

การจำลองกระบวนการของการผลิตแก๊สสังเคราะห์จากขยะพลาสติก
ด้วยกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2560

การจำลองกระบวนการของการผลิตแก๊สสังเคราะห์จากขยะพลาสติก
ด้วยกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน



ปฏิญานีพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SIMULATION OF SYNTHESIS GAS PRODUCTION FROM WASTE
PLASTIC BY GASIFICATION



A REPORT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT
FOR THE DEGREE OF BACHELOR IN CHEMICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง การจำลองกระบวนการของการผลิตแก๊สสังเคราะห์จากขยะพลาสติก
ด้วยกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน
โดย นางสาวพรนภัส เรืองฤทธิ์
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.ญาณิพร พัทธวรโชติ
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปริญญานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบปริญญานิพนธ์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์เรื่อง การจำลองกระบวนการของการผลิตแก๊สสังเคราะห์จากขยะพลาสติก
ด้วยกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน
โดย นางสาวพรนภัส เรืองฤทธิ์
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี
ปีการศึกษา 2560
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.ญานีพร พัทธวรโชติ

บทคัดย่อ

ปริญญาานิพนธ์นี้สนใจศึกษากระบวนการผลิตแก๊สสังเคราะห์โดยกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันจากขยะพลาสติก ซึ่งขยะพลาสติกส่วนใหญ่ประกอบด้วย โพลีเอทิลีน 29.6 เปอร์เซ็นต์ โพลีพรอพิลีน 18.9 เปอร์เซ็นต์ และอื่นๆ โดยในปริญญาานิพนธ์นี้มุ่งเน้นพัฒนาแบบจำลองของกระบวนการผลิตแก๊สสังเคราะห์จากขยะพลาสติกด้วยซอฟต์แวร์สำเร็จรูป AspenPlus™ เพื่อให้ได้ปริมาณแก๊สสังเคราะห์มากที่สุด จะทำการศึกษาผลของอุณหภูมิเตาแก๊สซิฟายเออร์ และสัดส่วนโดยมวลระหว่างไอน้ำต่อสารป้อน (Steam to feed mass ratio) เมื่อโพลีเอทิลีนอย่างเดียวหรือโพลีพรอพิลีนอย่างเดียวถูกนำมาใช้เป็นสารป้อน ผลการจำลองกระบวนการแสดงให้เห็นว่าปริมาณแก๊สสังเคราะห์ที่ได้มีปริมาณเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของเตาแก๊สซิฟายเออร์ และจะมีค่าคงที่เมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 900 องศาเซลเซียส โดยสัดส่วนโดยมวลระหว่างไอน้ำต่อสารป้อนที่เหมาะสมคือ 1.5 สำหรับการใส่สารป้อนเป็นโพลีเอทิลีนอย่างเดียวและโพลีพรอพิลีนอย่างเดียวจะให้ผลเหมือนกัน หลังจากนั้นได้ทำการศึกษาผลของสัดส่วนโดยมวลระหว่างโพลีเอทิลีนกับโพลีพรอพิลีน (Polyethylene to polypropylene mass ratio) ที่ 75/25 50/50 และ 25/75 ที่อุณหภูมิเตาแก๊สซิฟายเออร์และสัดส่วนโดยมวลระหว่างไอน้ำต่อสารป้อนต่างๆ ผลการจำลองกระบวนการแสดงให้เห็นว่าสัดส่วนระหว่างโพลีเอทิลีนกับโพลีพรอพิลีนทุกค่าให้ผลคล้ายกัน โดยสัดส่วนโดยมวลระหว่างโพลีเอทิลีนต่อโพลีพรอพิลีนเท่ากับ 75/25 จะให้ปริมาณแก๊สสังเคราะห์ 20.85 กิโลโมลต่อชั่วโมง (คิดเป็น 94 เปอร์เซ็นต์) ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส และสัดส่วนโดยมวลระหว่างไอน้ำต่อสารป้อนเท่ากับ 1.5 นอกจากนี้ในงานนี้ยังศึกษาการใช้อากาศเป็นตัวทำปฏิกิริยา เมื่อสัดส่วนโดยมวลโพลีเอทิลีนต่อโพลีพรอพิลีนเท่ากับ 75/25 และศึกษาผลของอุณหภูมิเตาแก๊สซิฟายเออร์และสัดส่วนโดยมวลระหว่างอากาศต่อสารป้อน (Air to feed mass ratio) ผลจากการศึกษาแสดงให้เห็นว่าปริมาณแก๊สสังเคราะห์มากที่สุดเท่ากับ 13.40 กิโลโมลต่อชั่วโมง เมื่ออุณหภูมิเตาแก๊สซิฟายเออร์และสัดส่วนโดยมวลระหว่างอากาศต่อสารป้อนเท่ากับ 850 องศาเซลเซียส และ 5.0 ตามลำดับ หากเพิ่มสัดส่วนโดยมวลระหว่างอากาศต่อสารป้อนมากกว่า 5.0 จะทำให้ปริมาณแก๊สสังเคราะห์ที่ได้จะมีค่าลดลง เมื่อพิจารณาการดำเนินงานที่ภาวะพึ่งพาตัวเองได้ทางความร้อนพบว่ากระบวนการแก๊สซิฟิเคชันแบบที่ใช้อากาศควรถูกดำเนินงานที่อุณหภูมิของเตาแก๊สซิฟายเออร์เท่ากับ 850 องศาเซลเซียส และสัดส่วนโดยมวลระหว่างอากาศต่อสารป้อนเท่ากับ 5.2 ซึ่งจะได้ปริมาณแก๊สสังเคราะห์เท่ากับ 13.32 กิโลโมลต่อชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Report Title	Simulation of Synthesis Gas Production from Waste Plastic by Gasification
By	Miss Pornnapat Ruengrit
Degree	Bachelor of Engineering
Program	Chemical Engineering
Year	2017
Advisor	Asst. Prof. Dr. Yaneeporn Patcharavorachot

ABSTRACT

This project studied on the gasification process that produce synthesis gas by waste plastic. The dominant plastics produced worldwide are 29.6% polyethylene, 18.9% polypropylene and the others. Consequently, this project aims to develop the model of synthesis gas production from waste plastic by using AspenPlus™ simulation software. In order to obtain the maximum synthesis gas mole flow rate, the effects of gasifier temperature and steam to feed (S/F) mass ratio were examined. When pure polyethylene or pure polypropylene were used as feed, the result showed that synthesis gas mole flow rate increases with increasing gasifier temperature and it will stable at temperature higher than 900°C. The optimal S/F mass ratio was 1.5 for both of pure polyethylene and pure polypropylene. After that, the influence of polyethylene to polypropylene (PE/PP) mass ratio as 75/25, 50/50 and 25/75 were considered as a function of different gasifier temperature and S/F mass ratio. The simulation result indicated that all PE/PP mass ratio obtained the similar result. However, it was found that PE/PP mass ratio of 75/25 can provide the synthesis gas flow rate of 20.85 kmol/hr (94 %) at 900°C and S/F mass ratio of 1.5. In addition, the use of air as gasifying agent was studied at PE/PP mass ratio of 75/25 and thus, the effects of gasifier temperature and air to feed (A/F) mass ratio were further determined. The result showed the maximum synthesis gas flow rate of 13.40 kmol/hr at gasifier temperature and A/F mass ratio as 850°C and 5.0. respectively. An increase in A/F mass ratio more than 5.0 led to the decreased synthesis gas production. When, the thermal self-sufficient condition was considered, it was found that air gasification should be operated at gasifier temperature of 850°C and A/F mass ratio of 5.2. Under this operating condition, it can provide the synthesis gas flow rate as 13.32 kmol/hr.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจาก ผศ.ดร.ภูวนิพร พ็ชรวรโชติ ผู้ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ที่คอยให้คำปรึกษา คำแนะนำ ชี้แนะ และบอกถึงสิ่งที่ต้องปรับปรุง ตลอดจนถ่ายทอดความรู้ อันเป็นประโยชน์แก่ข้าพเจ้า

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่านที่ได้ให้ความรู้ เพื่อนำมาปรับใช้ และแก้ไขปัญหอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำงานวิจัยให้สำเร็จลุล่วง

ขอขอบพระคุณ ดร.อมตะ อนันต์พิณจิวฒนา อาจารย์ประจำวิชาการจำลองกระบวนการทางวิศวกรรมเคมี ผู้ซึ่งให้ความอนุเคราะห์ในการใช้ซอฟต์แวร์สำเร็จรูป AspenPlus™ ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบคุณ นางสาว มินตรา เจริญพร ที่ให้คำปรึกษา สนับสนุนการทำงาน อีกทั้งช่วยในการชี้แนะแนวทางในการจำลองกระบวนการ

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณ ผู้มีพระคุณที่ไม่ได้กล่าวนาม รวมไปถึงมารดา พี่ชายของข้าพเจ้าที่คอยสนับสนุน และให้กำลังใจจนวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จไปได้ด้วยดี

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้แก่มารดา และพี่ชายผู้ซึ่งเป็นที่รัก และเคารพยิ่งของข้าพเจ้า ตลอดจนอาจารย์ที่เคารพทุกท่าน ผู้ซึ่งถ่ายทอดความรู้ และประสบการณ์อันล้ำค่าแก่ข้าพเจ้า หากมีข้อผิดพลาดประการใด ข้าพเจ้าขออภัย ณ ที่นี้

พรนภัส เรืองฤทธิ์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป	XI
สัญลักษณ์.....	XV

บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....	2
1.4 ประโยชน์ของโครงการ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ปัญหาขยะพลาสติก.....	3
2.2 ชนิดของพลาสติก	3
2.2.1 เทอร์โมพลาสติก.....	3
2.2.2 เทอร์โมเซต.....	4
2.3 การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของพลาสติก.....	4
2.3.1 การวิเคราะห์แบบประมาณ.....	4
2.3.2 การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ	5
2.4 แก๊สสังเคราะห์	6
2.4.1 เทคโนโลยีการผลิตแก๊สสังเคราะห์.....	6
2.5 กระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน.....	6
2.5.1 โซนอบแห้ง.....	7
2.5.2 โซนไพโรไลซิส	7
2.5.3 โซนออกซิเดชัน.....	7
2.5.4 โซนรีดักชัน.....	7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	8
2.6.1 การผลิตแก๊สสังเคราะห์จากชีวมวลผสมกับพลาสติกโดยกระบวนการ แก๊สซิฟิเคชัน	8
2.6.2 การผลิตแก๊สสังเคราะห์จากพลาสติกโดยกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน	9
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน	10
3.1 การสร้างแบบจำลองกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันจากขยะพลาสติก	10
3.1.1 กระบวนการแก๊สซิฟิเคชันของพอลิเอทิลีนและพอลิพรอพิลีนโดยใช้ไอน้ำเป็นตัวทำ ปฏิกิริยา	10
3.1.2 กระบวนการแก๊สซิฟิเคชันของพลาสติกผสมระหว่างพอลิเอทิลีนกับพอลิพรอพิลีน...	11
3.1.3 รายละเอียดกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันจากขยะพลาสติก.....	12
3.2 วิธีการจำลองกระบวนการ.....	14
บทที่ 4 ผลและการวิเคราะห์ผลการจำลองกระบวนการ.....	17
4.1 การเปรียบเทียบผลการจำลองกระบวนการกับข้อมูลการทดลอง	17
4.1.1 การเปรียบเทียบผลการจำลองกระบวนการไพโรไลซิสร่วมกับแก๊สซิฟิเคชันจากขยะ พลาสติก	17
4.1.2 การเปรียบเทียบผลการจำลองกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันจากพอลิพรอพิลีน	18
4.2 ผลของสภาวะการดำเนินงานกรณีสารป้อนคือพอลิเอทิลีน	20
4.2.1 ผลของอุณหภูมิเตาแก๊สซิฟายเออร์.....	20
4.2.2 ผลของสัดส่วนโดยมวลระหว่างไอน้ำต่อพอลิเอทิลีน.....	22
4.3 ผลของสภาวะการดำเนินงานกรณีสารป้อนคือพอลิพรอพิลีน.....	25
4.3.1 ผลของอุณหภูมิเตาแก๊สซิฟายเออร์.....	25
4.3.2 ผลของสัดส่วนโดยมวลระหว่างไอน้ำต่อพอลิพรอพิลีน	27
4.4 ผลของสภาวะการดำเนินงานกรณีสารป้อนคือพอลิเอทิลีนผสมกับพอลิพรอพิลีน	30
4.4.1 ผลของอุณหภูมิเตาแก๊สซิฟายเออร์กรณีใช้ไอน้ำเป็นตัวทำปฏิกิริยา	30
4.4.2 ผลของสัดส่วนโดยมวลระหว่างไอน้ำต่อสารผสม	32
4.4.3 ผลของอุณหภูมิเตาแก๊สซิฟายเออร์กรณีใช้อากาศเป็นตัวทำปฏิกิริยา ณ สารป้อน พอลิเอทิลีนผสมกับพอลิพรอพิลีนสัดส่วนโดยมวล 75/25	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.4.4 ผลของสัดส่วนโดยมวลระหว่างอากาศต่อสารผสม ณ สารป้อนพอลิเอทิลีนผสมกับพอลิพรอพิลีนสัดส่วนโดยมวล 75/25.....	36
4.4.5 ผลของตัวทำปฏิกิริยาต่อภาวะพึ่งพาตัวเองได้ทางความร้อนกรณีสารป้อนพอลิเอทิลีนผสมกับพอลิพรอพิลีน ณ สัดส่วนโดยมวล 75/25	38
4.4.6 การเปรียบเทียบผลของตัวทำปฏิกิริยากรณีสารป้อนพอลิเอทิลีนผสมกับพอลิพรอพิลีน ณ สัดส่วนโดยมวล 75/25.....	40
บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินงาน.....	41
5.1 สรุปผลการจำลองกระบวนการ.....	41
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	41
เอกสารอ้างอิง.....	43
ภาคผนวก.....	45

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	คุณสมบัติของพอลิเอทิลีน (Polyethylene, PE)5
2.2	คุณสมบัติของพอลิพรอพิลีน (Polypropylene, PP).....5
3.1	คุณสมบัติของพอลิเอทิลีน และพอลิพรอพิลีน 13
3.2	รายละเอียดของแต่ละอุปกรณ์ในกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันจากขยะพลาสติกเพียงชนิดเดียว 15
3.3	รายละเอียดของแต่ละอุปกรณ์ในกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันจากขยะพลาสติกสองชนิดผสมกัน 16
4.1	การวิเคราะห์แบบประมาณและแบบแยกธาตุของขยะพลาสติก [13]..... 18
4.2	องค์ประกอบของแก๊สผลิตภัณฑ์จากกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันของขยะพลาสติก ที่ได้จากการทดลองของ Wu C. และคณะ [13] จากการจำลองกระบวนการ และค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างผลที่ได้จากการจำลองกระบวนการและผลจากการทดลอง..... 18
4.3	การวิเคราะห์แบบประมาณและแบบแยกธาตุของพอลิพรอพิลีน [8]..... 19
4.4	องค์ประกอบของแก๊สผลิตภัณฑ์จากกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันของพอลิพรอพิลีน ที่ได้จากการทดลองของ Wu C. และคณะ [17] จากการจำลองกระบวนการ และค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างผลที่ได้จากการจำลองกระบวนการและผลจากการทดลอง..... 19
4.5	ภาวะดำเนินงานที่เหมาะสมที่ทำให้ได้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุด และพึงพาตัวเองได้ทางความร้อน..... 40
ข.1	ผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเตาแก๊สซิฟายเออร์ ที่มีผลต่ออัตราการไหลเชิงมวลของผลิตภัณฑ์ และองค์ประกอบของแก๊สผลิตภัณฑ์ กรณีสารป้อนเป็นพอลิเอทิลีนอย่างเดียว สัดส่วนโดยมวลไอน้ำต่อพอลิเอทิลีน เท่ากับ 1 55
ข.2	ผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเตาแก๊สซิฟายเออร์ ที่มีผลต่อค่าความร้อนต่ำของแก๊สสังเคราะห์ และประสิทธิภาพเชิงความร้อนของแก๊สสังเคราะห์ กรณีสารป้อนเป็นพอลิเอทิลีนอย่างเดียว สัดส่วนโดยมวลไอน้ำต่อพอลิเอทิลีน เท่ากับ 1 56
ข.3	ผลของการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนโดยมวลระหว่างไอน้ำต่อพอลิเอทิลีน ที่มีผลต่ออัตราการไหลเชิงมวลของผลิตภัณฑ์ และองค์ประกอบของแก๊สผลิตภัณฑ์ กรณีสารป้อนเป็นพอลิเอทิลีนอย่างเดียว ณ อุณหภูมิเตาแก๊สซิฟายเออร์ เท่ากับ 900 องศาเซลเซียส 57
ข.4	ผลของการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนโดยมวลระหว่างไอน้ำต่อพอลิเอทิลีน ที่มีผลต่อค่าความร้อนต่ำของแก๊สสังเคราะห์ และประสิทธิภาพเชิงความร้อนของแก๊สสังเคราะห์ กรณีสารป้อนเป็นพอลิเอทิลีนอย่างเดียว ณ อุณหภูมิเตาแก๊สซิฟายเออร์ เท่ากับ 900 องศาเซลเซียส 58

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ข.5	ผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเตาแก๊สซีฟายเออร์ ที่มีผลต่ออัตราการไหลเชิงมวลของผลิตภัณฑ์ และองค์ประกอบของแก๊สผลิตภัณฑ์ กรณีสารป้อนเป็นพอลิพรอพิลีนอย่างเดียว ณ สัดส่วนโดยมวลไอน้ำต่อพอลิพรอพิลีน เท่ากับ 1 59
ข.6	ผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเตาแก๊สซีฟายเออร์ ที่มีผลต่อค่าความร้อนต่ำของแก๊สสังเคราะห์ และประสิทธิภาพเชิงความร้อนของแก๊สสังเคราะห์ กรณีสารป้อนเป็นพอลิพรอพิลีนอย่างเดียว ณ สัดส่วนโดยมวลไอน้ำต่อพอลิพรอพิลีน เท่ากับ 1 60
ข.7	ผลของการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนโดยมวลระหว่างไอน้ำ ที่มีต่อพอลิพรอพิลีน ที่มีผลต่ออัตราการไหลเชิงมวลของผลิตภัณฑ์ และองค์ประกอบของแก๊สผลิตภัณฑ์ กรณีสารป้อนเป็นพอลิพรอพิลีนอย่างเดียว ณ อุณหภูมิเตาแก๊สซีฟายเออร์ เท่ากับ 900 องศาเซลเซียส..... 61
ข.8	ผลของการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนโดยมวลระหว่างไอน้ำ ที่มีต่อพอลิพรอพิลีน ที่มีผลต่อค่าความร้อนต่ำของแก๊สสังเคราะห์ และประสิทธิภาพเชิงความร้อนของแก๊สสังเคราะห์ กรณีสารป้อนเป็นพอลิพรอพิลีน ณ อุณหภูมิเตาแก๊สซีฟายเออร์ เท่ากับ 900 องศาเซลเซียส.... 62
ข.9	ผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเตาแก๊สซีฟายเออร์ ที่มีผลต่ออัตราการไหลเชิงมวลของผลิตภัณฑ์ และองค์ประกอบของแก๊สผลิตภัณฑ์ กรณีสารป้อนเป็นพอลิเอทิลีนผสมกับพอลิพรอพิลีนสัดส่วนโดยมวลเท่ากับ 75/25 ณ สัดส่วนโดยมวลไอน้ำต่อสารป้อน เท่ากับ 1.. 63
ข.10	ผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเตาแก๊สซีฟายเออร์ ที่มีผลต่อค่าความร้อนต่ำของแก๊สสังเคราะห์ และประสิทธิภาพเชิงความร้อนของแก๊สสังเคราะห์ กรณีสารป้อนเป็นพอลิเอทิลีนผสมกับพอลิพรอพิลีนสัดส่วนโดยมวลเท่ากับ 75/25 ณ สัดส่วนโดยมวลไอน้ำต่อสารป้อน เท่ากับ 1..... 64
ข.11	ผลของการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนโดยมวลระหว่างไอน้ำต่อสารป้อน ที่มีผลต่ออัตราการไหลเชิงมวลของผลิตภัณฑ์ และองค์ประกอบของแก๊สผลิตภัณฑ์ กรณีสารป้อนเป็นพอลิเอทิลีนผสมกับพอลิพรอพิลีนสัดส่วนโดยมวลเท่ากับ 75/25 ณ อุณหภูมิเตาแก๊สซีฟายเออร์ เท่ากับ 900 องศาเซลเซียส 65
ข.12	ผลของการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนโดยมวลระหว่างไอน้ำต่อสารป้อน ที่มีผลต่อค่าความร้อนต่ำของแก๊สสังเคราะห์ และประสิทธิภาพเชิงความร้อนของแก๊สสังเคราะห์ กรณีสารป้อนเป็นพอลิเอทิลีนผสมกับพอลิพรอพิลีนสัดส่วนโดยมวลเท่ากับ 75/25 ณ อุณหภูมิเตาแก๊สซีฟายเออร์ เท่ากับ 900 องศาเซลเซียส..... 66
ข.13	ผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเตาแก๊สซีฟายเออร์ ที่มีผลต่ออัตราการไหลเชิงมวลของผลิตภัณฑ์ และองค์ประกอบของแก๊สผลิตภัณฑ์ กรณีสารป้อนเป็นพอลิเอทิลีนผสมกับพอลิพรอพิลีนสัดส่วนโดยมวลเท่ากับ 50/50 ณ สัดส่วนโดยมวลไอน้ำต่อสารป้อน เท่ากับ 1 ... 67

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ข.14 ผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเตาแก๊สซีฟายเออร์ ที่มีผลต่อค่าความร้อนต่ำของแก๊ส สังเคราะห์ และประสิทธิภาพเชิงความร้อนของแก๊สสังเคราะห์ กรณีสารป้อนเป็นพอลิเอทิลีน ผสมกับพอลิพรอพิลีนสัดส่วนโดยมวลเท่ากับ 50/50 ณ สัดส่วนโดยมวลไอน้ำต่อสารป้อน เท่ากับ 1.....	68
ข.15 ผลของการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนโดยมวลระหว่างไอน้ำต่อสารป้อน ที่มีผลต่ออัตราการไหลเชิง มวลของผลิตภัณฑ์ และองค์ประกอบของแก๊สผลิตภัณฑ์ กรณีสารป้อนเป็นพอลิเอทิลีนผสม กับพอลิพรอพิลีนสัดส่วนโดยมวลเท่ากับ 50/50 ณ อุณหภูมิเตาแก๊สซีฟายเออร์ เท่ากับ 900 องศาเซลเซียส	69
ข.16 ผลของการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนโดยมวลระหว่างไอน้ำต่อสารป้อน ที่มีผลต่อค่าความร้อนต่ำ ของแก๊สสังเคราะห์ และประสิทธิภาพเชิงความร้อนของแก๊สสังเคราะห์ กรณีสารป้อนเป็น พอลิเอทิลีนผสมกับพอลิพรอพิลีนสัดส่วนโดยมวลเท่ากับ 50/50 ณ อุณหภูมิเตาแก๊สซีฟาย เออร์ เท่ากับ 900 องศาเซลเซียส.....	70
ข.17 ผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเตาแก๊สซีฟายเออร์ ที่มีผลต่ออัตราการไหลเชิงมวลของ ผลิตภัณฑ์ และองค์ประกอบของแก๊สผลิตภัณฑ์ กรณีสารป้อนเป็นพอลิเอทิลีนผสมกับพอลิ- พรอพิลีนสัดส่วนโดยมวลเท่ากับ 25/75 ณ สัดส่วนโดยมวลไอน้ำต่อสารป้อน เท่ากับ 1	71
ข.18 ผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเตาแก๊สซีฟายเออร์ ที่มีผลต่อค่าความร้อนต่ำของแก๊ส สังเคราะห์ และประสิทธิภาพเชิงความร้อนของแก๊สสังเคราะห์ กรณีสารป้อนเป็นพอลิเอทิลีน ผสมกับพอลิพรอพิลีนสัดส่วนโดยมวลเท่ากับ 25/75 ณ สัดส่วนโดยมวลไอน้ำต่อสารป้อน เท่ากับ 1.....	72
ข.19 ผลของการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนโดยมวลระหว่างไอน้ำต่อสารป้อน ที่มีผลต่ออัตราการไหลเชิง มวลของผลิตภัณฑ์ และองค์ประกอบของแก๊สผลิตภัณฑ์ กรณีสารป้อนเป็นพอลิเอทิลีนผสม กับพอลิพรอพิลีนสัดส่วนโดยมวลเท่ากับ 25/75 ณ อุณหภูมิเตาแก๊สซีฟายเออร์ เท่ากับ 900 องศาเซลเซียส	73
ข.20 ผลของการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนโดยมวลระหว่างไอน้ำต่อสารป้อน ที่มีผลต่อค่าความร้อนต่ำ ของแก๊สสังเคราะห์ และประสิทธิภาพเชิงความร้อนของแก๊สสังเคราะห์ กรณีสารป้อนเป็น พอลิเอทิลีนผสมกับพอลิพรอพิลีนสัดส่วนโดยมวลเท่ากับ 25/75 ณ อุณหภูมิเตาแก๊สซีฟาย เออร์ เท่ากับ 900 องศาเซลเซียส.....	74
ข.21 ผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเตาแก๊สซีฟายเออร์ ที่มีผลต่ออัตราการไหลเชิงมวลของ ผลิตภัณฑ์ และองค์ประกอบของแก๊สผลิตภัณฑ์ กรณีสารป้อนเป็นพอลิเอทิลีนผสมกับพอลิ- พรอพิลีนสัดส่วนโดยมวลเท่ากับ 75/25 ณ สัดส่วนโดยมวลอากาศต่อสารป้อน เท่ากับ 1	75

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ข.22	ผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเตาแก๊สซีฟายเออร์ ที่มีผลต่อค่าความร้อนต่ำของแก๊ส สังเคราะห์ และประสิทธิภาพเชิงความร้อนของแก๊สสังเคราะห์ กรณีสารป้อนเป็นพอลิเอทิลีน ผสมกับพอลิพรอพิลีนสัดส่วนโดยมวลเท่ากับ 75/25 ณ สัดส่วนโดยมวลอากาศต่อสารป้อน เท่ากับ 1..... 76
ข.23	ผลของการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนโดยมวลระหว่างอากาศต่อสารป้อน ที่มีผลต่ออัตราการไหล เชิงมวลของผลิตภัณฑ์ และองค์ประกอบของแก๊สผลิตภัณฑ์ กรณีสารป้อนเป็นพอลิเอทิลีน ผสมกับพอลิพรอพิลีนสัดส่วนโดยมวลเท่ากับ 75/25 ณ อุณหภูมิเตาแก๊สซีฟายเออร์ เท่ากับ 850 องศาเซลเซียส 77
ข.24	ผลของการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนโดยมวลระหว่างอากาศต่อสารป้อน ที่มีผลต่อค่าความร้อนต่ำ ของแก๊สสังเคราะห์ และประสิทธิภาพเชิงความร้อนของแก๊สสังเคราะห์ กรณีสารป้อนเป็น พอลิเอทิลีนผสมกับพอลิพรอพิลีนสัดส่วนโดยมวลเท่ากับ 75/25 ณ อุณหภูมิเตาแก๊สซีฟาย- เออร์ เท่ากับ 850 องศาเซลเซียส 79
ข.25	ผลของการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนโดยมวลระหว่างไอน้ำต่อสารป้อน ที่มีผลต่อพลังงานที่ใช้ใน กระบวนการ กรณีสารป้อนเป็นพอลิเอทิลีนผสมกับพอลิพรอพิลีนสัดส่วนโดยมวลเท่ากับ 75/25 ณ อุณหภูมิเตาแก๊สซีฟายเออร์ เท่ากับ 850 องศาเซลเซียส 81
ข.26	ผลของการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนโดยมวลระหว่างอากาศต่อสารป้อน ที่มีผลต่อพลังงานที่ใช้ใน กระบวนการ กรณีสารป้อนเป็นพอลิเอทิลีนผสมกับพอลิพรอพิลีนสัดส่วนโดยมวลเท่ากับ 75/25 ณ อุณหภูมิเตาแก๊สซีฟายเออร์ เท่ากับ 850 องศาเซลเซียส 82

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	ลำดับชั้นกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน.....7
3.1	กระบวนการแก๊สซิฟิเคชันโดยใช้ไอน้ำเป็นตัวทำปฏิกิริยา สำหรับการใช้น้ำ (ก) พอลิเอทิลีน และ (ข) พอลิพรอพิลีน เป็นสารป้อน..... 11
3.2	กระบวนการแก๊สซิฟิเคชันของพลาสติกผสมระหว่างพอลิเอทิลีนผสมกับพอลิพรอพิลีน โดยใช้ตัวทำปฏิกิริยาเป็น (ก) ไอน้ำ และ (ข) อากาศ..... 12
3.3	แผนผังจำลองกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันจากขยะพลาสติก..... 14
4.1	ผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในเตาแก๊สซิฟายเออร์ ที่มีต่อสัดส่วนโดยโมลของผลิตภัณฑ์แก๊ส ณ สัดส่วนโดยมวลระหว่างไอน้ำต่อพอลิเอทิลีน เท่ากับ 1..... 21
4.2	ผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในเตาแก๊สซิฟายเออร์ ที่มีต่ออัตราการไหลเชิงโมลของแก๊สสังเคราะห์ ณ สัดส่วนโดยมวลระหว่างไอน้ำต่อพอลิเอทิลีน เท่ากับ 1..... 21
4.3	ผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในเตาแก๊สซิฟายเออร์ ที่มีต่อค่าความร้อนต่ำของแก๊สสังเคราะห์ ณ สัดส่วนโดยมวลระหว่างไอน้ำต่อพอลิเอทิลีน เท่ากับ 1..... 22
4.4	ผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในเตาแก๊สซิฟายเออร์ ที่มีต่อร้อยละของประสิทธิภาพเชิงความร้อนของแก๊สสังเคราะห์ ณ สัดส่วนโดยมวลระหว่างไอน้ำต่อพอลิเอทิลีน เท่ากับ 1..... 22
4.5	ผลของสัดส่วนโดยมวลระหว่างไอน้ำต่อพอลิเอทิลีน ที่มีต่อสัดส่วนโดยโมลของผลิตภัณฑ์แก๊ส ณ อุณหภูมิเตาแก๊สซิฟายเออร์ เท่ากับ 900 องศาเซลเซียส..... 23
4.6	ผลของสัดส่วนโดยมวลระหว่างไอน้ำต่อพอลิเอทิลีน ที่มีต่ออัตราการไหลเชิงโมลของแก๊สสังเคราะห์ ณ อุณหภูมิเตาแก๊สซิฟายเออร์ เท่ากับ 900 องศาเซลเซียส..... 24
4.7	ผลของสัดส่วนโดยมวลระหว่างไอน้ำต่อพอลิเอทิลีน ที่มีต่อค่าความร้อนต่ำของแก๊สสังเคราะห์ ณ อุณหภูมิเตาแก๊สซิฟายเออร์ เท่ากับ 900 องศาเซลเซียส..... 24
4.8	ผลของสัดส่วนโดยมวลระหว่างไอน้ำต่อพอลิเอทิลีน ที่มีต่อร้อยละของประสิทธิภาพเชิงความร้อน ณ อุณหภูมิเตาแก๊สซิฟายเออร์ เท่ากับ 900 องศาเซลเซียส..... 25
4.9	ผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในเตาแก๊สซิฟายเออร์ ที่มีต่อสัดส่วนโดยโมลของผลิตภัณฑ์แก๊ส ณ สัดส่วนโดยมวลระหว่างไอน้ำต่อพอลิพรอพิลีน เท่ากับ 1..... 26
4.10	ผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในเตาแก๊สซิฟายเออร์ ที่มีต่ออัตราการไหลเชิงโมลของแก๊สสังเคราะห์ ณ สัดส่วนโดยมวลระหว่างไอน้ำต่อพอลิพรอพิลีน เท่ากับ 1..... 26
4.11	ผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในเตาแก๊สซิฟายเออร์ ที่มีต่อค่าความร้อนต่ำของแก๊สสังเคราะห์ ณ สัดส่วนโดยมวลระหว่างไอน้ำต่อพอลิพรอพิลีน เท่ากับ 1..... 27

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.12	ผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในเตาแก๊สซีฟายเออร์ ต่อร้อยละของประสิทธิภาพเชิงความร้อนของแก๊สสังเคราะห์ ณ สัดส่วนโดยมวลระหว่างไอน้ำต่อพอลิพรอพิลีน เท่ากับ 1	27
4.13	ผลของสัดส่วนโดยมวลระหว่างไอน้ำต่อพอลิพรอพิลีน ที่มีต่อสัดส่วนโดยโมลของผลิตภัณฑ์แก๊ส ณ อุณหภูมิเตาแก๊สซีฟายเออร์ เท่ากับ 900 องศาเซลเซียส	28
4.14	ผลของสัดส่วนโดยมวลระหว่างไอน้ำต่อพอลิพรอพิลีน ที่มีต่ออัตราการไหลเชิงโมลของแก๊สสังเคราะห์ ณ อุณหภูมิเตาแก๊สซีฟายเออร์ เท่ากับ 900 องศาเซลเซียส	29
4.15	ผลของสัดส่วนโดยมวลระหว่างไอน้ำต่อพอลิพรอพิลีน ที่มีต่อค่าความร้อนต่ำของแก๊สสังเคราะห์ ณ อุณหภูมิเตาแก๊สซีฟายเออร์ เท่ากับ 900 องศาเซลเซียส	29
4.16	ผลของสัดส่วนโดยมวลระหว่างไอน้ำต่อพอลิพรอพิลีน ที่มีต่อร้อยละของประสิทธิภาพเชิงความร้อน ณ อุณหภูมิเตาแก๊สซีฟายเออร์ เท่ากับ 900 องศาเซลเซียส	30
4.17	ผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในเตาแก๊สซีฟายเออร์ ที่มีต่ออัตราการไหลเชิงโมลของแก๊สสังเคราะห์ ณ สัดส่วนโดยมวลระหว่างไอน้ำต่อสารผสม เท่ากับ 1	31
4.18	ผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในเตาแก๊สซีฟายเออร์ ที่มีต่อค่าความร้อนต่ำของแก๊สสังเคราะห์ ณ สัดส่วนโดยมวลระหว่างไอน้ำต่อสารผสม เท่ากับ 1	31
4.19	ผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในเตาแก๊สซีฟายเออร์ ที่มีต่อร้อยละของประสิทธิภาพเชิงความร้อน ณ สัดส่วนโดยมวลระหว่างไอน้ำต่อสารผสม เท่ากับ 1	32
4.20	ผลของการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนโดยมวลระหว่างไอน้ำต่อสารผสม ที่มีต่ออัตราการไหลเชิงโมลของแก๊สสังเคราะห์ ณ อุณหภูมิเตาแก๊สซีฟายเออร์ เท่ากับ 900 องศาเซลเซียส.....	33
4.21	ผลของการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนโดยมวลระหว่างไอน้ำต่อสารผสม ที่มีต่อค่าความร้อนต่ำของแก๊สสังเคราะห์ ณ อุณหภูมิเตาแก๊สซีฟายเออร์ เท่ากับ 900 องศาเซลเซียส	33
4.22	ผลของการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนโดยมวลระหว่างไอน้ำต่อสารผสม ที่มีต่อร้อยละของประสิทธิภาพเชิงความร้อน ณ อุณหภูมิเตาแก๊สซีฟายเออร์ เท่ากับ 900 องศาเซลเซียส	34
4.23	ผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในเตาแก๊สซีฟายเออร์ ที่มีต่อสัดส่วนโดยโมลของผลิตภัณฑ์แก๊ส กรณีสารป้อนเป็นพอลิเอทิลีนผสมกับพอลิพรอพิลีนสัดส่วนโดยมวล เท่ากับ 75/25 ณ สัดส่วนโดยมวลอากาศต่อสารป้อน เท่ากับ 1	35

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.24	ผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในเตาแก๊สซีฟายเออร์ ที่มีต่ออัตราการไหลเชิงโมลของแก๊สสังเคราะห์ กรณีสารป้อนเป็นพอลิเอทิลีนผสมกับพอลิพรอพิลีนสัดส่วนโดยมวลเท่ากับ 75/25 ณ สัดส่วนโดยมวลอากาศต่อสารป้อน เท่ากับ 1	35
4.25	ผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในเตาแก๊สซีฟายเออร์ ที่มีต่อร้อยละของประสิทธิภาพเชิงความร้อนของแก๊สสังเคราะห์กรณีสารป้อนเป็นพอลิเอทิลีนผสมกับพอลิพรอพิลีนสัดส่วนโดยมวลเท่ากับ 75/25 ณ สัดส่วนโดยมวลอากาศต่อสารป้อน เท่ากับ 1	36
4.26	ผลของสัดส่วนโดยมวลระหว่างอากาศต่อสารป้อน ที่มีต่อสัดส่วนโดยโมลของผลิตภัณฑ์แก๊ส กรณีสารป้อนเป็นพอลิเอทิลีนผสมกับพอลิพรอพิลีนสัดส่วนโดยมวลเท่ากับ 75/25 ณ อุณหภูมิเตาแก๊สซีฟายเออร์ เท่ากับ 850 องศาเซลเซียส.....	37
4.27	ผลของสัดส่วนโดยมวลระหว่างอากาศต่อสารป้อน ที่มีต่ออัตราการไหลเชิงโมลของแก๊สสังเคราะห์ กรณีสารป้อนเป็นพอลิเอทิลีนผสมกับพอลิพรอพิลีนสัดส่วนโดยมวลเท่ากับ 75/25 ณ อุณหภูมิเตาแก๊สซีฟายเออร์ เท่ากับ 850 องศาเซลเซียส.....	37
4.28	ผลของสัดส่วนโดยมวลระหว่างอากาศต่อสารป้อน ที่มีต่อร้อยละของประสิทธิภาพเชิงความร้อน กรณีสารป้อนเป็นพอลิเอทิลีนผสมกับพอลิพรอพิลีนสัดส่วนโดยมวลเท่ากับ 75/25 ณ อุณหภูมิเตาแก๊สซีฟายเออร์ เท่ากับ 850 องศาเซลเซียส.....	38
4.29	ผลของการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนโดยมวลระหว่างไอน้ำต่อสารผสม ที่มีต่อพลังงานรวมที่ใช้ในกระบวนการ ณ อุณหภูมิเตาแก๊สซีฟายเออร์ เท่ากับ 900 องศาเซลเซียส และสัดส่วนโดยมวลระหว่างระหว่างพอลิเอทิลีนกับพอลิพรอพิลีนเท่ากับ 75/25	39
4.30	ผลของการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนโดยมวลระหว่างอากาศต่อสารผสม ที่มีต่อพลังงานรวมที่ใช้ในกระบวนการ ณ อุณหภูมิเตาแก๊สซีฟายเออร์ เท่ากับ 850 องศาเซลเซียส และสัดส่วนโดยมวลระหว่างพอลิเอทิลีนกับพอลิพรอพิลีนเท่ากับ 75/25.....	39
ก.1	การเลือกเหมพลตสำหรับกระบวนการที่มีองค์ประกอบของแข็ง.....	47
ก.2	การเลือกองค์ประกอบของสารที่ใช้ในการจำลองกระบวนการ	47
ก.3	การเลือกสมการทางเทอร์โมไดนามิกส์	48
ก.4	การระบุข้อมูลเพิ่มเติมสำหรับสารที่เป็น Nonconventional	48
ก.5	การเลือก Stream class	49
ก.6	กระบวนการแก๊สซีฟายเคชันในหน้า Main Flowsheet	49
ก.7	การระบุข้อมูลในสาย PE	50
ก.8	การระบุข้อมูลในสาย WATER	50
ก.9	การระบุข้อมูลใน HEATER1.....	51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา XIII ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
ก.10	การระบุอุณหภูมิและความดันที่ใช้ ใน DECOMP	51
ก.11	การระบุร้อยละผลได้ของแต่ละธาตุใน DECOMP	52
ก.12	การระบุองค์ประกอบ ASH ใน DECOMP	52
ก.13	การระบุตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในการคำนวณร้อยละผลได้ของแต่ละธาตุใน DECOMP	52
ก.14	การสร้างสมการใน Calculator	53
ก.15	การระบุลำดับการคำนวณใน Calculator	53
ก.16	การระบุข้อมูลใน GASIFIER	53



