

## การจำลองการผลิตแก๊สไฮโดรเจนที่ได้จากชีวมวลและขยะพลาสติกโดย กระบวนการแก๊สซิฟิเคชันโดยใช้โปรแกรม ASPEN PLUS Simulation of Hydrogen Production using Co-gasification of Biomass-Plastic Waste via ASPEN PLUS

ธนิตี พิพัฒพันธุ์<sup>1\*</sup>, สายสวรรค์ คล้ายไชยา<sup>1</sup>, อนุสรณ์ เวียงธีรวัฒน์<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

99 หมู่ 18 ถนนพหลโยธิน ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120

\*Email: btanit@engr.tu.ac.th

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาเกี่ยวกับสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตแก๊สไฮโดรเจนจากชีวมวลต่างชนิดกันและขยะพลาสติกชีวมวลที่นำมาใช้ในกระบวนการ ได้แก่ ชานอ้อย เหน้จ้มน้สำปะหลัง แกลบ ส่วนขยะพลาสติกที่ใช้ในกระบวนการ คือ โพลีเอทิลีน ชีวมวลที่เลือกใช้และขยะพลาสติกจะผ่านกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันโดยใช้โปรแกรม Aspen plus V.12 ตัวแปรที่ทำการศึกษา ได้แก่ อุณหภูมิของกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน (500-1,000 องศาเซลเซียส) และอัตราการป้อนโพลีเอทิลีนต่อชีวมวล (0-15%) และความดันเท่ากับ 1 บาร์ จากการศึกษาพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตแก๊สไฮโดรเจนของชานอ้อย เหน้จ้มน้สำปะหลังและแกลบ อยู่ที่อุณหภูมิ 660, 740 และ 660 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และอัตราการป้อนโพลีเอทิลีนต่อชีวมวลของชานอ้อย เหน้จ้มน้สำปะหลัง และแกลบอยู่ที่ 15% ปริมาณแก๊สไฮโดรเจนที่ผลิตได้ของชานอ้อย เหน้จ้มน้สำปะหลังและแกลบเท่ากับ 3.353, 5.855 และ 3.938 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบชีวมวลแต่ละประเภทแล้วพบว่าชีวมวลที่สามารถให้ปริมาณแก๊สไฮโดรเจนได้มากที่สุด คือ เหน้จ้มน้สำปะหลัง เมื่อทำการป้อนมัน้สำปะหลังเท่ากับ 85 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และป้อนโพลีเอทิลีนเท่ากับ 15 กิโลกรัมต่อชั่วโมง จะสามารถผลิตแก๊สไฮโดรเจนได้เท่ากับ 5.855 กิโลกรัมต่อชั่วโมง จากข้อมูลดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ของการพัฒนาแก๊สเชื้อเพลิงเพื่อให้เป็นทางเลือกหนึ่งของพลังงานทดแทนในอนาคตต่อไป

**คำสำคัญ :** แก๊สซิฟิเคชัน; ชีวมวล; ขยะพลาสติก; Aspen plus; ไฮโดรเจน

### Abstract

In this paper, the optimum conditions of hydrogen production from different biomass and plastic wastes were studied, and the process conditions were determined by Aspen plus V.12 program. The biomass introduced in this process includes bagasse, cassava, rice husk and plastic waste, and polyethylene is used in this process. The variables studied include the temperature of gasification process (500-1,000 °C), the ratio of polyethylene input to biomass (0-15%) and the pressure is 1 bar. The results of the study can be summarized as follows: The optimum hydrogen production conditions of bagasse, cassava and rice husk were studied at 660 °C, 740 °C and 660 °C, the ratio of polyethylene input to the biomass of bagasse, cassava and rice husk was 15%. The hydrogen productions of cassava, bagasse and rice husk were 3.353, 5.855 and 3.938 kilogram per hour, respectively. When comparing each type of biomass, cassava can be produced the most. When the amount of cassava is 85 kilogram per hour and the amount of polyethylene is 15 kilogram

per hour, hydrogen can be produced 5.855 kilogram per hour. According to the experimental result, these data show that the development of fuel gas is the possibility of alternative energy in the future.

