



## โครงการ

# การเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

**ชื่อโครงการ** การออกแบบและจำลองกระบวนการกำจัดน้ำปนเปื้อนในโรงกลั่นน้ำมันโดยระบบสตรipping

Design and Simulation of Sour Water Stripping System in Refineries

**ชื่อนิสิต** นางสาวสาธิตา อุษณีย์กนก  
นางสาวศรสวรรค์ ไตรรัตน์

**เลขประจำตัว** 5932965123

**เลขประจำตัว** 5932962223

**ภาควิชา** เคมีเทคนิค

**ปีการศึกษา** 2562

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



การออกแบบและจำลองกระบวนการการกำจัดน้ำปนเปื้อนในโรงกลั่นน้ำมันโดยระบบสตริปปีง  
Design and Simulation of Sour Water Stripping System in Refineries

จัดทำโดย

นางสาวสาธิตา อุษณีย์กนก รหัสนิต 5932965123  
นางสาวศรสวรรค์ ไตรรัตน์ รหัสนิต 5932962223

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ณัฐพล พิณฑุโยธิน

รายวิชา 2306499 Senior Project โครงการวิทยาศาสตร์

ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2562

ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ชื่อโครงการวิจัย	การออกแบบและการจำลองกระบวนการการกำจัดน้ำปนเปื้อนในโรงกลั่นน้ำมันโดยระบบสตริปปีง (โปรแกรมคอมพิวเตอร์)
ชื่อนิสิต	น.ส. สาธิตา อุษณีย์กนก น.ส. ศรสวรรค์ โตรีน
ภาควิชา	เคมีเทคนิค
คณะ	วิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัย	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา	2562
อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ	อาจารย์  ณัฐพล  พิณฑุโยธิน

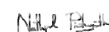
Nilak Pich

### บทคัดย่อ

โดยปกติแล้วโรงงานจะมีน้ำปนเปื้อนปริมาณมาก ดังนั้นระบบบำบัดน้ำปนเปื้อนจึงเป็นกระบวนการที่สำคัญ งานวิจัยนี้พยายามที่จะจำลองกระบวนการที่สามารถแยกสารปนเปื้อนและเป็นกระบวนการที่เหมาะสมเพื่อให้ได้น้ำสะอาด ซึ่งสามารถนำกลับไปใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและลดค่าใช้จ่ายในกระบวนการ งานวิจัยนี้ใช้โปรแกรม Aspen Plus V.9 ในการจำลองกระบวนการและทำให้กระบวนการที่ซับซ้อนง่ายขึ้น น้ำปนเปื้อนมีส่วนประกอบหลักก็คือ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ แอมโมเนีย และโซเดียมคลอไรด์ปริมาณเล็กน้อย วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือออกแบบกระบวนการทางเลือกเพื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการพื้นฐาน โดยออกแบบกระบวนการกำจัดน้ำปนเปื้อนให้เป็นไปตามข้อกำหนดความบริสุทธิ์ของน้ำสะอาดหลังจากผ่านการบำบัด โดยความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ไม่เกิน 10 ส่วนในล้านส่วน และแอมโมเนียไม่เกิน 100 ส่วนในล้านส่วน ในน้ำสะอาด และเปรียบเทียบในแง่ของความต้องการของพลังงานทั้งหมดในกระบวนการและทางเศรษฐศาสตร์ จากงานวิจัยการออกแบบกระบวนการกำจัดน้ำปนเปื้อนแบบบีบอัดไอพร้อมกับแยกอัตราการไหลสามารถลดความต้องการของพลังงานทั้งหมดประมาณร้อยละ 35 เมื่อเทียบกับการออกแบบพื้นฐาน และเมื่อเปรียบเทียบค่าทางเศรษฐศาสตร์แม้ว่าต้นทุนการผลิตแรกเริ่มของการออกแบบกระบวนการกำจัดน้ำปนเปื้อนแบบบีบอัดไอพร้อมกับแยกอัตราการไหลมากกว่าการออกแบบพื้นฐาน อย่างไรก็ตาม ค่าใช้จ่ายรายปีทั้งหมดมีค่าลดลงประมาณร้อยละ 70 เมื่อเทียบกับการออกแบบพื้นฐาน เนื่องจากมีการตัดส่วนของสารอนุภาคอื่นและเยื่อของสตริปเปอร์โดยใช้การบีบอัดไอแทน จากงานวิจัยค่าความดันส่วนบนของสตริปเปอร์ที่ 1.9 บาร์ เป็นสภาวะการดำเนินการที่เหมาะสมที่สุด

**คำสำคัญ :** การกำจัดน้ำปนเปื้อน การจำลองกระบวนการ

<b>Title</b>	Design and simulation of sour water stripping system in refineries (Computer Program)
<b>Students</b>	Ms. Sathika Ussaneekanok Ms. Sornsawan Toreun
<b>Department</b>	Chemical Engineering
<b>Faculty</b>	Science
<b>University</b>	Chulalongkorn University
<b>Academic Year</b>	2019
<b>Adviser</b>	Lecturer Nathapol Pintuyothin



### ABSTRACT

In conventional refineries, there is a significant amount of sour water. Consequently, sour water stripping unit is a very important process. This research attempts to simulate the process, which separates contaminants in sour water and optimizes to get pure water, then recycles to increase efficiency of the process and reduce operating costs. This study uses Aspen Plus to simulate and simplify the complex process. The sour water mainly contains hydrogen sulfide, ammonia, and small quantity of sodium chloride. The purpose of the study to design and simulate alternative case of the sour water stripping to compare with base case design and design to get stripped water that contains no more than 10 ppm of H<sub>2</sub>S and 100 ppm of NH<sub>3</sub> and compare in terms of economics and energy requirement. In this study, vapor compression with split flow design can reduce the energy requirement of the stripping process by 35% compared to the base case design. The economic analysis shows that despite the higher capital cost of the vapor compression with split flow design, total annual cost of vapor compression with split flow design is 70% lower compared to the base case design. due to cutting down the cold and hot utilities and using the compression instead of thermal energy. From the study, pressure of top column is 1.9 bar which the most appropriate condition.

**Keywords :** Sour water stripping , Process simulation

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากคณะผู้จัดทำได้รับความอนุเคราะห์และความกรุณาจากคณะอาจารย์และบุคคลผู้มีพระคุณหลายท่าน ดังรายนามต่อไปนี้

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ณัฐพล พิณฑุโยธิน อาจารย์ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการวิจัยที่ได้ช่วยแนะนำและให้คำปรึกษา รวมถึงเสนอแนะแนวทางการแก้ไขปัญหา ตลอดจนถ่ายทอดประสบการณ์ในการทำงานของท่านเพื่อเป็นประโยชน์ในการคิดวิเคราะห์ การวางแผนในโครงการนี้ โดยท่านได้ให้คำปรึกษาตั้งแต่การค้นหาข้อมูลจนการทำโครงการวิจัยสำเร็จ รวมทั้งตรวจทานแก้ไขโครงการเล่มนี้ให้สมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ ดร. จิตติ เกษมชัยนันท์ และ รองศาสตราจารย์ ดร. ประพันธ์ คูชลธารา อาจารย์ผู้ประสานรายวิชาโครงการวิทยาศาสตร์ ที่ช่วยประสานงานและช่วยจัดระเบียบความเรียบร้อยของโครงการวิจัยให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณคณาจารย์คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทุกท่านที่ได้ให้ความรู้ คำแนะนำ จนสามารถนำความรู้มาประยุกต์ใช้ในโครงการวิจัยนี้ได้

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ช่วยอำนวยความสะดวกตลอดการทำโครงการวิจัยนี้

สุดท้ายนี้ผู้จัดทำขอขอบพระคุณบิดา มารดา และบุคคลในครอบครัว ที่ได้ได้รับการศึกษา ตลอดจนคอยเลี้ยงดูและอบรมสั่งสอน และคอยเป็นกำลังใจเป็นแรงผลักดันในการทำโครงการวิจัยนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี รวมทั้งเพื่อนและรุ่นพี่ที่ให้ความช่วยเหลือและกำลังใจตลอดการทำโครงการวิจัยนี้ และบุคคลอื่น ๆ ที่ไม่ได้กล่าวมา ผู้จัดทำโครงการวิจัยขอขอบคุณอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

สาธิตา อุษณีย์กนก  
ศรสวรรค์ ไตรีน

## สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูปภาพ.....	ช
1. บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและมูลเหตุจูงใจในการเสนอโครงการ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์โครงการ.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
1.5 วิธีดำเนินงาน.....	2
2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 น้ำเสีย.....	4
2.2 น้ำปนเปื้อน.....	4
2.3 หลักการของการสตริปปีง.....	8
2.4 กระบวนการบีบอัดไอ.....	10
2.5 กระบวนการบีบอัดเชิงกลผ่านการแยกด้านล่าง.....	12
2.6 การเกิดน้ำท่วมในคอลัมน์การกลั่น.....	14
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	15
3. วิธีดำเนินงานวิจัย.....	18
3.1 การจำลองกระบวนการพื้นฐาน.....	18
3.2 การออกแบบกระบวนการทางเลือก.....	19
3.3 การจำลองกระบวนการเพื่อหาสถานะการดำเนินการที่เหมาะสม.....	24
4. ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	25
4.1 การออกแบบการจำลองกระบวนการกำจัดน้ำปนเปื้อน.....	25
4.2 สถานะการดำเนินการที่เหมาะสม.....	31

## สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ .....	35
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	35
5.2 ข้อเสนอแนะ .....	36
เอกสารอ้างอิง.....	37

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แหล่งผลิตน้ำปนเปื้อน.....	6
2.2 ปริมาณสารปนเปื้อนในน้ำที่ผลิตได้ .....	8
3.1 คุณสมบัติสารปนเปื้อนเข้าในการจำลองกระบวนการ .....	18
4.1 อุณหภูมิ ความดัน และองค์ประกอบของสายด้านบนและด้านล่างของ สตรีปเปอร์การออกแบบการจำลองกระบวนการกำจัดน้ำปนเปื้อนทั้งหมด .....	27
4.2 การประมาณราคาสำหรับการออกแบบทางเลือก.....	29
4.3 อุณหภูมิ ความดัน และองค์ประกอบของสายด้านบนและด้านล่าง ของสตรีปเปอร์ภายใต้ความดันส่วนบนของสตรีปเปอร์ที่แตกต่างกัน.....	31
4.4 การเปรียบเทียบราคาภายใต้ความดันที่แตกต่างกัน.....	33



## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	โครงสร้างของสตริปเปอร์กำจัดน้ำปนเปื้อน..... 5
2.2	การกำจัดแก๊สของโรงงาน..... 9
2.3	คอลัมน์สตริปปีง ..... 9
2.4	McCabe-Thiele ของสตริปปีง..... 10
2.5	กระบวนการกลั่นที่มีการบีบอัดไอและมีป้อนความร้อนที่ช่วยในการกลั่น..... 11
2.6	โครงสร้างทั่วไปของระบบบีบอัดไอ..... 12
2.7	แผนผังของกระบวนการบีบอัดไอเชิงกลด้วยป้อนความร้อน ..... 13
2.8	แผนผังการกลั่นโดยใช้กระบวนการบีบอัดไอเชิงกลผ่านการแยกด้านล่าง ..... 14
2.9	การไหลของของเหลวและไอเมื่อคอลัมน์ทำงานปกติ..... 14
2.10	การไหลของของเหลวและไอเมื่อคอลัมน์เกิดน้ำท่วม ..... 15
3.1	การจำลองกระบวนการพื้นฐาน..... 19
3.2	การจำลองกระบวนการแบบแยกอัตราการไหล..... 20
3.3	การจำลองกระบวนการแบบบีบอัดไอพร้อมกับแยกอัตราการไหล ..... 21
3.4	การจำลองกระบวนการแบบบีบอัดไอ ..... 22
3.5	การจำลองกระบวนการแบบบีบอัดไอเชิงกลผ่านการแยกด้านล่าง..... 23
4.1	กราฟเปรียบเทียบการวิเคราะห์พลังงานทั้งหมดที่ต้องการของ การออกแบบการจำลองกระบวนการกำจัดน้ำปนเปื้อนทั้งหมด..... 25
4.2	ค่าสาธารณูปโภคสำหรับการออกแบบการจำลองกระบวนการ กำจัดน้ำปนเปื้อนทั้งหมด..... 26
4.3	องค์ประกอบของภูมิภาคไอของไฮโดรเจนซัลไฟด์และแอมโมเนียในสตริปเปอร์..... 28
4.4	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันและสัดส่วนมวลของผลิตภัณฑ์ ด้านบนสตริปเปอร์..... 32
4.5	กราฟเปรียบเทียบการวิเคราะห์พลังงานที่ต้องการภายใต้ความดันที่แตกต่างกัน ..... 33

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมาและมูลเหตุจูงใจในการเสนอโครงการ

ในปัจจุบันถึงแม้ว่าจะมีการใช้พลังงานทดแทน เช่น พลังงานลม หรือ พลังงานแสงอาทิตย์ มาแทนน้ำมันในกระบวนการต่าง ๆ แต่ในความเป็นจริงแล้ว น้ำมันยังจำเป็นอยู่มากและยังไม่ได้หมดไป นอกจากนี้พลังงานทดแทนยังมีราคาที่สูง และยังไม่สามารถนำมาใช้ในกระบวนการอุตสาหกรรมได้ทั้งหมด และในทุก ๆ กระบวนการผลิตในโรงกลั่นน้ำมันจะมีน้ำปนเปื้อนเกิดขึ้นเสมอ ดังนั้นเราจึงยังต้องศึกษาและให้ความสำคัญกับน้ำมันและการกำจัดน้ำปนเปื้อน และจำลองกระบวนการเพื่อดูความเหมาะสมของกระบวนการ เพื่อให้ได้ในสิ่งที่เราต้องการ ในสภาวะที่เหมาะสม มีประสิทธิภาพสูงสุด เกิดผลเสียน้อยที่สุด และลดค่าใช้จ่ายในกระบวนการ

จากการค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับหัวข้อเรื่อง การออกแบบและจำลองกระบวนการกำจัดน้ำปนเปื้อนในโรงกลั่นน้ำมันโดยระบบสตริปปีง พบว่าการกำจัดน้ำปนเปื้อนเป็นสิ่งสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการกลั่นน้ำมันและต่อสิ่งแวดล้อม การวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำปนเปื้อนและกำจัดสารปนเปื้อนในน้ำ เพื่อพัฒนาและเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการกลั่นน้ำมัน เนื่องจากต้นทุนพลังงานสูง จึงจำเป็นต้องนำน้ำปนเปื้อนกลับมาใช้ใหม่และใช้ซ้ำในกระบวนการเพื่อลดต้นทุนและเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันที่มีคุณภาพ รวมถึงการวิเคราะห์ความแตกต่างของคุณสมบัติและปริมาณของการกลั่น เพื่อดูประสิทธิภาพของกลั่นที่ใช้บำบัดน้ำปนเปื้อน

การกลั่นทางกายภาพ เป็นกระบวนการสำคัญในโรงกลั่นน้ำมันในปัจจุบัน เพื่อให้มั่นใจในการควบคุมคุณภาพน้ำเสียที่ทิ้งสู่ภายนอก จึงจำเป็นต้องตรวจสอบองค์ประกอบที่แท้จริงของน้ำปนเปื้อนหลังการบำบัด และการเร่งปฏิกิริยาด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นอีกหนึ่งในกระบวนการที่สำคัญในอุตสาหกรรมกลั่นน้ำมัน ซึ่งถือว่าเป็นกระบวนการที่พัฒนาคุณภาพของผลิตภัณฑ์น้ำมันและกำจัดสิ่งเจือปน โดยซอฟต์แวร์การจำลองเป็นหนึ่งในเครื่องมือที่ดีที่สุดสำหรับโรงกลั่นน้ำมัน ซึ่งโปรแกรม Aspen Plus ช่วยให้เราสามารถจำลองระบบการกลั่นน้ำมันและกระบวนการกำจัดสารปนเปื้อนที่ซับซ้อนให้ง่ายขึ้น

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1) ออกแบบกระบวนการการกำจัดน้ำปนเปื้อนให้เหมาะสมที่สุด
- 2) ออกแบบกระบวนการการกำจัดน้ำปนเปื้อนเพื่อลดการใช้พลังงานและลดค่าใช้จ่ายในกระบวนการ
- 3) หาสถานะการดำเนินการที่เหมาะสมของหน่วยกำจัดน้ำปนเปื้อน