สัญลักษณ์

สัญลักษณ์	ความหมาย
S/F	อัตราส่วนโดยมวลระหว่างไอน้ำต่อสารป้อน
A/F	อัตราส่วนโดยมวลระหว่างอากาศต่อสารป้อน
PE/PP	อัตราส่วนโดยมวลระหว่างพอลิเอทิลีนต่อพอลิพรอพิลีน
y_{CO}	สัดส่วนโดยโมลของคาร์บอนมอนอกไซด์
y_{H_2}	สัดส่วนโดยโมลของไฮโดรเจน
T_G	อุณหภูมิที่ใช้ในการดำเนินงานภายในเตาแก๊สซีฟาย (องศาเซลเซียส)
P_G	ความดันที่ใช้ในการดำเนินงานภายในเตาแก๊สซีฟาย (องศาเซลเซียส)
LHV_{syngas}	ค่าความร้อนต่ำของแก๊สสังเคราะห์ (เมกะจูลต่อลูกบาศก์เมตรปกติ)
LHV_{feed}	ค่าความร้อนต่ำของสารป้อน (เมกะจูลต่อกิโลกรัม)
\dot{V}_{syngas}	อัตราการไหลเชิงปริมาตรของแก๊สสังเคราะห์ (ลูกบาศก์เมตรปกติต่อชั่วโมง)
\dot{m}_{feed}	อัตราการไหลเชิงมวลของสารป้อน (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)
CGE	เปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของแก๊สสังเคราะห์
H_2+CO	ผลรวมของอัตราการไหลเชิงโมลของไฮโดรเจนกับคาร์บอนมอนอกไซด์ (กิโลโมลต่อชั่วโมง)

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

ปัจจุบันขยะพลาสติกมีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของประชากรโลก และการเติบโตทางเศรษฐกิจ ทำให้ผู้คนใช้พลาสติกจนเกินความจำเป็น โดยขยะพลาสติกที่พบทั่วโลก ส่วนใหญ่ประกอบด้วย พอลิเอทิลีน (Polyethylene, PE) 29.6 เปอร์เซ็นต์ พอลิพรอพิลีน (Polypropylene, PP) 18.9 เปอร์เซ็นต์ และ อื่นๆ [1] ซึ่งเป็นปัญหาที่ต้องหาวิธีการจัดการที่เหมาะสม โดยวิธีการจัดการกับขยะในชุมชนที่นิยมมีทั้งการฝังกลบ และการเผาโดยตรง การฝังกลบเป็นวิธีการที่ไม่ได้ดึงพลังงานในพลาสติกกลับมาใช้ ส่วนวิธีการเผาโดยตรงแม้ว่าจะได้พลังงานออกมา แต่จะมีมลพิษออกมาจำนวนมาก เช่น แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเป็นสาเหตุหลักของภาวะโลกร้อน

นอกจากการกำจัดขยะพลาสติกตามวิธีข้างต้นที่ได้กล่าวมา ยังมีวิธีการเพิ่มมูลค่า โดยการเปลี่ยนขยะพลาสติกให้เป็นแก๊สสังเคราะห์ (Synthesis gas) ซึ่งมีความหนาแน่นของพลังงาน ประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ ของแก๊สธรรมชาติ [2] ซึ่งแก๊สสังเคราะห์สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายอย่าง เช่น ใช้เป็นเชื้อเพลิงโดยตรง ผลิตสารเคมี หรือใช้เป็นเชื้อเพลิงในเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็ง (Solid oxide fuel cell) เพื่อผลิตเป็นกระแสไฟฟ้า

ปัจจุบันมีเทคโนโลยีที่สามารถเปลี่ยนขยะพลาสติกให้เป็นแก๊สสังเคราะห์ โดยอาศัยกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางอุณหภูมิจน เช่น กระบวนการไพโรไลซิส (Pyrolysis) เป็นกระบวนการที่ให้ความร้อนแก่ขยะพลาสติกโดยปราศจากอากาศ หรือจำกัดอากาศให้น้อยที่สุด กระบวนการนี้ได้น้ำมันเชื้อเพลิงเป็นส่วนใหญ่ ตามด้วยถ่านชาร์ และแก๊สสังเคราะห์ โดยกระบวนการจะใช้อุณหภูมิอยู่ในช่วง 300 ถึง 650 องศาเซลเซียส อีกกระบวนการคือกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน (Gasification) เป็นกระบวนการที่ให้ความร้อนแก่ขยะพลาสติกโดยจำกัดตัวทำปฏิกิริยา (Gasifying agent) เช่น อากาศ ไอน้ำ หรือ อื่นๆ ได้ผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่เป็นแก๊สสังเคราะห์ ตามด้วยถ่านชาร์ และ น้ำมันดิน ซึ่งดำเนินการอยู่ในช่วงอุณหภูมิ 500 ถึง 1,300 องศาเซลเซียส [3] โดยภายในเตาแก๊สซิฟายเออร์สามารถแบ่งเป็นโซนต่างๆได้ 4 โซน คือ อบแห้ง ไพโรไลซิส เผาไหม้ และรีดักชัน

ในโครงการนี้สนใจที่จะศึกษากระบวนการเปลี่ยนขยะพลาสติก ได้แก่ พอลิเอทิลีน และพอลิพรอพิลีน ซึ่งเป็นพลาสติกที่มีอยู่มากในขยะพลาสติก ให้เป็นแก๊สสังเคราะห์โดยใช้กระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน ซึ่งจำลองกระบวนการโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป AspenPlus™ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาสภาวะดำเนินงานที่เหมาะสมในการผลิตแก๊สสังเคราะห์ให้มากที่สุด

1.2 วัตถุประสงค์

ศึกษาและพัฒนาแบบจำลองกระบวนการผลิตแก๊สสังเคราะห์จากขยะพลาสติก ด้วยกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน ซึ่งขยะพลาสติกที่นำมาศึกษาจะมีส่วนประกอบหลักคือ พอลิเอทิลีน และพอลิพรอพิลีน เพื่อดำเนินการหาค่าส่วนระหว่างพลาสติกสองชนิดนี้ที่ให้ผลผลิตแก๊สสังเคราะห์มากที่สุด และหาสภาวะการดำเนินงานที่เหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1. ศึกษาและพัฒนาแบบจำลองของกระบวนการผลิตแก๊สสังเคราะห์จากขยะพลาสติก ด้วยกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน โดยซอฟต์แวร์สำเร็จรูป AspenPlus™ และเปรียบเทียบผลการจำลองกระบวนการกับข้อมูลการทดลองเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

2. จำลองกระบวนการ เพื่อศึกษาสภาวะการดำเนินงานที่มีผลต่อการผลิตแก๊สสังเคราะห์ โดยปัจจัยที่ศึกษามีดังนี้

- 1) อุณหภูมิของเตาแก๊สซิฟายเออร์ (650 ถึง 1,100 องศาเซลเซียส)
- 2) อัตราส่วนโดยมวลระหว่างพอลิเอทิลีนต่อพอลิพรอพิลีน (100/0 75/25 50/50 25/75 และ 0/100)
- 3) อัตราส่วนโดยมวลระหว่างไอน้ำต่อพลาสติก (0.25 ถึง 3.00)
- 4) อัตราส่วนโดยมวลระหว่างอากาศต่อพลาสติก (0.25 ถึง 5.50)

1.4 ประโยชน์ของโครงการ

1. สามารถออกแบบกระบวนการผลิตแก๊สสังเคราะห์จากขยะพลาสติก ด้วยกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันได้

2. ทราบสภาวะการดำเนินงานที่เหมาะสมสำหรับการผลิตแก๊สสังเคราะห์จากขยะพลาสติก

3. ทราบสัดส่วนระหว่างพลาสติกพอลิเอทิลีนกับพอลิพรอพิลีนในสายป้อน ที่ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์แก๊สสังเคราะห์มากที่สุด

4. ทราบตัวทำปฏิกิริยาที่เหมาะสมในกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันที่จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์แก๊สสังเคราะห์มากที่สุด และตัวทำปฏิกิริยาที่ทำให้เกิดภาวะพึงพาตัวเองได้ทางความร้อน

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ปัญหาขยะพลาสติก

ในช่วง 10 ปี ที่ผ่านมาประเทศไทยมีขยะพลาสติกเกิดขึ้นประมาณ 12 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณขยะที่เกิดขึ้นทั้งหมด หรือประมาณปีละ 2 ล้านตัน มีการนำขยะพลาสติกกลับไปใช้ประโยชน์ โดยการแปรรูปกลับไปใช้ใหม่ประมาณปีละ 0.5 ล้านตัน ของปริมาณขยะพลาสติกที่เกิดขึ้นทั้งหมด บางส่วนถูกทิ้งลงในที่สาธารณะ และที่ดินเอกชน ที่รกร้างว่างเปล่า และบางส่วนถูกเก็บรวบรวมไปกำจัด ณ สถานที่กำจัดขยะมูลฝอยขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น [4]

2.2 ชนิดของพลาสติก

พลาสติกเป็นวัสดุที่ได้จากการสังเคราะห์สารอินทรีย์ด้วยปฏิกิริยาทางเคมี โครงสร้างหลักประกอบด้วยคาร์บอน และไฮโดรเจน ซึ่งพลาสติกสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ตามโครงสร้าง ได้แก่ เทอร์โมพลาสติก และเทอร์โมเซต [5]

2.2.1 เทอร์โมพลาสติก

พลาสติกประเภทนี้มักได้จากปฏิกิริยาพอลิเมอร์เชนแบบเติม มีโครงสร้างโมเลกุลเป็นโซ่ตรงยาว หรือมีกิ่ง สามารถนำมาหลอมซ้ำได้ด้วยความร้อน และนำกลับมาใช้ใหม่ได้ ยกตัวอย่างเช่น

2.2.1.1 พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE)

เม็ดพลาสติกมีสีทึบ มีความแข็งแรงสูง ทนอุณหภูมิสูง คงรูป ทนต่อกรด ด่าง ได้น้อย ตัวอย่างการใช้งาน เช่น ขวด ถัง ภาชนะบรรจุ เครื่องใช้ในบ้าน เป็นต้น

2.2.1.2 พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE)

เม็ดพลาสติกโปร่งแสง โกงตัวได้มาก ทนอุณหภูมิสูง ผิวไม่แข็ง ทนต่อกรด ด่างได้น้อย ตัวอย่างการใช้งาน เช่น ขวด ถุงพลาสติก ถัง เครื่องใช้ในบ้าน เป็นต้น

2.2.1.3 พอลิพรอพิลีน (PP)

เม็ดพลาสติกโปร่งใส ทนต่อการแปรรูปด้วยความร้อน ทนต่อแรงกระแทก ผิวแข็งไม่มีแนวโน้มของการสึกกร่อน ไม่ดูดซึมน้ำ เพราะที่อุณหภูมิต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียส ทนต่อกรดอ่อนและด่างอ่อน ตัวอย่างการใช้งาน เครื่องใช้ในบ้าน ถุงพลาสติกร้อน ชิ้นส่วนทางไฟฟ้า เป็นต้น

2.2.1.4 พอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC)

เป็นผงละเอียด หรือเป็นเม็ด มีความแข็งแรงสูง แข็งเปราะ ติดไฟยาก ทนต่อกรดและด่าง ตัวอย่างการใช้งาน ท่อน้ำ ชิ้นส่วนภายในบ้าน ฉนวนไฟฟ้า เป็นต้น

2.2.1.5 พอลิสไตรีน (PS)

เม็ดพลาสติกเป็นทรงกระบอกใส มีความแข็งแรงมาก เป็นฉนวนไฟฟ้า ทนต่อความชื้น ทนต่อกรด และด่าง ตัวอย่างการใช้งาน ชิ้นส่วนก่อสร้าง ฉนวนอุปกรณ์ไฟฟ้า มักเติมสารเพื่อให้พลาสติกเกิดการแทรกตัวของก๊าซในเนื้อพลาสติก กลายเป็นโฟมที่ใช้บรรจุอาหาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 เทอร์โมเซต

พลาสติกประเภทนี้มักได้จากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบคอนเดนเซชัน มีโครงสร้างลักษณะเป็นร่างแหหรือมีการเชื่อมโยงกันระหว่างโมเลกุล เมื่อโดนความร้อนไม่สามารถอ่อนตัว หรือหลอมขึ้นรูปใหม่ได้ แต่จะเกิดการสลายตัวหรือไหม้ในที่สุด ยกตัวอย่างเช่น

2.2.2.1 เมลามีน ฟอรัมาลดีไฮด์ (Melamine formaldehyde)

มีทั้งเป็นผง และเป็นเม็ด สีขุ่นทึบ เนื้อแข็งมาก ทนต่อการขีดข่วน เหนียวไม่แตกง่าย ไม่อ่อนตัวเมื่อโดนความร้อนแต่จะไหม้เกรียมแทน เป็นฉนวนไฟฟ้า ไม่ดูดความชื้น ตัวอย่างการใช้งาน ทำจาน ชาม หรือเครื่องใช้ภายในครัว เครื่องประดับ สวิตช์ไฟฟ้า เป็นต้น

2.2.2.2 พอลิเอสเตอร์ (Polyester)

ของเหลวใส การยืดเกาะสูงและทนต่อแรงดึงมาก มีความทนทานต่อการใช้ ตัวอย่างการใช้งาน ทำพลาสติกสำหรับผิวเคลือบ เส้นใย พิล์ม และยาง เป็นต้น

จากพลาสติกชนิดต่างๆที่ได้กล่าวมาข้างต้นนั้น ในโครงการนี้สนใจศึกษาอิทธิพลสัดส่วนของพลาสติกพอลิเอทิลีน ต่อพอลิพรอพิลีน เนื่องจากพลาสติกทั้งสองชนิดเป็นส่วนประกอบหลักในขยะพลาสติก

2.3 การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของพลาสติก

เพื่อรู้จักประกอบพลาสติกที่ใช้เป็นสารตั้งต้นในกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันในซอฟต์แวร์สำเร็จรูป AspenPlus™ โดยแบ่งการวิเคราะห์ที่ได้เป็น 2 วิธี [6] คือ

2.3.1 การวิเคราะห์แบบประมาณ (Proximate analysis)

เป็นวิธีการวิเคราะห์แบบประมาณ โดยการเผาวัตถุดิบภายใต้เงื่อนไขที่แตกต่างกัน เพื่อหาความสัมพันธ์ของ ความชื้น สารระเหย ซี้เถ้า และปริมาณคาร์บอนคงตัว

2.3.1.1 ความชื้น (Moisture)

ปริมาณน้ำที่อยู่ในวัตถุดิบที่ต้องการวิเคราะห์ โดยในกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันค่าความชื้นของวัตถุดิบที่เหมาะสมในการนำมาใช้งานควรมีค่าต่ำกว่าร้อยละ 30 โดยมวล

2.3.1.2 สารระเหย (Volatile matter)

ส่วนประกอบที่สามารถถูกเผาไหม้ได้ง่าย ซึ่งหากมีค่าสารระเหยที่สูงแสดงว่าวัตถุดิบติดไฟได้ง่าย

2.3.1.3 ซี้เถ้า (Ash)

ส่วนประกอบที่เผาไหม้ไม่ได้ เป็นส่วนประกอบอนินทรีย์ที่มีอยู่ในวัตถุดิบ โดยเป็นส่วนที่เหลือจากการเผาไหม้

2.3.1.4 คาร์บอนคงตัว (Fixed carbon)

ส่วนประกอบที่สามารถเผาไหม้ได้ ซึ่งเป็นส่วนที่ให้ความร้อน โดยหากค่าคาร์บอนคงตัวสูงจะให้ความร้อนที่สูงตาม

$$\text{เปอร์เซ็นต์โดยมวลคาร์บอนคงตัว} = 100 - (\text{ความชื้น} + \text{ซี้เถ้า} + \text{สารระเหย})$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (Ultimate analysis)

เป็นการวิเคราะห์ส่วนประกอบของเชื้อเพลิงเพื่อใช้ในการหาค่าความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ โดยจะรายงานเป็นปริมาณร้อยละของธาตุต่างๆ ที่ประกอบขึ้นเป็นวัตถุดิบ เช่น คาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) ไนโตรเจน (N) ออกซิเจน (O) และกำมะถัน (S)

การวิเคราะห์แบบประมาณและแบบแยกธาตุของพลาสติกที่ต้องการศึกษา พอลิเอทิลีน และ พอลิพรอพิลีนแสดงดังตารางที่ 2.1 [7] และ 2.2 [8]

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติของพอลิเอทิลีน (Polyethylene, PE)

การวิเคราะห์แบบประมาณ (Proximate analysis, wt% dry basis)	
ปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed carbon)	0
สารระเหย (Volatile matter)	99.85
เถ้า (Ash)	0.15
ความชื้น (Moisture, wt%)*	0.02
การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (Ultimate analysis, wt% dry basis)	
คาร์บอน (Carbon)	85.81
ไฮโดรเจน (Hydrogen)	13.86
ออกซิเจน (Oxygen)	0
ไนโตรเจน (Nitrogen)	0.12
กำมะถัน (Sulfur)	0.06

* wet basis

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติของพอลิพรอพิลีน (Polypropylene, PP)

การวิเคราะห์แบบประมาณ (Proximate analysis, wt% dry basis)	
ปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed carbon)	0
สารระเหย (Volatile matter)	99.30
เถ้า (Ash)	0.70
ความชื้น (Moisture, wt%)	-
การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (Ultimate analysis, wt% as received basis)	
คาร์บอน (Carbon)	86.42
ไฮโดรเจน (Hydrogen)	12.28
ออกซิเจน (Oxygen)	0
ไนโตรเจน (Nitrogen)	0.72
กำมะถัน (Sulfur)	0.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 แก๊สสังเคราะห์ (Synthesis gas)

ส่วนประกอบหลักของแก๊สสังเคราะห์ ประกอบด้วย ไฮโดรเจน และคาร์บอนมอนอกไซด์ แก๊สสังเคราะห์สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายอย่าง เช่น ใช้เป็นเชื้อเพลิงโดยตรง ผลิตสารเคมี หรือใส่ในเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็ง (Solid oxide fuel cell) เพื่อผลิตเป็นกระแสไฟฟ้า โดยแก๊สสังเคราะห์สามารถผลิตได้จากวัตถุดิบที่ประกอบด้วยธาตุคาร์บอน และไฮโดรเจน เช่น เชื้อเพลิงฟอสซิล ได้แก่ แก๊สธรรมชาติ ถ่านหิน น้ำมันปิโตรเลียม จากพลังงานหมุนเวียน ได้แก่ ชีวมวล ขยะ พลาสติก และอื่นๆ [9]

2.4.1 เทคโนโลยีการผลิตแก๊สสังเคราะห์

เทคโนโลยีในการผลิตแก๊สสังเคราะห์จะสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 เทคโนโลยีหลัก [10] ได้แก่

2.4.1.1 กระบวนการความร้อนเคมี (Thermochemical process)

สามารถผลิตแก๊สสังเคราะห์ด้วยปฏิกิริยาทางเคมีโดยใช้ความร้อน จากวัตถุดิบหลักที่เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ซึ่งการผลิตแก๊สสังเคราะห์โดยกระบวนการความร้อนเคมีได้แก่ กระบวนการรีฟอร์มมิ่งด้วยไอน้ำ (Steam reforming) กระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน (Gasification)

2.4.1.2 กระบวนการไฟฟ้าเคมี (Electrochemical process)

กรณีที่ต้องการไฮโดรเจนเพียงอย่างเดียวจะใช้ไฟฟ้าเพื่อแยกน้ำจะได้ไฮโดรเจน และออกซิเจน การผลิตคาร์บอนมอนอกไซด์สามารถแยกได้จากคาร์บอนไดออกไซด์ โดยสามารถแยกคาร์บอนไดออกไซด์พร้อมกับการแยกน้ำได้ ซึ่งจะได้ผลิตภัณฑ์เป็นแก๊สสังเคราะห์

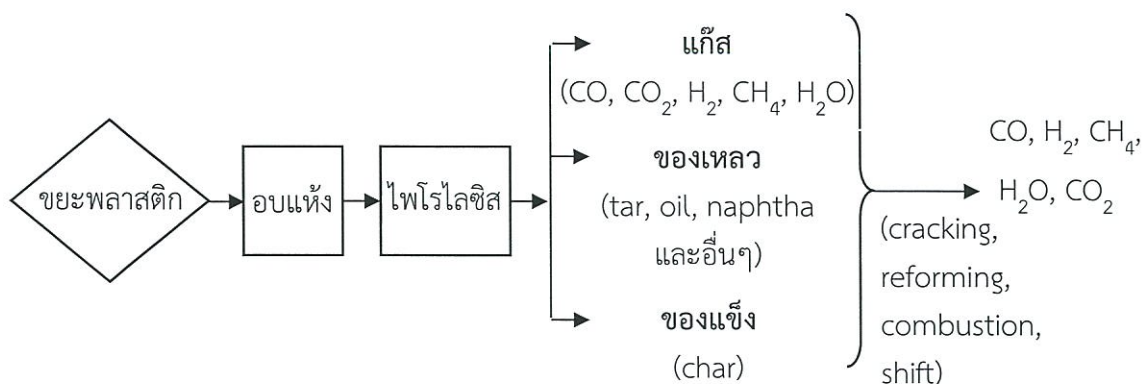
2.4.1.3 กระบวนการชีวเคมี (Biochemical process)

เป็นกระบวนการผลิตแก๊สสังเคราะห์โดยอาศัย กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของสิ่งมีชีวิตขนาดเล็ก เช่น จุลินทรีย์ และสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน วิธีนี้ไม่ค่อยเป็นที่นิยมเพราะ มีประสิทธิภาพต่ำ ความสามารถในการผลิตถูกจำกัดด้วยความเข้มแสงที่ได้รับ

2.5 กระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน (Gasification)

เป็นกระบวนการที่ทำให้วัตถุดิบที่มีสถานะเป็นของแข็ง หรือของเหลว เปลี่ยนรูปเป็นแก๊สสังเคราะห์ ถ่านชาร์ และ น้ำมันดิน โดยอาศัยกระบวนการทางเคมีความร้อนในสภาวะจำกัดตัวทำปฏิกิริยา (Gasifying agent) เช่น อากาศ ไอน้ำ หรืออื่นๆ หากใช้อากาศเป็นตัวทำปฏิกิริยาต้องควบคุมปริมาณออกซิเจนในสัดส่วนที่ต่ำกว่าปริมาณที่ทำให้เกิดการเผาไหม้เชื้อเพลิงอย่างสมบูรณ์ ทำให้เกิดการแตกตัวเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ซึ่งผลิตภัณฑ์สุดท้ายประกอบด้วยแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (Carbon monoxide, CO) แก๊สไฮโดรเจน (Hydrogen, H₂) แก๊สมีเทน (Methane, CH₄) แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon dioxide, CO₂) และอื่นๆ ปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดขึ้นจะมีความซับซ้อน และสามารถเกิดผลิตภัณฑ์หรือแก๊สหลายชนิดขึ้นอยู่กับลักษณะของวัตถุดิบและสภาวะในการดำเนินงาน โดยภายในเตาแก๊สซิฟิเคชันมีกระบวนการดังรูปที่ 2.1 [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 ลำดับขั้นกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน

2.5.1 โชนอบแห้ง (Drying)

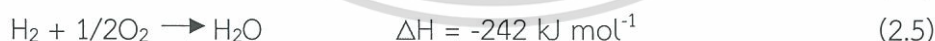
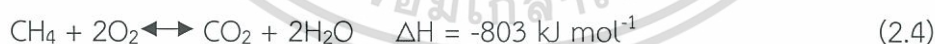
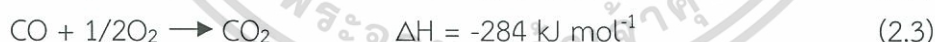
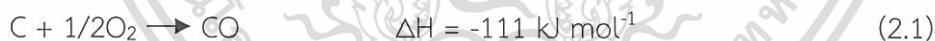
ส่วนนี้จะระเหยน้ำที่อยู่ในวัตถุดิบ โดยน้ำจะระเหยที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ สารมวลโมเลกุลต่ำก็จะเริ่มระเหย โดยค่าความชื้นของวัตถุดิบที่เหมาะสมในการนำมาใช้งานควรมีค่าต่ำกว่าร้อยละ 30 โดยมวล เพื่อให้วัตถุดิบแห้งและง่ายต่อการติดไฟ

2.5.2 โชนไพโรไลซิส (Pyrolysis)

ส่วนนี้จะไม่มีตัวทำปฏิกิริยาจากภายนอก ใช้ความร้อนสลายพันธะสารมวลโมเลกุลใหญ่เป็นสารมวลโมเลกุลเล็ก โดยแก๊สผลิตภัณฑ์ที่ได้มีทั้งส่วนที่สามารถควบแน่นได้ และส่วนที่ควบแน่นไม่ได้ โดยอุณหภูมิอยู่ในช่วง 200-500 องศาเซลเซียส

2.5.3 โชนออกซิเดชัน (Oxidation)

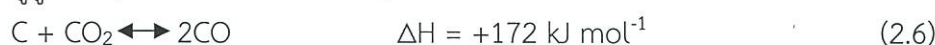
ส่วนนี้ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากโชนไพโรไลซิสไหลลงมาทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับอากาศ หากป้อนอากาศเป็นตัวทำปฏิกิริยา โดยปฏิกิริยาที่เป็นไปได้มีดังนี้



2.5.4 โชนรีดักชัน (Reduction)

ส่วนนี้สามารถเรียกอีกอย่างว่าโชนแก๊สซิฟิเคชัน เป็นโชนที่ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากโชนไพโรไลซิสหรือโชนออกซิเดชันสำหรับกรณีที่ใช้อากาศเป็นตัวทำปฏิกิริยา มาทำปฏิกิริยากับตัวทำปฏิกิริยาอีกครั้ง เช่น ไอน้ำที่ป้อนเข้าไป และอื่นๆที่ได้จากโชนก่อนหน้า ซึ่งปฏิกิริยาที่เป็นไปได้ที่เกิดขึ้นภายในโชนรีดักชัน เป็นไปดังนี้

ปฏิกิริยาบูดูยาร์ด (Boudouard Reaction)

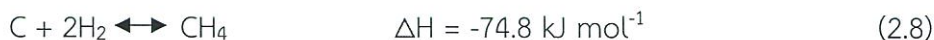


ปฏิกิริยาอวเทอร์แก๊ส (Water-gas Reaction)

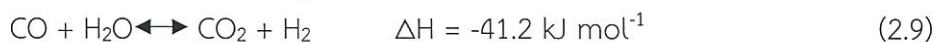


ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

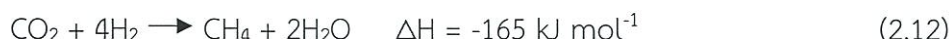
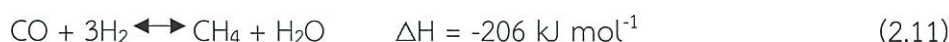
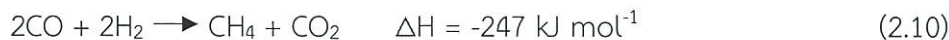
ปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชัน (Hydrogenation reaction)



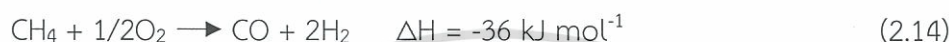
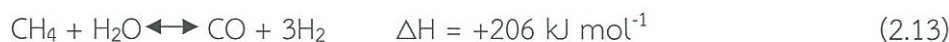
ปฏิกิริยาอวเทอร์แก๊สชิฟต์ (Water-gas shift Reaction)



ปฏิกิริยามีเทนชัน (Methanation Reaction)



ปฏิกิริยารีฟอร์มมิง (Reforming Reaction)



2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.6.1 การผลิตแก๊สสังเคราะห์จากชีวมวลผสมกับพลาสติกโดยกระบวนการแก๊สชิฟต์เคชัน

Alvarez J. และคณะ [11] ศึกษาอิทธิพลของสัดส่วนระหว่างสารชีวมวลต่อพลาสติก ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้ชีวมวลเป็นขี้เลื่อย โดยเริ่มแรกปรับสัดส่วนของพลาสติกพอลิพรอพิลีนเป็น 5 10 และ 20 เปอร์เซ็นต์โดยมวล และศึกษาอิทธิพลของชนิดพลาสติก โดยผสมชีวมวล 80 เปอร์เซ็นต์ กับพลาสติกชนิดต่างๆ เช่น พอลิเอทิลีน พอลิสไตรีน และขยะพลาสติก 20 เปอร์เซ็นต์โดยมวล โดยใช้ $\text{Ni}/\text{Al}_2\text{O}_3$ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จากการศึกษาพบว่าสัดส่วนของพอลิพรอพิลีนเพิ่มขึ้นทำให้เปอร์เซ็นต์ผลได้ผลิตภัณฑ์แก๊สและไฮโดรเจนเพิ่มขึ้นมากกว่าการใช้ชีวมวลเพียงอย่างเดียว นอกจากนี้ยังลดแก๊สคาร์บอนออกไซด์ และคาร์บอนไดออกไซด์ การเพิ่มตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการเพิ่มเปอร์เซ็นต์ผลได้ผลิตภัณฑ์แก๊ส และ ไฮโดรเจน โดยสรุปแล้วการผสมพลาสติกชนิดพอลิพรอพิลีนให้ผลิตภัณฑ์ไฮโดรเจนมากที่สุด แต่พอลิเอทิลีนให้เปอร์เซ็นต์ผลได้ผลิตภัณฑ์แก๊สมากที่สุด พอลิสไตรีนจะได้น้ำมันและถ่านชาร์มากที่สุด ขยะพลาสติกจะได้ผลลัพธ์อยู่ระหว่าง พอลิเอทิลีน และพอลิพรอพิลีนเนื่องจากในขยะพลาสติกมีสัดส่วนของพลาสติกสองชนิดนี้มากที่สุด นอกจากนี้ขยะพลาสติกได้ผลิตภัณฑ์ถ่านชาร์มากอาจเนื่องมาจากขยะพลาสติกมีพลาสติกบางชนิดที่สลายตัวยาก นอกจากนี้ข้อเสียของการเพิ่มสัดส่วนพลาสติกคือเกิดการสะสมไคบนตัวเร่งปฏิกิริยา

Pinto F. และคณะ [12] ศึกษาอิทธิพลของตัวทำปฏิกิริยา โดยงานวิจัยใช้วัตถุดิบคือ เปลือกข้าว ฟางข้าว และพลาสติกบรรจุภัณฑ์ผสมกัน โดยจากการทดลองพบว่าการใช้ไอน้ำเป็นตัวทำปฏิกิริยาจะทำให้เกิดปฏิกิริยารีฟอร์มมิงโดยไอน้ำ ซึ่งเป็นการเพิ่มร้อยละผลได้ของไฮโดรเจน ลดน้ำมันดินและสารที่มีองค์ประกอบไฮโดรคาร์บอน หากใช้ตัวทำปฏิกิริยาเป็นไอน้ำรวมกับอากาศ เมื่อเพิ่มอัตราส่วนสมมูล (Equivalence ratio, ER) มากขึ้น จะได้อัตราผลได้ของผลิตภัณฑ์แก๊สเพิ่มขึ้น แต่จะลดค่าความร้อนสูง (Higher heating value, HHV) ลดผลิตภัณฑ์ไฮโดรเจน และสารไฮโดรคาร์บอนอื่นๆ แต่หากใช้ไอน้ำรวมกับออกซิเจนบริสุทธิ์ ค่าความร้อนสูงจะมากกว่าการใช้อากาศเนื่องจากในอากาศมีไนโตรเจนซึ่งทำให้ผลิตภัณฑ์แก๊สที่ได้เจือจางลง แต่ก็จะมีข้อจำกัดในเรื่องต้นทุนการผลิตออกซิเจนบริสุทธิ์ โดยการเพิ่มออกซิเจนในอากาศก็เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่ต้นทุนถูกกว่าการใช้ออกซิเจนบริสุทธิ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.2 การผลิตแก๊สสังเคราะห์จากพลาสติกโดยกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน

Xiao R. และคณะ [8] ศึกษาผลของอัตราส่วนสมมูล โดยการทดลองใช้พอลิพรอพิลีนเป็นวัตถุดิบในเตาแก๊สซิฟายเออร์ชนิดฟลูอิดเบด ใช้อากาศเป็นตัวทำปฏิกิริยา โดยพบว่าอัตราส่วนสมมูลเพิ่มขึ้น ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์แก๊สสังเคราะห์เพิ่มขึ้น ลดการเกิดน้ำมันดิน ถ่านชาร์ และยังลดสารที่มีองค์ประกอบไฮโดรคาร์บอน แต่การเพิ่มอัตราส่วนสมมูลส่งผลให้ค่าความร้อนของแก๊สผลิตภัณฑ์ลดลง เนื่องจากปริมาณอากาศมาก ส่งผลให้แก๊สไนโตรเจนมาก แก๊สผลิตภัณฑ์ที่ได้จึงถูกเจือจาง

Wu C. และคณะ [13] ศึกษาอิทธิพลอุณหภูมิของเตาแก๊สซิฟายเออร์ และผลของชนิดพลาสติกคือ พอลิพรอพิลีน พอลิเอทิลีน พอลิสไตรีน และ ขยะพลาสติก ในกรณีมีตัวเร่งปฏิกิริยาและไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยา โดยการเพิ่มอุณหภูมิ 800 เป็น 850 องศาเซลเซียส จะทำให้ผลิตภัณฑ์แก๊สเพิ่มขึ้น ลดผลิตภัณฑ์น้ำมันดิน และถ่านชาร์ ผลิตภัณฑ์แก๊สไฮโดรเจนจะเพิ่มขึ้นเมื่อใส่ตัวเร่งปฏิกิริยา โดยผลิตภัณฑ์แก๊สไฮโดรเจนที่ได้จะมากที่สุดเมื่อใช้พลาสติกชนิด พอลิเอทิลีน ตามด้วย พอลิพรอพิลีน ขยะพลาสติก และพอลิสไตรีนตามลำดับ

Erkiaga A. และคณะ [14] ศึกษาอิทธิพลอุณหภูมิของเตาแก๊สซิฟายเออร์ และสัดส่วนมวลระหว่างไอน้ำต่อพลาสติก โดยใช้พลาสติกพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง โดยพบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในกระบวนการจาก 800 เป็น 850 องศาเซลเซียส ทำให้เปอร์เซ็นต์ผลได้ผลิตภัณฑ์ของแก๊ส และไฮโดรเจนเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิถึง 900 องศาเซลเซียสพบว่าได้ผลิตภัณฑ์แก๊สเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเท่านั้น สัดส่วนมวลระหว่างไอน้ำต่อพลาสติกที่ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันดินน้อยที่สุดคือ 2 ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส ซึ่งได้ประสิทธิภาพการแปรผันคาร์บอนสูงถึง 93.6 เปอร์เซ็นต์ แก๊สสังเคราะห์ที่ได้มีสัดส่วนระหว่างไฮโดรเจนต่อคาร์บอนนอกไซด์ (H_2/CO) เท่ากับ 2.2

Amoodi N A. และคณะ [15] จำลองกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันจากขยะพลาสติกชนิดพอลิเอทิลีน ซึ่งตัวทำปฏิกิริยาเป็นไอน้ำร่วมกับอากาศ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป AspenPlus™ จำลองกระบวนการ เพื่อศึกษาอิทธิพลของ สัดส่วนโดยมวลระหว่างไอน้ำต่อสารป้อน และอัตราส่วนสมมูล พบว่าการเพิ่มไอน้ำทำให้สัดส่วนโดยโมลของไฮโดรเจนเพิ่มขึ้นที่ค่าหนึ่งและเริ่มลดลงเนื่องจากป้อนน้ำมากเกินไปทำให้น้ำเหลือมากในระบบ ส่วนแก๊สคาร์บอนนอกไซด์ จะเพิ่มขึ้น และลดลงเนื่องจากถูกเปลี่ยนเป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ด้วยปฏิกิริยาวอเตอร์แก๊สชิฟต์ (Water-gas shift Reaction) และอัตราส่วนสมมูลที่เพิ่มขึ้น ทำให้สัดส่วนโดยโมลของไฮโดรเจนเพิ่มขึ้นที่ค่าหนึ่งและเริ่มลดลงเนื่องจากใส่อากาศมากเกินไปทำให้แก๊สไนโตรเจนเจือจางแก๊สผลิตภัณฑ์