**Keywords :** Gasification; Biomass; Plastic waste; Aspen plus; Hydrogen

## 1. บทนำ (Introduction)

พลังงานทดแทน คือ พลังงานที่ใช้ทดแทนพลังงานจากฟอสซิล อาทิเช่น ถ่านหิน ปิโตรเลียม และแก๊สธรรมชาติ พลังงานจากฟอสซิลจะปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ในปริมาณมหาศาล ซึ่งเป็นต้นเหตุทำให้เกิดภาวะเรือนกระจกและปัญหาโลกร้อน โดยทั่วไปแล้ว พลังงานทดแทนจะหมายถึงพลังงานที่มีอยู่ในธรรมชาติและสามารถใช้ทดแทนพลังงานเดิมได้อย่างไม่จำกัด สามารถแก้ไขปัญหาการขาดแคลนพลังงานและช่วยลดปัญหามลพิษได้อย่างมีประสิทธิภาพ [1]

เมื่อกล่าวถึงพลังงานทางเลือกสำหรับอนาคต หนึ่งในนั้นคือ พลังงานไฮโดรเจน เพราะไฮโดรเจนสามารถสังเคราะห์ได้จากวัตถุดิบตามธรรมชาติหลากหลายประเภท และเมื่อแก๊สไฮโดรเจนเกิดการเผาไหม้ในออกซิเจนแห้งจะเกิดไอน้ำและความร้อนจำนวนมากเป็นผลพลอยได้ ซึ่งแตกต่างจากเชื้อเพลิงอื่น ๆ ที่ให้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งส่งผลกระทบต่อตรงต่อการทำให้โลกร้อนขึ้น นอกจากนี้ไฮโดรเจนไม่ก่อให้เกิดกลุ่มควันฝุ่นละออง และสามารถประยุกต์ใช้กับงานที่ใช้พลังงานดั้งเดิมได้ รวมทั้งยังสามารถนำไปผลิตกระแสไฟฟ้าโดยป้อนเข้าเซลล์เชื้อเพลิง (Fuel cell) ได้ด้วย

หนึ่งในแหล่งวัตถุดิบเพื่อใช้ในการผลิตพลังงานไฮโดรเจนที่หาได้ง่ายและมีปริมาณมาก คือ ชีวมวล ซึ่งประเทศไทยนับเป็นประเทศเกษตรกรรมที่สำคัญแห่งหนึ่งของโลก ประชาชนมากกว่าร้อยละ 50 ประกอบอาชีพเกษตรกรรม ผลพลอยได้ที่สำคัญนอกเหนือจากผลผลิตการเกษตร เช่น ฟางข้าว แกลบ ชานอ้อย เป็นต้น โดยวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเหล่านี้ สามารถนำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตแก๊สไฮโดรเจนได้

นอกเหนือจากการใช้ประโยชน์จากของเหลือใช้ทางการเกษตร โดยการนำไปเป็นวัตถุดิบในการผลิตพลังงานไฮโดรเจนแล้ว ยังพบว่าผู้คนทั่วโลกกำลังให้ความสนใจในการหาวิธีกำจัดหรือใช้ประโยชน์จากขยะพลาสติกที่เพิ่มมากขึ้น [2] ในช่วงที่ผ่านมาพบว่าประเทศไทยสร้างปริมาณขยะทางทะเลและขยะมูลฝอย 27.4 ล้านตัน ดังนั้นทุกคนจึงต้องตื่นตัวและร่วมแก้ปัญหาเหล่านี้ [3] โดยพลาสติกที่พบเห็นได้บ่อย คือ โพลีเอทิลีน ในอุตสาหกรรมในปัจจุบัน ไม่ว่าจะเป็นการนำมาแปรรูปเป็น วัสดุก่อสร้าง ชิ้นส่วนรถยนต์ บรรจุภัณฑ์ และอื่นๆ [4]

## 2. วิธีการวิจัย (Methodology)

### 2.1 การศึกษาข้อมูลเบื้องต้น

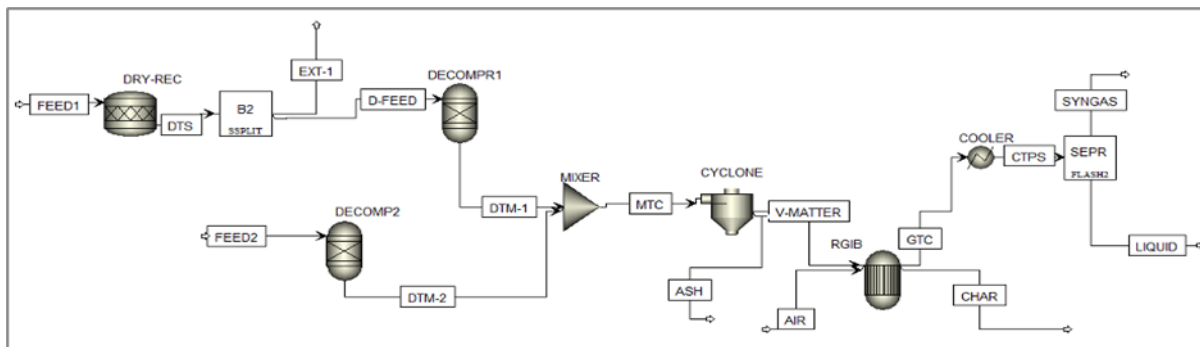
(1) ข้อมูลเกี่ยวกับชีวมวล  
ดังที่กล่าวไปข้างต้นแล้ว ชีวมวลที่ใช้ในการศึกษาในงานวิจัยนี้คือ ชานอ้อย เหง้ามันสำปะหลังและแกลบ โดยเมื่อทำการหาข้อมูลเกี่ยวกับการวิเคราะห์แบบ Proximate analysis และ Ultimate analysis ของชีวมวลทั้งสอง ทำให้สามารถแสดงข้อมูลทั้งหมดได้ ดังในตารางที่ 1-2