## 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

ออกแบบกระบวนการกำจัดน้ำปนเปื้อนทางเลือกโดยจำลองกระบวนการผ่านโปรแกรม Aspen Plus V.9 นำมาเปรียบเทียบความต้องการของพลังงานและค่าทางเศรษฐศาสตร์เพื่อให้ได้กระบวนการที่เหมาะสมและหาสถานะการดำเนินการที่เหมาะสม

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ได้แบบจำลองกระบวนการการกำจัดน้ำปนเปื้อนที่เหมาะสม
- 2) สามารถวิเคราะห์ความแตกต่างของคุณสมบัติและปริมาณของการกลั่นน้ำปนเปื้อน
- 3) มีทักษะในการวางแผนการทำโครงการและทักษะในการใช้โปรแกรมเพื่อจำลองกระบวนการจริงในอุตสาหกรรม

## 1.5 วิธีการดำเนินงาน

### ก. แผนการดำเนินงาน

1. ศึกษาโปรแกรมในการจำลองกระบวนการในโรงกลั่นน้ำมันอย่างละเอียด
2. ศึกษาบทความที่เกี่ยวข้อง
3. ศึกษารายละเอียดของกระบวนการ เช่น fluid package
4. ออกแบบกระบวนการ
5. พัฒนาการบวนการให้มีประสิทธิภาพสูงสุด
6. สรุปผลอภิปรายและเขียนรายงานฉบับสมบูรณ์

## ข. ระยะเวลาที่ศึกษา

วิธีการดำเนินงาน	เดือนที่											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1.ศึกษาโปรแกรม												
2.ศึกษาบทความที่เกี่ยวข้อง												
3.ศึกษารายละเอียด												
4.ออกแบบกระบวนการ												
5.พัฒนากระบวนการ												
6.สรุปผลและเขียนเล่มรายงาน												

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 น้ำเสีย

โรงกลั่นผลิตน้ำเสียปริมาณมากซึ่งมีการสัมผัสกับไฮโดรคาร์บอน น้ำเสียยังสามารถรวมถึงน้ำที่ถูกปฏิเสธจากกระบวนการปรับสภาพน้ำป้อนเข้าของหม้อไอน้ำ (หรือสร้างขึ้นในระหว่างการฟื้นฟู) นอกจากนี้ น้ำเสียยังสามารถอ้างถึงการระบายความร้อนของหอทำความเย็นหรือแม้แต่ น้ำหล่อเย็นที่ไหลผ่านครั้งเดียวแล้วออกจากหอกลั่น น้ำหล่อเย็นที่ไหลผ่านครั้งเดียวโดยปกติแล้วจะไม่ได้รับการกำจัดก่อนปล่อยทิ้ง น้ำระบายความร้อนของหอทำความเย็นและน้ำเสียจากการบำบัดน้ำดิบอาจจะไม่ได้รับการบำบัดที่โรงบำบัดน้ำเสียก่อนปล่อยทิ้ง โดยปกติ น้ำเสียที่ปนเปื้อนจะถูกส่งไปที่โรงกำจัดน้ำเสียของโรงงาน หรือบำบัดก่อนส่งไปยังส่วนบำบัดของท้องถิ่น หรือบริษัทรับบำบัดน้ำเสีย น้ำที่ไม่ได้สัมผัสโดยตรงกับไฮโดรคาร์บอนหรือปนเปื้อนเล็กน้อยสามารถนำไปใช้ซ้ำหรือนำกลับไปใช้ใหม่ บางครั้งน้ำเสียสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้หลังจากผ่านโรงกำจัดน้ำเสีย และบางครั้งต้องมีการกำจัดเพิ่มเติมเพื่อกำจัดสารแขวนลอยและสารปนเปื้อนอื่น ๆ

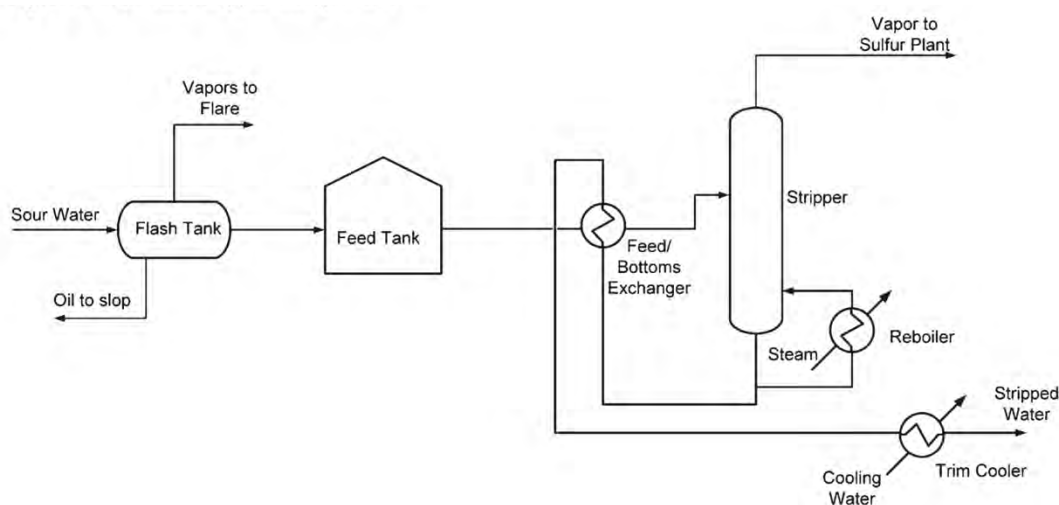
น้ำที่ได้จากกระบวนการคือน้ำที่มีการสัมผัสกับไฮโดรคาร์บอนในโรงกลั่น น้ำที่ผลิตได้จากกระบวนการแบ่งประเภทได้ดังนี้ น้ำทิ้งจากเครื่องกำจัดเกลือ น้ำปนเปื้อน น้ำที่ออกมาจากถังน้ำมัน และสารกัดกร่อนที่ใช่แล้ว

#### 2.2 น้ำปนเปื้อน

ไอน้ำใช้ในหลายกระบวนการในโรงกลั่นเป็นตัวกลางในการดึงออกในการกลั่นและเป็นตัวเจือจางเพื่อลดความดันบางส่วนของไฮโดรคาร์บอนในการแยกน้ำมันเชื้อเพลิงจากน้ำมันดิบโดยใช้ตัวเร่ง และการประยุกต์ใช้อื่น ๆ ไอน้ำจะถูกควบแน่นเป็นสถานะสารละลายและถูกกำจัดออกเป็นน้ำปนเปื้อน เพราะไอน้ำควบแน่นนี้มีไฮโดรคาร์บอนเจือปนซึ่งประกอบด้วยไฮโดรเจนซัลไฟด์ แอมโมเนีย สารประกอบเหล่านี้ดูดซึมเข้าไปในน้ำในปริมาณที่จำเป็นต้องบำบัด

การกำจัดน้ำปนเปื้อนโดยปกติจะส่งน้ำปนเปื้อนไปที่สตริบเปอร์เพื่อกำจัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ และแอมโมเนีย ใช้ไอน้ำเพื่อฉีดความร้อนเข้าไปในสตริบเปอร์ สตริบเปอร์ประสิทธิภาพสูงสามารถผลิตน้ำสะอาดที่มีไฮโดรเจนซัลไฟด์น้อยกว่า 1 ส่วนในล้านส่วน และแอมโมเนียน้อยกว่า 30 ส่วนในล้านส่วน ด้วยปริมาณเหล่านี้ น้ำสะอาดที่ผลิตได้จึงเหมาะสำหรับการนำกลับไปใช้ใหม่หรือใช้ซ้ำในโรงกลั่น สตริบเปอร์ที่ใช้การฉีดไอน้ำเข้าไปโดยตรงเป็นตัวกลางในการดึงออกจะผลิตน้ำเสียมากกว่าใน

โรงกลั่นเมื่อเทียบกับสตริปเปอร์ที่ใช้เครื่องทำความร้อนในการฉีดความร้อนเข้าไปในสตริปเปอร์ รูปที่ 2.1 แสดงโครงสร้างโดยทั่วไปของสตริปเปอร์กำจัดน้ำปนเปื้อน



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของสตริปเปอร์กำจัดน้ำปนเปื้อน

ในระบบนี้ น้ำปนเปื้อนทั้งหมดที่ผลิตได้ในโรงกลั่นจะเข้าสู่เครื่องแยกสถานะ น้ำมันที่แยกได้จะถูกส่งไปที่โรงกลั่นน้ำมัน ไอที่ได้จากเครื่องแยกสถานะนี้จะถูกส่งไปลุกไหม้อย่างรวดเร็ว น้ำปนเปื้อนจากเครื่องแยกสถานะนี้จะถูกส่งไปที่ถังเก็บซึ่งจะปรับสภาพความดัน น้ำปนเปื้อนจะผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างสารป้อนเข้ากับผลิตภัณฑ์ชั้นล่างทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นก่อนส่งไปที่สตริปเปอร์ เครื่องทำความร้อนใช้ไอน้ำในการให้ความร้อนแก่คอลัมน์ชั้นล่างและเพื่อให้เส้นทางการไหลของไอในคอลัมน์ ไอที่แยกได้จะประกอบไปด้วยไฮโดรเจนซัลไฟด์และแอมโมเนียซึ่งโดยปกติจะถูกส่งไปที่โรงซัลเฟอร์ น้ำสะอาดที่ผลิตได้จะกลับไปเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างสารป้อนเข้าและผลิตภัณฑ์ชั้นล่างและผ่านเครื่องทำความเย็นเพื่อนำไปใช้ซ้ำในโรงกลั่น น้ำที่ปริมาณมากเกินไปซึ่งไม่สามารถนำไปใช้ซ้ำได้จะถูกส่งไปที่โรงกำจัดน้ำเสีย

โรงกลั่นที่มีกระบวนการที่ซับซ้อน เช่นกระบวนการแยกน้ำมันเชื้อเพลิงจากน้ำมันดิบโดยใช้ตัวเร่งและกระบวนการปรับสภาพสารป้อนเข้าและทำปฏิกิริยาเพื่อเปลี่ยนสารป้อนเข้าเป็นแก๊ส ผลผลิตจากการกลั่นและถ่านหิน จะผลิตน้ำปนเปื้อนมากกว่าโรงกลั่นที่มีกระบวนการที่ซับซ้อนน้อย น้ำปนเปื้อนจากกระบวนการเหล่านี้ประกอบด้วยฟีนอลและไซยาไนด์และควรแยกออกจากน้ำปนเปื้อนที่ผลิตจากส่วนอื่น ๆ ในโรงกลั่น ดังนั้นน้ำปนเปื้อนเหล่านี้ควรใช้สตริปเปอร์เฉพาะ และน้ำสะอาดที่ผลิตได้จากสตริปเปอร์นี้ควรนำกลับมาใช้ซ้ำเป็นน้ำล้างเครื่องกำจัดเกลือ ผลที่ได้จากการสกัดพบว่าฟีนอลส่วนมาก (มากถึงร้อยละ 90) อยู่ในน้ำปนเปื้อนนี้ ซึ่งส่งผลให้ลดปริมาณฟีนอลที่ส่งไปสู่ระบบกำจัดน้ำเสีย

ตารางที่ 2.1 แหล่งผลิตน้ำปนเปื้อน

หน่วยดำเนินการ	แหล่งผลิต	กระบวนการปลายทาง โดยทั่วไป	คำอธิบายเพิ่มเติม
หน่วยกลั่นน้ำมันดิบ	ถังเก็บผลิตภัณฑ์ชั้น บนของคอลัมน์ความ ดันบรรยากาศ	สตรีปเปอร์น้ำ ปนเปื้อนหรือเครื่อง กำจัดเกลือ	บางโรงกลั่นใช้สายนี้ เป็นน้ำล้างเครื่องกำจัด เกลือโดยไม่ต้องผ่าน กระบวนการกำจัด การปฏิบัตินี้สามารถ นำไปสู่การก่อตัวของ อิมัลชันส่งผลให้ลดการ แยกน้ำมันและน้ำใน เครื่องกำจัดเกลือ
หน่วยกลั่นสุญญากาศ	คอลัมน์บ่อน้ำร้อน	สตรีปเปอร์น้ำ ปนเปื้อนหรือเครื่อง กำจัดเกลือ	บางโรงกลั่นใช้สายนี้ เป็นน้ำล้างเครื่องกำจัด เกลือโดยไม่ต้องผ่าน กระบวนการกำจัด การปฏิบัตินี้สามารถ นำไปสู่การก่อตัวของ อิมัลชันส่งผลให้ลดการ แยกน้ำมันและน้ำใน เครื่องกำจัดเกลือ
หน่วยแยกน้ำมัน เชื้อเพลิงจาก น้ำมันดิบโดยใช้ตัวเร่ง	ถังเก็บผลิตภัณฑ์ชั้น บนของเครื่องแยก ส่วน	สตรีปเปอร์น้ำ ปนเปื้อน	น้ำปนเปื้อนนี้จะ ประกอบด้วยฟินอล และไฮยาไนด์ที่มี ปริมาณมากขึ้นซึ่งไม่ได้ ถูกกำจัดออกไปใน สตรีปเปอร์

หน่วยดำเนินการ	แหล่งผลิต	กระบวนการปลายทาง โดยทั่วไป	คำอธิบายเพิ่มเติม
หน่วยปรับสภาพสาร ป้อนเข้าและทำ ปฏิกิริยาเพื่อเปลี่ยน สารป้อนเข้า	ถึงเก็บผลิตภัณฑ์ชั้น บนของเครื่องแยก ส่วนและถึงเก็บน้ำที่ใช้ ระบายความร้อน	สตรีปเปอร์น้ำ ปนเปื้อน	น้ำปนเปื้อนนี้อาจ ประกอบด้วยฟินอล และไซยาไนด์ที่มี ปริมาณมากขึ้นซึ่งไม่ได้ ถูกกำจัดออกไปใน สตรีปเปอร์
หน่วยเพิ่มคุณค่า ผลิตภัณฑ์	ถึงเก็บผลิตภัณฑ์ชั้น บนของเครื่องแยก ส่วนและถึงเก็บน้ำที่ใช้ ระบายความร้อน	สตรีปเปอร์น้ำ ปนเปื้อน	น้ำปนเปื้อนนี้อาจ ประกอบด้วยฟินอล และไซยาไนด์ที่มี ปริมาณมากขึ้นซึ่งไม่ได้ ถูกกำจัดออกไปใน สตรีปเปอร์
หน่วยกำจัดสาร ปนเปื้อนในน้ำมัน เบนซิน	น้ำล้างเครื่องแยก	สตรีปเปอร์น้ำ ปนเปื้อน	น้ำสะอาดที่ผลิตได้โดย ปกติจะใช้น้ำล้าง ดังนั้นหน่วยกำจัดสาร ปนเปื้อนในน้ำมัน เบนซินจึงไม่เป็นแหล่ง ผลิตน้ำปนเปื้อน
หน่วยเพิ่มมูลค่าน้ำมัน เตาด้วยสารเร่ง ปฏิกิริยาโดยใช้ ไฮโดรเจนร่วม	น้ำล้างเครื่องแยก	สตรีปเปอร์น้ำ ปนเปื้อนเฉพาะ	โดยปกติแล้วหน่วยเพิ่ม มูลค่าน้ำมันเตาด้วย สารเร่งปฏิกิริยาโดยใช้ ไฮโดรเจนร่วมจะ ต้องการน้ำล้างที่ สะอาดมาก ดังนั้นจึง ส่งน้ำปนเปื้อนไปยัง สตรีปเปอร์น้ำปนเปื้อน เฉพาะเพื่อหลีกเลี่ยง การปนเปื้อนจากน้ำ ปนเปื้อนที่มาจาก หน่วยอื่น



หน่วยดำเนินการ	แหล่งผลิต	กระบวนการปลายทาง โดยทั่วไป	คำอธิบายเพิ่มเติม
หน่วยแยกกำมะถัน	เครื่องกำจัดกำมะถัน	สตริปเปอร์น้ำ ปนเปื้อน	

