

**บทที่ 4**  
**ผลการศึกษา**

**4.1 ผลการศึกษาทางเคมีคอมพิวเตอร์**

จากการศึกษาการเกิดอันตรกิริยา ระหว่างโมเลกุล  $H_2S$ ,  $CO_2$  และ  $CH_4$  บนโครงสร้างซีโอไลต์ชนิด H-FER ที่ขนาดโครงสร้าง 5T, 12T และ 34T ด้วยระเบียบวิธี ONIOM (HF/6-31G (d,p):UFF) และ ONIOM (B3LYP/6-31G (d,p):UFF) พบว่า extended structure ของซีโอไลต์ชนิด H-FER จาก 5T, 12T ถึง 34T มีค่าพลังงานการดูดซับ (adsorption energy) เพิ่มขึ้นตามขนาดโครงสร้าง เมื่อเปรียบเทียบวิธีการคำนวณแบบ HF/6-31G (d,p) B3LYP/6-31G (d,p) พบว่าค่าพลังงานการดูดซับที่ได้จากการคำนวณแบบ B3LYP/6-31G (d,p) มีค่าพลังงานการดูดซับที่ดีกว่าวิธีการคำนวณแบบ HF/6-31G (d,p) ดังแสดงในตารางที่ 4.1 ผลที่ได้สนับสนุนว่าในระบบการดูดซับโมเลกุล  $H_2S$  บนโครงสร้างซีโอไลต์มีค่าพลังงานที่ดีที่สุดรองลงมาคือระบบการดูดซับโมเลกุลของ  $CO_2$  และ  $CH_4$  ซึ่งแสดงให้เห็นว่าซีโอไลต์สามารถเกิดอันตรกิริยากับโมเลกุล  $H_2S$  ได้แข็งแรงกว่าโมเลกุลชนิดอื่นๆ และสามารถดูดซับได้ดีมากขึ้นตามขนาดโครงสร้างของซีโอไลต์ที่ใหญ่ขึ้นเนื่องจากอิทธิพลจากแรงของโครงข่ายของซีโอไลต์ที่มากขึ้น

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าพลังงานการดูดซับของโมเลกุล  $H_2S$ ,  $CO_2$  และ  $CH_4$  บนโครงสร้างซีโอไลต์ชนิด H-FER ขนาด 5T, 12T และ 34T

ระบบ	พลังงานการดูดซับ (kcal/mol)	
	HF/6-31G(d,p)	B3LYP/6-31G(d,p)
FER5T/ $H_2S$	-4.40	-6.07
FER5T/ $CO_2$	-4.69	-5.19
FER5T/ $CH_4$	-0.68	-1.13
FER12T/ $H_2S$	-8.45	-10.49
FER12T/ $CO_2$	-8.15	-8.88
FER12T/ $CH_4$	-5.16	-5.36
FER34T/ $H_2S$	-9.36	-10.78
FER34T/ $CO_2$	-8.52	-9.67
FER34T/ $CH_4$	-7.70	-7.79

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าความยาวพันธะและมุมพันธะของระบบการดูดซับ โมเลกุล H<sub>2</sub>S, CO<sub>2</sub> และ CH<sub>4</sub> บน  
โครงสร้างซีโอไลต์ชนิด H-FER ขนาด 5T ที่เสถียร

พันธะ (Å)	H <sub>2</sub> S		CO <sub>2</sub>		CH <sub>4</sub>	
	HF	B3LYP	HF	B3LYP	HF	B3LYP
O1-H	0.959	0.994	0.957	0.982	0.954	0.982
Al-O1	1.832	1.830	1.833	1.837	1.843	1.845
Si1-O1	1.643	1.652	1.643	1.654	1.644	1.652
Al-O2	1.655	1.673	1.658	1.678	1.656	1.681
Si2-O2	1.575	1.593	1.579	1.603	1.580	1.605
H-S, H-O3* หรือ H-C**	2.612	2.302	2.024*	1.882*	2.891**	2.634**
มุมพันธะ (องศา)						
Si1-O1-Al	141.483	141.172	141.948	142.688	141.937	143.436
Si2-O2-Al	136.824	131.823	135.613	129.918	136.016	129.804
O1-Al-O2	86.077	85.013	86.042	84.708	85.135	83.001

