



## รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ในก๊าซชีวภาพโดยใช้เปลือกมังคุด  
(Elimination of hydrogen sulfide from biogas using mangosteen peels)

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อุษา อันทอง  
อาจารย์ ดร. อาภรณ์ ส่งแสง  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ยะโก๊ะ ชาเริ่มตาเบะ  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์วรรณชัย พรหมเกิด

มหาวิทยาลัยทักษิณ  
มหาวิทยาลัยทักษิณ  
มหาวิทยาลัยอิสลามยะลา  
มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินแผ่นดิน

ประจำปีงบประมาณพ.ศ.2559



## คำรับรองคุณภาพ

รายงานวิจัยเรื่อง การกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ในก๊าซชีวภาพโดยใช้เปลือกมังคุด  
ผู้วิจัย อูษา อันทอง

สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยทักษิณ ขอรับรองว่ารายงานวิจัยฉบับนี้ได้  
ผ่านการประเมินจากผู้ทรงคุณวุฒิแล้ว มีความเห็นว่าผลงานวิจัยฉบับนี้มีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์

- ดีมาก
- ดี
- ปานกลาง
- พอใช้
- ควรปรับปรุง

(อาจารย์ ดร.วันลก ดิษสุวรรณ)  
ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา

17 กันยายน 2561

## บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้ ศึกษาการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพด้วยการใช้วัสดุเศษเหลือทางการเกษตร (เปลือกมังคุด) เป็นตัวดูดซับ มีการแบ่งการดำเนินการทดลองเป็น 3 ขั้นตอน ขั้นตอนแรก คือ การศึกษาอันตรกิริยาขององค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ 4 ชนิด ได้แก่ มีเทน คาร์บอนไดออกไซด์ แอมโมเนีย และไฮโดรเจนซัลไฟด์ บนโครงสร้างของสารแมงโกสติน 3 ชนิดที่แตกต่างกัน ได้แก่ แมงโกสติน ( $\alpha$ -mangostin) เบต้าแมงโกสติน ( $\beta$ -mangostin) และแกมมาแมงโกสติน ( $\gamma$ -mangostin) ด้วยระเบียบวิธี DFT (B3LYP /6-31G (d,p)) เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้สารแมงโกสตินเป็นตัวดูดซับ สารแมงโกสตินทั้ง 3 ชนิด มีค่าพลังงานการดูดซับกับก๊าซแอมโมเนียสูงสุด รองลงมา คือ ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ และมีค่าพลังงานการดูดซับก๊าซมีเทนต่ำที่สุด ซึ่งเป็นลักษณะของตัวดูดซับที่เหมาะสมในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จากก๊าซชีวภาพ ขั้นตอนที่สอง เป็นการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซ  $H_2S$  และ  $CH_4$  ของเปลือกมังคุดในห้องปฏิบัติการ โดยศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของเปลือกมังคุด พบว่าเปลือกมังคุดมีค่าความชื้นน้อย และมีค่าการดูดซับไอโอดีนสูง เหมาะกับการเป็นตัวดูดซับ จากนั้น ทำการออกแบบระบบกรองก๊าซชีวภาพที่เหมาะสม และศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับ โดยการวิเคราะห์ห้องค์ประกอบของ  $H_2S$  และ  $CH_4$  ก่อนและหลังการดูดซับ ทุกๆ 10 นาที เป็นระยะเวลา 90 นาที พบว่าเปลือกมังคุดมีประสิทธิภาพในการดูดซับ  $H_2S$  ได้ค่อนข้างต่ำ ร้อยละ 11.30 เมื่อระยะเวลาผ่านไป 90 นาที จึงได้ทำการพัฒนาศัลยกรรมของเปลือกมังคุด ด้วยกระบวนการไพโรไลซิสเป็นถ่านเปลือกมังคุด เมื่อนำมาศึกษาคุณสมบัติทางเคมี คุณสมบัติทางกายภาพและประสิทธิภาพการดูดซับ  $H_2S$  และ  $CH_4$  พบว่าถ่านเปลือกมังคุดมีคุณสมบัติเหมาะสมแก่การเป็นตัวดูดซับมากกว่าเปลือกมังคุด ถ่านเปลือกมังคุดมีศัลยกรรมในการดูดซับก๊าซมีเทนต่ำ และมีศัลยกรรมในการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์สูงถึง 100% ตลอดระยะเวลา 90 นาที ดังนั้น จึงเลือกใช้ถ่านเปลือกมังคุดเป็นตัวดูดซับในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จกระบบหมักก๊าซชีวภาพ สุดท้าย การถ่ายทอดองค์ความรู้เกี่ยวกับการกรองก๊าซชีวภาพด้วยถ่านเปลือกมังคุดสู่ชุมชนครัวเรือนนำร่องมีความพึงพอใจในระบบกรองก๊าซชีวภาพ เพราะสามารถลดกลิ่นเหม็นที่มาจากก๊าซชีวภาพ ขณะใช้งานก๊าซชีวภาพในการหุงต้มในครัวเรือนลงได้ซึ่งหมายถึงเปลือกมังคุดสามารถดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้

## Abstract

In this study, the removal of hydrogen sulfide from biogas was studied using mangosteen peels as a natural adsorbent. In the first step, interactions of 4 biogas compositions (methane, carbon dioxide, ammonia and hydrogen sulfide) on different mangostin structures ( $\alpha$ -mangostin,  $\beta$ -mangostin,  $\gamma$ -mangostin) were theoretically investigated using B3LYP/6-31G (d,p) model. All mangostin structures show highest adsorption energy with ammonia and then hydrogen sulfide whereas they present lowest adsorption energy with methane. In the second step, the adsorption efficiency of mangosteen peels as an adsorbent was experimentally studied. The physical and chemical properties of mangosteen peels were determined. The moisture content and the iodine number were found to be 1.38 % and 674.60 mg/g, respectively. Then, the composition of biogas was analyzed before and after adsorption process using a gas chromatography. The results show that mangosteen peels has low capacity to adsorb  $H_2S$  from biogas. In order to transfer knowledge to biogas users, the properties of mangosteen peels was developed by pyrolysis process to produce biochar. Mangosteen peels charcoal was more suitable to be an adsorbent compared to mangosteen peels (lower moisture content and higher iodine number). The  $H_2S$  removal efficiency of Mangosteen peels charcoal was obtained at 100% during the entire experiment. Finally, the knowledge on the utilization of mangosteen peels charcoal as adsorbent for removing hydrogen sulfide from biogas was communicated to the Hauw-kou community. Biogas users satisfy since the adsorption system can remove offensive odor from biogas.

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยชิ้นนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณโครงการสนับสนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินแผ่นดิน ประจำปี 2559 ผู้ให้การสนับสนุนทุนวิจัยและให้แนะนำที่ดีเสมอมา

คณะผู้วิจัย ขอขอบพระคุณ คณะผู้บริหาร ท่านอธิการบดี มหาวิทยาลัยทักษิณ รองศาสตราจารย์ ดร. วิชัย ชำนิ และท่านอดีตคณบดีคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ ท่านผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สารภี ไชยรัตน์ และท่านคณบดีคณบดีคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ คนปัจจุบัน อาจารย์ ดร. ธนพันธุ์ ปัทมานนท์ รวมไปถึง ท่านอธิการบดี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราชและท่านอธิการบดีมหาวิทยาลัยฟาตอนี ที่อำนวยความสะดวกแก่การทำงานของคณะผู้วิจัยตลอดมา

คณะผู้วิจัย ขอขอบคุณหน่วยสาธิตและวิจัยก๊าซชีวภาพชุมชน มหาวิทยาลัยทักษิณ และนิสิตอาสาทำชีวภาพ มหาวิทยาลัยทักษิณ ซึ่งช่วยร่วมคิด ร่วมมือ ร่วมแรง ร่วมเวลา ช่วยให้การดำเนินงานในทุกๆ ขั้นตอนในชุมชนเป็นไปอย่างราบรื่นและสัมฤทธิ์ผล

คณะผู้วิจัย

## สารบัญ

บทคัดย่อ.....	2
กิตติกรรมประกาศ.....	4
สารบัญ.....	5
สารบัญรูปภาพ.....	6
สารบัญตาราง.....	7
บทที่ 1 บทนำ.....	8
ที่มาและความสำคัญ.....	8
วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	9
ขอบเขตการศึกษา.....	9
ประโยชน์ที่ได้รับ.....	10
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	11
เคมีคอมพิวเตอร์.....	11
กระบวนการคิดค้น.....	12
มังกุดและองค์ประกอบของเปลือกมังกุด.....	14
องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ.....	16
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	18
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	20
ตอนที่ 1 ระเบียบวิธีการคำนวณทางเคมีคอมพิวเตอร์.....	20
ตอนที่ 2 การทดลองในระดับห้องปฏิบัติการเคมี.....	22
ตอนที่ 3 การถ่ายทอดเทคโนโลยีตัวกรองทำความสะอาดก๊าซชีวภาพสู่ชุมชน.....	25
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	26
ตอนที่ 1 ระเบียบวิธีการคำนวณทางเคมีคอมพิวเตอร์.....	26
ตอนที่ 2 การทดลองในระดับห้องปฏิบัติการเคมี.....	30
ตอนที่ 3 การถ่ายทอดองค์ความรู้สู่ชุมชน.....	35
บทที่ 5 สรุปผลโครงการวิจัย.....	39
เอกสารอ้างอิง.....	41

