Production by Using Methanol from Purified Terephthalic Acid Process |
| Student | Mr.Nichit Hongbin |
| Student ID. | 57601356 |
| Degree | Master of Engineering |
| Program | Chemical Engineering |
| Year | 2017 |
| Thesis Advisor | Assoc.Prof.Dr.Anchaleeporn Waritswat Lothongkum |

ABSTRACT

The feasibility of acetic acid production from methanol, a by-product of a purified terephthalic acid (PTA) process, and carbon monoxide gas has been studied. Process technology for methanol carbonylation reaction in this study is the Cativa™ process from BP Chemicals Ltd. Homogeneous catalyst i.e., iridium and methyl iodide solutions, and ruthenium solution as a promoter was used. Aspen Plus Version 9 was applied for process simulation. From the PTA production data, it was found that the bottom stream of methyl acetate distillation column contained methyl acetate 60 kg/h, methanol 335 kg/h, water 2,400 kg/h, and acetic acid 580 kg/h. Based on the response surface methodology, methanol and methyl acetate must be separated from water by a 8-stage sieve tray distillation column before feeding with recycled catalyst solutions into a 325-L continuous-stirred tank reactor (CSTR) to produce acetic acid. The optimum reaction conditions: the CSTR feed to react with carbon monoxide gas 325 kg/h contained methyl acetate and methanol 17.5 wt%, iridium 845 ppm, methyl iodide 8.5 wt%, ruthenium 2,100 ppm, water 14 wt% and acetic acid 60 wt% at a total flow rate of 2,211 kg/h; the reaction temperature and the pressure were 190°C and 33 barg, respectively. The CSTR effluent stream containing catalyst solutions, and acetic acid of 2,029 kg/h was sent to a flash drum and a 8-stage sieve tray distillation column to obtain acetic acid product of 722 kg/h. The preliminary payback period is 2 years 2 months and rate of return is 58.62% at 15% minimum acceptable rate of return (MARR). This calculation excludes costs of piping and control systems, instrumentation devices and catalysts.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.อัญชลีพร วาริทสวัสดิ์ หล่อทองคำ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ชี้แนะ และให้ความช่วยเหลือแก้ปัญหาต่างๆ ระหว่างการทำวิจัย รวมทั้งให้โอกาสในการเพิ่มพูนความรู้และ ประสบการณ์ทางวิชาการจากการเข้าอบรม การร่วมประชุมวิชาการ และเข้าปฏิบัติงานกับ ภาคอุตสาหกรรม

ขอขอบพระคุณ ศ.ดร.ธราพงษ์ วิทิตตานต์ ผศ.ดร.กุลนันท์ เกียรติกิตติพงษ์ ผศ.ดร.สันติ วัฒนานุสรณ์ และ ดร.ณัฐนนท์ ไพบุลย์ศิลป์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำแนะนำ และทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ บริษัท สยามมิตรชัย พีทีเอ จำกัด และคุณสมหมาย ศิริเลิศสมบัติ กรรมการผู้จัดการ ที่ให้ความอนุเคราะห์ทำการศึกษาเกี่ยวกับบริษัท และอนุญาตให้ใช้โปรแกรมจำลองกระบวนการผลิต คุณสิริศักดิ์ เจริญกิจปิติ ผู้จัดการฝ่ายผลิต คุณสิทธิชัย ตั้งสัจจะธรรม ผู้จัดการแผนกวิศวกรรม คุณทรงพล พวงพิมล วิศวกรเทคนิค และพี่ๆ แผนกวิศวกรรมที่ให้ความช่วยเหลือตลอดระยะเวลาที่ ทำการศึกษา

กราบขอบพระคุณบิดาและมารดา ที่ส่งเสริมให้ได้รับการศึกษาและให้กำลังใจมาโดยตลอด

ผู้ดำเนินงานหวังว่าวิทยานิพนธ์นี้จะเป็นประโยชน์กับผู้สนใจ คุณความดีและประโยชน์ที่ อาจเกิดจากวิทยานิพนธ์นี้ ขอมอบแด่บิดา มารดา ผู้เป็นที่รักและเคารพยิ่ง ครูและคณาจารย์ทุกท่าน ที่ได้อบรม สั่งสอน และประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ และผู้มีพระคุณทุกท่านทั้งที่กล่าวนามและไม่ได้ กล่าวนาม หากมีข้อผิดพลาดประการใด ผู้ดำเนินงานขอน้อมรับ ณ ที่นี้

นิจิต หงส์บิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา || หะต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

| | หน้า |
|--|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย | I |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ | II |
| กิตติกรรมประกาศ | III |
| สารบัญ | IV |
| สารบัญตาราง | VI |
| สารบัญภาพ | VII |
| บทที่ 1 บทนำ..... | 1 |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย | 2 |
| 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย..... | 2 |
| 1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ..... | 2 |
| บทที่ 2 ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง | 3 |
| 2.1 กระบวนการการผลิตกรดเทรฟทาลิกบริสุทธิ์ | 3 |
| 2.2 กระบวนการการผลิตกรดแอสติค..... | 4 |
| 2.3 การออกแบบเครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่องที่อุณหภูมิคงที่..... | 6 |
| 2.4 การจำแนกชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา..... | 8 |
| 2.5 การกลั่น..... | 9 |
| 2.6 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์เบื้องต้น | 10 |
| 2.7 หลักการวิเคราะห์การทดลองแบบพื้นผิวตอบสนอง (Response surface methodology: RSM) เพื่อหาสมการทำนายอัตราการเกิดปฏิกิริยาและภาวะปฏิบัติการที่เหมาะสมของเครื่องปฏิกรณ์ | 13 |
| 2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง | 16 |
| บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน | 24 |
| 3.1 การวิเคราะห์ภาวะปฏิบัติการที่เหมาะสมของเครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่องสำหรับการผลิตกรดแอสติค | 24 |
| 3.2 การสร้างแบบจำลองกระบวนการผลิตกรดแอสติคด้วยโปรแกรม Aspen Plus Version 9..... | 25 |
| 3.3 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์เบื้องต้น | 26 |
| บทที่ 4 ผลการดำเนินงานและการวิเคราะห์ผล..... | 28 |
| 4.1 ภาวะปฏิบัติการที่เหมาะสมของเครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่องสำหรับการผลิตกรดแอสติค | 28 |
| 4.2 ผลการจำลองกระบวนการผลิตกรดแอสติคด้วยโปรแกรม Aspen Plus Version 9 | 30 |
| 4.3 ผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์เบื้องต้น..... | 38 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และตี IV อ่างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

| | หน้า |
|---|------|
| บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ | 42 |
| 5.1 สรุปผล..... | 42 |
| 5.2 ข้อเสนอแนะ..... | 42 |
| บรรณานุกรม | 43 |
| ภาคผนวก | 45 |
| ภาคผนวก ก ตัวอย่างการวิเคราะห์ภาวะปฏิบัติการที่เหมาะสม ของเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่องสำหรับการผลิตกรดแอสติก ด้วยโปรแกรม Design-Expert Version 8.0.1..... | 46 |
| ภาคผนวก ข ตัวอย่างการจำลองกระบวนการผลิตกรดแอสติก ด้วยโปรแกรม Aspen Plus Version 9 | 49 |
| ภาคผนวก ค การวิเคราะห์ระยะเวลาต้นทุนและวิเคราะห์อัตราผลตอบแทน | 60 |
| ประวัติผู้เขียน | 63 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

| ตารางที่ | หน้า |
|---|------|
| 2.1 ระดับของปัจจัยที่ศึกษาในงานวิจัยของ Hosseinpour, V. และคณะ | 18 |
| 2.2 การทดลองตามหลักการออกแบบเซนทรัลคอมโพสิต 5 ระดับ และผลการทดลองของ Hosseinpour, V. และคณะ | 19 |
| 2.3 ภาวะปฏิบัติการที่ทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเมทานอลคาร์บอนิลเลชันสูงสุด และเกิดปฏิกิริยาข้างเคียงได้แก่สมีเทนน้อยที่สุด | 21 |
| 2.4 ภาวะปฏิบัติการที่เกิด Water-gas shift reaction ได้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สมีเทน และแก๊สไฮโดรเจนน้อยที่สุด | 22 |
| 4.1 ภาวะปฏิบัติการการจำลองผลตอบสนองของปัจจัยหลักต่อปฏิกิริยาเมทานอลคาร์บอนิลเลชัน และการเกิดแก๊สผลพลอยได้จากปฏิกิริยา Water-gas shift | 29 |
| 4.2 ผลการจำลองหอกลิ้นแบบถาดสำหรับแยกเมทิลเอซีเตดและเมทานอลออกจากน้ำ | 32 |
| 4.3 ภาวะและองค์ประกอบในกระแสป้อน (Feed) กระแสที่ออกจากส่วนยอดของหอกลิ้น (Distillate) และกระแสที่ออกจากส่วนล่างของหอกลิ้น (Bottom) | 33 |
| 4.4 ภาวะและองค์ประกอบในกระแสดังต้นเมทานอล กระแสป้อนกลับของสารละลายผสมของตัวเร่งปฏิกิริยา กระแสป้อนสารละลายเมทิลไอโอไดด์เพิ่มเติม และกระแสออกจาก Mixer | 34 |
| 4.5 ภาวะและองค์ประกอบในกระแสป้อนของเหลว กระแสของเหลวและกระแสแก๊สที่ออกจากเครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่อง | 35 |
| 4.6 ภาวะและองค์ประกอบในกระแสดังต้นเมทานอล กระแสป้อนกลับสารละลายผสมอริเดียมและรูทีเนียม และกระแสไอผสมของเมทิลไอโอไดด์ น้ำ และกรดแอซีติก | 36 |
| 4.7 ผลการจำลองหอกลิ้นแบบถาดสำหรับแยกผลิตภัณฑ์กรดแอซีติก (DT-2) | 37 |
| 4.8 ภาวะและองค์ประกอบในกระแสดังต้นเมทานอล กระแสป้อนกลับของสารละลายเมทิลไอโอไดด์ และกระแสผลิตภัณฑ์กรดแอซีติก | 38 |
| 4.9 ต้นทุนทรัพย์สินสุทธิของกระบวนการผลิตกรดแอซีติก | 39 |
| 4.10 กระแสเงินสดสุทธิของกระบวนการผลิตกรดแอซีติก | 40 |
| 4.11 การวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุนของกระบวนการผลิตกรดแอซีติก | 41 |
| ข.1 สารทั้งหมดในกระบวนการโดยกระบวนการผลิตกรดแอซีติก | 49 |
| ข.2 ผลการจำลองหอกลิ้นแยกเมทานอลและน้ำด้วยโมเดล DSTWU | 51 |
| ข.3 ตัวแปรต้นและตัวแปรตามของฟังก์ชัน Sensitivity สำหรับปรับปรุงหอกลิ้นแยกเมทานอลและน้ำ | 52 |
| ข.4 ตัวแปรของฟังก์ชัน Calculator สำหรับการคำนวณอัตราการเกิดปฏิกิริยา และปริมาตรของเครื่องปฏิกรณ์ | 57 |
| ค.1 กระแสเงินสดของกระบวนการผลิตกรดแอซีติกที่ปี n | 60 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

| รูปที่ | หน้า |
|---|------|
| 2.1 ปฏิกริยาออกซิเดชันของพาราไซลีน | 3 |
| 2.2 กระบวนการผลิตกรดเทรฟทาลิกดิบและกระบวนการผลิตกรดเทรฟทาลิกบริสุทธิ์ | 4 |
| 2.3 กระบวนการคาทิวา | 6 |
| 2.4 เครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง..... | 6 |
| 2.5 ตัวอย่างผังกระแสเงินสด | 11 |
| 2.6 การออกแบบเซนทรัลคอมโพสิต 2 ปัจจัย | 15 |
| 2.7 อุปกรณ์การทดลองของ Hosseinpour, V. และคณะ | 17 |
| 3.1 กระบวนการผลิตกรดแอสติคจากกระบวนการคาทิวา..... | 24 |
| 4.1 แบบจำลองกระบวนการผลิตกรดแอสติค..... | 31 |
| ก.1 การป้อนข้อมูลการวิเคราะห์ภาวะปฏิบัติการที่เหมาะสม ของเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่องสำหรับการผลิตกรดแอสติค | 46 |
| ก.2 ตัวอย่างการป้อนข้อมูลผลการทดลองของ Hosseinpour, V. และคณะ | 47 |
| ก.3 ตัวอย่างการวิเคราะห์อัตราการเกิดปฏิกิริยาของปฏิกิริยาเมทานอลคาร์บอนิลเลชัน..... | 47 |
| ก.4 ตัวอย่างการตัดผลของอันตรกิริยาที่ p-value มากกว่า 0.05..... | 48 |
| ก.5 การกำหนดเกณฑ์สำหรับการวิเคราะห์ภาวะปฏิบัติการที่เหมาะสม ของเครื่องปฏิกรณ์ผลิตกรดแอสติค..... | 48 |
| ข.1 หอกลั่นแยกเมทานอลและน้ำ | 50 |
| ข.2 การตั้งค่าควบคุมหอกลั่นแยกเมทานอลและน้ำด้วยโมเดล DSTWU..... | 50 |
| ข.3 การตั้งค่าควบคุมหอกลั่นแยกเมทานอลและน้ำด้วยโมเดล RadFrac..... | 51 |
| ข.4 การตั้งค่าชั้นที่กระแสป้อนเข้าหอกลั่น ชั้นที่กระแสออกจากส่วนยอดของหอกลั่น และชั้นที่กระแสออกจากส่วนล่างของหอกลั่นโมเดล RadFrac | 52 |
| ข.5 การตั้งค่าความดันภายในหอกลั่นโมเดล RadFrac | 52 |
| ข.6 ตัวอย่างการเปลี่ยนชั้นที่กระแสป้อนเข้าจากชั้นที่ 2-9..... | 53 |
| ข.7 ตัวอย่างการกำหนดอัตราการไหลเชิงมวลของเมทานอลในกระแสที่ออกจากส่วนยอด ของหอกลั่นเป็นตัวแปรตาม | 53 |
| ข.8 ผลของฟังก์ชัน Sensitivity สำหรับการเปลี่ยนชั้นที่กระแสป้อนเข้า..... | 54 |
| ข.9 ตัวอย่างการสร้างตัวแปรต้นเพื่อควบคุมความเข้มข้นของกรดแอสติค ในกระแสป้อนของเหลวเข้าเครื่องปฏิกรณ์ | 54 |
| ข.10 ตัวอย่างการกำหนดความเข้มข้นของกรดแอสติคในกระแสป้อนของเหลว เข้าเครื่องปฏิกรณ์เป็น 59.9 wt%..... | 55 |
| ข.11 ตัวอย่างการเปลี่ยนปริมาณการป้อนเข้าของกรดแอสติค | 55 |
| ข.12 การตั้งค่าอุณหภูมิและความดันภายในเครื่องปฏิกรณ์..... | 55 |
| ข.13 การตั้งค่าปฏิกิริยาและค่าการแปลงผันทางเคมี | 53 |
| ข.14 ตัวอย่างการตั้งค่าตัวแปรอุณหภูมิของของฟังก์ชัน Calculator | 56 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ VII อย่างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

| รูปที่ | หน้า |
|--|------|
| ข.15 การบ่อนสมการคำนวณของฟังก์ชัน Calculator สำหรับคำนวณอัตราการเกิดปฏิกิริยา และปริมาตรของเครื่องปฏิกรณ์ | 58 |
| ข.16 การบ่อนกลับผลการคำนวณของฟังก์ชัน Calculator กลับเข้าไปแบบจำลอง..... | 58 |
| ข.17 ตัวอย่างการตั้งค่าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (HX-1) | 59 |
| ค.1 ผังกระแสเงินสดของกระบวนการผลิตกรดแอสซิติค | 61 |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

กรดเทเรพทาติกบริสุทธิ์ (Purified terephthalic acid: PTA) เป็นสารเคมีที่สำคัญในอุตสาหกรรมปิโตรเคมีเนื่องจากเป็นวัตถุดิบที่ใช้ผลิตเส้นใยโพลีเอสเตอร์ ขวดบรรจุภัณฑ์พอลิเอทิลีน เทเรพทาเลต (Polyethylene terephthalate: PET) ฟิล์มเอ็กเซเรย์ ชิ้นส่วนยานยนต์ ผ้าบุหลังคา รถยนต์ (Roof lining) และผลิตภัณฑ์ปลอดเชื้อ (Hygiene products) เช่น ผ้าอ้อม แผ่นผ้าอนามัย เป็นต้น กำลังการผลิตกรดเทเรพทาติกบริสุทธิ์ของบริษัท สยามมิทซูชิ พิทีเอ จำกัด ที่เป็นกรณีศึกษา ประมาณ 1,500,000 ตัน/ปี ซึ่งสูงที่สุดในประเทศไทย เทคโนโลยีกระบวนการผลิตเป็นของบริษัท มิทซูชิ เคมิคอลส์ (Mitsui Chemicals Inc.) ประเทศญี่ปุ่น ด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชันของ พาราไซลีน โดยมีกรดแอสติคเป็นตัวทำละลาย ระหว่างการเกิดปฏิกิริยามีการสูญเสียกรดแอสติค บางส่วนเนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาข้างเคียง (Side reactions) ไปเป็นผลพลอยได้อื่นๆ (By-products) หรือเนื่องจากการสลายตัวของกรดแอสติคจากความร้อน (Thermal decomposition) ส่งผลให้ต้นทุนการผลิตกรดเทเรพทาติกบริสุทธิ์สูงขึ้น

นอกจากการลดการสูญเสียกรดแอสติคซึ่งเป็นเป้าหมายหลักอย่างหนึ่งของฝ่ายผลิตแล้ว การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตกรดแอสติคด้วยเมทานอลซึ่งเป็นผลพลอยได้ที่สำคัญจาก กระบวนการผลิตกรดเทเรพทาติกบริสุทธิ์ก็มีความน่าสนใจ จากข้อมูลการผลิตกรดเทเรพทาติก บริสุทธิ์ พบว่ากระแสที่ออกจากส่วนล่างของหอกลั่นที่ใช้แยกเมทิลแอสเทตประกอบด้วยเมทิล แอสเทต 60 kg/h เมทานอล 335 kg/h น้ำ 2,400 kg/h และกรดแอสติค 580 kg/h องค์ประกอบ ของเมทานอลซึ่งเป็นผลพลอยได้หลักมีน้ำประมาณ 70 wt%

โครงการนี้ศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตกรดแอสติคจากเมทานอลที่เป็นผลพลอยได้ใน กระบวนการผลิตกรดเทเรพทาติกบริสุทธิ์ และแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ โดยปฏิกิริยาเมทานอล คาร์บอนิลเลชันซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่นิยมใช้มากที่สุดในการผลิตกรดแอสติค (Yoneda, N. et al. 2001) เทคโนโลยีกระบวนการผลิตสำหรับปฏิกิริยาเมทานอลคาร์บอนิลเลชันที่ศึกษาคือกระบวนการคาทิวา ของบริษัท บีพี เคมิคอลส์ จำกัด (Sunley, G. J. and Watson, D. J. 2000; Williams, B. L. 2002) เมื่อคำนวณตามปริมาณสารสัมพันธ์หากพิจารณาที่ค่าการเลือกเกิด (Selectivity) 99% และผลได้ (Yield) 99% เทียบกับเมทานอล คาดว่าจะสามารถผลิตกรดแอสติคได้ประมาณ 722 kg/h (มีมูลค่า ประมาณ 2.6 MUSD/yr ประเมินเฉพาะราคากรดแอสติคที่ผลิตได้) ใช้โปรแกรม Aspen Plus Version 9 ในการจำลองกระบวนการผลิต สำหรับอัตราการเกิดปฏิกิริยาสูงสุดและภาวะปฏิบัติการที่ เหมาะสมของการเกิดปฏิกิริยาเมทานอลคาร์บอนิลเลชันใช้การวิเคราะห์ด้วยการทดลองแบบพื้นผิว

ตอบสนองจากงานวิจัยของ Hosseinpour, V. และคณะ (Hosseinpour, V. et al. 2011a; 2011b)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 ศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตกรดแอสติกด้วยปฏิกิริยาเมทานอลคาร์บอนิลเลชัน โดยใช้เมทานอลซึ่งเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตกรดเทรพทาลิกบริสุทธิ์

1.2.2 วิเคราะห์ระยะเวลาต้นทุนและอัตราผลตอบแทนในเชิงความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์เบื้องต้น

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 ศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตกรดแอสติกจากเมทานอลด้วยปฏิกิริยาเมทานอลคาร์บอนิลเลชัน โดยใช้เมทานอลซึ่งเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตกรดเทรพทาลิกบริสุทธิ์

1.3.2 ศึกษาการทดลองแบบพื้นผิวตอบสนอง (Response surface methodology) เพื่อใช้วิเคราะห์ภาวะปฏิบัติการที่เหมาะสมในการเกิดอัตราการเกิดปฏิกิริยาสูงสุดและปฏิกิริยาข้างเคียงต่ำสุด โดยใช้โปรแกรม Design-Expert Version 8.0.1

1.3.3 ออกแบบและคำนวณขนาดของอุปกรณ์ต่างๆ สำหรับการผลิตกรดแอสติกจากเทคโนโลยีกระบวนการคาทิวา โดยใช้โปรแกรม Aspen Plus Version 9 ได้แก่ หอกกลั่นแบบถาดสำหรับแยกเมทิลแอสซิเตตและเมทานอลออกจากน้ำ บีมหอยโข่ง 3 เครื่อง เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเซลล์และท่อ 2 เครื่อง เครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง (Continuous-stirred tank reactor: CSTR) ถังฟลัช และหอกกลั่นแบบถาดสำหรับแยกผลิตภัณฑ์กรดแอสติก

1.3.4 วิเคราะห์ระยะเวลาต้นทุนและอัตราผลตอบแทนในเชิงความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์เบื้องต้น

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

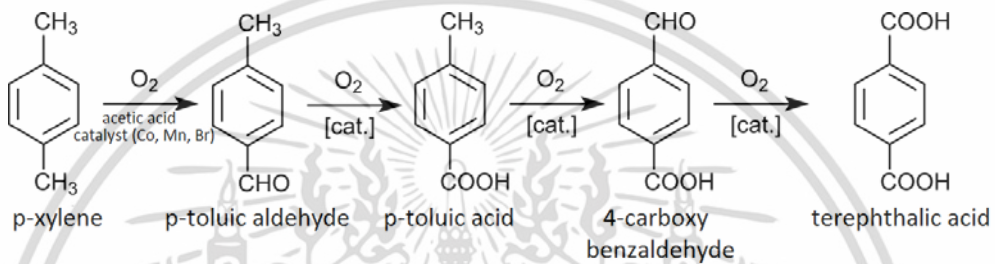
รายงานการศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตกรดแอสติกด้วยเมทานอลซึ่งเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตกรดเทรพทาลิกบริสุทธิ์

บทที่ 2

ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

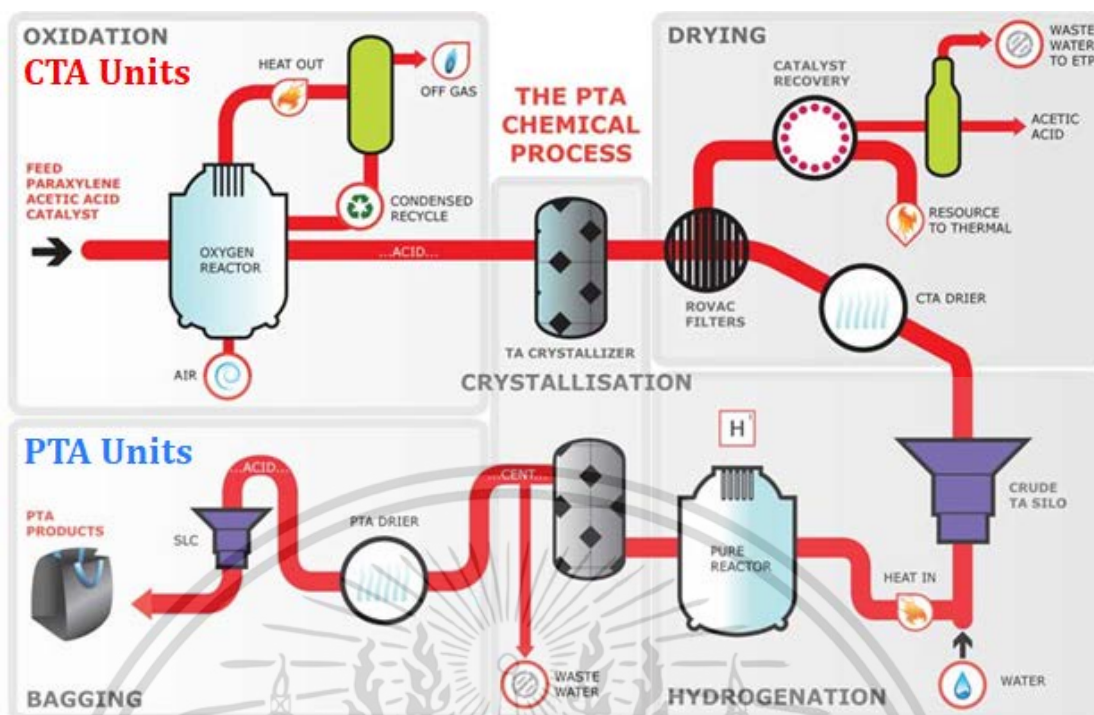
2.1 กระบวนการการผลิตกรดเทเรพทาติกบริสุทธิ์ (Purified terephthalic acid process)

กรดเทเรพทาติกบริสุทธิ์ (Purified terephthalic acid: PTA) เป็นสารเคมีที่สำคัญในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี การผลิตกรดเทเรพทาติกบริสุทธิ์ใช้ปฏิกิริยาออกซิเดชันของพาราไซลีนโดยมีกรดแอสติกเป็นตัวทำละลาย ดังรูปที่ 2.1 (Mayer, R. D. 2005)



รูปที่ 2.1 ปฏิกิริยาออกซิเดชันของพาราไซลีน (Mayer, R. D. 2005)

จากรูปที่ 2.1 พาราไซลีนทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในตัวทำละลายกรดแอสติก ปฏิกิริยาขั้นสุดท้ายจาก 4-carboxy benzaldehyde (4-CBA) ไปเป็นกรดเทเรพทาติกเกิดได้ไม่สมบูรณ์ และไม่สามารถแยก 4-CBA ออกจากกรดเทเรพทาติกได้ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จึงเป็นสเลอรีผสมระหว่างกรดเทเรพทาติกและ 4-CBA ที่อยู่ในตัวทำละลายกรดแอสติก จะถูกส่งเข้ากระบวนการตกผลึกและทำให้แห้งได้ผลึกของกรดเทเรพทาติกดิบที่มี 4-CBA ส่วนสารละลายกรดแอสติกจะถูกนำกลับไปใช้ที่ปฏิกิริยาออกซิเดชันของพาราไซลีนอีกครั้ง ส่วนนี้เรียกว่ากระบวนการกรดเทเรพทาติกดิบ (Crude terephthalic acid unit: CTA unit) จากนั้นผลึกของกรดเทเรพทาติกดิบที่มี 4-CBA จะถูกส่งเข้ากระบวนการผลิตกรดเทเรพทาติกบริสุทธิ์ (Purified terephthalic acid unit: PTA unit) ซึ่งเป็นส่วนที่เกิดปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชันเพื่อเปลี่ยน 4-CBA กลับเป็นกรดพาราโทลูอิก (p-toluic acid: p-TA) เนื่องจากกรดพาราโทลูอิกละลายน้ำได้ แต่กรดเทเรพทาติกไม่ละลายน้ำจึงคงสภาพเป็นสเลอรีที่มีความบริสุทธิ์สูงขึ้น จากนั้นสเลอรีของกรดเทเรพทาติกบริสุทธิ์จะถูกส่งเข้ากระบวนการตกผลึกและทำให้แห้ง ได้ผลิตภัณฑ์กรดเทเรพทาติกบริสุทธิ์เพื่อส่งจำหน่าย ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 กระบวนการผลิตกรดเทเรฟทาลิกดิบและกระบวนการผลิตกรดเทเรฟทาลิกบริสุทธิ์
(Lotte Chemical Pakistan Ltd. 2017)

2.2 กระบวนการการผลิตกรดแอซีติก (Acetic acid process)

2.2.1 ปฏิกริยามะทานอลคาร์บอนิลเลชัน (Methanol carbonylation reaction)

กรดแอซีติกเป็นผลิตภัณฑ์สำคัญในการผลิตกรดเทเรฟทาลิกบริสุทธิ์ ไวนิลแอซีเตต มอนอเมอร์ และแอซีติกแอนไฮไดรด์ Hosseinpour, V. และคณะ รายงานการใช้กรดแอซีติก ประมาณ 10 ล้านตันต่อปี (Hosseinpour, V. et.al. 2011a) ในสมัยก่อนกรดแอซีติกผลิตได้จากกระบวนการหมักเอทานอลด้วยจุลินทรีย์เท่านั้น ซึ่งในปัจจุบันกระบวนการนี้ใช้สำหรับอุตสาหกรรมอาหาร ส่วนการผลิตกรดแอซีติกในอุตสาหกรรมปิโตรเคมีในระยะแรก คือ ใช้ปฏิกริยาออกซิเดชันของอะซีทัลแอนไฮไดรด์ ในระยะต่อมาใช้ปฏิกริยาออกซิเดชันของนอร์มัลบิวเทนและเนฟทา ในปัจจุบันทั้งสองกระบวนการไม่คุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ นอกจากนี้มีการผลิตกรดแอซีติกบ้างที่เป็นกระบวนการผลิตขนาดเล็กจากปฏิกริยาออกซิเดชันโดยตรงของเอทิลีน (Direct ethylene oxidation) ปัจจุบันปฏิกริยามะทานอลคาร์บอนิลเลชันนิยมใช้ในการผลิตกรดแอซีติกมากที่สุด โดยใช้เมทานอลและแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์เป็นสารตั้งต้น (Yoneda, N. et al. 2001) ปฏิกริยามะทานอลคาร์บอนิลเลชันที่พัฒนาในระยะแรกโดยบริษัท บีเอเอสเอฟ จำกัด ใช้ตัวเร่งปฏิกริยาเอกพันธ์ซึ่งเป็นสารละลายผสมของนิกเกิลและโคบอลต์ และใช้สารละลายเมทิลไอโอไดด์เป็นโปรโมเตอร์ แต่เนื่องจากต้องใช้ภาวะปฏิบัติการที่อุณหภูมิและความดันสูง (250°C และ 680 bar) จึงไม่นิยมใช้แล้ว ในปัจจุบัน (Sunley, G. J. and Watson, D. J. 2000; Williams, B. L. 2002) ต่อมาในปี ค.ศ.