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าความยาวพันธะและมุมพันธะของระบบการดูดซับ โมเลกุล H<sub>2</sub>S, CO<sub>2</sub> และ CH<sub>4</sub> บน  
โครงสร้างซีโอไลต์ชนิด H-FER ขนาด 12T ที่เสถียร

พันธะ (Å)	H <sub>2</sub> S		CO <sub>2</sub>		CH <sub>4</sub>	
	HF	B3LYP	HF	B3LYP	HF	B3LYP
O1-H	0.959	0.997	0.957	0.982	0.953	0.977
Al-O1	1.832	1.832	1.832	1.837	1.842	1.849
Si1-O1	1.650	1.662	1.651	1.662	1.650	1.661
Al-O2	1.642	1.666	1.645	1.669	1.642	1.669
Si2-O2	1.575	1.603	1.578	1.606	1.578	1.609
H-S, H-O3* หรือ H-C**	2.677	2.291	2.057*	1.893*	3.611**	3.383**
มุมพันธะ (องศา)						
Si1-O1-Al	136.728	135.382	137.045	137.032	138.193	139.568
Si2-O2-Al	138.167	127.881	134.317	127.077	134.965	127.122
O1-Al-O2	90.899	90.165	90.853	89.176	89.642	87.264

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าความยาวพันธะและมุมพันธะของระบบการดูดซับโมเลกุล H<sub>2</sub>S, CO<sub>2</sub> และ CH<sub>4</sub> บนโครงสร้างซีโอไลต์ชนิด H-FER ขนาด 34T ที่เสถียร

พันธะ (Å)	H <sub>2</sub> S		CO <sub>2</sub>		CH <sub>4</sub>	
	HF	B3LYP	HF	B3LYP	HF	B3LYP
O1-H	0.954	0.984	0.955	0.979	0.952	0.975
Al-O1	1.886	1.875	1.889	1.885	1.894	1.890
Si1-O1	1.681	1.690	1.680	1.691	1.680	1.690
Al-O2	1.663	1.675	1.669	1.676	1.660	1.670
Si2-O2	1.612	1.631	1.622	1.640	1.611	1.630
H-S, H-O3* หรือ H-C**	3.423	2.543	2.287*	2.085*	4.348**	4.245**
มุมพันธะ (องศา)						
Si1-O1-Al	145.361	145.530	145.894	146.188	145.306	145.844
Si2-O2-Al	154.856	152.767	154.808	152.893	154.955	152.151
O1-Al-O2	96.165	95.996	96.236	95.658	95.833	94.678

อันตรกิริยาระหว่างซีโอไลต์กับตัวถูกดูดซับทั้ง 3 โมเลกุล (H<sub>2</sub>S, CO<sub>2</sub> และ CH<sub>4</sub>) จะเกิดขึ้นที่บริเวณอะตอมไฮโดรเจน (H) ของซีโอไลต์ กับอะตอมซัลเฟอร์ (S) ของไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H-S) อะตอมออกซิเจน (O3) ของคาร์บอนไดออกไซด์ (H-O3) และบริเวณอะตอมคาร์บอน (C) ของมีเทน (H-C) ซึ่งระยะห่างระหว่างอะตอมในบริเวณที่เกิดอันตรกิริยาจะมีระยะห่างที่ต่างกันไป เช่นในระบบโครงสร้างซีโอไลต์ชนิด FER ขนาดโครงสร้าง 34T ที่ได้จากการคำนวณด้วยระเบียบวิธี ONIOM (B3LYP/6-31G (d,p):UFF) มีระยะระหว่าง H-S, H-O3 และ H-C เท่ากับ 2.54 Å, 2.08 Å และ 4.24 Å ตามลำดับ จะเห็นว่าบริเวณที่เกิดอันตรกิริยาระหว่างอะตอมไฮโดรเจน (H) ของซีโอไลต์กับอะตอมคาร์บอน (C) ของมีเทน (H-C) มีระยะห่างที่มากที่สุดซึ่งสัมพันธ์กับค่าพลังงานการดูดซับที่มีค่าน้อยที่สุด