## สารบัญรูปภาพ

รูป 1 ชนิดโครงสร้างแมงโกสทิน (ซ้าย) $\alpha$ -MANGOSTIN (กลาง) $\beta$ -MANGOSTIN (ขวา) $\gamma$ -MANGOSTIN .....	8
รูป 2 โครงสร้างโมเลกุลของก๊าซมีเทน.....	16
รูป 3 โครงสร้างโมเลกุลของคาร์บอนไดออกไซด์.....	16
รูป 4 โครงสร้างโมเลกุลของแอมโมเนีย.....	17
รูป 5 โครงสร้างโมเลกุลของไฮโดรเจนซัลไฟด์.....	18
รูป 6 เปลือกมังคุดที่ผ่านกระบวนการตากแห้ง .....	22
รูป 7 เปลือกมังคุดที่ผ่านกระบวนการลดขนาด .....	22
รูป 8 คอลัมน์บรรจุเปลือกมังคุดแห้ง เพื่อการทดลองในห้องปฏิบัติการ .....	24
รูป 9 การติดตั้งระบบรอกก๊าซชีวภาพ (คอลัมน์) ด้วยเปลือกมังคุด กับระบบหมักก๊าซชีวภาพ.....	25
รูป 10 ตำแหน่งการเกิดอันตรกิริยาที่เสถียรที่สุดระหว่างองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ (บนซ้าย) มีเทน (บนขวา) คาร์บอนไดออกไซด์ (ล่างซ้าย) แอมโมเนีย และ (ล่างขวา) ไฮโดรเจนซัลไฟด์ บนโครงสร้างแอลฟา-แมงโกสทิน.....	26
รูป 11 ตำแหน่งการเกิดอันตรกิริยาที่เสถียรที่สุดระหว่างองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ (บนซ้าย) มีเทน (บนขวา) คาร์บอนไดออกไซด์ (ล่างซ้าย) แอมโมเนีย และ (ล่างขวา) ไฮโดรเจนซัลไฟด์ บนโครงสร้างเบต้า-แมงโกสทิน .....	27
รูป 12 ตำแหน่งการเกิดอันตรกิริยาที่เสถียรที่สุดระหว่างองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ (บนซ้าย) มีเทน (บนขวา) คาร์บอนไดออกไซด์ (ล่างซ้าย) แอมโมเนีย และ (ล่างขวา) ไฮโดรเจนซัลไฟด์ บนโครงสร้างแกมมา-แมงโกสทิน .....	27
รูป 13 ระบบรอกกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จากระบบผลิตก๊าซชีวภาพ .....	31
รูป 14 การติดตั้งระบบรอกกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ กับระบบผลิตก๊าซชีวภาพ .....	31
รูป 15 กราฟแสดงประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (●) และก๊าซมีเทน (○) ของเปลือกมังคุด.....	33
รูป 16 ค่า pH การละลายของก๊าซชีวภาพในน้ำดีไอก่อนและหลังกระบวนการดูดซับ .....	34
รูป 17 ประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และก๊าซมีเทนของถ่านเปลือกมังคุด.....	36
รูป 18 ค่า pH ของการละลายของก๊าซชีวภาพในน้ำดีไอก่อนและหลังการดูดซับด้วยถ่านเปลือกมังคุด .....	37
รูป 19 การถ่ายทอดองค์ความรู้และฝึกทักษะปฏิบัติการใช้งานระบบรอกกำจัดก๊าซชีวภาพด้วยเปลือกมังคุด .....	38

## สารบัญตาราง

ตาราง 1 อันตรกิริยาระหว่างตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับที่ต้องการศึกษา.....	21
ตาราง 2 ค่าพลังงานการดูดซับของก๊าซองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ ทั้ง 4 องค์ประกอบ บนโครงสร้างแมงโกสติน .....	28
ตาราง 3 ความยาวพันธะและมุมของระบบการเกิดอันตรกิริยาระหว่างโครงสร้าง MANGOSTIN 3 ชนิด และองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพที่ศึกษาทั้ง 4 ชนิด.....	29
ตาราง 4 ปริมาณความชื้นและค่าการดูดซับไอโอดีนของเปลือกกล้วย .....	30
ตาราง 5 ประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และก๊าซมีเทน ของเปลือกมังคุด .....	32
ตาราง 6 ค่า PH ของการละลายน้ำของก๊าซชีวภาพ ก่อนและหลังกระบวนการดูดซับด้วยเปลือกมังคุด .....	34
ตาราง 7 คุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของถ่านเปลือกมังคุด .....	35
ตาราง 8 ประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และก๊าซมีเทนของถ่านเปลือกมังคุด .....	35
ตาราง 9 ค่า PH ของการละลายของก๊าซชีวภาพในน้ำดีไโอก่อนและหลังการดูดซับด้วยถ่านเปลือกมังคุด.....	37





# บทที่ 1 บทนำ

## 1.1. ที่มาและความสำคัญ

ก๊าซชีวภาพ (Biogas) เป็นก๊าซที่เกิดขึ้นจากการหมักแบบไร้อากาศการย่อยสลายของสารอินทรีย์ด้วยวิธีทางชีววิทยา (Biological Treatment) ภายใต้สภาวะไร้อากาศ (Anaerobic Condition) องค์ประกอบหลักของก๊าซชีวภาพโดยทั่วไปจะ ได้แก่ ก๊าซมีเทน ( $\text{CH}_4$ ) ประมาณ 60-70 % ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$ ) ประมาณ 28-38% และก๊าซอื่นๆ ประมาณ 2% เช่น ไฮโดรเจนซัลไฟด์ ( $\text{H}_2\text{S}$ ) แอมโมเนีย ( $\text{NH}_3$ ) และไอน้ำ เป็นต้น เนื่องจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นก๊าซที่คงตัวและไม่ติดไฟ ดังนั้น คุณสมบัติของก๊าซชีวภาพที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงได้จึงขึ้นอยู่กับปริมาณของก๊าซ มีเทน ก๊าซชีวภาพเกิดจากกระบวนการการย่อยสลายของวัสดุอินทรีย์ทั้งจากพืช สัตว์หรือแม้แต่ของเสียจากสัตว์ รวมถึงขยะมูลฝอยที่เป็นขยะอินทรีย์

การทำก๊าซชีวภาพนอกจากก๊าซมีเทน ( $\text{CH}_4$ ) แล้วยังมีก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ( $\text{H}_2\text{S}$ ) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$ ) ก๊าซแอมโมเนีย ( $\text{NH}_3$ ) ซึ่งก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ( $\text{H}_2\text{S}$ ) ที่ปนเปื้อนในก๊าซชีวภาพนั้นมีคุณสมบัติเป็นก๊าซพิษและเมื่อสัมผัสกับน้ำหรือไอน้ำจะเปลี่ยนสภาพเป็นกรดซัลฟูริก ซึ่งเป็นสาเหตุของฝนกรดหรือไอกรดที่สามารถกัดกร่อนโลหะและวัสดุอุปกรณ์ได้ ส่วนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$ ) เป็นก๊าซที่ไม่ติดไฟถ้ามีปริมาณมากหรือในระบบมีปริมาณก๊าซมีเทนต่ำจะทำให้ติดไฟได้ยาก และ ก๊าซแอมโมเนีย ( $\text{NH}_3$ ) เป็นก๊าซที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพมนุษย์ ถ้าได้รับการสูดดมหรือสัมผัส อาจเกิดการระคายเคืองได้

กระบวนการในการบำบัดก๊าซพิษออกจากก๊าซชีวภาพที่ใช้กันทั่วไปนั้นมีหลายวิธี ซึ่งกระบวนการดูดซับก็เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจกันอย่างแพร่หลาย มังคุดเป็นพืชที่มีองค์ประกอบของสารกลุ่มฟลาโวนอยด์และแทนนินเป็นองค์ประกอบหลัก โดยสารสำคัญที่พบมากในส่วนเปลือกผลมังคุด คือ สารแมงโกสติน (Mangostin) ซึ่งเป็นสารประเภทแซนโทน (Xanthone) แมงโกสตินที่พบในเปลือกผลมังคุดมี 3 ชนิด ได้แก่ แอลฟาแมงโกสติน ( $\alpha$ -mangostin) เบต้าแมงโกสติน ( $\beta$ -mangostin) และแกมมาแมงโกสติน ( $\gamma$ -mangostin) โครงสร้างของสารแมงโกสติน ทั้ง 3 ชนิด แสดงดังรูปที่ 1



รูป 1 ชนิดโครงสร้างแมงโกสติน (ซ้าย)  $\alpha$ -mangostin (กลาง)  $\beta$ -mangostin (ขวา)  $\gamma$ -mangostin

ดังนั้น จึงมีความจำเป็นอย่างมากในการนำศาสตร์ทางด้านเคมีคอมพิวเตอร์มาใช้ศึกษา เพื่อเป็นการทำนายหาความน่าจะเป็นของความสามารถในการใช้สารแมงโกสตินจากเปลือกมังคุดมาเป็นตัวทดสอบการเกิดอันตรกิริยาเพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพ และความเป็นไปได้ในการกำจัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ ( $\text{H}_2\text{S}$ ) ก๊าซ

คาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) ก๊าซแอมโมเนีย (NH<sub>3</sub>) ด้วยเปลือกมังคุด เพื่อนำไปใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบการทดลองในห้องปฏิบัติการเคมี ซึ่งเคมีคอมพิวเตอร์เป็นสาขาหนึ่งที่น่าเอาความรู้ทางคณิตศาสตร์บริสุทธิ์ ฟิสิกส์ พื้นฐาน และสถิติมาใช้อธิบายสิ่งที่เกิดขึ้นในระบบโมเลกุลทางเคมีโดยใช้คอมพิวเตอร์เป็นเครื่องมือในการคำนวณ อีกทั้งปัจจุบันคอมพิวเตอร์มีความสามารถในการประมวลผลได้ดีมากขึ้น เนื่องจากเทคโนโลยีมัลติคอร์ (Multi-core) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่มีหน่วยประมวลผลย่อย (core) เป็นจำนวนมาก ซึ่งแต่ละหน่วยประมวลผลย่อยจะมีหน่วยความจำหลักเป็นของตัวเอง รวมทั้งมีระบบซอฟต์แวร์ที่ทำให้เครื่องเหล่านี้ทำงานร่วมกันอย่างเป็นเอกภาพ โดยมีจุดประสงค์เพื่อรองรับปัญหาของระบบ ทางการค้าขนาดใหญ่ เป็นเทคโนโลยีที่ใช้ต้นทุนไม่สูง แต่สามารถให้ทรัพยากรทางการคำนวณที่มีประสิทธิภาพสูง