บทที่ 3

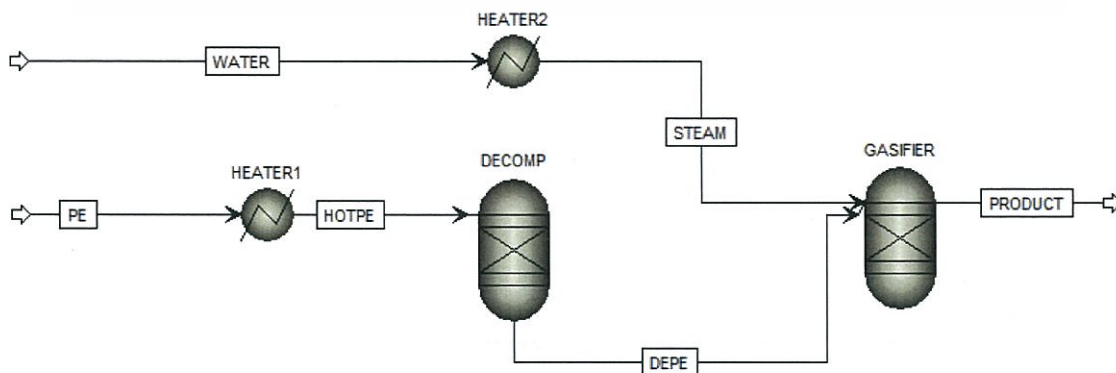
วิธีการดำเนินงาน

งานวิจัยนี้ศึกษาและพัฒนาแบบจำลองกระบวนการผลิตแก๊สสังเคราะห์จากขยะพลาสติกด้วยกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน ซึ่งขยะพลาสติกมีส่วนประกอบหลักคือ พอลิเอทิลีน และพอลิพรอพิลีน โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป AspenPlus™ ซึ่งวิธีการดำเนินงานแบ่งเป็น 2 ส่วนหลักได้แก่ หัวข้อที่ 3.1 จะแสดงแบบจำลองของกระบวนการผลิตแก๊สสังเคราะห์จากขยะพลาสติกด้วยกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน ที่ใช้ตัวทำปฏิกิริยาแตกต่างกัน และใช้สารป้อนแบบต่างๆ ส่วนหัวข้อที่ 3.2 จะอธิบายวิธีการจำลองกระบวนการ และวิธีการปรับสภาวะการดำเนินงาน เพื่อศึกษาปัจจัยที่ทำให้ได้ปริมาณแก๊สสังเคราะห์มากที่สุด

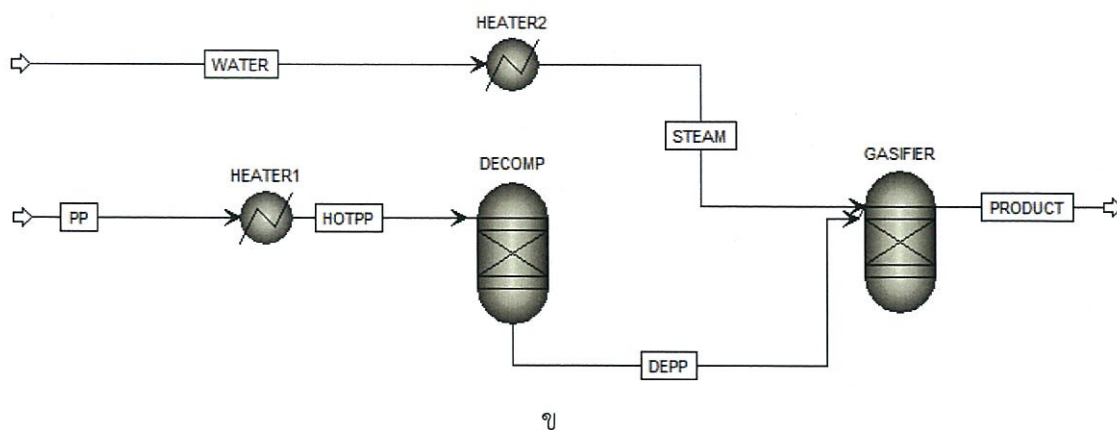
3.1 การสร้างแบบจำลองกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันจากขยะพลาสติก

3.1.1 กระบวนการแก๊สซิฟิเคชันของพอลิเอทิลีนและพอลิพรอพิลีนโดยใช้ไอน้ำเป็นตัวทำปฏิกิริยา

รูปที่ 3.1ก และ 3.1ข แสดงแผนภาพแบบจำลองของกระบวนการผลิตแก๊สสังเคราะห์จากกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันที่ใช้ไอน้ำเป็นตัวทำปฏิกิริยา เมื่อสารป้อน คือ พอลิเอทิลีนและพอลิพรอพิลีน ตามลำดับ กระบวนการในรูปที่ 3.1ก จะเริ่มจากนำพอลิเอทิลีน (PE) มาให้ความร้อนผ่านเครื่องให้ความร้อน (HEATER1) ซึ่งพอลิเอทิลีนที่ป้อนเข้าจัดเป็น nonconventional component คือ ของแข็งผสมที่โปรแกรม AspenPlus™ ไม่มีข้อมูล จากนั้นป้อนเข้าสู่เตาปฏิกรณ์แตกองค์ประกอบ (DECOMP) เพื่อให้สารป้อนแยกองค์ประกอบเป็นสัดส่วนผลได้ของแต่ละธาตุ โดยคำนวณจากค่าการวิเคราะห์แบบประมาณ (Proximate analysis) และการวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (Ultimate analysis) จากนั้นสารป้อนที่แตกองค์ประกอบจะถูกป้อนเข้าเตาแก๊สซิฟายเออร์ (GASIFIER) ในขณะเดียวกันนั้น น้ำจะถูกให้ความร้อนด้วยเครื่องให้ความร้อน (HEATER2) เพื่อเปลี่ยนน้ำเป็นไอน้ำ และพร้อมเป็นตัวทำปฏิกิริยาในกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน ซึ่งจะถูกป้อนเข้าเตาแก๊สซิฟายเออร์ โดยปฏิกิริยาย่อยของแก๊สซิฟิเคชันทั้งหมดจะเกิดภายในเตาแก๊สซิฟายเออร์ (GASIFIER) ซึ่งท้ายที่สุดจะได้ผลิตภัณฑ์ ที่มีทั้งแก๊สสังเคราะห์ (Synthesis gas) ไอน้ำ น้ำมันดิน (C₆H₆) และ ถ่านชาร์ (C+ASH) ส่วนกระบวนการในรูปที่ 3.1ข จะใช้สารป้อนเป็นพอลิพรอพิลีน (PP) ซึ่งคำอธิบายกระบวนการเหมือนกับการใช้พอลิเอทิลีน (PE)



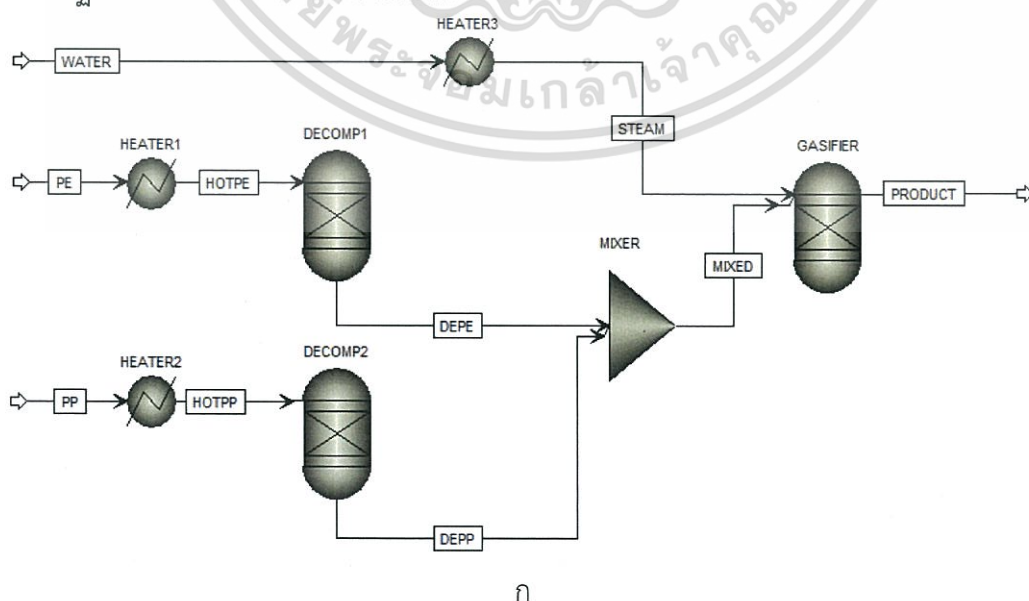
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



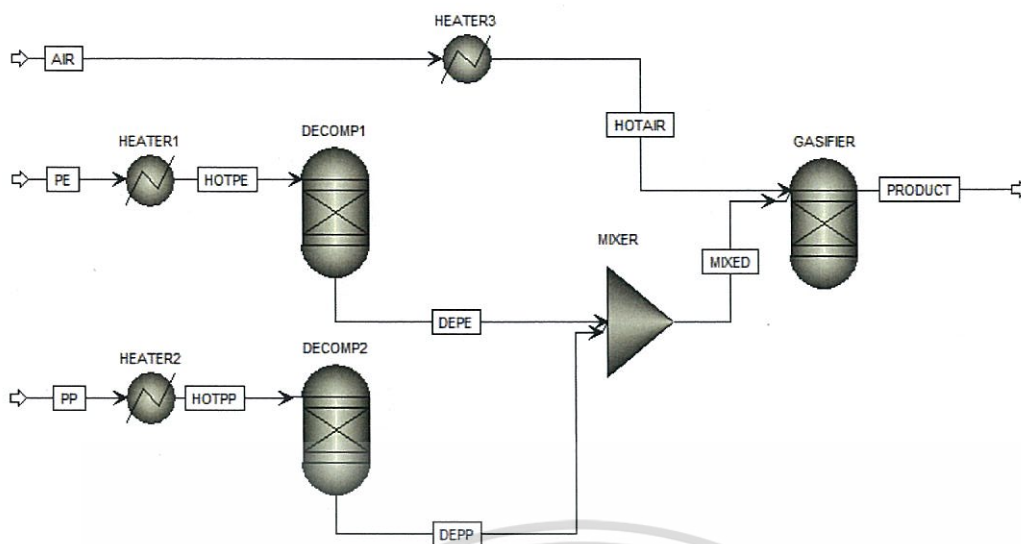
รูปที่ 3.1 กระบวนการแก๊สซิฟิเคชันโดยใช้ไอน้ำเป็นตัวทำปฏิกิริยา สำหรับการใส่ (ก) พอลิเอทิลีน และ (ข) พอลิพรอพิลีน เป็นสารป้อน

3.1.2 กระบวนการแก๊สซิฟิเคชันของพลาสติกผสมระหว่างพอลิเอทิลีนกับพอลิพรอพิลีน

รูปที่ 3.2ก และ 3.2ข แสดงแผนภาพแบบจำลองของกระบวนการผลิตแก๊สสังเคราะห์จากกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน เมื่อสารป้อนเป็นสารผสมระหว่างพอลิเอทิลีนและพอลิพรอพิลีน การดำเนินการดังรูปที่ 3.2ก เริ่มจากการนำพอลิเอทิลีนกับพอลิพรอพิลีนในอัตราส่วนต่างๆ มาให้ความร้อนด้วยเครื่องให้ความร้อน (HEATER1 และ HEATER2) จากนั้นจะถูกส่งเข้าเตาปฏิกรณ์แตกองค์ประกอบ (DECOMP1 และ DECOMP2) เพื่อแยกองค์ประกอบเป็นสัดส่วนผลได้ของแต่ละธาตุ โดยคำนวณจากค่าการวิเคราะห์แบบประมาณ (Proximate analysis) และการวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (Ultimate analysis) และนำมาผสมในเครื่องผสม (MIXER) ก่อนเข้าเตาแก๊สซิฟายเออร์ในขณะเดียวกันนั้น น้ำจะถูกให้ความร้อนด้วยเครื่องให้ความร้อน (HEATER3) เพื่อเปลี่ยนน้ำเป็นไอน้ำ และพร้อมเป็นตัวทำปฏิกิริยาในกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน โดยปฏิกิริยาย่อยของแก๊สซิฟิเคชันทั้งหมดจะเกิดภายในเตาแก๊สซิฟายเออร์ (GASIFIER) ส่วนรูปที่ 3.2ข การดำเนินการเหมือนดังรูปที่ 3.2ก แต่ใช้ตัวทำปฏิกิริยาเป็นอากาศแทนการใช้ไอน้ำ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ข

รูปที่ 3.2 กระบวนการแก๊สซิฟิเคชันของพลาสติกผสมระหว่างพอลิเอทิลีนผสมกับพอลิพรอพิลีน โดยใช้ตัวทำปฏิกิริยาเป็น (ก) ไอน้ำ และ (ข) อากาศ

3.1.3 รายละเอียดกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันจากขยะพลาสติก

3.1.3.1 สารตั้งต้น

ก. พลาสติก

พลาสติกที่ใช้เป็นสารตั้งต้นมี 2 ชนิด คือ พอลิเอทิลีน และพอลิพรอพิลีน โดยจะทราบองค์ประกอบของขยะพลาสติกแต่ละชนิดจากการวิเคราะห์แบบประมาณและแบบแยกธาตุ ซึ่งข้อมูลที่ใช้ในการจำลองกระบวนการจะดัดแปลงมาจากตารางที่ 2.1 โดยแสดงดังตารางที่ 3.1 ในการจำลองกระบวนการจะป้อนพอลิเอทิลีน 100 เปอร์เซ็นต์ ด้วยอัตราการป้อน 100 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และความดัน 1 บาร์ จากนั้นทำการปรับสัดส่วนโดยมวลระหว่างพอลิเอทิลีนต่อพอลิพรอพิลีน คือ 75/25 50/50 25/75 และ 0/100

ข. ไอน้ำ

น้ำที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และความดัน 1 บาร์ ต้องผ่านการเพิ่มอุณหภูมิให้กลายเป็นไอน้ำก่อน โดยมีอัตราการป้อน 100 กิโลกรัมต่อชั่วโมง โดยอัตราส่วนโดยมวลของไอน้ำต่อสารป้อน (S/F) เท่ากับ 1

ค. อากาศ

อากาศซึ่งมีออกซิเจนและไนโตรเจน 0.21 และ 0.79 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรตามลำดับ จะถูกป้อนเข้าสู่ระบบด้วยอัตราป้อน 100 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ซึ่งจะถูกปรับอุณหภูมิให้เหมาะสมก่อนเข้าเตาแก๊สซิฟายเออร์ โดยอัตราส่วนโดยมวลของอากาศต่อสารป้อน (A/F) เท่ากับ 1

3.1.3.2 เตาปฏิกรณ์แตกองค์ประกอบ (Decomposition reactor)

ถูกนำมาใช้เพื่อให้สารตั้งต้นแตกองค์ประกอบในรูปแบบธาตุ ตามข้อมูลจากการวิเคราะห์แบบประมาณและแบบแยกธาตุ โดยสภาวะการดำเนินงานของเตาปฏิกรณ์ เปลี่ยนแปลงตามการปรับสภาวะการดำเนินงานของเตาแก๊สซิฟายเออร์ โดยใช้อุณหภูมิและความดันเดียวกัน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

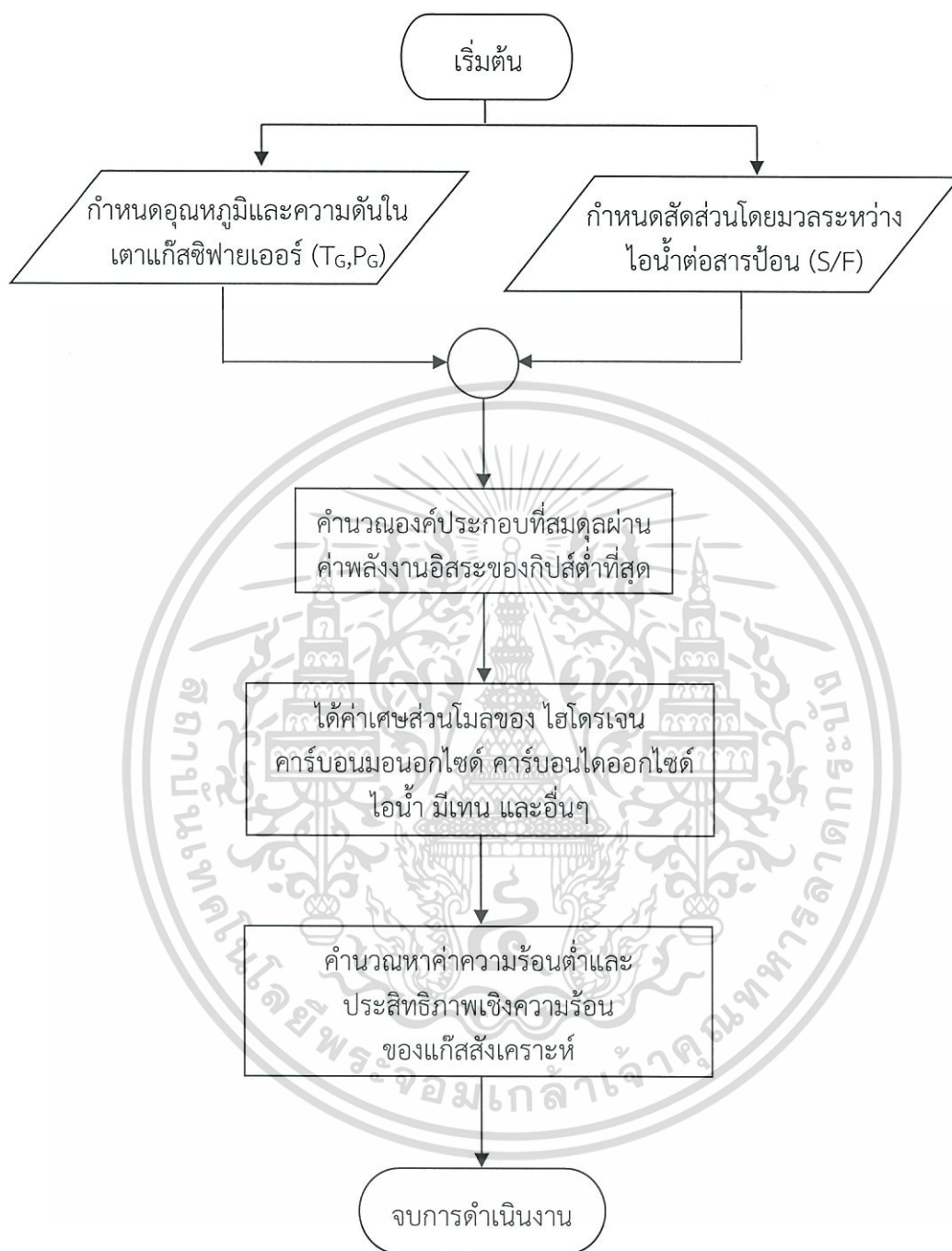
ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติของพอลิเอทิลีน และพอลิพรอพิลีน

	พอลิเอทิลีน	พอลิพรอพิลีน
ความชื้น (Moisture, wt%)	0.02	0.02
การวิเคราะห์แบบประมาณ (Proximate analysis, wt% drybasis)		
ปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed carbon)	0	0
สารระเหย (Volatile matter)	99.85	99.30
เถ้า (Ash)	0.15	0.70
การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (Ultimate analysis, wt% drybasis)		
คาร์บอน (Carbon)	85.81	86.17
ไฮโดรเจน (Hydrogen)	13.86	12.24
ออกซิเจน (Oxygen)	0	0
ไนโตรเจน (Nitrogen)	0.12	0.72
กำมะถัน (Sulfur)	0.06	0.17
เถ้า (Ash)	0.15	0.70

3.1.3.3 เตาแก๊สซิฟายเออร์ (Gasifier)

เตาแก๊สซิฟายเออร์จะเกิดกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน ซึ่งปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในกรณีใช้ไอน้ำเป็นตัวทำปฏิกิริยาประกอบด้วย ปฏิกิริยาบูดยาร์ด, วอเตอร์แก๊ส, ไฮโดรจีเนชัน, วอเตอร์แก๊สชิฟต์, มีเทนเนชัน และ รีฟอร์มมิง ดังสมการที่ (2.6) ถึง (2.14) และกรณีใช้อากาศเป็นตัวทำปฏิกิริยาจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับอากาศเพิ่มขึ้นดังสมการที่ (2.1) ถึง (2.5) ซึ่งเป็นเพียงปฏิกิริยาที่คาดว่าจะเกิดขึ้น ดังนั้นแบบจำลองเครื่องปฏิกรณ์ RGibbs จึงเหมาะสมที่จะใช้ เนื่องจากเป็นแบบจำลองที่ใช้วิธีการหาค่าพลังงานอิสระของกิบส์ที่ต่ำที่สุด เพื่อทำนายองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์

3.2 วิธีการจำลองกระบวนการ



รูปที่ 3.3 แผนผังจำลองกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันจากขยะพลาสติก

รูปที่ 3.3 แสดงวิธีการคำนวณหาปริมาณแก๊สผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันของขยะพลาสติกซึ่งประกอบไปด้วยพอลิเอทิลีนและพอลิพรอพิลีน ในการศึกษาจะทำการกำหนดสัดส่วนโดยมวลระหว่างพอลิเอทิลีนและพอลิพรอพิลีน คือ 100/0 75/25 50/50 25/75 และ 0/100 การคำนวณเริ่มจากกำหนดสภาวะการดำเนินงานในเครื่องแก๊สซิฟายเออร์ ได้แก่ อุณหภูมิ (T_G) ความดัน (P_G) จากนั้นกำหนดสัดส่วนโดยมวลของไอน้ำต่อสารป้อน (Steam to feed mass ratio, S/F) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ขึ้นด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยจะสามารถคำนวณหาเศษส่วนโมลขององค์ประกอบที่สมดุลผ่านค่าพลังงานอิสระของกิปส์ที่ต่ำที่สุด ซึ่งในการคำนวณจะใช้สมการทางเทอร์โมไดนามิกส์ คือ Soave-Redlich-Kwong (SRK) [16] เพื่อหาสภาวะการดำเนินงานที่ให้ผลิตภัณฑ์แก๊สสังเคราะห์มากที่สุด จากนั้นคำนวณหาค่าความร้อนต่ำ (Lower heating value: LHV) และประสิทธิภาพเชิงความร้อนของแก๊สสังเคราะห์ (Cold gas efficiency: CGE) ดังสมการที่ 3.1 และ 3.2 ตามลำดับ เพื่อเปรียบเทียบค่าความร้อนต่ำ และประสิทธิภาพเชิงความร้อนของแก๊สสังเคราะห์ที่สภาวะการดำเนินงานต่างๆ

จากนั้นเลือกสัดส่วนโดยมวลระหว่างพอลิเอทิลีนต่อพอลิพรอพิลีนสัดส่วนใดสัดส่วนหนึ่ง (ในการศึกษานี้เลือกที่ 75/25) แล้วทำการเปลี่ยนตัวทำปฏิกิริยาจากไอน้ำเป็นอากาศ เพื่อศึกษาเปรียบเทียบระหว่างการใช้ไอน้ำและอากาศเป็นตัวทำปฏิกิริยา พร้อมทั้งศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตแก๊สสังเคราะห์ภายใต้ภาวะพึ่งพาตัวเองได้ทางความร้อน โดยรายละเอียดของอุปกรณ์ในการจำลองกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันจากพลาสติกชนิดเดียว และสองชนิดผสมกันแสดงดังตารางที่ 3.2 และ 3.3

$$LHV_{\text{syngas}} = (y_{\text{CO}} \times 12.636) + (y_{\text{H}_2} \times 10.798) \quad \text{MJ/Nm}^3 \quad (3.1)$$

$$CGE = [(LHV_{\text{syngas}} \times \dot{V}_{\text{syngas}}) / (LHV_{\text{feed}} \times \dot{m}_{\text{feed}})] \times 100\% \quad (3.2)$$

เมื่อ	y_{CO}	คือ สัดส่วนโดยโมลของคาร์บอนมอนอกไซด์
	y_{H_2}	คือ สัดส่วนโดยโมลของไฮโดรเจน
	LHV_{syngas}	คือ ค่าความร้อนต่ำของแก๊สสังเคราะห์ (เมกะจูลต่อลูกบาศก์เมตรปกติ)
	LHV_{feed}	คือ ค่าความร้อนต่ำของสารป้อน (เมกะจูลต่อกิโลกรัม)
	\dot{V}_{syngas}	คือ อัตราการไหลเชิงปริมาตรของแก๊สสังเคราะห์ (ลูกบาศก์เมตรปกติต่อชั่วโมง)
	\dot{m}_{feed}	คือ อัตราการไหลเชิงมวลของสารป้อน (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)
	CGE	คือ เปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของแก๊สสังเคราะห์

ตารางที่ 3.2 รายละเอียดของแต่ละอุปกรณ์ในกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันจากขยะพลาสติกเพียงชนิดเดียว

ชื่ออุปกรณ์	แบบจำลอง	สภาวะการดำเนินงานเริ่มต้น	สภาวะดำเนินการที่ปรับเปลี่ยน
HEATER1	Heater	ความดัน 1 บรรยากาศ อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส	-
HEATER2	Heater	ความดัน 1 บรรยากาศ อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส	-
DECOMP	RYield	ความดัน 1 บรรยากาศ อุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียส	อุณหภูมิ 650 - 1,100 องศาเซลเซียส
GASIFIER	RGibbs	ความดัน 1 บรรยากาศ อุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียส	อุณหภูมิ 650 - 1,100 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3 รายละเอียดของแต่ละอุปกรณ์ในกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันจากขยะพลาสติกสองชนิดผสมกัน

ชื่ออุปกรณ์	แบบจำลอง	ภาวะการดำเนินงานเริ่มต้น	ภาวะดำเนินการที่ปรับเปลี่ยน
HEATER1	Heater	ความดัน 1 บรรยากาศ อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส	-
HEATER2	Heater	ความดัน 1 บรรยากาศ อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส	-
HEATER3	Heater	ความดัน 1 บรรยากาศ อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส	-
DECOMP1	RYield	ความดัน 1 บรรยากาศ อุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียส	อุณหภูมิ 650 - 1,100 องศาเซลเซียส
DECOMP2	RYield	ความดัน 1 บรรยากาศ อุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียส	อุณหภูมิ 650 - 1,100 องศาเซลเซียส
MIXER	Mixer	-	-
GASIFIER	RGibbs	ความดัน 1 บรรยากาศ อุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียส	อุณหภูมิ 650 - 1,100 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลและการวิเคราะห์ผลการจำลองกระบวนการ

งานวิจัยนี้ทำการออกแบบและจำลองกระบวนการผลิตแก๊สสังเคราะห์จากขยะพลาสติกซึ่งประกอบด้วยพอลิเอทิลีนและพอลิพรอพิลีน ด้วยกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป AspenPlus™ ซึ่งวิธีการดำเนินงานแบ่งเป็น 4 ส่วน ส่วนแรกเปรียบเทียบผลจากการจำลองกระบวนการกับข้อมูลการทดลองซึ่งแสดงไว้ในหัวข้อที่ 4.1 จากนั้นทำการศึกษามวลของอนุหุมิเตาแก๊สซิฟายเออร์และสัดส่วนโดยมวลระหว่างไอน้ำต่อสารป้อน (Steam to feed mass ratio, S/F) เมื่อใช้พอลิเอทิลีนอย่างเดียวหรือพอลิพรอพิลีนอย่างเดียวเป็นสารป้อนดังหัวข้อที่ 4.2 และ 4.3 ตามลำดับ และศึกษามวลของสัดส่วนโดยมวลระหว่างระหว่างพอลิเอทิลีนกับพอลิพรอพิลีน (Polyethylene to polypropylene mass ratio, PE/PP) ที่ 75/25 50/50 และ 25/75 โดยศึกษาอนุหุมิเตาแก๊สซิฟายเออร์และสัดส่วนโดยมวลระหว่างไอน้ำต่อสารป้อนต่างๆ และศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตแก๊สสังเคราะห์ที่ภาวะพึ่งพาตัวเองได้ทางความร้อน โดยไม่จำเป็นต้องป้อนพลังงานให้ระบบทั้งกรณีใช้ตัวทำปฏิกิริยาเป็นไอน้ำ และอากาศซึ่งแสดงดังหัวข้อที่ 4.4

4.1 การเปรียบเทียบผลการจำลองกระบวนการกับข้อมูลการทดลอง

4.1.1 การเปรียบเทียบผลการจำลองกระบวนการไพโลไรซิสร่วมกับแก๊สซิฟิเคชันจากขยะพลาสติก

การเปรียบเทียบผลที่ได้จากการจำลองกระบวนการและผลจากการทดลอง ดำเนินการเพื่อยืนยันว่าแบบจำลองการกระบวนการที่สร้างขึ้นสามารถคำนวณหาองค์ประกอบของแก๊สผลิตภัณฑ์ได้ โดยการทดลองนำมาจากงานวิจัยของ Wu C. และคณะ [13] ในงานวิจัยนี้ใช้ขยะพลาสติกเป็นสารตั้งต้นซึ่งมีส่วนผสมของพลาสติก 3 ชนิด คือ พอลิพรอพิลีน พอลิสไตรีน และ พอลิเอทิลีน เท่ากับ 26.9 16.8 และ 56.3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ โดยผลการวิเคราะห์แบบประมาณและแบบแยกธาตุของพลาสติกผสมทั้ง 3 ชนิด แสดงได้ดังตารางที่ 4.1 ในการทดลองได้ใช้กระบวนการไพโลไรซิสร่วมกับแก๊สซิฟิเคชันซึ่งเป็นกระบวนการสองขั้น โดยเครื่องปฏิกรณ์แรกเกิดกระบวนการไพโลไรซิสที่อนุหุมิเตา 500 องศาเซลเซียส ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเครื่องปฏิกรณ์แรกจะถูกส่งผ่านไปยังเครื่องปฏิกรณ์ที่สองซึ่งมีเบดของตัวเร่ง Ni-Mg-Al อยู่ โดยมีภาวะการดำเนินงานของเครื่องปฏิกรณ์ที่สองได้แก่ ปริมาณสารตั้งต้นเท่ากับ 1 กรัม ซึ่งมีเวลาในการทำปฏิกิริยาเท่ากับ 30 นาที อัตราการป้อนของไอน้ำเป็น 4.74 กรัมต่อชั่วโมง ความดัน 1 บรรยากาศ โดยศึกษาผลของการผลิตแก๊สสังเคราะห์ที่ได้เมื่ออนุหุมิเตาแก๊สซิฟายเออร์เท่ากับ 800 องศาเซลเซียส ตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดลองของ Wu C. และคณะ [13] ผลที่ได้จากการจำลองกระบวนการ และความคลาดเคลื่อนระหว่างผลที่ได้จากการจำลองกระบวนการและผลจากการทดลอง ซึ่งจากตารางที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าองค์ประกอบของแก๊สไฮโดรเจนและคาร์บอนมอนอกไซด์จากการทดลองมีความใกล้เคียงกับผลที่ได้จากการจำลองกระบวนการ ซึ่งมีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ดังนั้นจึงสามารถนำแบบจำลองกระบวนการที่สร้างขึ้นไปใช้ในการศึกษาต่อไปได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 การวิเคราะห์แบบประมาณและแบบแยกธาตุของขยะพลาสติก [13]

	ขยะพลาสติก
ความชื้น (Moisture, wt%)	0
การวิเคราะห์แบบประมาณ (Proximate analysis, wt% drybasis)	
ปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed carbon)	1.1
สารระเหย (Volatile matter)	96.3
เถ้า (Ash)	2.6
การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (Ultimate analysis, wt% drybasis)	
คาร์บอน (Carbon)	75.10
ไฮโดรเจน (Hydrogen)	11.20
ออกซิเจน (Oxygen)	10.91
ไนโตรเจน (Nitrogen)	0.19
กำมะถัน (Sulfur)	0
เถ้า (Ash)	2.6

ตารางที่ 4.2 องค์ประกอบของแก๊สผลิตภัณฑ์จากกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันของขยะพลาสติก ที่ได้จากการทดลองของ Wu C. และคณะ [13] จากการจำลองกระบวนการ และค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างผลที่ได้จากการจำลองกระบวนการและผลจากการทดลอง

องค์ประกอบของแก๊ส (เปอร์เซ็นต์โดยโมล)	ผลจากการทดลองของ Wu C. และคณะ [13]	ผลที่ได้จากการจำลองกระบวนการ	ความคลาดเคลื่อน (เปอร์เซ็นต์)
ไฮโดรเจน	62	67.69	9.17
คาร์บอนมอนอกไซด์	21	21.81	3.83

4.1.2 การเปรียบเทียบผลการจำลองกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันจากพอลิพรอพิลีน

การเปรียบเทียบผลที่ได้จากการจำลองกระบวนการและผลจากการทดลอง ดำเนินการเพื่อยืนยันว่าแบบจำลองกระบวนการที่สร้างขึ้นสามารถคำนวณหาองค์ประกอบของแก๊สผลิตภัณฑ์ได้ โดยการทดลองนำมาจากงานวิจัยของ Wu C. และคณะ [17] ได้ใช้ขยะพลาสติกชนิดพอลิพรอพิลีนมาเป็นสารตั้งต้น ซึ่งผลการวิเคราะห์แบบประมาณ และแบบแยกธาตุนำมาจากการวิจัยของ Xiao R. และคณะ [8] แสดงได้ดังตารางที่ 4.3 โดยการทดลองประกอบไปด้วย 2 เตาปฏิกรณ์ที่เป็นเบดนิ่ง ซึ่งเครื่องปฏิกรณ์แรกนั้นจะเกิดกระบวนการไพโรไลซิสที่อุณหภูมิเท่ากับ 500 องศาเซลเซียส และเครื่องปฏิกรณ์ที่สองเกิดกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันที่อุณหภูมิเท่ากับ 800 องศาเซลเซียส โดยภาระการดำเนินงานของเครื่องปฏิกรณ์ที่สองได้แก่ ปริมาณสารตั้งต้นเท่ากับ 1 กรัม ซึ่งมีเวลาในการทำปฏิกิริยาเท่ากับ 30 นาที อัตราการป้อนของไอน้ำเป็น 4.7 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง ความดัน 1 บรรยากาศ โดยศึกษาผลของการผลิตแก๊สสังเคราะห์ที่ได้เมื่ออุณหภูมิเตาแก๊สซิฟายเออร์เท่ากับ 800 องศาเซลเซียส ตารางที่ 4.4 แสดงผลการทดลองของ Wu C. และคณะ [17] ผลที่ได้จากการจำลองกระบวนการ และความคลาดเคลื่อนระหว่างผลที่ได้จากการจำลองกระบวนการและผลจากการทดลอง

เอกลีขันธ์เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่สามารถนำเอกลีขันธ์ไปเผยแพร่หรือใช้เพื่อวัตถุประสงค์อื่นใดได้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสาร การค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทดลอง ซึ่งจากตารางที่ 4.4 จะเห็นได้ว่าองค์ประกอบของแก๊สไฮโดรเจนและคาร์บอนมอนอกไซด์จากการทดลองมีความใกล้เคียงกับผลที่ได้จากการจำลองกระบวนการ ความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ดังนั้นจึงสามารถนำแบบจำลองกระบวนการที่สร้างขึ้นไปใช้ในการศึกษาต่อไปได้

ตารางที่ 4.3 การวิเคราะห์แบบประมาณและแบบแยกธาตุของพอลิพรอพิลีน [8]

	พอลิพรอพิลีน
ความชื้น (Moisture, wt%)	0
การวิเคราะห์แบบประมาณ (Proximate analysis, wt% drybasis)	
ปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed carbon)	0
สารระเหย (Volatile matter)	99.3
เถ้า (Ash)	0.7
การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (Ultimate analysis, wt% drybasis)	
คาร์บอน (Carbon)	86.17
ไฮโดรเจน (Hydrogen)	12.24
ออกซิเจน (Oxygen)	0
ไนโตรเจน (Nitrogen)	0.72
กำมะถัน (Sulfur)	0.17
เถ้า (Ash)	0.70

ตารางที่ 4.4 องค์ประกอบของแก๊สผลิตภัณฑ์จากกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันของพอลิพรอพิลีน ที่ได้จากการทดลองของ Wu C. และคณะ [17] จากการจำลองกระบวนการ และค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างผลที่ได้จากการจำลองกระบวนการและผลจากการทดลอง

องค์ประกอบของแก๊ส (เปอร์เซ็นต์โดยโมล)	ผลจากการทดลองของ Wu C. และคณะ [17]	ผลที่ได้จากการจำลองกระบวนการ	ความคลาดเคลื่อน (เปอร์เซ็นต์)
ไฮโดรเจน	64.0	67.25	5.07
คาร์บอนมอนอกไซด์	25.7	25.24	1.80

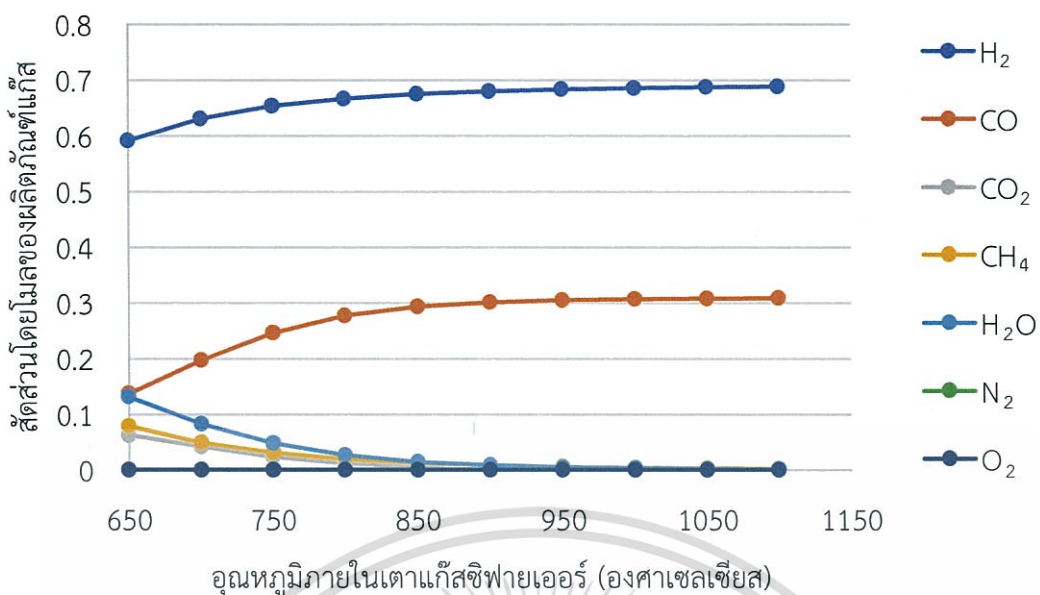
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลของสภาวะการดำเนินงานกรณีสารป้อนคือพอลิเอทิลีน

4.2.1 ผลของอุณหภูมิเตาแก๊สซีฟายเออร์

ผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของเตาแก๊สซีฟายเออร์ตั้งแต่ 650 ถึง 1,100 องศาเซลเซียส เมื่อสัดส่วนโดยมวลของไอน้ำต่อพอลิเอทิลีนเท่ากับ 1 ที่มีต่อสัดส่วนโดยโมลของผลิตภัณฑ์แก๊ส และ อัตราการไหลเชิงโมลของแก๊สสังเคราะห์ (H_2+CO) แสดงดังรูปที่ 4.1 และ 4.2 ตามลำดับ พบว่าเมื่อ อุณหภูมิเพิ่มขึ้นสัดส่วนโดยโมลของไฮโดรเจนและคาร์บอนมอนอกไซด์เพิ่มขึ้น ทำให้ได้อัตราการไหลเชิงโมลของแก๊สสังเคราะห์เพิ่มขึ้น ในขณะที่คาร์บอนไดออกไซด์ มีเทน และน้ำมีค่าลดลง ทั้งนี้เป็นผลมาจากปฏิกิริยาย่อยในกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันที่เป็นปฏิกิริยาผันกลับได้และเป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน ได้แก่ ปฏิกิริยาบูดูยาร์ด วอเตอร์แก๊ส และรีฟอร์มมิง ดังสมการที่ (2.6) (2.7) และ (2.13) ตามลำดับ เมื่ออุณหภูมิในเครื่องปฏิกรณ์เพิ่มขึ้น จะทำให้ปฏิกิริยาดำเนินไปข้างหน้า ซึ่งทำให้ได้ไฮโดรเจนและคาร์บอนมอนอกไซด์เพิ่มขึ้น ในขณะที่คาร์บอนไดออกไซด์ มีเทน และน้ำลดลง อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิจะมีผลต่อแก๊สผลิตภัณฑ์ชัดเจนในช่วง 650 ถึง 900 องศาเซลเซียส เมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 900 องศาเซลเซียสจะไม่สังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงของแก๊สผลิตภัณฑ์ เนื่องจากสารตั้งต้นถูกเปลี่ยนเป็นผลิตภัณฑ์แก๊สสังเคราะห์ทั้งหมดตั้งแต่ช่วง 900 องศาเซลเซียส ทำให้ยุติการเกิดปฏิกิริยา