จากงานวิจัยที่ผ่านมาที่ทำการศึกษาการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ด้วยวัสดุดูดซับต่างๆ อาทิเช่น การศึกษาการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ด้วย  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> โดยใช้การคำนวณทางเคมีคอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์ที่ใช้ CASTEP พบว่าค่าพลังงานการดูดซับเท่ากับ 25.67 kcal/mol (Tao, Guo and Zheng, 2012) แต่หลังจาก Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ดูดซับโมเลกุลของไฮโดรเจนซัลไฟด์ จะส่งผลให้ประสิทธิภาพในการดูดซับของ Fe ลดลง เนื่องจาก Fe จะถูกออกซิไดซ์ด้วย S กลายเป็นสนิมที่ไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ ดังสมการ  $2Fe_2O_3 + 6H_2S \rightarrow 2Fe_2S_3 + 6H_2O$  ซึ่งต่างจากการใช้ซีโอไลต์ที่สามารถนำกลับมาใช้ซ้ำได้อีกครั้ง ดังที่ปรากฏในงานวิจัยของ (Alonso-Vicario et al. 2010)

จากผลการคำนวณทางเคมีคอมพิวเตอร์ แสดงให้เห็นค่าพลังงานการดูดซับไฮโดรเจนซัลไฟด์ด้วยซีโอไลต์มีค่าพลังงานการดูดซับที่ต่ำกว่าคาร์บอนไดออกไซด์และมีเทน แสดงให้เห็นว่าซีโอไลต์ธรรมชาติสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จากก๊าซชีวภาพ ก่อนนำก๊าซชีวภาพซึ่งยังคงมีองค์ประกอบของก๊าซมีเทนสูงไปใช้เป็นพลังงานหมุนเวียน

#### 4.2 ผลการศึกษาการปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพด้วยวัสดุดูดซับ

ผลการศึกษาการปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพด้วยวัสดุต่างๆ ได้แก่ ซีโอไลต์ธรรมชาติ ฝอยเหล็ก และถ่านไม้ประสิทธิภาพสูง โดยจัดทำชุดปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพในพื้นที่ชุมชน มีผลการศึกษาดังนี้

##### 4.2.1 การปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพด้วยซีโอไลต์ธรรมชาติ

ศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ โดยเก็บก๊าซชีวภาพจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียการผลิตยางแผ่น โดยใช้ถุงเก็บก๊าซ และใช้ซีโอไลต์ธรรมชาติ (วัสดุดูดซับ) ปริมาณ 100, 500 และ 1,000 กรัม เพื่อศึกษาหาปริมาณของซีโอไลต์ธรรมชาติที่เหมาะสม ทำการบรรจุซีโอไลต์ลงในคอลัมน์ เก็บตัวอย่างก๊าซชีวภาพก่อนผ่านชุดปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพ เพื่อวิเคราะห์หาความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เริ่มต้น และเก็บตัวอย่างก๊าซชีวภาพหลังผ่านชุดปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพ เพื่อวิเคราะห์หาความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เหลือ (อัตราการไหลของก๊าซ 0.5 ลิตรต่อนาที) ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.5 ถึง 4.7

ตารางที่ 4.5 แสดงความสามารถ และประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ก่อนและหลังผ่านการดูดซับด้วยซีโอไลต์ธรรมชาติที่ปริมาณ 100 กรัม (10 นาที)