## 1.2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1.2.1. เพื่อศึกษาเกิดอันตรกิริยาระหว่างก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H<sub>2</sub>S) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) ก๊าซมีเทน (CH<sub>4</sub>) และก๊าซแอมโมเนีย (NH<sub>3</sub>) บนโครงสร้างสารแมงโกสติน ( $\alpha$ -mangostin,  $\beta$ -mangostin,  $\gamma$ -mangostin) ด้วยระเบียบวิธีการคำนวณทางเคมีคอมพิวเตอร์ เพื่อทราบแนวโน้มความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้สารแมงโกสตินเป็นตัวดูดซับธรรมชาติ ในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์
- 1.2.2. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของเปลือกมังคุด (วัสดุธรรมชาติที่มีองค์ประกอบของแมงโกสติน) ในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพ เพื่อเป็นแนวทางในการลดปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพ
- 1.2.3. ออกแบบระบบกรองสำหรับการประยุกต์ใช้เปลือกมังคุดแห้งเป็นตัวดูดซับในกากำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในระบบก๊าซชีวภาพในพื้นที่ชุมชนบ้านหัวคู ตำบลสระแก้ว อำเภอท่าศาลา จังหวัดนครศรีธรรมราช ซึ่งเป็นชุมชนที่ได้มีการจัดทำระบบก๊าซชีวภาพแบบถังพลาสติกใช้ในครัวเรือน

## 1.3. ขอบเขตการศึกษา

- 1.3.1. ศึกษาการเกิดอันตรกิริยาระหว่าง H<sub>2</sub>S, CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub> และ CH<sub>4</sub> บนโครงสร้างสารแมงโกสตินชนิด  $\alpha$ -mangostin,  $\beta$ -mangostin,  $\gamma$ -mangostin ด้วยระเบียบวิธีการคำนวณทางเคมีคอมพิวเตอร์ ที่ระดับ B3LYP/6-31G(d,p) วิเคราะห์เปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับก๊าซต่างๆ ที่เป็นส่วนประกอบของก๊าซชีวภาพจากค่าพลังงานของระบบการเกิดอันตรกิริยา เพื่อวางแผนการศึกษาในระดับห้องปฏิบัติการ หากค่าพลังงานการดูดซับสูง แสดงว่าสามารถเกิดการดูดซับระหว่างตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับได้ดี
- 1.3.2. ศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับ H<sub>2</sub>S, และ CH<sub>4</sub> ในก๊าซชีวภาพของเปลือกมังคุด ภายใต้ปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับ

- 1.3.3. ในก๊าซชีวภาพจากระบบหมักแบบไร้อากาศด้วยรูปแบบและวิธีการต่างๆ เช่น แบบคอลัมน์ เป็นต้น ทำการวิเคราะห์ปริมาณก๊าซมีเทน คาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจนซัลไฟด์ ในก๊าซชีวภาพก่อนและหลังผ่านชุดปรับปรุงคุณภาพ เปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของชุดดักจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจนซัลไฟด์ ในรูปแบบต่างๆ เพื่อออกแบบชุดดักจับก๊าซให้มีประสิทธิภาพสูงสุด
- 1.3.4. รวบรวมข้อมูลปัญหาการใช้ก๊าซชีวภาพ จากพื้นที่ชุมชนที่มีการจัดทำระบบหมักก๊าซชีวภาพ และประยุกต์ใช้เปลือกมังคุดในการทำความสะอาดก๊าซชีวภาพ ก่อนนำไปใช้เป็นพลังงานหุงต้มในครัวเรือน

#### 1.4. ประโยชน์ที่ได้รับ

- 1.4.1. ทราบความเป็นไปได้ของความสามารถในการเกิดอันตรกิริยาระหว่าง  $H_2S$ ,  $CO_2$ ,  $NH_4$  และ  $CH_4$  บนแบบจำลองของโครงสร้างแมงโกสตินชนิด  $\alpha$ -mangostin,  $\beta$ -mangostin,  $\gamma$ -mangostin เพื่อเป็นแนวทางในการลดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ก๊าซแอมโมเนียและคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปนเปื้อนในก๊าซชีวภาพ
- 1.4.2. ทราบวิธีการหรือแนวทางในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปนเปื้อนในก๊าซชีวภาพจากระบบก๊าซชีวภาพในชุมชน
- 1.4.3. สามารถนำก๊าซชีวภาพจากของเสียอินทรีย์ไปใช้ประโยชน์ในการหุงต้มในครัวเรือนได้อย่างเต็มประสิทธิภาพโดยไม่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อมของคนในชุมชน
- 1.4.4. สามารถสร้างชุมชนต้นแบบของการใช้ก๊าซชีวภาพที่มีคุณภาพ และสร้างความเชื่อมั่นของการจัดทำระบบก๊าซชีวภาพ จากของเสียอินทรีย์ให้กับชุมชนต่างๆ

## บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1. เคมีคอมพิวเตอร์

คอมพิวเตอร์เป็นศาสตร์ใหม่ที่ถูกนำมาใช้ในงานวิจัยซึ่งเป็นศาสตร์ที่มีพื้นฐานจากทฤษฎีกลศาสตร์ควอนตัม และกลศาสตร์เชิงสถิติ ผลที่ได้จากการคำนวณทางเคมีคอมพิวเตอร์จะถูกนำมาประมวลผล และวิเคราะห์ผลเพื่อให้ได้มาซึ่งคุณสมบัติทางเคมี ในการคำนวณสามารถคำนวณได้ตั้งแต่ระบบที่มีขนาดเล็ก ระดับอิเล็กทรอนิกส์ อะตอม ไปจนถึงระดับโมเลกุลที่ใหญ่ขึ้นและในสถานะที่ไม่สามารถทำได้ในห้องปฏิบัติการจริง ด้วยเหตุนี้เคมีคอมพิวเตอร์จึงเข้ามามีบทบาทกับงานวิจัยในยุคปัจจุบัน

ระเบียบวิธีที่ใช้ในงานด้านเคมีคอมพิวเตอร์แบ่งได้เป็น 3 กลุ่ม คือ

- วิธีการคำนวณทางเคมีควอนตัม
- วิธีการคำนวณทางกลศาสตร์โมเลกุล
- วิธีคำนวณทางคอมพิวเตอร์ซิมูเลชัน

ซึ่งวิธีการทางเคมีควอนตัม จะให้ผลการคำนวณที่มีความแม่นยำสูงแต่มีความซับซ้อนมากสามารถปฏิบัติได้จริงกับเฉพาะระบบที่ประกอบด้วยโมเลกุลขนาดเล็กจำนวนประมาณไม่กี่สิบบโมเลกุลเท่านั้น สำหรับวิธีคอมพิวเตอร์ซิมูเลชันที่รู้จักกันทั่วไป ตัวอย่างเช่น วิธีโมเลกูลาร์ไดนามิกส์สามารถศึกษาระบบที่มีขนาดใหญ่ได้ สามารถปรับความเข้มข้น ความดัน อุณหภูมิ หรือสมบัติใด ๆ ให้สอดคล้องกับผลการทดลองได้ แต่ข้อจำกัด คือ การคำนวณแรงกระทำระหว่างโมเลกุล ซึ่งงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับโมเลกุลขนาดใหญ่เกือบทั้งหมด ในปัจจุบันต้องพัฒนาฟังก์ชันศักย์ขึ้นโดยใช้ระเบียบวิธีทางกลศาสตร์โมเลกุลแทบทั้งสิ้นซึ่งเป็นที่ทราบทั่วไปว่าเป็นวิธีที่มีความคลาดเคลื่อนสูงมาก คอมพิวเตอร์วัต (คำนวณ) สมบัติของสารสำหรับแต่ละอะตอม แต่ละโมเลกุลจากนั้นนำมาหาค่าเฉลี่ย ซึ่งตรงกันข้ามกับการทดลองในห้องปฏิบัติการซึ่งวัดค่าเฉลี่ย แล้วนำไปแปลงผลให้เป็นสมบัติของแต่ละอะตอมหรือแต่ละโมเลกุล ซึ่งแนวโน้มของงานวิจัยในห้องปฏิบัติการ สามารถลดขนาดไปจัดการกับอะตอมหรือโมเลกุลโดยนำมาประกอบหรือวางตำแหน่งที่ต้องการเพื่อให้ได้เครื่องมือระดับโมเลกุลที่มีรูปร่าง และโครงสร้างตามความต้องการที่จะนำไปใช้งานได้ ซึ่งเป็นนิยามของนาโนเทคโนโลยีแต่งงานวิจัยทางห้องปฏิบัติการยังคงใช้เครื่องมือที่มีความซับซ้อนยุ่งยากและมีราคาสูงมาก ดังนั้นงานวิจัยทางเคมีคอมพิวเตอร์ซึ่งสามารถให้ข้อมูลระดับอะตอมหรือระดับโมเลกุลได้โดยตรง จึงน่าจะเป็นศาสตร์หรือเครื่องมือวิจัยหลักในยุคของนาโนเทคโนโลยี ซึ่งการศึกษาทางด้านเคมีคอมพิวเตอร์สามารถทำได้โดยอาศัยเครื่องคอมพิวเตอร์ และโปรแกรมคอมพิวเตอร์เท่านั้น เมื่อเปรียบเทียบกับ การทดลองในห้องปฏิบัติการจริงที่ต้องใช้งบประมาณในการซื้อสารเคมี และเครื่องมือเป็นจำนวนมาก นอกจากนี้การวิจัยทางเคมีคอมพิวเตอร์ยังช่วยในการประหยัดเวลา และมีความปลอดภัยต่อผู้ทำการทดลองและสิ่งแวดล้อมเช่นในการวิจัยทางด้านการออกแบบ และค้นหาตัวยาที่ใช้ในการรักษาโรคร้ายบางชนิด ที่ต้องเริ่มต้นจากการทดสอบสารที่คาดว่าจะมีฤทธิ์ทางยาซึ่งมีจำนวนมหาศาล ในการนี้ต้องสัมผัสกับสารที่เป็นอันตรายสูงหรือเชื้อโรคร้ายแรงบางชนิด ซึ่งเคมีคอมพิวเตอร์สามารถช่วยลดความเสี่ยงได้