**ตารางที่ 1** การวิเคราะห์แบบ Proximate analysis ของชีวมวลแต่ละชนิดและโพลีเอทิลีน <sup>[5][6][7][8]</sup>

ชนิดชีวมวล	Proximate analysis			
	ความชื้น	เถ้า	สารระเหย	คาร์บอนคงตัว
ชานอ้อย	0.48	2.91	84.79	11.82
เหง้ามันสำปะหลัง	8.3	4.1	77.7	9.9
ชานอ้อย	0	15.5	69.6	14.9
โพลีเอทิลีน	0.02	0.6	99.4	0

**ตารางที่ 2** การวิเคราะห์แบบ Ultimate analysis ของชีวมวลแต่ละชนิดและโพลีเอทิลีน <sup>[5][6][7][8]</sup>

ชนิดของชีวมวล	Ultimate analysis				
	C	H	O	N	S
ชานอ้อย	49.2	4.69	43	0.18	0.02
เหง้ามันสำปะหลัง	51.6	7.6	1.3	39.5	0
แกลบ	42.1	6.1	34.9	1.2	0.2
โพลีเอทิลีน	85	14.2	0	0	0.2



ภาพที่ 1 แบบจำลองกระบวนการผลิตแก๊สไฮโดรเจนโดยใช้โปรแกรม Aspen plus จากงานวิจัยอ้างอิง [5]

(2) ข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการอ้างอิง

การสร้างแบบจำลองกระบวนการจากงานวิจัยอ้างอิง [5] ดังแสดงในภาพที่ 1 ใช้สารตั้งต้นและโพลีเอทิลีนในรูปแบบจำลองเพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของการคำนวณ โดยมีรายละเอียดขั้นตอนการจำลองกระบวนการดังนี้ โดยขั้นตอนของกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันประกอบไปด้วยกระบวนการต่างๆ ดังนี้

- กระบวนการอบแห้ง (Dryer) คือ ขั้นตอนการอบแห้งสารตั้งต้นและระเหยน้ำออกจากวัตถุดิบด้วยความร้อนในช่วงอุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสและความดัน 1 บาร์ เพื่อให้สารตั้งต้นมีความแห้ง

- กระบวนการสลายตัว (Decomposition) คือ ขั้นตอนการเปลี่ยนสารขาเข้า (Feed) ที่มีสถานะเป็นของแข็ง ได้แก่สารตั้งต้นและโพลีเอทิลีนให้เป็นแก๊ส

- ขั้นตอนการแยกของแข็ง (Solid removal) ของผสมระหว่างสารตั้งต้นและโพลีเอทิลีนที่ออกจากเครื่องปฏิกรณ์เพื่อเข้าสู่เครื่องปฏิกรณ์ Cyclone โดยใช้แบบจำลองเครื่องปฏิกรณ์ SSplit เพื่อทำการแยกของแข็งออกจากของผสม จากนั้นของผสมที่ได้จากเครื่องปฏิกรณ์ Cyclone จะเข้าสู่สาย V-matter และของแข็งที่เหลือจะออกจากเครื่องปฏิกรณ์ทางสาย Ash

- กระบวนการเกิดปฏิกิริยาแก๊สซิฟิเคชัน ผลิตภัณฑ์จากสาย V-matter จะเข้าสู่เครื่องปฏิกรณ์ RGibbs โดยมีออกซิเจนเป็นสารตัวกลางในการให้ความร้อนแก่เครื่องปฏิกรณ์ RGibbs และทำให้เกิดกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ความดัน 1 บาร์ แก๊สสังเคราะห์ที่ได้จะเข้าสู่เครื่องปฏิกรณ์ Cooler โดยผ่านสาย GTC เพื่อทำการลดอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ต่อไป

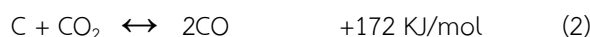
- ขั้นตอนการลดอุณหภูมิ (Syngas Cooling) แก๊สสังเคราะห์ที่ออกจากเครื่องปฏิกรณ์ RGibbs จะเข้าสู่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ชื่อ Cooler โดยผ่านสาย GTC เพื่อทำการลดอุณหภูมิ