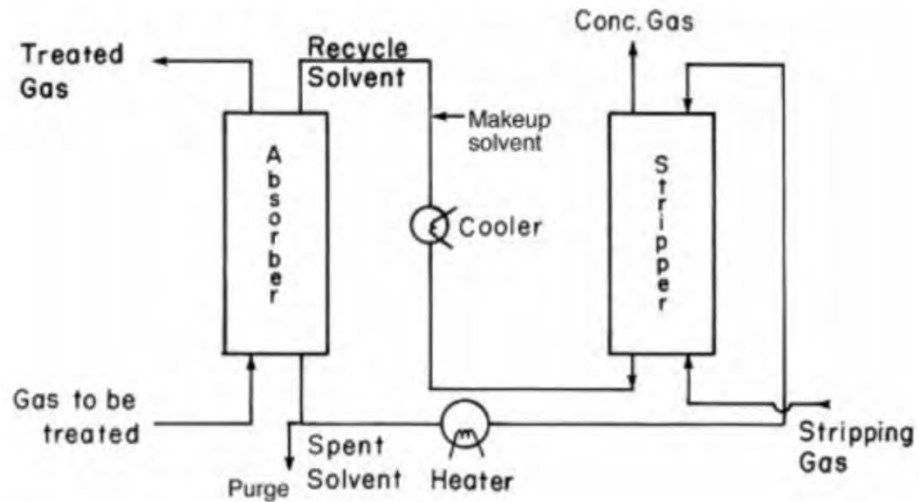
จากตารางข้างต้นแสดงให้เห็นถึงกระบวนการต่าง ๆ ที่ผลิตน้ำปนเปื้อนและวิธีการจัดการที่เหมาะสมเพื่อที่จะสามารถนำน้ำสะอาดที่ผ่านการกำจัดแล้วมาใช้ซ้ำได้ องค์ประกอบของน้ำสะอาดที่ผลิตได้จากสตริปเปอร์จะขึ้นอยู่กับการออกแบบและการดำเนินการของสตริปเปอร์สำหรับกำจัดน้ำปนเปื้อน โดยตารางที่ 2.2 จะแสดงค่าปริมาณที่ต้องการของสารปนเปื้อนในน้ำสะอาดที่ผลิตได้ [1]

### ตารางที่ 2.2 ปริมาณสารปนเปื้อนในน้ำที่ผลิตได้

สารปนเปื้อน	ค่าความเข้มข้นที่ต้องการ (มิลลิกรัมต่อลิตร)
ปริมาณออกซิเจนที่สารเคมีใช้ย่อยสลาย สารอินทรีย์	600 ถึง 1,200
ไฮโดรคาร์บอนอิสระ	น้อยกว่า 10
สารแขวนลอย	น้อยกว่า 10
ฟีนอล	มากถึง 200
เบนซีน	0
ซิลไฟด์	น้อยกว่า 10
แอมโมเนีย	น้อยกว่า 100

### 2.3 หลักการของการสตริปปีง

หนึ่งในหลายหน่วยปฏิบัติการที่สามารถใช้ประโยชน์ในกระบวนการเคมีหรือการควบคุมมลพิษคือสตริปปีง สตริปปีงเป็นหน่วยปฏิบัติการซึ่งสารถูกดึงออกจากของเหลวผสมด้วยแก๊ส ดำเนินการที่สถานะสมดุลของของเหลวและไอ สตริปปีงดำเนินการโดยใช้หอดูดซับแบบชั้นบรรจุและหอดูดซับแบบแผ่น หอดูดซับแบบแผ่นออกแบบโดยใช้วิธี McCabe-Thiele และหอดูดซับแบบชั้นบรรจุออกแบบโดยใช้ HETP หรือพิจารณาการถ่ายโอนมวล การกำจัดแก๊สของโรงงานส่วนใหญ่จะใช้ทั้งคอลัมน์ดูดซับและคอลัมน์สตริปปีง ในกระบวนการนี้ตัวทำละลายจะถูกนำกลับมาใช้ใหม่อย่างต่อเนื่อง เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจะให้ความร้อนสารละลายอิมิตัว ทำให้เปลี่ยนลักษณะสมดุลของระบบดังนั้นตัวทำละลายสามารถถูกดึงสารออกได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.2

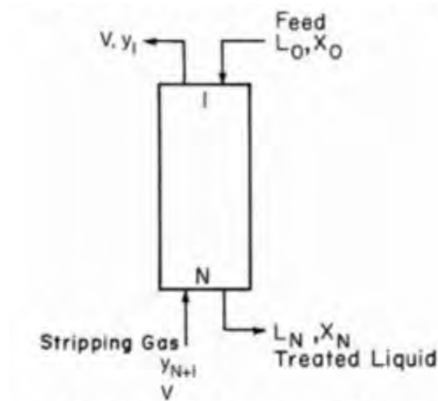


รูปที่ 2.2 การกำจัดแก๊สของโรงงาน

ข้อมูลที่สมดุลจะแสดงในรูปของกราฟระหว่างองค์ประกอบของตัวถูกละลายในแก๊สและองค์ประกอบของตัวถูกละลายในของเหลวหรือให้ค่าคงที่ของกฎเฮนรี กฎของเฮนรีสำหรับสารละลายเจือจางคือ  $p_B = H_B x_B$  ซึ่ง  $H_B$  คือ ค่าคงที่ของกฎเฮนรี ซึ่งมีหน่วยเป็นความดันบรรยากาศต่อสัดส่วนโมล โดยค่าคงที่กฎของเฮนรีจะขึ้นอยู่กับความดันบางส่วน อุณหภูมิและองค์ประกอบ  $x_B$  คือสัดส่วนโมลของตัวถูกละลายในของเหลว  $p_B$  คือความดันบางส่วนของตัวถูกละลายในแก๊ส กฎของเฮนรีใช้ได้เฉพาะในกรณีตัวถูกละลายมีความเข้มข้นต่ำ เพราะความดันบางส่วนถูกกำหนดเป็น  $y_B \equiv \frac{p_B}{p_{tot}}$  ดังนั้นจะได้กฎของเฮนรีเป็น  $y_B = \frac{H_B}{p_{tot}} x_B$  และเนื่องจากค่าคงที่กฎของเฮนรีเป็นอิสระกับ  $p_{tot}$  ซึ่งหมายความว่าแก๊สจะถูกดูดซับที่ความดันสูง

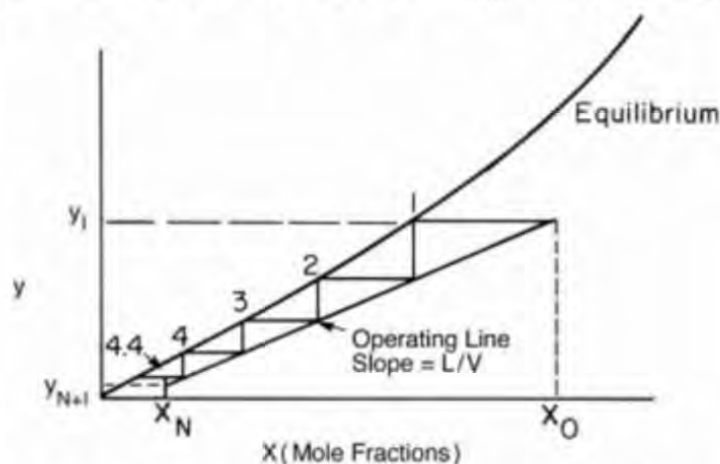
การวิเคราะห์สตริปปีงสำหรับระบบที่สารละลายเจือจาง สมดุลมวลของคอลัมน์แสดงในรูปที่ 2.3 และสมการเส้นตรงการดำเนินการคือ

$$y_{j+1} = \frac{L}{V} x_j + (y_1 - \frac{L}{V} x_0)$$



รูปที่ 2.3 คอลัมน์สตริปปีง

สำหรับสตริปปีงจะรู้ค่า  $x_0, x_N, y_{N+1}$  และ  $L/V$  เพราะค่า  $(x_N, y_{N+1})$  คือจุดบนสมการเส้นตรง จึงสามารถวาดกราฟสมการเส้นตรงการดำเนินการและหาจำนวนขั้นได้ ดังรูปที่ 2.4

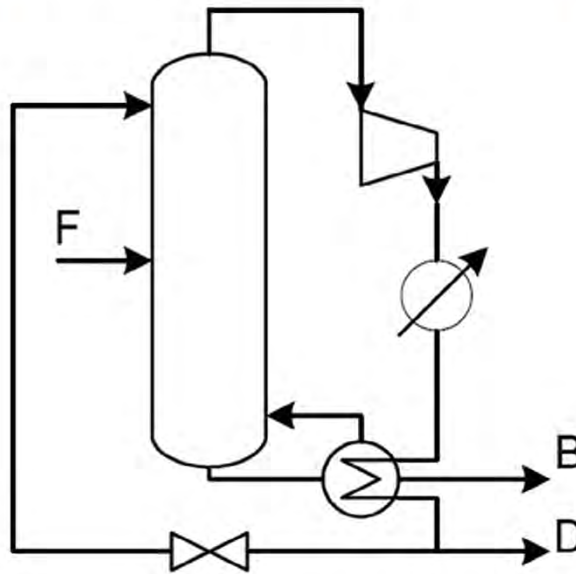


รูปที่ 2.4 McCabe-Thiele ของสตริปปีง

สังเกตเห็นได้ว่าเส้นการดำเนินการอยู่ใต้เส้นสมดุลเพราะตัวทำละลายถ่ายโอนจากของเหลวไปสู่แก๊ส ซึ่งเหมือนกับส่วนสตริปปีงของคอลัมน์การกลั่น สัดส่วน  $L/V$  ที่มากที่สุดสัมพันธ์กับปริมาณที่น้อยที่สุดของแก๊สที่เข้ามาถึง การลากเส้นเพื่อหาจำนวนขั้นสามารถทำได้โดยเริ่มจากจุด  $(x_N, y_{N+1})$  และลากไปจนถึงจุดตัดของ จุด  $x = x_0$  และกราฟสมดุล [2]

## 2.4 กระบวนการบีบอัดไอ

เทคโนโลยีทั่วไปสำหรับการแยกสารประกอบเคมีคือ การกลั่น การกลั่นที่มีการบีบอัดไอและมีปั๊มความร้อนที่ช่วยในการกลั่นจะถูกพัฒนาเพื่อที่จะลดพลังงานที่ต้องการของกระบวนการกลั่น กระบวนการดังกล่าวแสดงในรูปที่ 2.5 โดยกระบวนการมีเพื่อป้องกันความร้อนที่เครื่องควบแน่นของคอลัมน์สูญเสียสู่สิ่งแวดล้อมโดยการพัฒนาคุณภาพของพลังงานนี้ และใช้พลังงานนี้เป็นแหล่งความร้อนซึ่งจะให้ความร้อนที่จำเป็นสำหรับคอลัมน์คือให้ความร้อนกับสายการต้มป้อนกลับ การปรับปรุงคุณภาพของพลังงานจะดำเนินการโดยการบีบอัด (เพิ่มความดัน) ผลิตภัณฑ์ที่เป็นไอของคอลัมน์การกลั่นโดยการใช้งานเชิงกลซึ่งทำให้อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ชั้นบนของคอลัมน์เพิ่มขึ้น เมื่อคุณภาพของพลังงานเพิ่มขึ้นจะถูกใช้เป็นสายร้อนที่ให้ความร้อนที่จำเป็นสำหรับคอลัมน์ โดยแลกเปลี่ยนความร้อนกับผลิตภัณฑ์ชั้นล่างของคอลัมน์ เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจะใช้แทนเครื่องควบแน่นและเครื่องทำความร้อนของคอลัมน์ อย่างไรก็ตามการกลั่นที่ใช้ปั๊มความร้อนช่วยปั๊มความร้อน การถ่ายเทความร้อนนี้จะดำเนินการโดยใช้วงจรการทำความเย็น



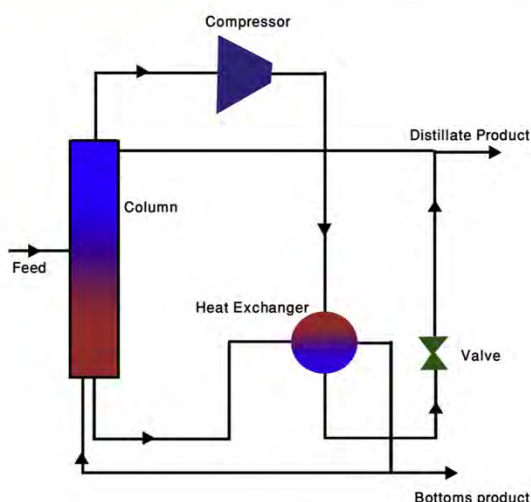
**รูปที่ 2.5** กระบวนการกลั่นที่มีการบีบอัดไอและมีปั๊มความร้อนที่ช่วยในการกลั่น

ตามที่กล่าวไว้ข้างต้นว่า การเพิ่มคุณภาพความร้อนต้องใช้งานเชิงกล (ใช้เครื่องบีบอัด) งานเชิงกลที่ต้องการของเครื่องบีบอัดขึ้นอยู่กับสัดส่วนความดันที่จำเป็นที่จะใช้ในการทำให้ความร้อนมีคุณภาพที่ต้องการเพื่อที่จะสามารถถ่ายโอนความร้อนไปยังผลิตภัณฑ์ชั้นล่างของคอลัมน์ได้ ดังนั้นประสิทธิภาพของโครงสร้างที่มีปั๊มความร้อนที่ช่วยในการกลั่นและมีระบบบีบอัดไอจะสูงขึ้นเมื่อต้องการคุณภาพพลังงานน้อยลง เช่น ระบบการต้มแบบปิด นอกจากนี้ยังมีบางข้อจำกัดของเครื่องบีบอัด เช่น อุณหภูมิขาออก

โดยระบบบีบอัดไอจะใช้คอลัมน์ที่ไม่มีเครื่องควบแน่นและเครื่องทำความร้อน ดังนั้นคอลัมน์จึงดำเนินการโดยไม่มีข้อมูลจำเพาะ มีเพียงจำนวนชั้นทางทฤษฎี ความดันและชั้นที่สารป้อนเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนถูกใช้เพื่อจำลองการรวมกันของเครื่องควบแน่นและเครื่องทำความร้อน

โครงสร้างทั่วไปของระบบบีบอัดไอ ผลิตภัณฑ์ชั้นบนของคอลัมน์ที่มีสถานะเป็นไอจะถูกบีบอัดแบบขั้นตอนเดียว ซึ่งทำให้ความดัน อุณหภูมิ และอุณหภูมิจุดอิ่มตัวของสายนี้เพิ่มขึ้น อุณหภูมิขาออกของเครื่องบีบอัดจะสูงกว่าอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ชั้นล่างของคอลัมน์ทำให้สายนี้สามารถเพิ่มสัดส่วนไอของผลิตภัณฑ์ชั้นล่างได้ ขณะเดียวกันสัดส่วนไอและอุณหภูมิของสายที่ออกจากเครื่องบีบอัดลดลงเพราะถ่ายโอนความร้อนกับสายที่เย็นกว่า เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างสองสาย ซึ่งอาจถูกมองว่าเป็นการรวมกันของเครื่องทำความเย็นและเครื่องทำความร้อนของกระบวนการกลั่น บางส่วนของสายขาออกจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนทั้งสองสายจะถูกดึงออกมาเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการกลั่นและผลิตภัณฑ์ชั้นล่างของคอลัมน์และส่วนที่เหลือจะถูก

ป้อนกลับไปยังคอลัมน์การกลั่นซึ่งก็คือสายป้อนกลับและสายการต้มป้อนกลับ ดังแสดงในรูปที่ 2.6 [3]



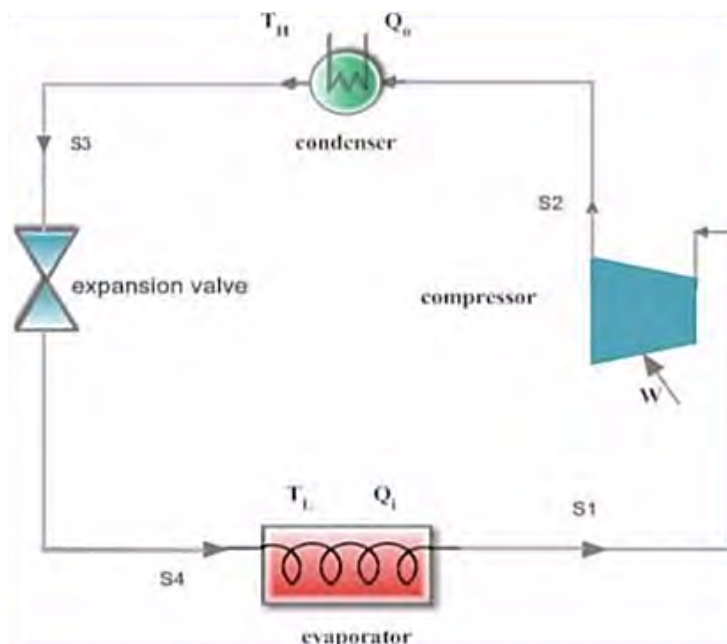
รูปที่ 2.6 โครงสร้างทั่วไปของระบบบีบอัดไอ