นอกจากพิจารณาสัดส่วนโดยโมลของผลิตภัณฑ์แก๊สและอัตราการไหลเชิงโมลของแก๊สสังเคราะห์ที่อุณหภูมิของเตาแก๊สซีฟายเออร์ต่างๆแล้ว ยังควรพิจารณาถึงค่าความร้อนต่ำและร้อยละของประสิทธิภาพเชิงความร้อนของแก๊สสังเคราะห์ด้วย โดยรูปที่ 4.3 และ 4.4 แสดงผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของเตาแก๊สซีฟายเออร์ที่มีผลต่อค่าความร้อนต่ำและร้อยละของประสิทธิภาพเชิงความร้อนของแก๊สสังเคราะห์ ตามลำดับ ค่าความร้อนต่ำสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3.1) ซึ่งโดยปกติแล้วค่าความร้อนต่ำของคาร์บอนมอนอกไซด์มีค่ามากกว่าไฮโดรเจน ดังนั้นหากในแก๊สสังเคราะห์มีคาร์บอนมอนอกไซด์มากกว่าไฮโดรเจนก็จะทำให้ได้ค่าความร้อนต่ำสูงขึ้น แต่จะไม่เกิน 12.636 เมกะจูลต่อลูกบาศก์เมตร จากรูปที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าการเพิ่มอุณหภูมิของเตาแก๊สซีฟายเออร์ในช่วงแรก ค่าความร้อนต่ำจะมีค่าเพิ่มขึ้นสูงเป็นอย่างมาก เนื่องจากในช่วงนี้สัดส่วนโดยโมลของคาร์บอนมอนอกไซด์มีอัตราการเพิ่มขึ้นเร็วกว่าไฮโดรเจน จึงทำให้ปริมาณค่าความร้อนต่ำเพิ่มขึ้น และเมื่อสัดส่วนโดยโมลของคาร์บอนมอนอกไซด์ และไฮโดรเจนเริ่มคงที่ ค่าความร้อนต่ำก็เริ่มมีค่าคงที่ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส ส่วนค่าร้อยละของประสิทธิภาพเชิงความร้อนของแก๊สสังเคราะห์สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (3.2) ซึ่งจากสมการจะเห็นว่าค่าความร้อนต่ำและอัตราการไหลเชิงมวลของสารป้อนจะมีค่าคงที่ ดังนั้นปัจจัยที่มีผลต่อค่าร้อยละของประสิทธิภาพเชิงความร้อนของแก๊สสังเคราะห์ คือ ค่าความร้อนต่ำและอัตราการไหลเชิงปริมาตรของแก๊สสังเคราะห์ ซึ่งเมื่ออุณหภูมิของเตาแก๊สซีฟายเออร์เพิ่มขึ้น จะทำให้ทั้งค่าความร้อนต่ำและอัตราการไหลเชิงปริมาตรของแก๊สสังเคราะห์เพิ่มขึ้น ดังนั้นร้อยละของประสิทธิภาพเชิงความร้อนของแก๊สสังเคราะห์ก็จะเพิ่มขึ้น และเริ่มคงที่ที่อุณหภูมิเตาแก๊สซีฟายเออร์ 900 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ 4.4 โดยสรุปแล้วอุณหภูมิที่เหมาะสมในการดำเนินงานของเตาแก๊สซีฟายเออร์ เมื่อใช้สารตั้งต้นเป็นพอลิเอทิลีนและใช้ไอน้ำเป็นตัวทำปฏิกิริยา คือ 900 องศาเซลเซียส ซึ่งจะช่วยให้ได้อัตราการไหลเชิงโมลของแก๊สสังเคราะห์เท่ากับ 17.30 กิโลโมลต่อชั่วโมง

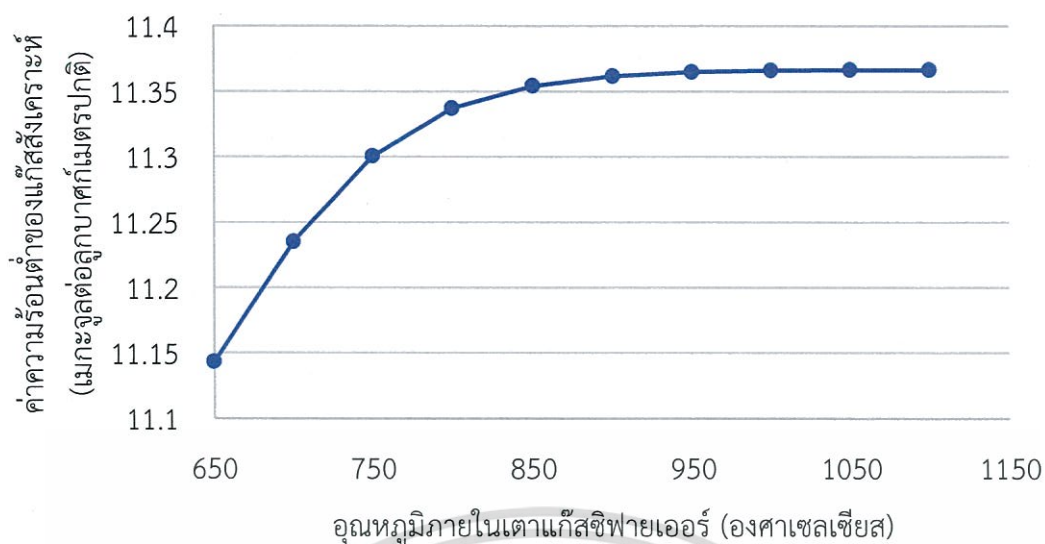


รูปที่ 4.1 ผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในเตาแก๊สซีฟายเออร์ ที่มีต่อสัดส่วนโดยโมลของผลิตภัณฑ์แก๊ส ณ สัดส่วนโดยมวลระหว่างไอน้ำต่อพอลิเอทิลีน เท่ากับ 1

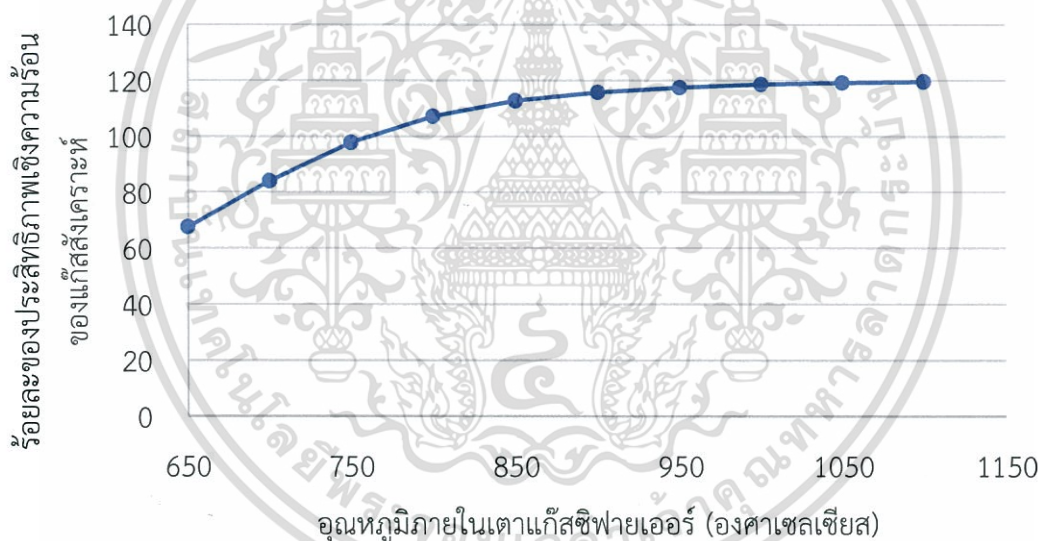


รูปที่ 4.2 ผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในเตาแก๊สซีฟายเออร์ ที่มีต่ออัตราการไหลเชิงโมลของแก๊สสังเคราะห์ ณ สัดส่วนโดยมวลระหว่างไอน้ำต่อพอลิเอทิลีน เท่ากับ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 ผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในเตาแก๊สซีฟายเออร์ ที่มีต่อค่าความเข้มข้นของแก๊สสังเคราะห์ ณ สัดส่วนโดยมวลระหว่างไอน้ำต่อพอลิเอทิลีน เท่ากับ 1



รูปที่ 4.4 ผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในเตาแก๊สซีฟายเออร์ ที่มีต่อร้อยละของประสิทธิภาพเชิงความร้อนของแก๊สสังเคราะห์ ณ สัดส่วนโดยมวลระหว่างไอน้ำต่อพอลิเอทิลีน เท่ากับ 1

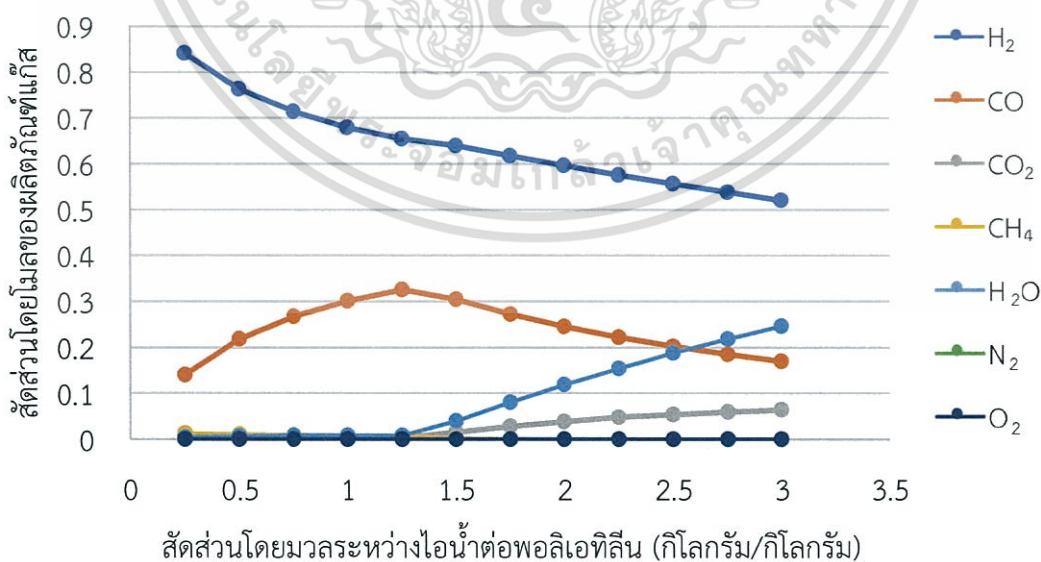
4.2.2 ผลของสัดส่วนโดยมวลระหว่างไอน้ำต่อพอลิเอทิลีน

ผลของการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนโดยมวลระหว่างไอน้ำต่อพอลิเอทิลีนตั้งแต่ 0.25 ถึง 3 โดยให้อุณหภูมิของเตาแก๊สซีฟายเออร์เท่ากับ 900 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิของเตาแก๊สซีฟายเออร์ที่เหมาะสมที่สุดตามหัวข้อ 4.2.1 โดยจะแสดงผลต่อสัดส่วนโดยโมลของผลิตภัณฑ์แก๊ส และอัตราการไหลเชิงโมลของแก๊สสังเคราะห์ ดังรูปที่ 4.5 และ 4.6 ตามลำดับ พบว่าเมื่อป้อนตัวทำปฏิกิริยาไอน้ำเพิ่มขึ้น ทำให้อัตราการไหลเชิงโมลของแก๊สสังเคราะห์เพิ่มขึ้น แต่สัดส่วนโดยโมลของไฮโดรเจนลดลงคาร์บอนมอนอกไซด์เพิ่มขึ้นและเริ่มลดลงที่สัดส่วนโดยมวลระหว่างไอน้ำต่อพอลิเอทิลีนเท่ากับ 1.25 และสัดส่วนโดยโมลของคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากปฏิกิริยาย่อยในกระบวนการ

เอกล่าวนั้นเป็นเอกล่าวนที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นว่าเป็นประโยชน์ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

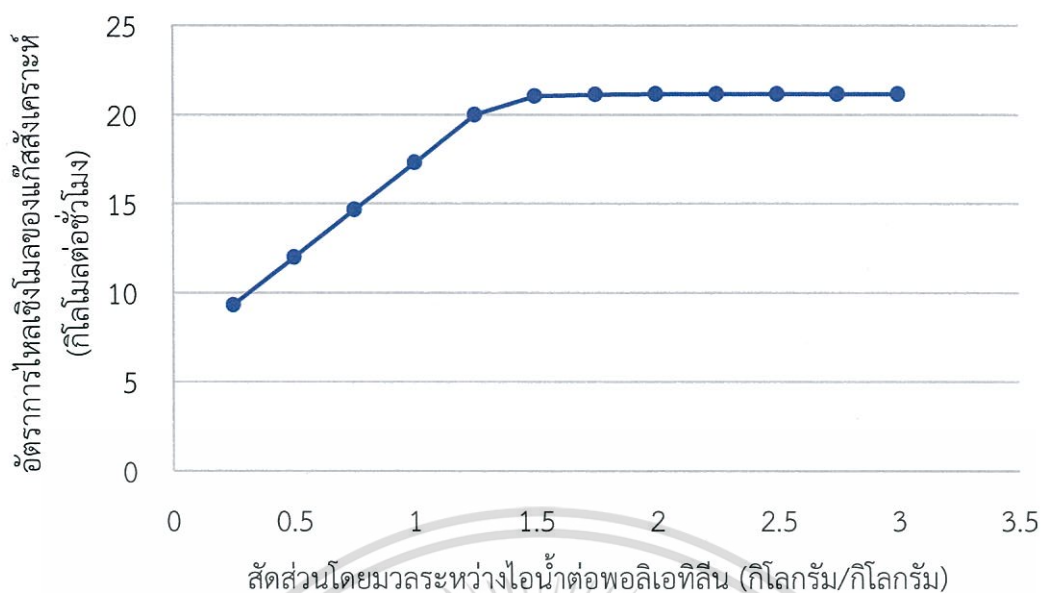
ซิฟิเคชัน ได้แก่ ปฏิกิริยาออกเตอรแกส และรีฟอร์มมิง ดังสมการที่ (2.7) และ(2.13) ตามลำดับ โดยเมื่อเพิ่มไอน้ำทำให้ปฏิกิริยาดำเนินไปข้างหน้ามากขึ้น ได้ผลิตภัณฑ์แก๊สไฮโดรเจน และคาร์บอนมอนอกไซด์เพิ่มขึ้น ในขณะที่เดียวกันก็เกิดการย้อนกลับของปฏิกิริยามีเทนชัน ดังสมการที่ (2.11) ทำให้ได้ไฮโดรเจน และคาร์บอนมอนอกไซด์เพิ่มขึ้นเช่นกัน นอกจากนี้แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ได้มานั้น จะถูกเปลี่ยนเป็น คาร์บอนไดออกไซด์ด้วยปฏิกิริยาออกเตอรแกสซิฟิเคชัน ดังสมการที่ (2.9) ซึ่งเมื่อเพิ่มไอน้ำจะทำให้ปฏิกิริยาดำเนินไปข้างหน้าเกิดเป็นคาร์บอนไดออกไซด์กับ ไฮโดรเจนเพิ่มขึ้น แต่เมื่อมีไอน้ำในระบบเพิ่มขึ้น ทำให้ได้สัดส่วนโดยโมลของไอน้ำเพิ่มขึ้นและสัดส่วนโดยโมลของแก๊สสังเคราะห์ลดลง ถึงแม้จะได้อัตราการไหลเชิงโมลของแก๊สสังเคราะห์เพิ่มขึ้นก็ตาม โดยอัตราการไหลเชิงโมลของแก๊สสังเคราะห์มีค่าเพิ่มขึ้นและเริ่มคงที่เท่ากับ 21.03 กิโลโมลต่อชั่วโมง ที่สัดส่วนโดยมวลระหว่างไอน้ำต่อพอลิเอทิลีนเท่ากับ 1.5

นอกจากพิจารณาผลต่อสัดส่วนโดยโมลของผลิตภัณฑ์แก๊ส และอัตราการไหลเชิงโมลของแก๊สสังเคราะห์ ยังพิจารณาได้จากผลของค่าความร้อนต่ำ และร้อยละของประสิทธิภาพเชิงความร้อนของแก๊สสังเคราะห์ดังรูปที่ 4.7 และ 4.8 โดยค่าความร้อนต่ำของคาร์บอนมอนอกไซด์มีค่ามากกว่าไฮโดรเจน ซึ่งการเพิ่มไอน้ำในสารป้อนทำให้อัตราการไหลเชิงโมลของแก๊สไฮโดรเจนเพิ่มขึ้นและเริ่มคงที่ และคาร์บอนมอนอกไซด์เพิ่มขึ้นและลดลงที่สัดส่วนโดยมวลระหว่างไอน้ำต่อพอลิเอทิลีนเท่ากับ 1.25 ทำให้ค่าความร้อนต่ำมีค่าเพิ่มขึ้นและลดลงที่สัดส่วนโดยมวลระหว่างไอน้ำต่อพอลิเอทิลีนเท่ากับ 1.25 เช่นกัน จากนั้นคำนวณค่าร้อยละของประสิทธิภาพเชิงความร้อนของแก๊สสังเคราะห์ที่ได้ดังสมการที่ (3.2) เมื่อสัดส่วนโดยมวลระหว่างไอน้ำต่อพอลิเอทิลีนเพิ่มขึ้น ทำให้ค่าความร้อนต่ำของแก๊สสังเคราะห์เพิ่มและเริ่มลดลงที่สัดส่วนโดยมวลระหว่างไอน้ำต่อพอลิเอทิลีนเท่ากับ 1.25 แต่อัตราการไหลเชิงปริมาตรของแก๊สสังเคราะห์เพิ่มขึ้น ซึ่งมีนัยสำคัญมากกว่าค่าความร้อนต่ำ ดังนั้นทำให้ค่าร้อยละของประสิทธิภาพเชิงความร้อนของแก๊สสังเคราะห์เพิ่มขึ้นและเริ่มคงที่ที่สัดส่วนโดยมวลระหว่างไอน้ำต่อพอลิเอทิลีนเท่ากับ 1.5

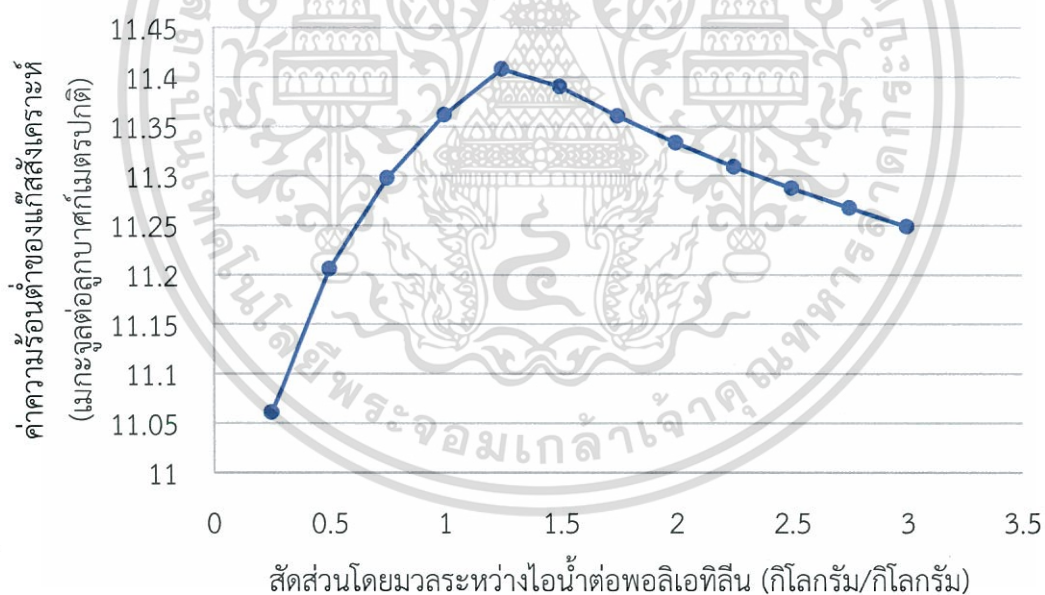


รูปที่ 4.5 ผลของสัดส่วนโดยมวลระหว่างไอน้ำต่อพอลิเอทิลีน ที่มีต่อสัดส่วนโดยโมลของผลิตภัณฑ์แก๊ส ณ อุณหภูมิเตาแก๊สซิฟิเคชัน เท่ากับ 900 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

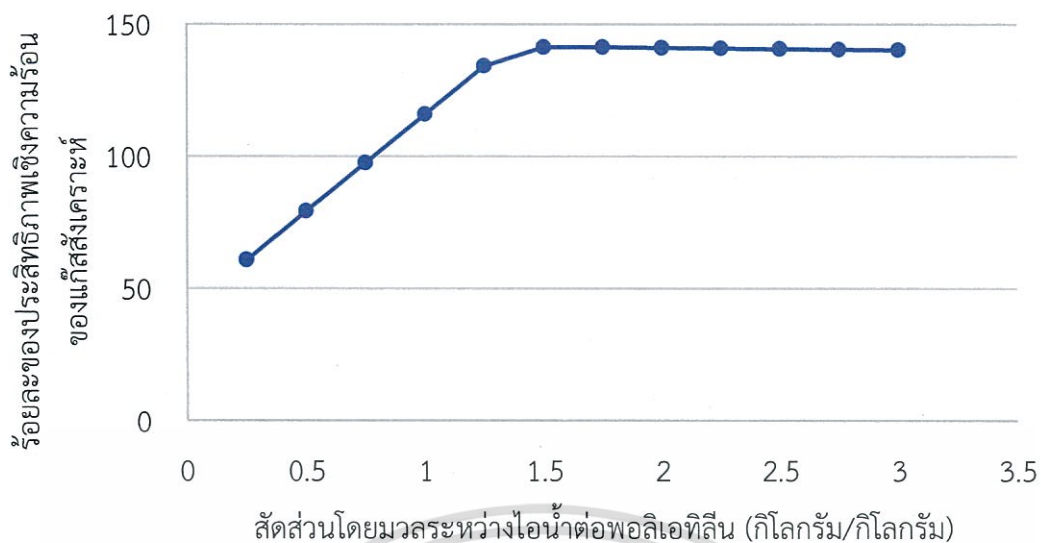


รูปที่ 4.6 ผลของสัดส่วนโดยมวลระหว่างไอน้ำต่อพอลิเอทิลีน ที่มีต่ออัตราการไหลเชิงโมลของแก๊สสังเคราะห์ ณ อุณหภูมิเตาแก๊สซีฟายเออร์ เท่ากับ 900 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.7 ผลของสัดส่วนโดยมวลระหว่างไอน้ำต่อพอลิเอทิลีน ที่มีต่อค่าความร้อนต่ำของแก๊สสังเคราะห์ ณ อุณหภูมิเตาแก๊สซีฟายเออร์ เท่ากับ 900 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 ผลของสัดส่วนโดยมวลระหว่างไอน้ำต่อพอลิเอทิลีน ที่มีต่อร้อยละของประสิทธิภาพเชิงความร้อน ณ อุณหภูมิเตาแก๊สซีฟายเออร์ เท่ากับ 900 องศาเซลเซียส

4.3 ผลของสภาวะการดำเนินงานกรณีสารป้อนคือพอลิพรอพิลีน

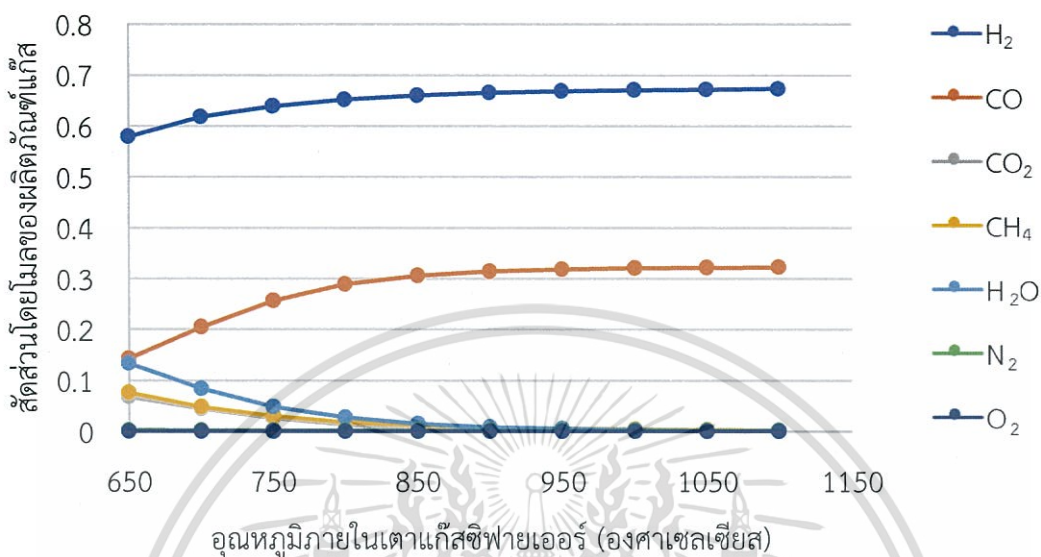
4.3.1 ผลของอุณหภูมิเตาแก๊สซีฟายเออร์

ผลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของเตาแก๊สซีฟายเออร์ตั้งแต่ 650 ถึง 1,100 องศาเซลเซียส เมื่อสัดส่วนโดยมวลไอน้ำต่อพอลิพรอพิลีนเท่ากับ 1 ทำให้ได้สัดส่วนโดยโมลของผลิตภัณฑ์แก๊ส และอัตราการไหลเชิงโมลของแก๊สสังเคราะห์ (H_2+CO) แสดงดังรูปที่ 4.9 และ 4.10 ตามลำดับ พบว่าผลที่ได้มีแนวโน้มคล้ายกับกรณีสารป้อนเป็นพอลิเอทิลีน คือเมื่ออุณหภูมิของเตาแก๊สซีฟายเออร์เพิ่มขึ้น สัดส่วนโดยโมลของไฮโดรเจน และคาร์บอนมอนอกไซด์เพิ่มขึ้น ทำให้ได้อัตราการไหลเชิงโมลของแก๊สสังเคราะห์เพิ่มขึ้น และจะเริ่มคงที่ที่ 900 องศาเซลเซียส โดยสัดส่วนโดยโมลของแก๊สคาร์บอน-ไดออกไซด์ มีเทน และน้ำลดลง ซึ่งเป็นผลมาจากปฏิกิริยาย่อยในกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันที่เป็นปฏิกิริยาผันกลับได้และดูดความร้อนเช่น ปฏิกิริยาบูดูยาร์ด วอเตอร์แก๊ส และรีฟอร์มมิง ดังสมการที่ (2.6) (2.7) และ (2.13) ตามลำดับ โดยเมื่อเพิ่มอุณหภูมิทำให้ปฏิกิริยาไปข้างหน้า จึงได้ผลลัพธ์เช่นเดียวกับหัวข้อ 4.2.1

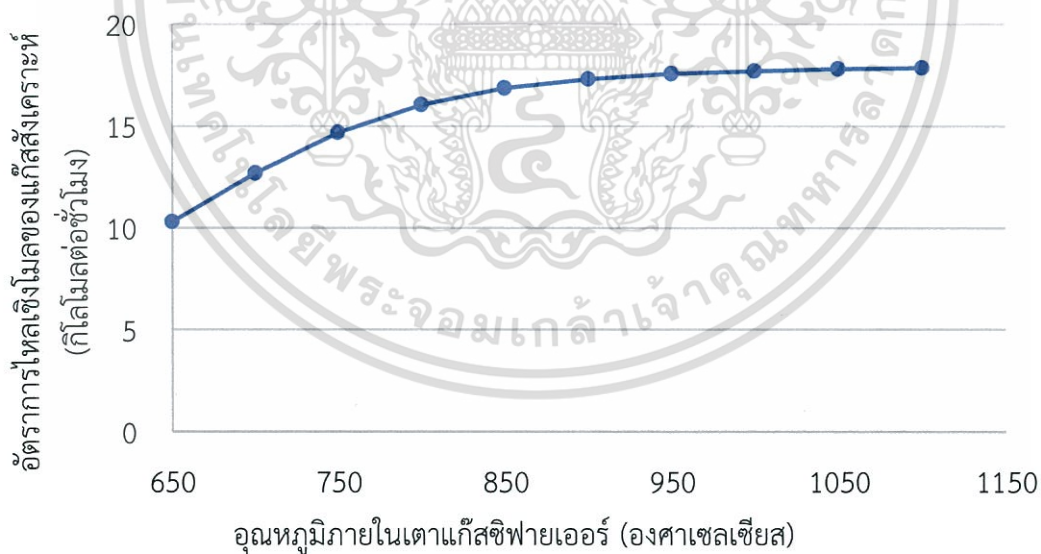
นอกจากนี้ ยังพิจารณาผลของค่าความร้อนต่ำ และร้อยละของประสิทธิภาพเชิงความร้อนของแก๊สสังเคราะห์ โดยรูปที่ 4.11 และ 4.12 แสดงผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของเตาแก๊สซีฟายเออร์ที่มีผลต่อค่าความร้อนต่ำและร้อยละของประสิทธิภาพเชิงความร้อนของแก๊สสังเคราะห์ตามลำดับ ค่าความร้อนต่ำคำนวณได้จากสมการที่ (3.1) ซึ่งค่าความร้อนต่ำของแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์มีค่ามากกว่า ไฮโดรเจน เมื่ออุณหภูมิเตาแก๊สซีฟายเออร์เพิ่มขึ้นในช่วงแรกจากความชันของกราฟในรูปที่ 4.9 สัดส่วนโดยโมลของคาร์บอนมอนอกไซด์มีอัตราการเพิ่มขึ้นเร็วกว่าไฮโดรเจน ซึ่งจะทำให้ปริมาณค่าความร้อนต่ำเพิ่มขึ้น และหลังจากนั้นสัดส่วนโดยโมลของคาร์บอนมอนอกไซด์ และไฮโดรเจนเริ่มคงที่ ทำให้ค่าความร้อนต่ำเริ่มคงที่ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส และในขณะเดียวกันสามารถคำนวณค่าร้อยละของประสิทธิภาพเชิงความร้อนของแก๊สสังเคราะห์ได้ดังสมการที่ (3.2) ซึ่งเมื่ออุณหภูมิเตาแก๊สซีฟายเออร์เพิ่มขึ้นทำให้ทั้งค่าความร้อนต่ำและอัตราการไหลเชิงปริมาตรของแก๊สสังเคราะห์เพิ่มขึ้นและเริ่มคงที่ที่ 900 องศาเซลเซียส ดังนั้นร้อยละของประสิทธิภาพเชิงความร้อนของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ข้อมูลนี้เป็นการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แก๊สสังเคราะห์จะเพิ่มขึ้นและเริ่มคงที่ที่อุณหภูมิเตาแก๊สซีฟายเออร์ 900 องศาเซลเซียส โดยสรุปแล้ว อุณหภูมิเตาแก๊สซีฟายเออร์ที่ดีที่สุดคือ 900 องศาเซลเซียส ซึ่งจะได้อัตราการไหลเชิงโมลของแก๊สสังเคราะห์เท่ากับ 16.53 กิโลโมลต่อชั่วโมง

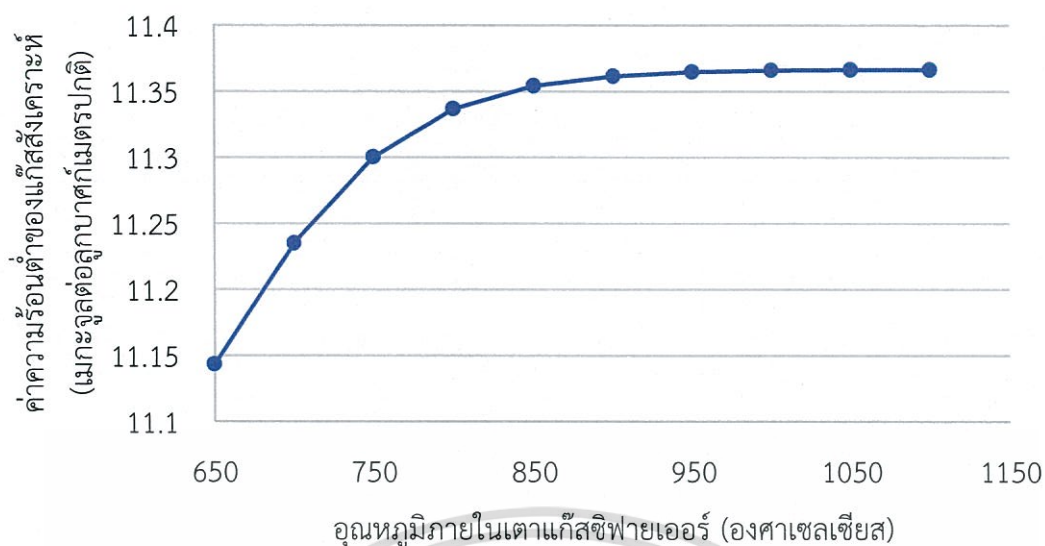


รูปที่ 4.9 ผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในเตาแก๊สซีฟายเออร์ ที่มีต่อสัดส่วนโดยโมลของผลิตภัณฑ์แก๊ส ณ สัดส่วนโดยมวลระหว่างไอน้ำต่อพอลิพรอพิลีน เท่ากับ 1

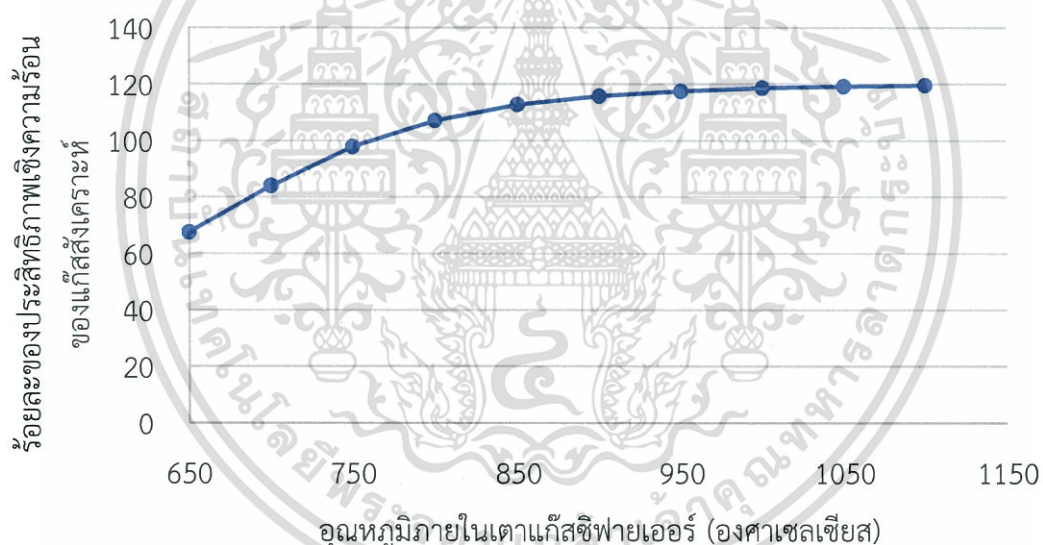


รูปที่ 4.10 ผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในเตาแก๊สซีฟายเออร์ ที่มีต่ออัตราการไหลเชิงโมลของแก๊สสังเคราะห์ ณ สัดส่วนโดยมวลระหว่างไอน้ำต่อพอลิพรอพิลีน เท่ากับ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 ผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในเตาแก๊สซีฟายเออร์ ที่มีต่อค่าความร้อนต่ำของแก๊สสังเคราะห์ ณ สัดส่วนโดยมวลระหว่างไอน้ำต่อพอลิพรอพิลีน เท่ากับ 1



รูปที่ 4.12 ผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในเตาแก๊สซีฟายเออร์ ที่มีต่อร้อยละของประสิทธิภาพเชิงความร้อนของแก๊สสังเคราะห์ ณ สัดส่วนโดยมวลระหว่างไอน้ำต่อพอลิพรอพิลีน เท่ากับ 1

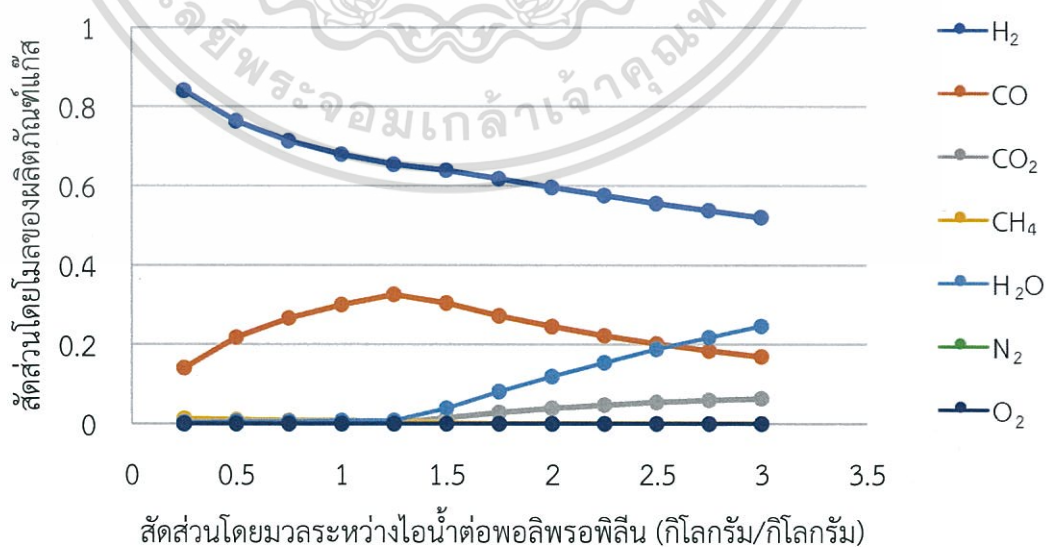
4.3.2 ผลของสัดส่วนโดยมวลระหว่างไอน้ำต่อพอลิพรอพิลีน

ผลการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนโดยมวลระหว่างไอน้ำต่อพอลิพรอพิลีน ตั้งแต่ 0.25 ถึง 3 โดยให้อุณหภูมิของเตาแก๊สซีฟายเออร์เท่ากับ 900 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมในการดำเนินงานของเตาแก๊สซีฟายเออร์ เมื่อใช้ไอน้ำเป็นตัวทำปฏิกิริยา ตามหัวข้อ 4.3.1 โดยแสดงผลที่มีต่อสัดส่วนโดยโมลของผลิตภัณฑ์แก๊ส และอัตราการไหลเชิงโมลของแก๊สสังเคราะห์ ดังรูปที่ 4.13 และ 4.14 ตามลำดับ พบว่าเมื่อป้อนตัวทำปฏิกิริยาไอน้ำเพิ่มขึ้น ทำให้อัตราการไหลเชิงโมลของแก๊สสังเคราะห์เพิ่มขึ้น แต่สัดส่วนโดยโมลของไฮโดรเจนลดลง คาร์บอนมอนอกไซด์เพิ่มขึ้นและเริ่มลดลงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

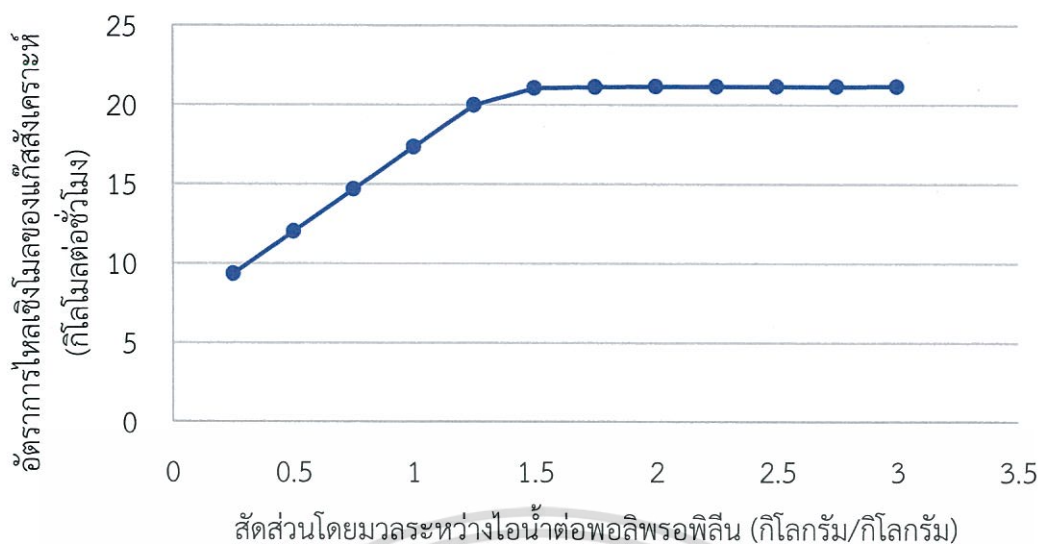
สัดส่วนโดยมวลระหว่างไอน้ำต่อพอลิเอทิลีนเท่ากับ 1.25 และสัดส่วนโดยโมลของคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น เช่นเดียวกันกับกรณีที่สารป้อนเป็นพอลิเอทิลีน ซึ่งเป็นผลมาจากปฏิกิริยาย่อยในกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน ได้แก่ ปฏิกิริยาอวอเตอร์แก๊ส และรีฟอร์มมิง ดังสมการที่ (2.7) และ (2.13) ตามลำดับ โดยเมื่อเพิ่มไอน้ำทำให้ปฏิกิริยาไปข้างหน้ามากขึ้น ได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นแก๊สไฮโดรเจน และคาร์บอนมอนอกไซด์เพิ่มขึ้น ในขณะเดียวกันเกิดการย้อนกลับของปฏิกิริยามีเทนเซชัน ดังสมการที่ (2.11) ทำให้ได้ไฮโดรเจน และคาร์บอนมอนอกไซด์เพิ่มขึ้น นอกจากนี้แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ได้มานั้นจะถูกเปลี่ยนเป็น คาร์บอนไดออกไซด์ด้วยปฏิกิริยาอวอเตอร์แก๊สซิฟิเคชัน ดังสมการที่ (2.9) ซึ่งเมื่อเพิ่มไอน้ำจะทำให้ปฏิกิริยาไปข้างหน้าเกิดเป็นคาร์บอนไดออกไซด์กับ ไฮโดรเจนเพิ่มขึ้น แต่เมื่อมีไอน้ำในระบบเพิ่มขึ้น ทำให้ได้สัดส่วนโดยโมลของไอน้ำเพิ่มขึ้นและสัดส่วนโดยโมลของแก๊สสังเคราะห์ลดลง โดยหากดูแค่อัตราการไหลเชิงโมลของแก๊สสังเคราะห์ จะมีอัตราที่เพิ่มขึ้นและเริ่มคงที่เท่ากับ 20.30 กิโลโมลต่อชั่วโมง ที่สัดส่วนโดยมวลระหว่างไอน้ำต่อพอลิพรอพิลีนเท่ากับ 1.5

นอกจากนี้ควรพิจารณาถึงค่าความร้อนต่ำและร้อยละของประสิทธิภาพเชิงความร้อนของแก๊สสังเคราะห์ด้วย โดยรูปที่ 4.15 และ 4.16 แสดงผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของเตาแก๊สซิฟายเออร์ที่มีผลต่อค่าความร้อนต่ำและร้อยละของประสิทธิภาพเชิงความร้อนของแก๊สสังเคราะห์ตามลำดับ ซึ่งการเพิ่มไอน้ำในสารป้อนทำให้อัตราการไหลเชิงโมลของแก๊สไฮโดรเจนเพิ่มขึ้นและเริ่มคงที่ และคาร์บอนมอนอกไซด์เพิ่มขึ้นและลดลงที่สัดส่วนโดยมวลระหว่างไอน้ำต่อพอลิพรอพิลีนเท่ากับ 1.25 ทำให้ค่าความร้อนต่ำมีค่าเพิ่มขึ้นและลดลงที่สัดส่วนโดยมวลระหว่างไอน้ำต่อพอลิพรอพิลีนเท่ากับ 1.25 เช่นกัน และคำนวณค่าร้อยละของประสิทธิภาพเชิงความร้อนของแก๊สสังเคราะห์ได้ดังสมการที่ (3.2) เมื่อสัดส่วนโดยมวลระหว่างไอน้ำต่อพอลิพรอพิลีนเพิ่มขึ้น ทำให้ค่าความร้อนต่ำของแก๊สสังเคราะห์เพิ่มและเริ่มลดลงที่สัดส่วนโดยมวลระหว่างไอน้ำต่อพอลิพรอพิลีนเท่ากับ 1.25 แต่อัตราการไหลเชิงปริมาตรของแก๊สสังเคราะห์เพิ่มขึ้นซึ่งมีนัยสำคัญมากกว่าค่าความร้อนต่ำ ดังนั้นทำให้ค่าร้อยละของประสิทธิภาพเชิงความร้อนของแก๊สสังเคราะห์จะเพิ่มขึ้นและเริ่มคงที่ที่สัดส่วนโดยมวลระหว่างไอน้ำต่อพอลิเอทิลีนเท่ากับ 1.5

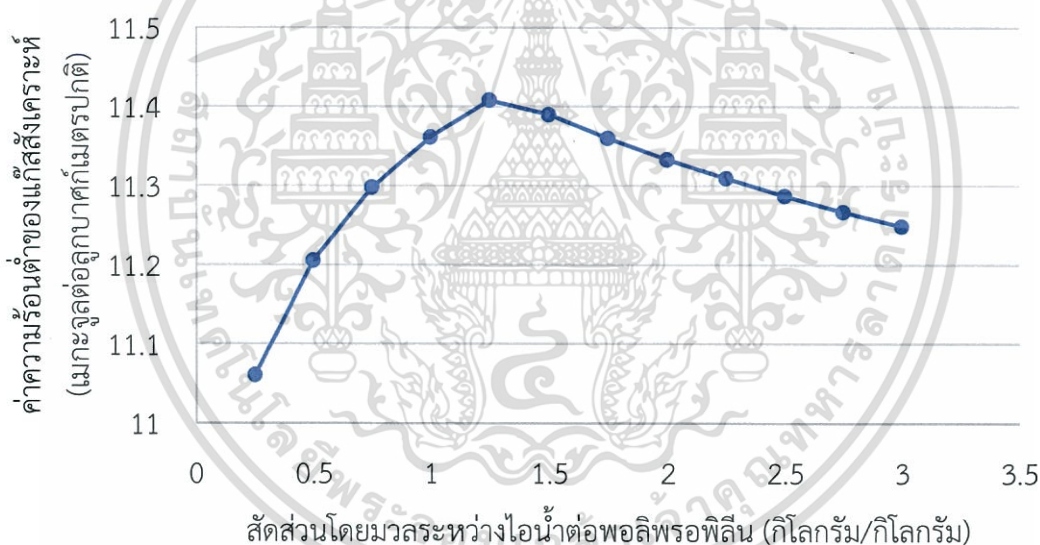


รูปที่ 4.13 ผลของสัดส่วนโดยมวลระหว่างไอน้ำต่อพอลิพรอพิลีน ที่มีต่อสัดส่วนโดยโมลของ

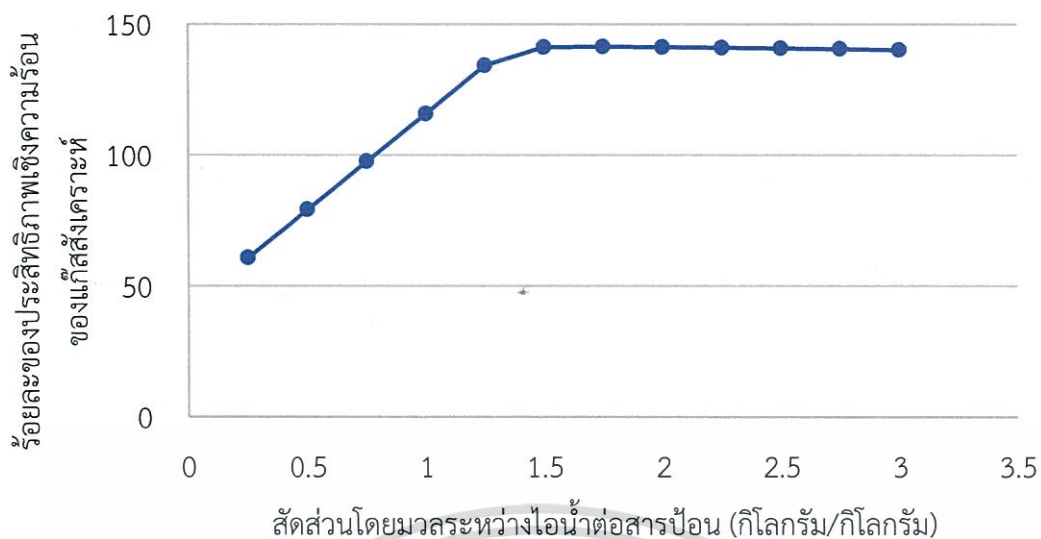
ผลิตภัณฑ์แก๊ส ณ อุณหภูมิเตาแก๊สซิฟายเออร์ เท่ากับ 900 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.14 ผลของสัดส่วนโดยมวลระหว่างไอน้ำต่อพอลิพรอพิลีน ที่มีต่ออัตราการไหลเชิงโมลของแก๊สสังเคราะห์ ณ อุณหภูมิเตาแก๊สซีฟายเออร์ เท่ากับ 900 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.15 ผลของสัดส่วนโดยมวลระหว่างไอน้ำต่อพอลิพรอพิลีน ที่มีต่อค่าความร้อนต่ำของแก๊สสังเคราะห์ ณ อุณหภูมิเตาแก๊สซีฟายเออร์ เท่ากับ 900 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.16 ผลของสัดส่วนโดยมวลระหว่างไอน้ำต่อพอลิพรอพิลีน ที่มีต่อร้อยละของประสิทธิภาพเชิงความร้อน ณ อุณหภูมิเตาแก๊สซิฟายเออร์ เท่ากับ 900 องศาเซลเซียส

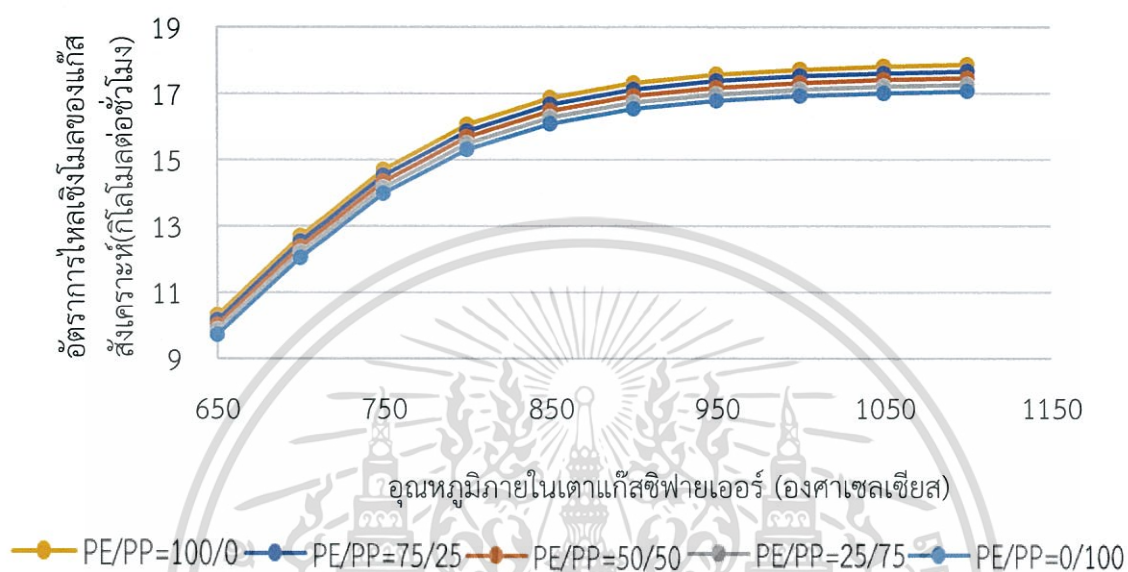
4.4 ผลของสภาวะการดำเนินงานกรณีสารป้อนคือพอลิเอทิลีนผสมกับพอลิพรอพิลีน

4.4.1 ผลของอุณหภูมิเตาแก๊สซิฟายเออร์กรณีใช้ไอน้ำเป็นตัวทำปฏิกิริยา

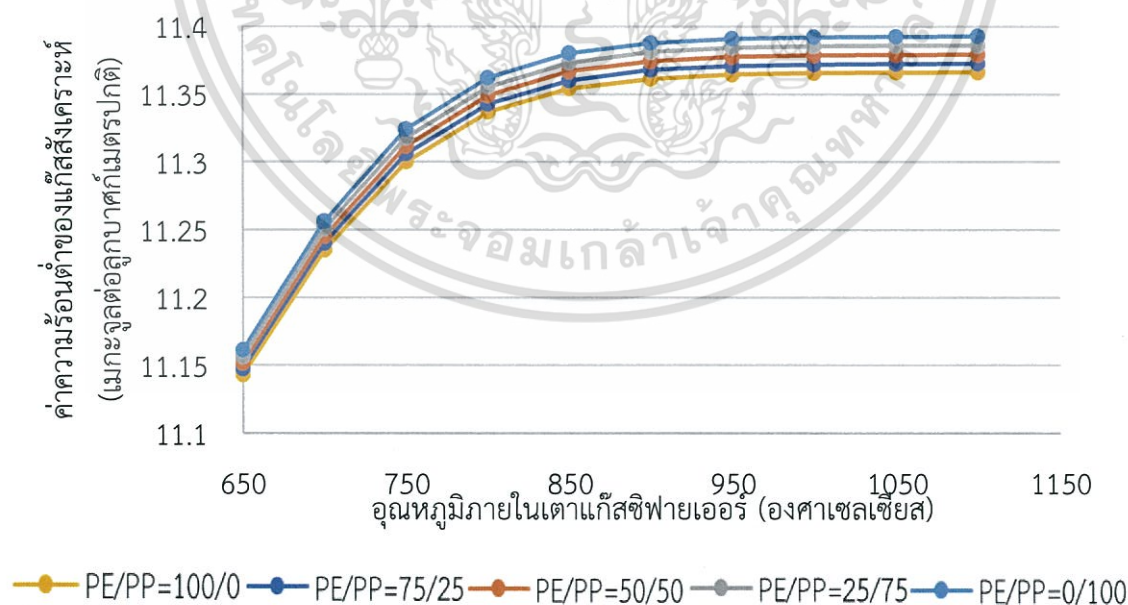
ผลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของเตาแก๊สซิฟายเออร์ตั้งแต่ 650 ถึง 1,100 องศาเซลเซียส โดยสารป้อนคือพอลิเอทิลีนผสมกับพอลิพรอพิลีนที่สัดส่วนโดยมวลเท่ากับ 100/0 75/25 50/50 25/75 และ 0/100 ที่สัดส่วนโดยมวลไอน้ำต่อสารป้อนเท่ากับ 1 ทำให้ได้อัตราการไหลเชิงโมลของแก๊สสังเคราะห์ (H_2+CO) ดังรูปที่ 4.17 พบว่าสารป้อนคือพอลิเอทิลีนผสมกับพอลิพรอพิลีนที่สัดส่วนต่างๆ ให้ผลลัพธ์ที่คล้ายกัน คือเมื่ออุณหภูมิของเตาแก๊สซิฟายเออร์เพิ่มขึ้น ทำให้ได้อัตราการไหลเชิงโมลของแก๊สสังเคราะห์เพิ่มขึ้น และจะเริ่มคงที่ในช่วง 900 ถึง 950 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นผลมาจากปฏิกิริยาย่อยในกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันที่เป็นปฏิกิริยาผันกลับได้และดูดความร้อน ได้แก่ ปฏิกิริยาบูดู-ยาร์ด วอเตอร์แก๊ส และรีฟอร์มมิง ดังสมการที่ (2.6) (2.7) และ (2.13) ตามลำดับ โดยเมื่อเพิ่มอุณหภูมิทำให้ปฏิกิริยาไปข้างหน้า ทำให้ได้แก๊สไฮโดรเจน และคาร์บอนมอนอกไซด์มากขึ้น โดยหากสารป้อนที่มีพลาสติกชนิดพอลิเอทิลีนมากทำให้ได้อัตราการไหลเชิงโมลของแก๊สสังเคราะห์มาก เนื่องจากพอลิเอทิลีนมีปริมาณสารระเหยมากกว่าพอลิพรอพิลีน และปริมาณไอน้ำน้อยกว่าพอลิพรอพิลีนจากการวิเคราะห์แบบประมาณ

โดยผลของค่าความร้อนต่ำ และร้อยละของประสิทธิภาพเชิงความร้อนของแก๊สสังเคราะห์ แสดงดังรูปที่ 4.18 และ 4.19 ตามลำดับ พบว่าสารป้อนคือพอลิเอทิลีนผสมกับพอลิพรอพิลีนที่สัดส่วนต่างๆ ให้ผลลัพธ์ที่คล้ายกัน เมื่ออุณหภูมิเตาแก๊สซิฟายเออร์เพิ่มขึ้นในช่วงแรก สัดส่วนโดยโมลของคาร์บอนมอนอกไซด์มีอัตราการเพิ่มขึ้นเร็วกว่าไฮโดรเจน ซึ่งจะทำให้ปริมาณค่าความร้อนต่ำเพิ่มขึ้น และหลังจากนั้นสัดส่วนโดยโมลของคาร์บอนมอนอกไซด์ และไฮโดรเจนเริ่มคงที่ ทำให้ค่าความร้อนต่ำเริ่มคงที่ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส มากขึ้น โดยหากสารป้อนที่มีพลาสติกชนิดพอลิเอทิลีนมากทำให้ได้ค่าความร้อนต่ำน้อย เนื่องจากพอลิเอทิลีนมีองค์ประกอบคาร์บอน น้อยกว่าพอลิพรอพิลีน และองค์ประกอบไฮโดรเจนน้อยกว่าพอลิพรอพิลีน จากการวิเคราะห์แบบแยกธาตุ ส่งผลให้ค่าความร้อนต่ำน้อย และในขณะเดียวกันเมื่ออุณหภูมิเตาแก๊สซิฟายเออร์เพิ่มขึ้นทำให้ทั้งค่าความร้อน

ต่ำและ อัตราการไหลเชิงปริมาตรของแก๊สสังเคราะห์เพิ่มขึ้นและเริ่มคงที่ที่ 900 องศาเซลเซียส ดังนั้น ร้อยละของประสิทธิภาพเชิงความร้อนของแก๊สสังเคราะห์จะเพิ่มขึ้นและเริ่มคงที่ที่อุณหภูมิเตาแก๊สซิฟายเออร์ 900 องศาเซลเซียส โดยค่าร้อยละของประสิทธิภาพเชิงความร้อนของแก๊สสังเคราะห์ขึ้นกับ อัตราการไหลของแก๊สสังเคราะห์มากกว่าค่าความ ร้อนต่ำ ดังนั้น ผลที่ได้จึงมีแนวโน้มเหมือนกับอัตราการไหลเชิงโมลของแก๊สสังเคราะห์

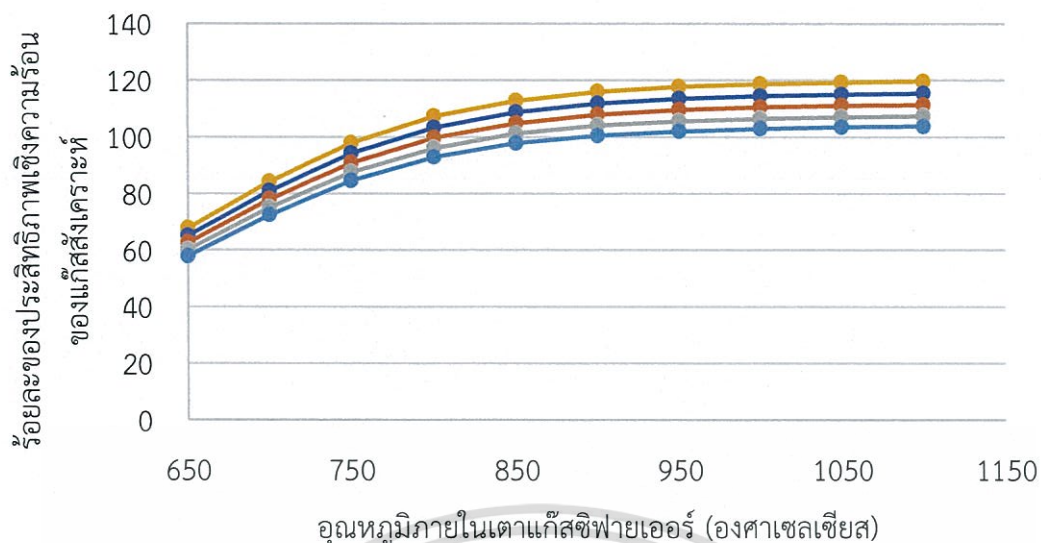


รูปที่ 4.17 ผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในเตาแก๊สซิฟายเออร์ ที่มีต่ออัตราการไหลเชิงโมลของแก๊สสังเคราะห์ ณ สัดส่วนโดยมวลระหว่างไอน้ำต่อสารผสม เท่ากับ 1



รูปที่ 4.18 ผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในเตาแก๊สซิฟายเออร์ ที่มีต่อค่าความร้อนต่ำของแก๊สสังเคราะห์ ณ สัดส่วนโดยมวลระหว่างไอน้ำต่อสารผสม เท่ากับ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



● PE/PP=100/0 ● PE/PP=75/25 ● PE/PP=50/50 ● PE/PP=25/75 ● PE/PP=0/100

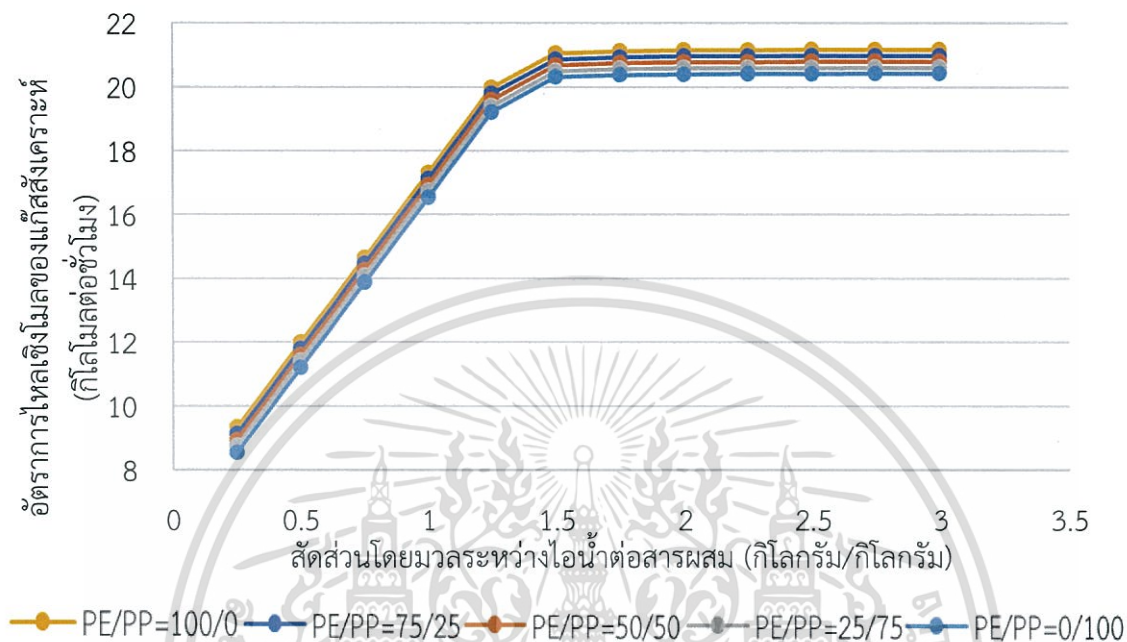
รูปที่ 4.19 ผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในเตาแก๊สซีฟายเออร์ ที่มีต่อร้อยละของประสิทธิภาพเชิงความร้อน ณ สัดส่วนโดยมวลระหว่างไอน้ำต่อสารผสม เท่ากับ 1

4.4.2 ผลของสัดส่วนโดยมวลระหว่างไอน้ำต่อสารผสม

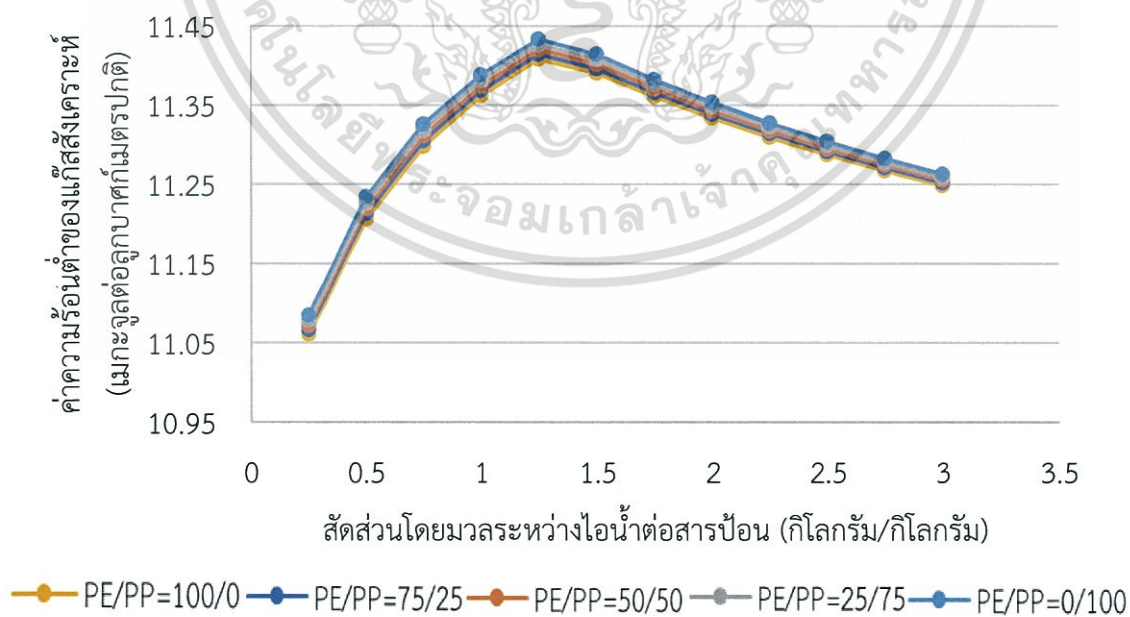
ผลการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนโดยมวลระหว่างไอน้ำต่อพอลิเอทิลีนตั้งแต่ 0.25 ถึง 3 โดยสารป้อนคือพอลิเอทิลีนผสมกับพอลิพรอพิลีนที่สัดส่วนโดยมวลเท่ากับ 100/0 75/25 50/50 25/75 และ 0/100 ที่อุณหภูมิของเตาแก๊สซีฟายเออร์เท่ากับ 900 องศาเซลเซียส โดยผลต่ออัตราการไหลเชิงโมลของแก๊สสังเคราะห์ แสดงดังรูปที่ 4.20 พบว่าสารป้อนผสมที่สัดส่วนต่างๆ ให้ผลลัพธ์ที่คล้ายกัน คือเมื่อป้อนตัวทำปฏิกิริยาไอน้ำเพิ่มขึ้น ทำให้อัตราการไหลเชิงโมลของแก๊สสังเคราะห์เพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากปฏิกิริยาย่อยในกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน ได้แก่ ปฏิกิริยาอวเตอรแก๊ส และรีฟอร์มมิง ดังสมการที่ (2.7) และ (2.13) ตามลำดับ โดยเมื่อเพิ่มไอน้ำทำให้ปฏิกิริยาไปข้างหน้ามากขึ้น ได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นแก๊สไฮโดรเจน และคาร์บอนมอนอกไซด์เพิ่มขึ้น ในขณะที่เดียวกันก็เกิดการย้อนกลับของปฏิกิริยามีเทนชัน ดังสมการที่ (2.11) ทำให้ได้ไฮโดรเจน และคาร์บอนมอนอกไซด์เพิ่มขึ้นเช่นกัน นอกจากนี้แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ได้มานั้นจะถูกเปลี่ยนเป็น คาร์บอนไดออกไซด์ด้วยปฏิกิริยาอวเตอรแก๊สซิฟิเคชัน สมการที่ (2.9) ซึ่งเมื่อเพิ่มไอน้ำจะทำให้ปฏิกิริยาไปข้างหน้าเกิดเป็นคาร์บอนไดออกไซด์กับ ไฮโดรเจนเพิ่มขึ้น โดยสารป้อนพอลิเอทิลีนผสมกับพอลิพรอพิลีนที่สัดส่วนโดยมวลต่างๆ จะให้อัตราการไหลเชิงโมลของแก๊สสังเคราะห์สูงสุดและเริ่มคงที่ที่สัดส่วนโดยมวลระหว่างไอน้ำต่อสารป้อนเดียวกันเท่ากับ 1.5

โดยผลของค่าความร้อนต่ำ และร้อยละของประสิทธิภาพเชิงความร้อนของแก๊สสังเคราะห์ แสดงดังรูปที่ 4.21 และ 4.22 สารป้อนผสมที่สัดส่วนต่างๆ ให้ผลลัพธ์ที่คล้ายกัน คือการเพิ่มไอน้ำในสารป้อนทำให้อัตราการไหลเชิงโมลของแก๊สไฮโดรเจนเพิ่มขึ้นและเริ่มคงที่ และคาร์บอนมอนอกไซด์เพิ่มขึ้นและลดลงที่สัดส่วนโดยมวลระหว่างไอน้ำต่อสารป้อนเท่ากับ 1.25 ทำให้ค่าความร้อนต่ำมีค่าเพิ่มขึ้นและลดลงที่สัดส่วนโดยมวลระหว่างไอน้ำต่อสารป้อนเท่ากับ 1.25 เช่นกัน คำนวณค่าร้อยละของประสิทธิภาพเชิงความร้อนของแก๊สสังเคราะห์ได้ดังสมการที่ (3.2) เมื่อสัดส่วนโดยมวลระหว่างไอน้ำต่อสารป้อนเพิ่มขึ้น ทำให้ค่าความร้อนต่ำของแก๊สสังเคราะห์เพิ่มและเริ่มลดลงที่สัดส่วนโดยมวล

ระหว่างไอน้ำต่อสารป้อนเท่ากับ 1.25 แต่อัตราการไหลเชิงปริมาตรของแก๊สสังเคราะห์เพิ่มขึ้นซึ่งมีนัยสำคัญมากกว่าค่าความร้อนต่ำ ที่สารป้อนสัดส่วนโดยมวลพอลิเอทิลีนต่อพอลิพรอพิลีนต่างๆ ทำให้ค่าร้อยละของประสิทธิภาพเชิงความร้อนของแก๊สสังเคราะห์เพิ่มขึ้นและเริ่มคงที่ที่สัดส่วนโดยมวลระหว่างไอน้ำต่อพอลิเอทิลีนเท่ากับ 1.5 เหมือนกันทุกสัดส่วนโดยมวลพอลิเอทิลีนต่อพอลิพรอพิลีน

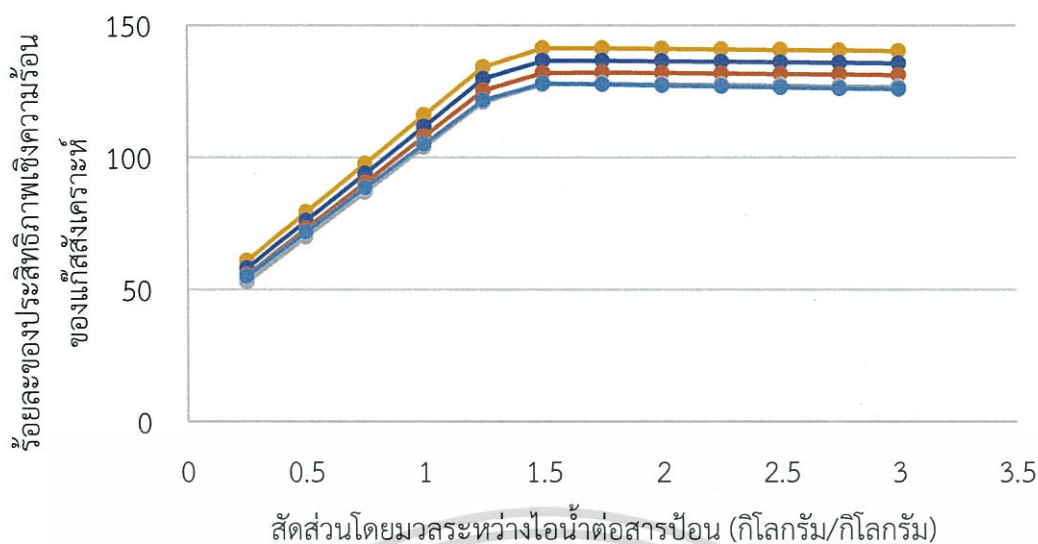


รูปที่ 4.20 ผลของการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนโดยมวลระหว่างไอน้ำต่อสารป้อน ที่มีต่ออัตราการไหลเชิงปริมาตรของแก๊สสังเคราะห์ ณ อุณหภูมิเตาแก๊สซีฟายเออร์ เท่ากับ 900 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.21 ผลของการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนโดยมวลระหว่างไอน้ำต่อสารป้อน ที่มีต่อค่าความร้อนต่ำของแก๊สสังเคราะห์ ณ อุณหภูมิเตาแก๊สซีฟายเออร์ เท่ากับ 900 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



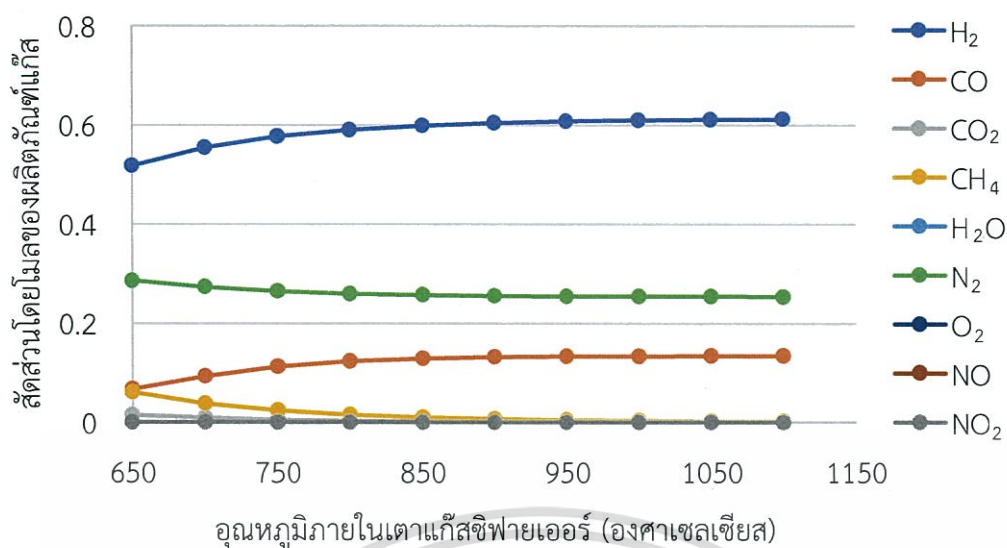
—●— PE/PP=100/0 —●— PE/PP=75/25 —●— PE/PP=50/50 —●— PE/PP=25/75 —●— PE/PP=0/100

รูปที่ 4.22 ผลของการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนโดยมวลระหว่างไอน้ำต่อสารผสม ที่มีต่อร้อยละของประสิทธิภาพเชิงความร้อน ณ อุณหภูมิเตาแก๊สซีฟายเออร์ เท่ากับ 900 องศาเซลเซียส