(3) ปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการ

Water gas :



Boudouard :



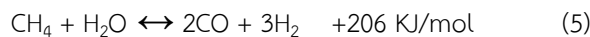
Water – gas shift :



Methanation :



Steam reforming :



2.2 การจำลองกระบวนการ

ผู้วิจัยทำการจำลองกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน ลงบนโปรแกรม Aspen plus โดยใช้ข้อมูลของกระบวนการอ้างอิง โดยมีข้อมูลของสายขาเข้า และข้อมูลของแต่ละหน่วยปฏิบัติการ แสดงดังตารางที่ 3-4

ตารางที่ 3 ข้อมูลเกี่ยวกับสายขาเข้า (Feed stream)

ชื่อ	อัตราการไหล (kg/hr)	ความดัน (bar)	อุณหภูมิ (°C)	องค์ประกอบ
Feed1	95	1	30	Proximate analysis Ultimate analysis
Feed2	5	1	30	Proximate analysis Ultimate analysis
Oxygen	90	1	30	Pure oxygen

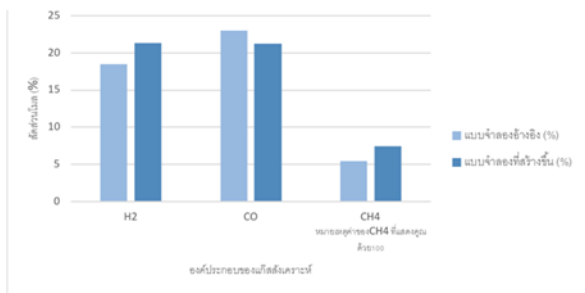
ตารางที่ 4 ข้อมูลเกี่ยวกับหน่วยปฏิบัติการต่าง (Block unit)

เครื่องปฏิกรณ์	ชื่อ	รายละเอียด
RStoic	Dry-Rec	T=35.1 °C P=1 bar
RYield	Decomp1	T=500 °C P=1 bar
RYield	Decomp2	T=500 °C P=1 bar
RGibbs	RGib	T=700 °C P=1 bar
Mixer	Mixer	-
Ssplit	Cyclone	-
Heater	Cooler	Flash type: Temperature and pressure T=-20 °C P=1 bar

### 3. ผลการวิจัย (Results)

#### 3.1 การทดสอบโมเดล

การตรวจสอบแบบจำลองทำได้โดยสร้างแบบจำลองตามแบบจำลองงานวิจัยอ้างอิงจากนั้นนำข้อมูลจากแบบจำลองอ้างอิง ได้แก่ สัดส่วนองค์ประกอบของแก๊สสังเคราะห์ที่ได้แก่ ไฮโดรเจน, คาร์บอนมอนนอกไซด์ และมีเทน จากแบบจำลองงานวิจัยอ้างอิงมาเปรียบเทียบความแตกต่างของการคำนวณกับแบบจำลองที่สร้างขึ้นเพื่อตรวจสอบความถูกต้อง ซึ่งแสดงในรูปของกราฟดังภาพที่ 2



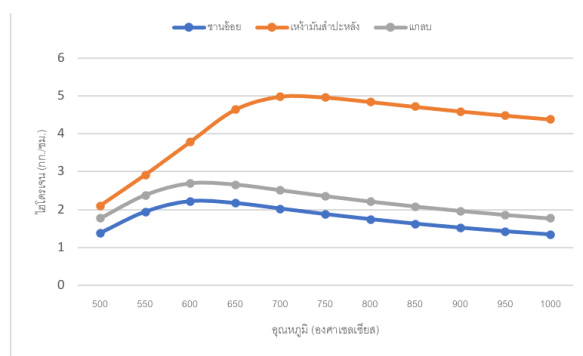
ภาพที่ 2 เปรียบเทียบสัดส่วนองค์ประกอบของแก๊สสังเคราะห์ระหว่างแบบจำลองจากงานวิจัยอ้างอิง [5] เทียบกับแบบจำลองที่สร้างขึ้น

ตารางที่ 5 เปรียบเทียบค่าความแตกต่างระหว่างแบบจำลองที่สร้างขึ้นเทียบกับแบบจำลองงานวิจัยอ้างอิง [5]

องค์ประกอบ	แบบจำลองจากงานวิจัยอ้างอิง (%)	แบบจำลองที่สร้างขึ้น (%)	ค่าความแตกต่างของการทดสอบแบบจำลอง (%)
H <sub>2</sub>	18.45	21.33	7.25
CO	23	21.25	3.94
CH <sub>4</sub>	0.05	0.07	15.78