1973 บริษัท บีพี เคมิคอลส์ จำกัด พัฒนาการบวนการมอนซานโต (Monsanto process) ที่ใช้ตัวเร่งเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สว่นไวสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

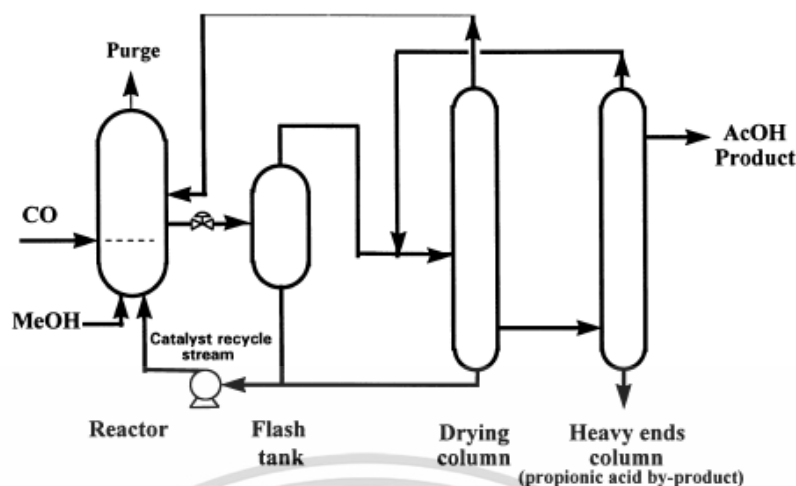
ปฏิกิริยาเอกพันธ์ซึ่งเป็นสารละลายผสมของโรเดียมและเมทิลไอโอไดด์ ภาวะปฏิบัติการที่อุณหภูมิ 180-200°C และความดัน 30-40 barg และในปี ค.ศ. 1996 บริษัท บีพี เคมิคอลส์ จำกัด ได้พัฒนากระบวนการใหม่ เรียกว่า กระบวนการคาทิวา (Cativa™ process) ที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธ์ซึ่งเป็นสารละลายผสมของอิริเดียมและเมทิลไอโอไดด์ และใช้สารละลายรูทีเนียมเป็นโปรโมเตอร์ ข้อดีของการใช้อิริเดียมเมื่อเปรียบเทียบกับโรเดียมคืออิริเดียมมีราคาสูงกว่า นอกจากนี้หากใช้โรเดียมจะต้องใช้น้ำที่เครื่องปฏิกรณ์ปริมาณมาก เพื่อเพิ่มอัตราการเกิดปฏิกิริยาเมทานอลคาร์บอนิลเลชัน และป้องกันการตกตะกอนของโรเดียม เพราะพันธะระหว่างโลหะและลิแกนด์ของอิริเดียมมีความแข็งแรงกว่าโรเดียม ดังนั้นอิริเดียมจึงตกตะกอนยากกว่า ทำให้สามารถลดปริมาณน้ำที่ใช้และปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นได้

2.2.2 กระบวนการคาทิวา

ปฏิกิริยาเมทานอลคาร์บอนิลเลชัน แสดงดังสมการที่ 2.1 ปฏิกิริยาข้างเคียงคือ Water-gas shift แสดงดังสมการที่ 2.2-2.4 รูปที่ 2.3 แสดงกระบวนการคาทิวา เมทานอลและแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์จะถูกส่งเข้าเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง (Continuous-stirred tank reactor: CSTR) ได้กรดแอสติกและน้ำในสารละลายผสมระหว่างอิริเดียม เมทิลไอโอไดด์ และรูทีเนียม ซึ่งจะถูกส่งเข้าถังเฟลช สารละลายอิริเดียมและรูทีเนียมจะถูกแยกออกจากไอผสมของเมทิลไอโอไดด์ น้ำ และกรดแอสติก สารละลายผสมของอิริเดียมและรูทีเนียมจะถูกส่งกลับเข้าเครื่องปฏิกรณ์ ส่วนไอผสมของเมทิลไอโอไดด์ น้ำ และกรดแอสติกจะถูกส่งเข้าหอกลั่นเพื่อแยกกรดแอสติกบริสุทธิ์ ส่วนสารละลายเมทิลไอโอไดด์จะถูกส่งกลับเข้าเครื่องปฏิกรณ์ ผลพลอยได้จากปฏิกิริยา Water-gas shift ได้แก่ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สมีเทน และแก๊สไฮโดรเจน จะถูกส่งไปยังหน่วยบำบัดแก๊สเสีย (Waste gas treatment units) ต่อไป (Sunley, G. J. and Watson, D. J. 2000; Williams, B. L. 2002)



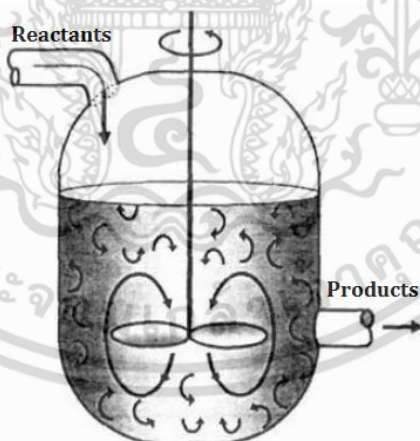
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 กระบวนการคาทิวา (Sunley, G. J. and Watson, D. J. 2000)

2.3 การออกแบบเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่องที่อุณหภูมิคงที่ (Isothermal continuous-stirred tank reactor design) (Fogler, H. S. 2014)

เครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่องดังรูปที่ 2.4 ใช้ทั่วไปในโรงงานอุตสาหกรรม การออกแบบเครื่องปฏิกรณ์ชนิดนี้จะใช้สมมติฐาน คือ การปฏิบัติการที่ภาวะคงตัว (Steady state) และภายในเครื่องปฏิกรณ์มีการผสมอย่างสมบูรณ์ (Perfect mixing) ดังนั้นกล่าวได้ว่าอุณหภูมิ ความเข้มข้น และปัจจัยอื่นๆ จึงไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลาและตำแหน่งในเครื่องปฏิกรณ์



รูปที่ 2.4 เครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง (Fogler. 2014)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการดุลโมล (สมการที่ 2.5)

$$\begin{aligned} \left[\begin{array}{c} \text{Rate of flow} \\ \text{of A into} \\ \text{the system} \\ \text{(moles/time)} \end{array} \right] - \left[\begin{array}{c} \text{Rate of flow} \\ \text{of A out of} \\ \text{the system} \\ \text{(moles/time)} \end{array} \right] + \left[\begin{array}{c} \text{Rate of generation} \\ \text{of A by chemical} \\ \text{reaction within} \\ \text{the system} \\ \text{(moles/time)} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{c} \text{Rate of} \\ \text{accumulation} \\ \text{of A within} \\ \text{the system} \\ \text{(moles/time)} \end{array} \right] \\ F_{A0} - F_A + \int_V r_A dV = \frac{dN_A}{dt} \quad (2.5) \end{aligned}$$

เมื่อ

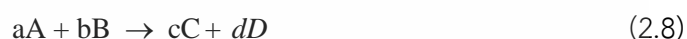
$$\begin{aligned} r_A &= \text{อัตราการเกิดปฏิกิริยาของสาร A} \quad (\text{moles/time} \cdot \text{volume}) \\ F_{A0} &= \text{อัตราการไหลเชิงโมลของสาร A ขาเข้า} \quad (\text{moles/time}) \\ \frac{dN_A}{dt} &= \text{อัตราการสะสมของสาร A ภายในระบบ} \quad (\text{moles/time}) \\ F_A &= \text{อัตราการไหลเชิงโมลของสาร A ขาออก} \quad (\text{moles/time}) \end{aligned}$$

เมื่อพิจารณาสมมติฐานของเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง จะได้สมการคำนวณปริมาตรของเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง (V) ที่อุณหภูมิคงที่ ดังสมการที่ 2.6-2.7

$$F_{A0} - F_A + r_A \cdot V = 0 \quad (2.6)$$

$$V = \frac{F_{A0} - F_A}{-r_A} \quad (2.7)$$

สมการที่ 2.7 สามารถแปลงให้อยู่ในเทอมของค่าการแปลงผันทางเคมี (Chemical conversion) โดยพิจารณาปฏิกิริยาเคมีพื้นฐาน ดังสมการที่ 2.8 อักษรพิมพ์ใหญ่ หมายถึง ชนิดของสารเคมี อักษรพิมพ์เล็ก หมายถึง เลขปริมาณสารสัมพันธ์



ในกรณีที่สาร A เป็นสารกำหนดปฏิกิริยา (Limiting reactant) สามารถจัดสมการในรูปต่อโมลของสาร A ที่เกิดปฏิกิริยา ได้ดังสมการที่ 2.9



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีนี้จึงนิยามค่าการแปลงผันทางเคมี เป็นอัตราส่วนระหว่างโมลของสาร A ที่ทำปฏิกิริยา ต่อโมลของสาร A ที่ป้อนเข้าเครื่องปฏิกรณ์ ดังสมการที่ 2.10

$$X = \frac{\text{Moles of A reacted}}{\text{Moles of A fed}} \quad (2.10)$$

ดังนั้นสมการดุลโมลของเครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่องในเทอมของค่าการแปลงผันทางเคมี จะเขียนได้ดังสมการที่ 2.11-2.12

$$\begin{bmatrix} \text{Molar flow rate} \\ \text{at which A is} \\ \text{fed to the system} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \text{Molar flow rate} \\ \text{at which A is} \\ \text{consumed within the system} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{Molar flow rate} \\ \text{at which A leaves} \\ \text{the system} \end{bmatrix}$$

$$[F_{A0}] - [F_{A0}X] = [F_A] \quad (2.11)$$

$$F_A = F_{A0}(1 - X) \quad (2.12)$$

เมื่อพิจารณาร่วมกับสมการที่ 2.7 จะได้สมการคำนวณปริมาตรของเครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่องที่อุณหภูมิคงที่ในเทอมของค่าการแปลงผันทางเคมีดังนี้

$$V = \frac{F_{A0}X}{-r_A} \quad (2.13)$$

2.4 การจำแนกชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา (สมชัย อัครทิวา. 2546)

ตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถจำแนกออกโดยพิจารณาวัฏภาคที่มีอยู่ในระบบ ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ ตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธ์ (Homogeneous catalyst) และตัวเร่งปฏิกิริยาอวิวิธพันธ์ (Heterogeneous catalyst)

2.4.1 ตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธ์

ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดนี้จะอยู่ในวัฏภาคเดียวกันกับสารตั้งต้น เช่น ปฏิกิริยาการสลายตัวของอะซีทัลดีไฮด์ ที่สารตั้งต้น (อะซีทัลดีไฮด์) และตัวเร่งปฏิกิริยาไอโอดีนอยู่ในวัฏภาคแก๊สทั้งคู่ สำหรับปฏิกิริยาเมทานอลคาร์บอนิลเลชัน สารตั้งต้นคือเมทานอลและแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ ตัวเร่งปฏิกิริยาคือสารละลายผสมของอิริเดียมและเมทิลไอโอดีนและใช้สารละลายรูทีเนียมเป็นโปรโมเตอร์ ทั้งหมดอยู่ในวัฏภาคของเหลว ข้อดีของตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธ์ เช่น สามารถควบคุมภาวะในการเกิดปฏิกิริยาได้ง่ายกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาอวิวิธพันธ์ และเกิดปฏิกิริยาในลักษณะต่อเนื่อง ทำให้ควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้ง่าย แต่มีข้อจำกัด เช่น การแยกตัวเร่งปฏิกิริยาและผลิตภัณฑ์ออกจากกัน เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ค่อนข้างยาก

2.4.2 ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์

ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดนี้จะอยู่ต่างวฏภาคกับสารตั้งต้น โดยส่วนใหญ่ตัวเร่งปฏิกิริยามักเป็นของแข็ง ในขณะที่สารตั้งต้นเป็นของเหลวหรือแก๊ส เช่น ปฏิกิริยาการแตกตัวของไฮโดรคาร์บอน (Catalytic cracking) การดูดซับแก๊สไฮโดรเจนบนพื้นผิวของนิกเกิล ข้อดีของตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ เช่น สามารถแยกตัวเร่งปฏิกิริยาและผลิตภัณฑ์ออกจากกันได้ง่าย ทำให้นิยมใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดนี้ในอุตสาหกรรม แต่ข้อจำกัด เช่น อาจต้องทำให้สารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์อยู่ในวฏภาคแก๊สตลอดเวลา ในระหว่างเกิดปฏิกิริยา จึงต้องทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิสูงซึ่งมีผลต่อความเสถียรของสารหรือความปลอดภัยในการปฏิบัติการ

2.5 การกลั่น (Distillation) (บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน). 2554)

กระบวนการกลั่นเป็นการแยกองค์ประกอบแต่ละชนิดที่อยู่ในของเหลวผสมออกจากกันด้วยวิธีทางกายภาพ โดยใช้หลักความแตกต่างของจุดเดือดและความดันไอ (Vapor pressure) ขององค์ประกอบ เมื่อของเหลวได้รับความร้อนจนเดือด ไอขององค์ประกอบแต่ละชนิดจะลอยขึ้นสู่ด้านบนของหอกลั่นและกลั่นตัวลงมาเป็นของเหลวที่มีความบริสุทธิ์ กระบวนการกลั่นใช้ได้ดีสำหรับการแยกองค์ประกอบในของเหลวผสมที่มีจุดเดือดแตกต่างกัน ปัจจุบันที่มีผลต่อการกลั่น ได้แก่ จุดเดือดหรือความดันไอขององค์ประกอบแต่ละชนิด ชนิดของหอกลั่นที่ใช้ ความดันในหอกลั่น กระบวนการที่พบได้ทั่วไปในอุตสาหกรรมปิโตรเลียมและปิโตรเคมี เช่น การกลั่นแยกน้ำมันดิบเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด ได้แก่ แก๊สธรรมชาติเหลว แนฟทา น้ำมันเบนซิน น้ำมันดีเซล เป็นต้น การแยกแก๊สธรรมชาติ

ประเภทของการกลั่นที่พบ เช่น

- 1) การกลั่นลำดับส่วน (Fractionation distillation) เหมาะสำหรับใช้กลั่นของเหลวที่เป็นองค์ประกอบของสารละลายที่จุดเดือดต่างกันเล็กน้อย เช่น การกลั่นแยก 1-บิวทีน และ 2-บิวทีน ออกจากกัน
- 2) การกลั่นร่วมกับตัวทำละลาย (Extractive distillation) เช่น การกลั่นบิวทาไดอินออก จาก C₄ mixture โดยใช้แอสिटโทไนไทรล์เป็นตัวทำละลาย
- 3) การกลั่นแอสिटโรป (Azeotropic distillation) เช่น การกลั่นแยกเอทานอลและน้ำที่เป็นสารแอสिटโรป
- 4) การกลั่นแบบลดความดัน หรือการกลั่นแบบแฟลช (Flash distillation) เป็นการแยกองค์ประกอบที่เป็นแก๊สหรือไอออกจากของเหลวผสมโดยการลดความดัน เมื่อของเหลวผสมที่มีความดันสูงผ่านเข้าไปในถังแยกที่มีความดันต่ำกว่า องค์ประกอบส่วนเบาจะแฟลชออกไปเป็นไอและลอย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกจากส่วนบนของถังแฟลช ส่วนองค์ประกอบที่หนักกว่ายังคงอยู่ในสถานะของเหลว และไหลออกทางด้านล่างของถังแฟลช

2.6 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์เบื้องต้น (Preliminary economic evaluation) (แปลและเรียบเรียงโดย กรกฎ ไยบัวเทศ และคณะ 2549)

การวิเคราะห์ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์เป็นส่วนสำคัญในการประกอบการตัดสินใจเกี่ยวกับความเป็นไปได้ของโครงการซึ่งเกี่ยวข้องกับปัจจัยหลัก 3 ประการ ได้แก่ กระแสเงินสด (Cash flow) เวลาที่เกิดขึ้น (Time of occurrence) และอัตราดอกเบี้ย (Interest rate) การประมาณความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์เป็นการประมาณค่ากระแสเงินสดในอนาคต คำศัพท์และสัญลักษณ์ที่ใช้ในเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม ได้แก่

P = มูลค่าปัจจุบัน หรือมูลค่าในปีที่ศูนย์ (Present value หรือ Present worth)

F = มูลค่าของเงินในอนาคตในปีที่ n ที่พิจารณา (Future value หรือ Future worth)

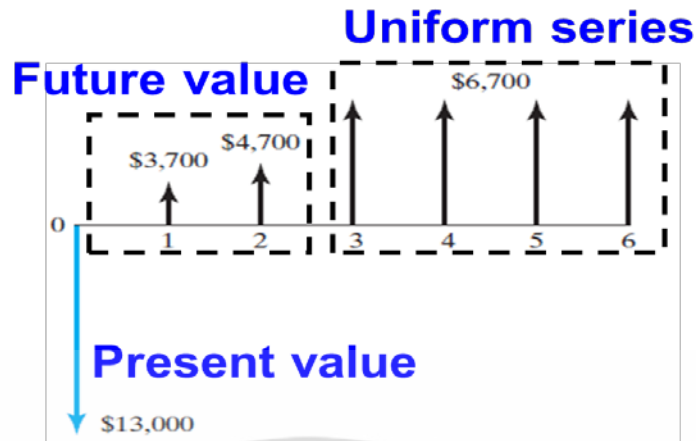
A = ชุดของกระแสเงินสดในอนาคตในระยะปีที่ n ที่พิจารณา ซึ่งมีมูลค่าเท่ากันตลอดทั้งช่วงเวลา (Uniform series หรือ Equal series)

n = เวลาปีใดๆ หรือระยะปีที่ n ที่พิจารณา

i = อัตราดอกเบี้ยทบต้นที่ใช้ในการพิจารณาโครงการในระยะเวลา (n) ที่พิจารณา มีหน่วยเป็นดอกเบี้ยต่อปี

อัตราผลตอบแทนการลงทุนขั้นต่ำ (Minimum attractive rate of return: MARR) เป็นอัตราผลตอบแทนการลงทุนที่คาดว่าจะได้รับน้อยที่สุดเมื่อมีการลงทุน โดยทั่วไปอัตราผลตอบแทนการลงทุนขั้นต่ำจะมีค่าสูงกว่าดอกเบี้ยที่ได้รับจากธนาคาร

ผังกระแสเงินสด (Cash flow diagram) เป็นการเขียนกระแสเงินสดในเส้นเวลา โดยช่วงเวลาที่พิจารณานี้เป็นช่วงที่มีการจ่ายดอกเบี้ย (Interest period) มีหน่วยเป็น ปี จุดเริ่มต้นคือเวลา $t = 0$ หมายถึง เวลาปัจจุบัน $t = 1, 2, \dots, n$ หมายถึง เวลาปีที่ 1, 2 จนถึงปีใดๆ โดยกระแสเงินสดเข้าหรือรายรับ จะแสดงลูกศรชี้ขึ้นด้านบนของเส้นเวลา ส่วนกระแสเงินสดออกหรือรายจ่ายจะแสดงลูกศรชี้ลงด้านล่างของเส้นเวลา ตัวอย่างแสดงดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ตัวอย่างผังกระแสเงินสด (Park, C. S. 2015)

2.6.1 ตัวประกอบการจ่ายเงินครั้งเดียว (Single-payment factors, F/P และ P/F factors)

ตัวประกอบการจ่ายเงินครั้งเดียว เป็นตัวประกอบสำหรับคำนวณแปลงมูลค่าปัจจุบัน (P) ไปเป็นมูลค่าของเงินในอนาคต (F) ที่อัตราดอกเบี้ยทบต้น i % ที่เวลา n ใดๆ ดังสมการที่ 2.14 เรียกแฟกเตอร์นี้ว่า (F/P, i , n)

$$F = P(1 + i)^n \quad (2.14)$$

ในทางกลับกันสมการแปลงมูลค่าของเงินในอนาคต (F) ไปเป็นมูลค่าปัจจุบัน (P) ดังสมการที่ 2.15 เรียกแฟกเตอร์นี้ว่า (P/F, i , n)

$$P = \frac{F}{(1 + i)^n} \quad (2.15)$$

2.6.2 ตัวประกอบอนุกรมเพื่อหามูลค่าปัจจุบันและตัวประกอบการระดมเงินทุน (Uniform-series present worth factors and capital recovery factors, P/A และ A/P factors)

การคำนวณค่า P ที่เกิดจากค่า A พิจารณาจากสมการที่ 2.15 และสมการที่ 2.16

$$P = \frac{A}{(1 + i)^1} + \frac{A}{(1 + i)^2} + \frac{A}{(1 + i)^3} + \dots + \frac{A}{(1 + i)^n} \quad (2.16)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำสมการที่ 2.16 คูณด้วยแฟกเตอร์ $(P/F, i, 1) (1/(1+i))$ ได้สมการที่ 2.17

$$\frac{P}{(1+i)} = A \left(\frac{1}{(1+i)^1} + \frac{1}{(1+i)^2} + \frac{1}{(1+i)^3} + \dots + \frac{1}{(1+i)^n} + \frac{1}{(1+i)^{n+1}} \right) \quad (2.17)$$

นำสมการที่ 2.17 ลบสมการที่ 2.16 จะได้แฟกเตอร์ $(P/A, i, n)$ จะได้สมการที่ 2.18

$$P = A \left(\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right) \quad (2.18)$$

ในทางกลับกันแฟกเตอร์ $(A/P, i, n)$ คำนวณจากสมการที่ 2.19 เมื่อ $i \neq 0$

$$A = P \left(\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right); i \neq 0 \quad (2.19)$$

2.6.3 การวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุน (Payback period analysis)

การวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุนเป็นวิธีหนึ่งในการพิจารณาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์เบื้องต้นของโครงการโดยการแปลงผลกำไรในอนาคต (F) ให้เป็นมูลค่าปัจจุบัน (P) เทียบกับการลงทุนเริ่มต้น (Initial investment) สามารถวิเคราะห์ได้ทั้งแบบคิดดอกเบี้ย ($i > 0\%$) และแบบไม่คิดดอกเบี้ย ($i = 0\%$) สำหรับโครงการที่ศึกษาในวิทยานิพนธ์นี้พิจารณาแบบคิดดอกเบี้ย ดังสมการที่ 2.20 โครงการที่มีความคุ้มค่าจะต้องมีระยะเวลาคืนทุนที่ต่ำ และต้องน้อยกว่าอายุของโครงการ ถ้าระยะเวลาคืนทุนมากกว่าอายุของโครงการ แสดงว่าโครงการไม่คุ้มค่าในการลงทุน

$$0 = -P + \sum_{t=1}^{t=n_p} NCF_t(P/F, i\%, t) \quad (2.20)$$

เมื่อ $-P$ คือ การลงทุนเริ่มต้น

NCF คือ กระแสเงินสดสุทธิ (Net cash flow) ที่ปีใดๆ

n_p คือ ระยะเวลาคืนทุนของโครงการ

2.6.4 การวิเคราะห์อัตราผลตอบแทน (Rate of return analysis)

อัตราผลตอบแทน คือ อัตราดอกเบี้ยที่ต้องจ่ายชำระเงินจากการกู้ยืม มักแสดงเป็นเปอร์เซ็นต์ต่อช่วงเวลา เช่น $i = 10\%$ ต่อปี ดังนั้นเมื่อคำนวณอัตราผลตอบแทนของโครงการใดๆ (i^*)

แล้วนำมาเปรียบเทียบกับอัตราผลตอบแทนการลงทุนขั้นต่ำของโครงการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้า $i^* > MARR$: ยอมรับว่าโครงการนั้นมีความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์
 $i^* < MARR$: ไม่ยอมรับโครงการนั้น

เมื่อกำหนดให้มูลค่าปัจจุบันของต้นทุนหรือค่าใช้จ่าย (PW_D) เท่ากับมูลค่าปัจจุบันของรายได้หรือรายรับ (PW_R) ดังสมการที่ 2.21 โดยมูลค่าปัจจุบันของรายได้หรือรายรับ (PW_R) ในกรณีแปลงรายได้หรือรายรับครั้งเดียว สามารถคำนวณด้วยแฟกเตอร์ ($P/F, i, n$) ดังสมการที่ 2.15 ส่วนกรณีแปลงรายได้หรือรายรับที่เท่ากันตลอดช่วงเวลา เช่น การคำนวณโครงการที่ศึกษาในวิทยานิพนธ์นี้ สามารถคำนวณด้วยแฟกเตอร์ ($P/A, i, n$) ดังสมการที่ 2.18 โดยกำหนดอัตราผลตอบแทนของโครงการ (i^*) แทนในสมการที่ 2.21 จากนั้นใช้วิธีการลองผิดลองถูก (Trial and error method) จนกระทั่งสมการที่ 2.21 สมดุล

$$\begin{aligned} PW_D &= PW_R \\ 0 &= -PW_D + PW_R \end{aligned} \quad (2.21)$$

2.7 หลักการวิเคราะห์การทดลองแบบพื้นผิวตอบสนอง (Response surface methodology: RSM) เพื่อหาสมการทำนายอัตราการเกิดปฏิกิริยาและภาวะปฏิบัติการที่เหมาะสมของเครื่องปฏิกรณ์

งานวิทยานิพนธ์นี้อ้างอิงงานวิจัยของ Hosseinpour, V. และคณะ (Hosseinpour, V. et al. 2011a; 2011b) ในการใช้หลักการวิเคราะห์การทดลองแบบพื้นผิวตอบสนอง เพื่อหาสมการทำนายอัตราการเกิดปฏิกิริยาเมทานอลคาร์บอนิลเลชัน และภาวะปฏิบัติการที่เหมาะสมของเครื่องปฏิกรณ์ คือ 1) อัตราการเกิดปฏิกิริยาเมทานอลคาร์บอนิลเลชันสูงสุด และ 2) ปฏิกิริยา Water-gas shift เป็นผลพลอยได้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สมีเทน และแก๊สไฮโดรเจนน้อยที่สุด

การวิเคราะห์การทดลองแบบพื้นผิวตอบสนองมีหลักการและขั้นตอนการวิเคราะห์ดังนี้ (Montgomery, D. C. 2014; ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา และคณะ 2551; พิณฑเทพ เศรษฐภูภิน. 2558)