## 2.2. กระบวนการดูดซับ

การดูดซับ (Adsorption) เป็นความสามารถของสารบางชนิดในการดึงโมเลกุลอื่น ซึ่งอยู่ในของเหลวหรือก๊าซให้มาเกาะจับบนผิวของสารนั้น ปรากฏการณ์เช่นนี้ จัดเป็นการเคลื่อนย้ายสาร (Mass transfer) จากของเหลวหรือก๊าซมายังผิวของของแข็ง โมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับ เรียกว่า ตัวถูกดูดซับ (Adsorbate) ส่วนพื้นผิวที่เป็นที่เกาะจับ เรียกว่า ตัวดูดซับ (Adsorbent) กลไกของการดูดซับสามารถแบ่งเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การแพร่ภายนอก

ขั้นตอนที่ 2 การแพร่ภายใน

ขั้นตอนที่ 3 ปฏิกริยาพื้นผิว

การดูดซับสามารถแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ การดูดซับทางกายภาพและการดูดซับทางเคมี

### ■ การดูดซับทางกายภาพ

หมายถึง การดูดซับที่เกี่ยวข้องกับแรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der Waals) ซึ่งเป็นแรงแบบอ่อนๆ จะไม่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของอิเล็กตรอนทั้งในโมเลกุลของตัวถูกดูดซับหรือที่พื้นผิวของตัวดูดซับ เกิดจากผลต่างของพลังงานและแรงดึงดูดทางไฟฟ้าระหว่างโมเลกุลของตัวดูดซับและโมเลกุลตัวถูกดูดซับ ซึ่งการดูดซับชนิดนี้ ตัวถูกดูดซับสามารถเกาะบนพื้นผิวของตัวดูดซับได้หลายชั้น (polylayer) โดยที่จำนวนชั้นจะเป็นสัดส่วนกับความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับ และสามารถเกิดการผันกลับได้ นั่นหมายถึง โมเลกุลของตัวถูกดูดซับสามารถหลุดออกจากพื้นผิวของตัวดูดซับได้เองโดยธรรมชาติ การผันกลับขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของแรงดึงดูดระหว่างตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับ

### ■ การดูดซับทางเคมี

หมายถึง การดูดซับที่เกี่ยวข้องกับพันธะทางเคมี มีการจัดตัวใหม่ของความหนาแน่นของอิเล็กตรอนที่เกิดจากการสร้างพันธะระหว่างโมเลกุลตัวถูกดูดซับและพื้นผิวของตัวดูดซับ โดยธรรมชาติของพันธะทางเคมีนี้จะเกี่ยวข้องกับลักษณะความเป็นไอออนิก (Ionic character) หรือลักษณะความเป็นโควาเลนต์ (Covalent character) การดูดซับประเภทนี้เกิดขึ้นเมื่อตัวถูกดูดซับกับตัวดูดซับทำปฏิกิริยาเคมีกัน ซึ่งส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของตัวถูกดูดซับเดิม คือมีการทำลายแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอมหรือกลุ่มอะตอมเดิมแล้วมีการจัดเรียงอะตอมไปเป็นสารประกอบใหม่ขึ้น โดยมีพันธะเคมีซึ่งเป็นพันธะที่แข็งแรง มีพลังงานกระตุ้นเข้ามาเกี่ยวข้องทำให้ความร้อนของการดูดซับมีค่าสูงประมาณ 40 – 500 กิโลจูลต่อโมล หมายความว่า การกำจัดตัวถูกดูดซับออกจากผิวตัวดูดซับจะทำได้ยาก คือไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาผันกลับได้ (irreversible) ได้เองตามธรรมชาติ และการดูดซับประเภทนี้จะเป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว (monolayer) เท่านั้น

## ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดูดซับ

ประสิทธิภาพของการดูดซับขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายชนิด ดังต่อไปนี้

### ■ ธรรมชาติของตัวดูดซับ

พื้นที่ผิวเป็นสมบัติอย่างหนึ่งที่มีผลต่อความสามารถของการดูดซับ เมื่อพื้นที่ผิวของตัวดูดซับเพิ่มขึ้น ความสามารถในการดูดซับจะเพิ่มขึ้นเช่นกัน อย่างไรก็ตาม พื้นที่ผิวของตัวดูดซับเพียงอย่างเดียวไม่เพียงพอที่จะบ่งบอกถึงความสามารถในการดูดซับได้ทั้งหมด โครงสร้างของรูพรุนก็มีส่วนช่วยให้พื้นที่ผิวมีความสามารถในการดูดซับเพื่อขึ้น ถ้าตัวดูดซับไม่มีรูพรุน พื้นที่ผิวจะเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดของตัวดูดซับลดลง ซึ่งทำให้ความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้น แต่ถ้าตัวดูดซับมีรูพรุนมาก พื้นที่ผิวในการดูดซับอยู่ในรูพรุน ขนาดของตัวดูดซับจะไม่มีผลต่อความสามารถในการดูดซับ

### ■ ธรรมชาติของตัวถูกดูดซับ

ความสามารถในการละลายน้ำของโมเลกุลตัวถูกดูดซับมีผลต่อการดูดซับ ซึ่งแนวโน้มของการดูดซับบนพื้นผิวตัวดูดซับจะลดลง เมื่อตัวถูกดูดซับละลายน้ำได้ดี เพราะก่อนการเกิดกระบวนการดูดซับ ต้องมีการทำลายแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลระหว่างตัวถูกดูดซับและน้ำ เพื่อให้ตัวดูดซับหลุดออกมาจากน้ำ แล้วไปเกาะบนพื้นผิวตัวดูดซับ ตัวดูดซับขนาดใหญ่ มีความสามารถในการละลายน้ำลดลง จึงมีแนวโน้มที่จะถูกดูดซับได้ดีมากขึ้น

### ■ อัตราเร่งการปั่นกววน

อัตราเร็วในการดูดซับ ขึ้นอยู่กับการขนส่งโมเลกุลของระบบ ขั้นตอนนี้ประกอบด้วย การแพร่ผ่านฟิล์ม การแพร่เข้าสู่รูพรุน ซึ่งแล้วแต่การปั่นกววนของระบบ ถ้าการปั่นกววนต่ำ ฟิล์มน้ำที่ล้อมรอบตัวดูดซับจะมีความหนามาก และเป็นอุปสรรคต่อการเคลื่อนที่ของตัวถูกดูดซับเข้าไปยังตัวดูดซับ ในทางกลับกัน ถ้าอัตราการเร่งการปั่นกววนสูง จะทำให้ความหนาของชั้นฟิล์มลดลง ทำให้โมเลกุลเคลื่อนที่เข้าหาสารดูดซับได้เร็ว ดังนั้น การแพร่เข้าสู่รูพรุนจะเป็นขั้นตอนที่กำหนดอัตราเร็วของการดูดซับ

### ■ อุณหภูมิ

การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิทำให้การแพร่ผ่านของตัวดูดซับลงไปยังรูพรุนของตัวดูดซับเร็วขึ้น แต่จะส่งผลให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของตัวดูดซับกับพื้นที่ผิวของตัวดูดซับลดลง

### ■ ความเป็นกรดต่าง

ประสิทธิภาพของการดูดซับขึ้นอยู่กับความเป็นขั้วของพื้นที่ผิวตัวดูดซับ เมื่อสารละลายมีความเป็นกรดต่ำ ส่งผลให้เกิดไฮโดรเนียมไอออนบนพื้นผิวตัวดูดซับเพิ่มขึ้น ทำให้กระบวนการดูดซับไอออนลบเพิ่มขึ้น และเมื่อ

สารละลายมีความเป็นเบสเพิ่มขึ้น ทำให้มีกลุ่มไฮดรอกซิลบนพื้นผิวของตัวดูดซับเพิ่มขึ้น จึงสามารถดูดซับไอออนบวกได้เพิ่มขึ้น แต่ถ้าสารละลายมีค่า pH มากกว่า 9 จะทำให้โลหะไอออนตกตะกอนในรูปไฮดรอกไซด์ และโลหะไอออนจะถูกดูดซับได้น้อยลง การดูดซับจะเกิดขึ้นได้ดีเมื่อตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับมีคุณสมบัติทั้งทางกายภาพและทางเคมีที่สามารถเกิดแรงดูดระหว่างโมเลกุลซึ่งกันและกันได้

#### ■ พื้นที่ผิว

อัตราเร็วในการดูดซับเป็นสัดส่วนโดยตรงกับขนาดของสารดูดซับ ดังนั้น ตัวดูดซับชนิดผงจึงมีอัตราเร็วในการดูดซับสูงกว่าชนิดเกล็ด ส่วนพื้นที่ผิวของตัวดูดซับจะมีผลโดยตรงต่อความสามารถในการดูดซับ โดยพื้นที่ผิวมากย่อมดูดซับโมเลกุลได้มากกว่าชนิดที่มีพื้นที่ผิวน้อย ในขณะที่ขนาดของตัวดูดซับจะมีผลต่อพื้นที่ผิวเพียงเล็กน้อย เนื่องจากพื้นที่ผิวส่วนใหญ่ได้มาจากโพรงหรือรูพรุนของตัวดูดซับภายในมากกว่าพื้นที่ภายนอกของตัวดูดซับ นอกจากนี้ ขนาดของตัวถูกดูดซับมีความสำคัญต่อกระบวนการดูดซับเป็นอย่างมาก เนื่องจากส่วนใหญ่กระบวนการดูดซับจะเกิดขึ้นภายในโพรงรูพรุนของตัวดูดซับ ดังนั้นจะเกิดขึ้นได้เมื่อตัวถูกดูดซับมีขนาดเล็กกว่าขนาดโพรงรูพรุนของตัวดูดซับ