ครั้งที่ (ทุกๆ 2 นาที)	ก่อนการดูดซับ (ppm)	หลังการดูดซับ (ppm)	ความเข้มข้น H <sub>2</sub> S ที่ถูกดูดซับ (ppm)	ประสิทธิภาพ การดูดซับ (%)
1	17,344.33	9,536.6	7,807.74	45.02
2	17,344.33	10,038.52	7,305.81	42.12
3	17,344.33	9,313.52	8,030.81	46.30
4	17,344.33	9,926.98	7,417.35	42.77
5	17,344.33	9,871.21	7,473.12	43.09

ตารางที่ 4.6 แสดงความสามารถ และประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ก่อนและหลังผ่านการดูดซับด้วยซีโอไลต์ธรรมชาติที่ปริมาณ 500 กรัม (10 นาที)

ครั้งที่ (ทุกๆ 2 นาที)	ก่อนการดูดซับ (ppm)	หลังการดูดซับ (ppm)	ความเข้มข้น H <sub>2</sub> S ที่ถูกดูดซับ (ppm)	ประสิทธิภาพ การดูดซับ (%)
1	10,596.22	5,019.26	5,576.96	52.63
2	10,596.22	4,182.72	6,413.50	60.53
3	10,596.22	3,903.87	6,692.35	63.16
4	10,596.22	3,346.17	7,250.04	68.42
5	10,596.22	3,067.33	7,528.89	71.05

ตารางที่ 4.7 แสดงความสามารถ และประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ก่อนและหลังผ่านการดูดซับด้วยซีโอไลต์ธรรมชาติที่ปริมาณ 1000 กรัม (10 นาที)

ครั้งที่ (ทุกๆ 2 นาที)	ก่อนการดูดซับ (ppm)	หลังการดูดซับ (ppm)	ความเข้มข้น H <sub>2</sub> S ที่ถูกดูดซับ (ppm)	ประสิทธิภาพ การดูดซับ (%)
1	10,484.68	4,461.57	6,023.11	57.45
2	10,484.68	4,182.72	6,301.96	60.11
3	10,484.68	4,071.18	6,413.50	61.17
4	10,484.68	3,346.17	7,138.50	68.09
5	10,484.68	2,788.48	7,696.20	73.40

จากตารางที่ 4.5 ถึง 4.7 แสดงร้อยละการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ปนเปื้อนอยู่ในก๊าซชีวภาพที่เกิดจากระบบบำบัดน้ำเสียการผลิตยางแผ่นหลังผ่านชุดปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพ โดยใช้ปริมาณซีโอไลต์ธรรมชาติ 100, 500 และ 1,000 กรัม พบว่าประสิทธิภาพของซีโอไลต์ธรรมชาติในการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตามปริมาณสารดูดซับที่เพิ่มขึ้น และปริมาณของซีโอไลต์ธรรมชาติ 100, 500 และ 1000 กรัม มีค่าร้อยละการดูดซับเฉลี่ยอยู่ที่ 46.30%, 71.05% และ 73.40% ตามลำดับ

จากข้อมูลประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพด้วยซีโอไลต์ธรรมชาติพบว่าซีโอไลต์สามารถที่จะดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ และที่ซีโอไลต์ธรรมชาติ 500 และ 1,000 กรัม

มีประสิทธิภาพการดูดซับที่ดีใกล้เคียงกันจึงเลือกผลของซีโอไลต์ที่ 500 กรัมเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์กับวัสดุอื่นที่หาได้ง่ายในท้องถิ่นคือ ถ่านไม้ และฝอยเหล็ก