2.7.1 ออกแบบการทดลองเพื่อหาตัวแปรที่มีนัยสำคัญต่อการทดลอง ซึ่งอ้างอิงงานวิจัยของ Hosseinpour, V. และคณะ (Hosseinpour, V. et al. 2011a; 2011b)

2.7.2 สร้างสมการทำนายผลการวิเคราะห์ที่เป็นสมการพหุนามเทียบกับข้อมูลจากการทดลอง โดยการวิเคราะห์ความถดถอยและทดสอบความเหมาะสมของสมการด้วยการทดสอบทางสถิติ ได้แก่ Lack-of-fit, R^2 และ P-test

2.7.3 หาภาวะปฏิบัติการของการเกิดปฏิกิริยาเมทานอลคาร์บอนิลเลชันที่เหมาะสม จากการทดลองกับสมการที่ได้ ส่วนใหญ่สมการพหุนามอันดับหนึ่งหรือสมการพหุนามอันดับสองจะใช้สำหรับการวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนอง อย่างไรก็ตามเพื่อให้ได้ผลตอบสนองที่แน่นอน สมการพหุนาม

อันดับสองมีความเหมาะสมมากกว่า (งานวิทยานิพนธ์นี้ใช้สมการพหุนามอันดับสอง) รูปแบบทั่วไปของสมการพหุนามอันดับสอง แสดงดังสมการที่ 2.22

$$y = a_0 + \sum_{i=1}^k a_i x_i + \sum_{i=1}^k a_{ii} x_i^2 + \sum_{i=1}^k \sum_{\substack{j \\ i < j}}^k a_{ij} x_i x_j + \varepsilon \quad (2.22)$$

เมื่อ y = ผลตอบสนอง (ภาวะปฏิบัติการที่เหมาะสม)

a_0 = ค่าคงที่

a_i, a_{ii} = สัมประสิทธิ์เชิงเส้น

a_{ij} = สัมประสิทธิ์เนื่องจากอันตรกิริยา

x_i, x_j = ตัวแปรต้น

k = จำนวนของปัจจัย

ε = ค่าประมาณความคลาดเคลื่อน

Hosseinpour, V. และคณะ (Hosseinpour, V. et al. 2011a; 2011b) ทดลองปฏิกิริยามะทานอลคาร์บอนิลเลชัน และวัดผลตอบสนอง 4 ลักษณะ ได้แก่

y_1 = อัตราการเกิดปฏิกิริยา (mol/l·h)

y_2 = ปริมาณผลพลอยได้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (mol%)

y_3 = ปริมาณผลพลอยได้แก๊สมีเทน (mol%)

y_4 = ปริมาณผลพลอยได้แก๊สไฮโดรเจน (mol%)

โดยมีตัวแปรต้น 7 ตัวแปร ได้แก่

A = อุณหภูมิทำปฏิกิริยา (°C)

B = ความดัน (barg)

C = ปริมาณสารละลายอิริเดียม (ppm)

D = ปริมาณสารละลายรูทีเนียม (ppm)

E = ปริมาณสารละลายเมทิลไอโอดด์ (wt%)

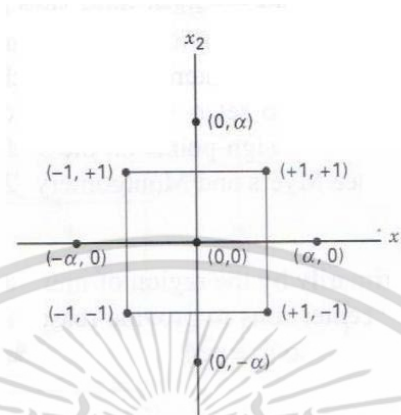
F = ปริมาณมะทานอล (wt%)

G = ปริมาณน้ำ (wt%)

การทดลองแบบพื้นผิวตอบสนองอันดับสองที่นิยมใช้มากที่สุด คือ การออกแบบเซนทรัลคอมโพสิต (Central composite design: CCD) ซึ่งใช้ในวิทยานิพนธ์นี้เช่นกัน โดยเป้าหมายคือการหาค่าของผลตอบสนองที่เหมาะสมที่สุด (ภาวะปฏิบัติการที่เหมาะสมของปฏิกิริยามะทานอลคาร์บอนิลเลชัน) การออกแบบเซนทรัลคอมโพสิตเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพเนื่องจากเป็นเทคนิคที่ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นเป็นประโยชน์ในการนำข้อมูลไปใช้ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการทางคณิตศาสตร์และสถิติในการสร้างสมการสำหรับวิเคราะห์ปัญหาที่ปัจจัยซึ่งส่งผลกระทบต่อผลตอบสนองมีจำนวนมาก การทดลองแบบพหุคูณตอบสนองแบบการออกแบบเซนทรัลคอมโพสิต 2 ปัจจัย ดังรูปที่ 2.6 มีวิธีดังนี้



รูปที่ 2.6 การออกแบบเซนทรัลคอมโพสิต 2 ปัจจัย (Montgomery, D. C. 2014)

2.7.4 กำหนดการทดลองแบบแฟกทอเรียล (Factorial runs) 2 ระดับ คือ -1 (ค่าต่ำ) และ +1 (ค่าสูง) ที่มีจำนวนการทดลอง 2^k เมื่อ k คือ จำนวนปัจจัยที่ศึกษา (ในงานวิทยานิพนธ์นี้คือตัวแปรต้น 7 ตัวแปร ที่ได้กล่าวแล้ว)

2.7.5 ทดลองเพิ่มเติมที่จุดศูนย์กลาง (0,0) เพื่อให้ผลตอบสนองที่ได้แสดงถึงส่วนโค้ง และทดลองซ้ำเพื่อหาค่าประมาณของความคลาดเคลื่อน

2.7.6 ทดลองที่จุดแกนของพหุคูณตอบสนอง (จำนวน $2k$ การทดลอง) ที่ระดับ $+\alpha$ ($\alpha, 0$) และ $(0, \alpha)$ และ $-\alpha$ ($-\alpha, 0$) และ $(0, -\alpha)$

เพื่อความแม่นยำของสมการพหุนามอันดับสอง งานวิทยานิพนธ์นี้วิเคราะห์ด้วย R^2 ซึ่งเป็นการวัดความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยที่ได้จากโมเดล ดังสมการที่ 2.23

$$R^2 = 1 - \frac{SS_{residual}}{SS_{model} + SS_{residual}} \quad (2.23)$$

เมื่อ SS คือ ผลรวมกำลังสองของข้อมูล (Sum of squares)

DF คือ ระดับความเป็นอิสระ (Degree of freedom)

วิธีการวิเคราะห์ความสำคัญเชิงสถิติของโมเดลในงานวิทยานิพนธ์นี้พิจารณาจาก p -value เป็นค่าระดับนัยสำคัญ (α) งานวิจัยนี้กำหนดระดับนัยสำคัญ (α) ที่ 95% หมายความว่า p -value มีค่าน้อย 0.05 จึงถือว่าปัจจัยหรือโมเดลนั้นมีนัยสำคัญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Literature review)

งานวิจัยของ Sunley, G. J. และ Watson, D. J. (Sunley, G. J. and Watson, D. J. 2000)

Sunley, G. J. และ Watson, D. J. ศึกษาปฏิกิริยาเมทานอลคาร์บอนิลเลชันที่เครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่อง และศึกษาโปรโมเตอร์ที่เหมาะสม ตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธ์ที่ใช้คือ สารละลายผสมของอิริเดียมและเมทิลไอโอไดด์ พบว่าปัจจัยที่สำคัญต่อการเกิดปฏิกิริยา ได้แก่ อุณหภูมิ ความดันย่อยของแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ ปริมาณของสารละลายอิริเดียม เมทิลไอโอไดด์ เมทิลแอสซีเทต และน้ำ โปรโมเตอร์ที่เหมาะสมคือสารละลายรูทีเนียม ข้อจำกัดของงานวิจัยนี้คือ วิธีการออกแบบการทดลองที่ใช้ไม่สามารถศึกษาอันตรกิริยา (Interaction) ระหว่างปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา

งานวิจัยของ Hosseinpour, V. และคณะ (Hosseinpour V. et al. 2011a; 2011b)

Hosseinpour, V. และคณะ ใช้ตัวแปรต้น 7 ตัวแปร ที่เป็นปัจจัยสำคัญต่อการเกิดปฏิกิริยาเมทานอลคาร์บอนิลเลชันที่ศึกษาโดยงานวิจัยของ Sunley, G. J. และ Watson, D. J. (Sunley, G. J. and Watson, D. J. 2000) ในการทดลองแบบพื้นผิวตอบสนองแบบเซนทรัลคอมโพสิต 5 ระดับ เพื่อหาภาวะปฏิบัติการที่ทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเมทานอลคาร์บอนิลเลชันสูงสุด และอัตราการเกิดปฏิกิริยาข้างเคียงได้แก๊สมีเทนน้อยที่สุด (Hosseinpour V. et al. 2011a) ต่อมาได้ศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับ Water-gas shift reaction ซึ่งเป็นปฏิกิริยาข้างเคียงของกระบวนการเมทานอลคาร์บอนิลเลชัน เพื่อหาภาวะปฏิบัติการที่ทำให้เกิด Water-gas shift reaction ได้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สมีเทน และแก๊สไฮโดรเจนน้อยที่สุด (Hosseinpour, V. et al. 2011b)

รายละเอียดการทดลองของ Hosseinpour, V. และคณะ (Hosseinpour V. et al. 2011a; 2011b) ดังนี้

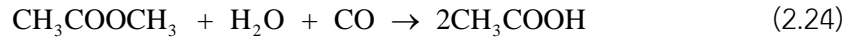
2.8.1 สารที่ใช้ในการทดลอง

เมทิลแอสซีเทต เมทิลไอโอไดด์ และกรดแอสติก จากบริษัท Merck Chemicals Ltd. ตัวเร่งปฏิกิริยาอิริเดียม ($\text{IrCl}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$, 52.88% Ir) และโปรโมเตอร์ ($\text{Ru}_3(\text{CO})_{12}$, 47.2% Ru) จากบริษัท Heraeus and Strem Ltd. และแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (99.95%) จากบริษัท Technical Gas Service Ltd.

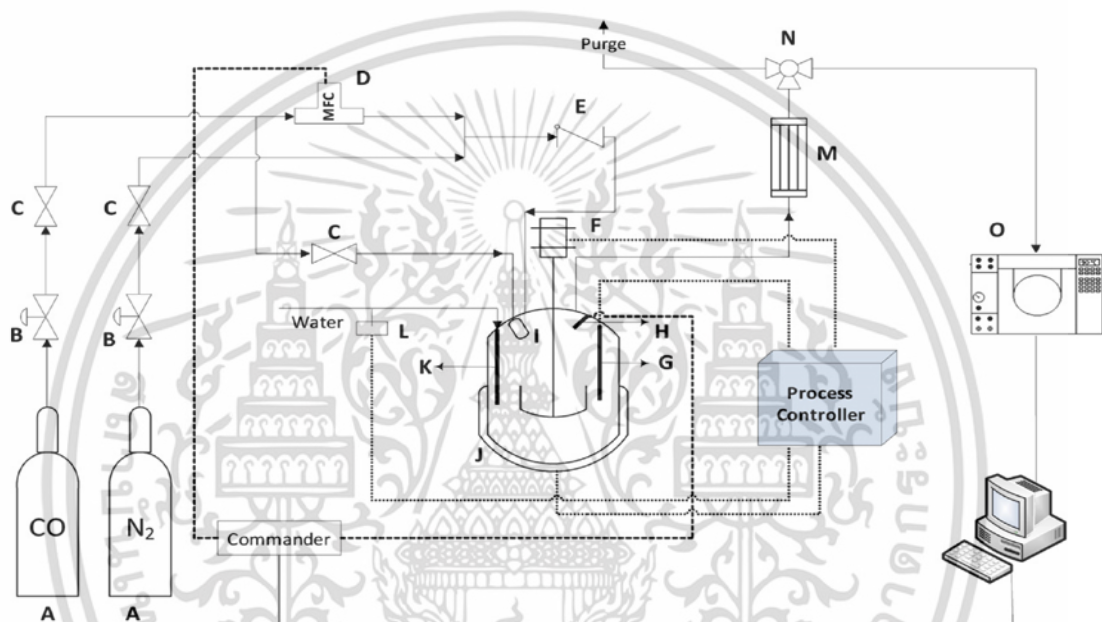
2.8.2 ขั้นตอนการทดลอง

ปฏิกิริยานี้ทำในเครื่องปฏิกรณ์ Parr Hastelloy B2 Autoclave ปริมาตร 450 ml ประกอบด้วยหัวฉีดสารละลายตัวเร่งปฏิกิริยา ตัวกวนแม่เหล็ก และคอยล์ส่งน้ำทำความเย็น เครื่องปฏิกรณ์นี้ควบคุมความดันโดยการป้อนแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ตลอดเวลา ซึ่งปริมาณแก๊สที่ใช้ไปกับปฏิกิริยาจะบันทึกด้วยอุปกรณ์เก็บข้อมูล อัตราการเกิดปฏิกิริยาคำนวณจากอัตราของแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ใช้ไป แต่เนื่องจากเมทานอลสามารถเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันกับเอทิลแอลกอฮอล์เป็นเอสเตอร์ที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรดแอสติก ดังนั้นในการทดลองนี้จะใช้เมทิลแอสเทตเป็นสารตั้งต้นแทนเมทานอล ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นแสดงดังสมการที่ 2.24



ดังนั้น เมทิลแอสเทต แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ และน้ำ อย่างละ 1 mol ที่ใช้ไป จะได้กรดแอสติก 2 mol รูปที่ 2.7 แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ทดลอง



รูปที่ 2.7 อุปกรณ์การทดลองของ Hosseinpour, V. และคณะ (Hosseinpour V. et al. 2011a)
 A: ถังบรรจุแก๊ส B: วาล์วควบคุม C: วาล์วปิด-เปิด D: อุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลเชิงมวล
 E: ซีควาล์ว F: เครื่องกวนแม่เหล็ก G: เทอร์โมคัปเปิล H: อุปกรณ์วัดความดัน I: หัวฉีดสารละลาย
 ตัวเร่งปฏิกิริยา j: เครื่องให้ความร้อน K: คอยล์ส่งน้ำเย็น L: โซเลนอยด์วาล์ว M: เครื่องควบคุม
 N: วาล์วสามทาง O: เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ

ขั้นตอนการทดลองมีดังนี้

- 1) ผสมสารละลายเมทิลแอสเทต เมทิลไอโอดด์ รูทีเนียม น้ำ และกรดแอสติก ในเครื่องปฏิกรณ์ และปิดเครื่องปฏิกรณ์
- 2) ทดสอบความดันในเครื่องปฏิกรณ์ที่ 35 barg ด้วยแก๊สไนโตรเจน จากนั้นระบายออกด้วยแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ 3 ครั้ง จนได้ความดัน 5 barg
- 3) เพิ่มอุณหภูมิภายในเครื่องปฏิกรณ์จนถึงอุณหภูมิทำปฏิกิริยา ขณะที่เพิ่มอุณหภูมิ

จะปั่นกวนสารด้วยความเร็ว 150 rpm ด้วยเครื่องกวนแม่เหล็ก ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) เมื่ออุณหภูมิภายในเครื่องปฏิกรณ์ถึงอุณหภูมิทำปฏิกิริยา ผิดสารละลายอิริเดียม เพื่อเริ่มปฏิกิริยา

5) เพิ่มความดันภายในเครื่องปฏิกรณ์จนถึงความดันทำปฏิกิริยา และปั่นกววนสารที่ ความเร็ว 1,300 rpm ด้วยเครื่องกวนแม่เหล็ก

ในการทดลองนี้ควบคุมความดันในเครื่องปฏิกรณ์คงที่ (± 5 psig) โดยการป้อนแก๊ส คาร์บอนมอนอกไซด์ตลอดเวลา และควบคุมอุณหภูมิคงที่ ($\pm 1^\circ\text{C}$) ด้วยเครื่องให้ความร้อนและ คอยล์ส่งน้ำเย็น

การทดลองแบบพินผิวตอบสนองในงานวิจัยนี้ใช้โปรแกรม Design-Expert Version 8.0.1 ในการออกแบบการทดลอง โดยกำหนดให้ $\alpha = k^{1/4}$ แบบจำลองที่ได้จะใช้ทำนายภาวะ ปฏิบัติการที่เหมาะสมของการเกิดปฏิกิริยาเมทานอลคาร์บอนิลเลชัน และเพื่อลดจำนวนการทดลองลง การออกแบบการทดลองนี้จะใช้ Resolution ระดับ 5 โดยผลของปัจจัยเดียวจะให้ผลเช่นเดียวกับ อันตรกิริยาระดับ 4 ส่วนอันตรกิริยาอันดับ 2 จะให้ผลเช่นเดียวกับอันตรกิริยาอันดับ 3 (Montgomery, D.C. 2014) ปัจจัยที่ศึกษา A คือ อุณหภูมิทำปฏิกิริยา ($^\circ\text{C}$) B คือ ความดัน (barg) C คือ ปริมาณสารละลายอิริเดียม (ppm) D คือ ปริมาณสารละลายรูทีเนียม (ppm) E คือ ปริมาณ สารละลายเมทิลไอโอดีด (wt%) F คือ ปริมาณเมทานอล (wt%) และ G คือ ปริมาณน้ำ (wt%) โดย ระดับของแต่ละปัจจัยแสดงในตารางที่ 2.1 การทดลองทั้งหมด 50 ครั้ง แสดงผลการทดลองดังตาราง ที่ 2.2 เมื่อหน่วยของอัตราการเกิดปฏิกิริยา คือ $\text{mol/l}\cdot\text{h}$ และหน่วยของผลพลอยได้แก๊ส คาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สมีเทน และแก๊สไฮโดรเจนคือ mol%

ตารางที่ 2.1 ระดับของปัจจัยที่ศึกษาในงานวิจัยของ Hosseinpour, V. และคณะ (Hosseinpour, V. et al. 2011a)

| ปัจจัยที่ศึกษา | หน่วย | ระดับของปัจจัย | | | | |
|-----------------|------------------|----------------------|------|-------|-------|----------------------|
| | | $-\alpha$ (-1.63) | -1 | 0 | +1 | $+\alpha$ (+1.63) |
| A: อุณหภูมิ | $^\circ\text{C}$ | 175 | 179 | 185 | 191 | 195 |
| B: ความดัน | barg | 20 | 23 | 29 | 35 | 38 |
| C: อิริเดียม | ppm | 500 | 789 | 1,250 | 1,711 | 2,000 |
| D: รูทีเนียม | ppm | 0 | 501 | 1,300 | 2,099 | 2,600 |
| E: เมทิลไอโอดีด | wt% | 4 | 6.7 | 11 | 15.3 | 18 |
| F: เมทิลแอสีเทต | wt% | 12 | 17.4 | 26 | 34.6 | 40 |
| G: น้ำ | wt% | 6 | 7.9 | 11 | 14.1 | 16 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 การทดลองตามหลักการออกแบบเซนทรัลคอมโพสิต 5 ระดับ และผลการทดลองของ Hosseinpour, V. และคณะ (Hosseinpour, V. et al. 2011a; 2011b)

| | ปัจจัยที่ศึกษา | | | | | | | ผลการทดลอง | | | |
|----|----------------|----|-------|-------|------|------|------|------------|-----------------|-----------------|----------------|
| | A | B | C | D | E | F | G | Rate | CO ₂ | CH ₄ | H ₂ |
| 1 | 179 | 23 | 789 | 2,099 | 6.7 | 17.4 | 14.1 | 5.4 | 5.6 | 13.7 | 1.6 |
| 2 | 179 | 35 | 789 | 501 | 15.3 | 17.4 | 7.9 | 12.0 | 1.3 | 2 | 2.3 |
| 3 | 179 | 35 | 1,711 | 2,099 | 6.7 | 17.4 | 14.1 | 14.5 | 1.6 | 5.8 | 2.5 |
| 4 | 179 | 23 | 1,711 | 501 | 6.7 | 17.4 | 14.1 | 7.8 | 4.7 | 8.5 | 3.4 |
| 5 | 191 | 35 | 1,711 | 2,099 | 15.3 | 34.6 | 14.1 | 20.5 | 4.7 | 10.6 | 3.6 |
| 6 | 179 | 23 | 789 | 501 | 15.3 | 34.6 | 7.9 | 12.8 | 1.7 | 3.6 | 0.4 |
| 7 | 191 | 35 | 789 | 501 | 6.7 | 34.6 | 7.9 | 12.7 | 3.3 | 6.8 | 1.2 |
| 8 | 179 | 35 | 789 | 2,099 | 15.3 | 34.6 | 7.9 | 26.6 | 1.9 | 4.4 | 1.1 |
| 9 | 191 | 23 | 1,711 | 501 | 15.3 | 17.4 | 7.9 | 18.2 | 3.8 | 7.6 | 2.6 |
| 10 | 191 | 35 | 789 | 2,099 | 6.7 | 34.6 | 14.1 | 29.4 | 1.9 | 6.4 | 2.5 |
| 11 | 179 | 23 | 789 | 2,099 | 6.7 | 34.6 | 7.9 | 13.1 | 2.8 | 9.1 | 2.4 |
| 12 | 179 | 23 | 789 | 2,099 | 15.3 | 34.6 | 14.1 | 7.6 | 2.5 | 10.6 | 1.1 |
| 13 | 179 | 23 | 1,711 | 2,099 | 15.3 | 17.4 | 7.9 | 14.8 | 4.3 | 8.7 | 2.8 |
| 14 | 191 | 23 | 789 | 2,099 | 15.3 | 17.4 | 7.9 | 14.8 | 3.3 | 9.4 | 1.7 |
| 15 | 191 | 35 | 789 | 2,099 | 6.7 | 17.4 | 7.9 | 29.2 | 3.3 | 5.6 | 3.0 |
| 16 | 179 | 35 | 1,711 | 501 | 6.7 | 17.4 | 7.9 | 13.6 | 1.1 | 2.7 | 3.0 |
| 17 | 191 | 35 | 789 | 501 | 15.3 | 34.6 | 14.1 | 16.8 | 2.4 | 5 | 2.4 |
| 18 | 191 | 35 | 1,711 | 501 | 6.7 | 34.6 | 14.1 | 15.7 | 8.4 | 12.1 | 6.5 |
| 19 | 179 | 35 | 1,711 | 501 | 15.3 | 34.6 | 7.9 | 32.0 | 1.8 | 3 | 0.9 |
| 20 | 191 | 35 | 1,711 | 2,099 | 15.3 | 17.4 | 7.9 | 32.0 | 1.2 | 5.5 | 2.1 |
| 21 | 191 | 23 | 789 | 501 | 15.3 | 17.4 | 14.1 | 12.1 | 7.0 | 23.6 | 1.8 |
| 22 | 191 | 23 | 789 | 501 | 6.7 | 34.6 | 14.1 | 18.6 | 7.0 | 17.1 | 3.5 |
| 23 | 191 | 23 | 1,711 | 2,099 | 15.3 | 34.6 | 7.9 | 16.7 | 6.1 | 19.5 | 1.5 |
| 24 | 179 | 23 | 1,711 | 501 | 6.7 | 34.6 | 7.9 | 20.7 | 3.6 | 6.8 | 0.4 |
| 25 | 191 | 23 | 1,711 | 2,099 | 6.7 | 17.4 | 7.9 | 23.1 | 9.3 | 16.5 | 1.2 |
| 26 | 179 | 35 | 1,711 | 501 | 15.3 | 17.4 | 14.1 | 6.8 | 3.6 | 5.4 | 4.0 |
| 27 | 191 | 35 | 789 | 501 | 6.7 | 17.4 | 14.1 | 18.2 | 1.2 | 3.4 | 1.7 |
| 28 | 179 | 23 | 1,711 | 2,099 | 6.7 | 34.6 | 14.1 | 12.1 | 3.4 | 13.5 | 3.6 |
| 29 | 191 | 23 | 1,711 | 2,099 | 15.3 | 17.4 | 14.1 | 8.2 | 5.8 | 19.2 | 2.9 |
| 30 | 179 | 35 | 789 | 501 | 6.7 | 34.6 | 14.1 | 3.1 | 4.2 | 7.8 | 5.2 |
| 31 | 175 | 29 | 1,250 | 1,300 | 11.0 | 26.0 | 11.0 | 12.1 | 2.4 | 5.5 | 4.2 |
| 32 | 195 | 29 | 1,250 | 1,300 | 11.0 | 26.0 | 11.0 | 27.0 | 4.5 | 11.2 | 4.2 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 (ต่อ) การทดลองตามหลักการออกแบบเซนทรัลคอมโพสิต 5 ระดับ และผลการทดลองของ Hosseinpour, V. และคณะ (Hosseinpour, V. et al. 2011a; 2011b)

| | ปัจจัยที่ศึกษา | | | | | | | ผลการทดลอง | | | |
|----|----------------|----|-------|-------|------|------|------|------------|-----------------|-----------------|----------------|
| | A | B | C | D | E | F | G | Rate | CO ₂ | CH ₄ | H ₂ |
| 33 | 185 | 19 | 1,250 | 1,300 | 11.0 | 26.0 | 11.0 | 5.7 | 7.0 | 14.3 | 2.9 |
| 34 | 185 | 39 | 1,250 | 1,300 | 11.0 | 26.0 | 11.0 | 20.8 | 2.2 | 5.2 | 3.1 |
| 35 | 185 | 29 | 500 | 1,300 | 11.0 | 26.0 | 11.0 | 11.8 | 1.6 | 6.5 | 2.6 |
| 36 | 185 | 29 | 2,000 | 1,300 | 11.0 | 26.0 | 11.0 | 29.8 | 3.0 | 7.5 | 3.3 |
| 37 | 185 | 29 | 1,250 | 0 | 11.0 | 26.0 | 11.0 | 13.7 | 2.5 | 4.2 | 1.8 |
| 38 | 185 | 29 | 1,250 | 2,600 | 11.0 | 26.0 | 11.0 | 30.7 | 1.9 | 7.5 | 1.7 |
| 39 | 185 | 29 | 1,250 | 1,300 | 4.0 | 26.0 | 11.0 | 20.5 | 3.2 | 6.2 | 3.5 |
| 40 | 185 | 29 | 1,250 | 1,300 | 18.0 | 26.0 | 11.0 | 23.7 | 2.2 | 5.9 | 2.7 |
| 41 | 185 | 29 | 1,250 | 1,300 | 11.0 | 12.0 | 11.0 | 21.0 | 1.6 | 4 | 3.1 |
| 42 | 185 | 29 | 1,250 | 1,300 | 11.0 | 40.0 | 11.0 | 28.7 | 2.4 | 4.5 | 2.5 |
| 43 | 185 | 29 | 1,250 | 1,300 | 11.0 | 26.0 | 6.0 | 19.5 | 1.0 | 2.9 | 0.6 |
| 44 | 185 | 29 | 1,250 | 1,300 | 11.0 | 26.0 | 16.0 | 8.8 | 2.9 | 8.5 | 1.9 |
| 45 | 185 | 29 | 1,250 | 1,300 | 11.0 | 26.0 | 11.0 | 24.1 | 2.9 | 6 | 2.9 |
| 46 | 185 | 29 | 1,250 | 1,300 | 11.0 | 26.0 | 11.0 | 23.8 | 2.9 | 6.3 | 2.8 |
| 47 | 185 | 29 | 1,250 | 1,300 | 11.0 | 26.0 | 11.0 | 24.8 | 3.6 | 7.1 | 3.0 |
| 48 | 185 | 29 | 1,250 | 1,300 | 11.0 | 26.0 | 11.0 | 20.9 | 3.0 | 6.9 | 3.1 |
| 49 | 185 | 29 | 1,250 | 1,300 | 11.0 | 26.0 | 11.0 | 21.7 | 2.4 | 5.7 | 3.0 |
| 50 | 185 | 29 | 1,250 | 1,300 | 11.0 | 26.0 | 11.0 | 24.8 | 3.5 | 7.3 | 3.6 |

2.8.3 การวิเคราะห์แก๊ส

การวิเคราะห์แก๊สใช้เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas chromatograph: GC) รุ่น Agilent Refinery Gas Analyzer (RGA) 6890N ประกอบด้วย เครื่องตรวจวัดแบบ Flame ionization detector (FID) และแบบ Thermal conductivity detector (TCD) สารตัวอย่างจะถูกฉีดเข้าเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี ที่อุณหภูมิ 50°C จากนั้นจะเพิ่มอุณหภูมิเป็น 180°C โดยใช้ฮีเลียมเป็นแก๊สตัวพา อุณหภูมิที่หัวฉีดเท่ากับ 200°C อุณหภูมิที่ FID และ TCD เท่ากับ 250°C และ 200°C ตามลำดับ วิเคราะห์ผลพลอยได้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สมีเทน และแก๊สไฮโดรเจนที่เกิดขึ้น ในหน่วย mol%