#### 3.2 ผลกระทบของการเปลี่ยนอุณหภูมิที่เครื่องปฏิกรณ์ของชีวมวลแต่ละชนิด

เมื่อเปลี่ยนชนิดของสารตั้งต้นที่ป้อนเข้าสู่ระบบเป็น ชานอ้อย เหง้ามันสำปะหลัง และแกลบ จากนั้นทำการศึกษาช่วงอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์แก๊สซิไฟเออร์ในช่วง 500-1,000 องศาเซลเซียส พบว่าปริมาณของแก๊สไฮโดรเจนที่ได้จะค่อยๆ เพิ่มขึ้นในช่วงอุณหภูมิหนึ่งดังภาพที่ 3 ซึ่งช่วงของอุณหภูมิที่ทำให้ปริมาณแก๊สไฮโดรเจนมีปริมาณสูงจะอยู่ในช่วง 600-800 องศาเซลเซียส ซึ่งอยู่ในช่วงเดียวกันกับงานวิจัยอ้างอิง [5] ที่อัตราการป้อนออกซิเจน, ชีวมวลและโพลีเอทิลีน เท่ากับ 100, 95 และ 5 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ตามลำดับ จึงได้ทำการศึกษาเพิ่มเติมอย่างละเอียดโดยเพิ่มอุณหภูมิขึ้นทีละ 10 องศาเซลเซียส ในช่วง 600-800 องศาเซลเซียส แสดงในตารางที่ 6-8



ภาพที่ 3 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิกับปริมาณแก๊สไฮโดรเจนที่ผลิตได้ของชีวมวลชนิดต่างๆที่อัตราการป้อนออกซิเจน, ชีวมวลและโพลีเอทิลีน เท่ากับ 100, 95 และ 5 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

**ตารางที่ 6** ผลการศึกษาอิทธิพลร่วมของอุณหภูมิและอัตราการป้อนโพลีเอทิลีนต่อชีวมวลของกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันของขานอ้อยอย่างละเอียด

Temperature	Polyethylene (kg/hr.)
	15
640	3.336
650	2.352
660	3.353
670	3.344
680	3.326

**ตารางที่ 7** ผลการศึกษาอิทธิพลร่วมของอุณหภูมิ และอัตราการป้อนโพลีเอทิลีนต่อชีวมวลของกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันของเหง้ามันสำปะหลังอย่างละเอียด

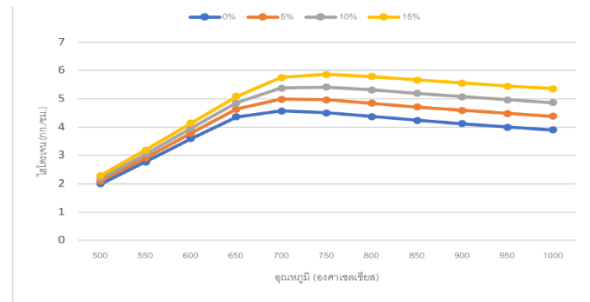
Temperature	Polyethylene (kg/hr.)
	15
720	5.830
730	5.848
740	5.855
750	5.853
760	5.845

**ตารางที่ 8** ผลการศึกษาอิทธิพลร่วมของอุณหภูมิ และอัตราการป้อนโพลีเอทิลีนต่อชีวมวลของกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันของแกลบอย่างละเอียด

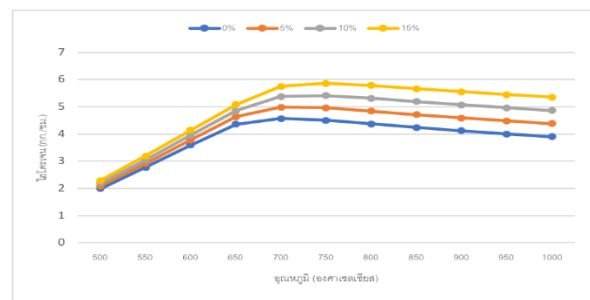
Temperature	Polyethylene (kg/hr.)
	15
640	3.911
650	3.932
660	3.938
670	3.931
680	3.915

3.3 ผลกระทบของอัตราการป้อนโพลีเอทิลีนต่อชีวมวลของชีวมวลแต่ละชนิด

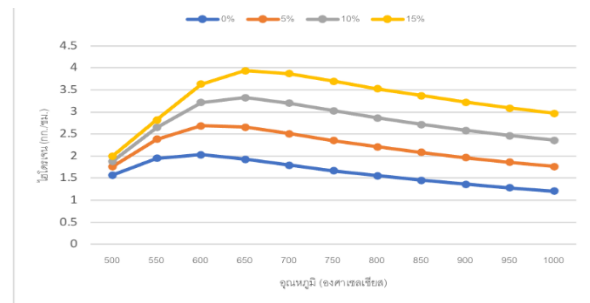
อัตราการป้อนโพลีเอทิลีนต่อชีวมวลในกระบวนการผลิตแก๊สไฮโดรเจนในช่วงอัตราการป้อน 0-15% และอุณหภูมิในช่วงต่างๆ



