บทที่ 5
สรุปผลและอภิปรายผล

5.1 การคำนวณทางเคมีคอมพิวเตอร์

การศึกษาครั้งนี้ ได้ทำการศึกษาการดูดซับไฮโดรเจนซัลไฟด์ คาร์บอนไดออกไซด์ และมีเทน ด้วยซีโอไลต์ โดยระเบียบวิธีการคำนวณทางเคมีคอมพิวเตอร์ เพื่อนำมาเป็นข้อมูลเบื้องต้นสำหรับทำการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการ และในการประยุกต์ใช้กับระบบจริง

จากการคำนวณทางเคมีคอมพิวเตอร์เพื่อศึกษา และความเป็นไปได้ ของการใช้ซีโอไลต์ดูดซับไฮโดรเจนซัลไฟด์ ด้วยการศึกษาระเบียบวิธีการคำนวณทางเคมีคอมพิวเตอร์ เพื่อทำนายความเป็นไปได้ของการใช้ซีโอไลต์ดูดซับไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S), คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และมีเทน (CH_4) โดยใช้ระเบียบวิธีในการคำนวณแบบ ONIOM (HF/6-31G (d,p):UFF) และ ONIOM (B3LYP/6-31G (d,p):UFF) ศึกษาอันตรกิริยาระหว่างโมเลกุล H_2S, CO_2 และ CH_4 บนโครงสร้างซีโอไลต์ชนิด H-FER (ขนาดโครงสร้าง 5T, 12T และ 34T) จากผลการคำนวณพบว่าโครงสร้างซีโอไลต์สามารถเกิดอันตรกิริยากับโมเลกุล H_2S, CO_2 และ CH_4 ได้ แต่สามารถเกิดอันตรกิริยากับโมเลกุล H_2S ได้ดีที่สุด นั่นคือมีค่าพลังงานการดูดซับเท่ากับ -10.8 kcal/mol ในขณะที่ค่าพลังงานการดูดซับโมเลกุล CO_2 และ CH_4 มีค่าพลังงานการดูดซับเท่ากับ -9.7 และ -7.8 kcal/mol ตามลำดับ ค่าพลังงานการดูดซับที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับการคำนวณก่อนหน้านี้ ซึ่งเป็นการคำนวณโดยระเบียบวิธีการแบบ B3LYP และใช้แบบจำลองซีโอไลต์ขนาด cluster (หน่วยย่อยที่สุดของซีโอไลต์) ค่าพลังงานการดูดซับโมเลกุล H_2S, CO_2 และ CH_4 มีค่าประมาณ -1.9, -5.0 และ -7.2 kcal/mol ตามลำดับ (Lee and et.al., 2008) โดยที่ค่าพลังงานการดูดซับโมเลกุล H_2S, CO_2 และ CH_4 บนโครงสร้างซีโอไลต์ชนิด H-FER ขนาด 5T มีค่าเท่ากับ 1.1, 5.2 และ 6.1 kcal/mol ตามลำดับ ระบบการดูดซับของโมเลกุล H_2S บนโครงสร้างซีโอไลต์ชนิด H-FER มีอันตรกิริยาระหว่างอะตอมซัลเฟอร์กับอะตอมไฮโดรเจนของซีโอไลต์ ส่วนระบบการดูดซับของโมเลกุล CO_2 มีการเกิดอันตรกิริยาระหว่างอะตอมออกซิเจนกับอะตอมไฮโดรเจนบนโครงสร้างซีโอไลต์ และระบบการดูดซับโมเลกุล CH_4 เกิดอันตรกิริยาระหว่างอะตอมคาร์บอนกับอะตอมไฮโดรเจนของโครงสร้างซีโอไลต์ ซึ่งจะเห็นว่าโมเลกุล H_2S เกิดอันตรกิริยากับโครงสร้างซีโอไลต์ได้ดีที่สุด ถึงแม้ว่า อะตอมซัลเฟอร์จะมีความสามารถในการดึงดูดอิเล็กตรอน (electronegativity) น้อยกว่าอะตอมออกซิเจน แต่เนื่องจากอะตอมไฮโดรเจนของโมเลกุล H_2S สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับอะตอมออกซิเจนของโครงสร้างซีโอไลต์ จึงทำให้ค่าพลังงานการดูดซับโมเลกุล H_2S บนโครงสร้างซีโอไลต์มีค่าดีที่สุด และสามารถดูดซับได้ดีมากขึ้นตามการขยายขนาดโครงสร้าง (extended structure) เนื่องจากการขยายขนาดของโครงสร้างซีโอไลต์ จะทำให้สนามของแรง (force field) เพิ่มขึ้น จึงทำให้บริเวณโดยรอบที่เกิดอันตรกิริยามีความหนาแน่นของอิเล็กตรอนเพิ่มขึ้น จึงทำให้เกิดแรงดึงดูดระหว่างประจุเพิ่มขึ้นทำให้พลังงานการดูดซับดีขึ้นตามไปด้วย จากนั้นได้นำผลที่ได้จากการคำนวณมาเป็นข้อมูลพื้นฐานในการทำการทดลองต่อไป