2.8.4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

Hosseinpour, V. และคณะ วิเคราะห์ผลการทดลองในตารางที่ 2.2 ด้วยโปรแกรม Design-Expert Version 8.0.1 โดยแยกตีพิมพ์ผลการวิเคราะห์ ออกเป็น 2 บทความ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ได้เห็นว่าเป็นประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.4.1 สมการทำนายอัตราการเกิดปฏิกิริยาเมทานอลคาร์บอนิลเลชันและสมการทำนายผลพลอยได้แก๊สมีเทน และภาวะปฏิบัติการที่ทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเมทานอลคาร์บอนิลเลชันสูงสุด และเกิดปฏิกิริยาข้างเคียงได้แก๊สมีเทนน้อยที่สุด (Hosseinpour, V. et al. 2011a)

สมการอัตราการเกิดปฏิกิริยาเมทานอลคาร์บอนิลเลชัน คือ สมการที่ 2.25 และสมการทำนายผลพลอยได้แก๊สมีเทน คือ สมการที่ 2.26 เมื่อ A คือ อุณหภูมิทำปฏิกิริยา ($^{\circ}\text{C}$) B คือ ความดัน (barg) C คือ ปริมาณสารละลายอิริเดียม (ppm) D คือ ปริมาณสารละลายรูทีเนียม (ppm) E คือ ปริมาณสารละลายเมทิลไอโอไดด์ (wt%) F คือ ปริมาณเมทานอล (wt%) และ G คือ ปริมาณน้ำ (wt%) โดยแปลงตัวแปรทุกตัวเป็นตัวแปรไร้มิติในช่วงที่ทดลอง คือ -1.63 ถึง +1.63 (ดังตารางที่ 2.1) และภาวะปฏิบัติการที่ทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเมทานอลคาร์บอนิลเลชันสูงสุด และเกิดปฏิกิริยาข้างเคียงได้แก๊สมีเทนน้อยที่สุด ดังตารางที่ 2.3

$$\begin{aligned} \text{Rate (mol/l}\cdot\text{h)} = & 22.48 + 3.52A + 3.36B + 2.49C + 3.20D - 8.432 \times 10^{-3} E \\ & + 1.52F - 2.83G - 1.87AC - 1.56AE - 1.96AF + 1.5AG \\ & + 2.15BD + 1.75BE - 1.04CD - 1.89CG - 1.03DE - 1.46EG \\ & - 3.30B^2 - 2.95G^2, R^2 = 0.93 \end{aligned} \quad (2.25)$$

$$\begin{aligned} \text{CH}_4 \text{ (mol\%)} = & 5.9 + 1.29A - 3.14B - 0.92C + 1.17D - 0.61E + 1.05F + 1.69G \\ & - 1.42AB + 1.13AC + 0.98AF - 0.95BE + 0.56BF - 1.57BG \\ & + 0.89CD + 1.30CF - 0.63CG - 0.61DE - 1.49DG - 0.83EF \\ & + 1.22EG - 0.73FG + 1.22A^2 + 1.76B^2 + -0.70C^2, R^2 = 0.96 \end{aligned} \quad (2.26)$$

ตารางที่ 2.3 ภาวะปฏิบัติการที่ทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเมทานอลคาร์บอนิลเลชันสูงสุด และเกิดปฏิกิริยาข้างเคียงได้แก๊สมีเทนน้อยที่สุด (Hosseinpour, V. et al. 2011a)

| ภาวะปฏิบัติการที่เหมาะสม | | | | | | | อัตราการเกิดปฏิกิริยา (mol/l·h) | | CH ₄ (mol%) | |
|---------------------------------|----------------|-----------------|-----------------|---------------------|--------------------|-----------|---------------------------------|--------------------|------------------------|--------------------|
| A | B | C | D | E | F | G | การทดลอง | โมเดล (สมการ 2.25) | การทดลอง | โมเดล (สมการ 2.26) |
| อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$) | ความดัน (barg) | อิริเดียม (ppm) | รูทีเนียม (ppm) | เมทิลไอโอไดด์ (wt%) | เมทิลแอซีเทต (wt%) | น้ำ (wt%) | | | | |
| 191 | 32.48 | 939.4 | 2,099.22 | 14.46 | 17.55 | 7.65 | 27.1 | 28.63 | 3.063 | 1.971 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.4.2 สมการทำนายผลพลอยได้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และแก๊สไฮโดรเจน และภาวะปฏิบัติการที่เกิด Water-gas shift reaction ซึ่งเป็นปฏิกิริยาข้างเคียงของปฏิกิริยาเมทานอลคาร์บอนิลเลชัน (ได้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สมีเทน และแก๊สไฮโดรเจนน้อย) น้อยที่สุด (Hosseinpour, V. et al. 2011b)

สมการทำนายผลพลอยได้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และแก๊สมีเทน แสดงดังสมการที่ 2.27-2.28 ตามลำดับ สำหรับภาวะปฏิบัติการที่ทำให้เกิด Water-gas shift reaction ได้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สมีเทน และแก๊สไฮโดรเจนน้อยที่สุด แสดงดังตารางที่ 2.4

$$\begin{aligned} \text{CO}_2 \text{ (mol\%)} = & 3 - 0.22A + 0.14B + 0.44C - 0.28D - 0.27E + 0.051F \\ & + 0.56G + 0.30AC + 0.22AE + 0.19AF - 0.35BE - 0.15BG \\ & - 0.14CD + 0.32CE + 0.50CG - 0.14DE - 0.60DG - 0.20EF \\ & + 0.47A^2 - 0.47D^2 - 0.6G^2, R^2 = 0.96 \end{aligned} \quad (2.27)$$

$$\begin{aligned} \text{H}_2 \text{ (mol\%)} = & 2.5 + 0.45A - 1.29B + 0.59C - 0.013D - 0.62E + 0.18F + 0.56G \\ & - 0.61AB + 0.72AC - 0.59AE + 0.52AF + 0.56BF - 0.60CF \\ & - 0.37DF - 0.70DG + 0.52EG + 0.52A^2 + 0.94B^2, R^2 = 0.92 \end{aligned} \quad (2.28)$$

ตารางที่ 2.4 ภาวะปฏิบัติการที่เกิด Water-gas shift reaction ได้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สมีเทน และแก๊สไฮโดรเจนน้อยที่สุด (Hosseinpour, V. et al. 2011b)

| ภาวะปฏิบัติการ | | | | | | | CO ₂ mol% | | CH ₄ mol% | | H ₂ mol% | |
|----------------|------|-----|-----|------|------|------|----------------------|-------|----------------------|-------|---------------------|-------|
| A | B | C | D | E | F | G | การทดลอง | โมเดล | การทดลอง | โมเดล | การทดลอง | โมเดล |
| 189 | 32.0 | 859 | 528 | 8.68 | 23.9 | 6.49 | 0.90 | 0.79 | 0.82 | 0.55 | 0.34 | 0.20 |

ในงานวิทยานิพนธ์นี้ออกแบบเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่องเพื่อผลิตกรดแอสซิติคจากเมทานอลซึ่งเป็นผลพลอยได้ในกระบวนการผลิตกรดเทรฟทาลิกบริสุทธิ์ โดยอ้างอิงภาวะปฏิบัติการที่เหมาะสมจากงานวิจัยของ Hosseinpour, V. และคณะ (Hosseinpour, V. et al. 2011a; 2011b) ผลการวิเคราะห์ของ Hosseinpour, V. และคณะ ดังนี้

ภาวะปฏิบัติการที่ 1 คือ ภาวะปฏิบัติการที่ทำอัตราการเกิดปฏิกิริยาเมทานอลคาร์บอนิลเลชันสูงสุด และเกิดปฏิกิริยา Water-gas shift ได้แก๊สมีเทนน้อยที่สุด แต่ไม่ได้พิจารณาการผลของปฏิกิริยา Water-gas shift ที่ได้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และแก๊สไฮโดรเจน (Hosseinpour, V. et al. 2011a) และ

ภาวะปฏิบัติการที่ 2 คือ ภาวะปฏิบัติการที่ทำให้เกิดปฏิกิริยา Water-gas shift ได้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สมีเทน และแก๊สไฮโดรเจนน้อยที่สุด แต่ไม่ได้พิจารณาอัตราการเกิดปฏิกิริยาเมทานอลคาร์บอนิลเลชัน (Hosseinpour, V. et al. 2011b)

ดังนั้น ในวิทยานิพนธ์นี้วิเคราะห์สมการทำนายอัตราการเกิดปฏิกิริยาเมทานอลคาร์บอนิลเลชัน และสมการทำนายการเกิดปฏิกิริยา Water-gas shift ได้แก๊สมีเทน แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และแก๊สไฮโดรเจน รวมถึงภาวะปฏิบัติการที่เหมาะสมที่ทำอัตราการเกิดปฏิกิริยาเมทานอลคาร์บอนิลเลชันสูงสุด และเกิดปฏิกิริยา Water-gas shift ต่ำสุด ก่อนที่จะออกแบบเครื่องปฏิกรณ์ ซึ่งแสดงวิธีการวิเคราะห์ในบทที่ 3

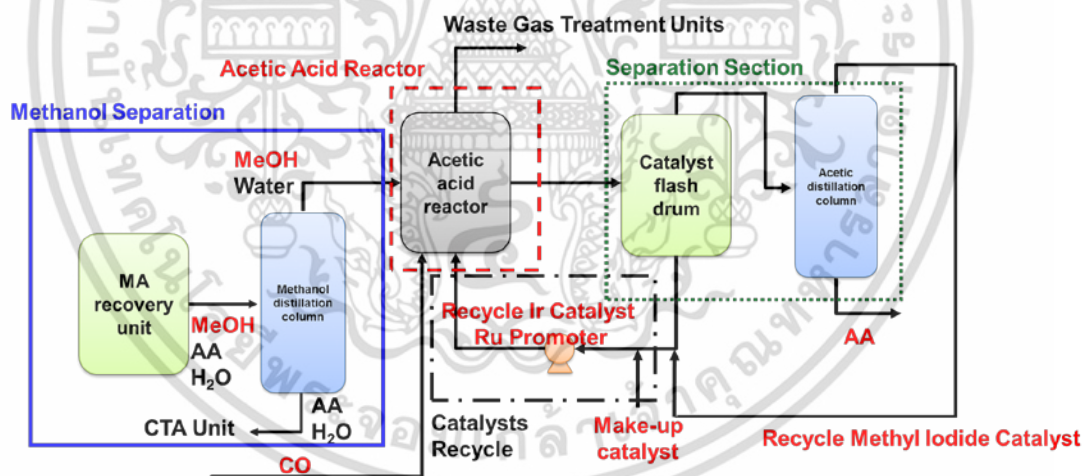


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

งานวิจัยนี้ศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตกรดแอสติกด้วยปฏิกิริยาเมทานอลคาร์บอนิลเลชัน โดยใช้เมทานอลซึ่งเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตกรดเทเรพทาติกบริสุทธิ์ โดยออกแบบและคำนวณขนาดของอุปกรณ์ต่างๆ สำหรับการผลิตกรดแอสติก เมื่อใช้กระแสที่ออกจากส่วนล่างของหอกลั่นที่ไซ้แยกเมทิลเอซีเตตของโรงงานที่เป็นกรณีศึกษาเป็นสารตั้งต้น กระแสนี้ประกอบด้วยเมทิลเอซีเตต 60 kg/h เมทานอล 335 kg/h น้ำ 2,400 kg/h และกรดแอสติก 580 kg/h กระบวนการผลิตที่ใช้ดัดแปลงจากกระบวนการคาทิวาซึ่งเป็นเทคโนโลยีของบริษัท บีพี เคมิคอลส์ จำกัด และใช้โปรแกรม Aspen Plus Version 9 จำลองกระบวนการผลิต อุปกรณ์ในกระบวนการนี้ ประกอบด้วยหอกลั่นแบบถาดสำหรับแยกเมทิลเอซีเตตและเมทานอลออกจากรุ่น้ำ ป้อนหอยโข่ง 3 เครื่อง เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเซลล์และท่อ 2 เครื่อง เครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง (Continuous-stirred tank reactor: CSTR) ถังเฟลช และหอกลั่นแบบถาดสำหรับแยกผลิตภัณฑ์กรดแอสติก ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 กระบวนการผลิตกรดแอสติกจากกระบวนการคาทิวา

3.1 การวิเคราะห์ภาวะปฏิบัติการที่เหมาะสมของเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่องสำหรับการผลิตกรดแอสติก

งานวิทยานิพนธ์นี้อ้างอิงงานวิจัยของ Hosseinpour, V. และคณะ (Hosseinpour, V. et al. 2011a; 2011b) สำหรับวิเคราะห์สมการทำนายอัตราการเกิดปฏิกิริยาเมทานอลคาร์บอนิลเลชัน และสมการทำนายการเกิดปฏิกิริยา Water-gas shift ได้แก๊สมีเทน แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และแก๊สไฮโดรเจน รวมถึงภาวะปฏิบัติการที่เหมาะสมที่ทำอัตราการเกิดปฏิกิริยาเมทานอลคาร์บอนิลเลชัน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูงสุด และเกิดปฏิกิริยา Water-gas shift ต่ำสุด โดยใช้โปรแกรม Design-Expert Version 8.0.1 ผลการทดลองของ Hosseinpour, V. และคณะ จากตารางที่ 2.2

สมการทำนายอัตราการเกิดปฏิกิริยาเมทานอลคาร์บอนิลเลชัน และสมการทำนายการเกิดปฏิกิริยา Water-gas shift ได้แก่อสมิเทน แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และแก๊สไฮโดรเจน กำหนดเป็นสมการพหุนามอันดับ 2 และอันตรกิริยาอันดับ 2 และกำหนดระดับนัยสำคัญของปัจจัยหลักและอันตรกิริยาอันดับ 2 ที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเมทานอลคาร์บอนิลเลชัน และมีผลต่อปริมาณผลพลอยได้แก๊สมีเทน แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และแก๊สไฮโดรเจน โดยพิจารณาจาก p-value ต้องน้อยกว่า 0.05 และ R^2 ของทุกสมการต้องไม่น้อยกว่า 0.9 ตัวอย่างการวิเคราะห์ภาวะปฏิบัติการที่เหมาะสมของเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่องสำหรับการผลิตกรดแอสิติกด้วยโปรแกรม Design-Expert Version 8.0.1 แสดงในภาคผนวก ก.

3.2 การสร้างแบบจำลองกระบวนการผลิตกรดแอสิติกด้วยโปรแกรม Aspen Plus Version 9

งานวิทยานิพนธ์นี้ศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตกรดแอสิติกจากกระบวนการคาทิวาด้วยเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง (อ้างอิงกระบวนการจากงานวิจัยของ Sunley, G. J. และ Watson, D. J. (Sunley, G. J. and Watson, D. J. 2000) และสิทธิบัตรของ Williams, B. L. (Williams, B. L. 2002)) ใช้โปรแกรม Aspen Plus Version 9 จำลองกระบวนการผลิตเพื่อออกแบบและคำนวณขนาดของอุปกรณ์ต่างๆ ได้แก่ หอกลับแบบลาดสำหรับแยกเมทิลแอสีเตตและเมทานอลออกจากน้ำ ปั่นหยอโข่ง 3 เครื่อง เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเซลล์และท่อ 2 เครื่อง เครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง ถังเฟลช และหอกลับแบบลาดสำหรับแยกผลิตภัณฑ์กรดแอสิติก โดยแบ่งกระบวนการออกเป็น 4 ส่วน (ดังรูปที่ 3.1) กำหนดให้แบบจำลองคำนวณ Activity coefficient ด้วยวิธี Non-random two-liquid model (NRTL) สำหรับของเหลว และด้วยสมการสถานะของ Redlich-Kwong สำหรับแก๊ส ทั้งนี้สมมติฐานที่ใช้คือไม่มีความดันลดตลอดทั้งกระบวนการผลิตกรดแอสิติกจากปฏิกิริยาเมทานอลคาร์บอนิลเลชันด้วยเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง

ตัวอย่างการจำลองกระบวนการผลิตกรดแอสิติกจากเมทานอลที่เป็นผลพลอยได้ในกระบวนการผลิตกรดเทรพทาลิกบริสุทธิ์ด้วยปฏิกิริยาเมทานอลคาร์บอนิลเลชันโดยใช้โปรแกรม Aspen Plus Version 9 แสดงในภาคผนวก ข.

3.2.1 ส่วนแยกเมทิลแอสีเตตและเมทานอล (Methyl acetate and methanol separation)

จากข้อมูลการผลิตกรดเทรพทาลิกบริสุทธิ์พบว่ากระแสที่ออกจากส่วนล่างของหอกลับที่ใช้แยกเมทิลแอสีเตตประกอบด้วยเมทิลแอสีเตต 60 kg/h เมทานอล 335 kg/h น้ำ 2,400 kg/h และกรดแอสิติก 580 kg/h องค์ประกอบของเมทานอลซึ่งเป็นผลพลอยได้หลักจาก

กระบวนการผลิตกรดเทรพทาลิกบริสุทธิ์มีน้ำประมาณ 70 wt% จึงต้องกลั่นแยกเมทิลแอสีเตตและเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมทานอลออกจากน้ำด้วยหอกลั่นแบบถาด 8 ชั้น ก่อนใช้เป็นสารตั้งต้นป้อนเข้าเครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่องขนาด 325 L สำหรับผลิตกรดแอสีติก

3.2.2 เครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่องสำหรับผลิตกรดแอสีติก (Continuous-stirred tank reactor: CSTR)

อ้างอิงภาวะปฏิบัติการที่อัตราการเกิดปฏิกิริยาเมทานอลคาร์บอนิลเลชันสูงสุด และอัตราการเกิดปฏิกิริยาข้างเคียงต่ำสุด จากการวิเคราะห์ในส่วนที่ 3.1 กระแสเข้าเครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่องแบ่งออกเป็น 2 กระแส ได้แก่

1) กระแสของเมทิลเอซีเทตและเมทานอลที่แยกน้ำออกแล้ว ร่วมกับกระแสของสารละลายตัวเร่งปฏิกิริยาย้อนกลับที่ประกอบด้วย สารละลายอิริเดียม สารละลายเมทิลไอโอไดด์ และสารละลายรูทีเนียม

2) แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ อัตราการไหล 325 kg/h

กระแสที่ออกจากเครื่องปฏิกรณ์ประกอบด้วยสารละลายตัวเร่งปฏิกิริยาและกรดแอสีติก 2,029 kg/h จะเข้าสู่ส่วนแยกสารต่อไปที่ประกอบด้วย ถังเฟลชและหอกลั่นแบบถาดขนาด 8 ชั้น ผลพลอยได้จากปฏิกิริยา Water-gas shift ได้แก่ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สมีเทน และแก๊สไฮโดรเจน จะถูกส่งไปยังหน่วยบำบัดแก๊สเสีย

3.2.3 ส่วนแยกสาร (Separation section)

ประกอบด้วยถังเฟลชและหอกลั่นแบบถาด ขนาด 8 ชั้น กรดแอสีติกและน้ำในสารละลายผสมระหว่างอิริเดียม เมทิลไอโอไดด์ และรูทีเนียม ที่ออกจากเครื่องปฏิกรณ์ จะถูกส่งเข้าถังเฟลช เพื่อแยกสารละลายอิริเดียมและรูทีเนียมออกจากไอผสมของเมทิลไอโอไดด์ น้ำ และกรดแอสีติก สารละลายผสมของอิริเดียมและรูทีเนียมจะถูกส่งกลับเข้าเครื่องปฏิกรณ์ ส่วนไอผสมของเมทิลไอโอไดด์ น้ำ และกรดแอสีติกจะถูกส่งเข้าหอกลั่นแบบถาด ขนาด 8 ชั้น เพื่อแยกกรดแอสีติกบริสุทธิ์ ส่วนสารละลายเมทิลไอโอไดด์จะถูกส่งกลับเข้าเครื่องปฏิกรณ์

3.2.4 ส่วนป้อนกลับสารละลายตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalysts recycle unit)

สารละลายผสมของอิริเดียมและรูทีเนียมจากถังเฟลช และสารละลายเมทิลไอโอไดด์จากหอกลั่นแบบถาด ขนาด 8 ชั้น จะถูกเพิ่มความดันและส่งกลับเข้าเครื่องปฏิกรณ์

3.3 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์เบื้องต้น

วิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุนและอัตราผลตอบแทนในเชิงความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์เบื้องต้น จากต้นทุนทรัพย์สินสุทธิ คือ ราคาของอุปกรณ์ต่างๆ ได้แก่ หอกลั่นแบบถาด 8 ชั้น สำหรับแยกเมทิลเอซีเทตและเมทานอลออกจากน้ำ ปัมพ์หอยโข่ง 3 เครื่อง เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเชลล์และเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ท่อ 2 เครื่อง เครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง ถังเฟลช และหอกลั่นแบบถาด 8 ชั้น สำหรับแยกผลิตภัณฑ์กรดแอสติก และค่าติดตั้งอุปกรณ์ ซึ่งได้จากโปรแกรม Aspen Plus Version 9 ที่อ้างอิงข้อมูลราคาของอุปกรณ์และค่าติดตั้งอุปกรณ์ของปี 2015 ส่วนผลกำไรพิจารณาจากผลิตภัณฑ์กรดแอสติก 722 kg/h หักค่าใช้จ่าย ได้แก่ ใช้น้ำความดัน 25 barg ใช้น้ำความดัน 15 barg น้ำหล่อเย็น ค่าไฟฟ้า ซึ่งอ้างอิงราคาจากฐานข้อมูลของโรงงานที่เป็นกรณีศึกษาในปี พ.ศ. 2560 (บริษัท สยามมิทซูย พีทีเอ จำกัด. 2560) เมื่อกำหนดให้อัตราผลตอบแทนการลงทุนขั้นต่ำเป็น 15% และอายุของโครงการ 10 ปี วิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุนและวิเคราะห์อัตราผลตอบแทนโดยใช้สมการที่ 2.20 และ 2.21 ตามลำดับ วิธีการคำนวณแสดงในภาคผนวก ค. ผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ของโครงการนี้คำนวณเบื้องต้นเท่านั้น ไม่ได้พิจารณาต้นทุนของระบบท่อ ระบบควบคุม อุปกรณ์วัด เนื่องจากบริษัทที่เป็นกรณีศึกษาไม่ได้ระบุตำแหน่งที่ตั้งกระบวนการผลิตกรดแอสติก นอกจากนี้ไม่ได้พิจารณาต้นทุนของตัวเร่งปฏิกิริยาเนื่องจากอยู่ระหว่างการเสนอราคาจากผู้จัดจำหน่าย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการดำเนินงานและการวิเคราะห์ผล

4.1 ภาวะปฏิบัติการที่เหมาะสมของเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่องสำหรับการผลิตกรดแอสिटิก

งานวิทยานิพนธ์นี้วิเคราะห์ผลตอบสนองของปฏิกิริยาเมทานอลคาร์บอนิลเลชัน 4 ลักษณะ ได้แก่

y_1 = อัตราการเกิดปฏิกิริยา ($\text{mol/l}\cdot\text{h}$)

y_2 = ปริมาณผลพลอยได้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ($\text{mol}\%$)

y_3 = ปริมาณผลพลอยได้แก๊สมีเทน ($\text{mol}\%$)

y_4 = ปริมาณผลพลอยได้แก๊สไฮโดรเจน ($\text{mol}\%$)

ตัวแปรต้น 7 ตัวแปร ได้แก่

A = อุณหภูมิทำปฏิกิริยา ($^{\circ}\text{C}$)

B = ความดัน (barg)

C = ปริมาณสารละลายอิริเดียม (ppm)

D = ปริมาณสารละลายรูทีเนียม (ppm)

E = ปริมาณสารละลายเมทิลไอโอดด์ (wt%)

F = ปริมาณเมทานอล (wt%)

G = ปริมาณน้ำ (wt%)

โดยกำหนดระดับของแต่ละปัจจัยตามตารางที่ 2.1 และผลการทดลองในตารางที่ 2.2 สมการทำนายอัตราการเกิดปฏิกิริยาเมทานอลคาร์บอนิลเลชัน แสดงดังสมการที่ 4.1 ส่วนสมการทำนายการเกิดปฏิกิริยา Water-gas shift ได้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สมีเทน และแก๊สไฮโดรเจน แสดงดังสมการที่ 4.2-4.4 ตามลำดับ (แปลงตัวแปรทุกตัวเป็นตัวแปรไร้หน่วยในช่วงการวิเคราะห์ผล คือ -1.63 ถึง +1.63 (ดังตารางที่ 2.1)) ภาวะปฏิบัติการที่เหมาะสมที่ทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเมทานอลคาร์บอนิลเลชันสูงสุด และเกิดปฏิกิริยา Water-gas shift ต่ำสุด แสดงดังตารางที่ 4.1 โดยงานนี้เลือกภาวะปฏิบัติการที่เหมาะสมที่สุดคือ ลำดับที่ 1 ได้แก่ อุณหภูมิทำปฏิกิริยา 190°C ความดัน 33 barg ปริมาณสารละลายอิริเดียม 845 ppm ปริมาณสารละลายรูทีเนียม 2,100 ppm ปริมาณสารละลายเมทิลไอโอดด์ 8.5 wt% ปริมาณเมทานอลและเมทิลแอสिटेट 17.5 wt% และปริมาณน้ำ 14 wt% เนื่องจากภาวะปฏิบัติการลำดับนี้มีอัตราการเกิดปฏิกิริยาสูงที่สุด ($32.0 \text{ mol/l}\cdot\text{h}$) และเมื่อเทียบกับภาวะปฏิบัติการลำดับอื่นๆ ปริมาณผลพลอยได้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ($3.3 \times 10^{-3} \text{ \%mol}$) แก๊สมีเทน ($1.7 \times 10^{-2} \text{ \%mol}$) และแก๊สไฮโดรเจน ($3.4 \times 10^{-3} \text{ \%mol}$) อยู่ในระดับที่ยอมรับได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น เมื่อคุณผู้ใดได้ไปใช้หรือเผยแพร่ในทางค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned} \text{Rate (mol/l}\cdot\text{h)} &= 22.43 + 3.62A + 3.28B + 2.49C + 3.11D - 0.02E \\ &+ 1.52F - 2.83G - 1.93AC - 1.50AE - 2.02AF + 1.55AG \\ &+ 2.08BD + 1.75BE - 1.03CD - 1.79CG - 1.01DE + 0.59EF \\ &- 1.54EG - 0.95A^2 - 3.33B^2 + 1.06F^2 - 2.97G^2, R^2 = 0.94 \end{aligned} \quad (4.1)$$

$$\begin{aligned} \text{CO}_2 \text{ (mol\%)} &= 8.45 \times 10^{-3} + 6.48 \times 10^{-4}A - 1.69 \times 10^{-3}B + 2.18 \times 10^{-3}C - 8.12 \times 10^{-4}D \\ &- 1.85 \times 10^{-3}E + 1.13 \times 10^{-3}F + 1.99 \times 10^{-3}G - 1.41 \times 10^{-3}AB \\ &+ 2.95 \times 10^{-3}AC - 2.05 \times 10^{-3}AE + 1.87 \times 10^{-3}AF - 6.77 \times 10^{-4}AG \\ &+ 8.04 \times 10^{-4}BD - 6.18 \times 10^{-4}BE + 2.10 \times 10^{-3}BF + 2.57 \times 10^{-3}CF \\ &+ 4.65 \times 10^{-4}CG - 1.33 \times 10^{-3}DF - 2.63 \times 10^{-3}DG - 7.24 \times 10^{-4}EF \\ &+ 2.30 \times 10^{-3}EG + 4.53 \times 10^{-4}FG + 1.71 \times 10^{-3}A^2 + 2.16 \times 10^{-3}B^2 \\ &+ 7.06 \times 10^{-4}E^2, R^2 = 0.95 \end{aligned} \quad (4.2)$$

$$\begin{aligned} \text{CH}_4 \text{ (mol\%)} &= 2.01 \times 10^{-2} + 3.42 \times 10^{-3}A - 4.17 \times 10^{-3}B - 3.15 \times 10^{-3}C + 3.53 \times 10^{-3}D \\ &- 2.34 \times 10^{-3}E + 3.48 \times 10^{-3}F + 5.07 \times 10^{-3}G - 3.07 \times 10^{-3}AB \\ &+ 4.00 \times 10^{-3}AC + 2.93 \times 10^{-3}AF + 1.57 \times 10^{-3}BC + 1.11 \times 10^{-3}BD \\ &- 3.21 \times 10^{-3}BE + 2.69 \times 10^{-3}BF - 3.70 \times 10^{-3}BG + 2.76 \times 10^{-3}CD \\ &- 7.05 \times 10^{-4}CE + 3.97 \times 10^{-3}CF - 1.47 \times 10^{-3}CG - 1.42 \times 10^{-3}DE \\ &- 4.57 \times 10^{-3}DG - 3.04 \times 10^{-3}EF + 3.68 \times 10^{-3}FG + 3.93 \times 10^{-3}A^2 \\ &+ 3.85 \times 10^{-3}B^2 + 2.23 \times 10^{-3}C^2, R^2 = 0.93 \end{aligned} \quad (4.3)$$

$$\begin{aligned} \text{H}_2 \text{ (mol\%)} &= 1.02 \times 10^{-2} - 1.05 \times 10^{-3}A - 2.25 \times 10^{-3}B + 1.49 \times 10^{-3}C - 1.05 \times 10^{-3}D \\ &- 1.03 \times 10^{-3}E + 2.21 \times 10^{-4}F + 2.13 \times 10^{-3}G - 3.17 \times 10^{-3}AB \\ &+ 1.57 \times 10^{-3}AC + 7.05 \times 10^{-4}AE + 7.32 \times 10^{-4}AF + 4.68 \times 10^{-4}AG \\ &+ 7.10 \times 10^{-5}BC - 1.38 \times 10^{-3}BE - 6.61 \times 10^{-4}CD + 8.88 \times 10^{-4}CE \\ &+ 5.04 \times 10^{-4}CF + 1.63 \times 10^{-3}CG - 4.01 \times 10^{-4}DE - 3.34 \times 10^{-4}DF \\ &- 2.11 \times 10^{-3}DG - 7.97 \times 10^{-4}EF + 2.37 \times 10^{-3}FG + 1.69 \times 10^{-3}A^2 \\ &- 1.50 \times 10^{-3}D^2 - 2.15 \times 10^{-3}G^2, R^2 = 0.96 \end{aligned} \quad (4.4)$$