## 2.5 กระบวนการบีบอัดเชิงกลผ่านการแยกด้านล่าง

เพื่อลดการใช้พลังงานและการพัฒนาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของการกลั่น ท่ามกลางเทคโนโลยีการประหยัดพลังงาน กระบวนการบีบอัดไอเชิงกลด้วยปั๊มความร้อนเป็นเทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดสำหรับการลดการใช้พลังงาน โดยเฉพาะระบบที่เกี่ยวข้องกับไอ ขณะที่เทคโนโลยีการบีบอัดไอสมบูรณ์แบบที่สุด

แผนผังของกระบวนการบีบอัดไอเชิงกลด้วยปั๊มความร้อนแสดงในรูปที่ 2.7 วงจรทั้งหมดประกอบด้วยเครื่องระเหย เครื่องบีบอัด เครื่องควบแน่นและวาล์วลดความดันหรืออุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง เครื่องระเหยดำเนินการที่ความดันต่ำและ  $T_L$  คืออุณหภูมิอิ่มตัวของของเหลวในวงจรที่สอดคล้องภายใต้ความดันนี้  $Q_1$  คือความร้อนที่ของไหลดูดซับได้ที่อุณหภูมิต่ำสุด ของเหลวระเหยอย่างสมบูรณ์จนได้ไออิ่มตัว (S1) ซึ่งจะเข้าเครื่องบีบอัดเพื่อเพิ่มความดันและอุณหภูมิ ไอที่ผ่านการบีบอัดจะกลายเป็นไอร้อนยิ่งยวด (S2) และอุณหภูมิอิ่มตัวนี้จะเพิ่มขึ้นอย่างสอดคล้องจนถึงอุณหภูมิ  $T_H$  ต่อมาไอ S2 จะเป็นตัวให้ความร้อนเข้าสู่เครื่องควบแน่นเพื่อคายความร้อน  $Q_0$  และกลับมาเป็นของเหลวอิ่มตัว (S3) ภายใต้ความดันสูง ของเหลวอิ่มตัวจะผ่านวาล์วลดความดันเป็นกระบวนการที่เอนทัลปีคงที่เพื่อที่จะลดอุณหภูมิและลดความดัน ของเหลวหลังจากผ่านวาล์วขยายจะกลายเป็นไอที่มีความชื้น ซึ่งจะเข้าเครื่องระเหยเพื่อที่จะระเหยให้เป็นไออย่างสมบูรณ์ ขั้นตอนเหล่านี้ก่อให้เกิดวงจรการทำงานเต็มรูปแบบ ในวงจรนี้ความร้อน  $Q_1$  ถูกดูดซับที่อุณหภูมิต่ำและคายความร้อน  $Q_0$  ที่

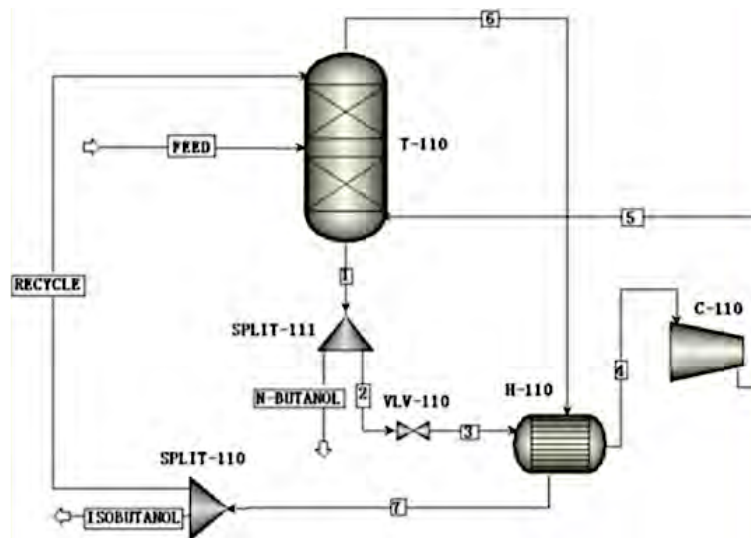
อุณหภูมิสูง ( $T_H$ ) ตามทฤษฎี  $Q_o = Q_i + W$  ดังนั้นความร้อนที่ปล่อยออกมาจะมากกว่างานที่กำหนด โดยเครื่องบีบอัด



รูปที่ 2.7 แผนผังของกระบวนการบีบอัดไอเชิงกลด้วยปั๊มความร้อน

สำหรับกระบวนการการระเหยโดยใช้หลักการบีบอัดไอเชิงกลด้วยปั๊มความร้อนข้างต้น สารละลายเจือจางที่อุณหภูมิต่ำจะถูกเพิ่มอุณหภูมิก่อนโดยเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน หลังจากนั้นถูกทำให้เข้มข้นขึ้นด้วยเครื่องระเหย ไอหตุยภูมิจะถูกบีบอัดด้วยเครื่องบีบอัด ผลที่ได้คือไอมีความดันอุณหภูมิและเอนทัลปีเพิ่มขึ้น ไอที่บีบอัดแล้วที่มีคุณภาพสูงจะถูกส่งกลับไปห้องทำความร้อนของเครื่องระเหยและทำหน้าที่เป็นตัวให้ความร้อนเพื่อให้ความร้อนแก่สารป้อนเข้า สารละลายดูดซับความร้อนแฝงของไอและผลิตไอหตุยภูมิอย่างต่อเนื่อง ภายในวงจร ความร้อนแฝงของไอหตุยภูมิจะถูกนำกลับมาใช้ใหม่โดยการเพิ่มพลังงานไฟฟ้าหรืองานเชิงกลเครื่องบีบอัด ดังนั้นการใช้ความร้อนแฝงของไอหตุยภูมิซ้ำจะช่วยประหยัดปริมาณไอน้ำหรือพลังงานจำนวนมากเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการแบบเดิมและลดค่าใช้จ่าย วงจรดังกล่าวให้ประโยชน์อย่างมากสำหรับการประหยัดพลังงาน

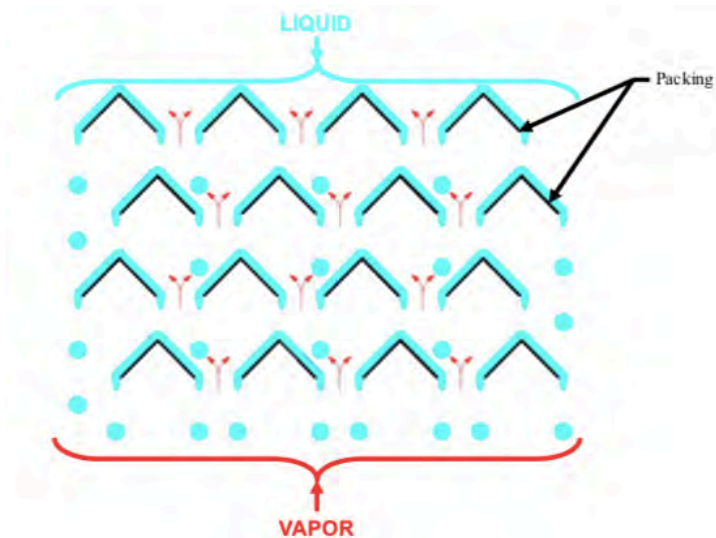
การกลั่นโดยใช้กระบวนการบีบอัดเชิงกลผ่านการแยกด้านล่าง แสดงในรูปที่ 2.8 ผลลัพธ์จากด้านล่างของคอลัมน์จะถูกแบ่งเป็นสองสาย สายหนึ่งจะไปผ่านวาล์วเพื่อลดอุณหภูมิและความดันเป็นสายนำกลับมาใช้ใหม่ โดยสายนี้จะได้รับความร้อนแฝงจากไอน้ำจากด้านบนของคอลัมน์ผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนทำให้ระเหยอย่างสมบูรณ์กลายเป็นไอสำหรับการนำกลับมาใช้ใหม่ หลังจากนั้นจะผ่านเครื่องบีบอัดเพื่อเพิ่มอุณหภูมิและจะได้เป็นไอสำหรับการต้ม [4]



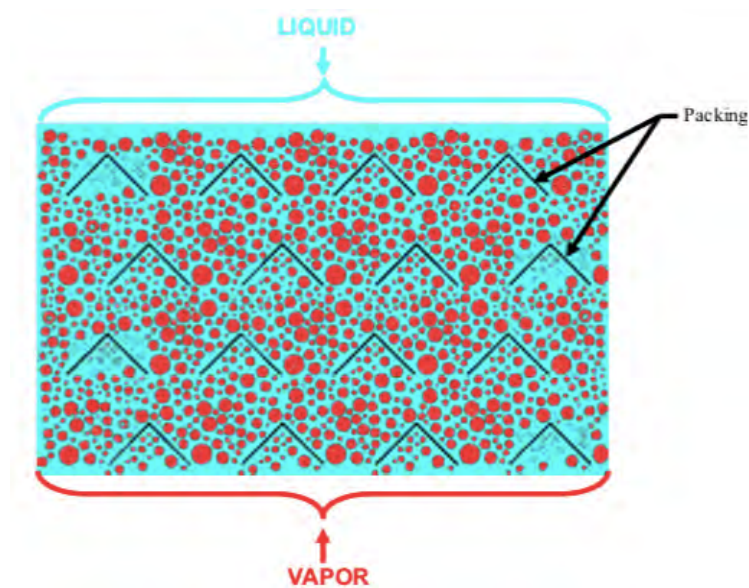
รูปที่ 2.8 แผนผังการกลั่นโดยใช้กระบวนการบีบอัดเชิงกลผ่านการแยกด้านล่าง

## 2.6 การเกิดน้ำท่วมในคอลัมน์การกลั่น

ปัญหาที่พบบ่อยในคอลัมน์การกลั่นคือ น้ำท่วม รูปที่ 2.9 แสดงภาพตัดขวางคอลัมน์การกลั่น การไหลของของเหลวและไอเมื่อคอลัมน์ทำงานปกติ ของเหลวไหลจากบนลงล่างผ่านโครงสร้างของวัสดุที่บรรจุสวนทางกับไอที่ลอยขึ้น ไอจะไหลตามทางที่คดเคี้ยวแต่ช่องว่างในวัสดุที่บรรจุจะเต็มไปด้วยไอเป็นส่วนใหญ่ ไอจะถูกเรียกว่าเป็นวัฏภาคต่อเนื่อง การไหลขึ้นบนของไอใช้หลักการทางอากาศพลศาสตร์บนของเหลวที่ไหลลงมา แรงต้านนี้กระทำในทางตรงข้ามกับแรงโน้มถ่วงและชะลอการไหลลงของของเหลว เมื่อแรงต้านของอัตราการไหลสัมพัทธ์ของไอและของเหลวมากกว่าหรือเท่ากับแรงโน้มถ่วงของเหลวจะหยุดไหลลง เรียกว่าสภาวะนี้ว่า น้ำท่วม ดังแสดงในรูปที่ 2.10 [5]



รูปที่ 2.9 การไหลของของเหลวและไอเมื่อคอลัมน์ทำงานปกติ



รูปที่ 2.10 การไหลของของเหลวและไอเมื่อคอลัมน์เกิดน้ำท่วม

น้ำท่วม เป็นหนึ่งในปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการทำงานของคอลัมน์การกลั่น น้ำท่วมเกิดจากการไหลของไวมามากเกิน ทำให้เกิดของเหลวในไอของคอลัมน์ ความดันเพิ่มขึ้นจากไอที่มากเกินไปทำให้ของเหลวไม่ไหลลงมา ส่งผลให้มีของเหลวสะสมในถาดของคอลัมน์และทำให้ความสามารถที่จะรับได้สูงสุดของคอลัมน์ลดลงอย่างมาก เมื่อความดันลดของคอลัมน์เพิ่มขึ้นจะเกิดน้ำท่วมในคอลัมน์เพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพการกลั่นลดลงและส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพพลังงาน [6]

## 2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Gai และคณะ ได้ทำการศึกษาการกำจัดน้ำเสียจากถ่านหิน ซึ่งเป็นการควบคุมมลพิษที่ยากที่สุดสำหรับโรงผลิตก๊าซถ่านหิน มีการระบุว่ามีความร้ายแรงสองประการที่เกิดขึ้นในกระบวนการกำจัดปัจจุบัน ได้แก่ การกำจัดฟีนอลและการอุดตันที่เกิดจากเกลือแอมโมเนีย ประสิทธิภาพต่ำ กระบวนการกำจัดใหม่เสนอในบทความนี้เพื่อแก้ปัญหาที่รุนแรงและติดตามการผลิตที่สะอาด มีการปรับปรุงทางเทคนิคสามประการในกระบวนการกำจัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตก๊าซจากถ่านหิน ขั้นแรกการสตรีปแอมโมเนียสำเร็จก่อนการนำฟีนอลกลับมาใช้ใหม่เพื่อลดค่าพีเอชของน้ำเสียและเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการกำจัดฟีนอลของการสกัด ประการที่สองสตรีปเปอร์ที่ซับซ้อนที่มีการดึงผลิตภัณฑ์ด้านข้างได้รับการแนะนำให้ทำการสตรีปแอมโมเนียและก๊าซเสียในเวลาเดียวกัน ทำเพื่อกำจัดปฏิกิริยาระหว่างไอออนระหว่างการลอกและปรับปรุงประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียและก๊าซเสีย (คาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนซัลไฟด์) จากการศึกษาพบว่าการออกแบบแนวความคิดของกระบวนการที่เสนอนั้นสามารถลดความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ไฮโดรเจนซัลไฟด์และ



แอมโมเนียในน้ำเสียเหลือน้อยกว่า 10 มิลลิกรัมต่อลิตร และประมาณ 30 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ เป็นผลให้ค่าพีเอชของน้ำเสียลดลงน้อยกว่า 7 ก่อนการสกัดดังนั้นประสิทธิภาพการกำจัดฟีนอลจึงดีขึ้นอย่างมาก การวิเคราะห์ทางเศรษฐกิจแสดงให้เห็นว่าต้นทุนการดำเนินงานของกระบวนการที่เสนอนั้นต่ำกว่ากระบวนการปัจจุบันมาก [7]

Umer และคณะ ได้ทำการศึกษาโดยมุ่งเน้นไปที่การออกแบบและจำลองหน่วยการกำจัดน้ำปนเปื้อน ในการจัดการโรงกลั่นเพื่อนำน้ำปนเปื้อนกลับมาใช้ใหม่ ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการจำลองกระบวนการเพื่อวิเคราะห์การประหยัดพลังงานและลดค่าใช้จ่ายในกระบวนการกำจัดน้ำปนเปื้อน ขั้นแรกการออกแบบการจำลองพื้นฐานได้รับการจำลองโดยใช้ข้อมูลหน่วยการกำจัดน้ำปนเปื้อนอ้างอิงแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นได้รับการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลโรงงานเพื่อรับรองความถูกต้องของแบบจำลอง ผลการศึกษาครั้งนี้ให้การวิเคราะห์ที่มีความหมายในแง่ของพลังงานและการพิจารณาทางเศรษฐกิจเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานของหน่วยน้ำปนเปื้อน ในโรงกลั่น [8]

Abolghasem และคณะ ได้ทำการศึกษาการประยุกต์ใช้ระบบการบีบอัดไอที่สามารถส่งผลให้ประสิทธิภาพการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นและลดความต้องการพลังงานของระบบการกลั่น ในบทความนี้มีการเสนอระบบใหม่สำหรับการกำจัดน้ำปนเปื้อนที่มีประสิทธิภาพโดยใช้การบีบอัดไอ แอมโมเนีย และไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็นสารปนเปื้อนของน้ำปนเปื้อนจากอุตสาหกรรม เริ่มแรกตามข้อกำหนดบางประการของผลิตภัณฑ์จะมีการใช้ระบบสตริปปีง ระบบกระบวนการแบบใหม่ได้รับการพัฒนาและจำลองเพื่อลดความต้องการด้านสาธารณูปโภค ระบบกระบวนการทั้งสองนั้นได้รับการประเมินทางเศรษฐศาสตร์โดยซอฟต์แวร์ Aspen Economic Evaluation มีข้อกำหนดของเครื่องสาธารณูปโภค ร้อนและเย็นลดลงสำหรับระบบที่นำเสนอเมื่อเทียบกับระบบกระบวนการพื้นฐาน อย่างไรก็ตามระบบประมวลผลใหม่จำเป็นต้องมีอุปกรณ์ใหม่เช่นเครื่องบีบอัดและงานเครื่องกลที่เกี่ยวข้องซึ่งจะเป็นการเพิ่มต้นทุนและค่าใช้จ่ายในการดำเนินการเมื่อเทียบกับระบบกระบวนการพื้นฐาน [9]