#### 4.2.2 การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ด้วยถ่านไม้ประสิทธิภาพสูง

ศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ด้วยถ่านประสิทธิภาพสูงเพื่อเปรียบเทียบกับซีโอไลต์ธรรมชาติ โดยบรรจุถ่านประสิทธิภาพสูงปริมาณ 500 กรัม ลงในชุดคอลัมน์ปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพ ทำการปล่อยก๊าซชีวภาพให้ไหลผ่านด้วยอัตราการไหล 0.5 ลิตรต่อนาที เก็บตัวอย่างก๊าซชีวภาพเพื่อวิเคราะห์หาความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เหลือ ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ด้วยถ่านประสิทธิภาพสูง

ครั้งที่	ความเข้มข้น H <sub>2</sub> S ก่อนการดูดซับ (ppm)	ความเข้มข้น H <sub>2</sub> S หลังการดูดซับ (ppm)	ความเข้มข้น H <sub>2</sub> S ที่ถูกดูดซับ (ppm)	ประสิทธิภาพการดูดซับ (%)
1	9,480.83	5,855.80	3,625.02	38.24
2	9,480.83	5,576.96	3,903.87	41.18
3	9,480.83	5,019.26	4,461.57	47.06
4	9,480.83	4,740.41	4,740.41	50.00
5	9,480.83	4,461.57	5,019.26	52.94

จากตารางที่ 4.8 จะเห็นได้ว่า ถ่านไม้ประสิทธิภาพสูงมีประสิทธิภาพในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพสูงสุด 52.94% ซึ่งมีค่าต่ำกว่าวัสดุดูดซับซีโอไลต์ธรรมชาติ หากต้องการนำถ่านไม้มาประยุกต์ใช้จริง ควรมีการเพิ่มปริมาณเพื่อให้ชุดดูดซับมีประสิทธิภาพสูงขึ้น

#### 4.2.3 การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ด้วยฝอยเหล็ก

ในการทดลองนี้ใช้ฝอยเหล็กเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับ โดยบรรจุฝอยเหล็กลงในคอลัมน์ชุดปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพ โดยบรรจุและอัดแน่นให้มีความสูงเท่ากับซีโอไลต์ธรรมชาติ ปริมาณ 500 กรัม จากนั้นทำการเก็บตัวอย่างก๊าซชีวภาพก่อน และหลังผ่านชุดปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพเพื่อวิเคราะห์หาความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เหลือ ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.9

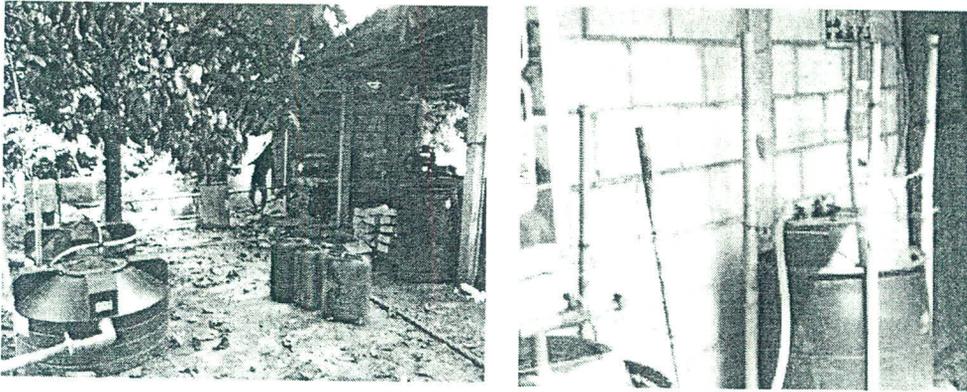
ตารางที่ 4.9 แสดงความสามารถ และประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ก่อนและหลังผ่านการดูดซับด้วยฟอยเหล็ก