ตารางที่ 4.1 ภาวะปฏิบัติการการจำลองผลตอบสนองของปัจจัยหลักต่อปฏิกิริยาเมทานอลคาร์บอนิลเลชัน และการเกิดแก๊สผลพลอยได้จากปฏิกิริยา Water-gas shift

| | ปัจจัย | | | | | | | ผลการทดลอง | | | |
|---|--------|----|-------|-------|------|------|------|------------|-----------------|-----------------|----------------|
| | A | B | C | D | E | F | G | Rate | CO ₂ | CH ₄ | H ₂ |
| 1 | 191 | 33 | 845 | 2,099 | 8.5 | 17.5 | 13.8 | 32.0 | 3.3E-03 | 1.70E-02 | 3.4E-03 |
| 2 | 186 | 33 | 789 | 2,099 | 15.3 | 34.6 | 8.1 | 29.5 | 5.9E-04 | 1.10E-02 | 9.7E-04 |
| 3 | 185 | 33 | 852 | 2,067 | 15.2 | 34.6 | 8.0 | 29.4 | 1.0E-03 | 1.10E-02 | 1.1E-03 |
| 4 | 182 | 31 | 1,668 | 567 | 15.3 | 33.1 | 7.9 | 30.8 | 4.7E-03 | 8.20E-03 | 2.7E-03 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 (ต่อ) ภาวะปฏิบัติการการจำลองผลตอบสนองของปัจจัยหลักต่อปฏิกิริยาเมทานอลคาร์บอนิลเลชัน และการเกิดแก๊สผลพลอยได้จากปฏิกิริยา Water-gas shift

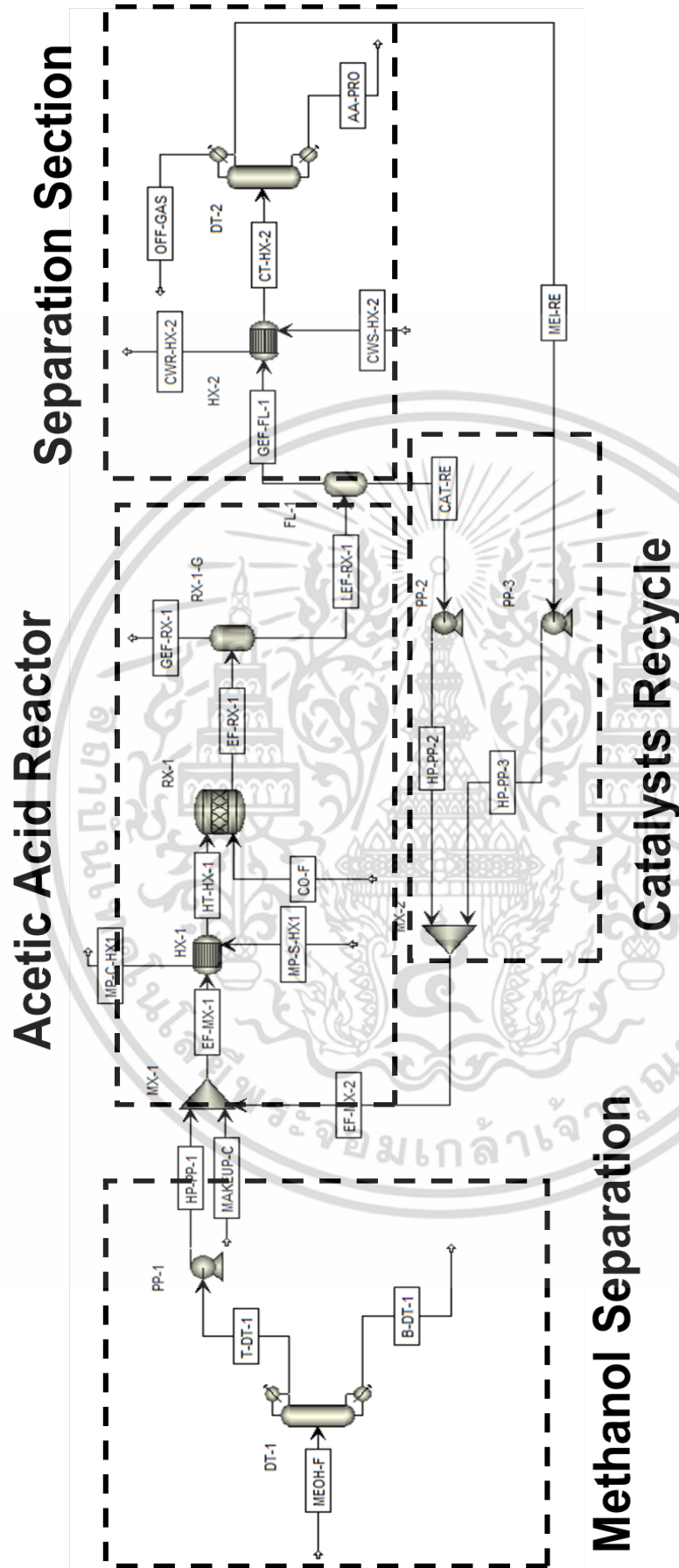
| | ปัจจัย | | | | | | | ผลการทดลอง | | | |
|----|--------|----|-------|-------|------|------|------|------------|-----------------|-----------------|----------------|
| | A | B | C | D | E | F | G | Rate | CO ₂ | CH ₄ | H ₂ |
| 5 | 185 | 32 | 965 | 2,099 | 15.3 | 34.6 | 8.0 | 29.7 | 1.7E-03 | 1.30E-02 | 1.1E-03 |
| 6 | 188 | 34 | 789 | 1,897 | 15.3 | 34.6 | 7.9 | 28.3 | 1.2E-04 | 1.10E-02 | 8.7E-04 |
| 7 | 186 | 32 | 1,029 | 2,099 | 15.3 | 34.6 | 8.6 | 30.5 | 2.5E-03 | 1.50E-02 | 2.0E-03 |
| 8 | 184 | 32 | 1,675 | 501 | 15.3 | 29.2 | 7.9 | 28.5 | 3.3E-03 | 6.20E-03 | 3.7E-03 |
| 9 | 189 | 31 | 826 | 1,474 | 15.3 | 34.2 | 7.9 | 25.0 | -1.2E-03 | 8.70E-03 | 1.0E-03 |
| 10 | 191 | 32 | 789 | 2,099 | 10.1 | 17.4 | 13.6 | 31.1 | 2.5E-03 | 1.80E-02 | 2.7E-03 |
| 11 | 181 | 27 | 1,311 | 1,214 | 15.3 | 34.6 | 7.9 | 26.3 | 3.3E-03 | 8.70E-03 | 2.5E-03 |
| 12 | 184 | 32 | 1,523 | 853 | 15.3 | 29.3 | 7.9 | 27.8 | 3.3E-03 | 8.20E-03 | 4.3E-03 |
| 13 | 191 | 35 | 789 | 2,050 | 14.8 | 17.4 | 13.5 | 28.1 | 6.2E-04 | 1.40E-02 | 1.9E-03 |
| 14 | 180 | 32 | 1,181 | 2,099 | 15.3 | 34.6 | 7.9 | 31.9 | 5.1E-03 | 1.70E-02 | 2.7E-03 |
| 15 | 191 | 35 | 790 | 2,098 | 15.3 | 17.4 | 9.8 | 30.5 | 7.3E-04 | 9.50E-03 | 6.6E-03 |
| 16 | 190 | 35 | 789 | 2,099 | 12.1 | 17.5 | 12.3 | 30.9 | 2.2E-03 | 1.40E-02 | 5.2E-03 |
| 17 | 183 | 31 | 1,231 | 1,964 | 15.3 | 34.6 | 8.8 | 31.2 | 4.6E-03 | 1.70E-02 | 3.5E-03 |
| 18 | 191 | 35 | 789 | 2,099 | 15.3 | 21.1 | 8.5 | 29.1 | 4.3E-04 | 9.50E-03 | 5.9E-03 |
| 19 | 186 | 30 | 1,711 | 501 | 15.3 | 20.1 | 7.9 | 26.6 | -5.8E-04 | 1.20E-03 | 5.9E-03 |
| 20 | 186 | 32 | 1,685 | 501 | 15.3 | 20.0 | 7.9 | 26.4 | -1.4E-03 | -2.60E-05 | 6.0E-03 |
| 21 | 186 | 32 | 1,710 | 501 | 15.3 | 17.5 | 7.9 | 26.7 | -2.9E-03 | -1.50E-03 | 6.7E-03 |
| 22 | 188 | 29 | 1,709 | 501 | 11.1 | 17.8 | 8.0 | 24.9 | 3.3E-03 | 5.10E-03 | 5.4E-03 |
| 23 | 187 | 29 | 837 | 501 | 15.3 | 34.6 | 9.0 | 20.9 | 6.6E-04 | 7.90E-03 | 1.1E-03 |
| 24 | 190 | 31 | 1,659 | 694 | 11.2 | 17.4 | 7.9 | 25.5 | 3.3E-03 | 7.90E-03 | 7.1E-03 |
| 25 | 184 | 29 | 1,711 | 917 | 11.2 | 17.8 | 7.9 | 24.4 | 3.3E-03 | 6.80E-03 | 6.8E-03 |
| 26 | 191 | 34 | 789 | 924 | 15.3 | 17.4 | 10.0 | 23.6 | -2.4E-03 | 8.20E-03 | 7.2E-03 |
| 27 | 179 | 30 | 1,711 | 1,853 | 15.3 | 24.4 | 7.9 | 29.1 | 5.5E-03 | 1.80E-02 | 6.7E-03 |
| 28 | 191 | 31 | 913 | 510 | 15.3 | 18.3 | 8.2 | 20.7 | -3.9E-03 | 2.80E-03 | 4.3E-03 |
| 29 | 191 | 31 | 793 | 501 | 9.3 | 17.4 | 9.2 | 20.5 | 3.0E-03 | 8.50E-03 | 5.8E-03 |
| 30 | 188 | 29 | 789 | 2,099 | 7.4 | 33.8 | 14.1 | 27.2 | 3.6E-03 | 2.30E-02 | 6.7E-03 |

4.2 ผลการจำลองกระบวนการผลิตกรดแอสติกด้วยโปรแกรม Aspen Plus Version 9

แบบจำลองกระบวนการผลิตกรดแอสติกด้วยโปรแกรม Aspen Plus Version 9 แสดงดังรูป

ที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 แบบจำลองกระบวนการผลิตกรดแอสติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1.1 หอกลิ้นแบบถาดสำหรับแยกเมทิลเอซีเทตและเมทานอลออกจากน้ำ (DT-1)

กระแสน้ำที่ออกจากส่วนล่างของหอกลิ้นที่ใช้แยกเมทิลเอซีเทต ประกอบด้วย เมทิลเอซีเทต 60 kg/h เมทานอล 335 kg/h น้ำ 2,400 kg/h และกรดเอซีติก 580 kg/h จากการจำลองหอกลิ้นแบบถาดด้วยโมเดล RadFrac จะได้ชนิด Sieve 8 ชั้น เครื่องควบแน่นเป็นชนิดควบแน่นทั้งหมด หม้อต้มซ้ำชนิด Kettle ภาวะปฏิบัติการ คือ อัตราการป้อนกลับ (Reflux ratio) เท่ากับ 1.2 mol อัตราส่วนระหว่างกระแสที่ออกจากส่วนยอดของหอกลิ้นกับกระแสน้ำ (Distillate to feed ratio) เท่ากับ 0.17 mol ความดันภายในหอกลิ้น 13.8 barg ต้องให้กระแสน้ำเข้าหอกลิ้นชั้นที่ 2 ผลการจำลองของหอกลิ้นนี้ แสดงในตารางที่ 4.2 ภาวะและองค์ประกอบในกระแสน้ำ กระแสที่ออกจากส่วนยอดของหอกลิ้น (Distillate) และกระแสที่ออกจากส่วนล่างของหอกลิ้น (Bottom) แสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.2 ผลการจำลองหอกลิ้นแบบถาดสำหรับแยกเมทิลเอซีเทตและเมทานอลออกจากน้ำ

| ภาวะของหอกลิ้น | ผลการจำลอง |
|---|------------|
| อุณหภูมิของเครื่องควบแน่น (°C) | 166 |
| ภาวะความร้อนของเครื่องควบแน่น (Condenser heat duty: kW) | 511 |
| อุณหภูมิของหม้อต้มซ้ำ (°C) | 200 |
| ภาวะความร้อนของหม้อต้มซ้ำ (Reboiler heat duty: kW) | 905 |
| ชนิดของถาด (Tray) | Sieve |
| ความสูงหอกลิ้น (m) | 5 |
| จำนวนชั้น | 8 |
| เส้นผ่านศูนย์กลางของหอกลิ้น (m) | 0.34 |

ตารางที่ 4.3 ภาวะและองค์ประกอบในกระแสป้อน (Feed) กระแสที่ออกจากส่วนยอดของหอกลั่น (Distillate) และกระแสที่ออกจากส่วนล่างของหอกลั่น (Bottom)

| | Feed (MEOH-F) | Distillate (D-DT-1) | Bottom (B-DT-1) |
|--|------------------|------------------------|--------------------|
| วัฏภาค | ของเหลว | ของเหลว | ของเหลว |
| อุณหภูมิ (°C) | 92 | 166 | 200 |
| ความดัน (barg) | 13.8 | 13.8 | 13.8 |
| อัตราการไหลเชิงมวลรวม (kg/h) | 3,375 | 672 | 2,703 |
| อัตราการไหลเชิงมวลของเมทิลเอซีเทต (kg/h) | 60 | 60 | 0 |
| อัตราการไหลเชิงมวลของเมทานอล (kg/h) | 335 | 330 | 5 |
| อัตราการไหลเชิงมวลของน้ำ (kg/h) | 2,400 | 268 | 2,132 |
| อัตราการไหลเชิงมวลของกรดแอสिटิก (kg/h) | 580 | 13.7 | 566.3 |

4.2.1.2 ป้อนหอยโข่งสำหรับเพิ่มความดันกระแสเมทิลเอซีเทตและเมทานอลที่ออกจากส่วนยอดของหอกลั่น (PP-1)

กระแสเมทิลเอซีเทตและเมทานอลที่ออกจากส่วนยอดของหอกลั่นจะเข้าสู่ป้อนหอยโข่ง กำลัง 1.72 kW เพื่อเพิ่มความดันเป็น 33 barg ตามภาวะปฏิบัติการที่เครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่องสำหรับผลิตกรดแอสिटิก

4.2.2 เครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่องสำหรับผลิตกรดแอสिटิก

4.2.2.1 ส่วนควบคุมกระแสป้อนของเหลวเข้าเครื่องปฏิกรณ์ (MX-1)

กระแสที่ออกจากส่วนยอดของหอกลั่นจากกระบวนการส่วนที่ 1 คือ กระแสของเมทิลเอซีเทตและเมทานอลที่แยกน้ำออกแล้ว จะผสมกับกระแสป้อนกลับของสารละลายตัวเร่งปฏิกิริยาย้อนกลับที่ประกอบด้วย สารละลายอิริเดียม สารละลายเมทิลไอโอดีด์ และสารละลายรูทีเนียม ใช้โมเดล Mixer ร่วมกับฟังก์ชัน Design specs เพื่อควบคุมปริมาณกระแสป้อนเข้าเครื่องปฏิกรณ์ให้เหมาะสมกับภาวะปฏิบัติการที่เหมาะสมสำหรับการผลิตกรดแอสिटิก ภาวะและองค์ประกอบในกระแสของสารตั้งต้นเมทานอล กระแสป้อนกลับของสารละลายผสมของตัวเร่งปฏิกิริยา กระแสป้อนสารละลายเมทิลไอโอดีด์เพิ่มเติม และกระแสออกจาก Mixer แสดงดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ภาวะและองค์ประกอบในกระแสของสารตั้งต้นเมทานอล กระแสป้อนกลับของสารละลายผสมของตัวเร่งปฏิกิริยา กระแสป้อนสารละลายเมทิลไอโอไดด์เพิ่มเติม และกระแสออกจาก Mixer

| | Methanol feed (HP-PP-1) | Catalyst recycle (EF-MX-2) | Methyl iodide makeup (MAKEUP-C) | Mixer 1 effluent (EF-MX-1) |
|---|-------------------------|----------------------------|---------------------------------|----------------------------|
| วัฏภาค | ของเหลว | ของเหลว | ของเหลว | ของเหลว |
| อุณหภูมิ (°C) | 168 | 155 | 155 | 163 |
| ความดัน (barg) | 33 | 33 | 33 | 33 |
| อัตราการไหลเชิงมวลรวม (kg/h) | 671.7 | 1,519.2 | 20 | 2,210.9 |
| อัตราการไหลเชิงมวลของเมทานอล (kg/h) | 330 | - | - | 330 |
| อัตราการไหลเชิงมวลของเมทิลไอโอไดด์ (kg/h) | 60 | - | - | 60 |
| อัตราการไหลเชิงมวลของน้ำ (kg/h) | 268 | 36 | - | 304 |
| อัตราการไหลเชิงมวลของอิริเดียม (kg/h) | - | 1.9 | - | 1.9 |
| อัตราการไหลเชิงมวลของรูทีเนียม (kg/h) | - | 5.3 | - | 5.3 |
| อัตราการไหลเชิงมวลของเมทิลไอโอไดด์ (kg/h) | - | 169 | 20 | 189 |
| อัตราการไหลเชิงมวลของกรดแอสติก (kg/h) | 13.7 | 1,307 | - | 1,320.7 |

4.2.2.2 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเซลล์และท่อสำหรับเพิ่มอุณหภูมิกระแสป้อนเข้าเครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่องสำหรับผลิตกรดแอสติก (HX-1)

กระแสป้อนเข้าเครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่อง คือ สารละลายผสมระหว่างเมทานอลและตัวเร่งปฏิกิริยาจะต้องถูกเพิ่มอุณหภูมิให้เหมาะสมกับภาวะปฏิบัติการที่เหมาะสมสำหรับการผลิตกรดแอสติก คือ 190°C โดยใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเซลล์และท่อที่มีพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อน 1.65 m² และไอน้ำความดัน 25 barg 86 kg/h

4.2.2.3 เครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่องสำหรับผลิตกรดแอสติก (RX-1)

เครื่องปฏิกรณ์จำลองด้วยโมเดล Rstois ร่วมกับฟังก์ชัน Calculator โหมด Fortran การคำนวณอัตราการเกิดปฏิกิริยาเมทานอลคาร์บอนิลเลชัน ดังสมการที่ 4.1 และใช้ฟังก์ชัน Design

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Specs สำหรับควบคุมปริมาณผลพลอยได้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สมีเทน และแก๊สไฮโดรเจน ให้ได้ตามภาวะปฏิบัติการที่เหมาะสมของปฏิกริยามะทานอลคาร์บอนิลเลชัน แต่เนื่องจากข้อจำกัดของเครื่องปฏิกรณ์ที่จำลองด้วยโมเดล Rstoc ไม่สามารถแยกผลิตภัณฑ์ 2 สถานะได้ ดังนั้นต้องเพิ่มถังเฟลชเสมือนที่ภาวะปฏิบัติการเดียวกันกับเครื่องปฏิกรณ์ในการแยกผลพลอยได้แก๊ส จากภาวะปฏิบัติการที่เหมาะสมของเครื่องปฏิกรณ์สำหรับผลิตกรดแอสติค อัตราการเกิดปฏิกริยามะทานอลคาร์บอนิลเลชัน เท่ากับ 34 mol/L·h ค่าการแปลงผันทางเคมี 99.5% และปริมาตรของเครื่องปฏิกรณ์เท่ากับ 325 L ภาวะและองค์ประกอบในกระแสน้ำของเหลว (คือ กระแสน้ำเข้าเครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่อง) กระแสของเหลวและกระแสแก๊สที่ออกจากเครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่อง แสดงดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ภาวะและองค์ประกอบในกระแสน้ำของเหลว กระแสของเหลวและกระแสแก๊สที่ออกจากเครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่อง

| | Liquid feed (HT-HX-1) | Rector effluent: Liquid mixture (LEF-RX-1) | Rector effluent: By-product gases (GEF-RX-1) |
|--|--------------------------|--|--|
| วัฏภาค | ของเหลว | ของเหลว | แก๊ส |
| อุณหภูมิ (°C) | 190 | 190 | 190 |
| ความดัน (barg) | 33 | 33 | 33 |
| อัตราการไหลเชิงมวลรวม (kg/h) | 2,210.9 | 2,501.6 | 25.3 |
| อัตราการไหลเชิงมวลของเมทิลแอสเทต (kg/h) | 60 | 1.2 | - |
| อัตราการไหลเชิงมวลของเมทานอล (kg/h) | 330 | 0.2 | - |
| อัตราการไหลเชิงมวลของน้ำ (kg/h) | 304 | 289 | 2.7 |
| อัตราการไหลเชิงมวลของอิริเดียม (kg/h) | 1.9 | 1.9 | - |
| อัตราการไหลเชิงมวลของรูทีเนียม (kg/h) | 5.3 | 5.3 | - |
| อัตราการไหลเชิงมวลของเมทิลไอโอดด์ (kg/h) | 189 | 175 | 14 |
| อัตราการไหลเชิงมวลของกรดแอสติค (kg/h) | 1,320.7 | 2,029 | 2.7 |
| อัตราการไหลเชิงมวลของกระแสแก๊ส (kg/h) | - | - | 5.9 |

หมายเหตุ กระแสแก๊ส (GEF-RX-1) ประกอบด้วยผลพลอยได้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ 0.1 kg/h แก๊สมีเทน 0.08 kg/h แก๊สไฮโดรเจน 0.02 kg/h และแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ที่เหลือจากปฏิกริยามะทานอล 5.7 kg/h

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 ส่วนแยกสาร (Separation section)

4.2.3.1 ถังเฟลช (FL-1)

ถังเฟลชสำหรับแยกสารละลายผสมอิริเดียมและรูทีเนียม ออกจากไอผสมของเมทิลไอโอดีด์ น้ำ และกรดแอสติก ภาวะปฏิบัติการที่อุณหภูมิ 158°C และความดัน 3 barg ภาวะและองค์ประกอบในกระแสของเหลวที่ออกจากเครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่อง กระแสป้อนกลับสารละลายผสมอิริเดียมและรูทีเนียม และกระแสไอผสมของเมทิลไอโอดีด์ น้ำ และกรดแอสติก แสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ภาวะและองค์ประกอบในกระแสของเหลวที่ออกจากเครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่อง กระแสป้อนกลับสารละลายผสมอิริเดียมและรูทีเนียม และกระแสไอผสมของเมทิลไอโอดีด์ น้ำ และกรดแอสติก

| | Rector effluent: Liquid mixture (LEF-RX-1) | Recycled Ir and Ru solutions (CAT-RE) | Vapor mixture (GEF-FL-1) |
|---|--|---------------------------------------|--------------------------|
| วัฏภาค | ของเหลว | ของเหลว | แก๊ส |
| อุณหภูมิ (°C) | 190 | 158 | 158 |
| ความดัน (barg) | 33 | 3 | 3 |
| อัตราการไหลเชิงมวลรวม (kg/h) | 2,501.6 | 1,514.55 | 987.05 |
| อัตราการไหลเชิงมวลของเมทิลแอสเทต (kg/h) | 1.2 | 0.3 | 0.9 |
| อัตราการไหลเชิงมวลของเมทานอล (kg/h) | 0.2 | 0.05 | 0.15 |
| อัตราการไหลเชิงมวลของน้ำ (kg/h) | 289 | 149 | 140 |
| อัตราการไหลเชิงมวลของอิริเดียม (kg/h) | 1.9 | 1.9 | - |
| อัตราการไหลเชิงมวลของรูทีเนียม (kg/h) | 5.3 | 5.3 | - |
| อัตราการไหลเชิงมวลของเมทิลไอโอดีด์ (kg/h) | 175 | 58 | 117 |
| อัตราการไหลเชิงมวลของกรดแอสติก (kg/h) | 2,029 | 1,300 | 729 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3.2 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเชลล์และท่อสำหรับควบแน่นไอผสมของเมทิลไอโอดีด์ น้ำ และกรดแอสติค (HX-2)

ไอผสมของเมทิลไอโอดีด์ น้ำ และกรดแอสติคจากถังเฟลชจะถูกควบแน่นและลดอุณหภูมิเป็น 100°C ก่อนเข้าหอกลิ้นแบบถาดสำหรับแยกผลิตภัณฑ์กรดแอสติค โดยใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อน 2.55 m^2 และน้ำหล่อเย็น $4,580\text{ kg/h}$

4.2.3.3 หอกลิ้นแบบถาดสำหรับแยกผลิตภัณฑ์กรดแอสติค (DT-2)

กระแสป้อนหอกลิ้นนี้ คือ ของเหลวผสมของเมทิลไอโอดีด์ น้ำ และกรดแอสติค จากการจำลองหอกลิ้นแบบถาดด้วยโมเดล RadFrac จะได้ชนิด Sieve 8 ชั้น เครื่องควบแน่นเป็นชนิดควบแน่นทั้งหมด หม้อต้มซ้ำชนิด Kettle ภาวะปฏิบัติการ คือ อัตราการป้อนกลับ (Reflux ratio) เท่ากับ 2.6 mol อัตราส่วนระหว่างกระแสที่ออกจากส่วนยอดของหอกลิ้นกับกระแสป้อน (Distillate to feed ratio) เท่ากับ 0.16 mol ความดันภายในหอกลิ้น 3 barg ต้องให้กระแสป้อนเข้าหอกลิ้นชั้นที่ 6 ผลการจำลองของหอกลิ้นนี้ แสดงในตารางที่ 4.7 ภาวะและองค์ประกอบในกระแสของเหลวผสมของเมทิลไอโอดีด์ น้ำ และกรดแอสติค กระแสป้อนกลับของสารละลายเมทิลไอโอดีด์ และกระแสผลิตภัณฑ์กรดแอสติค แสดงในตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.7 ผลการจำลองหอกลิ้นแบบถาดสำหรับแยกผลิตภัณฑ์กรดแอสติค

| | รายละเอียด |
|---|------------|
| อุณหภูมิของเครื่องควบแน่น ($^{\circ}\text{C}$) | 75 |
| ภาระความร้อนของเครื่องควบแน่น (Condenser heat duty: kW) | 122 |
| อุณหภูมิของหม้อต้มซ้ำ ($^{\circ}\text{C}$) | 157 |
| ภาระความร้อนของหม้อต้มซ้ำ (Reboiler heat duty: kW) | 143 |
| ชนิดของถาด (Tray) | Sieve |
| ความสูงหอกลิ้น (m) | 5 |
| จำนวนชั้น | 8 |
| เส้นผ่านศูนย์กลางหอกลิ้น (m) | 0.2 |