Gao และคณะ ได้ทำการศึกษาการจำลองและการหาค่าเหมาะที่สุดของกระบวนการกลั่น เพื่อแยกส่วนผสมที่ใกล้เคียงของบิวทานอลและไอโซบิวทานอล การแยกสารผสมที่มีจุดเดือดใกล้เคียง โดยการกลั่นแบบธรรมดาใช้น้ำพลังงานจำนวนมากเนื่องจากต้องใช้อัตราการไหลย้อนกลับที่สูงมาก ป้อนความร้อนแบบผ่านการบีบอัดไอแบบเครื่องกล สามารถนำพลังงานของไอกลับมาใช้ใหม่ได้และสามารถนำมาใช้ในกระบวนการกลั่นเพื่อประหยัดพลังงาน แผนการกลั่นที่แตกต่างกันสามแบบคือ การกลั่นแบบธรรมดา การกลั่น แบบผลิตภัณฑ์ด้านบนป้อนความร้อนแบบผ่านการบีบอัดไอแบบเครื่องกล และการกลั่นแบบผลิตภัณฑ์ด้านล่างที่ผ่านการแยกสถานะผ่านป้อนความร้อนแบบผ่านการบีบอัดไอแบบเครื่องกลถูกจำลองเพื่อแยกส่วนผสมที่มีจุดเดือดแบบกึ่งกลางระหว่างบิวทานอลและไอโซบิวทา-

นอล โดยใช้ Aspen Plus เพื่อหาทางเลือกที่ดีที่สุดเชิงเศรษฐศาสตร์ ผลการวิจัยบ่งชี้ว่าเมื่อเปรียบเทียบกับทางเลือกแบบธรรมดาการประหยัดพลังงานสำหรับการกลั่นแบบผลิตภัณฑ์ด้านบ่มความร้อนแบบผ่านการบีบอัดไอแบบเครื่องกลและการกลั่นแบบผลิตภัณฑ์ด้านล่างที่ผ่านการแยกสถานะผ่านบ่มความร้อนแบบผ่านการบีบอัดไอแบบเครื่องกลมีค่าลดลงและค่าใช้จ่ายรายปีลดลง [10]

Miguel A. และคณะ ได้ศึกษาระบบคอลัมน์ แม้ว่าจะมีการพิสูจน์แล้วว่าระบบคอลัมน์แบบให้ความร้อนอย่างเต็มที่ช่วยลดพลังงานที่ใช้ในคอลัมน์ แต่เป็นที่ทราบกันดีว่าการถ่ายเทระหว่างไอและของเหลวระหว่างส่วนต่าง ๆ ทำให้เกิดไอ (ของเหลว) ที่มากเกินไปอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ซึ่งทำให้เงินลงทุนและค่าใช้จ่ายในกระบวนการเพิ่มขึ้น ในงานวิจัยนี้เสนอการใช้ประโยชน์จากสถานการณ์นี้โดยการสกัดไอและของเหลวที่มากเกินไปและทำให้ไปสู่วงจรการบีบอัดไอแบบโดยตรงหรือย้อนกลับ การจัดเรียงแบบใหม่นี้จะฟื้นฟูสถานะการดำเนินการที่เหมาะสมของบางส่วนที่ได้รับผลกระทบโดยลดการใช้พลังงานประมาณร้อยละ 20 ถึงร้อยละ 30 เปรียบเทียบกับคอลัมน์แบบเดิม

ตัวอย่างมากมายทั้งวงจรการบีบอัดไอแบบโดยตรงและแบบย้อนกลับถูกเสนอ ยิ่งไปกว่านั้นในแต่ละตัวอย่างวิธีการที่เป็นไปได้ทั้งหมดของคอลัมน์ (ทางตรง ทางอ้อม และคอลัมน์ Pertlyuk) ที่มีและไม่มีวงจรการบีบอัดไอถูกเปรียบเทียบเพื่อยืนยันว่าวิธีการนี้จะให้ผลที่ดีที่สุด [11]

M.A. Waheed และคณะ ได้ศึกษาบ่มความร้อนแบบบีบอัดไอซึ่งมีศักยภาพในการลดความต้องการพลังงานของการแยกส่วนผสมที่มีจุดเดือดใกล้เคียงกัน โดยพัฒนาคุณภาพของความร้อนคุณภาพต่ำด้วยบ่มความร้อนที่จะให้ความร้อนแก่เครื่องทำความร้อน อย่างไรก็ตามเทคโนโลยีนี้ไม่ได้ใช้ความร้อนอย่างมีประสิทธิภาพทำให้สูญเสียความร้อนในเครื่องควบแน่น ในงานวิจัยนี้จะพัฒนาบ่มความร้อนแบบบีบอัดไอเพื่อลดการสูญเสียความร้อนและลดขนาดของบ่มความร้อน กลวิธีในการปรับปรุงขึ้นอยู่กับลดความร้อนในบ่มความร้อนโดยใช้ประโยชน์จากภายนอกและใช้กระแสของสารฐานุภาคและกระแสของกระบวนการภายในระบบ ประสิทธิภาพเศรษฐศาสตร์เชิงความร้อนและสิ่งแวดล้อมของรูปแบบที่พัฒนาจะถูกเปรียบเทียบกับแบบจำลองพื้นฐานและกระบวนการกลั่นแบบเดิม ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่ารูปแบบที่พัฒนาลดการใช้พลังงานอย่างมีนัยสำคัญ พิจารณาแนวโน้มในปัจจุบันของระยะเวลาต้นทุนการปรับปรุงกระบวนการแบบสั้นๆ แนะนำให้ใช้กระแสของกระบวนการภายนอกเป็นตัวเลือกที่มากที่สุดเพื่อที่จะส่งเสริมประสิทธิภาพของโรงงาน อย่างไรก็ตามในสถานการณ์ที่กระแสไม่พร้อมใช้งานภายในโรงงานหรือไม่ประหยัดเนื่องจากอิทธิพลของระบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน การใช้กระแสของกระบวนการภายในระบบจะเป็นตัวเลือกที่น่าสนใจมากขึ้น [12]

## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินงานวิจัย

การออกแบบระบบกำจัดน้ำปนเปื้อนในงานวิจัยนี้ จำลองกระบวนการโดยใช้โปรแกรม Aspen Plus V.9 เพราะเป็นโปรแกรมที่ช่วยจำลองกระบวนการทั้งหมดของระบบ และสามารถคำนวณพลังงาน ค่าใช้จ่ายทางเศรษฐศาสตร์ นอกจากนี้ยังสามารถวิเคราะห์ความเหมาะสมของกระบวนการต่าง ๆ ว่าสามารถเกิดขึ้นจริงได้หรือไม่ และหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของกระบวนการได้ คุณสมบัติของสารป้อนเข้าแสดงในตารางที่ 3.1 และในงานวิจัยนี้ใช้ NRTL เป็นคุณสมบัติจำลองสำหรับจำลองกระบวนการ เพราะเหมาะสำหรับการจำลองระบบที่มีสารประกอบมีขั้วและระบบไม่อุดมคติ

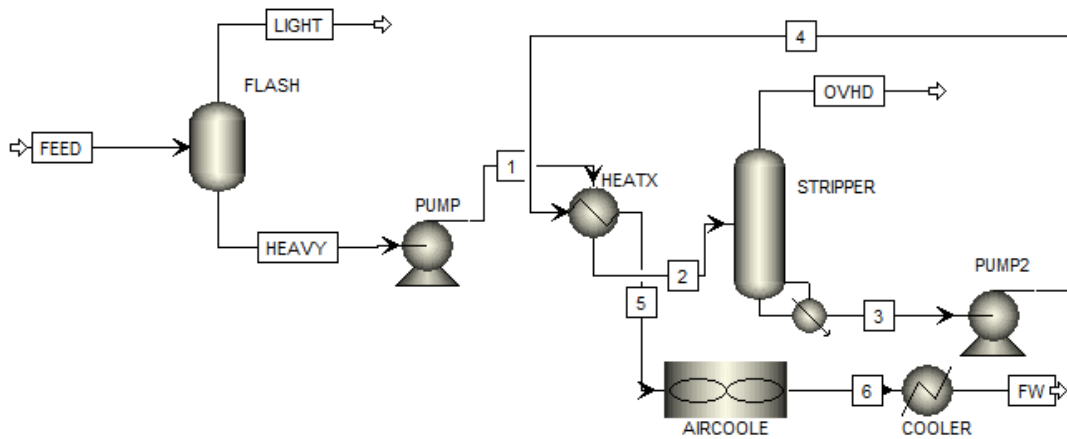
**ตารางที่ 3.1** คุณสมบัติสารป้อนเข้าในการจำลองกระบวนการ

สารป้อนเข้า		
อัตราการไหล	ต้นต่อชั่วโมง	185
อุณหภูมิ	องศาเซลเซียส	40
ความดัน	บาร์	4.9
องค์ประกอบ	สัดส่วนมวล	
ไฮโดรเจนซัลไฟด์		0.0030
แอมโมเนีย		0.0016
น้ำ		0.9953
โซเดียมคลอไรด์		0.0001

#### 3.1 การจำลองกระบวนการพื้นฐาน

การจำลองกระบวนการพื้นฐาน แสดงในรูปที่ 3.1 น้ำปนเปื้อนจากหลากหลายระบบในโรงงานป้อนเข้าถังเก็บที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสและความดัน 4.9 บาร์ และถูกปั๊มให้มีความดัน 6.3 บาร์ ก่อนเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเพิ่มอุณหภูมิสารป้อนเข้าเป็น 60 องศาเซลเซียสก่อนป้อนเข้าสตริปเปอร์ ซึ่งสตริปเปอร์ที่ใช้เป็นคอลัมน์ชั้นแบบวาล์ว 28 ชั้น โดยป้อนเข้าที่ชั้นที่ 7 และใช้น้ำความดันต่ำอุณหภูมิ 143 องศาเซลเซียส เป็นตัวกลางความร้อนในเครื่องทำความร้อนชนิดกัลกน้ำเชิงความร้อน และเนื่องจากจำนวนตัวแปรที่อิสระของคอลัมน์สองผลิตภัณฑ์คือสอง ซึ่งหมายความว่าต้องการข้อมูลจำเพาะอีกสองข้อมูลเพื่อที่จะสอดคล้องกับสมการ

ของตัวแปรไม่ทราบค่า ซึ่งก็คืออัตราผลผลิตจากการกลั่น (Distillate rate) เท่ากับ 998.8 กิโลกรัมต่อ ชั่วโมง และอัตราการป้อนกลับ (Reflux rate) เท่ากับ 60 กิโลโมลต่อชั่วโมง น้ำสะอาดออกจากท้ายคอลัมน์ที่อุณหภูมิ 121.67 องศาเซลเซียส และผ่านปั๊มให้มีความดัน 18.3 บาร์ ก่อนนำไปแลกเปลี่ยน ความร้อนที่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนของสารป้อนเข้า ทำให้อุณหภูมิลดลงเป็น 103.87 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นนำไปลดอุณหภูมิเป็น 65 องศาเซลเซียส โดยใช้เครื่องทำความเย็นแบบใช้อากาศและลดอุณหภูมิอีกให้เป็น 40 องศาเซลเซียสโดยใช้เครื่องทำความเย็น นอกจากนี้เพื่อให้ได้ อุณหภูมิในการกำจัดน้ำปนเปื้อนที่ต้องการ ความดันของคอลัมน์ชั้นบนและชั้นสุดท้ายต้องเป็น 1.9 บาร์ และ 2.1 บาร์ ตามลำดับ น้ำสะอาดที่ออกจากท้ายคอลัมน์ต้องมีไฮโดรเจนซัลไฟด์ไม่เกิน 10 ส่วน ในล้านส่วน และมีแอมโมเนียไม่เกิน 100 ส่วนในล้านส่วน [13]



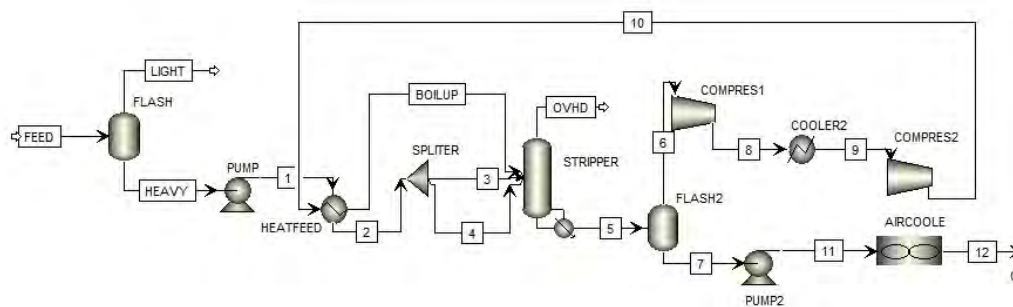
รูปที่ 3.1 การจำลองกระบวนการพื้นฐาน

### 3.2. การออกแบบกระบวนการทางเลือก

เพื่อการลดใช้พลังงานของระบบและพัฒนากระบวนการกำจัดน้ำปนเปื้อน ในงานวิจัยนี้จึงได้ออกแบบกระบวนการทางเลือก 4 กระบวนการ การออกแบบกระบวนการทางเลือกให้หลักการการเพิ่มประสิทธิภาพพลังงานและการเพิ่มความบริสุทธิ์ของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการเพื่อลดการใช้สาธารณูปโภค ซึ่งนำไปสู่การลดค่าใช้จ่ายในกระบวนการ โดยการออกแบบกระบวนการทางเลือกได้แก่ กระบวนการแบบแยกอัตราการไหล กระบวนการแบบบีบอัดไอพร้อมกับแยกอัตราการไหล กระบวนการแบบบีบอัดไอ และกระบวนการแบบบีบอัดเชิงกลผ่านการแยกด้านล่าง



สองจะเข้าที่ชั้นที่ 7 โดยมีสัดส่วนการแยกเป็น 0.1 และ 0.9 ตามลำดับ เนื่องจากเอาเครื่องควบแน่นและเครื่องทำความร้อนออกจำนวนตัวแปรที่อิสระจึงลดลงเป็นศูนย์ ซึ่งหมายความว่าไม่ต้องการข้อมูลจำเพาะของคอลัมน์ ความดันที่คอลัมน์กำหนดให้เป็นความดันชั้นบน 1.9 บาร์ และชั้นล่าง 2.1 บาร์ เช่นเดียวกับการจำลองกระบวนการพื้นฐาน น้ำสะอาดที่ออกจากท้ายคอลัมน์จะถูกลดความดันเพื่อให้เกิดไอ โดยกำหนดสัดส่วนไอเป็น 0.121 ที่เครื่องแยกสถานะ หลังจากนั้นไอที่ออกจากด้านบนของเครื่องแยกสถานะจะถูกบีบอัดด้วยเครื่องบีบอัด ไอ 6.8 บาร์ และ 399.99 องศาเซลเซียส จะถูกนำไปแลกเปลี่ยนความร้อนที่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสารป้อนเข้าจมนี้อุณหภูมิ 163.82 องศาเซลเซียส แล้วกลับเข้าคอลัมน์ที่ชั้นที่ 28 เป็นสายการต้มป้อนกลับ ส่วนของเหลวที่ได้จากเครื่องแยกสถานะจะเป็นน้ำสะอาดที่กระบวนการผลิตได้ โดยจะเพิ่มความดันเป็น 18.3 บาร์และนำไปลดอุณหภูมิด้วยเครื่องทำความเย็นแบบใช้อากาศและเครื่องทำความเย็นให้มีอุณหภูมิเป็น 65 และ 40 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ข้อดีของกระบวนการนี้คือไม่มีพลังงานที่เครื่องควบแน่นและเครื่องทำความร้อน และลดความต้องการสารหล่อเย็นโคลง อย่างไรก็ตามกระบวนการนี้ต้องการงานเชิงกลจากเครื่องบีบอัดในการเพิ่มความดันและเพิ่มอุณหภูมิของระบบ