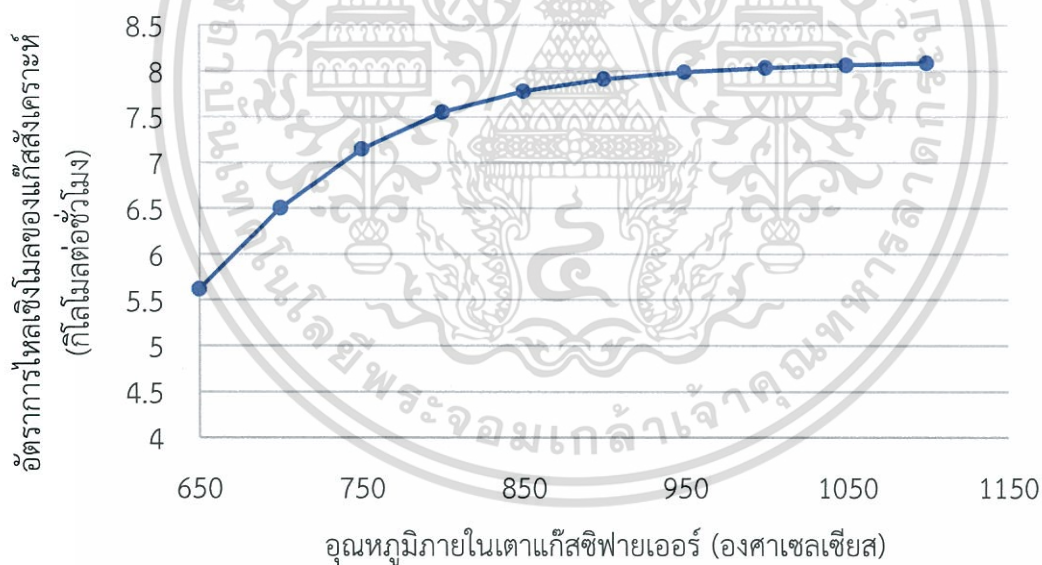
4.4.3 ผลของอุณหภูมิเตาแก๊สซีฟายเออร์กรณีใช้อากาศเป็นตัวทำปฏิกิริยา ณ สารป้อนพอลิเอทิลีนผสมกับพอลิพรอพิลีนสัดส่วนโดยมวล 75/25

ศึกษาผลของตัวทำปฏิกิริยาอากาศ โดยเลือกสัดส่วนสารป้อนพอลิเอทิลีนผสมกับพอลิพรอพิลีนที่สัดส่วนโดยมวล 75/25 ผลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของเตาแก๊สซีฟายเออร์ตั้งแต่ 650 ถึง 1,100 องศาเซลเซียส ที่สัดส่วนโดยมวลอากาศต่อสารป้อนเท่ากับ 1 ทำให้ได้สัดส่วนโดยโมลของผลิตภัณฑ์แก๊ส และอัตราการไหลเชิงโมลของแก๊สสังเคราะห์ (H_2+CO) แสดงดังรูปที่ 4.23 และ 4.24 ตามลำดับ พบว่าเมื่ออุณหภูมิของเตาแก๊สซีฟายเออร์เพิ่มขึ้นสัดส่วนโดยโมลของไฮโดรเจน และคาร์บอนมอนอกไซด์เพิ่มขึ้น ทำให้ได้อัตราการไหลเชิงโมลของแก๊สสังเคราะห์เพิ่มขึ้น และจะเริ่มคงที่ที่ 850 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นผลมาจากปฏิกิริยาย่อยในกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันที่เป็นปฏิกิริยาผันกลับได้และดูดความร้อนเช่น ปฏิกิริยาบูดูยาร์ด วอเตอร์แก๊ส และรีฟอร์มมิง ดังสมการที่ (2.6) (2.7) และ (2.13) ตามลำดับ ซึ่งแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบแก๊ส คล้ายคลึงกับการใช้ไอน้ำเป็นตัวทำปฏิกิริยา โดยเมื่อเพิ่มอุณหภูมิทำให้ปฏิกิริยาดำเนินการไปข้างหน้า

นอกจากนี้ ยังพิจารณาผลของร้อยละของประสิทธิภาพเชิงความร้อนของแก๊สสังเคราะห์ แสดงดังรูปที่ 4.25 ซึ่งคำนวณค่าร้อยละของประสิทธิภาพเชิงความร้อนของแก๊สสังเคราะห์ที่ได้ดังสมการที่ (3.2) เมื่ออุณหภูมิเตาแก๊สซีฟายเออร์เพิ่มขึ้นทำให้ทั้งค่าความร้อนต่ำและอัตราการไหลเชิงปริมาตรของแก๊สสังเคราะห์เพิ่มขึ้นและเริ่มคงที่ที่ 850 องศาเซลเซียส ดังนั้นร้อยละของประสิทธิภาพเชิงความร้อนของแก๊สสังเคราะห์จะเพิ่มขึ้นและเริ่มคงที่ที่อุณหภูมิเตาแก๊สซีฟายเออร์ 850 องศาเซลเซียส โดยสรุปแล้วอุณหภูมิเตาแก๊สซีฟายเออร์ที่เหมาะสมสำหรับการใช้อากาศเป็นตัวทำปฏิกิริยา คือ 850 องศาเซลเซียส ซึ่งจะได้อัตราการไหลเชิงโมลของแก๊สสังเคราะห์เท่ากับ 16.66 กิโลโมลต่อชั่วโมง

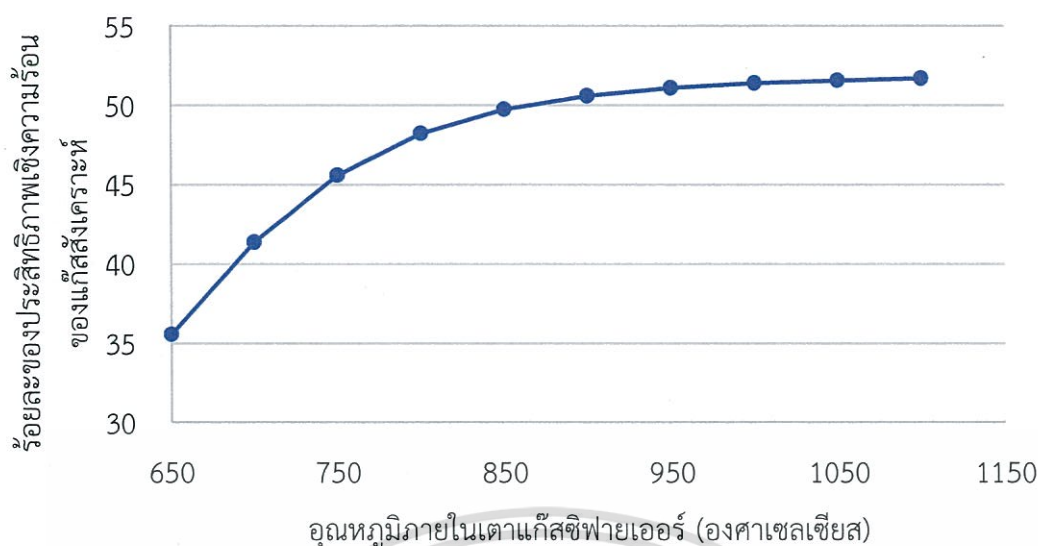


รูปที่ 4.23 ผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในเตาแก๊สซีฟายเออร์ ที่มีต่อสัดส่วนโดยโมลของผลิตภัณฑ์แก๊ส กรณีสารป้อนเป็นพอลิเอทิลีนผสมกับพอลิพรอพิลีนสัดส่วนโดยมวลเท่ากับ 75/25 ณ สัดส่วนโดยมวลอากาศต่อสารป้อน เท่ากับ 1



รูปที่ 4.24 ผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในเตาแก๊สซีฟายเออร์ ที่มีต่ออัตราการไหลเชิงโมลของแก๊สสังเคราะห์ กรณีสารป้อนเป็นพอลิเอทิลีนผสมกับพอลิพรอพิลีนสัดส่วนโดยมวลเท่ากับ 75/25 ณ สัดส่วนโดยมวลอากาศต่อสารป้อน เท่ากับ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

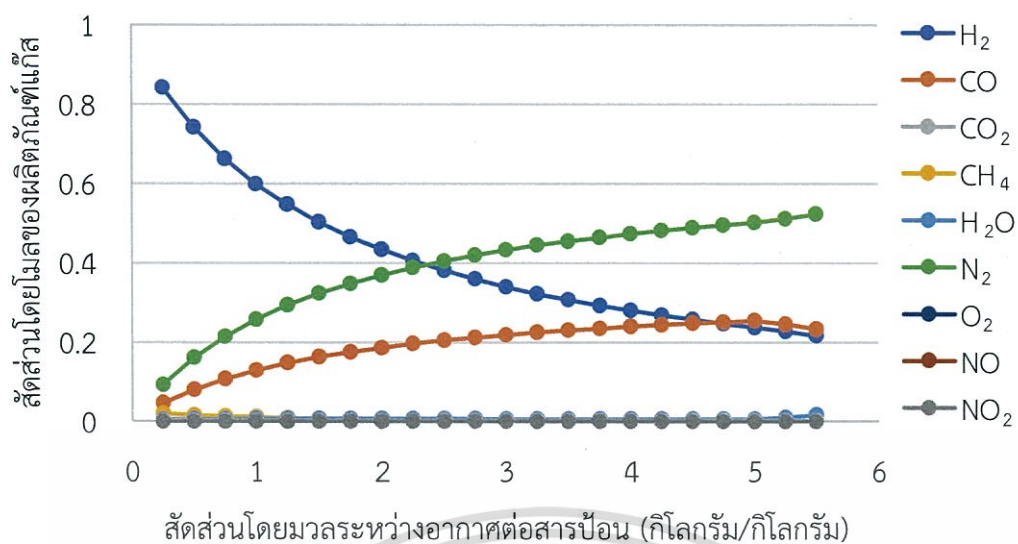


รูปที่ 4.25 ผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในเตาแก๊สซีฟายเออร์ ที่มีต่อร้อยละของประสิทธิภาพเชิงความร้อนของแก๊สสังเคราะห์กรณีสารป้อนเป็นพอลิเอทิลีนผสมกับพอลิพรอพิลีน สัตส่วนโดยมวลเท่ากับ 75/25 ณ สัตส่วนโดยมวลอากาศต่อสารป้อน เท่ากับ 1

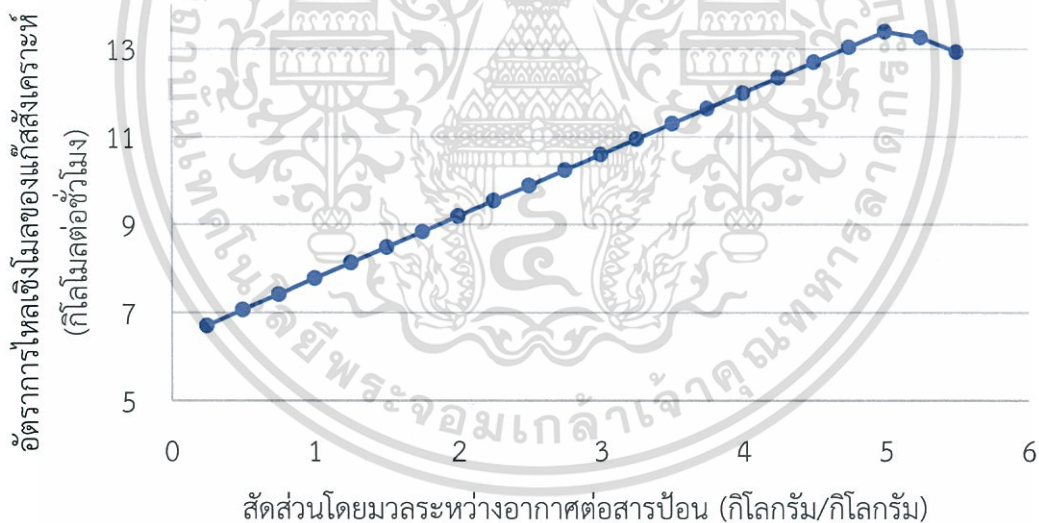
4.4.4 ผลของสัดส่วนโดยมวลระหว่างอากาศต่อสารผสม ณ สารป้อนพอลิเอทิลีนผสมกับพอลิพรอพิลีน สัตส่วนโดยมวล 75/25

ผลการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนโดยมวลระหว่างอากาศต่อสารป้อน ตั้งแต่ 0.25 ถึง 5.50 โดยให้อุณหภูมิของเตาแก๊สซีฟายเออร์เท่ากับ 850 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมในการดำเนินงานของเตาแก๊สซีฟายเออร์ เมื่อใช้อากาศเป็นตัวทำปฏิกิริยา ตามหัวข้อ 4.4.3 โดยแสดงผลการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนโดยมวลระหว่างอากาศต่อสารป้อน ที่มีต่อสัดส่วนโดยโมลของผลิตภัณฑ์แก๊สและอัตราการไหลเชิงโมลของแก๊สสังเคราะห์ ดังรูปที่ 4.26 และ 4.27 ตามลำดับ พบว่าเมื่อป้อนตัวทำปฏิกิริยาอากาศเพิ่มขึ้น ทำให้อัตราการไหลเชิงโมลของแก๊สสังเคราะห์เพิ่มขึ้น โดยอัตราการไหลเชิงโมลของไฮโดรเจนค่อนข้างคงที่มีเพียงแต่ คาร์บอนมอนอกไซด์เท่านั้นที่เพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน ดังสมการที่ (2.1) โดยสัดส่วนโดยมวลระหว่างอากาศต่อสารป้อนมากกว่า 5.0 ทำให้ออกซิเจนที่ใช้ทำปฏิกิริยามากเกินพอเกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ดังสมการที่ (2.2) ถึง (2.5) ส่งผลให้อัตราการไหลเชิงโมลของไฮโดรเจน และ คาร์บอนมอนอกไซด์ลดลง แต่คาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น และกราฟที่ 4.26 แสดงผลการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนโดยมวลระหว่างอากาศต่อสารป้อน ที่มีต่อสัดส่วนโดยโมลของผลิตภัณฑ์แก๊ส จะเห็นได้ว่าการเพิ่มอากาศเป็นตัวทำปฏิกิริยามากขึ้นจะทำให้แก๊สไนโตรเจนเจือจางแก๊สผลิตภัณฑ์

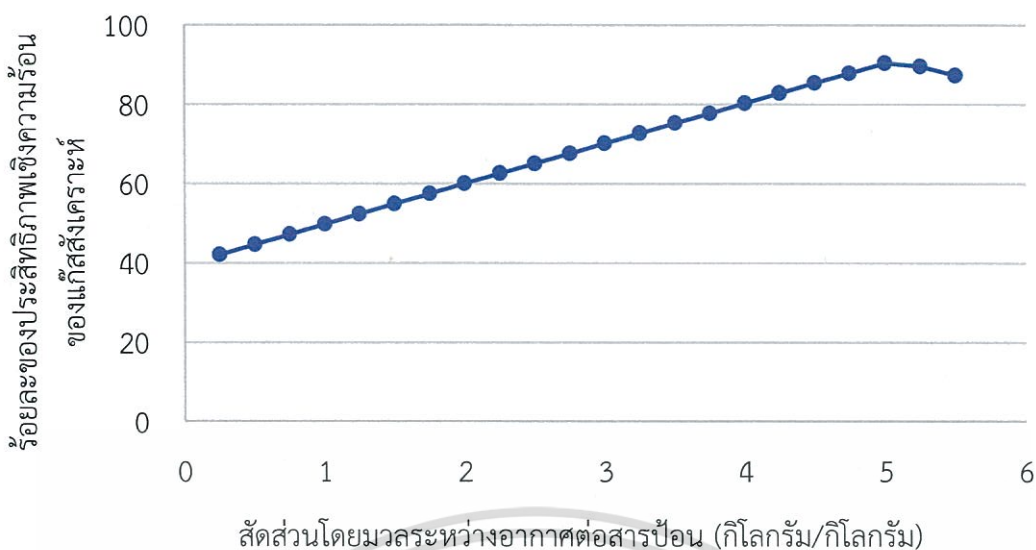
นอกจากนี้ควรพิจารณาค่าร้อยละของประสิทธิภาพเชิงความร้อนของแก๊สสังเคราะห์ ซึ่งคำนวณจากสมการที่ (3.2) เมื่อสัดส่วนโดยมวลระหว่างอากาศต่อสารป้อนเพิ่มขึ้น ทำให้ค่าความร้อนต่ำและอัตราการไหลเชิงปริมาตรของแก๊สสังเคราะห์เพิ่มและเริ่มลดลงที่สัดส่วนโดยมวลระหว่างอากาศต่อสารป้อนเท่ากับ 5.0 ดังนั้นทำให้ค่าร้อยละของประสิทธิภาพเชิงความร้อนของแก๊สสังเคราะห์จะเพิ่มขึ้นและลดลงที่สัดส่วนโดยมวลระหว่างอากาศต่อสารป้อนเท่ากับ 5.0 โดยจะได้อัตราการไหลเชิงโมลของแก๊สสังเคราะห์เท่ากับ 13.40 กิโลโมลต่อชั่วโมง



รูปที่ 4.26 ผลของสัดส่วนโดยมวลระหว่างอากาศต่อสารป้อน ที่มีต่อสัดส่วนโดยโมลของผลิตภัณฑ์แก๊ส กรณีสารป้อนเป็นพอลิเอทิลีนผสมกับพอลิพรอพิลีนสัดส่วนโดยมวลเท่ากับ 75/25 ณ อุณหภูมิเตาแก๊สซีฟายเออร์ เท่ากับ 850 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.27 ผลของสัดส่วนโดยมวลระหว่างอากาศต่อสารป้อน ที่มีต่ออัตราการไหลเชิงโมลของแก๊สสังเคราะห์ กรณีสารป้อนเป็นพอลิเอทิลีนผสมกับพอลิพรอพิลีนสัดส่วนโดยมวลเท่ากับ 75/25 ณ อุณหภูมิเตาแก๊สซีฟายเออร์ เท่ากับ 850 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.28 ผลของสัดส่วนโดยมวลระหว่างอากาศต่อสารป้อน ที่มีต่อร้อยละของประสิทธิภาพเชิงความร้อน กรณีสารป้อนเป็นพอลิเอทิลีนผสมกับพอลิพรอพิลีนสัดส่วนโดยมวลเท่ากับ 75/25 ณ อุณหภูมิเตาแก๊สซีฟายเออร์ เท่ากับ 850 องศาเซลเซียส

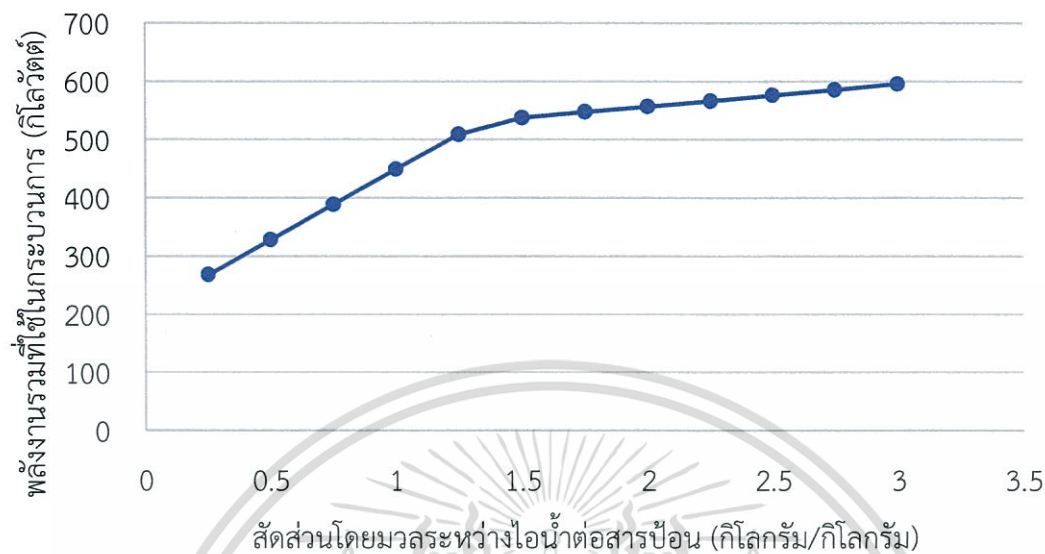
4.4.5 ผลของตัวทำปฏิกิริยาต่อภาวะพึ่งพาตัวเองได้ทางความร้อนกรณีสารป้อนพอลิเอทิลีนผสมกับพอลิพรอพิลีน ณ สัดส่วนโดยมวล 75/25

จากการศึกษาผลของตัวทำปฏิกิริยาในการผลิตแก๊สสังเคราะห์ที่ภาวะพึ่งพาตัวเองได้ทางความร้อน ซึ่งจะศึกษาเฉพาะกรณีสารป้อนคือพอลิเอทิลีนผสมกับพอลิพรอพิลีนที่สัดส่วนโดยมวลเท่ากับ 75/25 โดยในรายงานนี้ใช้ตัวทำปฏิกิริยาเป็นไอน้ำ เทียบกับอากาศ กรณีใช้ตัวทำปฏิกิริยาเป็นไอน้ำ จะกำหนดอุณหภูมิเตาแก๊สซีฟายเออร์เท่ากับ 900 องศาเซลเซียสซึ่งเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดในกรณีใช้ไอน้ำเป็นตัวทำปฏิกิริยา โดยแสดงผลของพลังงานรวมที่ใช้ในกระบวนการ ในกรณีที่ใช้ไอน้ำเป็นตัวทำปฏิกิริยาดังรูปที่ 4.23 พบว่าการเพิ่มสัดส่วนโดยมวลระหว่างไอน้ำต่อสารป้อน ทำให้พลังงานรวมที่ใช้ในกระบวนการเพิ่มขึ้น ไม่มีทางที่จะเท่ากับ 0 กิโลวัตต์ อาจเนื่องมาจากการเพิ่มไอน้ำในระบบทำให้ปฏิกิริยาย่อยในกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันที่เป็นปฏิกิริยาคูดความร้อนมีมากกว่าปฏิกิริยาคายความร้อนทำให้ต้องเพิ่มความร้อนให้แก่ระบบ เช่นการเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้าของปฏิกิริยาอวอ-เตอร์แก๊ส และรีฟอร์มมิง ดังสมการที่ (2.7) และ (2.13) ตามลำดับ และการเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับของปฏิกิริยามีเทนชัน ดังสมการที่ (2.11)

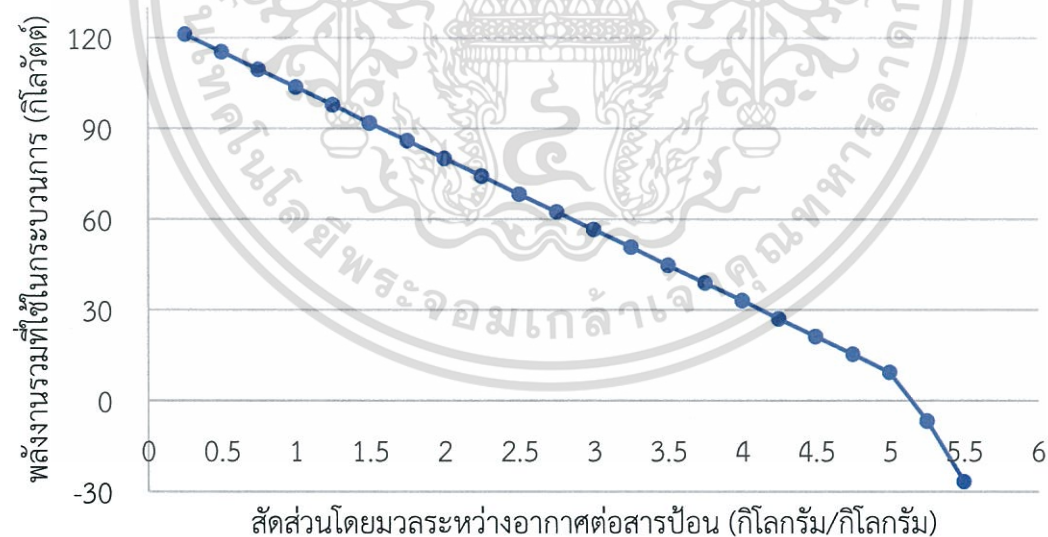
ในกรณีใช้ตัวทำปฏิกิริยาเป็นอากาศ กำหนดอุณหภูมิเตาแก๊สซีฟายเออร์เท่ากับ 850 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดในกรณีใช้อากาศเป็นตัวทำปฏิกิริยา โดยแสดงผลของพลังงานรวมที่ใช้ในกระบวนการ ในกรณีใช้อากาศเป็นตัวทำปฏิกิริยาดังรูปที่ 4.24 พบว่าการเพิ่มสัดส่วนโดยมวลระหว่างอากาศต่อสารป้อน ทำให้พลังงานรวมที่ใช้ในกระบวนการมีค่าลดลงเมื่อสัดส่วนโดยมวลระหว่างอากาศต่อสารป้อนเพิ่มขึ้น และเท่ากับ 0 กิโลวัตต์ ที่สัดส่วนโดยมวลระหว่างอากาศต่อสารป้อนเท่ากับ 5.2 โดยจะได้อัตราการไหลเชิงโมลของแก๊สสังเคราะห์เท่ากับ 13.32 กิโลโมลต่อชั่วโมงอาจเนื่องมาจากการเพิ่มอากาศในระบบเปรียบเสมือนการเพิ่มออกซิเจน ทำให้ปฏิกิริยาย่อยในกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันที่เป็นปฏิกิริยาคายความร้อนมีมากกว่าปฏิกิริยาคูดความร้อนทำให้ระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีความร้อนที่ออกมาใช้เพียงพอสำหรับปฏิกิริยาดูดความร้อน ซึ่งปฏิกิริยาที่ใช้ออกซิเจนเป็นปฏิกิริยาคายความร้อนทั้งหมด ดังสมการที่ (2.1) ถึง (2.5)



รูปที่ 4.29 ผลของการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนโดยมวลระหว่างไอน้ำต่อสารผสม ที่มีต่อพลังงานรวมที่ใช้ในกระบวนการ ณ อุณหภูมิเตาแก๊สซีฟายเออร์ เท่ากับ 900 องศาเซลเซียส และสัดส่วนโดยมวลระหว่างระหว่างพอลิเอทิลีนกับพอลิพรอพิลีนเท่ากับ 75/25



รูปที่ 4.30 ผลของการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนโดยมวลระหว่างอากาศต่อสารผสม ที่มีต่อพลังงานรวมที่ใช้ในกระบวนการ ณ อุณหภูมิเตาแก๊สซีฟายเออร์ เท่ากับ 850 องศาเซลเซียส และสัดส่วนโดยมวลระหว่างพอลิเอทิลีนกับพอลิพรอพิลีนเท่ากับ 75/25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.6 การเปรียบเทียบผลของตัวทำปฏิกิริยากรณีสารป้อนพอลิเอทิลีนผสมกับพอลิพรอ- พิลีน ณ สัดส่วนโดยมวล 75/25

จากตารางที่ 4.5 แสดงผลของภาวะการดำเนินงานที่ทำให้ได้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุด และพืงพาตัวเองได้ทางความร้อนพบว่าการใช้ไอน้ำเป็นตัวทำปฏิกิริยานั้นไม่สามารถทำได้ ภายใต้ภาวะที่พืงพาตัวเองได้ทางความร้อนแต่จะได้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดมากกว่าการใช้ อากาศ รวมทั้งอัตราการไหลเชิงโมลของแก๊สสังเคราะห์มีค่าถึง 20.85 กิโลโมลต่อชั่วโมง ซึ่งมีค่า มากกว่าการใช้อากาศเป็นตัวทำปฏิกิริยา ซึ่งมีอัตราการไหลเชิงโมลของแก๊สสังเคราะห์เพียงแค ่ 13.40 กิโลโมลต่อชั่วโมง ณ ภาวะประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุด แต่การใช้อากาศเป็นตัวทำปฏิกิริยา สามารถดำเนินงานภายใต้ภาวะพืงพาตัวเองได้ทางความร้อน โดยจะได้อัตราการไหลเชิงโมลของแก๊ส-สังเคราะห์ 13.32 กิโลโมลต่อชั่วโมง

ตารางที่ 4.5 ภาวะดำเนินงานที่เหมาะสมที่ทำให้ได้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุด และพืงพาตัวเอง ได้ทางความร้อน

ภาวะดำเนินงาน	ไอน้ำ		อากาศ	
	ภาวะที่ 1	ภาวะที่ 2	ภาวะที่ 1	ภาวะที่ 2
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	900	-	850	850
ความดัน (บรรยากาศ)	1	-	1	1
สัดส่วนโดยมวลระหว่างไอน้ำ ต่อสารป้อน	1.5	-	-	-
สัดส่วนโดยมวลระหว่างอากาศ ต่อสารป้อน	-	-	5.0	5.2
อัตราการไหลเชิงโมลของแก๊ส- สังเคราะห์ (กิโลโมลต่อชั่วโมง)	20.85	-	13.40	13.32
ค่าความร้อนต่ำ (เมกะจูลต่อลูกบาศก์เมตรปกติ)	11.40	-	11.75	11.75
ร้อยละของประสิทธิภาพเชิง- ความร้อน	136.46	-	90.37	89.68

หมายเหตุ

ภาวะที่ 1 คือ พิจารณาประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุด

ภาวะที่ 2 คือ พิจารณาภาวะพืงพาตัวเองได้ทางความร้อน

บทที่ 5

สรุปผลการดำเนินงาน

5.1 สรุปผลการจำลองกระบวนการ

งานวิจัยนี้ออกแบบและจำลองกระบวนการแก๊สซิพีเคชั่นจากขยะพลาสติกสองชนิดคือ พอลิเอทิลีน และพอลิพรอพิลีน โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป AspenPlus™ เพื่อให้ได้ปริมาณแก๊สสังเคราะห์มากที่สุด โดยปริมาณแก๊สสังเคราะห์ได้จากการคำนวณผ่านองค์ประกอบของแก๊สผลิตภัณฑ์ที่สมดุล โดยวิธีการคำนวณค่าพลังงานอิสระของกิบส์ที่ต่ำที่สุด ซึ่งใช้สมการทางเทอร์โมไดนามิกส์ของ Soave-Redlich-Kwong โดยเริ่มออกแบบจากนำพอลิเอทิลีนอย่างเดียวหรือพอลิพรอพิลีนอย่างเดียวมาใช้เป็นสารป้อน และศึกษาอุณหภูมิของเตาแก๊สซิฟายเออร์ และสัดส่วนโดยมวลระหว่างไอน้ำต่อสารป้อน ผลการจำลองกระบวนการแสดงให้เห็นว่าปริมาณแก๊สสังเคราะห์ที่ได้มีปริมาณเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของเตาแก๊สซิฟายเออร์ และจะมีค่าคงที่เมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 900 องศาเซลเซียส โดยสัดส่วนโดยมวลระหว่างไอน้ำต่อสารป้อนที่เหมาะสมคือ 1.5 ทั้งการใช้สารป้อนเป็นพอลิเอทิลีนอย่างเดียวและพอลิพรอพิลีนอย่างเดียว ซึ่งทำให้ได้อัตราการไหลเชิงโมลของแก๊สสังเคราะห์เท่ากับ 21.03 และ 20.30 กิโลโมลต่อชั่วโมง ตามลำดับ หลังจากนั้นทำการศึกษาผลของสัดส่วนโดยมวลระหว่างพอลิเอทิลีนกับพอลิพรอพิลีน ที่ 75/25 50/50 และ 25/75 ผลการจำลองกระบวนการแสดงให้เห็นว่าสัดส่วนระหว่างพอลิเอทิลีนกับพอลิพรอพิลีนทุกค่าให้ผลของอุณหภูมิเตาแก๊สซิฟายเออร์ และสัดส่วนโดยมวลระหว่างไอน้ำต่อสารป้อนคล้ายกัน คือจะได้อัตราการไหลของแก๊สสังเคราะห์มากที่สุดและเริ่มคงที่ที่ 900 องศาเซลเซียส และสัดส่วนโดยมวลระหว่างไอน้ำต่อสารป้อนเท่ากับ 1.5 โดยหากมีสัดส่วนของพอลิเอทิลีนมากทำให้ได้อัตราการไหลของแก๊สสังเคราะห์มาก เนื่องจากในพอลิเอทิลีน มีปริมาณสารระเหยมากกว่าพอลิพรอพิลีน และปริมาณไอน้ำน้อยกว่าพอลิพรอพิลีนตามการวิเคราะห์แบบประมาณ จากนั้นเลือกสารป้อนสัดส่วนโดยมวลระหว่างพอลิเอทิลีนต่อพอลิพรอพิลีนเท่ากับ 75/25 ซึ่งจะศึกษาเกี่ยวกับตัวทำปฏิกิริยาเป็นไอน้ำ เทียบกับอากาศ เพื่อหาภาวะที่พึ่งพาตัวเองได้ทางความร้อน โดยการใช้ไอน้ำเป็นตัวทำปฏิกิริยาจะทำให้อุณหภูมิของเตาแก๊สซิฟายเออร์เท่ากับ 900 องศาเซลเซียสซึ่งเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุด พบว่าที่สัดส่วนโดยมวลระหว่างไอน้ำต่อสารป้อนต่างๆ ไม่สามารถทำให้ระบบพึ่งพาตัวเองได้ทางความร้อน แต่จะได้อัตราการไหลเชิงโมลของแก๊สสังเคราะห์มากที่สุดเท่ากับ 20.85 กิโลโมลต่อชั่วโมง ที่สัดส่วนโดยมวลระหว่างไอน้ำต่อสารป้อนเท่ากับ 1.5 จากนั้นเปลี่ยนมาใช้อากาศเป็นตัวทำปฏิกิริยา ซึ่งใช้อุณหภูมิของเตาแก๊สซิฟายเออร์เท่ากับ 850 องศาเซลเซียสซึ่งอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดพบว่าจะได้อัตราการไหลเชิงโมลของแก๊สสังเคราะห์มากที่สุดเท่ากับ 13.40 กิโลโมลต่อชั่วโมง ที่สัดส่วนโดยมวลระหว่างอากาศต่อสารป้อนเท่ากับ 5.0 แต่ภาวะที่พึ่งพาตัวเองได้ทางความร้อนจะเกิดที่สัดส่วนโดยมวลระหว่างอากาศต่อสารป้อนเท่ากับ 5.2 โดยมีอัตราการไหลเชิงโมลของแก๊สสังเคราะห์เท่ากับ 13.32 กิโลโมลต่อชั่วโมง

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรศึกษากระบวนการในกำจัดแก๊สอื่นๆที่ไม่ใช่แก๊สสังเคราะห์ เพื่อให้ได้แก๊สสังเคราะห์ที่บริสุทธิ์ และมีสัดส่วนที่เหมาะสมสำหรับการนำแก๊สสังเคราะห์ไปใช้สำหรับกระบวนการต่างๆต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.2 ควรศึกษาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ในกรณีใช้ตัวทำปฏิกิริยาเป็น ไออน้ำหรือ อากาศว่าอันไหนคุ้มค่ากว่ากัน รวมถึงความคุ้มค่าในกระบวนการทั้งกรณีที่ได้ผลิตภัณฑ์แก๊ส สังเคราะห์มากที่สุด หรือภาวะที่พึ่งพาตัวเองได้ทางความร้อน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Saad J Md, Williams P T. (2016). Catalytic dry reforming of waste plastics from different waste treatment plants for production of synthesis gases. *Waste Manage.* 58, 214-220.
- [2] Moghadam R A, Osmieri L, et al. (2017). H₂-rich syngas production through mixed residual biomass and HDPE waste via integrated catalytic gasification and tar cracking plus bio-char upgrading. *Chem Eng.* 308, 578-587.
- [3] Basu P. (2010). *Biomass gasification and pyrolysis*. Burlington: Elsevier.
- [4] กรมควบคุมมลพิษ. (2559). “(ร่าง) แผนจัดการขยะพลาสติกอย่างบูรณาการ” [ออนไลน์]. เข้าถึงจาก: <http://www.pcd.go.th/Download/regulation.cfm?task=S10>.
- [5] เกียรติศักดิ์ วงศ์พร้อมรัตน์. (2556). *รอบรู้เรื่องพลาสติก*. กรุงเทพฯ : อุตสาหกรรมพัฒนามูลนิธิสถาบันพลาสติก
- [6] Gaur S, Reed T B. (1998). *Thermal data for natural and synthetic fuel*. Basel : Marcel Dekker, Inc.
- [7] He M, Xiao B. (2009). Syngas production from catalytic gasification of waste polyethylene: Influence of temperature on gas yield and composition. *Hydrogen Energy.* 34, 342-348.
- [8] Xiao R, Jin B, et al. (2007). Air gasification of polypropylene plastic waste in fluidized bed gasifier. *Energy Convers Manage.* 48, 778-786.
- [9] Christiansen L J, Nielsen J R. (2011). *Concepts in syngas manufacture*. London: Imperial College Press.
- [10] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2557). “คู่มือความรู้ด้านพลังงานไฮโดรเจน” [ออนไลน์]. เข้าถึงจาก: <http://www2.dede.go.th/kmmf/download/นวัตกรรม/สวค/คู่มือพลังงานไฮโดรเจน.pdf>
- [11] Alvarez J, Kumagai S, et al. (2014). Hydrogen production from biomass and plastic mixtures by pyrolysis-gasification. *Hydrogen Energy.* 39, 10883-10891.
- [12] Pinto F, André R, et al. (2016). Effect of gasification agent on cogasification of rice production wastes mixtures. *Fuel.* 180, 407-416.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [13] Wu C, Williams P T. (2010). Pyrolysis–gasification of plastics, mixed plastics and real-world plastic waste with and without Ni–Mg–Al catalyst. *Fuel*. 89, 3022-3032.
- [14] Erkiaga A, Lopez G, et al. (2013). Syngas from steam gasification of polyethylene in a conical spouted bed reactor. *Fuel*. 109, 461-469.
- [15] Amoodi N A, Kannan P, et al. (2013). Aspen Plus Simulation of Polyethylene Gasification under Equilibrium Conditions. *Chem Eng Comm*. 200, 977-992.
- [16] Edwards J E. (2008). *Process modelling selection of thermodynamic methods*. Thornaby, P&I Design Ltd.
- [17] Wu C, Williams P T. (2009). Hydrogen production by steam gasification of polypropylene with various nickel catalysts. *Appl. Catal. B: Environ*. 87, 152-161.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก

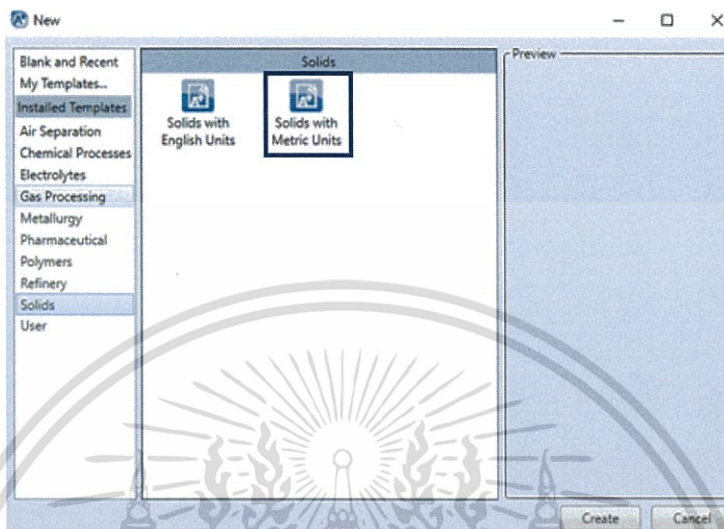
ขั้นตอนการจำลองกระบวนการด้วยโปรแกรม AspenPlus™ V9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการจำลองกระบวนการแก๊สซิเคชัน