ตารางที่ 4.8 ภาวะและองค์ประกอบในกระแสของเหลวผสมของเมทิลไอโอดด์ น้ำ และกรดแอสिटิก กระแสป้อนกลับของสารละลายเมทิลไอโอดด์ และกระแสผลิตภัณฑ์กรดแอสिटิก

| | Liquid mixture (CT-HX-2) | Recycled methyl iodide (MEI-RE) | Acetic acid product (AA-PRO) |
|--|--------------------------|---------------------------------|------------------------------|
| วัฏภาค | ของเหลว | ของเหลว | ของเหลว |
| อุณหภูมิ (°C) | 100 | 75 | 157 |
| ความดัน (barg) | 3 | 3 | 3 |
| อัตราการไหลเชิงมวลรวม (kg/h) | 987.05 | 152.05 | 835 |
| อัตราการไหลเชิงมวลของเมทิลแอสिटेट (kg/h) | 0.9 | 0.9 | - |
| อัตราการไหลเชิงมวลของเมทานอล (kg/h) | 0.15 | 0.15 | - |
| อัตราการไหลเชิงมวลของน้ำ (kg/h) | 140 | 34 | 106 |
| อัตราการไหลเชิงมวลของเมทิลไอโอดด์ (kg/h) | 117 | 110 | 7 |
| อัตราการไหลเชิงมวลของกรดแอสिटิก (kg/h) | 729 | 7 | 722 |

4.2.4 ส่วนป้อนกลับสารละลายตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalysts recycle unit)

4.2.4.1 บั้มหอยโข่งสำหรับป้อนกลับสารละลายผสมของอิริเดียมและรูทีเนียม (PP-2)

สารละลายผสมของอิริเดียมและรูทีเนียมที่แยกได้จากถังเฟลชจะถูกส่งไปยังบั้มหอยโข่งกำลัง 5 kW เพื่อเพิ่มความดันเป็น 33 barg และป้อนกลับเข้าไปยังส่วนควบคุมกระแสป้อนของเหลวเข้าสู่เครื่องปฏิกรณ์ (MX-1) เพื่อใช้เร่งปฏิกิริยาต่อไป

4.2.4.2 บั้มหอยโข่งสำหรับป้อนกลับสารละลายเมทิลไอโอดด์ (PP-3)

สารละลายเมทิลไอโอดด์จากหอกลับแบบภาตที่ใช้แยกผลิตภัณฑ์กรดแอสिटิกจะถูกส่งไปยังบั้มหอยโข่งกำลัง 0.27 kW เพื่อเพิ่มความดันเป็น 33 barg และป้อนกลับเข้าไปยังส่วนควบคุมกระแสป้อนของเหลวเข้าสู่เครื่องปฏิกรณ์ (MX-1) เพื่อใช้เร่งปฏิกิริยาต่อไป

4.3 ผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์เบื้องต้น

4.3.1 ต้นทุนทรัพย์สินสุทธิ

ต้นทุนทรัพย์สินสุทธิของกระบวนการผลิตกรดแอสिटิก ได้แก่ ราคาของอุปกรณ์ต่างๆ รวมทั้งค่าติดตั้งอุปกรณ์ พิจารณาจากโปรแกรม Aspen Plus Version 9 โดยอ้างอิงข้อมูลราคาของอุปกรณ์และค่าติดตั้งอุปกรณ์ในปี 2015 อุปกรณ์ต่างๆ ในโครงการนี้ ได้แก่ หอกลับแบบภาต ชนิด Sieve 8 ชั้น สำหรับแยกเมทิลแอสिटेटและเมทานอลออกจากน้ำ บั้มหอยโข่ง 3 เครื่อง เครื่อง

แลกเปลี่ยนความร้อนแบบเชลล์และท่อ 2 เครื่อง เครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่องขนาด 325 L เอกสารนี้เป็นเอกสารทรัพย์สินทางปัญญาของบริษัทฯ เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่หรือใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากบริษัทฯ หากมีข้อสงสัยหรือต้องการข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อฝ่ายวิศวกรรม

ถังเฟลช และหอกลับแบบถาด ชนิด Sieve 8 ชั้น สำหรับแยกผลิตภัณฑ์กรดแอสติค รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 4.9 ผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ของโครงการนี้คำนวณเบื้องต้นเท่านั้น ไม่ได้พิจารณาต้นทุนของระบบท่อ ระบบควบคุม อุปกรณ์วัด เนื่องจากบริษัทที่เป็นกรณีศึกษา ยังไม่ได้ระบุตำแหน่งที่ตั้งกระบวนการผลิตกรดแอสติค

ตารางที่ 4.9 ต้นทุนทรัพย์สินสุทธิของกระบวนการผลิตกรดแอสติค

| อุปกรณ์ | รหัสอุปกรณ์ | ราคาของอุปกรณ์ (USD) | ค่าติดตั้งอุปกรณ์ (USD) |
|---|-------------|-------------------------|----------------------------|
| เครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่องขนาด 325 L | RX-1 | 64,200 | 207,700 |
| หอกลับแยกเมทิลเอซีเทตและเมทานอล | DT-1 | 81,000 | 422,700 |
| หอกลับแยกสารละลายเมทิลไอโอไดด์และผลิตภัณฑ์กรดแอสติค | DT-2 | 74,500 | 406,300 |
| ถังเฟลช | FL-1 | 20,400 | 102,200 |
| ปั๊มเพิ่มความดันกระแสที่ออกจากส่วนยอดของหอกลับ DT-1 | PP-1 | 4,600 | 34,400 |
| ปั๊มป้อนกลับกระแสผสมระหว่างสารละลายอิริเดียมและสารละลายเมทิลไอโอไดด์ | PP-2 | 47,200 | 75,400 |
| ปั๊มป้อนกลับกระแสสารละลายเมทิลไอโอไดด์ | PP-3 | 15,100 | 39,600 |
| เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเพิ่มอุณหภูมิ กระแสป้อนเข้าเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง ขนาด 325 L | HX-1 | 8,500 | 64,900 |
| เครื่องควบแน่นไผผสมของเมทิลไอโอไดด์ น้ำ และกรดแอสติค | HX-2 | 8,600 | 59,800 |
| รวม | | 324,100 | 1,413,000 |
| รวมทั้งหมด | | | 1,737,100 |

4.3.2 กระแสเงินสดสุทธิ

กระแสเงินสดสุทธิประเมินจากผลกำไรในการผลิตกรดแอสติค 722 kg/h หักค่าใช้จ่าย ได้แก่ ใอน้ำความดัน 25 barg ใอน้ำความดัน 15 barg น้ำหล่อเย็น ค่าไฟฟ้า ซึ่งอ้างอิงราคาจากฐานข้อมูลของโรงงานที่เป็นกรณีศึกษาในปี พ.ศ. 2560 แสดงดังตารางที่ 4.10 ทั้งนี้ยังไม่ได้พิจารณาต้นทุนของตัวเร่งปฏิกิริยาเนื่องจากอยู่ระหว่างการเสนอราคาจากผู้จัดจำหน่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.10 กระแสเงินสดสุทธิของกระบวนการผลิตกรดแอสติก

| รายการ | รหัสอุปกรณ์ | หน่วย | ราคาต่อหน่วย (USD) | ปริมาณ (หน่วยต่อชั่วโมง) | กระแสเงินสดต่อปี (USD/yr) |
|---------------------------|----------------|-------|--------------------|--------------------------|---------------------------|
| Acetic acid | RX-1 | ton/h | 430.38 | 0.722 | + 2,610,775 |
| Carbon monoxide | RX-1 | kg/h | 0.36 | 325 | - 982,800 |
| MP steam (25 barg) | DT-1 reboiler | ton/h | 32.95 | 1.78 | - 491,919 |
| MP steam (25 barg) | HX-1 | ton/h | 32.95 | 0.09 | - 23,858 |
| LP steam (15 barg) | DT-2 reboiler | ton/h | 31.51 | 0.27 | - 70,648 |
| Cooling water | DT-1 condenser | ton/h | 0.04 | 12.29 | - 4,161 |
| Cooling water | DT-2 condenser | ton/h | 0.04 | 2.93 | - 993 |
| Cooling water | HX-2 | ton/h | 0.04 | 4.57 | - 1,550 |
| Power | PP-1 | kWH | 0.11 | 1.72 | - 1,578 |
| Power | PP-2 | kWH | 0.11 | 4.98 | - 4,568 |
| Power | PP-3 | kWH | 0.11 | 0.27 | - 248 |
| ค่าใช้จ่ายในการปฏิบัติการ | | | | | - 1,582,324 |
| กระแสเงินสดสุทธิ | | | | | + 1,028,451 |

4.3.3 ระยะเวลาคืน

การวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุนกำหนดให้อัตราผลตอบแทนการลงทุนขั้นต่ำ 15% และอายุของโครงการคือ 10 ปี และให้กระแสเงินสดสุทธิเท่ากันทุกปี การวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุนแสดงดังตารางที่ 4.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.11 การวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุนของกระบวนการผลิตกรดแอสซิดิก

| ปีที่ | กระแสเงินสด (USD) | มูลค่าปัจจุบัน (USD) | กระแสเงินสดสะสม (USD) |
|-------|----------------------|-------------------------|--------------------------|
| 0 | - 1,737,100.00 | - 1,737,100.00 | - 1,737,100 |
| 1 | 1,028,451 | 894,305 | - 842,795 |
| 2 | 1,028,451 | 777,656 | - 65,139 |
| 3 | 1,028,451 | 676,223 | 611,084 |
| 4 | 1,028,451 | 588,020 | 1,199,104 |
| 5 | 1,028,451 | 511,322 | 1,710,426 |
| 6 | 1,028,451 | 444,628 | 2,155,054 |
| 7 | 1,028,451 | 386,633 | 2,541,687 |
| 8 | 1,028,451 | 336,202 | 2,877,889 |
| 9 | 1,028,451 | 292,350 | 3,170,239 |
| 10 | 1,028,451 | 254,217 | 3,424,456 |

จากตารางที่ 4.11 พบว่าระยะเวลาคืนทุนของกระบวนการผลิตกรดแอสซิดิกอยู่ในช่วงระหว่างปีที่ 2 และ ปีที่ 3 ดังนั้นเมื่อแปลงมูลค่าปัจจุบันของปีที่ 3 เป็นต่อเดือน จะได้ระยะเวลาคืนทุนเป็น 2 ปี 2 เดือน

4.3.4 อัตราผลตอบแทน

จากกระแสเงินสดในตารางที่ 4.11 สามารถคำนวณอัตราผลตอบแทน ด้วยสมการที่ 2.21 โดยใช้แฟกเตอร์ $(P/A, i, n)$ ในสมการที่ 2.18 เมื่อ $-PW_0 = - 1,737,100.00$ USD, $A = 1,028,451$ USD และ $n = 10$ ปี คำนวณอัตราผลตอบแทนได้ 58.62%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตกรดแอสติกด้วยเมทานอลซึ่งเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตกรดเทรพทาลิกบริสุทธิ์ อ่างอิงกระบวนการผลิตกรดแอสติกจากปฏิกิริยาเมทานอลคาร์บอนิลเลชันโดยกระบวนการคาทิวาของบริษัท บีพี เคมิคอลส์ จำกัด ใช้สารละลายอิริเดียมและเมทิลไอโอโอดด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และสารละลายรูทีเนียมเป็นโปรโมเตอร์ ผลการจำลองกระบวนการผลิตด้วยโปรแกรม Aspen Plus Version 9 และการวิเคราะห์ภาวะปฏิบัติการที่เหมาะสมของเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่องสำหรับการผลิตกรดแอสติกด้วยการทดลองแบบพินิจตอบสนอง สรุปได้ดังนี้

- ภาวะปฏิบัติการที่เหมาะสมของการเกิดปฏิกิริยาเมทานอลคาร์บอนิลเลชัน คือ กระแสป้อนเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่องขนาด 325 L ที่ประกอบด้วยเมทิลแอสเทตและเมทานอล 17.5 wt% อิริเดียม 845 ppm เมทิลไอโอโอดด์ 8.5 wt% รูทีเนียม 2,100 ppm น้ำ 14 wt% และกรดแอสติก 60 wt% อัตราการไหลเชิงมวลรวม 2,211 kg/h ทำปฏิกิริยากับแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ 325 kg/h ที่อุณหภูมิ 190°C ความดัน 33 barg
- หอกลั่นสำหรับแยกเมทานอลและน้ำ และหอกลั่นสำหรับแยกผลิตภัณฑ์กรดแอสติก เป็นหอกลั่นแบบถาด ชนิด Sieve 8 ชั้น
- ระยะเวลาคืนทุนที่คำนวณเบื้องต้น เท่ากับ 2 ปี 2 เดือน และอัตราผลตอบแทน 58.62% เมื่อกำหนดอัตราผลตอบแทนการลงทุนขั้นต่ำ 15% โดยยังไม่ได้พิจารณาต้นทุนของระบบท่อ ระบบควบคุม อุปกรณ์วัด และตัวเร่งปฏิกิริยา (ใช้ข้อมูลราคาของอุปกรณ์และค่าติดตั้งอุปกรณ์จากโปรแกรม Aspen Plus Version 9 ปี 2015 และฐานข้อมูลราคาสารเคมี อุปกรณ์ และยูทิลิตี้ ประจำปี 2560 ของบริษัท สยามมิตซูย พีทีเอ จำกัด)

5.2 ข้อเสนอแนะ

- งานที่ต้องศึกษาต่อ คือ การออกแบบชิ้นละเอียดซึ่งต้องพิจารณาผลของความดันลดภายในกระบวนการผลิต เพื่อการออกแบบกระบวนการผลิตอย่างเหมาะสมเนื่องจากความดันลดมีผลให้อุปกรณ์ทุกตัวมีขนาดใหญ่ขึ้น อาจทำให้ต้องติดตั้งปั๊มและคอมเพรสเซอร์เพื่อเพิ่มความดันในระบบอีก
- ต้องพิจารณาต้นทุนที่เกี่ยวข้องกับระบบท่อ ระบบควบคุม และอุปกรณ์วัด รวมทั้งตัวเร่งปฏิกิริยาเพิ่มเติม เพื่อให้การคำนวณความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ในเทอมของระยะเวลาคืนทุนและอัตราผลตอบแทนแม่นยำยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน). 2554. **สารานุกรมเปิดโลกปิโตรเคมี**. พิมพ์ครั้งที่ 1. บริษัท มีเดีย เอกซ์เพอร์ทีส อินเตอร์เนชั่นแนล (ประเทศไทย) จำกัด.
- บริษัท สยามมิตซูย ฟิทีเอ จำกัด. 2560. **ฐานข้อมูลราคาสารเคมี อุปกรณ์ และยูทิลิตี้ ประจำปี 2560**.
- ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา และพงษ์ชนัน เหลืองไพบูลย์. 2551. **การออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง**. พิมพ์ครั้งที่ 1. บริษัท สำนักพิมพ์ท็อป จำกัด.
- พิณเทพ เศรษฐโกคิน. 2558. “แบบจำลองสำหรับเครื่องปฏิกรณ์ชนิดเบดนิ่งหลายท่อระดับอุตสาหกรรมเพื่อการผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- สมชัย อัครทิวา. 2546. **ความรู้พื้นฐานทางวิศวกรรมของปฏิกิริยาเชิงเร่ง – Fundamentals of Catalyst Reaction Engineering**. พิมพ์ครั้งที่ 1. บริษัท สำนักพิมพ์ท็อป จำกัด.
- Blank, L. T. and Traquin, A. 2549. **เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม : Engineering Economy**. แปลโดย กรกฎ ไยบัวเทศ วัชระ ทองงอก และคมกฤต เล็กสกุล. บริษัท สำนักพิมพ์ท็อป จำกัด.
- Fogler, H. S. 2014. **Elements of Chemical Reaction Engineering**. 4th ed. Pearson Education Ltd.
- Hosseinpour, V. Kazemini, M. and Mohammadrezaee, A. 2011a. “Optimisation of Ru-promoted Ir-catalysed methanol carbonylation utilising response surface methodology.” **Applied Catalysis A: General**. (394): 166-175.
- Hosseinpour, V. Kazemini, M. and Mohammadrezaee, A. 2011b. “A Study of the water-gas shift reaction in Ru-promoted Ir-catalysed methanol carbonylation utilising experimental design methodology.” **Chemical Engineering Science**. (66): 4798-4806.
- Lotte Chemical Pakistan Ltd. “PTA Process” [Online]. <http://www.lottechem.pk/process>. 2017.
- Mayer, R. D. 2005. **Handbook of Petrochemicals Production Processes**. McGraw-Hill Education.
- Montgomery, D. C. 2014. **Design and Analysis of Experiments**. 8th ed. John Wiley & Sons, Inc.
- Park, C. S. 2015. **Contemporary Engineering Economics**. 6th ed. Pearson Education Ltd.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Sunley, G. J. and Watson, D. J. 2000. “High productivity methanol carbonylation catalysis using iridium The Cativa™ process for the manufacture of acetic acid.” *Catalysis Today*. (58): 293-307.

Williams, B. L. **Iridium-catalysed carbonylation process for the production of acetic acid.** EUROPEAN PATENT SPECIFICATION EP 0 849 250 B1. 13 November 2011.

Yoneda, N. Kusano, S. Yasui, M. Pujado, P. and Wilcher, S. 2001. “Recent advances in processes and catalysts for the production of acetic acid.” *Applied Catalysis A: General*. (221): 253-265.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ตัวอย่างการวิเคราะห์ภาวะปฏิบัติการที่เหมาะสมของเครื่อง ปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่องสำหรับการผลิตกรดแอสิติกด้วย โปรแกรม Design-Expert Version 8.0.1

ก.1 การสร้างตารางวิเคราะห์การทดลองแบบพื้นผิวตอบสนองแบบเซนทรัลคอมโพสิต

การสร้างตารางวิเคราะห์การทดลองแบบพื้นผิวตอบสนองแบบเซนทรัลคอมโพสิต มีวิธีการ
ดังนี้

ก.1.1 สร้างตารางวิเคราะห์การทดลองแบบพื้นผิวตอบสนองแบบเซนทรัลคอมโพสิต โดยเข้า
เมนู New Design > Response Surface > Central Composite

ก.1.2 กำหนดตัวแปรต้นที่เป็นปัจจัยหลัก 7 ตัวแปร ใช้ Resolution ระดับ 5 ปัจจัยที่ศึกษา
A คือ อุณหภูมิทำปฏิกิริยา ($^{\circ}\text{C}$) B คือ ความดัน (barg) C คือ ปริมาณสารละลายอิริเดียม (ppm)
D คือ ปริมาณสารละลายรูทีเนียม (ppm) E คือ ปริมาณสารละลายเมทิลไอโอดัด (wt%) F คือ
ปริมาณเมทานอล (wt%) และ G คือ ปริมาณน้ำ (wt%) ระดับของแต่ละปัจจัยเช่นเดียวกับตารางที่
2.1 การป้อนข้อมูลการวิเคราะห์ภาวะปฏิบัติการที่เหมาะสมของเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง
สำหรับการผลิตกรดแอสิติก แสดงดังรูปที่ ก.1

Central Composite Design
Each numeric factor is varied over 5 levels: plus and minus alpha (axial points), plus every combination of the categorical factor levels.

Numeric Factors: 7 (2 to 30)
Categorical Factors: 0 (0 to 10)

| | Name | Units | -1 Level | +1 Level | -alpha | +alpha |
|----|---------------|-------|----------|----------|------------|---------|
| A: | Temperature | C | 179 | 191 | 175.241 | 194.759 |
| B: | Pressure | barg | 23 | 35 | 19.2405 | 38.7595 |
| C: | Iridium | ppm | 788.91 | 1711.01 | 500.027 | 1999.89 |
| D: | Ruthenium | wt% | 500.78 | 2099.22 | 0.00748036 | 2599.99 |
| E: | Methyl iodide | wt% | 6.7 | 15.3 | 4.00572 | 17.9943 |
| F: | Methylacetate | wt% | 17.39 | 34.61 | 11.9952 | 40.0048 |
| G: | Water | wt% | 7.93 | 14.07 | 6.00641 | 15.9936 |

Enter factor ranges in terms of +/- 1 levels
 Enter factor ranges in terms of alphas

Type: Min Run Res V Blocks: 1

Points
Not center points 44
Center points 6

alpha = 1.62658 Options... 50 Runs

รูปที่ ก.1 การป้อนข้อมูลการวิเคราะห์ภาวะปฏิบัติการที่เหมาะสมของเครื่องปฏิกรณ์ถังกวน

แบบต่อเนื่องสำหรับการผลิตกรดแอสิติก
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการแข่งขันในเพื่อโครงการเท่านั้น เมื่อผู้จัดทำให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้ตารางสำหรับป้อนข้อมูลผลการทดลองโดยป้อนผลการทดลองของ Hosseinpour, V. และคณะ (Hosseinpour et al. 2011a; 2011b) จากตารางที่ 2.2 ตัวอย่างดังรูปที่ ก.2

| Std | Run | Block | Factor 1 A:Temperature C | Factor 2 B:Pressure barg | Factor 3 C:Iridium ppm | Factor 4 D:Ruthenium wt% | Factor 5 E:Methylodide wt% | Factor 6 F:Methylacetat wt% | Factor 7 G:Water wt% | Response 1 rate mol/h | Response 2 CH4 %mol | Response 3 H2 %mol | Response 4 CO2 %mol |
|-----|-----|---------|--------------------------------|--------------------------------|------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------|-----------------------------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|
| 1 | 29 | Block 1 | 179.00 | 23.00 | 788.91 | 2099.22 | 6.70 | 17.39 | 14.07 | 5.43 | 13.67 | 1.6 | 5.59 |
| 2 | 46 | Block 1 | 179.00 | 35.00 | 788.91 | 500.78 | 15.30 | 17.39 | 7.93 | 12.03 | 1.97 | 2.27 | 1.29 |
| 3 | 21 | Block 1 | 179.00 | 35.00 | 1711.01 | 2099.22 | 6.70 | 17.39 | 14.07 | 14.51 | 5.84 | 2.45 | 1.59 |
| 4 | 26 | Block 1 | 179.00 | 23.00 | 1711.01 | 500.78 | 6.70 | 17.39 | 14.07 | 7.8 | 8.52 | 3.39 | 4.72 |
| 5 | 33 | Block 1 | 191.00 | 35.00 | 1711.01 | 2099.22 | 15.30 | 34.61 | 14.07 | 20.5 | 10.59 | 3.56 | 4.65 |
| 6 | 31 | Block 1 | 179.00 | 23.00 | 788.91 | 500.78 | 15.30 | 34.61 | 7.93 | 12.77 | 3.55 | 0.39 | 1.69 |
| 7 | 39 | Block 1 | 191.00 | 35.00 | 788.91 | 500.78 | 6.70 | 34.61 | 7.93 | 12.67 | 6.84 | 1.19 | 3.26 |
| 8 | 15 | Block 1 | 179.00 | 35.00 | 788.91 | 2099.22 | 15.30 | 34.61 | 7.93 | 26.58 | 4.35 | 1.12 | 1.88 |
| 9 | 16 | Block 1 | 191.00 | 23.00 | 1711.01 | 500.78 | 15.30 | 17.39 | 7.93 | 18.22 | 7.63 | 2.58 | 3.77 |
| 10 | 48 | Block 1 | 191.00 | 35.00 | 788.91 | 2099.22 | 6.70 | 34.61 | 14.07 | 29.42 | 6.44 | 2.52 | 1.89 |

รูปที่ ก.2 ตัวอย่างการป้อนข้อมูลผลการทดลองของ Hosseinpour, V. และคณะ (Hosseinpour et al. 2011a; 2011b)

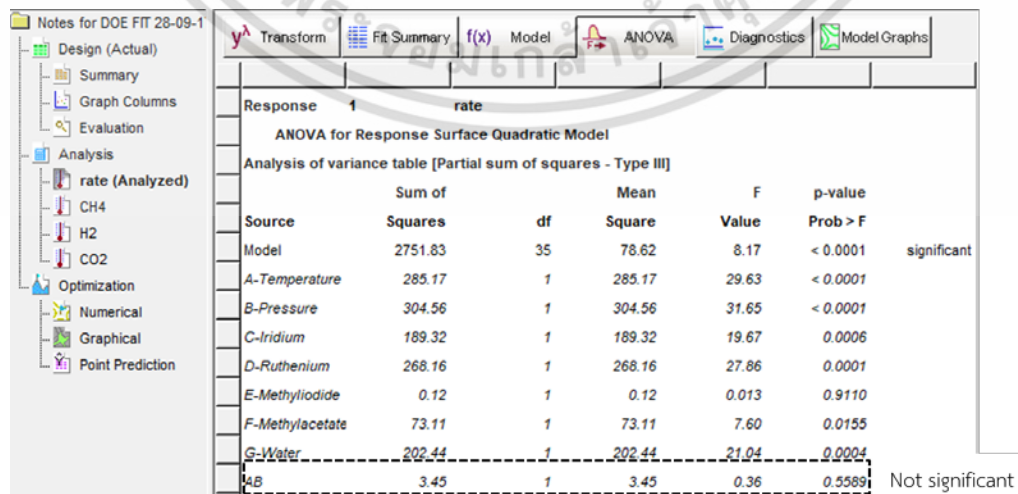
ก.2 การสร้างสมการทำนายผลการทดลอง

การสร้างสมการทำนายผลการทดลอง ได้แก่ สมการทำนายอัตราการเกิดปฏิกิริยาของปฏิกิริยาเมทานอลคาร์บอนิลเลชัน และสมการทำนายปริมาณผลพลอยได้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สมีเทน และแก๊สไฮโดรเจน มีวิธีการดังนี้

ก.2.1 สร้างการวิเคราะห์ผลการทดลอง โดยเข้าเมนู Analysis > ผลการทดลอง > ANOVA ตัวอย่างการวิเคราะห์อัตราการเกิดปฏิกิริยาของปฏิกิริยาเมทานอลคาร์บอนิลเลชัน ดังรูปที่ ก.3

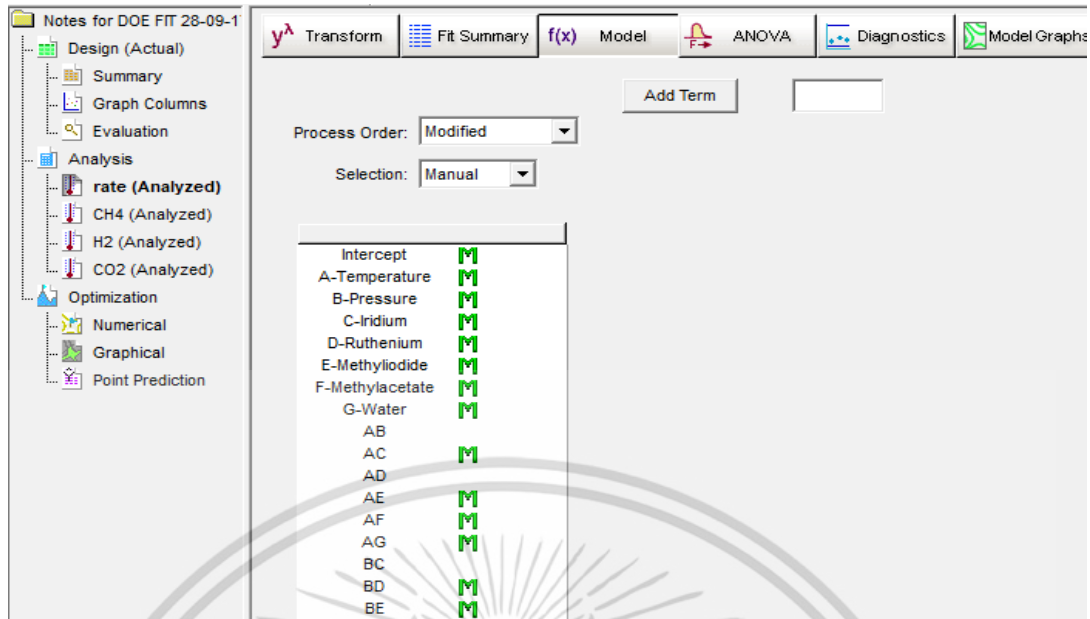
ก.2.2 พิจารณาตัดผลของอันตรกิริยาที่ p-value มากกว่า 0.05 เพื่อลดความซับซ้อนของสมการทำนายผล โดยเข้าเมนู Analysis > ผลการทดลอง > Model ดังรูปที่ ก.4