**ภาพที่ 4** ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแก๊สไฮโดรเจนกับอัตราการป้อนโพลีเอทิลีน เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันของขานอ้อย



**ภาพที่ 5** ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแก๊สไฮโดรเจนกับอัตราการป้อนโพลีเอทิลีน เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันของเหง้ามันสำปะหลัง



**ภาพที่ 6** ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแก๊สไฮโดรเจนกับอัตราการป้อนโพลีเอทิลีน เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันของแกลบ

3.4 ปริมาณไฮโดรเจนที่ได้จากการเปลี่ยนแปลงประเภทชีวมวล

ปริมาณไฮโดรเจนที่ได้จากการกระบวนการภายใต้สภาวะที่เหมาะสมจากชีวมวลแต่ละชนิดจะถูกแสดงในตารางที่ 9

**ตารางที่ 9** ปริมาณไฮโดรเจนที่ได้จากสภาวะที่เหมาะสมจากชีวมวลแต่ละชนิด

ชนิดของชีวมวล		ชานอ้อย	เห้งน้ำมันสำปะหลัง	แกลบ
Ultimate analysis	C	49.2	51.6	42.1
	H	4.69	7.6	6.1
	O	43	1.3	34.9
	N	0.18	39.5	1.2
	S	0.02	0	0.2
Moisture	(%)	0.48	8.3	0
Temperature	(°C)	660	740	660
PE (%)		15%	15%	15%
Hydrogen	(kg/hr.)	3.353	5.855	3.938

**4. อภิปรายผล (Discussion)**

**4.1 การทดสอบโมเดล**

จากตารางที่ 5 เมื่อเปรียบเทียบค่าความแตกต่างของการทดสอบแบบจำลองพบว่าค่าความแตกต่างของแก๊สสังเคราะห์ชนิดต่างๆ ได้แก่ ไฮโดรเจน เท่ากับ 7.25%, คาร์บอนมอนนอกไซด์ เท่ากับ 3.94% และมีเทน เท่ากับ 15.78% มีความแตกต่างของการทดสอบแบบจำลองใกล้เคียงกัน ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าแบบจำลองที่สร้างขึ้นมีความถูกต้อง และสามารถนำไปศึกษาในขั้นตอนถัดไปได้ ซึ่งงานวิจัยจะเปลี่ยนสารตั้งต้นจากแบบจำลองงานวิจัยอ้างอิงมาเป็นชีวมวล 3 ชนิด ได้แก่ ชานอ้อย เห้งน้ำมันสำปะหลัง และแกลบข้าว โดยตัวแปรที่ศึกษา ได้แก่ การศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนอุณหภูมิและสัดส่วนของโพลีเอทิลีนต่อชีวมวล

**4.2 ผลกระทบของการเปลี่ยนอุณหภูมิที่เครื่องปฏิกรณ์ของชีวมวลแต่ละชนิด**

จากภาพที่ 3 พบว่าการเพิ่มขึ้นของปริมาณแก๊สไฮโดรเจนที่เพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิจนถึงจุดหนึ่งปริมาณแก๊สไฮโดรเจนที่เพิ่มขึ้นจะลดลง เนื่องจากในช่วงแรกผลของกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน โดยใช้ชีวมวลนั้นมีปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องอยู่ด้วยกัน 3 ปฏิกิริยา ได้แก่ ปฏิกิริยาบูดูยาร์ด (Boudouard reaction), ปฏิกิริยาวอเตอร์แก๊ส (Water-gas reaction) และปฏิกิริยา สตีมนรีฟอร์มมิง (Steam reforming) ที่เป็นปฏิกิริยาแบบดูดความร้อน ทำให้การผลิตไฮโดรเจนเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น แต่เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น จะเกิดสมดุลย้อนกลับของปฏิกิริยา มีเทน (Methanation reaction) และปฏิกิริยาเปลี่ยนน้ำเป็นแก๊ส (Water-gas shift reaction) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาแบบคาย

ความร้อน อีกทั้งเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้ส่วนหนึ่งของชีวมวลเกิดการเผาไหม้สมบูรณ์ กลายเป็นน้ำและคาร์บอนไดออกไซด์ แทนที่ไฮโดรเจนและคาร์บอนมอนนอกไซด์ จึงทำให้ปริมาณแก๊สไฮโดรเจนลดลง