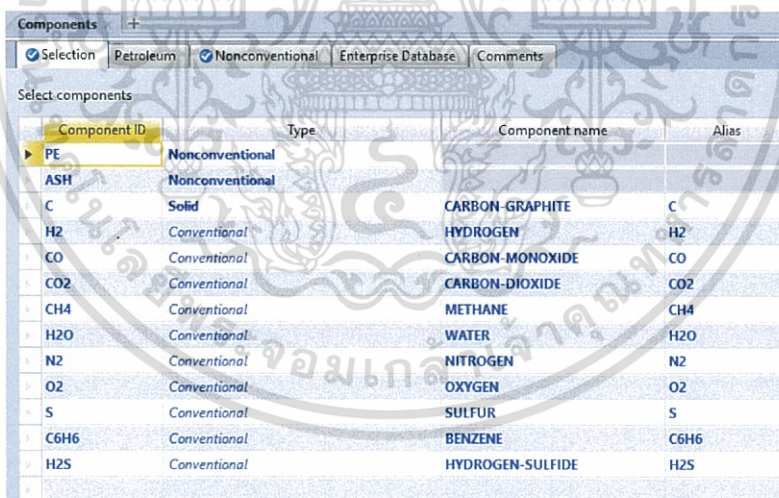
กรณีสารป้อนคือพอลิเอทิลีน และตัวทำปฏิกิริยาคือไอน้ำ

1. เลือกเทมเพลตสำหรับกระบวนการที่มีองค์ประกอบของแข็ง โดยเลือก Solids with Metric Units



รูปที่ ก.1 การเลือกเทมเพลตสำหรับกระบวนการที่มีองค์ประกอบของแข็ง

2. ไปยังหน้า Properties เลือกองค์ประกอบของสารที่จะใช้ในการจำลองกระบวนการ



รูปที่ ก.2 การเลือกองค์ประกอบของสารที่ใช้ในการจำลองกระบวนการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เลือกสมการเทอร์โมไดนามิกส์ที่ใช้ในการคำนวณหาผลิตภัณฑ์

รูปที่ ก.3 การเลือกสมการทางเทอร์โมไดนามิกส์

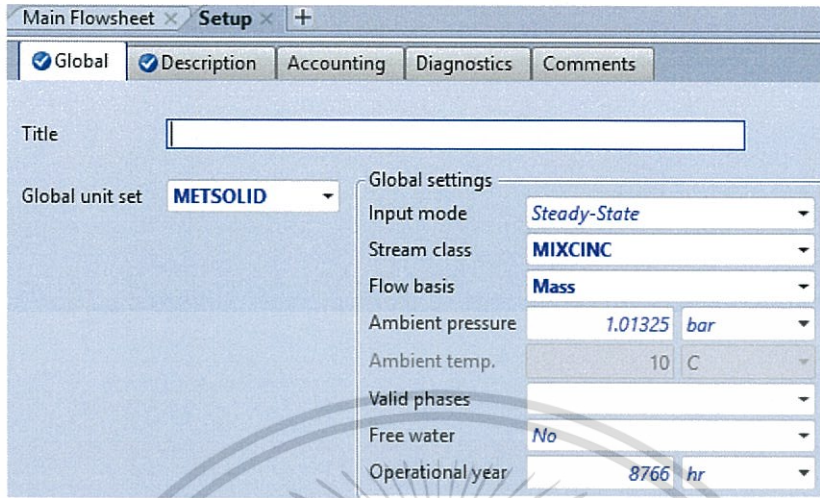
4. ระบุข้อมูลเพิ่มเติมกรณีสารที่เป็น Nonconventional เช่น PE โดยเลือก HCOALGEN ซึ่งจะคำนวณค่าเอนทาลปีผ่าน ค่าการวิเคราะห์แบบประมาณ และแบบแยกธาตุ โดยASH จะระบุเช่นเดียวกัน

Model name	Option codes
Enthalpy	HCOALGEN 1 1 1 1
Density	DCOALGT

รูปที่ ก.4 การระบุข้อมูลเพิ่มเติมสำหรับสารที่เป็น Nonconventional

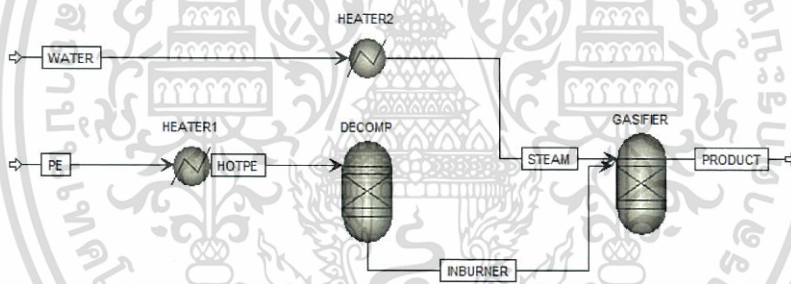
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ไปยังหน้า Simulation ระบุ Stream class เป็น MIXCINC เนื่องจากข้อมูลองค์ประกอบสารที่ใส่ในโปรแกรมมีทั้งสารผสม ของแข็ง และ สารที่โปรแกรมไม่มีข้อมูล



รูปที่ ก.5 การเลือก Stream class

6. จากนั้นวาดกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันได้ดังรูป ก.6 ในหน้า Main Flowsheet



รูปที่ ก.6 กระบวนการแก๊สซิฟิเคชันในหน้า Main Flowsheet

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. ระบุข้อมูลสาย PE รวมถึงใส่ค่าการวิเคราะห์แบบประมาณ และแบบแยกธาตุของพอลิเอทิลีน

PE (MATERIAL) × +

Mixed CI Solid NC Solid Flash Options EO Options Costing Comments

Specifications

State variables

Substream name:

Temperature: C

Pressure: atm

Total flow basis:

Total flow rate: kg/hr

Composition

Mass-Flow

Component	Value
PE	100
ASH	
Total	100

Component Attribute

Component ID:

Attribute ID:

Element	Value
MOISTURE	0.02
FC	0
VM	99.85
ASH	0.15

Component Attribute

Component ID:

Attribute ID:

Element	Value
ASH	0.15
CARBON	85.81
HYDROGEN	13.86
NITROGEN	0.12
CHLORINE	0
SULFUR	0.06
OXYGEN	0

รูปที่ ก.7 การระบุข้อมูลในสาย PE

8. ระบุข้อมูลในสาย WATER โดยให้อัตราส่วนโดยมวลของพอลิเอทิลีนต่อไอน้ำเท่ากับ 1

WATER (MATERIAL) × +

Mixed CI Solid NC Solid Flash Options EO Options Costing Comments

Specifications

Flash Type:

State variables

Temperature: C

Pressure: atm

Vapor fraction:

Total flow basis:

Total flow rate: kg/hr

Solvent:

Reference Temperature

Volume flow reference temperature: C

Component concentration reference temperature: C

Composition

Mass-Flow

Component	Value
C	
H2	
CO	
CO2	
CH4	
H2O	100
N2	
O2	
Total	100

รูปที่ ก.8 การระบุข้อมูลในสาย WATER

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. การระบุข้อมูลในเครื่อง HEATER1 เพื่อให้ความร้อนแก่สารป้อนพอลิเอทิลีนแสดงดังรูป ก.9 โดย HEATER2 ที่ให้ความร้อนแก่น้ำเพื่อเปลี่ยนเป็นไอน้ำจะใส่ค่าเหมือน HEATER1

รูปที่ ก.9 การระบุข้อมูลใน HEATER1

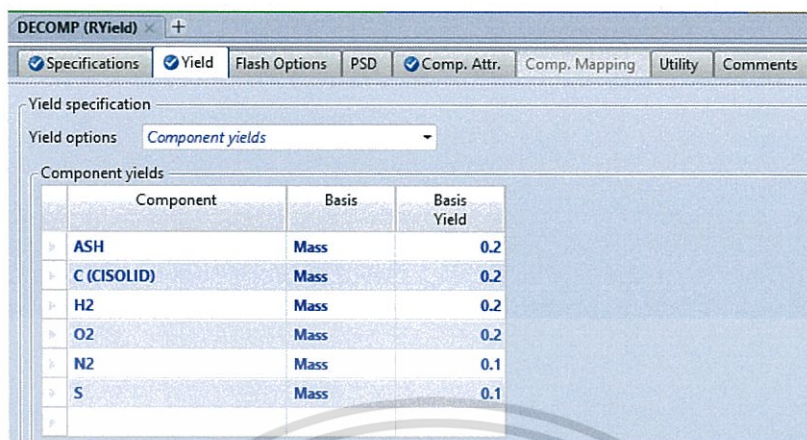
10. การระบุข้อมูลในเตา DECOMP ซึ่งใช้ RYield ในการแตกองค์ประกอบ PE ในรูปผลได้ของแต่ละธาตุ

10.1 ระบุอุณหภูมิและความดันที่ใช้ ใน DECOMP ซึ่งจะมีสถานะเดียวกับเตา GASIFIER

รูปที่ ก.10 การระบุอุณหภูมิและความดันที่ใช้ ใน DECOMP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

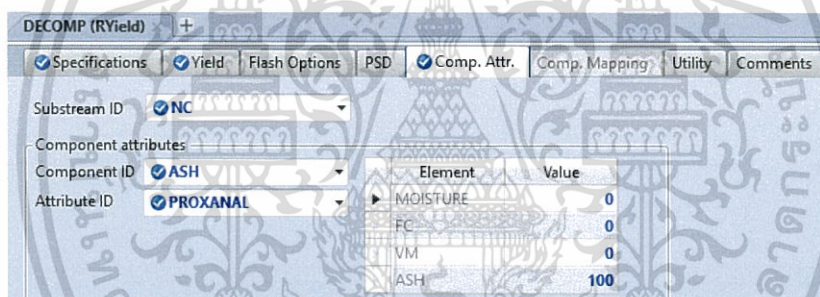
10.2 ระบุร้อยละผลได้ของแต่ละธาตุใน DECOMP ในที่นี้เลือกใส่ค่าไปก่อน ซึ่งค่าจริงจะถูกคำนวณใหม่ใน Calculator ผ่านค่าการวิเคราะห์แบบประมาณ และแบบแยกธาตุของสารป้อน



Component	Basis	Basis Yield
ASH	Mass	0.2
C (CISOLID)	Mass	0.2
H2	Mass	0.2
O2	Mass	0.2
N2	Mass	0.1
S	Mass	0.1

รูปที่ ก.11 การระบุร้อยละผลได้ของแต่ละธาตุใน DECOMP

10.3 ระบุองค์ประกอบของ ASH โดยกำหนดให้เป็น ASH 100% ทั้งการวิเคราะห์แบบประมาณและแบบแยกธาตุ

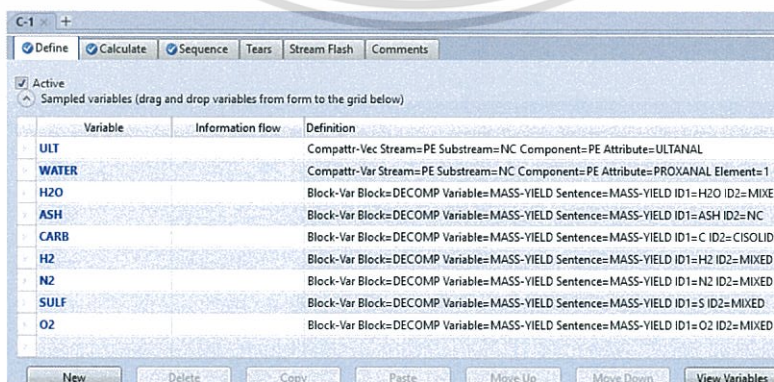


Element	Value
MOISTURE	0
FC	0
VM	0
ASH	100

รูปที่ ก.12 การระบุองค์ประกอบ ASH ใน DECOMP

11. การคำนวณร้อยละผลได้ของแต่ละธาตุใน DECOMP โดยใช้ Calculator

11.1 ระบุตัวแปรต่างๆที่ใช้ในการคำนวณร้อยละผลได้ของแต่ละธาตุใน DECOMP



Variable	Information flow	Definition
ULT		Compattr-Vec Stream=PE Substream=NC Component=PE Attribute=ULTANAL
WATER		Compattr-Var Stream=PE Substream=NC Component=PE Attribute=PROXANAL Element=1
H2O		Block-Var Block=DECOMP Variable=MASS-YIELD Sentence=MASS-YIELD ID1=H2O ID2=MIXED
ASH		Block-Var Block=DECOMP Variable=MASS-YIELD Sentence=MASS-YIELD ID1=ASH ID2=NC
CARB		Block-Var Block=DECOMP Variable=MASS-YIELD Sentence=MASS-YIELD ID1=C ID2=CISOLID
H2		Block-Var Block=DECOMP Variable=MASS-YIELD Sentence=MASS-YIELD ID1=H2 ID2=MIXED
N2		Block-Var Block=DECOMP Variable=MASS-YIELD Sentence=MASS-YIELD ID1=N2 ID2=MIXED
SULF		Block-Var Block=DECOMP Variable=MASS-YIELD Sentence=MASS-YIELD ID1=S ID2=MIXED
O2		Block-Var Block=DECOMP Variable=MASS-YIELD Sentence=MASS-YIELD ID1=O2 ID2=MIXED

รูปที่ ก.13 การระบุตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในการคำนวณร้อยละผลได้ของแต่ละธาตุใน DECOMP

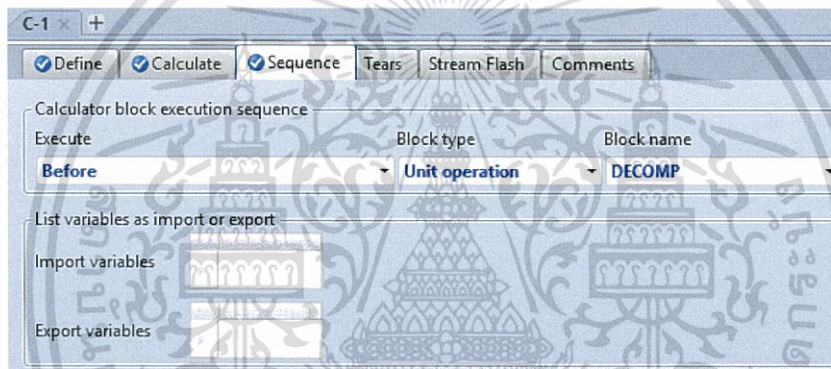
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11.2 สร้างสมการในการหำร้อยละของแต่ละธาตุใน DECOMP โดยคำนวณจากค่าการวิเคราะห์แบบแยกธาตุจาก Dry basis เป็น Wet basis



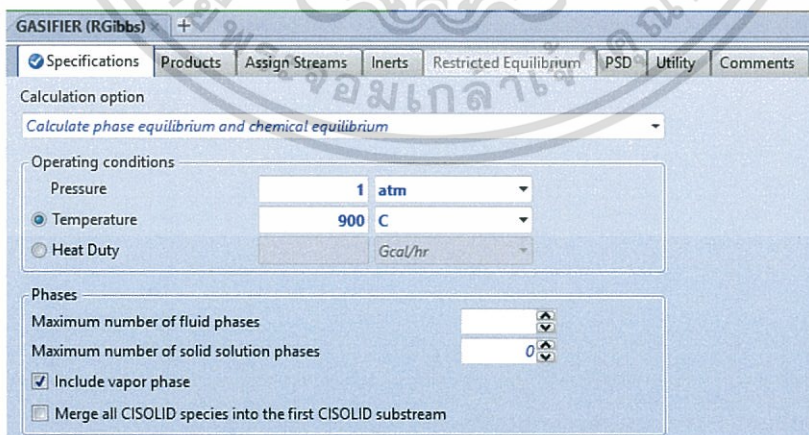
รูปที่ ก.14 การสร้างสมการใน Calculator

11.3 ลำดับการคำนวณร้อยละผลได้ของแต่ละธาตุ โดยจะเริ่มคำนวณก่อนเข้าเตา DECOMP



รูปที่ ก.15 การระบุลำดับการคำนวณใน Calculator

12. การระบุข้อมูลใน GASIFIER ซึ่งใช้ RGibbs ในการจำลองกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน



รูปที่ ก.16 การระบุข้อมูลใน GASIFIER

13. กด Run และดู Result จากนั้นนำมาคำนวณหาค่าความร้อนต่ำของแก๊สสังเคราะห์ และร้อยละประสิทธิภาพเชิงความร้อนของแก๊สสังเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข

ผลการจำลองกระบวนการผลิตแก๊สสังเคราะห์จากขยะพลาสติก
ด้วยกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 ผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเตาแก๊สซีฟายเออร์ที่มีผลต่ออัตราการไหลเชิงมวลของผลิตภัณฑ์ และองค์ประกอบของแก๊สผลิตภัณฑ์ กรณีสารป้อนเป็นพอลิเอทิลีนอย่างเดียว ณ สัดส่วนโดยมวลไอน้ำต่อพอลิเอทิลีน เท่ากับ 1

อุณหภูมิเตา แก๊สซีฟายเออร์ (องศาเซลเซียส)	อัตราการไหล เชิงมวลของแก๊ส (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)	อัตราการไหล เชิงมวลของถ่านชาร์ (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)	ร้อยละโดยโมลขององค์ประกอบแก๊ส									
			H ₂	CO	CO ₂	CH ₄	H ₂ O	N ₂	O ₂	S	H ₂ S	C ₆ H ₆
650	161.1985	38.8015	0.5912	0.1367	0.0626	0.0783	0.1308	3.0E-04	2.6E-24	5.0E-16	1.3E-04	2.4E-15
700	166.9449	33.0551	0.6307	0.1967	0.0417	0.0487	0.0819	2.8E-04	2.5E-23	3.4E-15	1.2E-04	4.2E-15
750	172.7621	27.2382	0.6532	0.2456	0.0235	0.0301	0.0472	2.6E-04	1.5E-22	2.0E-14	1.1E-04	6.2E-15
800	176.8242	23.1757	0.6663	0.2764	0.0119	0.0189	0.0261	2.5E-04	6.8E-22	9.8E-14	1.1E-04	8.6E-15
850	179.0391	20.9612	0.6746	0.2927	0.0058	0.0121	0.0145	2.5E-04	2.4E-21	4.4E-13	1.1E-04	1.1E-14
900	180.0903	19.9095	0.6799	0.3007	0.0029	0.0080	0.0082	2.4E-04	7.5E-21	1.7E-12	1.1E-04	1.3E-14
950	180.5546	19.4457	0.6833	0.3046	0.0015	0.0054	0.0048	2.4E-04	2.1E-20	6.2E-12	1.1E-04	1.6E-14
1000	180.7464	19.2535	0.6856	0.3065	0.0008	0.0038	0.0029	2.4E-04	5.2E-20	2.0E-11	1.0E-04	1.8E-14
1050	180.8181	19.1819	0.6871	0.3075	0.0005	0.0027	0.0019	2.4E-04	1.2E-19	6.0E-11	1.0E-04	1.9E-14
1100	180.8378	19.1624	0.6882	0.3080	0.0003	0.0019	0.0012	2.4E-04	2.8E-19	1.7E-10	1.0E-04	2.1E-14

ตารางที่ ข.2 ผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเตาแก๊สซีฟายเออร์ที่มีผลต่อค่าความร้อนต่ำของแก๊สสังเคราะห์ และประสิทธิภาพเชิงความร้อนของแก๊สสังเคราะห์ กรณีสารป้อนเป็นพอลิเอทิลีนอย่างเดียว ณ สัดส่วนโดยมวลไอน้ำต่อพอลิเอทิลีน เท่ากับ 1

อุณหภูมิเตาแก๊สซีฟายเออร์ (องศาเซลเซียส)	อัตราการไหลเชิงโมลของแก๊สสังเคราะห์ (กิโลโมลต่อชั่วโมง)	ความร้อนต่ำของแก๊สสังเคราะห์ (เมกะจูลต่อลูกบาศก์เมตรปกติ)	ประสิทธิภาพเชิงความร้อน ของแก๊สสังเคราะห์
650	10.2919	11.1432	67.5863
700	12.6926	11.2349	84.0382
750	14.6833	11.3003	97.7847
800	16.0401	11.3369	107.1660
850	16.8469	11.3541	112.7289
900	17.3017	11.3616	115.8483
950	17.5585	11.3647	117.5995
1000	17.7075	11.3658	118.6099
1050	17.7971	11.3662	119.2143
1100	17.8529	11.3663	119.5892

ตารางที่ ข.3 ผลของการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนโดยมวลระหว่างไอน้ำต่อพอลิเอทิลีน ที่มีผลต่ออัตราการไหลเชิงมวลของผลิตภัณฑ์ และองค์ประกอบของแก๊สผลิตภัณฑ์ กรณีสารป้อนเป็นพอลิเอทิลีนอย่างเดียว ณ อุณหภูมิเตาแก๊สซีฟายเออร์ เท่ากับ 900 องศาเซลเซียส

สัดส่วนโดยมวล ระหว่างไอน้ำ ต่อพอลิเอทิลีน	อัตราการไหล เชิงมวลของแก๊ส (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)	อัตราการไหล เชิงมวลของถ่านชาร์ (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)	ร้อยละโดยโมลขององค์ประกอบแก๊ส									
			H ₂	CO	CO ₂	CH ₄	H ₂ O	N ₂	O ₂	S	H ₂ S	C ₆ H ₆
0.25	56.5261	68.4740	0.8413	0.1404	0.0006	0.0123	0.0047	4.5E-04	1.6E-21	2.6E-12	2.0E-04	2.5E-14
0.50	97.6886	52.3114	0.7635	0.2177	0.0015	0.0101	0.0067	3.5E-04	3.9E-21	2.2E-12	1.5E-04	1.9E-14
0.75	138.8815	36.1186	0.7140	0.2668	0.0023	0.0088	0.0076	2.9E-04	5.9E-21	2.0E-12	1.3E-04	1.6E-14
1.00	180.0902	19.9095	0.6799	0.3007	0.0029	0.0080	0.0082	2.4E-04	7.5E-21	1.7E-12	1.1E-04	1.3E-14
1.25	221.3089	3.6907	0.6548	0.3255	0.0034	0.0074	0.0086	2.1E-04	8.8E-21	1.6E-12	9.2E-05	1.2E-14
1.50	249.8499	0.1500	0.6396	0.3041	0.0150	0.0014	0.0396	1.9E-04	2.0E-19	1.5E-12	8.4E-05	6.6E-19
1.75	274.8495	0.1500	0.6177	0.2724	0.0283	0.0006	0.0807	1.8E-04	8.8E-19	1.4E-12	7.9E-05	3.4E-21
2.00	299.8503	0.1500	0.5962	0.2452	0.0389	0.0003	0.1191	1.7E-04	2.0E-18	1.4E-12	7.5E-05	8.6E-23
2.25	324.8502	0.1500	0.5756	0.2220	0.0474	0.0002	0.1546	1.6E-04	3.7E-18	1.4E-12	7.1E-05	4.9E-24
2.50	349.8503	0.1500	0.5562	0.2019	0.0541	0.0001	0.1875	1.5E-04	5.8E-18	1.3E-12	6.7E-05	1.4E-25
2.75	374.8507	0.1500	0.5378	0.1844	0.0594	0.0001	0.2181	1.5E-04	8.4E-18	1.3E-12	6.4E-05	2.5E-25
3.00	399.8501	0.1500	0.5204	0.1692	0.0637	0.0001	0.2465	1.4E-04	1.2E-17	1.3E-12	6.1E-05	6.2E-27

ตารางที่ ข.4 ผลของการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนโดยมวลระหว่างไอน้ำต่อพอลิเอทิลีน ที่มีผลต่อค่าความร้อนต่ำของแก๊สสังเคราะห์ และประสิทธิภาพเชิงความร้อนของแก๊สสังเคราะห์ กรณีสารป้อนเป็นพอลิเอทิลีนอย่างเดียว ณ อุณหภูมิเตาแก๊สซีฟายเออร์ เท่ากับ 900 องศาเซลเซียส

สัดส่วนโดยมวลระหว่าง ไอน้ำต่อพอลิเอทิลีน	อัตราการไหลเชิงโมลของแก๊สสังเคราะห์ (กิโลโมลต่อชั่วโมง)	ความร้อนต่ำของแก๊สสังเคราะห์ (เมกะจูลต่อลูกบาศก์เมตรปกติ)	ประสิทธิภาพเชิงความร้อน ของแก๊สสังเคราะห์
0.25	9.3149	11.0608	60.7246
0.50	11.9785	11.2059	79.1095
0.75	14.6405	11.2979	97.4820
1.00	17.3017	11.3616	115.8483
1.25	19.9624	11.4082	134.2106
1.50	21.0330	11.3903	141.1859
1.75	21.1053	11.3605	141.2994
2.00	21.1274	11.3337	141.1127
2.25	21.1376	11.3095	140.8794
2.50	21.1435	11.2875	140.6434
2.75	21.1471	11.2673	140.4165
3.00	21.1496	11.2489	140.2021

ตารางที่ ข.5 ผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเตาแก๊สซีฟายเออร์ที่มีผลต่ออัตราการไหลเชิงมวลของผลิตภัณฑ์ และองค์ประกอบของแก๊สผลิตภัณฑ์ กรณีสารป้อนเป็นพอลิพรอพิลีนอย่างเดียว ณ สัดส่วนโดยมวลไอน้ำต่อพอลิพรอพิลีน เท่ากับ 1

อุณหภูมิเตาแก๊สซีฟายเออร์ (องศาเซลเซียส)	อัตราการไหลเชิงมวลของแก๊ส (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)	อัตราการไหลเชิงมวลของถ่านชาร์ (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)	ร้อยละโดยโมลขององค์ประกอบแก๊ส									
			H ₂	CO	CO ₂	CH ₄	H ₂ O	N ₂	O ₂	S	H ₂ S	C ₆ H ₆
650	159.3622	40.6378	0.5786	0.1425	0.0680	0.0750	0.1335	0.0019	2.8E-24	1.5E-15	3.9E-04	2.2E-15
700	165.3664	34.6335	0.6172	0.2052	0.0453	0.0466	0.0836	0.0018	2.7E-23	1.0E-14	3.6E-04	3.9E-15
750	171.3856	28.6147	0.6390	0.2565	0.0256	0.0288	0.0482	0.0016	1.7E-22	5.9E-14	3.4E-04	5.8E-15
800	175.6049	24.3956	0.6516	0.2888	0.0130	0.0180	0.0267	0.0016	7.5E-22	3.0E-13	3.3E-04	8.0E-15
850	177.9267	22.0733	0.6595	0.3059	0.0063	0.0116	0.0148	0.0015	2.7E-21	1.3E-12	3.2E-04	1.0E-14
900	179.0474	20.9529	0.6647	0.3143	0.0032	0.0077	0.0084	0.0015	8.2E-21	5.3E-12	3.1E-04	1.3E-14
950	179.5540	20.4460	0.6680	0.3184	0.0016	0.0052	0.0049	0.0015	2.3E-20	1.9E-11	3.1E-04	1.5E-14
1000	179.7735	20.2261	0.6703	0.3204	0.0009	0.0036	0.0030	0.0015	5.7E-20	6.1E-11	3.1E-04	1.7E-14
1050	179.8636	20.1364	0.6717	0.3215	0.0005	0.0026	0.0019	0.0015	1.4E-19	1.8E-10	3.1E-04	1.8E-14
1100	179.8953	20.1047	0.6727	0.3220	0.0003	0.0019	0.0013	0.0015	3.0E-19	5.1E-10	3.1E-04	1.9E-14

ตารางที่ ข.6 ผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเตาแก๊สซีฟายเออร์ที่มีผลต่อค่าความร้อนต่ำของแก๊สสังเคราะห์ และประสิทธิภาพเชิงความร้อนของแก๊สสังเคราะห์ กรณีสารป้อนเป็นพอลิพรอพิลีนอย่างเดียว ณ สัดส่วนโดยมวลไอน้ำต่อพอลิพรอพิลีน เท่ากับ 1

อุณหภูมิเตาแก๊สซีฟายเออร์ (องศาเซลเซียส)	อัตราการไหลเชิงโมลของแก๊สสังเคราะห์ (กิโลโมลต่อชั่วโมง)	ความร้อนต่ำของแก๊สสังเคราะห์ (เมกะจูลต่อลูกบาศก์เมตรปกติ)	ประสิทธิภาพเชิงความร้อน ของแก๊สสังเคราะห์
650	9.7164	11.1612	57.8836
700	12.0328	11.2566	72.2951
750	13.9680	11.3244	84.4274
800	15.2919	11.3624	92.7392
850	16.0789	11.3803	97.6663
900	16.5211	11.3881	100.4205
950	16.7696	11.3913	101.9599
1000	16.9132	11.3925	102.8441
1050	16.9992	11.3929	103.3707
1100	17.0526	11.3930	103.6961

ตารางที่ ข.7 ผลของการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนโดยมวลระหว่างไอน้ำต่อพอลิพรอพิลีน ที่มีผลต่ออัตราการไหลเชิงมวลของผลิตภัณฑ์ และองค์ประกอบของแก๊สผลิตภัณฑ์ กรณีสารป้อนเป็นพอลิพรอพิลีนอย่างเดียว ณ อุณหภูมิเตาแก๊สซีฟายเออร์ เท่ากับ 900 องศาเซลเซียส

สัดส่วนโดยมวล ระหว่างไอน้ำ ต่อพอลิเอทิลีน	อัตราการไหล เชิงมวลของแก๊ส (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)	อัตราการไหล เชิงมวลของถ่านชาร์ (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)	ร้อยละโดยโมลขององค์ประกอบแก๊ส									
			H ₂	CO	CO ₂	CH ₄	H ₂ O	N ₂	O ₂	S	H ₂ S	C ₆ H ₆
0.25	55.4600	69.5400	0.8261	0.1527	0.0007	0.0118	0.0051	0.0029	1.9E-21	8.2E-12	6.1E-04	2.4E-14
0.50	96.6317	53.3684	0.7466	0.2323	0.0017	0.0097	0.0070	0.0022	4.5E-21	6.9E-12	4.6E-04	1.8E-14
0.75	137.8315	37.1682	0.6978	0.2812	0.0025	0.0084	0.0079	0.0018	6.5E-21	6.0E-12	3.7E-04	1.4E-14
1.00	179.0471	20.9534	0.6647	0.3143	0.0032	0.0077	0.0084	0.0015	8.2E-21	5.3E-12	3.1E-04	1.3E-14
1.25	220.2698	4.7301	0.6408	0.3382	0.0036	0.0071	0.0087	0.0013	9.5E-21	4.7E-12	2.7E-04	1.1E-14
1.50	249.2998	0.6999	0.6263	0.3159	0.0157	0.0014	0.0392	0.0012	2.0E-19	4.4E-12	2.5E-04	7.2E-19
1.75	274.2998	0.6999	0.6050	0.2818	0.0301	0.0005	0.0812	0.0011	9.3E-19	4.3E-12	2.3E-04	3.4E-21
2.00	299.3006	0.6999	0.5840	0.2528	0.0414	0.0003	0.1203	0.0011	2.2E-18	4.2E-12	2.2E-04	8.2E-23
2.25	324.3001	0.6999	0.5638	0.2281	0.0503	0.0002	0.1564	0.0010	4.0E-18	4.1E-12	2.1E-04	4.6E-24
2.50	349.3003	0.6999	0.5447	0.2069	0.0573	0.0001	0.1899	0.0009	6.2E-18	4.0E-12	2.0E-04	1.3E-25
2.75	374.2993	0.6999	0.5266	0.1885	0.0628	0.0001	0.2209	0.0009	9.0E-18	3.9E-12	1.9E-04	2.1E-25
3.00	399.3007	0.6999	0.5095	0.1725	0.0672	0.0001	0.2498	0.0009	1.2E-17	3.9E-12	1.8E-04	5.4E-27

ตารางที่ ข.8 ผลของการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนโดยมวลระหว่างไอน้ำต่อพอลิพรอพิลีน ที่มีผลต่อค่าความร้อนต่ำของแก๊สสังเคราะห์ และประสิทธิภาพเชิงความร้อนของแก๊สสังเคราะห์ กรณีสารป้อนเป็นพอลิพรอพิลีนอย่างเดียว ณ อุณหภูมิเตาแก๊สซีฟายเออร์ เท่ากับ 900 องศาเซลเซียส

สัดส่วนโดยมวลระหว่าง ไอน้ำต่อพอลิเอทิลีน	อัตราการไหลเชิงโมลของแก๊สสังเคราะห์ (กิโลโมลต่อชั่วโมง)	ความร้อนต่ำของแก๊สสังเคราะห์ (เมกะจูลต่อลูกบาศก์เมตรปกติ)	ประสิทธิภาพเชิงความร้อน ของแก๊สสังเคราะห์
0.25	8.5352	11.0848	54.9416
0.50	11.1984	11.2342	71.6480
0.75	13.8601	11.3260	88.3202
1.00	16.5211	11.3881	104.9744
1.25	19.1816	11.4329	121.6185
1.50	20.2923	11.4143	127.8980
1.75	20.3618	11.3821	127.7138
2.00	20.3826	11.3533	127.2919
2.25	20.3922	11.3274	126.8569
2.50	20.3976	11.3039	126.4443
2.75	20.4011	11.2825	126.0605
3.00	20.4033	11.2629	125.7055

ตารางที่ ข.9 ผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเตาแก๊สซีฟายเออร์ที่มีผลต่ออัตราการไหลเชิงมวลของผลิตภัณฑ์ และองค์ประกอบของแก๊สผลิตภัณฑ์ กรณีสารป้อนเป็นพอลิเอทิลีนผสมกับพอลิพรอพิลีนสัดส่วนโดยมวลเท่ากับ 75/25 ณ สัดส่วนโดยมวลไอน้ำต่อสารป้อน เท่ากับ 1

อุณหภูมิเตา แก๊สซีฟายเออร์ (องศาเซลเซียส)	อัตราการไหล เชิงมวลของแก๊ส (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)	อัตราการไหล เชิงมวลของถ่านชาร์ (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)	ร้อยละโดยโมลขององค์ประกอบแก๊ส									
			H ₂	CO	CO ₂	CH ₄	H ₂ O	N ₂	O ₂	S	H ₂ S	C ₆ H ₆
650	160.7360	39.2640	0.5881	0.1381	0.0639	0.0775	0.1315	6.9E-04	2.7E-24	7.5E-16	2.0E-04	2.4E-15
700	166.5483	33.4516	0.6274	0.1987	0.0426	0.0482	0.0823	6.4E-04	2.5E-23	5.0E-15	1.8E-04	4.1E-15
750	172.4168	27.5833	0.6498	0.2483	0.0240	0.0297	0.0475	6.0E-04	1.6E-22	2.9E-14	1.7E-04	6.1E-15
800	176.5190	23.4813	0.6628	0.2794	0.0121	0.0187	0.0263	5.7E-04	7.0E-22	1.5E-13	1.6E-04	8.4E-15
850	178.7605	21.2397	0.6709	0.2959	0.0059	0.0120	0.0145	5.6E-04	2.5E-21	6.5E-13	1.6E-04	1.1E-14
900	179.8289	20.1706	0.6762	0.3040	0.0029	0.0079	0.0083	5.5E-04	7.6E-21	2.6E-12	1.6E-04	1.3E-14
950	180.3035	19.6960	0.6796	0.3079	0.0015	0.0054	0.0049	5.5E-04	2.1E-20	9.2E-12	1.6E-04	1.5E-14
1000	180.5029	19.4968	0.6819	0.3099	0.0008	0.0037	0.0030	5.5E-04	5.4E-20	3.0E-11	1.5E-04	1.7E-14
1050	180.5793	19.4206	0.6834	0.3109	0.0005	0.0026	0.0019	5.4E-04	1.3E-19	9.0E-11	1.5E-04	1.9E-14
1100	180.6019	19.3980	0.6844	0.3114	0.0003	0.0019	0.0012	5.4E-04	2.9E-19	2.5E-10	1.5E-04	2.0E-14

ตารางที่ ข.10 ผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเตาแก๊สซีฟายเออร์ที่มีผลต่อค่าความร้อนต่ำของแก๊สสังเคราะห์ และประสิทธิภาพเชิงความร้อนของแก๊สสังเคราะห์ กรณีสารป้อนเป็นพอลิเอทิลีนผสมกับพอลิพรอพิลีนสัดส่วนโดยมวลเท่ากับ 75/25 ณ สัดส่วนโดยมวลไอน้ำต่อสารป้อน เท่ากับ 1

อุณหภูมิเตาแก๊สซีฟายเออร์ (องศาเซลเซียส)	อัตราการไหลเชิงโมลของแก๊สสังเคราะห์ (กิโลโมลต่อชั่วโมง)	ความร้อนต่ำของแก๊สสังเคราะห์ (เมกะจูลต่อลูกบาศก์เมตรปกติ)	ประสิทธิภาพเชิงความร้อน ของแก๊สสังเคราะห์
650	10.1480	11.1475	64.9756
700	12.5277	11.2402	80.8788
750	14.5045	11.3061	94.1911
800	15.8530	11.3430	103.2844
850	16.6549	11.3605	108.6762
900	17.1065	11.3680	111.6971
950	17.3613	11.3711	113.3912
1000	17.5089	11.3723	114.3678
1050	17.5976	11.3727	114.9511
1100	17.6529	11.3728	115.3128

ตารางที่ ข.11 ผลของการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนโดยมวลระหว่างไอน้ำต่อสารป้อนที่มีผลต่ออัตราการไหลเชิงมวลของผลิตภัณฑ์ และองค์ประกอบของแก๊สผลิตภัณฑ์ กรณีสารป้อนเป็นพอลิเอทิลีนผสมกับพอลิพรอพิลีนสัดส่วนโดยมวลเท่ากับ 75/25 ณ อุณหภูมิเตาแก๊สซิฟายเออร์ เท่ากับ 900 องศาเซลเซียส

สัดส่วนโดยมวลระหว่างไอน้ำต่อสารป้อน	อัตราการไหลเชิงมวลของแก๊ส (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)	อัตราการไหลเชิงมวลของถ่านชาร์ (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)	ร้อยละโดยโมลขององค์ประกอบแก๊ส									
			H ₂	CO	CO ₂	CH ₄	H ₂ O	N ₂	O ₂	S	H ₂ S	C ₆ H ₆
0.25	56.2592	68.7408	0.8378	0.1433	0.0007	0.0122	0.0048	0.0010	1.7E-21	3.9E-12	2.9E-04	2.5E-14
0.50	97.4240	52.5759	0.7595	0.2212	0.0016	0.0100	0.0067	0.0008	4.1E-21	3.3E-12	2.3E-04	1.9E-14
0.75	138.6189	36.3812	0.7101	0.2703	0.0023	0.0087	0.0077	0.0007	6.0E-21	2.9E-12	1.9E-04	1.5E-14
1.00	179.8289	20.1706	0.6762	0.3040	0.0029	0.0079	0.0083	0.0006	7.6E-21	2.6E-12	1.6E-04	1.3E-14
1.25	221.0493	3.9506	0.6514	0.3286	0.0034	0.0074	0.0086	0.0005	8.9E-21	2.3E-12	1.4E-04	1.2E-14
1.50	249.7125	0.2874	0.6364	0.3070	0.0151	0.0014	0.0395	0.0004	2.0E-19	2.2E-12	1.2E-04	6.7E-19
1.75	274.7123	0.2874	0.6146	0.2747	0.0287	0.0005	0.0809	0.0004	8.9E-19	2.1E-12	1.2E-04	3.4E-21
2.00	299.7126	0.2874	0.5932	0.2471	0.0395	0.0003	0.1194	0.0004	2.1E-18	2.1E-12	1.1E-04	8.5E-23
2.25	324.7128	0.2874	0.5727	0.2235	0.0481	0.0002	0.1551	0.0004	3.8E-18	2.0E-12	1.0E-04	4.8E-24
2.50	349.7121	0.2874	0.5534	0.2031	0.0549	0.0001	0.1881	0.0003	5.9E-18	2.0E-12	9.8E-05	1.4E-25
2.75	374.7133	0.2874	0.5350	0.1854	0.0603	0.0001	0.2188	0.0003	8.6E-18	2.0E-12	9.4E-05	2.4E-25
3.00	399.7122	0.2874	0.5177	0.1700	0.0645	0.0001	0.2473	0.0003	1.2E-17	1.9E-12	8.9E-05	6.0E-27