ก.2.3 พิจารณาผล Lack-of-fit หาก p-value มากกว่า 0.05 และ R² ของสมการจะต้องไม่น้อยกว่า 0.9 ถือว่าสมการทำนายผลนี้แม่นยำ



รูปที่ ก.3 ตัวอย่างการวิเคราะห์อัตราการเกิดปฏิกิริยาเมทานอลคาร์บอนิลเลชัน

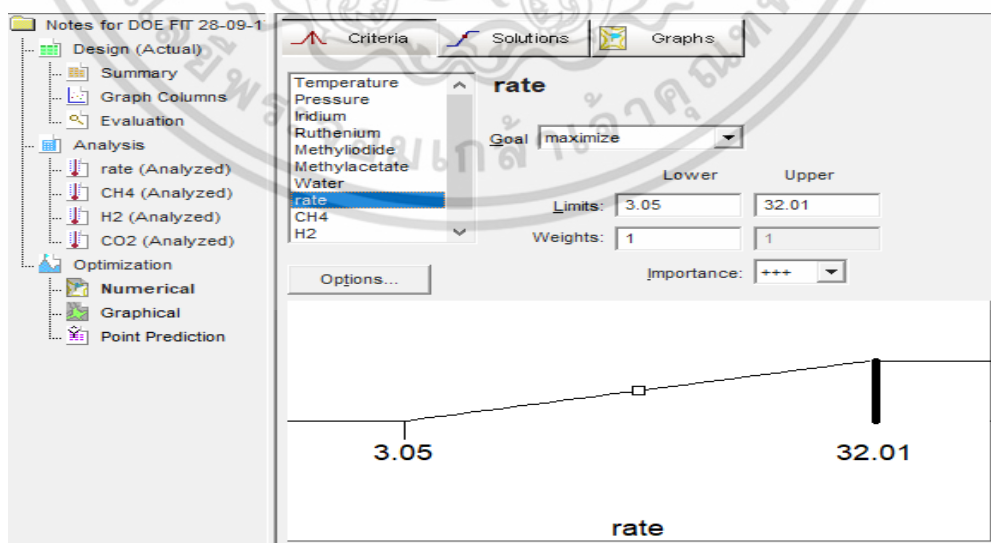
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.4 ตัวอย่างการตัดผลของอันตรกิริยาที่ p-value มากกว่า 0.05

ก.3 การวิเคราะห์ภาวะปฏิบัติการที่เหมาะสมของเครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่องขนาด 325 สำหรับผลิตภัณฑ์แอสติก

การวิเคราะห์ภาวะปฏิบัติการที่เหมาะสมของเครื่องปฏิกรณ์สำหรับผลิตภัณฑ์แอสติก โดยเข้าเมนู Optimization > Numerical > Criteria โดยกำหนดให้ตัวแปรต้นที่เป็นปัจจัยหลักทั้ง 7 ตัวแปร อยู่ในช่วงที่ทดลอง ให้ได้อัตราการเกิดปฏิกิริยาสูงสุด และปฏิกิริยาข้างเคียงต่ำสุด ตัวอย่างดังรูปที่ ก.5 จะได้ภาวะปฏิบัติการที่เหมาะสมที่ทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาสูงสุด และปฏิกิริยาข้างเคียงต่ำสุด ดังตารางที่ 4.1



รูปที่ ก.5 การกำหนดเกณฑ์สำหรับการวิเคราะห์ภาวะปฏิบัติการที่เหมาะสม

ของเครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่องสำหรับผลิตภัณฑ์แอสติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ตัวอย่างการจำลองกระบวนการผลิตกรดแอสติกด้วยโปรแกรม Aspen Plus Version 9

ข.1 การกำหนดชนิดของสาร

การจำลองกระบวนการด้วยโปรแกรม Aspen Plus Version 9 จำเป็นต้องระบุชนิดของสารทั้งหมดในกระบวนการโดยกระบวนการผลิตกรดแอสติก ดังตารางที่ ข.1

ตารางที่ ข.1 สารทั้งหมดในกระบวนการผลิตกรดแอสติก

| ชื่อสาร | สูตรโครงสร้าง |
|-----------------|------------------------------------|
| Acetic acid | CH ₃ COOH |
| Carbon dioxide | CO ₂ |
| Carbon monoxide | CO |
| Hydrogen | H ₂ |
| Iridium | Ir |
| Methane | CH ₄ |
| Methanol | CH ₃ OH |
| Methyl acetate | CH ₃ COOCH ₃ |
| Methyl iodide | CH ₃ I |
| Ruthenium | Ru |
| Water | H ₂ O |

ข.2 การกำหนดแบบจำลองคำนวณ Activity coefficient และสมการสถานะ

การจำลองกระบวนการด้วยโปรแกรม Aspen Plus Version 9 ต้องกำหนดแบบจำลองคำนวณ Activity coefficient และสมการสถานะให้เหมาะสมกับกระบวนการ งานวิทยานิพนธ์นี้กำหนดให้แบบจำลองคำนวณ Activity coefficient ใช้วิธี Non-random two-liquid model (NRTL) และสมการสถานะที่ใช้คือ Redlich-Kwong equation

ข.3 การจำลองหอกลั่น

หอกลั่นที่ใช้ ได้แก่ หอกลั่นแบบถาด ชนิด Sieve 8 ชั้น สำหรับแยกเมทานอลและน้ำ และหอกลั่นแบบถาด ชนิด Sieve 8 ชั้น สำหรับแยกผลิตภัณฑ์กรดแอสติก โดยในที่นี้จะยกตัวอย่างการจำลองหอกลั่นแบบถาดสำหรับแยกเมทานอลและน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.3.1 การจำลองหอกลิ้นแยกเมทานอลและน้ำด้วยโมเดล DSTWU

การจำลองหอกลิ้นด้วยโมเดล DSTWU เป็นการจำลองหอกลิ้นอย่างง่ายโดยใช้หลักการออกแบบของ Winn Underwood Gilliland สำหรับกระแสน้ำ 1 กระแส และกระแสออก 2 กระแส และใช้เครื่องควบแน่นชนิดทั้งหมดหรือบางส่วน การจำลองชนิดนี้จะต้องกำหนดอัตราส่วนการแยกจากปริมาณองค์ประกอบเบาและองค์ประกอบหนักในกระแสที่ออกจากส่วนยอดของหอกลิ้นเทียบกับปริมาณการป้อนเข้า รูปที่ ข.1 แสดงหอกลิ้นแยกเมทานอล กำหนดให้เมทานอลเป็นองค์ประกอบเบา และน้ำเป็นองค์ประกอบหนัก อัตราส่วนการแยกเป็น 99% และ 10% จากปริมาณป้อนเข้าตามลำดับ จำนวนชั้นของหอกลิ้นเบื้องต้นพิจารณา 10 ชั้น และความดันภายในหอกลิ้นเท่ากับความดันของสายป้อนเข้าหอกลิ้นที่ 13.8 barg ดังรูปที่ ข.2



รูปที่ ข.1 หอกลิ้นแยกเมทานอลและน้ำ

| Specifications | Calculation Options | Convergence | Comments |
|--|---------------------|-------------|----------|
| Column specifications | | | |
| <input checked="" type="radio"/> Number of stages | 10 | | |
| <input type="radio"/> Reflux ratio | | | |
| Key component recoveries | | | |
| Light key | | | |
| Comp | MEOH | | |
| Recov | 0.99 | | |
| Heavy key | | | |
| Comp | WATER | | |
| Recov | 0.1 | | |
| Condenser specifications | | | |
| <input checked="" type="radio"/> Total condenser | | | |
| <input type="radio"/> Partial condenser with all vapor distillate | | | |
| <input type="radio"/> Partial condenser with vapor and liquid distillate | | | |
| Distillate vapor fraction | | | |
| 0 | | | |
| Pressure | | | |
| Condenser 13.8 barg | | | |
| Reboiler 13.8 barg | | | |

รูปที่ ข.2 การตั้งค่าควบคุมหอกลิ้นแยกเมทานอลและน้ำด้วยโมเดล DSTWU

ผลการจำลองแสดงดังตารางที่ ข.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 ผลการจำลองหอกลิ้นแยกเมทานอลและน้ำด้วยโมเดล DSTWU

| ภาวะของหอกลิ้น | ผลการจำลอง |
|--|------------|
| อัตราการป้อนกลับที่น้อยที่สุด (Minimum reflux ratio) (Mole basis) | 0.71 |
| อัตราการป้อนกลับจริง (Actual reflux ratio) (Mole basis) | 1.08 |
| จำนวนชั้นที่น้อยที่สุด (Minimum number of stages) | 6 |
| จำนวนชั้นจริง (Number of actual stages) | 10 |
| ชั้นที่กระแสป้อนเข้า (Feed stage) | 5 |
| ภาระความร้อนของเครื่องควบแน่น (kW) | 443 |
| อุณหภูมิของเครื่องควบแน่น (°C) | 165 |
| ภาระความร้อนของหม้อต้มซ้ำ (kW) | 837 |
| อุณหภูมิของหม้อต้มซ้ำ (°C) | 200 |
| อัตราส่วนระหว่างกระแสที่ออกจากส่วนยอดของหอกลิ้นกับกระแสป้อน (Mole basis) | 0.16 |

ข.3.2 การจำลองหอกลิ้นแยกเมทานอลด้วยโมเดล RadFrac

การจำลองหอกลิ้นแยกเมทานอลด้วยโมเดล RadFrac เป็นการจำลองหอกลิ้นแบบแม่นยำโดยงานวิทยานิพนธ์นี้จะอ้างอิงผลการจำลองหอกลิ้นโมเดล DSTWU จากตารางที่ ข.2 ตั้งค่าควบคุมหอกลิ้นเบื้องต้น ดังรูปที่ ข.3-ข.5

The screenshot shows the configuration window for a RadFrac distillation column. The 'Setup options' section includes:

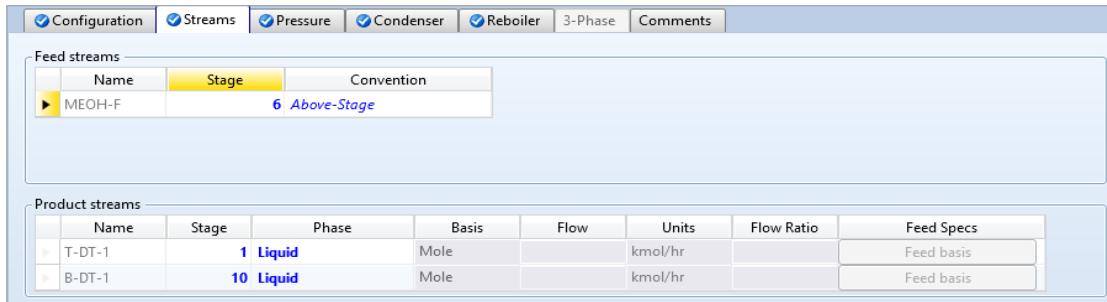
- Calculation type: Equilibrium
- Number of stages: 10
- Condenser: Total
- Reboiler: Kettle
- Valid phases: Vapor-Liquid
- Convergence: Standard

The 'Operating specifications' section includes:

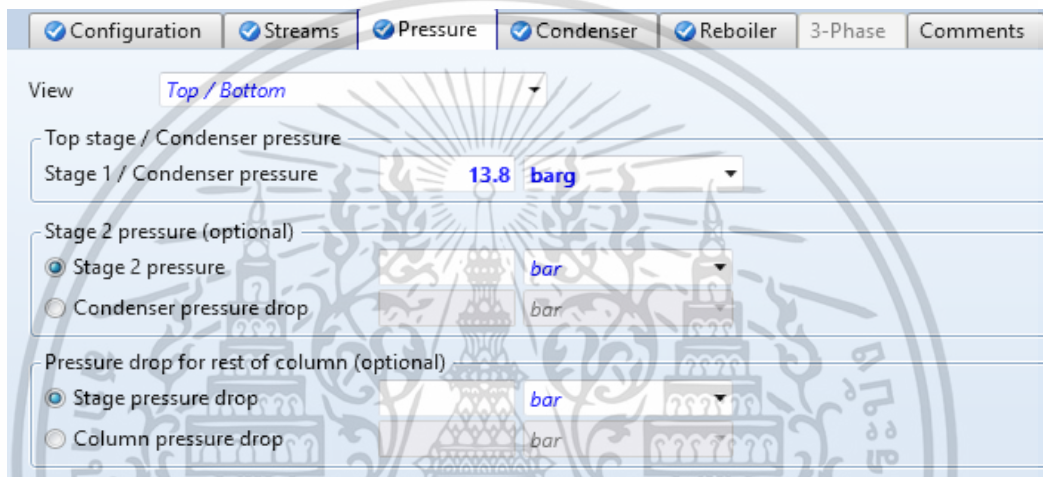
- Reflux ratio: Mole, 0.71
- Distillate to feed ratio: Mole, 0.16
- Free water reflux ratio: 0

รูปที่ ข.3 การตั้งค่าควบคุมหอกลิ้นแยกเมทานอลและน้ำด้วยโมเดล RadFrac

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.4 การตั้งค่าชั้นที่กระแสน้ำเข้าหอกลั่น ชั้นที่กระแสน้ำออกจากส่วนยอดของหอกลั่น และชั้นที่กระแสน้ำออกจากส่วนล่างของหอกลั่นโมเดล RadFrac



รูปที่ ข.5 การตั้งค่าความดันภายในหอกลั่นโมเดล RadFrac

ข.3.3 การปรับปรุงหอกลั่นแยกเมทานอลด้วยฟังก์ชัน Sensitivity

ฟังก์ชัน Sensitivity ใช้สำหรับการเปลี่ยนค่าตัวแปรต้น 1 ตัว เพื่อดูผลของการเปลี่ยนของตัวแปร งานวิทยานิพนธ์นี้เปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรต้น คือ ค่าการออกแบบหอกลั่นโมเดล RadFrac ตัวแปรตาม คือ ผลการออกแบบหอกลั่นแยกเมทานอล ดังตารางที่ ข.3 แสดงตัวอย่างการใช้ฟังก์ชัน โดยการเปลี่ยนชั้นที่กระแสน้ำเข้า (Vary feed stage) ดังนี้

ตารางที่ ข.3 ตัวแปรต้นและตัวแปรตามของฟังก์ชัน Sensitivity สำหรับปรับปรุงหอกลั่นแยกเมทานอลและน้ำ

| ตัวแปรต้น | ตัวแปรตาม |
|---------------------|--|
| จำนวนชั้นของหอกลั่น | อัตราการไหลเชิงมวลของเมทานอลในกระแสน้ำที่ออกจากส่วนยอดของหอกลั่น |
| ชั้นที่กระแสน้ำเข้า | อัตราการไหลเชิงมวลของน้ำในกระแสน้ำที่ออกจากส่วนยอดของหอกลั่น |
| อัตราการป้อนกลับ | ภาระความร้อนของเครื่องควบแน่น |
| | ภาระความร้อนของหม้อต้มซ้ำ |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ... ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

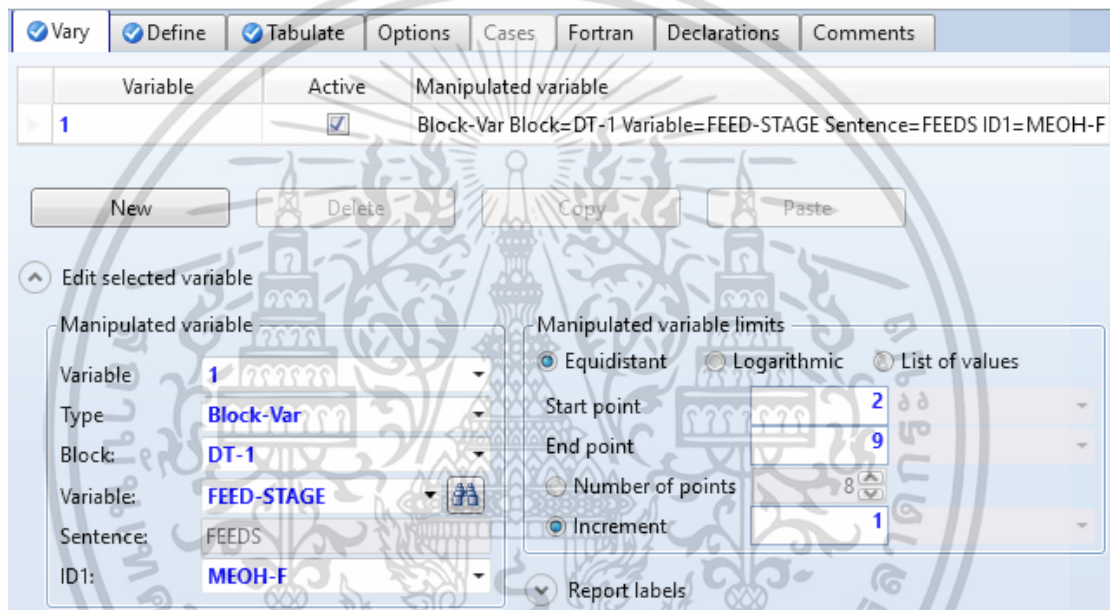
ข.3.3.1 เข้าเมนู Model Analysis Tools > Sensitivity

ข.3.3.2 สร้างฟังก์ชัน Sensitivity ที่ต้องการเปลี่ยนแปลง

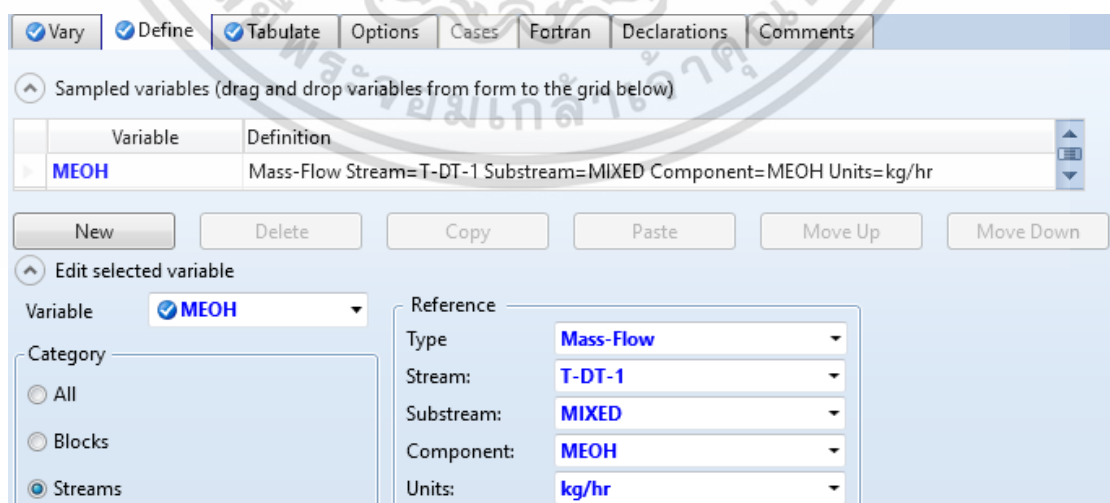
ข.3.3.3 กำหนดตัวแปรต้นและช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลงค่า ตัวอย่างดังรูปที่ ข.6

ข.3.3.4 กำหนดตัวแปรตาม ดังตารางที่ ข.3 ตัวอย่างดังรูปที่ ข.7

ผลของฟังก์ชันแสดงดังรูปที่ ข.8 พบว่ากระแสป้อนเข้าหอกลับในชั้นที่ 3 จะทำให้อัตราการไหลเชิงมวลของเมทานอลในกระแสที่ออกจากส่วนยอดของหอกลับมีค่าสูงที่สุด อัตราการไหลเชิงมวลของน้ำในกระแสที่ออกจากส่วนยอดของหอกลับมีค่าต่ำที่สุด และภาวะความร้อนของเครื่องควบแน่นและหม้อต้มซ้ำมีค่าต่ำที่สุด

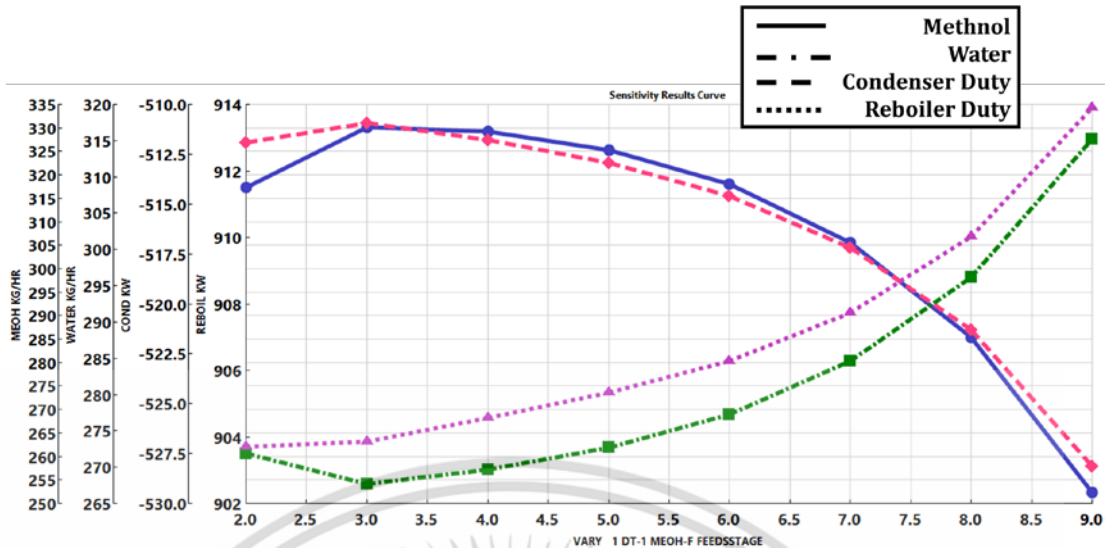


รูปที่ ข.6 ตัวอย่างการเปลี่ยนชั้นที่กระแสป้อนเข้าจากชั้นที่ 2-9



รูปที่ ข.7 ตัวอย่างการกำหนดอัตราการไหลเชิงมวลของเมทานอลในกระแสที่ออกจากส่วนยอดของหอกลับเป็นตัวแปรตาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.8 ผลของฟังก์ชัน Sensitivity สำหรับการเปลี่ยนขั้นที่กระแสน้ำเข้า

ข.4 การจำลองอุปกรณ์ Mixer สำหรับควบคุมกระแสน้ำของเหลวเข้าเครื่องปฏิกรณ์

Mixer เป็นโมเดลสำหรับรวมกระแสตั้งแต่ 2 กระแสขึ้นไปเป็น 1 กระแส เมื่อใช้ร่วมกับฟังก์ชัน Design Specs จะสามารถควบคุมความเข้มข้นของสารในกระแสน้ำของเหลวเข้าเครื่องปฏิกรณ์ได้โดยมีวิธีการดังนี้

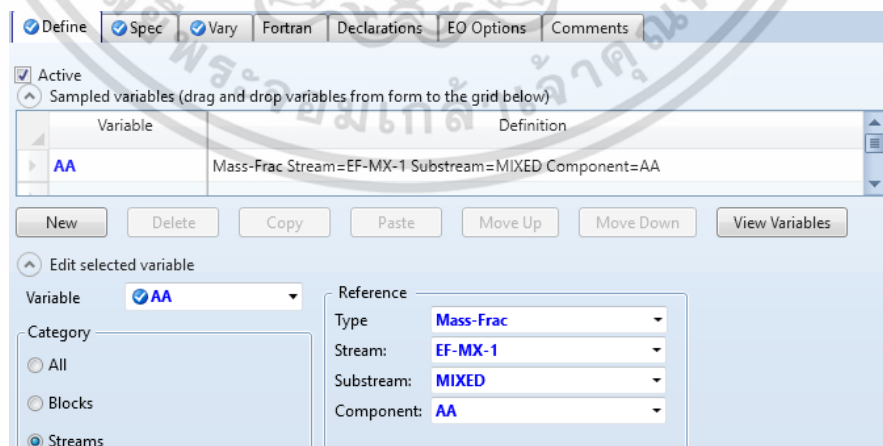
ข.4.1 สร้างโมเดล Mixer

ข.4.2 เข้าเมนู Flowsheeting Options > Design Specs

ข.4.3 สร้างตัวแปรตามที่ควบคุม ดังรูปที่ ข.9

ข.4.4 กำหนดค่าของตัวแปรตามที่ควบคุม และความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ ดังรูปที่ ข.10

ข.4.5 กำหนดตัวแปรต้นและค่าที่จะเปลี่ยนแปลง ดังรูปที่ ข.11



รูปที่ ข.9 ตัวอย่างการสร้างตัวแปรต้นเพื่อควบคุมความเข้มข้นของกรดแอซีติกในกระแสน้ำของเหลวเข้าเครื่องปฏิกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| Define | Spec | Vary | Fortran | Declarations | EO Options | Comments |
|----------------------------------|------|------|---------|--------------|------------|----------|
| Design specification expressions | | | | | | |
| Spec | AA | | | | | |
| Target | .599 | | | | | |
| Tolerance | .005 | | | | | |

รูปที่ ข.10 ตัวอย่างการกำหนดความเข้มข้นของกรดแอสติกในกระแสป้อนของเหลวเข้าเครื่องปฏิกรณ์เป็น 59.9 wt%

| Define | Spec | Vary | Fortran | Declarations | EO Options | Comments |
|-----------------------------|-----------|------|---------|--------------|------------|----------|
| Manipulated variable | | | | | | |
| Type | Mass-Flow | | | | | |
| Stream: | MAKEUP-C | | | | | |
| Substream: | MIXED | | | | | |
| Component: | AA | | | | | |
| Units: | kg/hr | | | | | |
| Manipulated variable limits | | | | | | |
| Lower | 0 | | | | | |
| Upper | 1500 | | | | | |
| Step size | | | | | | |
| Maximum step size | | | | | | |
| Report labels | | | | | | |

รูปที่ ข.11 ตัวอย่างการเปลี่ยนปริมาณการป้อนเข้าของกรดแอสติก

ข.5 การจำลองเครื่องปฏิกรณ์ผลิตกรดแอสติกด้วยโมเดล Rstoic

เครื่องปฏิกรณ์โมเดล Rstoic เป็นโมเดลอย่างง่ายสำหรับจำลองปฏิกิริยาเคมีโดยใช้ค่าการค่าการแปลงผันทางเคมีสำหรับคำนวณปริมาณผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น การตั้งค่าเครื่องปฏิกรณ์โมเดล Rstoic แสดงดังรูปที่ ข.12-ข.13 สำหรับการตั้งค่าครั้งแรกจะต้องสมมติค่าการแปลงผันทางเคมีของทุกปฏิกิริยา จากนั้นใช้ฟังก์ชัน Calculator โหมด Fortran ป้อนค่าในสมการคำนวณอัตราการเกิดปฏิกิริยาปฏิกิริยาเมทานอลคาร์บอนิลเลชัน ดังสมการที่ 4.1 เพื่อหาปริมาตรของเครื่องปฏิกรณ์ และใช้ฟังก์ชัน Design Specs สำหรับควบคุมปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สมีเทน และแก๊สไฮโดรเจน ให้ได้ตามภาวะปฏิบัติการที่เหมาะสมที่สุด คือ เกิดผลพลอยได้แก๊สมีเทน 0.08 kg/h แก๊สไฮโดรเจน 0.02 kg/h แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ 0.1 kg/h ตามลำดับ และแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ไม่ได้เกิดปฏิกิริยา 5.7 kg/h

| Specifications | Reactions | Combustion | Heat of Reaction | Selectivity | PSD | Corr |
|----------------------|-------------|------------|------------------|-------------|-----|------|
| Operating conditions | | | | | | |
| Flash Type | Temperature | Pressure | | | | |
| Temperature | 191 | C | | | | |
| Pressure | 32.66 | barg | | | | |
| Duty | | Gcal/hr | | | | |
| Vapor fraction | | | | | | |
| Valid phases | | | | | | |
| Vapor-Liquid | | | | | | |