**4.3 ผลกระทบของอัตราการป้อนโพลีเอทิลีนต่อชีวมวลของชีวมวลแต่ละชนิด**

จากการศึกษาอัตราการป้อนโพลีเอทิลีนต่อชีวมวลในช่วงอัตราการป้อนโพลีเอทิลีนต่อชีวมวล 0-30% พบว่าเมื่อเพิ่มอัตราการป้อนโพลีเอทิลีนต่อชีวมวลจะส่งผลทำให้ปริมาณแก๊สไฮโดรเจนเพิ่มขึ้น เนื่องจากเป็นไปตามปฏิกิริยาวอเตอร์แก๊ส และปฏิกิริยา สตีมนรีฟอร์มมิง แต่เมื่อเพิ่มอัตราการป้อนโพลีเอทิลีนต่อชีวมวลมากขึ้นจะทำให้ปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ลดลงอย่างรวดเร็วเนื่องจากเป็นไปตามปฏิกิริยาเป็นน้ำเป็นแก๊ส เกิดเป็นคาร์บอนมอนอกไซด์แทน

ดังนั้นการพิจารณาอัตราการป้อนโพลีเอทิลีนต่อชีวมวลที่เหมาะสมของปฏิกิริยาแก๊สซิฟิเคชัน จึงพิจารณาอัตราการป้อนโพลีเอทิลีนต่อชีวมวลที่มีปริมาณไฮโดรเจนที่สูงที่สุดก่อน ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์จะเพิ่มขึ้น และในงานวิจัยอ้างอิง [5] ยังกล่าวไว้ว่า การเพิ่มอัตราป้อนโพลีเอทิลีนต่อชีวมวลเข้าสู่ระบบมากเกินไป 15 % จะทำให้เกิดการสูญเสียประสิทธิภาพทางพลังงาน และอาจทำให้โพลีเอทิลีนเกิดการละลายไปติดผนังของท่อ ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดการขัดข้องของระบบและทั้งยังอาจทำให้เกิดการใช้พลังงานมากขึ้นในระบบได้ โดยในงานวิจัยนี้จึงจำกัดปริมาณของโพลีเอทิลีนที่มากที่สุดที่สามารถใช้ได้ในระบบการอยู่ที่ 15 % เท่านั้น

**4.4 ปริมาณไฮโดรเจนที่ได้จากการเปลี่ยนแปลงประเภทชีวมวล**

ชนิดของชีวมวลมีผลต่อความแตกต่างของไฮโดรเจนที่ผลิตได้เช่นเดียวกัน โดยพิจารณาที่ปริมาณไฮโดรเจนจาก Ultimate analysis และความชื้น ซึ่งทั้งคู่เป็นหนึ่งในแหล่งที่มาของปริมาณไฮโดรเจนจากชีวมวลแต่ละชนิด เช่นเดียวกับงานวิจัยอ้างอิง [5]

อย่างไรก็ตามจากผลการวิจัยพบว่า ชีวมวลที่สามารถผลิตไฮโดรเจนได้ปริมาณมากที่สุด คือ เห้งน้ำมันสำปะหลัง แกลบ และชานอ้อย ตามลำดับ เนื่องจากผลกระทบจากตัวแปรอื่นๆในระบบ ได้แก่ อุณหภูมิที่ใช้ในระบบการ และสัดส่วนของอัตราการป้อนโพลีเอทิลีนต่อชีวมวล โดยปริมาณไฮโดรเจนที่ได้จากการกระบวนการภายใต้สภาวะที่เหมาะสมจากชีวมวลแต่ละชนิด ดังแสดงในตารางที่ 9

**5. สรุปผล (Conclusion)**

ในการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตแก๊สไฮโดรเจนจากชีวมวลต่างชนิดกัน ได้แก่ ชานอ้อย เห้งน้ำมันสำปะหลัง และแกลบ ผ่านกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน โดยใช้โปรแกรม Aspen plus V.12 ตัวแปรที่ทำการศึกษา ได้แก่ อุณหภูมิของกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน และอัตราการป้อนโ