ตารางที่ ข.12 ผลของการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนโดยมวลระหว่างไอน้ำต่อสารป้อน ที่มีผลต่อค่าความร้อนต่ำของแก๊สสังเคราะห์ และประสิทธิภาพเชิงความร้อนของแก๊สสังเคราะห์ กรณีสารป้อนเป็นพอลิเอทิลีนผสมกับพอลิพรอพิลีนสัดส่วนโดยมวลเท่ากับ 75/25 ณ อุณหภูมิเตาแก๊สซีฟายเออร์ เท่ากับ 900 องศาเซลเซียส

สัดส่วนโดยมวลระหว่าง ไอน้ำต่อสารป้อน	อัตราการไหลเชิงโมลของแก๊สสังเคราะห์ (กิโลโมลต่อชั่วโมง)	ความร้อนต่ำของแก๊สสังเคราะห์ (เมกะจูลต่อลูกบาศก์เมตรปกติ)	ประสิทธิภาพเชิงความร้อน ของแก๊สสังเคราะห์
0.25	9.1200	11.0664	57.9768
0.50	11.7835	11.2126	75.8936
0.75	14.4455	11.3047	93.7985
1.00	17.1065	11.3680	111.6971
1.25	19.7672	11.4142	129.5920
1.50	20.8479	11.3962	136.4593
1.75	20.9194	11.3657	136.5613
2.00	20.9411	11.3385	136.3744
2.25	20.9513	11.3139	136.1434
2.50	20.9570	11.2915	135.9105
2.75	20.9606	11.2711	135.6873
3.00	20.9630	11.2523	135.4767

ตารางที่ ข.13 ผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเตาแก๊สซีฟายเออร์ที่มีผลต่ออัตราการไหลเชิงมวลของผลิตภัณฑ์ และองค์ประกอบของแก๊สผลิตภัณฑ์ กรณีสารป้อนเป็นพอลิเอทิลีนผสมกับพอลิพรอพิลีนสัดส่วนโดยมวลเท่ากับ 50/50 ณ สัดส่วนโดยมวลไอน้ำต่อสารป้อน เท่ากับ 1

อุณหภูมิเตา แก๊สซีฟายเออร์ (องศาเซลเซียส)	อัตราการไหล เชิงมวลของแก๊ส (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)	อัตราการไหล เชิงมวลของถ่านชาร์ (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)	ร้อยละโดยโมลขององค์ประกอบแก๊ส									
			H ₂	CO	CO ₂	CH ₄	H ₂ O	N ₂	O ₂	S	H ₂ S	C ₆ H ₆
650	160.2753	39.7246	0.5850	0.1395	0.0652	0.0767	0.1322	0.0011	2.7E-24	1.0E-15	2.6E-04	2.3E-15
700	166.1529	33.8470	0.6241	0.2008	0.0435	0.0477	0.0827	0.0010	2.6E-23	6.7E-15	2.4E-04	4.0E-15
750	172.0720	27.9279	0.6462	0.2509	0.0245	0.0294	0.0477	0.0009	1.6E-22	3.9E-14	2.2E-04	6.0E-15
800	176.2130	23.7866	0.6591	0.2824	0.0124	0.0185	0.0264	0.0009	7.1E-22	1.9E-13	2.2E-04	8.3E-15
850	178.4825	21.5180	0.6672	0.2991	0.0061	0.0119	0.0146	0.0009	2.5E-21	8.7E-13	2.1E-04	1.1E-14
900	179.5680	20.4317	0.6724	0.3073	0.0030	0.0078	0.0083	0.0009	7.8E-21	3.5E-12	2.1E-04	1.3E-14
950	180.0535	19.9462	0.6759	0.3113	0.0016	0.0053	0.0049	0.0009	2.2E-20	1.2E-11	2.1E-04	1.5E-14
1000	180.2595	19.7401	0.6781	0.3133	0.0008	0.0037	0.0030	0.0009	5.5E-20	4.0E-11	2.1E-04	1.7E-14
1050	180.3406	19.6593	0.6796	0.3143	0.0005	0.0026	0.0019	0.0009	1.3E-19	1.2E-10	2.0E-04	1.9E-14
1100	180.3659	19.6337	0.6806	0.3149	0.0003	0.0019	0.0012	0.0009	2.9E-19	3.3E-10	2.0E-04	2.0E-14

ตารางที่ ข.14 ผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเตาแก๊สซีฟายเออร์ที่มีผลต่อค่าความร้อนต่ำของแก๊สสังเคราะห์ และประสิทธิภาพเชิงความร้อนของแก๊สสังเคราะห์ กรณีสารป้อนเป็นพอลิเอทิลีนผสมกับพอลิพรอพิลีนสัดส่วนโดยมวลเท่ากับ 50/50 ณ สัดส่วนโดยมวลไอน้ำต่อสารป้อน เท่ากับ 1

อุณหภูมิเตาแก๊สซีฟายเออร์ (องศาเซลเซียส)	อัตราการไหลเชิงโมลของแก๊สสังเคราะห์ (กิโลโมลต่อชั่วโมง)	ความร้อนต่ำของแก๊สสังเคราะห์ (เมกะจูลต่อลูกบาศก์เมตรปกติ)	ประสิทธิภาพเชิงความร้อน ของแก๊สสังเคราะห์
650	10.0041	11.1520	62.4942
700	12.3627	11.2455	77.8757
750	14.3257	11.3121	90.7754
800	15.6659	11.3493	99.5951
850	16.4629	11.3669	104.8244
900	16.9114	11.3745	107.7518
950	17.1641	11.3777	109.3919
1000	17.3104	11.3789	110.3360
1050	17.3982	11.3793	110.8996
1100	17.4528	11.3794	111.2486

ตารางที่ ข.15 ผลของการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนโดยมวลระหว่างไอน้ำต่อสารป้อนที่มีผลต่ออัตราการไหลเชิงมวลของผลิตภัณฑ์ และองค์ประกอบของแก๊สผลิตภัณฑ์ กรณีสารป้อนเป็นพอลิเอทิลีนผสมกับพอลิพรอพิลีนสัดส่วนโดยมวลเท่ากับ 50/50 ณ อุณหภูมิเตาแก๊สซีฟายเออร์ เท่ากับ 900 องศาเซลเซียส

สัดส่วนโดยมวล ระหว่างไอน้ำต่อ สารป้อน	อัตราการไหล เชิงมวลของแก๊ส (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)	อัตราการไหล เชิงมวลของถ่านชาร์ (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)	ร้อยละโดยโมลขององค์ประกอบแก๊ส									
			H ₂	CO	CO ₂	CH ₄	H ₂ O	N ₂	O ₂	S	H ₂ S	C ₆ H ₆
0.25	55.9934	69.0067	0.8340	0.1463	0.0007	0.0121	0.0049	0.0016	1.8E-21	5.3E-12	3.9E-04	2.5E-14
0.50	97.1603	52.8398	0.7553	0.2248	0.0016	0.0099	0.0068	0.0013	4.2E-21	4.5E-12	3.0E-04	1.8E-14
0.75	138.3565	36.6434	0.7061	0.2738	0.0024	0.0086	0.0078	0.0010	6.2E-21	3.9E-12	2.5E-04	1.5E-14
1.00	179.5680	20.4315	0.6724	0.3073	0.0030	0.0078	0.0083	0.0009	7.8E-21	3.5E-12	2.1E-04	1.3E-14
1.25	220.7893	4.2105	0.6479	0.3317	0.0035	0.0073	0.0086	0.0008	9.1E-21	3.1E-12	1.8E-04	1.2E-14
1.50	249.5747	0.4249	0.6331	0.3099	0.0153	0.0014	0.0394	0.0007	2.0E-19	2.9E-12	1.6E-04	6.9E-19
1.75	274.5754	0.4249	0.6115	0.2770	0.0292	0.0005	0.0810	0.0006	9.0E-19	2.8E-12	1.5E-04	3.4E-21
2.00	299.5746	0.4249	0.5902	0.2490	0.0401	0.0003	0.1197	0.0006	2.1E-18	2.7E-12	1.4E-04	8.4E-23
2.25	324.5756	0.4249	0.5698	0.2250	0.0488	0.0002	0.1555	0.0006	3.8E-18	2.7E-12	1.4E-04	4.7E-24
2.50	349.5753	0.4249	0.5505	0.2043	0.0557	0.0001	0.1887	0.0005	6.0E-18	2.6E-12	1.3E-04	1.3E-25
2.75	374.5751	0.4249	0.5322	0.1864	0.0611	0.0001	0.2195	0.0005	8.7E-18	2.6E-12	1.2E-04	2.3E-25
3.00	399.5749	0.4249	0.5150	0.1708	0.0654	0.0001	0.2481	0.0005	1.2E-17	2.6E-12	1.2E-04	5.8E-27

ตารางที่ ข.16 ผลของการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนโดยมวลระหว่างไอน้ำต่อสารป้อน ที่มีผลต่อค่าความร้อนต่ำของแก๊สสังเคราะห์ และประสิทธิภาพเชิงความร้อนของแก๊สสังเคราะห์ กรณีสารป้อนเป็นพอลิเอทิลีนผสมกับพอลิพรอพิลีนสัดส่วนโดยมวลเท่ากับ 50/50 ณ อุณหภูมิเตาแก๊สซีฟายเออร์ เท่ากับ 900 องศาเซลเซียส

สัดส่วนโดยมวลระหว่าง ไอน้ำต่อสารป้อน	อัตราการไหลเชิงโมลของแก๊สสังเคราะห์ (กิโลโมลต่อชั่วโมง)	ความร้อนต่ำของแก๊สสังเคราะห์ (เมกะจูลต่อลูกบาศก์เมตรปกติ)	ประสิทธิภาพเชิงความร้อน ของแก๊สสังเคราะห์
0.25	8.9250	11.0723	55.3652
0.50	11.5884	11.2195	72.8371
0.75	14.2503	11.3116	90.2974
1.00	16.9114	11.3745	107.7518
1.25	19.5720	11.4203	125.2028
1.50	20.6627	11.4021	131.9670
1.75	20.7336	11.3711	132.0584
2.00	20.7549	11.3433	131.8708
2.25	20.7649	11.3183	131.6421
2.50	20.7706	11.2956	131.4122
2.75	20.7741	11.2748	131.1923
3.00	20.7764	11.2558	130.9854

ตารางที่ ข.17 ผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเตาแก๊สซีฟายเออร์ที่มีผลต่ออัตราการไหลเชิงมวลของผลิตภัณฑ์ และองค์ประกอบของแก๊สผลิตภัณฑ์ กรณีสารป้อนเป็นพอลิเอทิลีนผสมกับพอลิพรอพิลีนสัดส่วนโดยมวลเท่ากับ 25/75 ณ สัดส่วนโดยมวลไอน้ำต่อสารป้อน เท่ากับ 1

อุณหภูมิเตาแก๊สซีฟายเออร์ (องศาเซลเซียส)	อัตราการไหลเชิงมวลของแก๊ส (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)	อัตราการไหลเชิงมวลของถ่านชาร์ (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)	ร้อยละโดยโมลขององค์ประกอบแก๊ส									
			H ₂	CO	CO ₂	CH ₄	H ₂ O	N ₂	O ₂	S	H ₂ S	C ₆ H ₆
650	159.8169	40.1831	0.5819	0.1410	0.0666	0.0759	0.1329	0.0015	2.8E-24	1.3E-15	3.3E-04	2.3E-15
700	165.7587	34.2413	0.6207	0.2030	0.0444	0.0471	0.0831	0.0014	2.6E-23	8.5E-15	3.0E-04	4.0E-15
750	171.7285	28.2719	0.6426	0.2537	0.0251	0.0291	0.0480	0.0013	1.6E-22	4.9E-14	2.8E-04	5.9E-15
800	175.9084	24.0916	0.6554	0.2856	0.0127	0.0182	0.0266	0.0012	7.3E-22	2.5E-13	2.7E-04	8.1E-15
850	178.2042	21.7961	0.6634	0.3025	0.0062	0.0117	0.0147	0.0012	2.6E-21	1.1E-12	2.6E-04	1.0E-14
900	179.3073	20.6927	0.6686	0.3108	0.0031	0.0078	0.0083	0.0012	8.0E-21	4.4E-12	2.6E-04	1.3E-14
950	179.8037	20.1964	0.6720	0.3148	0.0016	0.0053	0.0049	0.0012	2.2E-20	1.6E-11	2.6E-04	1.5E-14
1000	180.0171	19.9833	0.6742	0.3168	0.0009	0.0036	0.0030	0.0012	5.6E-20	5.1E-11	2.6E-04	1.7E-14
1050	180.1019	19.8980	0.6757	0.3179	0.0005	0.0026	0.0019	0.0012	1.3E-19	1.5E-10	2.6E-04	1.8E-14
1100	180.1309	19.8693	0.6767	0.3184	0.0003	0.0019	0.0012	0.0012	3.0E-19	4.2E-10	2.6E-04	2.0E-14

ตารางที่ ข.18 ผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเตาแก๊สซีฟายเออร์ที่มีผลต่อค่าความร้อนต่ำของแก๊สสังเคราะห์ และประสิทธิภาพเชิงความร้อนของแก๊สสังเคราะห์ กรณีสารป้อนเป็นพอลิเอทิลีนผสมกับพอลิพรอพิลีนสัดส่วนโดยมวลเท่ากับ 25/75 ณ สัดส่วนโดยมวลไอน้ำต่อสารป้อน เท่ากับ 1

อุณหภูมิเตาแก๊สซีฟายเออร์ (องศาเซลเซียส)	อัตราการไหลเชิงโมลของแก๊สสังเคราะห์ (กิโลโมลต่อชั่วโมง)	ความร้อนต่ำของแก๊สสังเคราะห์ (เมกะจูลต่อลูกบาศก์เมตรปกติ)	ประสิทธิภาพเชิงความร้อน ของแก๊สสังเคราะห์
650	9.8603	11.1565	60.1332
700	12.1978	11.2510	75.0179
750	14.1469	11.3182	87.5248
800	15.4789	11.3558	96.0842
850	16.2709	11.3736	101.1588
900	16.7162	11.3812	103.9975
950	16.9669	11.3844	105.5859
1000	17.1118	11.3856	106.4995
1050	17.1987	11.3860	107.0440
1100	17.2527	11.3861	107.3809

ตารางที่ ข.19 ผลของการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนโดยมวลระหว่างไอน้ำต่อสารป้อนที่มีผลต่ออัตราการไหลเชิงมวลของผลิตภัณฑ์ และองค์ประกอบของแก๊สผลิตภัณฑ์ กรณีสารป้อนเป็นพอลิเอทิลีนผสมกับพอลิพรอพิลีนสัดส่วนโดยมวลเท่ากับ 25/75 ณ อุณหภูมิเตาแก๊สซิฟายเออร์ เท่ากับ 900 องศาเซลเซียส

สัดส่วนโดยมวล ระหว่างไอน้ำ ต่อสารป้อน	อัตราการไหล เชิงมวลของแก๊ส (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)	อัตราการไหล เชิงมวลของถ่านชาร์ (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)	ร้อยละโดยโมลขององค์ประกอบแก๊ส									
			H ₂	CO	CO ₂	CH ₄	H ₂ O	N ₂	O ₂	S	H ₂ S	C ₆ H ₆
0.25	55.7264	69.2737	0.8301	0.1494	0.0007	0.0120	0.0050	0.0023	1.8E-21	6.7E-12	5.0E-04	2.4E-14
0.50	96.8956	53.1044	0.7510	0.2285	0.0017	0.0098	0.0069	0.0017	4.3E-21	5.7E-12	3.8E-04	1.8E-14
0.75	138.0943	36.9061	0.7020	0.2775	0.0025	0.0085	0.0078	0.0014	6.4E-21	4.9E-12	3.1E-04	1.5E-14
1.00	179.3073	20.6927	0.6686	0.3108	0.0031	0.0078	0.0083	0.0012	8.0E-21	4.4E-12	2.6E-04	1.3E-14
1.25	220.5293	4.4704	0.6444	0.3349	0.0036	0.0072	0.0087	0.0010	9.3E-21	3.9E-12	2.2E-04	1.1E-14
1.50	249.4379	0.5624	0.6297	0.3129	0.0155	0.0014	0.0393	0.0009	2.0E-19	3.6E-12	2.0E-04	7.0E-19
1.75	274.4381	0.5624	0.6083	0.2794	0.0296	0.0005	0.0811	0.0009	9.1E-19	3.5E-12	1.9E-04	3.4E-21
2.00	299.4381	0.5624	0.5871	0.2509	0.0407	0.0003	0.1200	0.0008	2.1E-18	3.4E-12	1.8E-04	8.3E-23
2.25	324.4373	0.5624	0.5668	0.2265	0.0495	0.0002	0.1560	0.0008	3.9E-18	3.4E-12	1.7E-04	4.7E-24
2.50	349.4376	0.5624	0.5476	0.2056	0.0565	0.0001	0.1893	0.0007	6.1E-18	3.3E-12	1.6E-04	1.3E-25
2.75	374.4383	0.5624	0.5294	0.1875	0.0620	0.0001	0.2202	0.0007	8.9E-18	3.3E-12	1.5E-04	2.2E-25
3.00	399.4368	0.5624	0.5122	0.1716	0.0663	0.0001	0.2489	0.0007	1.2E-17	3.2E-12	1.5E-04	5.6E-27

ตารางที่ ข.20 ผลของการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนโดยมวลระหว่างไอน้ำต่อสารป้อน ที่มีผลต่อค่าความร้อนต่ำของแก๊สสังเคราะห์ และประสิทธิภาพเชิงความร้อนของแก๊สสังเคราะห์ กรณีสารป้อนเป็นพอลิเอทิลีนผสมกับพอลิพรอพิลีนสัดส่วนโดยมวลเท่ากับ 25/75 ณ อุณหภูมิเตาแก๊สซีฟายเออร์ เท่ากับ 900 องศาเซลเซียส

สัดส่วนโดยมวลระหว่าง ไอน้ำต่อสารป้อน	อัตราการไหลเชิงโมลของแก๊สสังเคราะห์ (กิโลโมลต่อชั่วโมง)	ความร้อนต่ำของแก๊สสังเคราะห์ (เมกะจูลต่อลูกบาศก์เมตร)	ประสิทธิภาพเชิงความร้อน ของแก๊สสังเคราะห์
0.25	8.7301	11.0784	52.8801
0.50	11.3934	11.2267	69.9286
0.75	14.0552	11.3187	86.9660
1.00	16.7162	11.3812	103.9975
1.25	19.3768	11.4266	121.0257
1.50	20.4775	11.4081	127.6921
1.75	20.5476	11.3765	127.7733
2.00	20.5687	11.3483	127.5853
2.25	20.5785	11.3228	127.3585
2.50	20.5841	11.2997	127.1317
2.75	20.5876	11.2786	126.9150
3.00	20.5898	11.2593	126.7111

ตารางที่ ข.21 ผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเตาแก๊สซีฟายเออร์ที่มีผลต่ออัตราการไหลเชิงมวลของผลิตภัณฑ์ และองค์ประกอบของแก๊สผลิตภัณฑ์ กรณีสารป้อนเป็นพอลิเอทิลีนผสมกับพอลิพรอพิลีนสัดส่วนโดยมวลเท่ากับ 75/25 ณ สัดส่วนโดยมวลอากาศต่อสารป้อน เท่ากับ 1

อุณหภูมิเตา แก๊สซีฟายเออร์ (องศาเซลเซียส)	อัตราการไหล เชิงมวล ของแก๊ส (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)	อัตราการไหล เชิงมวล ของถ่านชาร์ (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)	ร้อยละโดยโมลขององค์ประกอบแก๊ส												
			H ₂	CO	CO ₂	CH ₄	H ₂ O	N ₂	O ₂	NO	NO ₂	S	H ₂ S	C ₆ H ₆	
650	130.1415	69.8584	0.5175	0.0663	0.0147	0.0600	0.0556	0.2855	6.2E-25	1.5E-17	2.4E-30	1.2E-15	2.8E-04	1.6E-15	
700	130.6657	69.3342	0.5538	0.0925	0.0092	0.0375	0.0338	0.2729	5.5E-24	7.8E-17	2.5E-29	8.6E-15	2.7E-04	2.8E-15	
750	131.2819	68.7180	0.5764	0.1116	0.0048	0.0234	0.0189	0.2645	3.2E-23	3.2E-16	1.8E-28	5.1E-14	2.6E-04	4.3E-15	
800	131.6067	68.3932	0.5902	0.1226	0.0023	0.0148	0.0103	0.2595	1.3E-22	1.1E-15	8.8E-28	2.6E-13	2.6E-04	5.9E-15	
850	131.6908	68.3091	0.5985	0.1282	0.0011	0.0096	0.0056	0.2567	4.7E-22	3.1E-15	3.6E-27	1.2E-12	2.5E-04	7.7E-15	
900	131.6650	68.3349	0.6036	0.1310	0.0005	0.0063	0.0032	0.2551	1.4E-21	8.2E-15	1.3E-26	4.7E-12	2.5E-04	9.4E-15	
950	131.6069	68.3930	0.6068	0.1324	0.0003	0.0043	0.0019	0.2542	3.9E-21	2.0E-14	3.9E-26	1.7E-11	2.5E-04	1.1E-14	
1000	131.5482	68.4516	0.6088	0.1330	0.0002	0.0030	0.0011	0.2537	9.9E-21	4.5E-14	1.1E-25	5.5E-11	2.5E-04	1.2E-14	
1050	131.4988	68.5011	0.6101	0.1334	0.0001	0.0021	0.0007	0.2533	2.3E-20	9.5E-14	3.0E-25	1.6E-10	2.5E-04	1.4E-14	
1100	131.4598	68.5400	0.6110	0.1336	0.0001	0.0015	0.0005	0.2531	5.2E-20	1.9E-13	7.5E-25	4.5E-10	2.5E-04	1.5E-14	

ตารางที่ ข.22 ผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเตาแก๊สซีฟายเออร์ที่มีผลต่อค่าความร้อนต่ำของแก๊สสังเคราะห์ และประสิทธิภาพเชิงความร้อนของแก๊สสังเคราะห์ กรณีสารป้อนเป็นพอลิเอทิลีนผสมกับพอลิพรอพิลีนสัดส่วนโดยมวลเท่ากับ 75/25 ณ สัดส่วนโดยมวลอากาศต่อสารป้อน เท่ากับ 1

อุณหภูมิเตาแก๊สซีฟายเออร์ (องศาเซลเซียส)	อัตราการไหลเชิงโมลของแก๊สสังเคราะห์ (กิโลโมลต่อชั่วโมง)	ความร้อนต่ำของแก๊สสังเคราะห์ (เมกะจูลต่อลูกบาศก์เมตรปกติ)	ประสิทธิภาพเชิงความร้อน ของแก๊สสังเคราะห์
650	5.6196	11.0068	35.5299
700	6.5069	11.0610	41.3428
750	7.1479	11.0961	45.5599
800	7.5479	11.1142	48.1883
850	7.7796	11.1223	49.7038
900	7.9121	11.1258	50.5663
950	7.9895	11.1271	51.0670
1000	8.0361	11.1277	51.3674
1050	8.0652	11.1278	51.5539
1100	8.0839	11.1278	51.6737

ตารางที่ ข.23 ผลของการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนโดยมวลระหว่างอากาศต่อสารป้อนที่มีผลต่ออัตราการไหลเชิงมวลของผลิตภัณฑ์ และองค์ประกอบของแก๊สผลิตภัณฑ์ กรณีสารป้อนเป็นพอลิเอทิลีนผสมกับพอลิพรอพิลีนสัดส่วนโดยมวลเท่ากับ 75/25 ณ อุณหภูมิเตาแก๊สซิฟายเออร์ เท่ากับ 850 องศาเซลเซียส

สัดส่วนโดยมวลระหว่างอากาศต่อสารป้อน	อัตราการไหลเชิงมวลของแก๊ส (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)	อัตราการไหลเชิงมวลของถ่านชาร์ (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)	ร้อยละโดยโมลขององค์ประกอบแก๊ส											
			H ₂	CO	CO ₂	CH ₄	H ₂ O	N ₂	O ₂	NO	NO ₂	S	H ₂ S	C ₆ H ₆
0.25	44.6636	80.3364	0.8410	0.0452	0.0001	0.0189	0.0028	0.0917	5.8E-23	6.6E-16	1.5E-28	1.2E-12	3.6E-04	2.1E-14
0.50	73.6098	76.3901	0.7408	0.0794	0.0004	0.0146	0.0043	0.1600	1.8E-22	1.5E-15	1.1E-27	1.2E-12	3.2E-04	1.5E-14
0.75	102.6254	72.3746	0.6621	0.1064	0.0008	0.0117	0.0052	0.2136	3.2E-22	2.4E-15	2.3E-27	1.2E-12	2.8E-04	1.0E-14
1.00	131.6902	68.3096	0.5985	0.1282	0.0011	0.0096	0.0056	0.2567	4.7E-22	3.1E-15	3.6E-27	1.2E-12	2.5E-04	7.7E-15
1.25	160.7919	64.2081	0.5461	0.1462	0.0015	0.0080	0.0059	0.2922	6.1E-22	3.8E-15	5.0E-27	1.2E-12	2.3E-04	5.8E-15
1.50	189.9209	60.0787	0.5022	0.1613	0.0018	0.0067	0.0059	0.3219	7.4E-22	4.4E-15	6.4E-27	1.2E-12	2.1E-04	4.5E-15
1.75	219.0718	55.9276	0.4648	0.1742	0.0021	0.0058	0.0059	0.3471	8.6E-22	4.9E-15	7.7E-27	1.2E-12	2.0E-04	3.6E-15
2.00	248.2409	51.7594	0.4326	0.1853	0.0023	0.0050	0.0059	0.3688	9.8E-22	5.4E-15	9.0E-27	1.2E-12	1.8E-04	2.9E-15
2.25	277.4230	47.5773	0.4046	0.1949	0.0026	0.0044	0.0058	0.3876	1.1E-21	5.8E-15	1.0E-26	1.2E-12	1.7E-04	2.4E-15
2.50	306.6165	43.3838	0.3800	0.2034	0.0028	0.0039	0.0057	0.4042	1.2E-21	6.2E-15	1.1E-26	1.2E-12	1.6E-04	2.0E-15
2.75	335.8198	39.1809	0.3582	0.2109	0.0030	0.0034	0.0055	0.4188	1.3E-21	6.6E-15	1.2E-26	1.2E-12	1.5E-04	1.6E-15
3.00	365.0305	34.9701	0.3388	0.2176	0.0032	0.0031	0.0054	0.4318	1.3E-21	6.9E-15	1.3E-26	1.2E-12	1.4E-04	1.4E-15

ตารางที่ ข.23 ผลของการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนโดยมวลระหว่างอากาศต่อสารป้อนที่มีผลต่ออัตราการไหลเชิงมวลของผลิตภัณฑ์ และองค์ประกอบของแก๊สผลิตภัณฑ์ กรณีสารป้อนเป็นพอลิเอทิลีนผสมกับพอลิพรอพิลีนสัดส่วนโดยมวลเท่ากับ 75/25 ณ อุณหภูมิเตาแก๊สซิฟายเออร์ เท่ากับ 850 องศาเซลเซียส (ต่อ)

สัดส่วนโดยมวล ระหว่างอากาศ ต่อสารป้อน	อัตราการไหล เชิงมวล ของแก๊ส (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)	อัตราการไหล เชิงมวล ของถ่านชาร์ (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)	ร้อยละโดยโมลขององค์ประกอบแก๊ส											
			H ₂	CO	CO ₂	CH ₄	H ₂ O	N ₂	O ₂	NO	NO ₂	S	H ₂ S	C ₆ H ₆
3.25	394.2479	30.7525	0.3214	0.2236	0.0034	0.0028	0.0053	0.4435	1.4E-21	7.2E-15	1.4E-26	1.2E-12	1.4E-04	1.2E-15
3.50	423.4703	26.5293	0.3057	0.2290	0.0036	0.0025	0.0051	0.4541	1.5E-21	7.4E-15	1.5E-26	1.2E-12	1.3E-04	1.0E-15
3.75	452.6984	22.3011	0.2914	0.2339	0.0037	0.0023	0.0050	0.4636	1.6E-21	7.7E-15	1.6E-26	1.2E-12	1.2E-04	8.9E-16
4.00	481.9316	18.0687	0.2784	0.2384	0.0039	0.0021	0.0049	0.4723	1.6E-21	7.9E-15	1.7E-26	1.2E-12	1.2E-04	7.7E-16
4.25	511.1669	13.8325	0.2666	0.2425	0.0040	0.0019	0.0047	0.4803	1.7E-21	8.1E-15	1.8E-26	1.2E-12	1.1E-04	6.8E-16
4.50	540.4069	9.5931	0.2557	0.2462	0.0041	0.0017	0.0046	0.4875	1.7E-21	8.3E-15	1.8E-26	1.2E-12	1.1E-04	6.0E-16
4.75	569.6484	5.3508	0.2456	0.2497	0.0042	0.0016	0.0045	0.4943	1.8E-21	8.4E-15	1.9E-26	1.2E-12	1.0E-04	5.3E-16
5.00	598.8932	1.1059	0.2363	0.2529	0.0043	0.0015	0.0044	0.5005	1.8E-21	8.6E-15	1.9E-26	1.2E-12	1.0E-04	4.7E-16
5.25	624.7126	0.2874	0.2265	0.2441	0.0091	0.0006	0.0091	0.5106	8.5E-21	1.9E-14	9.2E-26	1.2E-12	9.7E-05	3.3E-18
5.50	649.7130	0.2874	0.2154	0.2323	0.0150	0.0003	0.0150	0.5219	2.6E-20	3.3E-14	2.8E-25	1.2E-12	9.4E-05	7.3E-20

ตารางที่ ข.24 ผลของการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนโดยมวลระหว่างอากาศต่อสารป้อน ที่มีผลต่อค่าความร้อนต่ำของแก๊สสังเคราะห์ และประสิทธิภาพเชิงความร้อนของแก๊สสังเคราะห์ กรณีสารป้อนเป็นพอลิเอทิลีนผสมกับพอลิพรอพิลีนสัดส่วนโดยมวลเท่ากับ 75/25 ณ อุณหภูมิเตาแก๊สซีฟายเออร์ เท่ากับ 850 องศาเซลเซียส

สัดส่วนโดยมวลระหว่างอากาศต่อสารป้อน	อัตราการไหลเชิงโมลของแก๊สสังเคราะห์ (กิโลโมลต่อชั่วโมง)	ความร้อนต่ำของแก๊สสังเคราะห์ (เมกะจูลต่อลูกบาศก์เมตรปกติ)	ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของแก๊สสังเคราะห์
0.25	6.7068	10.8917	41.9657
0.50	7.0666	10.9760	44.5576
0.75	7.4240	11.0526	47.1356
1.00	7.7796	11.1223	49.7038
1.25	8.1339	11.1862	52.2648
1.50	8.4872	11.2449	54.8202
1.75	8.8398	11.2990	57.3713
2.00	9.1917	11.3491	59.9192
2.25	9.5432	11.3956	62.4642
2.50	9.8943	11.4388	65.0069
2.75	10.2450	11.4791	67.5478
3.00	10.5954	11.5168	70.0870

ตารางที่ ข.24 ผลของการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนโดยมวลระหว่างอากาศต่อสารป้อน ที่มีผลต่อค่าความร้อนต่ำของแก๊สสังเคราะห์ และประสิทธิภาพเชิงความร้อนของแก๊สสังเคราะห์ กรณีสารป้อนเป็นพอลิเอทิลีนผสมกับพอลิพรอพิลีนสัดส่วนโดยมวลเท่ากับ 75/25 ณ อุณหภูมิเตาแก๊สซีฟายเออร์ เท่ากับ 850 องศาเซลเซียส (ต่อ)

สัดส่วนโดยมวลระหว่างอากาศต่อสารป้อน	อัตราการไหลเชิงโมลของแก๊สสังเคราะห์ (กิโลโมลต่อชั่วโมง)	ความร้อนต่ำของแก๊สสังเคราะห์ (เมกะจูลต่อลูกบาศก์เมตรปกติ)	ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของแก๊สสังเคราะห์
3.25	10.9456	11.5520	72.6252
3.50	11.2957	11.5852	75.1620
3.75	11.6455	11.6164	77.6979
4.00	11.9952	11.6457	80.2330
4.25	12.3447	11.6735	82.7673
4.50	12.6942	11.6997	85.3011
4.75	13.0435	11.7245	87.8341
5.00	13.3928	11.7481	90.3668
5.25	13.2594	11.7514	89.4926
5.50	12.9294	11.7517	87.2669

ตารางที่ ข.25 ผลของการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนโดยมวลระหว่างไอน้ำต่อสารป้อนที่มีผลต่อพลังรวมที่ใช้ในกระบวนการ กรณีสารป้อนเป็นพอลิเอทิลีนผสมกับพอลิพรอพิลีนสัดส่วนโดยมวลเท่ากับ 75/25 ณ อุณหภูมิเตาแก๊สซีฟายเออร์ เท่ากับ 850 องศาเซลเซียส

สัดส่วนโดยมวลระหว่าง ไอน้ำต่อสารป้อน	พลังงานที่ใช้ในแต่ละอุปกรณ์ (กิโลวัตต์)						พลังงานรวมในกระบวนการ (กิโลวัตต์)
	HEATER1	HEATER2	HEATER3	DECOMP1	DECOMP2	GASIFIER	
0.25	1.3463	1.0336	10.0512	105.9380	30.2376	74.0648	222.6714
0.50	1.3463	1.0336	10.0512	105.9380	30.2376	151.1260	299.7326
0.75	1.3463	1.0336	10.0512	105.9380	30.2376	228.1500	376.7566
1.00	1.3463	1.0336	10.0512	105.9380	30.2376	305.1530	453.7596
1.25	1.3463	1.0336	10.0512	105.9380	30.2376	382.1430	530.7496
1.50	1.3463	1.0336	10.0512	105.9380	30.2376	426.7040	575.3106
1.75	1.3463	1.0336	10.0512	105.9380	30.2376	453.1620	601.7686
2.00	1.3463	1.0336	10.0512	105.9380	30.2376	479.1270	627.7336
2.25	1.3463	1.0336	10.0512	105.9380	30.2376	505.1770	653.7836
2.50	1.3463	1.0336	10.0512	105.9380	30.2376	531.3890	679.9956
2.75	1.3463	1.0336	10.0512	105.9380	30.2376	557.7710	706.3776
3.00	1.3463	1.0336	10.0512	105.9380	30.2376	584.3100	732.9166

ตารางที่ ข.26 ผลของการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนโดยมวลระหว่างอากาศต่อสารป้อนที่มีผลต่อพลังงานที่ใช้ในกระบวนการ กรณีสารป้อนเป็นพอลิเอทิลีนผสมกับพอลิพรอพิลีนสัดส่วนโดยมวลเท่ากับ 75/25 ณ อุณหภูมิเตาแก๊สซีฟายเออร์ เท่ากับ 850 องศาเซลเซียส

สัดส่วนโดยมวลระหว่าง อากาศต่อสารป้อน	พลังงานที่ใช้ในแต่ละอุปกรณ์ (กิโลวัตต์)						พลังงานรวมในกระบวนการ (กิโลวัตต์)
	HEATER1	HEATER2	HEATER3	DECOMP1	DECOMP2	GASIFIER	
0.25	1.3463	1.0336	0.5287	101.0260	28.6772	-10.8030	121.8087
0.50	1.3463	1.0336	1.0574	101.0260	28.6772	-17.1518	115.9886
0.75	1.3463	1.0336	1.5861	101.0260	28.6772	-23.5185	110.1506
1.00	1.3463	1.0336	2.1148	101.0260	28.6772	-29.8981	104.2997
1.25	1.3463	1.0336	2.6435	101.0260	28.6772	-36.2872	98.4393
1.50	1.3463	1.0336	3.1722	101.0260	28.6772	-42.6835	92.5717
1.75	1.3463	1.0336	3.7008	101.0260	28.6772	-49.0854	86.6985
2.00	1.3463	1.0336	4.2295	101.0260	28.6772	-55.4917	80.8209
2.25	1.3463	1.0336	4.7582	101.0260	28.6772	-61.9016	74.9397
2.50	1.3463	1.0336	5.2869	101.0260	28.6772	-68.3144	69.0556
2.75	1.3463	1.0336	5.8156	101.0260	28.6772	-74.7297	63.1690
3.00	1.3463	1.0336	6.3443	101.0260	28.6772	-81.1470	57.2803

ตารางที่ ข.26 ผลของการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนโดยมวลระหว่างอากาศต่อสารป้อนที่มีผลต่อพลังรวมที่ใช้ในกระบวนการ กรณีสารป้อนเป็นพอลิเอทิลีนผสมกับพอลิพรอพิ-
ลีนสัดส่วนโดยมวลเท่ากับ 75/25 ณ อุณหภูมิเตาแก๊สซีฟายเออร์ เท่ากับ 850 องศาเซลเซียส (ต่อ)

สัดส่วนโดยมวลระหว่าง อากาศต่อสารป้อน	พลังงานที่ใช้ในแต่ละอุปกรณ์ (กิโลวัตต์)						พลังงานรวมใน กระบวนการ (กิโลวัตต์)
	HEATER1	HEATER2	HEATER3	DECOMP1	DECOMP2	GASIFIER	
3.25	1.3463	1.0336	6.8730	101.0260	28.6772	-87.5660	51.3900
3.50	1.3463	1.0336	7.4017	101.0260	28.6772	-93.9865	45.4982
3.75	1.3463	1.0336	7.9304	101.0260	28.6772	-100.4080	39.6054
4.00	1.3463	1.0336	8.4591	101.0260	28.6772	-106.8310	33.7111
4.25	1.3463	1.0336	8.9878	101.0260	28.6772	-113.2550	27.8158
4.50	1.3463	1.0336	9.5165	101.0260	28.6772	-119.6790	21.9205
4.75	1.3463	1.0336	10.0451	101.0260	28.6772	-126.1050	16.0231
5.00	1.3463	1.0336	10.5738	101.0260	28.6772	-132.5310	10.1258
5.25	1.3463	1.0336	11.1025	101.0260	28.6772	-149.2580	-6.0725
5.50	1.3463	1.0336	11.6312	101.0260	28.6772	-169.8200	-26.1058