รูปที่ ข.12 การตั้งค่าอุณหภูมิและความดันภายในเครื่องปฏิกรณ์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์โดยบริษัทปิโตรเคมีแห่งประเทศไทย จำกัด (มหาชน) ซึ่งสงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยและพัฒนาเท่านั้น ไม่สามารถนำออกเผยแพร่ได้ หากมีข้อสงสัย กรุณาติดต่อฝ่ายประชาสัมพันธ์ โทร. 0-2626-2000

| Rxn No. | Specification type | Molar extent | Units | Fractional conversion | Fractional Conversion of Component | Stoichiometry |
|---------|--------------------|--------------|---------|-----------------------|------------------------------------|---|
| 1 | Frac. conversion | | kmol/hr | 0.98 | MEOH | MEOH + CO --> AA(MIXED) |
| 2 | Frac. conversion | | kmol/hr | 0.98 | MEOAC | MEOAC + WATER + CO --> 2 AA(MIXED) |
| 3 | Frac. conversion | | kmol/hr | 0.001 | MEOH | MEOH + CO --> CH4(MIXED) + CO2(MIXED) |
| 4 | Frac. conversion | | kmol/hr | 0.001 | MEOH | MEOH + H2 --> CH4(MIXED) + WATER(MIXED) |
| 5 | Frac. conversion | | kmol/hr | 0.001 | CO | WATER + CO --> H2(MIXED) + CO2(MIXED) |

รูปที่ ข.13 การตั้งค่าปฏิกิริยาและค่าการแปลงผันทางเคมี

การตั้งค่าของฟังก์ชัน Calculator ดังนี้

ข.5.1 เข้าเมนู Flowsheeting Options > Calculator

ข.5.2 สร้างตัวแปรสำหรับการคำนวณ ตัวอย่างดังรูปที่ ข.14 ตัวแปรทั้งหมดแสดงดังตารางที่

ข.4

ข.5.3 ป้อนค่าในสมการคำนวณอัตราการเกิดปฏิกิริยาปฏิกิริยาเมทานอลคาร์บอนิลเลชัน ตามสมการที่ 4.1 ดังรูปที่ ข.15

ข.5.4 กำหนดผลของการคำนวณที่จะป้อนกลับเข้าไปในแบบจำลอง โดยกำหนดให้ฟังก์ชัน Calculator โหมด Fortran คำนวณอัตราการเกิดปฏิกิริยาปฏิกิริยาเมทานอลคาร์บอนิลเลชัน เพื่อป้อนกลับค่าแปลงผันทางเคมีของปฏิกิริยาปฏิกิริยาเมทานอลคาร์บอนิลเลชัน ก่อนจำลองเครื่องปฏิกรณ์โมเดล Rstocic ดังรูปที่ ข.16 การคำนวณนี้จะสมมติปริมาตรของเครื่องปฏิกรณ์เพื่อให้ได้ค่าการแปลงผันทางเคมีสูงสุด ในที่นี้ปริมาตรของเครื่องปฏิกรณ์เป็น 325 L ได้ค่าการแปลงผันทางเคมีเป็น 99%

| Variable | Information flow | Definition |
|----------|------------------|--|
| TEMP | | Block-Var Block=RX-1 Variable=TEMP Sentence=PARAM Units=C |
| DPCC | | Block-Var Block=RY-1 Variable=DPCC Sentence=PARAM Units=kern |

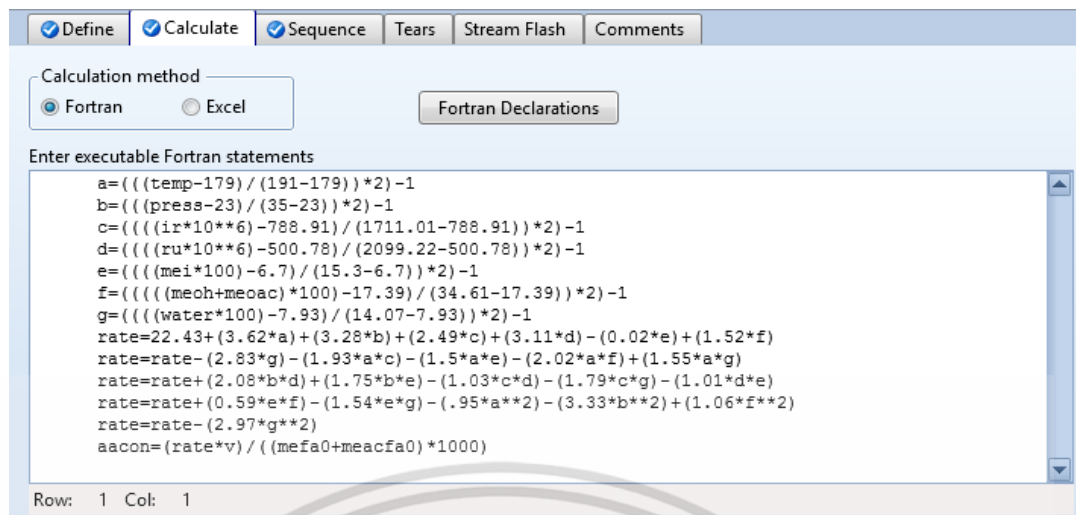
รูปที่ ข.14 ตัวอย่างการตั้งค่าตัวแปรอุณหภูมิของของฟังก์ชัน Calculator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

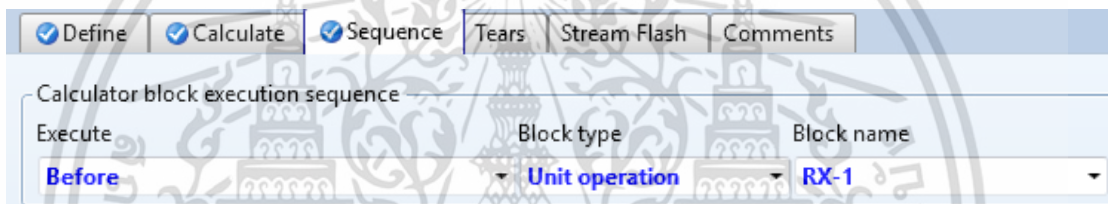
ตารางที่ ข.4 ตัวแปรของฟังก์ชัน Calculator สำหรับการคำนวณอัตราการเกิดปฏิกิริยาและปริมาตรของเครื่องปฏิกรณ์

| ตัวแปร | คำอธิบาย |
|---------|--|
| TEMP | อุณหภูมิทำปฏิกิริยา ($^{\circ}\text{C}$) |
| PRESS | ความดัน (barg) |
| IR | ปริมาณสารละลายอิริเดียม (wt%) |
| RU | ปริมาณสารละลายรูทีเนียม (wt%) |
| MEI | ปริมาณสารละลายเมทิลไอโอดด์ (wt%) |
| MEOH | ปริมาณเมทานอล (wt%) |
| MEOAC | ปริมาณเมทิลแอสีเทต (wt%) |
| WATER | ปริมาณน้ำ (wt%) |
| MEFA0 | อัตราการไหลเชิงโมลของเมทานอล (kmol/h) |
| MEACFA0 | อัตราการไหลเชิงโมลของเมทิลแอสีเทต (kmol/h) |
| A | ตัวแปรไร้หน่วยของอุณหภูมิทำปฏิกิริยา |
| B | ตัวแปรไร้หน่วยของความดัน |
| C | ตัวแปรไร้หน่วยของปริมาณสารละลายอิริเดียม |
| D | ตัวแปรไร้หน่วยของปริมาณสารละลายรูทีเนียม |
| E | ตัวแปรไร้หน่วยของปริมาณสารละลายเมทิลไอโอดด์ |
| F | ตัวแปรไร้หน่วยของปริมาณเมทานอลและเมทิลแอสีเทต |
| G | ตัวแปรไร้หน่วยของปริมาณน้ำ |
| RATE | อัตราการเกิดปฏิกิริยา (สมการที่ 4.1) ($\text{mol/l} \cdot \text{h}$) |
| V | ปริมาตรของเครื่องปฏิกรณ์ (L) |
| AACON | ค่าการแปลงผันทางเคมี (%) |
| RATE | อัตราการเกิดปฏิกิริยา (สมการที่ 4.1) ($\text{mol/l} \cdot \text{h}$) |
| V | ปริมาตรของเครื่องปฏิกรณ์ (L) |
| AACON | ค่าการแปลงผันทางเคมี (%) |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.15 การป้อนสมการคำนวณของฟังก์ชัน Calculator สำหรับคำนวณอัตราการเกิดปฏิกิริยาและ ปริมาตรของเครื่องปฏิกรณ์



รูปที่ ข.16 การป้อนกลับผลการคำนวณของฟังก์ชัน Calculator กลับเข้าไปแบบจำลอง

ข.6 การจำลองถังเฟลช

การจำลองถังเฟลชสำหรับแยกสารละลายอิริเดียม รูทีเนียม ออกจากไอผสมของเมทิล ไอโอดีต น้ำ และกรดแอสติก มีวิธีการดังนี้

ข.6.1 สร้างโมเดล Flash 2

ข.6.2 กำหนดอุณหภูมิและความดันภายในถังเฟลช

ข.6.3 ใช้ฟังก์ชัน Sensitivity เพื่อหาอุณหภูมิและความดันภายในถังเฟลชที่ทำให้สามารถแยกสารละลายอิริเดียม รูทีเนียม ให้ได้ปริมาณการป้อนกลับใกล้เคียงกับปริมาณการป้อนเข้าสู่เครื่องปฏิกรณ์

ข.7 การจำลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

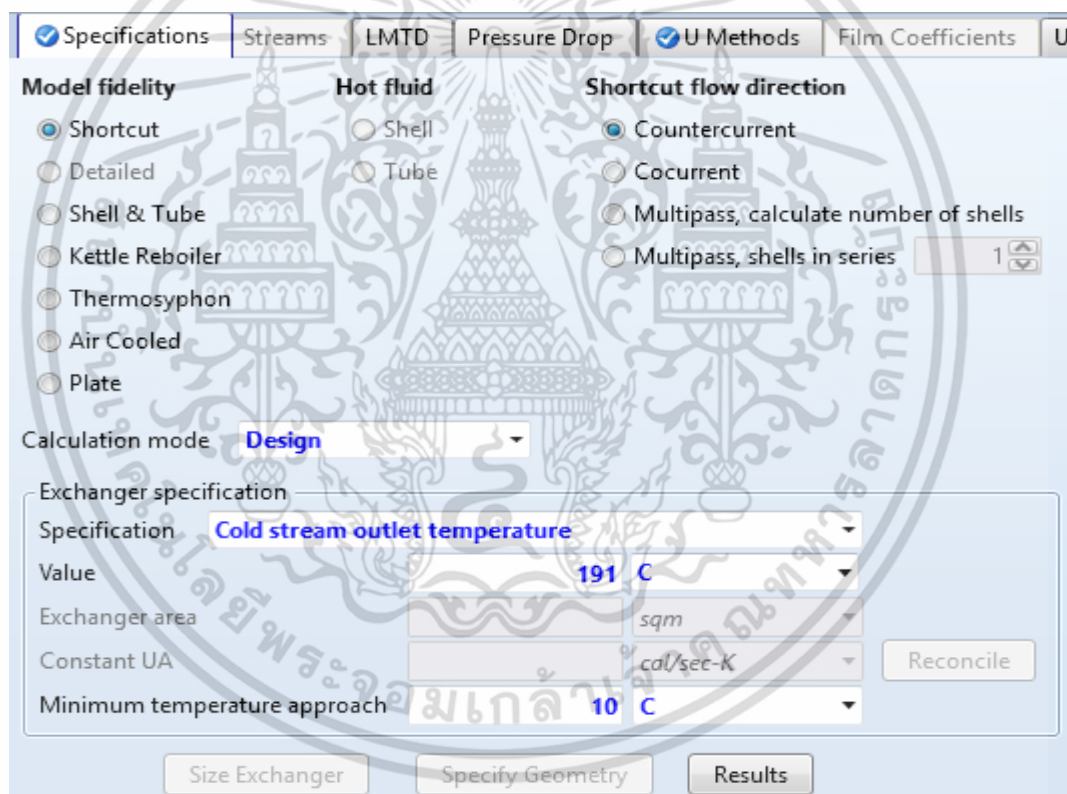
การจำลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเซลล์และท่อสำหรับเพิ่มอุณหภูมิกระแสป้อนเข้าเครื่องปฏิกรณ์ถึงกวนแบบต่อเนื่องสำหรับผลิตกรดแอสติก (HX-1) และเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเซลล์และท่อสำหรับควบแน่นไอผสมของเมทิลไอโอดีต น้ำ และกรดแอสติก (HX-2) มีวิธีการดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.7.1 สร้างโมเดล HeatX

ข.7.2 กำหนดโมเดลเป็นแบบ Shortcut วิธีการคำนวณโหมด Design และผลต่างอุณหภูมิระหว่างกระแสเย็นและกระแสนร้อนน้อยที่สุด (Minimum temperature approach) ประมาณ 10°C โดยกำหนดให้สภาวะของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (HX-1) คือ อุณหภูมิขาออกของกระแสเย็นเป็น 190°C และเครื่องควบแน่นไอผสม (HX-2) คือ อุณหภูมิขาออกของกระแสนร้อนเป็น 100°C ตัวอย่างดังรูปที่ ข.17

ข.7.3 ใช้ฟังก์ชัน Design Specs เพื่อควบคุมปริมาณไอน้ำและน้ำหล่อเย็นให้เหมาะสมกับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน กำหนดให้ไอน้ำความดัน 25 barg ที่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (HX-1) ควบแน่นทั้งหมด และกำหนดให้น้ำหล่อเย็นที่เครื่องควบแน่นไอผสม (HX-2) มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 25°C เป็น 60°C



รูปที่ ข.17 ตัวอย่างการตั้งค่าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (HX-1)

ข.8 การจำลองปั๊ม

การจำลองปั๊มหอยโข่งสำหรับเพิ่มความดันกระแสเมทิลเอซีเทตและเมทานอลที่ออกจากส่วนยอดของหอกลั่น (PP-1) ปั๊มหอยโข่งสำหรับป้อนกลับสารละลายผสมของอิริเดียมและรูทีเนียม (PP-2) และปั๊มหอยโข่งสำหรับป้อนกลับสารละลายเมทิลไอโอดีน (PP-3) โดยกำหนดให้ความดันขาออกทุกเครื่องเท่ากับ 33 barg

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

การวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุนและวิเคราะห์อัตราผลตอบแทน

ค.1 การเขียนผังกระแสเงินสดของกระบวนการผลิตกรดแอสิติก

ก่อนวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุนและวิเคราะห์อัตราผลตอบแทนจำเป็นต้องเขียนผังกระแสเงินสด ดังนี้

ค.1.1 จากโปรแกรม Aspen Plus Version 9 ต้นทุนทรัพย์สินสุทธิของกระบวนการผลิตกรดแอสิติก เท่ากับ -1,737,100 USD (อ้างอิงข้อมูลราคาของอุปกรณ์และค่าติดตั้งอุปกรณ์ในปี 2015) ดังตารางที่ 4.9

ค.1.2 คัดกระแสเงินสดสุทธิโดยประเมินจากผลกำไรในการผลิตกรดแอสิติก 722 kg/h หักค่าใช้จ่าย ได้แก่ ไอน้ำความดัน 25 barg ไอน้ำความดัน 15 barg น้ำหล่อเย็น ค่าไฟฟ้า ซึ่งอ้างอิงราคาจากฐานข้อมูลของโรงงานที่เป็นกรณีศึกษาในปี พ.ศ. 2560 ดังตารางที่ 4.10

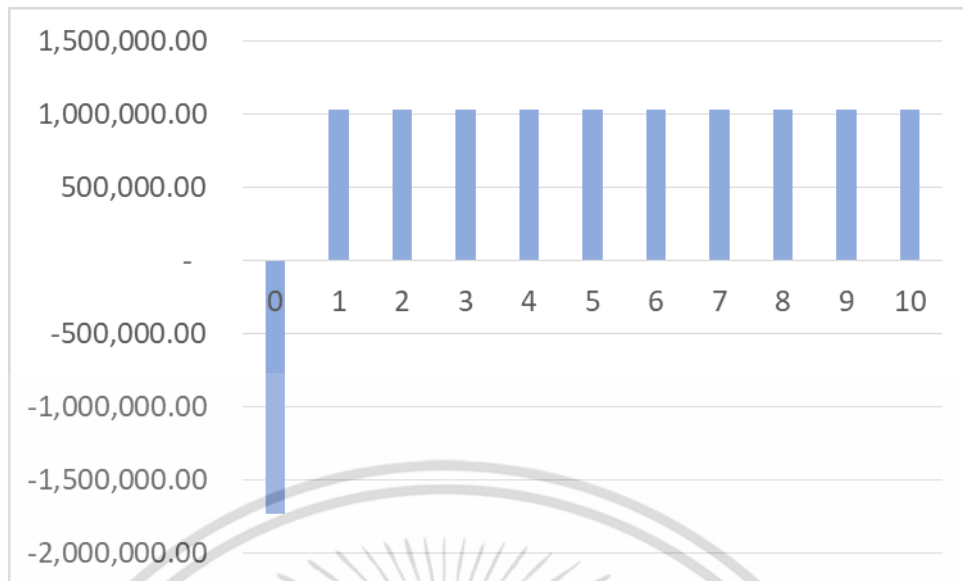
ค.1.3 ตารางที่ ค.1 คือ กระแสเงินสดของกระบวนการผลิตกรดแอสิติกที่ปี n ไດ ณ เวลาปัจจุบัน (ปีที่ 0) กระแสเงินสดเป็น -1,737,100 USD ดังนั้น ปีที่ 1-10 จะได้กำไรจากกระบวนการผลิตกรดแอสิติกปีละ 1,028,451 USD

ค.1.4 วาดผังกระแสเงินสดจากตารางที่ ค.1 ได้ดังรูปที่ ค.1

ตารางที่ ค.1 กระแสเงินสดของกระบวนการผลิตกรดแอสิติกที่ปี n

| ปีที่ | กระแสเงินสด (USD) |
|--------------|-------------------|
| 0 (ปัจจุบัน) | - 1,737,100.00 |
| 1 | 1,028,451 |
| 2 | 1,028,451 |
| 3 | 1,028,451 |
| 4 | 1,028,451 |
| 5 | 1,028,451 |
| 6 | 1,028,451 |
| 7 | 1,028,451 |
| 8 | 1,028,451 |
| 9 | 1,028,451 |
| 10 | 1,028,451 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.1 ผังกระแสเงินสดของกระบวนการผลิตกรดแอสซิดิก

ค.2 การวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุน

จากกระแสเงินสดในตารางที่ ค.1 คำนวณมูลค่าปัจจุบันโดยใช้แฟกเตอร์ (P/F, i, n) เมื่อ $i = 15\%$ จะได้มูลค่าปัจจุบันดังตารางที่ 4.11 โดยมีตัวอย่างการคำนวณ ดังนี้

$$\text{ปีที่ 1; } P = \frac{F}{(1+i)^n} = \frac{1,028,451}{(1+0.15)^1} = 894,305$$

$$\text{ปีที่ 2; } P = \frac{F}{(1+i)^n} = \frac{1,028,451}{(1+0.15)^2} = 777,656$$

$$\text{ปีที่ 10; } P = \frac{F}{(1+i)^n} = \frac{1,028,451}{(1+0.15)^{10}} = 254,217$$

พิจารณากระแสเงินสดสะสม พบว่าระยะเวลาคืนทุนอยู่ในช่วงระหว่างปีที่ 2 และปีที่ 3 ดังนั้นเมื่อแปลงมูลค่าปัจจุบันของปีที่ 3 เป็นต่อเดือน จะได้ระยะเวลาคืนทุน เท่ากับ 2 ปี 2 เดือน

ค.3 อัตราผลตอบแทน

จากกระแสเงินสดในตารางที่ ค.1 คำนวณมูลค่าปัจจุบันจากสมการที่ 2.21 โดยใช้แฟกเตอร์ (P/A, i, n) เมื่อ $-PW_D = -1,737,100.00$ USD: $A = 1,028,451$ USD และ $n = 10$ ปี คำนวณมูลค่าปัจจุบันโดยการลองผิดลองถูก แสดงตัวอย่างการคำนวณ ดังนี้

$$\begin{aligned}
 PW &= -1,737,100.00 + 1,028,451(P/A, 20\%, 10) \\
 i = 20\%; &= -1,737,100.00 + 1,028,451 \left(\frac{(1+0.2)^{10} - 1}{0.2 \times (1+0.2)^{10}} \right) \\
 &= 2,574,651
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 i = 58\%; &PW = -1,737,100.00 + 1,028,451(P/A, 58\%, 10) \\
 &= 17,802
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 i = 59\%; &PW = -1,737,100.00 + 1,028,451(P/A, 59\%, 10) \\
 &= -10,843
 \end{aligned}$$

ดังนั้นมูลค่าปัจจุบัน (PW) ที่เท่ากับ 0 จะอยู่ในช่วง $58\% < i < 59\%$ ซึ่งประมาณค่าในเชิงเส้น (Linear interpolation) ได้เท่ากับ

$$\begin{aligned}
 i^* &\cong 58\% + (59\% - 58\%) \left[\frac{17,802 - 0}{17,802 - (-10,843)} \right] \\
 &= 58\% + 1\%(0.62) \\
 &= 58.62\%
 \end{aligned}$$

ดังนั้น อัตราผลตอบแทนของโครงการนี้เป็น 58.62%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

| | |
|---|--|
| ชื่อ-นามสกุล | นายนิจิต หงส์บิน |
| วัน เดือน ปีเกิด | 8 สิงหาคม 2534 จังหวัดสุรินทร์ |
| ที่อยู่ | 186/2 หมู่ 3 ถ.สุขุมวิท ต.แกลง อ.เมืองระยอง ระยอง 21160 โทร.086-347-5600 |
| ประวัติการศึกษา | วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมเคมี) เกียรตินิยมอันดับ 2 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง |
| ประสบการณ์การทำงานกับภาคอุตสาหกรรม | |
| 18 มี.ค. – 27 พ.ค. 2556 | นักศึกษาฝึกงานภาคฤดูร้อนส่วน “Integrated Lean Six Sigma” บริษัท แคนดเบอรี่ อาดัมส์ (ประเทศไทย) จำกัด |
| 13 ส.ค. – 6 ธ.ค. 2556 | สหกิจศึกษา บริษัท พีทีที ฟีนอล จำกัด จ.ระยอง |
| วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต บริษัท สยามมิตซูย พีทีเอ จำกัด | |
| 27-30 มิ.ย. 2560 | ทีมวิทยากรการฝึกอบรมการตรวจประเมินภายใน On the Job Training และแนะนำการเขียนรายงานการจัดการความปลอดภัยกระบวนการผลิต ให้แก่ผู้ตรวจประเมินภายในของ บริษัท พีทีที ฟีนอล จำกัด ในการตรวจ โรงงานผลิตสารฟีนอลและอะซิโตน และโรงงานผลิตสารบิสฟีนอล เอ |
| ประสบการณ์ผู้ร่วมสังเกตการณ์การตรวจประเมินภายนอกการจัดการความปลอดภัยกระบวนการผลิต | |
| 26-28 พฤษภาคม 2558 | บริษัท ไทยโพลีเอททีลีน จำกัด Site 1 |
| 25-27 สิงหาคม 2558 | บริษัท พีทีที โกลบอล เคมิคอล จำกัด (มหาชน) สาขา 12 โรงโพลีเอททีลีน |
| 28-30 มีนาคม 2559 | บริษัท เอ็ช เอ็ม ซี โพลีเมอส์ จำกัด |
| 27-29 มิถุนายน 2559 | บริษัท พีทีที โกลบอล เคมิคอล จำกัด (มหาชน) สาขา 11 โรงโอะเลฟินส์ 3 |
| 4-6 กรกฎาคม 2559 | บริษัท พีทีที โกลบอล เคมิคอล จำกัด (มหาชน) สาขา 4 โรงอะโรมาติกส์ 1 |
| 24-26 สิงหาคม 2559 | บริษัท เจเอสอาร์ บีเอสที อีลาสโตเมอร์ จำกัด |
| 19-21 กันยายน 2559 | บริษัท มาบตาพุด แทงค์ เทอร์มินัล จำกัด |
| 28-30 กันยายน 2559 | บริษัท ไทยอีทอกซีเลท จำกัด |

ผลงานตีพิมพ์ในงานประชุมระดับนานาชาติ

1. Piyanart Sommani, Nichit Hongbin, Panuwat Jumpasri, and Anchaleeporn Waritswat Lothongkum. “Process Safety Design Strategies: Inherent Safer Design” Proceedings of the 17th Congress of the Asian-Pacific Confederation of Chemical Engineering “Chemical Engineering for a Sustainably Developing World - the Role for the Asia Pacific Region” 23 – 27 August 2017. Hong Kong Convention & Exhibition Center.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. Panuwat Jumpasri, Piyanart Sommani, Nichit Hongbin, and Anchaleeporn Waritswat Lothongkum. "Prevention and Mitigation of Aluminium Dust Explosion: a Practical Approach Based on Risk Management" Proceedings of the 17th Congress of the Asian-Pacific Confederation of Chemical Engineering "Chemical Engineering for a Sustainably Developing World - the Role for the Asia Pacific Region" 23 – 27 August 2017. Hong Kong Convention & Exhibition Center.
3. Anchaleeporn Waritswat Lothongkum, Siwat Valeekiatkul, Nichit Hongbin and Narisara Thongboonchoo. "Feasibility Study on Hydrogen Gas Recovery from Hydrogenation Process in The PTA Plant" Proceedings of the 7th International TIChE Conference (ITIChE 2017) "Innovative Chemical Engineering and Technology toward a Sustainable Future" Shangri-La Hotel, Bangkok, Thailand, October 18-20, 2017.
4. Anchaleeporn Waritswat Lothongkum, Nichit Hongbin and Piyanart Sommani "RAGAGEPs of Atmospheric Storage Tanks" Proceedings of the Asia Pacific Symposium on Safety 2017. Kitakyushu International Conference Center, Kitakyushu, Fukuoka, Japan. November 30 – December 1, 2017, (SB4-03: Process Safety 1). (Best Paper Award)
5. Anchaleeporn Waritswat Lothongkum, Piyanart Sommani, Nichit Hongbin and Panuwat Jumpasri "Successful Process Safety Management Implementation" Proceedings of the Asia Pacific Symposium on Safety 2017. Kitakyushu International Conference Center, Kitakyushu, Fukuoka, Japan. November 30 – December 1, 2017, (SB4-04: Process Safety 1).

ผลงานตีพิมพ์ในงานประชุมระดับชาติ

1. ปิยะนาถ สมมณี นิจิต หงส์บิน และอัญชลีพร วาริทสวัสดิ์ หล่อทองคำ. "การวิเคราะห์พิษของระบบเครือข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในกระบวนการผลิตพีนอล." การประชุมวิชาการวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 24. "Changes: Cleaner Energy, Leaner Processes, Better Living" โรงแรมฟูราม่า จ.เชียงใหม่. 18-19 ธันวาคม 2557.
2. นิจิต หงส์บิน ปิยะนาถ สมมณี และอัญชลีพร วาริทสวัสดิ์ หล่อทองคำ. "แบบจำลองกระบวนการเมทานอลคาร์บอนิลเลชันที่ใช้อัตราการเกิดปฏิกิริยาและภาวะปฏิบัติการที่เหมาะสมจากการทดลองแบบพื้นผิวตอบสนอง." การประชุมวิชาการวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 27. "Innovative Chemical Engineering and Technology toward a Sustainable Future" โรงแรมแชนกรีล่า กรุงเทพฯ 18-20 ตุลาคม 2560.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการวิจัย (ดำเนินการสำเร็จ)

1. “รายการตรวจสอบสำหรับการตรวจประเมินการจัดการความปลอดภัยกระบวนการผลิตตามข้อบังคับของการนิคมอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย” การสนับสนุนจากสภาวิศวกร ภายใต้โครงการศึกษาเพื่อการพัฒนาวิชาชีพวิศวกรรม งบประมาณประจำปี 2559
2. “โครงการจัดทำวิธีปฏิบัติเพื่อการจัดการวัตถุอันตรายชนิดที่ 3” การสนับสนุนจากสภาวิศวกร ภายใต้โครงการศึกษาเพื่อการพัฒนาวิชาชีพวิศวกรรม งบประมาณประจำปี 2559

โครงการวิจัย (อยู่ระหว่างดำเนินการ)

1. “โครงการจัดทำวิธีปฏิบัติอย่างปลอดภัยเพื่อป้องกันและลดการระเบิดของฝุ่น: กรณีศึกษากระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์อะลูมิเนียม” การสนับสนุนจากสภาวิศวกร ภายใต้โครงการศึกษาเพื่อการพัฒนาวิชาชีพวิศวกรรม งบประมาณประจำปี 2560
2. การศึกษาความเสี่ยงจากการระเบิดของฝุ่นในการผลิตบิสฟีนอล เอ และแนวทางการปฏิบัติอย่างปลอดภัย โครงการที่บริษัท พีทีที ฟีนอล จำกัด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้