5.2 การศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จากก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการและการประยุกต์ใช้ในพื้นที่จริง

การศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จากก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียยางแผ่นในระดับห้องปฏิบัติการ ใช้วัสดุดูดซับ 3 ชนิด คือ ซีโอไลต์ธรรมชาติ ฝอยเหล็ก และถ่านประสิทธิภาพสูง โดยขั้นแรกทำการศึกษาปริมาณของซีโอไลต์ธรรมชาติที่เหมาะสมที่สุด วัสดุดูดซับอีก 2 ชนิด ใช้ปริมาณตามปริมาณของซีโอไลต์ธรรมชาติที่เหมาะสมเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการดูดซับ

การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ด้วยซีโอไลต์ธรรมชาติ พบว่า การใช้ซีโอไลต์ธรรมชาติปริมาณ 100, 500 และ 1,000 กรัม สามารถดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้สูงสุด 46.30% 71.05% และ 73.40% ตามลำดับ ที่ปริมาณซีโอไลต์ธรรมชาติ 500 และ 1,000 กรัม มีประสิทธิภาพในการดูดซับใกล้เคียงกัน จึงเลือกใช้ปริมาณซีโอไลต์ 500 กรัม ไปเปรียบเทียบกับวัสดุดูดซับชนิดอื่นในปริมาณที่เท่ากัน (ฝอยเหล็ก และ ถ่านประสิทธิภาพสูง)

การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ด้วยถ่านไม้ประสิทธิภาพสูง พบว่า ถ่านไม้มีประสิทธิภาพการดูดซับสูงสุด 52.94% ซึ่งมีประสิทธิภาพต่ำกว่าซีโอไลต์ธรรมชาติ การนำถ่านไม้ประสิทธิภาพสูงไปใช้ในการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ จึงต้องมีการเพิ่มปริมาณถ่านให้มากขึ้นเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพสูงตามต้องการ

การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ด้วยฝอยเหล็กความจุเท่ากับซีโอไซต์ 500 กรัม พบว่า ฝอยเหล็กมีประสิทธิภาพการดูดซับสูงสุดเพียง 40.63% เนื่องจากการบรรจุฝอยเหล็กลงในคอลัมน์นั้นมีช่องว่างมากทำให้ก๊าซชีวภาพไหลผ่านไปได้ง่าย และการเกิดปฏิกิริยาระหว่างฝอยเหล็กกับไฮโดรเจนซัลไฟด์อาจต้องใช้ระยะเวลาและปริมาณฝอยเหล็กที่มากขึ้น