#### ประเภทของตัวดูดซับ

#### ■ สารอินทรีย์

ตัวดูดซับสารอินทรีย์จะมีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 50 - 200 ตารางเมตรต่อกรัม และดูดซับโมเลกุลสารเพียงไม่กี่ชนิด ทำให้การใช้ประโยชน์จากตัวดูดซับอินทรีย์มีข้อจำกัด เช่น ดินเหนียวชนิดต่างๆ แมกนีเซียมออกไซด์ ซิลิกาแกมมันต์ อะลูมิเนียมแกมมันต์ ถ่านกระดูก สินแร่จำพวกอะลูมิเนียมซิลิเกต

#### ■ ถ่านกัมมันต์

มีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 500 - 1400 ตารางเมตรต่อกรัม เป็นตัวดูดซับที่มีประสิทธิภาพ และมีการนำไปใช้งานอย่างกว้างขวางในด้านต่างๆ เช่น ฟอกสี ใช้ในการกำจัดกลิ่นและรส ใช้ในการกำจัดตะกอนโรงงานเบียร์ เป็นต้น

#### ■ วัสดุชีวภาพ

ส่วนใหญ่เป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เช่น ชี้อเลื้อย ไคโตซาน กากกาแฟ กากชา กากถั่วเหลือง ฟางข้าว เปลือกไม้ ถ้ำกลบดำ เป็นต้น

### 2.3. มังคุดและองค์ประกอบของเปลือกมังคุด

มังคุด มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Garcinia mangostana* L. (Chaiyasut and Pimainog, 2001) เป็นผลไม้เมืองร้อน มีถิ่นกำเนิดดั้งเดิมอยู่ในแถบคาบสมุทรมลายู ต่อมาได้กระจายออกไปยังส่วนต่าง ๆ ของโลกทั้ง

ในทวีปเอเชีย และอเมริกาใต้ที่มีอากาศร้อนชื้น (วิจิตต์, 2527) แหล่งปลูกในปัจจุบันพบว่ามีในประเทศอินเดีย พม่า มาเลเซีย อินโดนีเซีย ศรีลังกา ทางตอนใต้ของฟิลิปปินส์ตอนใต้ของรัฐฟลอริดา ในสหรัฐอเมริกาทาง เกาะ ตรินิแดด เปอร์โตริโก และฮาวาย ซึ่งมังคุดเป็นพืชในวงศ์ *Guttiferanceae* อันดับ *Guttiferales* สกุล *garcinia* ชนิด *mangostana* ชื่อสามัญ Mangosteen พืชในสกุลนี้มีอยู่ประมาณ 200 ชนิด ที่รู้จักกัน ได้แก่ มะพูด (*Garcinia dulcis*), มะดัน (*G. schombengkiana*), ส้มแขกหรือส้มมะวน (*G. atroviridis*), ชะมวง (*G. cowa*), มะวา หรือ พะวา (*G. comea*) และมังคุด (*G. mangostana* Linn.) (ปราโมช, 2532) ลักษณะของ มังคุด คือ เป็นไม้ผลขนาดกลาง ต้นโตเต็มที่สูง 10-25 เมตร ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของลำต้นประมาณ 25-35 เซนติเมตร เปลือกของลำต้นมีสีน้ำตาลเข้ม ผลมังคุดมี เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 3.5-7.0 เซนติเมตร ผลสุกมีสี น้ำตาลเข้มอมม่วงถึงสีม่วงเข้ม ภายในเปลือกมียางน้อยถึงไม่มีเลย เปลือกหนาประมาณ 0.8-1 เซนติเมตร มังคุด แกมมีสีเขียวตองอ่อนทั้งผล มียางสีเหลืองภายในเปลือกกระดกแรงมาก นอกจากนี้มังคุดเป็นผลไม้เมืองร้อนชนิด หนึ่งที่มีรูปทรง และสีผลสวยงาม มีรสชาติอร่อยชวนรับประทาน จนได้รับการยกย่องว่าเป็นราชินีแห่ง ผลไม้ (นิวัฒน์, 2533)

การปลูกมังคุดของประเทศไทยมีพื้นที่เพิ่มขึ้นจาก 150,788 ไร่ ในปี 2534 เป็น 366,367 ไร่ในปี 2544 หรือมากกว่าเท่าตัวในช่วงเวลา 10 ปี ผลผลิตรวมเพิ่มขึ้นจาก 90,263 ตัน ในปี 2534 เป็น 223,035 ตัน ในปี 2544 และมีแนวโน้มว่าจะมีการขยายพื้นที่การปลูกเพิ่มขึ้นอีก ซึ่งพื้นที่ปลูกมังคุดส่วนใหญ่ของประเทศไทยส่วนใหญ่อยู่ทางภาคใต้ และภาคตะวันออก ประมาณร้อยละ 68 และ 30 ของพื้นที่ปลูกทั้งประเทศตามลำดับ โดยที่ ผลผลิตประมาณร้อยละ 31 ของผลผลิตรวมทั้งประเทศเป็นผลผลิตจากจังหวัดจันทบุรีจังหวัดเดียว และประมาณ ร้อยละ 51 เป็นผลผลิตจากภาคใต้ ผลผลิตมังคุดในภาคตะวันออกจะออกสู่ท้องตลาดตั้งแต่เดือนเมษายน- มิถุนายน สำหรับในภาคใต้จะออก ในช่วงเดือนมิถุนายน- สิงหาคม ทำให้ประเทศไทยมีผลผลิตมังคุดออกสู่ตลาด เป็นระยะเวลายาว 5 ต่อเนื่องอย่างน้อย 5 เดือน ผู้บริโภคทั้งภายในและต่างประเทศนิยมบริโภคมังคุดสด นอกจากนี้ชาวสวนในภาคใต้ยังนิยมนำเนื้อมังคุดไปแปรรูปเป็นมังคุดกวน และยังมีการนำน้ำจากเนื้อมังคุดมา หมัก แปรร่งรสชาติและสีจากเปลือกมังคุด เป็นน้ำมังคุดหมัก หรือที่เรียกกันทั่วไปว่า ไวน์มังคุดรวมทั้งมีการนำ ส่วนต่างๆ ของมังคุดมาสกัดและใช้ประโยชน์ในทางเภสัชวิทยา และเครื่องสำอางเป็นต้น (กรมวิชาการเกษตร, 2547)

สารเคมีที่อยู่ในเปลือกมังคุด ได้แก่ Chrysanthemine, Xanthone, Garcinone A, Garcinone B, Gartinin, Mangostin, Kolanone ซึ่งมังคุดเป็นพืชที่มีสารกลุ่มฟลาโวนอยด์ และแทนนินเป็นองค์ประกอบหลัก โดยสารสำคัญที่พบมากในส่วนเปลือกผลมังคุด คือ สารแมงโกสติน (Mangostin) ซึ่งเป็นสารประเภทแซนโทน (Xanthone) แมงโกสตินที่พบในเปลือกผลมังคุดมี 3 ชนิดคือ แอลฟา-แมงโกสติน ( $\alpha$ -mangostin) เบต้า-แมงโก สติน ( $\beta$ -mangostin) และแกมมา-แมงโกสติน ( $\gamma$ -mangostin) จากโครงสร้างของสารทั้ง 3 ชนิด พบว่ามีหมู่ คาร์บอนิล (carbonyl) หมู่ฟีนอลิก (phenolic) และพันธะคู่ของแอลคีนซึ่งล้วนแต่เป็นบริเวณที่มีอิเล็กตรอน หนาแน่น อะตอมออกซิเจนเหล่านั้นสามารถเกิดคีเลต (chelated) หรือจับกับโลหะชนิด bivalent ได้ โดยเฉพาะการมีหมู่คาร์บอนิลที่ตำแหน่ง C9 และหมู่ไฮดรอกซิลที่ตำแหน่ง C1 จะเกิดการคีเลตกับโลหะไอออน ได้ดีโดยจะเกิดผ่านวงแหวน 6 เหลี่ยม นอกจากนี้ตำแหน่งของหมู่ไฮดรอกซิล (C6) ที่อยู่ ortho- กับหมู่



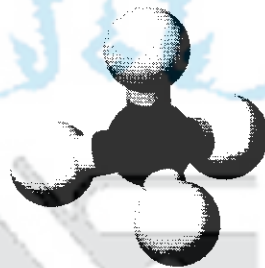
เมทอกซี (methoxy) และไฮดรอกซิลในแอลฟาแมงโกสติน เบต้าแมงโกสติน และแกรมมาแมงโกสติน ตามลำดับ เป็นอีกตำแหน่งหนึ่งที่สามารถเกิดคีเลตกับโลหะไอออนได้ ทำให้สารแมงโกสตินจากเปลือกผลมังคุดมีความสามารถในการดูดซับ

## 2.4. องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ

ก๊าซชีวภาพที่ได้จากการหมักของเสียอินทรีย์มีองค์ประกอบ คือ ก๊าซมีเทน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซแอมโมเนีย ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ และอื่นๆ

### ▪ มีเทน

เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนพวกแอลเคน สูตรเคมี คือ  $\text{CH}_4$  เป็นก๊าซไม่มีสี ติดไฟได้ เป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ของก๊าซธรรมชาติ ก๊าซมีเทนอาจได้มาจากการหมักมูลสัตว์และนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงราคาถูก ก๊าซมีเทนอาจพบได้ในชั้นถ่านหิน (Coal Bed Methane) โดยจากกระบวนการเกิดถ่านหินทำให้ก๊าซสะสมตัวและกักเก็บอยู่ในช่องว่างในเนื้อถ่านหิน



รูป 2 โครงสร้างโมเลกุลของก๊าซมีเทน

### ▪ คาร์บอนไดออกไซด์

เป็นก๊าซไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่ติดไฟ น้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 44.01 มีจุดเดือดที่  $-78.5$  องศาเซลเซียส ความหนาแน่นที่  $0$  องศาเซลเซียสเท่ากับ 1.997 ละลายได้ในน้ำ ปกติเป็นก๊าซที่ไม่ไวต่อปฏิกิริยาเคมี ไม่กัดกร่อน แต่สามารถทำปฏิกิริยากับออกไซด์โลหะและไฮดรอกไซด์ ได้ผลผลิตเป็นคาร์บอเนต และไบคาร์บอเนต ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นก๊าซที่มีอยู่ในธรรมชาติประมาณร้อยละ 0.03 โดยปริมาตร บริเวณเหนือมหาสมุทรในเขตเมืองมีปริมาณเพิ่มเป็นประมาณร้อยละ 0.06 และลมหายใจออกของมนุษย์มีก๊าซประมาณร้อยละ 5.6