สีเอทิลีนต่อชีวมวล โดยระบบดำเนินการที่อัตราการป้อนออกซิเจนคงที่เท่ากับ 100 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ที่ความดันเท่ากับ 1 บาร์ ช่วงอุณหภูมิที่ใช้ในการศึกษาเท่ากับ 500-1,000 องศาเซลเซียส และอัตราการป้อนโพลีเอทิลีนต่อชีวมวลเท่ากับ 0-15% การศึกษาพบว่าปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณการผลิตแก๊สไฮโดรเจนประกอบด้วย อุณหภูมิของกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน อัตราการป้อนโพลีเอทิลีนต่อชีวมวล ความชื้นของชีวมวล (Moisture content) และปริมาณไฮโดรเจนในองค์ประกอบของชีวมวลที่แตกต่างไปตามชนิดของชีวมวล โดยสามารถสรุปผลการศึกษาดังนี้ สภาวะอุณหภูมิที่เหมาะสมในการผลิตแก๊สไฮโดรเจนของขานอ้อยแห้งน้ำมันสำปะหลังและแกลบ อยู่ที่อุณหภูมิ 660, 740 และ 660 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และอัตราการป้อนโพลีเอทิลีนต่อชีวมวลของทั้งขานอ้อยแห้งน้ำมันสำปะหลัง และแกลบ อยู่ที่ 15% โดยได้แก๊สไฮโดรเจนที่ผลิตของขานอ้อยแห้งน้ำมันสำปะหลังและแกลบ เท่ากับ 3.353, 5.855 และ 3.938 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ตามลำดับ โดยจะสรุปได้ว่าชีวมวลที่สามารถให้ปริมาณแก๊สไฮโดรเจนได้มากที่สุดได้แก่ เหง้ามันสำปะหลัง แกลบและขานอ้อย ตามลำดับ

## 6. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgements)

ขอขอบพระคุณ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ที่ได้อนุเคราะห์โปรแกรม Aspen plus V.12 ในการทำงานวิจัยครั้งนี้

## 7. เอกสารอ้างอิง

สำหรับปรับปรุงกระบวนการผลิตสุกซ์กันท เซรามิกส์ วิศวกรรมสาร มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, ฉบับวิจัยและพัฒนา ปีที่ 19 ฉบับที่ 4 พ.ศ. 2551, หน้า 36-44.

- [10] จักรพันธ์ อังธรรมคุณ. (2552). การปรับปรุงความสามารถของกระบวนการประกอบชุดแขนจับหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ เพื่อลดปริมาณของเสียโดยใช้วิธีซิกซ์ซิกม่า. สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [11] ทรรศพร สกุลพิพัฒน์. (2551). การประยุกต์ใช้กระบวนการ DMAIC ในอุตสาหกรรมการผลิตแผ่นวงจรรวม. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- [12] ชีวรัตน์ กะฐินทอง. (2551). การลดจำนวนผลิตภัณฑ์ที่บกพร่องในการผลิตแกนหมุนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์โดยใช้

## 7.1 เอกสารอ้างอิงภาษาไทย

- [1] บริษัทโกลบอล เพาเวอร์ ซินเนอร์ยี จำกัด(มหาชน). พลังงานทดแทน.[อินเทอร์เน็ต]. [สืบค้นเมื่อวันที่20 มิ.ย. 2565] <https://www.gpscgroup.com/th/news/982/>.
- [2] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. กลุ่มพลังงานสะอาดใหม่.คู่มือความรู้ด้านพลังงานไฮโดรเจน.2006;1-12
- [3] มูลนิธิแม่ฟ้าหลวงในพระบรมราชูปถัมภ์. รู้จักพลาสติก7 ชนิดที่ไทยกำลังจะแบน.[อินเทอร์เน็ต].[สืบค้นเมื่อวันที่5 มิ.ย.2565]. <http://home.maefahluang.org/17277358/>.
- [4] Watana Bhand Packing System Co., Ltd. พลาสติก PE และ PP มีความสำคัญอย่างไรต่ออุตสาหกรรมไทย. [อินเทอร์เน็ต]. [สืบค้นเมื่อวันที่20 มิ.ย.2565].จาก <https://www.watanabhand.co.th/%E0%B8%9E%E0%B8%A5%E0%B8%B2%E0%B8%AA%E0%B8%95%E0%B8%B4%E0%B8%81-pe-%E0%B9%81%E0%B8%A5%E0%B8%B0-pp/>.

## 7.2 เอกสารอ้างอิงภาษาอังกฤษ

- [5] Roshia P, Kumar S, Vikram S, Ibrahim H, Al.Muhtaseb A. H2-enriched gaseous production via co-gasification of an algae-plastic waste mixture using Aspen Plus. International Journal of Hydrogen Energy. 2021;1-9.
- [6] Lin B, Chen W. Sugarcane bagasse pyrolysis in a carbon dioxide atmosphere with conventional and microwave-assisted heating. Frontier in energy research. 2015.
- ซิกซ์ซิกม่า. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- [13] กรรณิการ์ เบญจรัฐพงศ์. (2558). การประยุกต์ใช้ซิกซ์ซิกม่าในกระบวนการผลิตไพลอด. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- [14] ศุภกฤต หวังสิทธิเดช. (2552). การปรับปรุงกระบวนการผลิตด้วยวิธีการทางซิกซ์ซิกม่า กรณีศึกษาโรงงานประกอบแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.