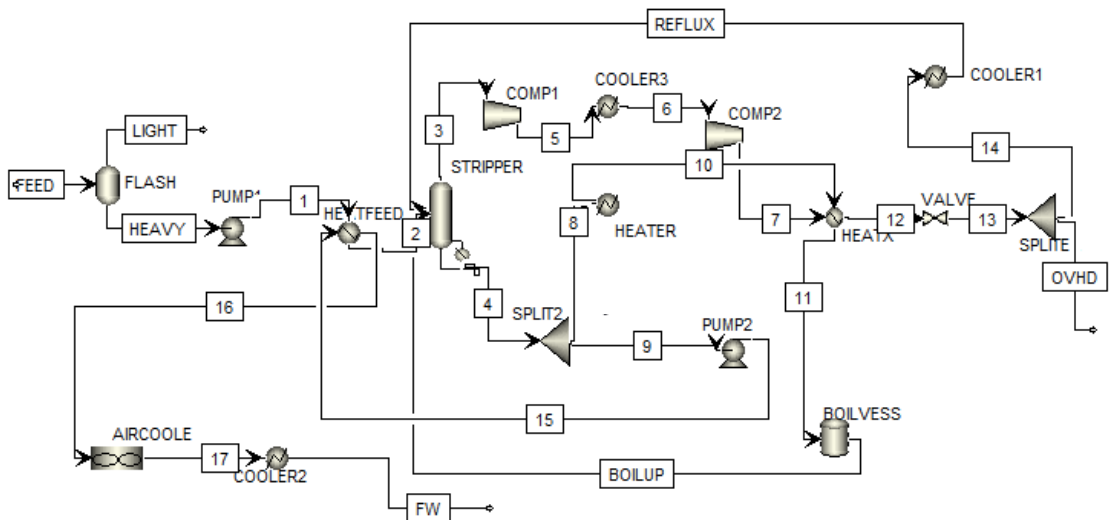


รูปที่ 3.3 การจำลองกระบวนการแบบบีบอัดไอพร้อมกับแยกอัตราการไหล

### 3.2.3 การจำลองกระบวนการแบบบีบอัดไอ

กระบวนการแบบบีบอัดไอจะใช้คอลัมน์ที่ไม่มีเครื่องทำความเย็นและเครื่องทำความร้อนในระบบโดยแทนที่ด้วยงานเชิงกลของเครื่องบีบอัด ในระบบการบีบอัดไอ ผลิตภัณฑ์ชั้นบนของคอลัมน์จะถูกบีบอัด การบีบอัดจะทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นและอุณหภูมิจุดไอน้ำกลั่นตัวเพิ่มขึ้น ความร้อนจากกระบวนการบีบอัดจะถ่ายโอนให้กับผลิตภัณฑ์ชั้นล่างเพื่อใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิคอลัมน์ ดังแสดงในรูปที่ 3.4 โดยสารป้อนเข้าจะใช้คุณสมบัติเช่นเดียวกับการจำลองพื้นฐาน และหลังจากผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนของสารป้อนเข้า จมนี้อุณหภูมิเป็น 60 องศาเซลเซียส สารป้อนเข้าจะเข้าคอลัมน์ที่ชั้นที่ 7 โดยคอลัมน์จะมีความดันชั้นบนและชั้นล่างเป็น 1.9 และ 2.1 บาร์ ตามลำดับ และ

เนื่องจากเอาเครื่องควบแน่นและเครื่องทำความร้อนออกทำให้จำนวนตัวแปรที่อิสระจึงลดลงเป็นศูนย์ ซึ่งหมายความว่าไม่ต้องการข้อมูลจำเพาะของคอลัมน์ เช่นเดียวกับการจำลองกระบวนการพื้นฐาน หลังจากนั้นผลิตภัณฑ์ชั้นบนจะถูกบีบอัดเพื่อเพิ่มอุณหภูมิ และผลิตภัณฑ์ชั้นล่างจะถูกแบ่งออกเป็น 2 สาย คือสายที่ 8 และ 9 โดยสายที่ 8 มีอัตราการไหลเป็น 40,000 กิโลกรัมต่อชั่วโมง หลังจากนั้นสายที่ 8 จะถูกให้ความร้อนเพื่อให้กลายเป็นไอ ก่อนนำไปแลกเปลี่ยนความร้อนกับผลิตภัณฑ์ชั้นบนที่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน หลังจากนั้นสายผลิตภัณฑ์ชั้นบนซึ่งอุณหภูมิลดลงจะผ่านวาล์วเพื่อลดความดันและลดอุณหภูมิ และถูกแบ่งเป็น 2 สาย คือสายที่ 14 และสายแก๊สเข้มข้นที่ปล่อยออก โดยมีสัดส่วนการแยกเป็น 0.94 และ 0.06 ตามลำดับ สายที่ 14 จะถูกลดอุณหภูมิด้วยเครื่องทำความเย็นจนมีอุณหภูมิเป็น 95 องศาเซลเซียส และกลับเข้าคอลัมน์ที่ชั้นที่ 1 เป็นสายป้อนกลับ ผลิตภัณฑ์ชั้นล่างที่ผ่านการแลกเปลี่ยนความร้อน อุณหภูมิจะเพิ่มขึ้น จะเข้าสู่ถังเก็บเพื่อปรับความดันเป็น 2.1 บาร์ ก่อนกลับเข้าคอลัมน์ที่ชั้นที่ 28 เป็นสายการต้มป้อนกลับ ส่วนสายที่ 9 จะถูกเพิ่มความดันเป็น 18.3 บาร์และนำไปแลกเปลี่ยนความร้อนที่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสายป้อนเข้า จนมีอุณหภูมิเป็น 103.90 องศาเซลเซียส และนำไปลดอุณหภูมิด้วยเครื่องทำความเย็นแบบใช้อากาศและเครื่องทำความเย็นให้มีอุณหภูมิเป็น 65 และ 40 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ได้เป็นน้ำสะอาดที่ต้องการ



รูปที่ 3.4 การจำลองกระบวนการแบบบีบอัดไอ

### 3.2.4 การจำลองกระบวนการแบบบีบอัดเชิงกลผ่านการแยกด้านล่าง

กระบวนการแบบบีบอัดไอ จะใช้คอลัมน์ที่ไม่มีเครื่องทำความเย็นและเครื่องทำความร้อนในระบบ ในกระบวนการนี้ผลิตภัณฑ์ชั้นล่างจะถูกลดความดันและส่วนหนึ่งของสายจะถูกให้ความร้อนและระเหยโดยผลิตภัณฑ์ชั้นบน จากนั้นจะถูกบีบอัดและกลับเข้าสู่ชั้นล่างของคอลัมน์ ดังแสดงในรูปที่ 3.5 โดยสารป้อนเข้าจะใช้คุณสมบัติเช่นเดียวกับการจำลองพื้นฐาน และหลังจากผ่านเครื่อง





### 3.3 การจำลองกระบวนการเพื่อหาสภาวะการดำเนินการที่เหมาะสม

เมื่อได้กระบวนการที่เหมาะสมแล้วซึ่งก็คือกระบวนการแบบบีบอัดไอพร้อมกับแยกอัตราการไหล จึงได้ปรับค่าตัวแปรที่มีผลต่อการดำเนินการของกระบวนการเพื่อหาสภาวะการดำเนินการที่เหมาะสม ได้ผลิตภณณ์น้ำสะอาดที่มีความบริสุทธิ์ตามข้อกำหนดความบริสุทธิ์ ลดความต้องการของพลังงานทั้งหมดในกระบวนการ และลดค่าใช้จ่ายทั้งหมดในกระบวนการ โดยทำปรับค่าความดันชั้นบนของคอลัมน์เป็น 1.3, 1.5, 1.7 และ 2.1 บาร์ ตามลำดับ

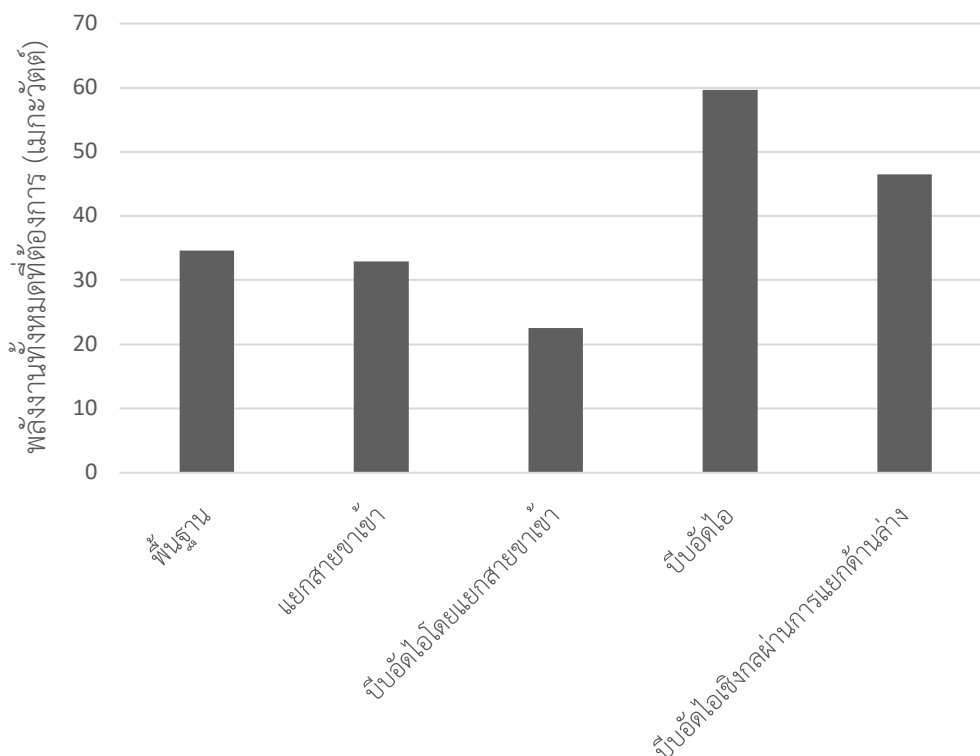
## บทที่ 4

### ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

#### 4.1 การออกแบบการจำลองกระบวนการกำจัดน้ำปนเปื้อน

##### 4.1.1 การวิเคราะห์พลังงาน

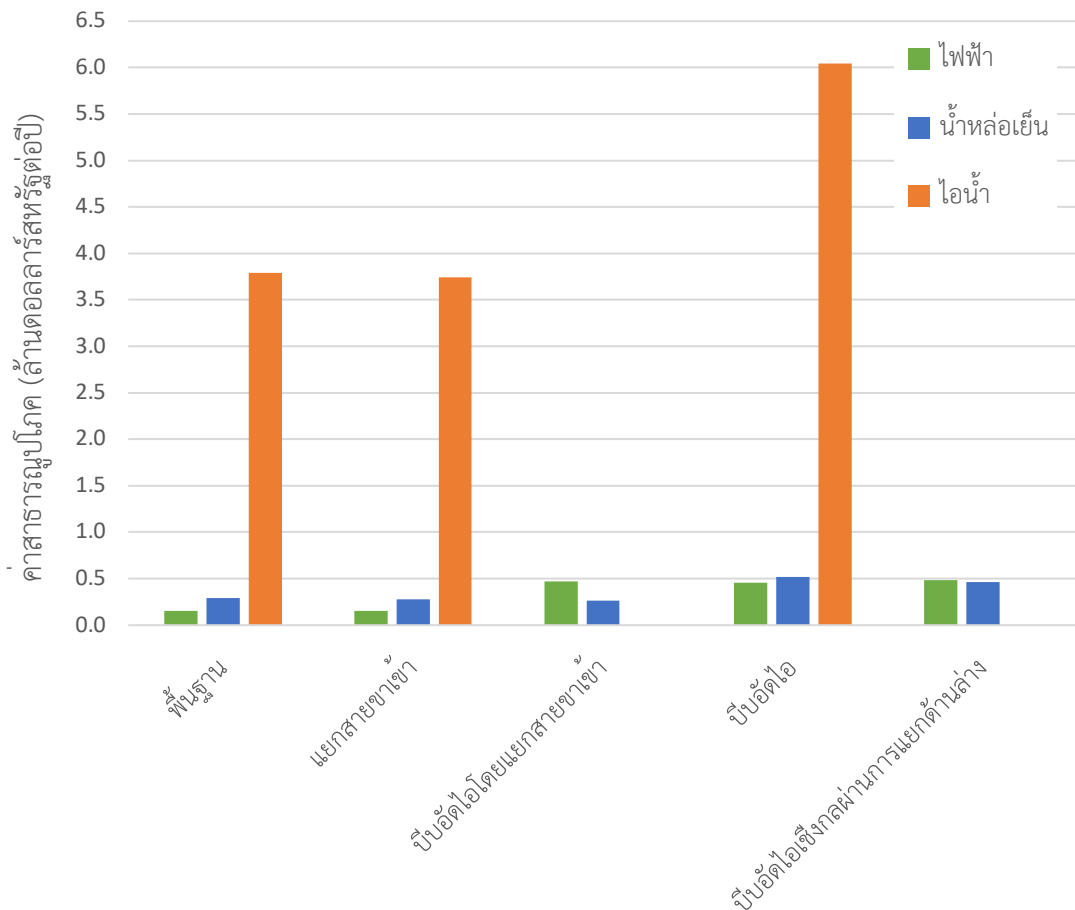
จากผลการออกแบบการจำลองกระบวนการกำจัดน้ำปนเปื้อนค่าพลังงานที่ต้องการทั้งหมดในแต่ละรูปแบบการจำลองกระบวนการน้ำปนเปื้อน แสดงในรูปที่ 4.1 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการออกแบบการจำลองกระบวนการแบบบีบอัดไอและการออกแบบการจำลองกระบวนการแบบบีบอัดไอเชิงกลผ่านการแยกตัวกลางมีค่าพลังงานมากกว่ากระบวนการแบบพื้นฐานมากถึงร้อยละ 72 และ 34 ตามลำดับ เนื่องจากการใช้อุปกรณ์และสารเคมีมากกว่าและเป็นการจำลองภายใต้สภาวะที่ยังไม่เหมาะสม สำหรับการออกแบบการจำลองกระบวนการแบบแยกอัตราการไหลและการออกแบบการจำลองกระบวนการแบบบีบอัดไอพร้อมกับแยกอัตราการไหลพลังงานที่ต้องการทั้งหมดในกระบวนการมีค่าน้อยกว่าการจำลองกระบวนการแบบพื้นฐานประมาณร้อยละ 4.9 และ 35 ตามลำดับ นั่นคือการจำลองกระบวนการแบบบีบอัดไอพร้อมกับแยกสายอัตราการไหลมีประสิทธิภาพการทำงานมากที่สุดและใช้พลังงานน้อยที่ในการออกแบบการจำลองทั้งหมดในงานวิจัยนี้



**รูปที่ 4.1** กราฟเปรียบเทียบการวิเคราะห์พลังงานทั้งหมดที่ต้องการของการออกแบบการจำลองกระบวนการกำจัดน้ำปนเปื้อนทั้งหมด

การพัฒนาที่สำคัญของกระบวนการกำจัดน้ำปนเปื้อนรูปแบบพื้นฐาน เกิดขึ้นจากการตัดส่วนของสาธารณูปโภคเย็นและร้อนสำหรับเครื่องควบแน่นและเครื่องทำความร้อน ตามลำดับ โดยอุปกรณ์ที่ใช้พลังงานมากที่สุดในกระบวนการพื้นฐานและการออกแบบแยกอัตราการไหลคือเครื่องทำความร้อน ซึ่งต้องการพลังงานมากกว่าร้อยละ 40 ของพลังงานทั้งหมดในกระบวนการ ความต้องการของสาธารณูปโภคร้อนของเครื่องทำความร้อนทำให้ลดลงได้ในการออกแบบกระบวนการแบบบีบอัดไอพร้อมกับแยกอัตราการไหลโดยการใช้พลังงานทดแทนพลังงานความร้อน

ในการออกแบบกระบวนการแบบบีบอัดไอพร้อมกับแยกอัตราการไหลการใช้พลังงานหลักได้แก่ การลดความร้อนและการบีบอัดโดยคิดเป็นประมาณร้อยละ 60 และ 19 ตามลำดับ เพื่อให้เข้าใจถึงการใช้จ่ายของสาธารณูปโภคที่แตกต่างกันในแต่ละการจำลองกระบวนการ โดยการใช้พลังงานจะถูกแปลงเป็นค่าใช้จ่ายสาธารณูปโภคดังแสดงในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 ค่าสาธารณูปโภคสำหรับการออกแบบการจำลองกระบวนการกำจัดน้ำปนเปื้อนทั้งหมด