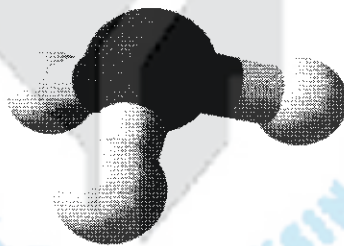


รูป 3 โครงสร้างโมเลกุลของคาร์บอนไดออกไซด์

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) สามารถเข้าสู่ร่างกายทางลมหายใจ จะเกิดอาการพิษเฉียบพลันได้ ในกรณีที่ก๊าซแทนที่ออกซิเจนในบริเวณที่จำกัด ทำให้ปริมาณออกซิเจนไม่เพียงพอต่อการหายใจ ถ้าสูดดมเข้าสู่ร่างกายในปริมาณสูงมาก ร่างกายจะสนองโดยเริ่มจากการหายใจลึกมากกว่าเดิม หายใจติดขัด หายใจลำบาก จนถึงอาการขาดออกซิเจน คือปวดศีรษะ วิงเวียน ความดันสูง อัตราการเต้นของหัวใจสูงขึ้น ถ้าความเข้มข้นสูงถึงร้อยละ 12 หรือมากกว่าจะหมดสติภายใน 1-2 นาที ซึ่งมักพบกรณีทำงานในที่อับอากาศ เช่น ไซโล ถังหมัก บ่อลึก เป็นต้น

#### ■ แอมโมเนีย

แอมโมเนียจัดเป็นก๊าซพิษชนิดหนึ่ง ไม่มีสีแต่มีกลิ่นฉุนรุนแรง สูตรทางเคมีคือ NH<sub>3</sub> จุดเดือด -33.35°C จุดหลอมเหลว -77.7 °C น้ำหนักโมเลกุล 17.03 เป็นก๊าซที่เบากว่าอากาศเนื่องจากความหนาแน่นไอเท่ากับ 0.58 เมื่อเทียบกับความหนาแน่นไอของอากาศเท่ากับ 1 เนื่องจากก๊าซชนิดนี้มีจุดเดือดที่ต่ำกว่ากระบวนการทางอุตสาหกรรมจึงนิยมนำก๊าซชนิดนี้มาใช้เป็นสารทำความเย็นในระบบทำความเย็นโดยเฉพาะโรงงานทำน้ำแข็ง และอุตสาหกรรมห้องเย็น ข้อดีเมื่อเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพและราคากับสารทำความเย็นตัวอื่นๆ พบว่าก๊าซแอมโมเนียให้ประสิทธิภาพสูงกว่า ราคาถูกกว่า และไม่ทำลายชั้นโอโซนในบรรยากาศเมื่อเทียบกับสารทำความเย็นคลอโรฟลูออโรคาร์บอน (CFC) ชนิดอื่นๆ ข้อเสียก็คือก๊าซแอมโมเนียจัดเป็นก๊าซมลพิษ บทบาทสำคัญในการเร่งปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน (Eutrophication) ของระบบนิเวศน์ โดยที่ปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชันคือปรากฏการณ์ที่ทำให้พืชจำพวกสาหร่ายและวัชพืชเจริญเติบโตมากกว่าปกติจากการที่แหล่งน้ำได้รับธาตุอาหารจำพวกไนโตรเจนและฟอสเฟตมากเกินไป พืชเหล่านั้นจะปกคลุมผิวน้ำ ทำให้น้ำขาดออกซิเจนและในที่สุดทำให้น้ำเน่าเสียสร้างความเสียหายให้กับระบบนิเวศน์

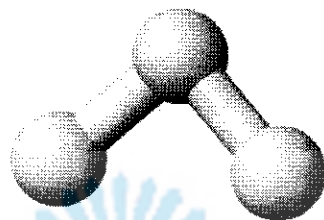


รูป 4 โครงสร้างโมเลกุลของแอมโมเนีย

#### ■ ไฮโดรเจนซัลไฟด์

ก๊าซชนิดนี้ที่มีต่อมลพิษทางอากาศและสุขภาพความเป็นอยู่ของมนุษย์ ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์หรือที่คนทั่วไปเรียกว่าก๊าซไข่เน่า คงเป็นเพราะกลิ่นของก๊าซชนิดนี้คล้ายกลิ่นของไข่เน่า ก๊าซชนิดนี้เป็นหนึ่งในสารประกอบที่ได้จากธาตุซัลเฟอร์ มีคุณสมบัติเป็นก๊าซพิษชนิดหนึ่งที่ไม่มีสี มีสูตรทางเคมีว่า H<sub>2</sub>S น้ำหนักโมเลกุล 34.04 จุดเดือด -85.5°C จุดหลอมเหลว -60.7°C ความหนาแน่นของก๊าซ 1.393 g/L ที่อุณหภูมิ 25°C ความดันบรรยากาศ 1 atm ซึ่งมีน้ำหนักมากกว่าอากาศ ค่าปริมาณไอระเหยของก๊าซต่ำสุดที่สามารถเกิดการ

ระเบิดได้ หากมีออกซิเจนเพียงพอ (Lower explosive Limit, LEL) อยู่ที่ 4% จึงถือว่าเป็นก๊าซที่มีความว่องไว ในการลุกติดไฟได้ง่ายมากและเกิดการเผาไหม้อย่างรุนแรง และอุณหภูมิที่สามารถลุกติดไฟได้เองอยู่ที่อุณหภูมิ 290°C



รูป 5 โครงสร้างโมเลกุลของไฮโดรเจนซัลไฟด์

## 2.5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เคมีคอมพิวเตอร์ถูกนำไปใช้ในการทำนายผลการศึกษาดังกล่าว เพื่อเป็นการลดต้นทุนและเวลาในการทำการทดลองในห้องปฏิบัติการ Usa Onthong, (2009) ศึกษาการดูดซับโมเลกุลก๊าซอย่างง่ายบนโครงสร้างซีโอไลต์ ด้วยระเบียบวิธีการคำนวณทางเคมีคอมพิวเตอร์ที่ระดับการคำนวณ B3LYP/6-31G\* พบว่าก๊าซทั้งสี่ชนิดสามารถเกิดอันตรกิริยากับโครงสร้างของซีโอไลต์ได้และซีโอไลต์สามารถดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ดีที่สุด รองลงมาคือก๊าซออกซิเจน ก๊าซไนโตรเจน และก๊าซมีเทน ซึ่งมีพลังงานในการดูดซับเป็น 9.48, 7.78 2.45 และ 1.51 กิโลแคลอรีต่อโมล ตามลำดับ จากผลการศึกษาในครั้งนี้ ผลการคำนวณสอดคล้องกับผลการศึกษาในห้องปฏิบัติจริงเป็นอย่างดี

วงศ์วิวรรธ ธนศิลป์ และ สุนันทา เลาว์ณศิริ (2555) การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการศึกษาการจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยใช้ วัสดุดูดซับที่แตกต่างกัน ได้แก่ ถ่านกัมมันต์ (AC) ซีกิ่งเหล็กปรับสภาพด้วยกรดไฮโดรคลอริก (FH) ซีกิ่งเหล็กไม่ปรับสภาพ (FA) และถ่านกัมมันต์ร่วมกับซีกิ่งเหล็กไม่ปรับสภาพ (AF) ในคอลัมน์ตัวกลางสูง 10 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 2.54 เซนติเมตร ทำการตรวจวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Biogas Analyzer ที่อัตราการไหล 340 มิลลิลิตรต่อนาที โดยวิเคราะห์แบบต่อเนื่อง จากการศึกษาพบว่า ซีกิ่งเหล็กไม่ปรับสภาพมีประสิทธิภาพการจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์สูงสุด รองลงมาคือ ถ่านกัมมันต์ร่วมกับซีกิ่งเหล็กไม่ปรับสภาพ ถ่านกัมมันต์ และซีกิ่งเหล็กปรับสภาพ ตามลำดับ โดยมีร้อยละการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เท่ากับ 70.22 43.61, 29.72 และ 15.37 ตามลำดับ และ breakthrough point ที่ ระยะเวลา 140, 215, 95 และ 120 นาที ตามลำดับ ปริมาณการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ต่อปริมาตรวัสดุดูดซับ เท่ากับ 2,249.68, 1,418.69, 338.34 และ 438.69 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร สำหรับวัสดุดูดซับซีกิ่งเหล็กไม่ปรับสภาพ ถ่านกัมมันต์ร่วมกับซีกิ่งเหล็กไม่ปรับสภาพ ถ่านกัมมันต์ และซีกิ่งเหล็กปรับสภาพ ตามลำดับ

สุชน ตั้งทวีวัฒน์ งามอาจ สองสี และ บุญล้อม ชีวะอิสระกุล (2549) ก๊าซชีวภาพที่ผลิตโดยเกษตรกรรายย่อยเมื่อใช้มูลสุกรแม่พันธุ์ สุกรขุน และมูลนกกระทาไข่ มีไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H<sub>2</sub>S) 480 1,773 และ 3,509 ppm