เนื่องจากซีโอไลต์ธรรมชาติมีประสิทธิภาพในการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์สูงกว่าถ่านไม้และฝอยเหล็ก จึงเลือกใช้ซีโอไลต์ในการประยุกต์ใช้ในพื้นที่จริง เพื่อปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียยางแผ่น โดยทดลองติดตั้งระบบปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพด้วยซีโอไลต์ธรรมชาติ ณ ถังเก็บก๊าซชีวภาพที่ได้จากระบบบำบัดน้ำเสียจากการผลิตยางแผ่น ที่มีการใช้งานจริง ณ บ้านเลขที่ 1 หมู่ 9 ตำบลสระแก้ว อำเภอท่าศาลา จังหวัดนครศรีธรรมราช ซึ่งพบว่า ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ถูกดูดซับด้วยซีโอไลต์ได้สูงมาก ในตอนเริ่มต้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพมีค่าสูงถึง 9,097 ppm เมื่อผ่านระบบปรับปรุงก๊าซชีวภาพ ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ลดลงเหลือน้อยกว่า 100 ppb ซีโอไลต์ธรรมชาติยังสามารถลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในก๊าซชีวภาพจากความเข้มข้น 29.7% ลดลงเหลือเพียง 0.178% เมื่อพิจารณาการดูดซับก๊าซมีเทน จะเห็นได้ว่าในช่วงแรกก๊าซมีเทนได้เข้าไปครอบคลุมพื้นที่ผิวร่วมกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในรูพรุนของซีโอไลต์ธรรมชาติ ทำให้ก๊าซมีเทนหลังผ่านการดูดซับลดลงจาก 54.6% เหลือเพียง 0.7% แต่เนื่องด้วยค่าพลังงานการดูดซับของมีเทนมีค่าน้อยที่สุด (ค่าพลังงานการดูดซับจากการคำนวณด้วยเคมีคอมพิวเตอร์) ในช่วงหลังเมื่อรูพรุนของซีโอไลต์ถูกครอบคลุมไปด้วยก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ก๊าซมีเทนจึงไม่สามารถเข้าไปครอบคลุมพื้นที่ผิวของซีโอไลต์ธรรมชาติได้เช่นเดิม ทำให้

ก๊าซมีเทนไม่ถูกดูดซับโดยซีโอไลต์ธรรมชาติ และสามารถนำก๊าซชีวภาพไปใช้ในการหุงต้มได้อย่างมีประสิทธิภาพ

5.3 การตรวจวัดมลพิษในอากาศจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงก๊าซชีวภาพเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงอื่นๆ

จากการตรวจวัดก๊าซที่เกิดจากการเผาไหม้ของก๊าซชีวภาพก่อนและหลังผ่านการปรับปรุงคุณภาพก๊าซ เพื่อเปรียบเทียบค่ามาตรฐาน และมลพิษทางอากาศที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงอื่นๆ ได้แก่ LPG และถ่านไม้ โดยมลพิษทางอากาศที่เกิดจากเผาไหม้ที่ทำการตรวจวัด ได้แก่ SO_2 และ NO_2 ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า ก๊าซมลพิษซัลเฟอร์ไดออกไซด์และไนโตรเจนไดออกไซด์ที่เกิดจากการเผาไหม้ก๊าซชีวภาพก่อนผ่านชุดปรับปรุงคุณภาพก๊าซ ก๊าซชีวภาพหลังผ่านชุดปรับปรุงคุณภาพก๊าซ 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 ก๊าซชีวภาพก่อนผ่านชุดกรองก่อให้เกิดมลพิษซัลเฟอร์ไดออกไซด์และไนโตรเจนไดออกไซด์ 0.013-0.020 ppm และ 0.0009-0.0019 ppm ตามลำดับ และถ่านไม้ก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศสูงที่สุด คือ ก่อให้เกิดมลพิษซัลเฟอร์ไดออกไซด์และไนโตรเจนไดออกไซด์ 0.025-0.040 ppm และ 0.002-0.009 ppm ตามลำดับ