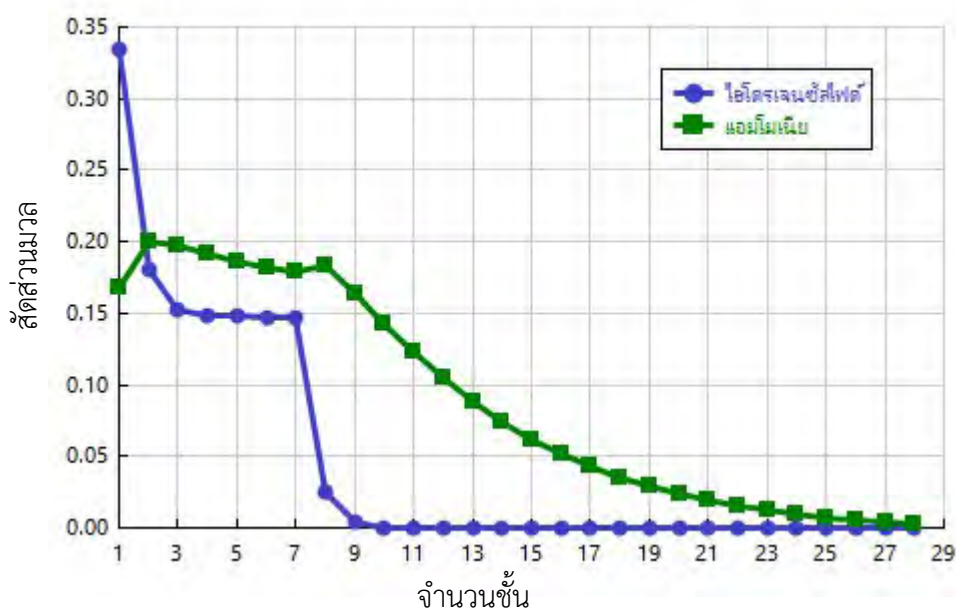
**ตารางที่ 4.1** อุณหภูมิ ความดัน และองค์ประกอบของสายด้านบนและด้านล่างของสตรีปเปอร์ของการ  
ออกแบบการจำลองกระบวนการกำจัดน้ำปนเปื้อนทั้งหมด

		พื้นฐาน	แยกอัตรา การไหล	บีบอัดไอ พร้อมกับแยก อัตราการไหล	บีบอัดไอ	บีบอัดไอเชิงกล ผ่านการแยก ด้านล่าง
<b>แก๊สเสีย</b>						
อัตราการไหล	กิโลกรัมต่อ ชั่วโมง	998.8	1800	1659.25	1617.4	2572.19
อุณหภูมิ	องศาเซลเซียส	79.3	105	103.4	107.8	109.9
ความดัน	บาร์	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9
องค์ประกอบ	สัดส่วนมวล					
ไฮโดรเจนซัลไฟด์		0.5556	0.3083	0.3345	0.2563	0.2158
แอมโมเนีย		0.2781	0.1567	0.1685	0.1367	0.1151
น้ำ		0.1661	0.5349	0.497	0.607	0.6692
<b>น้ำสะอาด</b>						
อัตราการไหล	ตันต่อชั่วโมง	184	183.2	183.3	183.4	182.4
อุณหภูมิ	องศาเซลเซียส	40	40	40	40	40
ความดัน	บาร์	18.3	18.3	18.3	18.3	18.3
องค์ประกอบ	สัดส่วนมวล					
ไฮโดรเจนซัลไฟด์		เข้าใกล้ 0	เข้าใกล้ 0	เข้าใกล้ 0	เข้าใกล้ 0	เข้าใกล้ 0
แอมโมเนีย		เข้าใกล้ 0	เข้าใกล้ 0	เข้าใกล้ 0	เข้าใกล้ 0	เข้าใกล้ 0
น้ำ		0.999	0.999	0.999	0.999	0.999

จากตารางที่ 4.1 แสดงถึงอุณหภูมิ ความดัน และองค์ประกอบของสายด้านบนและด้านล่าง  
ของสตรีปเปอร์ โดยผลจากการจำลองกระบวนการเป็นไปตามข้อจำกัดความบริสุทธิ์ของการจำลอง  
กระบวนการกำจัดน้ำปนเปื้อนคือความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์และแอมโมเนียในผลิตภัณฑ์ที่ได้  
ต้องมีค่าไม่เกิน 10 ส่วนในล้านส่วนและ 100 ส่วนในล้านส่วน ตามลำดับ อัตราการไหลของผลิตภัณฑ์  
จากสายด้านล่างของสตรีปเปอร์ของการจำลองกระบวนการทั้งหมดมากกว่า 183 ตันต่อชั่วโมง  
ยกเว้นการจำลองแบบบีบอัดไอเชิงกลที่มีค่าน้อยกว่าเนื่องจากมีการแบ่งอัตราการไหลไปทำการ

แลกเปลี่ยนความร้อนแล้วกลับเข้าสู่สตริปเปอร์มากเกินไปเพราะใช้การแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างสองสถานะทำให้ต้องอาศัยอัตราการไหลที่มากพอจึงจะเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนกันได้จึงทำให้เป็นการออกแบบที่ต้องการพลังงานมากที่สุด และยังเป็นสาเหตุที่ทำให้อุณหภูมิภายในคอลัมน์แลกเปลี่ยนความร้อนกันไม่เพียงพอ ซึ่งสังเกตได้จากอุณหภูมิด้านบนสตริปเปอร์ที่มีค่ามากกว่าทุกการออกแบบการจำลองซึ่งเป็นข้อเสียของการจำลองรูปแบบนี้

ผลจากการวิจัยพบว่าปริมาณน้ำที่ออกทางด้านบนของสตริปเปอร์ของการออกแบบการจำลองทั้งหมดมีค่าสูงกว่าเมื่อเทียบกับการจำลองพื้นฐาน เนื่องจากอุณหภูมิส่วนบนของสตริปเปอร์ในการออกแบบการจำลองกระบวนการทั้งหมดมีค่ามากกว่า 100 องศาเซลเซียส ทำให้ปริมาณน้ำบางส่วนระเหยกลายเป็นไอแล้วออกทางด้านบนของสตริปเปอร์แทนการเกิดการควบแน่นออกมาเป็นผลิตภัณฑ์ทางด้านล่างของสตริปเปอร์ แต่เมื่อเทียบการออกแบบการจำลองกระบวนการทั้งหมดแล้วการบีบอัดไอร่วมกับแยกอัตราการไหลมีปริมาณน้ำสะอาดที่ผลิตได้จากกระบวนการกำจัดน้ำปนเปื้อนมากที่สุด



รูปที่ 4.3 องค์ประกอบของวัฏภาคไอของไฮโดรเจนซัลไฟด์และแอมโมเนียในสตริปเปอร์

จากรูปที่ 4.3 แสดงถึงองค์ประกอบของวัฏภาคไอของไฮโดรเจนซัลไฟด์และแอมโมเนียในสตริปเปอร์ ทำให้เห็นว่าการกำจัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ทำได้ง่ายกว่าและต้องการจำนวนชั้นที่น้อยกว่าการกำจัดแอมโมเนียเพื่อให้เป็นตามข้อกำหนดของความบริสุทธิ์ของน้ำสะอาดที่ต้องการ

#### 4.1.2 การประเมินทางเศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์จัดทำขึ้นเพื่อตรวจสอบความเป็นไปได้ทางเศรษฐกิจของการออกแบบการจำลองกระบวนการทางเลือก ซึ่งขั้นตอนแรกในการวิเคราะห์คือเลือกอุปกรณ์ตามด้วยขนาดของอุปกรณ์เหล่านั้น สำหรับกระบวนการแบบพื้นฐานประเภทของอุปกรณ์ที่เลือกจะเป็นประเภทเดียวกับที่ติดตั้งในโรงงาน เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำป้อนป้อนเข้าและผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการกำจัดน้ำป้อนป้อนเป็นประเภทเซลล์และท่อ สตรีปเปอร์คอลัมน์ประกอบไปด้วยชั้นแบบวาล์ว ในขณะที่เครื่องทำความร้อนของสตรีปเปอร์เป็นชนิดกัลกน้ำแข็งความร้อน เครื่องสูบน้ำทั้งหมดในกระบวนการเป็นประเภทแรงเหวี่ยง การจำลองที่มีเครื่องบีบอัดร่วมด้วยเราจะตั้งสมมติฐานว่าเครื่องบีบอัดเป็นประเภทแรงเหวี่ยง โดยขนาดของอุปกรณ์จะปรับขนาดโดยใช้วิธีมาตรฐานของวิศวกรรม

#### ตารางที่ 4.2 การประมาณราคาสำหรับการออกแบบทางเลือก

	พื้นฐาน	แยกอัตรา การไหล	บีบอัดไอพร้อม กับแยกอัตรา การไหล	บีบอัดไอ	บีบอัดไอเชิงกล ผ่านการแยก ด้านล่าง
ต้นทุนการผลิตแรกเริ่ม (ล้านดอลลาร์สหรัฐ)	5.79	5.28	19.17	19.34	21.22
ค่าดำเนินการผลิต (ล้านดอลลาร์สหรัฐต่อปี)	6.01	5.93	1.80	9.26	2.09
ค่าใช้จ่ายรายปี (ล้านดอลลาร์สหรัฐต่อปี)	0.64	0.58	2.11	2.13	2.34
ค่าใช้จ่ายรายปีทั้งหมด (ล้านดอลลาร์สหรัฐต่อปี)	6.65	6.51	3.91	11.39	4.43

ตารางที่ 4.2 แสดงต้นทุนการผลิตแรกเริ่ม ค่าดำเนินการผลิต ค่าใช้จ่ายรายปีและค่าใช้จ่ายรายปีทั้งหมดสำหรับการออกแบบทางเลือกเปรียบเทียบกับกระบวนการออกแบบพื้นฐาน โดยค่าใช้จ่ายรายปีทั้งหมดคือผลรวมของค่าดำเนินการผลิตและค่าใช้จ่ายรายปี เพื่อคำนวณค่าทางเศรษฐศาสตร์จึง

กำหนดอายุงานของหน่วยปฏิบัติการกำจัดน้ำปนเปื้อนเป็น 25 ปีและคิดอัตราดอกเบี้ยเป็นร้อยละ 10 ต่อปี

ผลจากการวิจัยพบว่าเครื่องบีบอัดมีค่าใช้จ่ายประมาณร้อยละ 70 ของต้นทุนโดยตรงทั้งหมด ในการออกแบบการจำลองกระบวนการแบบบีบอัดไอพร้อมกับแยกอัตรากาโรไล เมื่อพิจารณา ค่าใช้จ่ายรายปีของการออกแบบทั้งหมดพบว่าการออกแบบพื้นฐานและแบบแยกอัตรากาโรไลมีค่า อยู่ที่ประมาณร้อยละ 9 ถึง 10 ของค่าใช้จ่ายรายปีทั้งหมด ดังนั้นต้นทุนหลักที่เกิดขึ้นคือค่าดำเนินการผลิตของโรงงาน อย่างไรก็ตามในกรณีของการออกแบบการจำลองกระบวนการแบบบีบอัดไอพร้อมกับแยกอัตรากาโรไลและแบบบีบอัดไอเชิงกลผ่านการแยกด้านล่างมีค่าใช้จ่ายรายปีมากกว่าร้อยละ 50 ของค่าใช้จ่ายรายปีทั้งหมดซึ่งแสดงให้เห็นว่าเครื่องบีบอัดมีค่าใช้จ่ายสูง ส่วนการออกแบบการจำลองกระบวนการแบบบีบอัดไอค่าใช้จ่ายรายปีเพียงร้อยละ 19 ของค่าใช้จ่ายรายปีทั้งหมดแม้ว่าจะมีจำนวนเครื่องบีบอัดเท่ากับสองกรณีก่อนหน้าแต่การออกแบบนี้มีค่าดำเนินการผลิตที่มากกว่า ค่าใช้จ่ายรายปี เนื่องจากมีสารอนุมูลอิสระเข้ามาเกี่ยวข้อง

ผลจากการประเมินราคาทั้งหมดพบว่าการออกแบบการจำลองกระบวนการแบบบีบอัดไอมี ต้นทุนการผลิตแรกเริ่มและค่าใช้จ่ายรายปีทั้งหมดมากที่สุด เนื่องจากการออกแบบรูปแบบนี้มีการติดตั้ง อุปกรณ์จำนวนมากและต้องการพลังงานค่อนข้างสูง มีการใช้ไอน้ำมาช่วยในการแลกเปลี่ยนความร้อน จึงทำให้มีค่าใช้จ่ายรายปีทั้งหมดมากกว่ารูปแบบอื่น ส่วนการออกแบบการจำลองกระบวนการแบบ บีบอัดไอพร้อมกับแยกอัตรากาโรไลต้องใช้เงินลงทุนเริ่มต้นที่สูงกว่าเมื่อเทียบกับการออกแบบพื้นฐาน แต่การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์แสดงให้เห็นว่าตลอดอายุงานของหน่วยปฏิบัติการกำจัดน้ำปนเปื้อน ระยะเวลา 25 ปีมีการประหยัดพลังงานในการดำเนินการผลิต เนื่องจากมีการตัดส่วนสารอนุมูลอิสระ และเย็นออกจากสตรีปเปอร์แต่มีการใช้เครื่องบีบอัดเข้ามาช่วยเพิ่มความดันและความร้อนในระบบจึงทำให้มีต้นทุนการผลิตแรกเริ่มสูงกว่าเมื่อเทียบกับการออกแบบพื้นฐาน

ผลการวิจัยพบว่าการออกแบบการจำลองกระบวนการแบบบีบอัดไอพร้อมกับแยกอัตรากาโรไลต้องใช้พลังงานในการปฏิบัติงานน้อยลงประมาณร้อยละ 35 เมื่อเทียบกับการออกแบบพื้นฐานซึ่ง ช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายในการดำเนินการผลิตรายปีร้อยละ 70 ซึ่งส่งผลให้ค่าใช้จ่ายรายปีทั้งหมดอยู่ที่ 3.91 ล้านดอลลาร์สหรัฐ สำหรับการออกแบบการจำลองกระบวนการแบบบีบอัดไอพร้อมกับแยก อัตรากาโรไลเมื่อเทียบกับ 6.65 ล้านดอลลาร์สหรัฐสำหรับการออกแบบพื้นฐาน

## 4.2 สภาวะการดำเนินการที่เหมาะสม

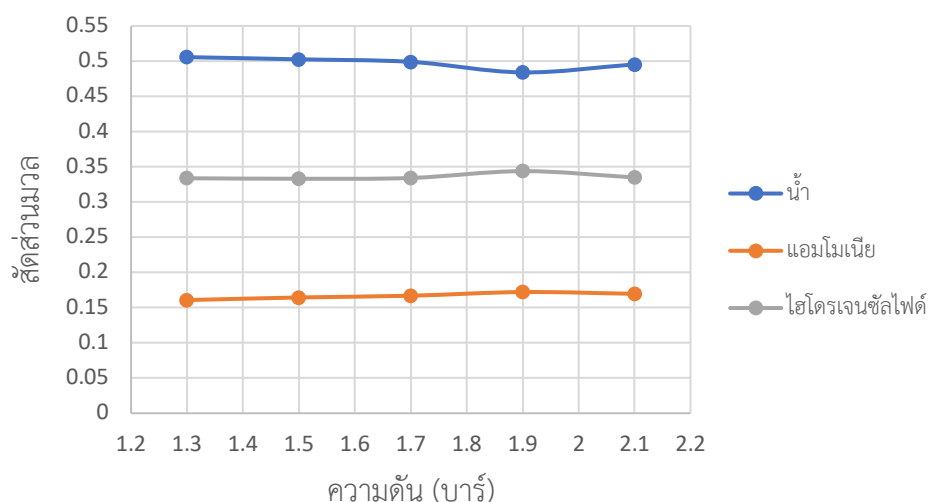
เมื่อเปรียบเทียบพลังงานที่ต้องการทั้งหมดและค่าทางเศรษฐศาสตร์ของทุกการออกแบบการจำลองกระบวนการกำจัดน้ำปนเปื้อนกับกระบวนการพื้นฐาน พบว่าการออกแบบการจำลองกระบวนการแบบบีบอัดไอพร้อมกับแยกอัตราการไหลเป็นการออกแบบที่ใช้พลังงานในกระบวนการน้อยที่สุดและมีต้นทุนการผลิตที่ต่ำที่สุด ดังนั้นจึงทำการปรับค่าความดันส่วนบนของสตริปเปอร์อยู่ในช่วง 1.3 ถึง 2.1 บาร์ เพื่อหาสภาวะการดำเนินการที่เหมาะสมที่สุดในกระบวนการกำจัดน้ำปนเปื้อน