ตามลำดับ ก๊าซดังกล่าวมีกลิ่นเหม็น และกัดกร่อนโลหะเป็นอันตราย ต่อห้วเตาหุงต้มหรือเครื่องยนต์จึงควรกำจัด ออกโดยใช้สารดูดซับที่แช่ในสารละลายเพอร์ริกไฮดรอกไซด์และโซดาไฟโดยใช้ปูนซีเมนต์เทาผสมดินเบาหรือ ทรายละเอียดเมื่อนำไปวัดในฟาร์มสุกรแม่พันธุ์สุกรขุน และนกรักษาไขพบว่าการใช้ทรายผสมปูนซีเมนต์เทา สามารถลด  $H_2S$  ได้ดีกว่าดินเบาผสมปูนซีเมนต์เทาและการใช้ฟอยเหล็ก กล่าวคือ ลดได้ 99.3 - 97.3%, 78.0 - 74.0% และ 69.4 - 49.9% ตามลำดับ ( $P < 0.1$ ) เมื่อนำตัวกลางทรายละเอียดผสมปูนซีเมนต์เทาบรรจุลงในท่อ PVC ที่มีความยาว 50, 75 และ 100 ซม. พบว่า ประสิทธิภาพในการดูดซับเพิ่มขึ้นตามความยาวของท่อ คือ ลด  $H_2S$  ได้เท่ากับ 99.3 - 97.3%, 99.8 - 99.0% และ 100 - 99.6% ตามลำดับ โดยชุดดูดซับที่มีความยาว 100 ซม. สามารถลด  $H_2S$  จาก 2,400 ppm เป็น 0 ppm ในวันแรก และ 3 ppm หลังใช้งานนาน 30 วัน โดยตัวดูดซับจะเปลี่ยนสีจากน้ำตาลแดงเป็นสีน้ำตาลเข้ม

ณัฐพล รัตนมูขัย (2549) งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยเครื่องกรองชีวภาพที่ใช้ตัวกลางผสมซึ่งทำการทดลอง 2 ขั้นตอน ได้แก่ การศึกษาตัวกลางที่เหมาะสมในการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดของตัวกลางหลัก 4 ประเภท คือ ปุ๋ยหมัก ดินขุยไผ่ หินภูเขาไฟ และถ่านกัมมันต์ โดยใช้ตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียชุมชนเป็นแหล่งจุลินทรีย์ ปุ๋ยคอกเป็นแหล่งธาตุอาหารของจุลินทรีย์ และกากมะพร้าวเพื่อช่วยป้องกันการอุดตันของตัวกลาง อัตราส่วนของตัวกลางผสมประกอบด้วย ตัวกลางหลัก : กากมะพร้าว : ตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียชุมชน : ปุ๋ยคอกเท่ากับ 60 : 20 : 10 : 10 โดยปริมาตร การทดลองนี้ทำการแปรผันเวลากักพักที่ 45, 60 และ 75 วินาที และความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในช่วง 50 - 300 ppm หลังจากนั้นจะใช้ตัวกลางหลักที่มีประสิทธิภาพการบำบัดสูงสุดจากการทดลองแรกในการศึกษาอิทธิพลของทิศทางไหลของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่มีต่อประสิทธิภาพการบำบัด โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดระหว่างเครื่องกรองชีวภาพที่มีทิศทางไหลขึ้นและเครื่องกรองชีวภาพที่มีทิศทางไหลลง ซึ่งในการทดลองที่สองจะแปรผันเวลากักพักที่ 25, 50 และ 75 วินาที และใช้ความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ 300 ppm ผลการทดลองพบว่า ตัวกลางประเภทปุ๋ยหมักใช้ความสูงของตัวกลาง 1 เมตร ในการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ความเข้มข้น 300 ppm ที่เวลากักพัก 45 วินาที ให้มีประสิทธิภาพการบำบัด 100 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ตัวกลางประเภทดินขุยไผ่ หินภูเขาไฟ และถ่านกัมมันต์ จะต้องใช้ความสูงของตัวกลางมากกว่า 1.25 เมตร ในการบำบัด ทั้งนี้ค่าความสามารถในการกำจัดสูงสุดของตัวกลางประเภทปุ๋ยหมัก ดินขุยไผ่ หินภูเขาไฟ และถ่านกัมมันต์ มีค่าเท่ากับ 122, 111, 72 และ 108 กรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ โดยมีค่าความดันลดหลังเดินระบบเท่ากับ 20, 11, 9 และ 25 มิลลิเมตรของน้ำต่อความสูงตัวกลาง 1 เมตร ตามลำดับ ดังนั้น ปุ๋ยหมักจึงมีความเหมาะสมที่จะใช้เป็นตัวกลางของเครื่องกรองชีวภาพในการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ เนื่องจากมีค่าความสามารถในการกำจัดสูง ส่วนการทดลองที่สองพบว่า เครื่องกรองชีวภาพที่มีทิศทางไหลลง จะมีประสิทธิภาพการบำบัดใกล้เคียงกับเครื่องกรองชีวภาพที่มีทิศทางไหลขึ้นที่เวลากักพัก 50 วินาทีขึ้นไป ในขณะที่เวลากักพักมีค่าน้อยกว่า 25 วินาที พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดของเครื่องกรองชีวภาพที่มีทิศทางไหลลงจะมีค่าน้อยกว่าเครื่องกรองชีวภาพที่มีทิศทางไหลขึ้น

### บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย

โครงการวิจัยเรื่องการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ในก๊าซชีวภาพโดยใช้เปลือกมังคุด แบ่งวิธีดำเนินการทดลองเป็น 3 ตอนดังนี้ ตอนที่ 1 การคำนวณทางเคมีคอมพิวเตอร์เพื่อศึกษาอันตรกิริยาของ ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ( $H_2S$ ) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ( $CO_2$ ) ก๊าซแอมโมเนีย ( $NH_3$ ) และมีเทน ( $CH_4$ ) บนโครงสร้างของ Mangostin ชนิด  $\alpha$ -mangostin,  $\beta$ -mangostin,  $\gamma$ -mangostin ตอนที่ 2 ศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ( $H_2S$ ) และมีเทน ( $CH_4$ ) ด้วยตัวดูดซับเปลือกมังคุดแห้ง และตอนที่ 3 การถ่ายทอดเทคโนโลยีตัวกรองทำความสะอาดก๊าซชีวภาพสู่ชุมชน โดยใช้ตัวดูดเปลือกมังคุดแห้งเป็นตัวดูดซับ ซึ่งเป็นวัสดุเศษเหลือจากภาคการเกษตรในชุมชน

#### ตอนที่ 1 ระเบียบวิธีการคำนวณทางเคมีคอมพิวเตอร์

ศึกษาอันตรกิริยาระหว่างไฮโดรเจนซัลไฟด์ ( $H_2S$ ) คาร์บอนไดออกไซด์ ( $CO_2$ ) แอมโมเนีย ( $NH_3$ ) และมีเทน ( $CH_4$ ) บนโครงสร้างของ Mangostin ชนิด  $\alpha$ -mangostin,  $\beta$ -mangostin และ  $\gamma$ -mangostin ด้วยระเบียบวิธีการคำนวณทางเคมีคอมพิวเตอร์ แบบ Density Functional Theory (DFT) (B3LYP/ 3-21G) เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของระบบ (Geometry) ความยาวพันธะ และมุมพันธะที่เกิดการเปลี่ยนแปลง ร่วมกับการพิจารณาพลังงานของระบบ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการศึกษา ถึงความเป็นไปได้ของความสามารถในการดูดซับระหว่างตัวดูดซับกับสารที่ถูกดูดซับ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ ( $H_2S$ ) คาร์บอนไดออกไซด์ ( $CO_2$ ) แอมโมเนีย ( $NH_3$ ) และมีเทน ( $CH_4$ ) ต่อไป ซึ่งพลังงานของการดูดซับสามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$E_{ONNIOM2} = E_{LOW}^{Real} - (E_{High}^{Cluster} + E_{Low}^{Cluster})$$

โดย

$E_{ONNIOM2}$	คือ ค่าพลังงานการดูดซับ
$E_{LOW}^{Real}$	คือ ค่าพลังงานรวมของระบบ
$E_{High}^{Cluster}$	คือ ค่าพลังงานของตัวดูดซับ
$E_{Low}^{Cluster}$	คือ ค่าพลังงานของตัวดูดซับ

#### ■ อุปกรณ์

1. เครื่องคอมพิวเตอร์บนระบบปฏิบัติการ Linux Ubuntu 2 เครื่อง
2. เครื่องคอมพิวเตอร์บนระบบปฏิบัติการ Windows 1 เครื่อง
3. โปรแกรมสำเร็จรูปทางเคมี เช่น Gaussian (G03) และ Gauss View เป็นต้น
4. เครื่องพิมพ์ และวัสดุคอมพิวเตอร์ต่างๆ

▪ ขั้นตอนการสร้าง Input file ที่ใช้ในการศึกษา

1. เลือกโปรแกรม ระเบียบวิธีการคำนวณ และ basis set ที่เหมาะสมในการศึกษากระบวนการเกิดอันตรกิริยาระหว่าง ไฮโดรเจนซัลไฟด์ ( $H_2S$ ) คาร์บอนไดออกไซด์ ( $CO_2$ ) แอมโมเนีย ( $NH_3$ ) และมีเทน ( $CH_4$ ) บนโครงสร้าง Mangostin 3 ชนิด คือ  $\alpha$ -mangostin , $\beta$ -mangostin และ  $\gamma$ -mangostin ซึ่ง Input file มีดังตารางที่ 1

ตาราง 1 อันตรกิริยาระหว่างตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับที่ต้องการศึกษา

Isolated molecule	Complex system
$CH_4$	[ $\alpha$ -mangostin]/[ $CH_4$ ]
$CO_2$	[ $\alpha$ -mangostin]/[ $CO_2$ ]
$H_2S$	[ $\alpha$ -mangostin]/[ $H_2S$ ]
$NH_3$	[ $\alpha$ -mangostin]/[ $NH_3$ ]
$\alpha$ -mangostin	[ $\beta$ -mangostin]/[ $CH_4$ ]
$\beta$ -mangostin	[ $\beta$ -mangostin]/[ $CO_2$ ]
$\gamma$ -mangostin	[ $\beta$ -mangostin]/[ $H_2S$ ]
-	[ $\beta$ -mangostin]/[ $NH_3$ ]
-	[ $\gamma$ -mangostin]/[ $CH_4$ ]
-	[ $\gamma$ -mangostin]/[ $CO_2$ ]
-	[ $\gamma$ -mangostin]/[ $H_2S$ ]
-	[ $\gamma$ -mangostin]/[ $NH_3$ ]