ครั้งที่	ความเข้มข้น H <sub>2</sub> S ก่อนการดูดซับ (ppm)	ความเข้มข้น H <sub>2</sub> S หลังการดูดซับ (ppm)	ความเข้มข้น H <sub>2</sub> S ที่ถูกดูดซับ (ppm)	ประสิทธิภาพการดูดซับ (%)
1	8,923.13	6,692.35	2,230.78	25.00
2	8,923.13	5,576.96	3,346.17	37.50
3	8,923.13	5,298.11	3,625.02	40.63
4	8,923.13	6,134.65	2,788.48	31.25
5	8,923.13	6,692.35	2,230.78	25.00

จากตารางที่ 4.9 จะเห็นได้ว่า ฟอยเหล็กมีประสิทธิภาพในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพสูงสุดเพียง 40.63% ซึ่งมีค่าต่ำกว่าวัสดุดูดซับซีโอไลต์ธรรมชาติและถ่านไม้ประสิทธิภาพสูง หากต้องการนำฟอยเหล็กมาประยุกต์ใช้จริง ควรมีการเพิ่มปริมาณฟอยเหล็กเพื่อให้ชุดดูดซับมีประสิทธิภาพตามต้องการ

#### 4.3 ออกแบบระบบการดูดซับเพื่อใช้กับระบบบำบัดน้ำเสียจากการผลิตยางแผ่นจริง

จากผลการทดลอง พบว่าซีโอไลต์ธรรมชาติปริมาณ 500 กรัม มีประสิทธิภาพในการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพได้ดีที่สุด จึงนำผลดังกล่าวมาทดลองประยุกต์ใช้กับระบบจริง โดยทำการจัดทำ และติดตั้งระบบปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพที่ผลิตจากระบบบำบัดน้ำเสียการผลิตยางแผ่น ณ จุดใช้งานจริง บ้านเลขที่ 1 หมู่ 9 ตำบลสระแก้ว อำเภอท่าศาลา จังหวัดนครศรีธรรมราช เพื่อลดปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพ และวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิว และ โครงสร้างของซีโอไลต์ธรรมชาติหลังการดูดซับก๊าซชีวภาพ



ภาพที่ 4.1 ระบบบำบัดน้ำเสียการผลิตยางแผ่นแบบบ่อหมักก๊าซชีวภาพ ที่มีการติดตั้งระบบปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพ ณ บ้านเลขที่ 1 หมู่ 9 ตำบลสระแก้ว อำเภอนาทม จังหวัดนครศรีธรรมราช

ทำการเก็บตัวอย่างก๊าซชีวภาพที่ได้จากระบบบำบัดน้ำเสียการผลิตยางแผ่น ณ บ้านเลขที่ 1 หมู่ 9 ตำบลสระแก้ว อำเภอนาทม จังหวัดนครศรีธรรมราช ก่อนและหลังผ่านชุดปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพ ซึ่งบรรจุวัสดุดูดซับที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดในการทดลองครั้งนี้ นั่นคือซีโอไลต์ธรรมชาติ ปริมาณ 500 กรัม โดยการเก็บตัวอย่างก๊าซชีวภาพหลังผ่านชุดปรับปรุงคุณภาพ ทำการเก็บตัวอย่างจำนวน 4 ครั้ง ทุกๆ 15 นาที เป็นเวลา 60 นาที วิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ ด้วยเครื่อง Gas Chromatography (GC) แสดงดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบก๊าซชีวภาพก่อนและหลังผ่านการดูดซับ ด้วยซีโอไลต์ ธรรมชาติ ด้วยเครื่อง Gas Chromatography (GC)

รายละเอียด	องค์ประกอบก๊าซ				
	CH <sub>4</sub> (%)	CO (%)	CO <sub>2</sub> (%)	H <sub>2</sub> (%)	H <sub>2</sub> S (ppm)
ก่อนผ่านซีโอไลต์ธรรมชาติ	54.6	ND	29.7	ND	9,097
หลังผ่านซีโอไลต์ธรรมชาติ เป็นเวลา 15 นาที	0.7	ND	0.127	ND	ND
หลังผ่านซีโอไลต์ธรรมชาติ เป็นเวลา 30 นาที	20.65	ND	0.133	ND	ND
หลังผ่านซีโอไลต์ธรรมชาติ เป็นเวลา 45 นาที	37.90	ND	0.096	ND	ND
หลังผ่านซีโอไลต์ธรรมชาติ เป็นเวลา 60 นาที	55.90	ND	0.178	ND	ND