**ตารางที่ 4.3** อุณหภูมิ ความดัน และองค์ประกอบของสายด้านบนและด้านล่างของสตริปเปอร์ ภายใต้ความดันส่วนบนของสตริปเปอร์ที่แตกต่างกัน

		ความดัน (บาร์)				
		1.3	1.5	1.7	1.9	2.1
<b>แก๊สเสีย</b>						
อัตราการไหล	กิโลกรัมต่อชั่วโมง	1663.35	1666.64	1661.33	1614.2	1657.01
อุณหภูมิ	องศาเซลเซียส	93.2	96.97	100.31	102.8	106.25
ความดัน	บาร์	1.3	1.5	1.7	1.9	2.1
องค์ประกอบ	สัดส่วนมวล					
	ไฮโดรเจนซัลไฟด์	0.3337	0.333	0.3341	0.3438	0.3349
	แอมโมเนีย	0.1607	0.1644	0.1669	0.1721	0.1696
	น้ำ	0.5057	0.5026	0.499	0.484	0.4954
<b>น้ำสะอาด</b>						
อัตราการไหล	ตันต่อชั่วโมง	183.3	183.3	183.3	183.3	183.3
อุณหภูมิ	องศาเซลเซียส	40	40	40	40	40
ความดัน	บาร์	18.3	18.3	18.3	18.3	18.3
องค์ประกอบ	สัดส่วนมวล					
	ไฮโดรเจนซัลไฟด์	เข้าใกล้ 0	เข้าใกล้ 0	เข้าใกล้ 0	เข้าใกล้ 0	เข้าใกล้ 0
	แอมโมเนีย	0.00016	0.00012	0.0001	เข้าใกล้ 0	เข้าใกล้ 0
	น้ำ	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999



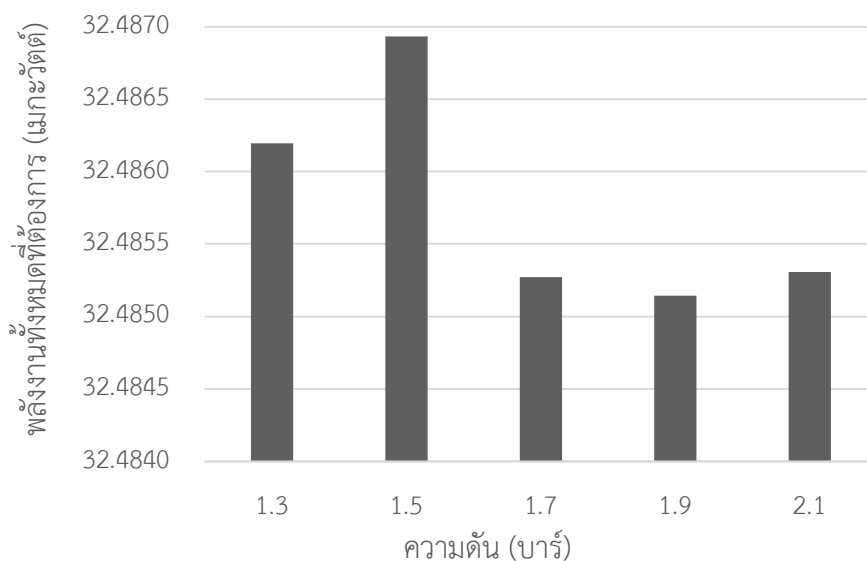
จากตารางที่ 4.3 แสดงอุณหภูมิ ความดัน และองค์ประกอบของสายด้านบนและด้านล่างของ สตรีปเปอร์ภายใต้การกำหนดความดันส่วนบนของสตรีปเปอร์ ผลจากการปรับค่าความดันของ ส่วนบนของสตรีปเปอร์ พบว่าที่ความดัน 1.3, 1.5 และ 1.7 บาร์ ไม่เป็นไปตามข้อกำหนดความ บริสุทธิ์ของการกำจัดน้ำปนเปื้อน นั่นคือปริมาณความเข้มข้นของแอมโมเนียในน้ำสะอาดมีค่าเกิน 100 ส่วนในล้านส่วนซึ่งสังเกตได้จากองค์ประกอบในน้ำสะอาด และพบว่าเมื่อความดันส่วนบนมีค่า ลดลงอุณหภูมิส่วนบนก็ลดลงตามไปด้วย ซึ่งตามหลักแล้วอุณหภูมิของส่วนบนมีค่าต่ำกว่า 100 องศา เซลเซียสจะทำให้สัดส่วนมวลของน้ำในผลิตภัณฑ์ด้านบนมีค่าน้อยเนื่องจากยังไม่ถึงจุดเดือดของน้ำจึง มีน้ำที่ระเหยกลายเป็นไอน้ำน้อย แต่จากการวิจัยไม่เป็นเช่นนั้นเนื่องด้วยผลต่างความดันของคอลัมน์ โดย สตรีปเปอร์มีผลต่างความดันที่มากเกินไปทำให้เกิดอัตราการไหลของไอน้ำมากเกินไป แต่ยังคงมีอัตราไหล ป้อนกลับมากเท่าเดิมส่งผลให้เกิดการท่วมของของเหลวสะสมด้านบนภายในคอลัมน์ทำให้การสัมผัส ระหว่างสถานะของเหลวและไอลดลง ซึ่งส่งผลไปยังความบริสุทธิ์ของน้ำสะอาดโดยน้ำจะกลายเป็นไอล แล้วออกไปยังด้านบนของคอลัมน์มากกว่า เมื่อมีผลต่างความดันมากกว่า แสดงในรูปที่ 4



**รูปที่ 4.4** กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันและสัดส่วนมวลของผลิตภัณฑ์ ด้านบนสตรีปเปอร์

#### 4.2.1 การวิเคราะห์พลังงาน

ผลจากการปรับความดันส่วนบนของสตรีปเปอร์พบว่าเมื่อผลต่อพลังงานที่ต้องการทั้งหมดใน กระบวนการกำจัดน้ำปนเปื้อนเพียงเล็กน้อย เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงความดันส่งผลต่ออุณหภูมิมาก แต่ส่งผลต่ออัตราการไหลเพียงเล็กน้อยทำให้พลังงานที่ต้องการในแต่ละอุปกรณ์มีค่าใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตามสภาวะที่ใช้พลังงานต่ำสุดคือที่ความดันส่วนบนของสตรีปเปอร์เป็น 1.9 บาร์ ดังรูปที่ 4.5



**รูปที่ 4.5** กราฟเปรียบเทียบการวิเคราะห์พลังงานที่ต้องการภายใต้ความดันที่แตกต่างกัน

#### 4.2.2 การประเมินทางเศรษฐศาสตร์

เนื่องจากการดำเนินการจำลองกระบวนการที่ความดัน 1.3, 1.5 และ 1.7 บาร์ ไม่เป็นตามข้อกำหนดความบริสุทธิ์ของผลิตภัณฑ์ จึงทำการประเมินและเปรียบเทียบค่าทางเศรษฐศาสตร์เพียงการดำเนินการจำลองกระบวนการกำจัดน้ำปนเปื้อนแบบบีบอัดไอพร้อมกับแยกอัตราการไหลที่ความดัน 1.9 และ 2.1 บาร์

**ตารางที่ 4.4** การเปรียบเทียบบราคาภายใต้ความดันที่แตกต่างกัน

	ความดัน (บาร์)	
	1.9	2.1
ต้นทุนการผลิตแรกเริ่ม (ล้านดอลลาร์สหรัฐ)	19.16500	19.16580
ค่าดำเนินการผลิต (ล้านดอลลาร์สหรัฐต่อปี)	1.80338	1.80339
ค่าใช้จ่ายรายปี (ล้านดอลลาร์สหรัฐต่อปี)	2.11137	2.11146
ค่าใช้จ่ายรายปีทั้งหมด (ล้านดอลลาร์สหรัฐต่อปี)	3.91475	3.91485

จากตารางที่ 4.4 แสดงการเปรียบเทียบต้นทุนการผลิตแรกเริ่ม ค่าดำเนินการผลิต ค่าใช้จ่ายรายปีและค่าใช้จ่ายรายปีทั้งหมดของการออกแบบการจำลองกระบวนการแบบบีบอัดไอพร้อมกับแยกอัตราการไหลภายใต้ความดันที่แตกต่าง เมื่อเปรียบเทียบพบว่ามีความต้นทุนการผลิตแรกเริ่ม ค่าดำเนินการผลิต ค่าใช้จ่ายรายปีและค่าใช้จ่ายรายปีทั้งหมดต่างกันไม่มากซึ่งเป็นผลพวงมาจากค่าพลังงานที่ต่างกันเพียงเล็กน้อย โดยที่ความดัน 2.1 บาร์มีต้นทุนที่สูงกว่าเนื่องจากมีอุณหภูมิในระบบสูงกว่าจึงต้องใช้สารหล่อเย็นมาช่วยลดความเย็นในระบบมากกว่าทำให้มีค่าใช้จ่ายมากกว่าเมื่อเทียบกับการดำเนินการที่ความดัน 1.9 บาร์

ดังนั้นการจำลองกระบวนการกำจัดน้ำปนเปื้อนแบบบีบอัดไอพร้อมกับแยกอัตราการไหลควรดำเนินการผลิตที่ความดันส่วนบนของสตริปเปอร์เป็น 1.9 บาร์ และความดันส่วนล่างสตริปเปอร์เป็น 2.1 บาร์ เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่บริสุทธิ์ตามข้อกำหนดและใช้พลังงานทั้งหมดในกระบวนการต่ำที่สุดและมีค่าใช้จ่ายรายปีทั้งหมดน้อยที่สุด

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ใช้โปรแกรม Aspen Plus V.9 ช่วยในการจำลองกระบวนการกำจัดน้ำปนเปื้อน กระบวนการแบบพื้นฐานถูกนำมาเปรียบเทียบกับทางเลือกอื่น ๆ ได้แก่ การออกแบบการจำลองกระบวนการแบบแยกอัตราการใช้ การออกแบบการจำลองกระบวนการแบบบีบอัดไอพร้อมกับแยกอัตราการใช้ การออกแบบการจำลองกระบวนการแบบบีบอัดไอ และการออกแบบการจำลองกระบวนการแบบบีบอัดไอเชิงกลผ่านการแยกด้านล่าง โดยการออกแบบทั้งหมดถูกนำมาเปรียบเทียบในแง่ของพลังงานที่ต้องการและค่าทางเศรษฐศาสตร์ ในขณะที่ยังคงรักษาความบริสุทธิ์ของน้ำสะอาดที่ผลิตได้ตามข้อกำหนดโดยปริมาณความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์และแอมโมเนียเป็น 10 และ 100 ส่วนในล้านส่วน ตามลำดับ

งานวิจัยนี้นำเสนอการออกแบบกระบวนการทางเลือกใหม่ที่สามารถลดความต้องการพลังงานของกระบวนการกำจัดน้ำปนเปื้อนได้เมื่อเทียบกับกระบวนการพื้นฐาน ผลจากการวิจัยพบว่าการออกแบบกระบวนการแบบบีบอัดไอพร้อมกับแยกอัตราการใช้สามารถลดความต้องการสารานุญปกติทั้งเย็นและร้อนได้ร้อยละ 10 และ 100 ตามลำดับ โดยเพิ่มพลังงานไฟฟ้ามาช่วยในการเพิ่มความร้อนแทนการใช้ไอน้ำซึ่งค่าไฟฟ้ารายปีเพิ่มขึ้นเป็น 0.32 ล้านดอลลาร์สหรัฐต่อปีเมื่อเทียบกับกระบวนการพื้นฐาน แต่มีความคุ้มค่ามากกว่าการใช้สารานุญปกติร้อน การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์แสดงให้เห็นว่าแม้ว่าต้นทุนการผลิตแรกเริ่มของกระบวนการแบบบีบอัดไอพร้อมกับแยกอัตราการใช้มีค่าสูงขึ้น แต่ค่าใช้จ่ายรายปีทั้งหมดนั้นต่ำกว่าร้อยละ 41 เมื่อเทียบกับกระบวนการพื้นฐานตลอดอายุการใช้งาน 25 ปี

จากการหาสถานะการดำเนินการที่เหมาะสมของกระบวนการกำจัดน้ำปนเปื้อนแบบบีบอัดไอพร้อมกับแยกอัตราการใช้ พบว่าควรดำเนินการผลิตที่ความดันส่วนบนของสตริปเปอร์เป็น 1.9 บาร์ และความดันส่วนล่างสตริปเปอร์เป็น 2.1 บาร์ เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่บริสุทธิ์ตามข้อกำหนดและใช้พลังงานทั้งหมดในกระบวนการต่ำที่สุดและมีค่าใช้จ่ายรายปีทั้งหมดน้อยที่สุด

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการวิจัยพบว่าปริมาณน้ำที่ออกทางด้านบนของสตรีปเปอร์ของการออกแบบการจำลองทั้งหมดมีค่าสูงกว่าเมื่อเทียบกับการจำลองพื้นฐาน เนื่องจากอุณหภูมิส่วนบนของสตรีปเปอร์ในการออกแบบการจำลองกระบวนการทั้งหมดมีค่ามากกว่า 100 องศาเซลเซียส ดังนั้นเพื่อให้ได้ปริมาณน้ำสะอาดที่ได้จากการกำจัดน้ำปนเปื้อนมีค่าใกล้เคียงหรือมากกว่ากระบวนการพื้นฐาน ควรปรับค่าอัตราการไหลหรืออุณหภูมิของสายป้อนกลับเข้าเครื่องสตรีปเปอร์ด้านบนและด้านล่างเพื่อให้อุณหภูมิส่วนบนของสตรีปเปอร์ไม่ทำให้เกิดการระเหยของน้ำ

## เอกสารอ้างอิง

- [1] Aecom. Petroleum refining water/wastewater use and management. Operations Best Practice Series. 2010;8-13.
- [2] Phillip C. W.. Absorption and Stripping. Separation Process Engineering. 2013;3:458-482.
- [3] Abolghasem K., Mohamadjavad H., Arjomand Mehrabani-Z.. Evaluation of different vapor recompression distillation configurations based on energy requirements and associated costs. Applied Thermal Engineering. 2016;94:305-313.
- [4] Xiaoxin G., Jun C., Zhengfei M., Limin Y.. Simulation and Optimization of Distillation Process for Separating a Close-Boiling Mixture of n-Butanol and Isobutanol. Industrial & Engineering Chemistry Research. 2014;53:14440-14445
- [5] Rosemount. Distillation Column Flooding Diagnostics with Intelligent Differential Pressure Transmitter [Online]. Available <https://www.emerson.com>.
- [6] M.T. T..2019. Distillation [Online]. Available <https://www.rccostello.com>.
- [7] Gai H., Jiang Y., Qian Y., Kraslawski A.. Conceptual design and retrofitting of the coal-gasification wastewater treatment process. Chem. Eng. J. 2008;138:84-94.
- [8] Umer Z., Ali Al-Q., Baqer Al-M., Ali Al-N., Usama A. Design of a novel sour water stripping unit. Computer Aided Chemical Engineering 2019;46:523-528.
- [9] Abolghasem K., Arjomand M-Z., Masound B. Development of a novel processing system for efficient sour water stripping. Energy 2017;125:449-458.
- [10] Gao X., Chen J., Ma Z., Yang L. Simulation and Optimization of Distillation Processes for Separating a Close-Boiling Mixture of n-Butanol and Isobutanol. Ind. Eng. Chem. Research 2014;53:14440-14445.
- [11] Miguel A. N., Ruben Ruiz-F., Jose A. C.. A New technique for recovering energy in thermally coupled distillation using vapor recompression cycles. AIChE Journal.

- [12] M.A. Waheed, A.O. Oni, S.B. Adejuyigbe, B.A. Adewumi, D.A.Fadare. Performance enhancement of vapor recompression heat pump. *Applied Energy* 2014;114:6979.
- [13] Zahid U. Techno-economic evaluation and design development of sour water stripping system in the refineries. *Journal of Cleaner Production* 2019;236:117633.