หมายเหตุ : ค่า NF คือ Is Not Detected

จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพพบว่าก๊าซชีวภาพก่อนผ่านซีโอไลต์ธรรมชาติมีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 29.7% และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ 9,097 ppm และหลังจากผ่านการดูดซับด้วยซีโอไลต์ธรรมชาติในช่วงเวลาต่างๆ พบว่าปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีปริมาณลดลงมากกว่า 99% ทุกๆช่วงเวลาที่ตรวจวัด และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ก่อนผ่านกระบวนการดูดซับด้วยซีโอไลต์ธรรมชาติมีความเข้มข้นสูงถึง 9,097 ppm หลังจากผ่านการดูดซับด้วยซีโอไลต์ธรรมชาติปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เครื่องตรวจวัดได้คือ NF ทั้งหมด นั่นคือมีปริมาณที่น้อยกว่าค่าต่ำสุดที่เครื่องสามารถตรวจวัดได้ (linearity range ที่วัด H<sub>2</sub>S คือ 100 ppb) ซึ่งข้อมูลจากการทดลองนี้สอดคล้องกับข้อมูลค่าพลังงานการดูดซับที่ได้จากการคำนวณทางเคมีคอมพิวเตอร์ที่ให้ผลว่าซีโอไลต์สามารถดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ดีกว่า ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซมีเทน ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาการดูดซับก๊าซมีเทน จะเห็นได้ว่าในช่วงแรกก๊าซมีเทนได้เข้าไปครอบคลุมพื้นที่ผิวร่วมกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในรูพรุนของซีโอไลต์ธรรมชาติ ทำให้ก๊าซมีเทนหลังผ่านการดูดซับลดลงจาก 54.6% เหลือเพียง 0.7% แต่เนื่องด้วยค่าพลังงานการดูดซับของมีเทนมีค่าน้อยที่สุด (ค่าพลังงานการดูดซับจากการคำนวณด้วยเคมีคอมพิวเตอร์) ในช่วงหลังเมื่อรูพรุนของซีโอไลต์ถูกครอบคลุมไปด้วยก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ก๊าซมีเทนจึงไม่สามารถเข้าไปครอบคลุมพื้นที่ผิวของซีโอไลต์

ธรรมชาติได้เช่นเดิม ทำให้ก๊าซมีเทนไม่ถูกดูดซับโดยซีโอไลต์ธรรมชาติ และสามารถนำก๊าซชีวภาพไปใช้ในการหุงต้มได้อย่างมีประสิทธิภาพ

#### 4.4 ผลการศึกษามลพิษในอากาศจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงก๊าซชีวภาพ

เพื่อศึกษาผลกระทบด้านมลพิษทางอากาศที่อาจเกิดขึ้นจากการนำก๊าซชีวภาพไปใช้ในการเผาไหม้เพื่อให้พลังงานความร้อน จึงทำการตรวจวัดก๊าซที่เกิดจากการเผาไหม้ของก๊าซชีวภาพก่อนและหลังผ่านการปรับปรุงคุณภาพก๊าซ เพื่อเปรียบเทียบค่ามาตรฐาน และมลพิษทางอากาศที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงอื่นๆ ได้แก่ LPG และถ่านไม้ มลพิษทางอากาศที่เกิดจากการเผาไหม้ที่ทำการตรวจวัด ได้แก่ SO<sub>2</sub> และ NO<sub>2</sub> ผลการศึกษาแสดงดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 ผลการตรวจวัด SO<sub>2</sub> และ NO<sub>2</sub> ที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงก๊าซชีวภาพ ที่ไม่ผ่านการกรอง

ตัวอย่างที่	SO <sub>2</sub> (ppm)	NO <sub>2</sub> (ppm)
1	0.015	0.0009
2	0.013	0.0011
3	0.019	0.0016
4	0.017	0.0009
5	0.020	0.0019
ค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศ	ไม่เกิน 0.3 ppm	ไม่เกิน 0.17 ppm

ตารางที่ 4.12 ผลการตรวจวัด SO<sub>2</sub> และ NO<sub>2</sub> ที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงก๊าซชีวภาพหลังผ่านชุดกรอง

ตัวอย่างที่	SO <sub>2</sub> (ppm)	NO <sub>2</sub> (ppm)
1	0.002	0.0005
2	0.004	0.0004
3	0.003	0.0006
4	0.002	0.0007
5	0.004	0.0005
ค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศ	ไม่เกิน 0.3 ppm	ไม่เกิน 0.17 ppm

ตารางที่ 4.13 ผลการตรวจวัด SO<sub>2</sub> และ NO<sub>2</sub> ที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงก๊าซหุงต้ม (LPG)

ตัวอย่างที่	SO <sub>2</sub> (ppm)	NO <sub>2</sub> (ppm)
1	0.007	0.0007
2	0.008	0.0012
3	0.007	0.0010
4	0.008	0.0007
5	0.010	0.0009
ค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศ	ไม่เกิน 0.3 ppm	ไม่เกิน 0.17 ppm

ตารางที่ 4.14 ผลการตรวจวัด SO<sub>2</sub> และ NO<sub>2</sub> ที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงถ่านไม้

ตัวอย่างที่	SO <sub>2</sub> (ppm)	NO <sub>2</sub> (ppm)
1	0.037	0.002
2	0.025	0.007
3	0.040	0.009
4	0.030	0.005
5	0.035	0.002
ค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศ	ไม่เกิน 0.3 ppm	ไม่เกิน 0.17 ppm

จากตารางที่ 4.11-4.14 จะเห็นได้ว่าก๊าซมลพิษซัลเฟอร์ไดออกไซด์และไนโตรเจนไดออกไซด์ที่เกิดจากการเผาไหม้ก๊าซชีวภาพก่อนผ่านชุดกรอง ก๊าซชีวภาพหลังผ่านชุดกรอง ก๊าซหุงต้ม และถ่านไม้ มีค่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพอากาศ ซึ่งกำหนดให้มีค่าไม่เกิน 0.3 ppm และ 0.17 ppm สำหรับก๊าซมลพิษซัลเฟอร์ไดออกไซด์และไนโตรเจนไดออกไซด์ ตามลำดับ โดยมลพิษจากการเผาไหม้ก๊าซชีวภาพหลังผ่านชุดกรองมีค่าน้อยที่สุด คือ ก่อให้เกิดมลพิษซัลเฟอร์ไดออกไซด์และไนโตรเจนไดออกไซด์ 0.002-0.004 ppm และ 0.0004-0.0007 ppm ตามลำดับ ก๊าซหุงต้ม LPG ก่อให้เกิดมลพิษซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และไนโตรเจนไดออกไซด์ 0.007-0.010 ppm และ 0.0007-0.0012 ppm ตามลำดับ ก๊าซชีวภาพก่อนผ่านชุดกรอง ก่อให้เกิดมลพิษซัลเฟอร์ไดออกไซด์และไนโตรเจนไดออกไซด์ 0.013-0.020 ppm และ 0.0009-0.0019 ppm ตามลำดับ และถ่านไม้ก่อก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศสูงที่สุด คือ ก่อให้เกิดมลพิษซัลเฟอร์ไดออกไซด์และไนโตรเจนไดออกไซด์ 0.025-0.040 ppm และ 0.002-0.009 ppm ตามลำดับ