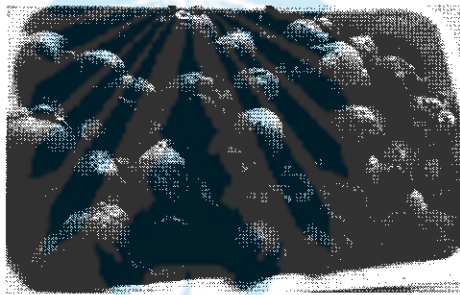
2. ศึกษาการเกิดอันตรกิริยาของระบบด้วยระเบียบวิธีการคำนวณแบบ Density Functional Theory (DFT) โดยมีเบสิคเซตเป็น (B3LYP/3-21(G,p)) และวาดโครงสร้างของระบบโดยใช้โปรแกรม Gaussian (G03) จากนั้น คำนวณอันตรกิริยาระหว่างโมเลกุลของตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับ เพื่อศึกษาพลังงานที่ต่ำที่สุดของการเกิดอันตรกิริยา ซึ่งถือเป็นค่าพลังงานที่เสถียรที่สุดของระบบ
3. วิเคราะห์ข้อมูล และคุณสมบัติต่างๆ ของโครงสร้างที่ได้จากการคำนวณโดยพิจารณาการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของระบบ (Geometry) (ความยาวพันธะ มุมพันธะที่เกิดการเปลี่ยนแปลง) ร่วมกับการพิจารณาพลังงานของระบบ โดยค่าพลังงานของอันตรกิริยาระหว่างโมเลกุลของตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับที่ต่ำที่สุด แสดงถึงการดูดซับที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุด เพราะมีแรงกระทำต่อกันสูงที่สุด

## ตอนที่ 2 การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับของเปลือกมังคุด ในระดับห้องปฏิบัติการเคมี

ในตอนนี้ เป็นการศึกษาประสิทธิภาพของเปลือกมังคุดแห้งในการดูดซับ  $\text{CH}_4$  และ  $\text{H}_2\text{S}$  โดยเริ่มจากการเตรียมตัวดูดซับเปลือกมังคุด การศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของเปลือกมังคุด และการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับ ซึ่งมีวิธีการทดลอง ดังต่อไปนี้

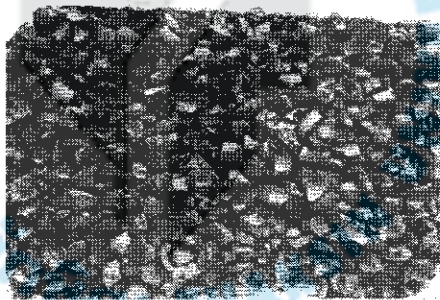
### 1. ขั้นตอนการเตรียมวัสดุดูดซับจากเปลือกมังคุด

- 1.1. เก็บตัวอย่างมังคุดเหลือทิ้งจากบ้านชุมชนขลิ้ง ตำบลหนองหอย อำเภอพรหมคีรี จังหวัดนครศรีธรรมราช
- 1.2. นำเปลือกมังคุดสดมาตากแดดจนแห้ง เป็นระยะเวลา 72 ชั่วโมง



รูป 6 เปลือกมังคุดที่ผ่านกระบวนการตากแห้ง

- 1.3. นำมาลดขนาดให้มีขนาดประมาณ 2 เซนติเมตร และนำมาอบเพื่อลดความชื้น ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 3 ชั่วโมง



รูป 7 เปลือกมังคุดที่ผ่านกระบวนการลดขนาด

- 1.4. เก็บตัวอย่างที่ได้ใส่ถุงซิปล็อค เพื่อนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติของถ่านและนำไปศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับของถ่าน

### 2. การศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของเปลือกมังคุด

ในขั้นตอนนี้ ทำการศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของเปลือกมังคุด จำนวน 2 คุณสมบัติ คือ ปริมาณความชื้นและค่าการดูดซับไอโอดีน

■ การศึกษาหาค่าความชื้น

1. ชั่งซีโอไลต์หนักประมาณ 1.0 กรัม ใส่ในถ้วยกระเบื้อง
2. อบซีโอไลต์ในตู้อบ ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้น บันทึกข้อมูลน้ำหนัก
3. คำนวณปริมาณความชื้นในซีโอไลต์ โดย

$$\text{ร้อยละความชื้น} = \frac{(\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ}) \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ}}$$

■ การดูดซับไอโอดีน

1. ชั่งซีโอไลต์ประมาณ 1.0 กรัม อบที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ชั่งและบันทึกน้ำหนักถ่านตัวอย่างใส่ในขวดรูปชมพู่ ขนาด มิลลิลิตรที่มีฝาปิด 250
2. เติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 10.0 มิลลิลิตร แกว่งขวดเบาๆ เพื่อให้ผงซีโอไลต์ทุกส่วนชุ่มด้วยสารละลาย จากนั้นต้มให้เดือด 30 วินาที ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง
3. เติมสารละลายไอโอดีน ความเข้มข้น 0.01 นอล์มอล ปริมาตร 100.0 มิลลิลิตร ปิดฝาและเขย่าแรงๆ 30 วินาที
4. กรองแยกซีโอไลต์จากสารละลายด้วยกระดาษกรอง โดยทิ้งสารละลายในช่วง แรกจนกระทั่งกระดาษกรองอิมด้วยสารละลาย จึงกรองรับสิ่งกรองด้วยขวดรูปชมพู่ขนาด 100 มิลลิลิตร
5. ปิเปตสารละลาย 50.0 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร
6. ไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต ความเข้มข้น 0.10 นอล์มอล จนกระทั่งได้สารละลายสีเหลือง
7. เติมน้ำแ่ง 5-6 หยด จะได้สารละลายสีน้ำเงิน
8. ไทเทรตต่อจนได้สารละลายใสไม่มีสี
9. บันทึกปริมาตรโซเดียมไทโอซัลเฟต
10. คำนวณหาความเข้มข้นที่แน่นอนของไอโอดีนที่เหลือ โดย

$$C = \frac{N_1}{(50 \times S)}$$

- เมื่อ C คือ ความเข้มข้นที่แน่นอนของไอโอดีนที่เหลือ  
 $N_1$  คือ ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต  
 S คือ ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต

11. คำนวณค่าการดูดซับไอโอดีนต่อกรัมซีโอไลต์ จาก



$$\frac{X}{M} \left( \frac{mg}{g} \right) = \frac{A - (DF \times B \times S)}{M}$$

เมื่อ A คือ 12693 N<sub>2</sub>

B คือ 126.93 N<sub>1</sub>

DF คือ ค่าแฟคเตอร์การเจือจาง (Dilution factor)

$$DF = \frac{\text{ปริมาตรไอโอดีนเริ่มต้น} + \text{ปริมาตรกรดไฮโดรคลอริก}}{\text{ปริมาตรไอโอดีนที่ปิด}}$$

S คือ ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต

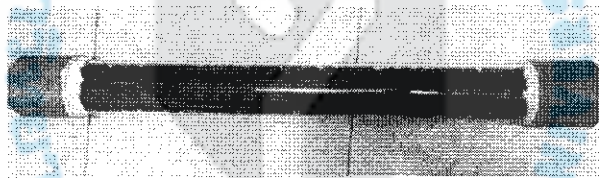
M คือ น้ำหนักซีโอไลต์

N<sub>1</sub> คือ ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต

N<sub>2</sub> คือ ความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีน

### 3. การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับของเปลือกมังคุดตากแห้ง

- นำเปลือกมังคุดตากแห้งบรรจุใส่คอลัมน์ ซึ่งคอลัมน์ดูดซับทำด้วยท่อคลีริกใส ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 เซนติเมตร และมีความยาว 50 เซนติเมตร ที่ปลายทั้งสองด้านเป็นท่อลดพีวีซีสีฟ้า ขนาดเส้น 8.5 เซนติเมตร ลดเป็นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร แต่ละด้านของระบบกรอง จะมีวาล์วเปิดปิด เพื่อควบคุมการเข้าออกของก๊าซชีวภาพ



รูป 8 คอลัมน์บรรจุเปลือกมังคุดแห้ง เพื่อการทดลองในห้องปฏิบัติการ

- ติดตั้งคอลัมน์ระบบการดูดซับเข้ากับระบบแก๊สชีวภาพ โดยระบบหมักก๊าซชีวภาพที่ใช้ในการทดลองนี้ มีวัตถุประสงค์ คือ เศษเหลือทิ้งจากกระบวนการแปรรูปไก่ในท้องตลาด โดยเก็บตัวอย่างเศษเหลือทิ้งจากการแปรรูปไก่ จากตลาดสดป่าพะยอม ต.บ้านพร้าว อ. ป่าพะยอม จ. พัทลุง ระบบผลิตก๊าซชีวภาพ มีขนาด 400 ลิตร ประกอบด้วยถังหมักขนาด 400 ลิตร และถังเก็บก๊าซชีวภาพขนาด 400 ลิตร และมีวิธีการเก็บโดยใช้วิธีการแทนที่น้ำ



รูป 9 การติดตั้งระบบกรองก๊าซชีวภาพ (คอลัมน์) ด้วยเปลือกมังคุด กับระบบหมักก๊าซชีวภาพ

- วัดค่าปริมาณของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และก๊าซมีเทนด้วย Gas Chromatography ก่อนผ่านตัวดูดซับ และหลังผ่านตัวดูดซับ ทุกๆ 10 นาที เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง 30 นาที
- นำค่าที่วัดได้ไปคำนวณหาค่าประสิทธิภาพการดูดซับการดูดซับ โดยใช้สูตร

$$\% \text{ Adsorption} = \frac{(C_0 - C_t)}{C_0} \times 100$$

เมื่อ  $C_0$  คือ ความเข้มข้นเริ่มต้นก่อนการดูดซับ  
 $C_t$  คือ ความเข้มข้นที่เวลาดูดซับใดๆ

### ตอนที่ 3 การถ่ายทอดเทคโนโลยีตัวกรองทำความสะอาดก๊าซชีวภาพสู่ชุมชน

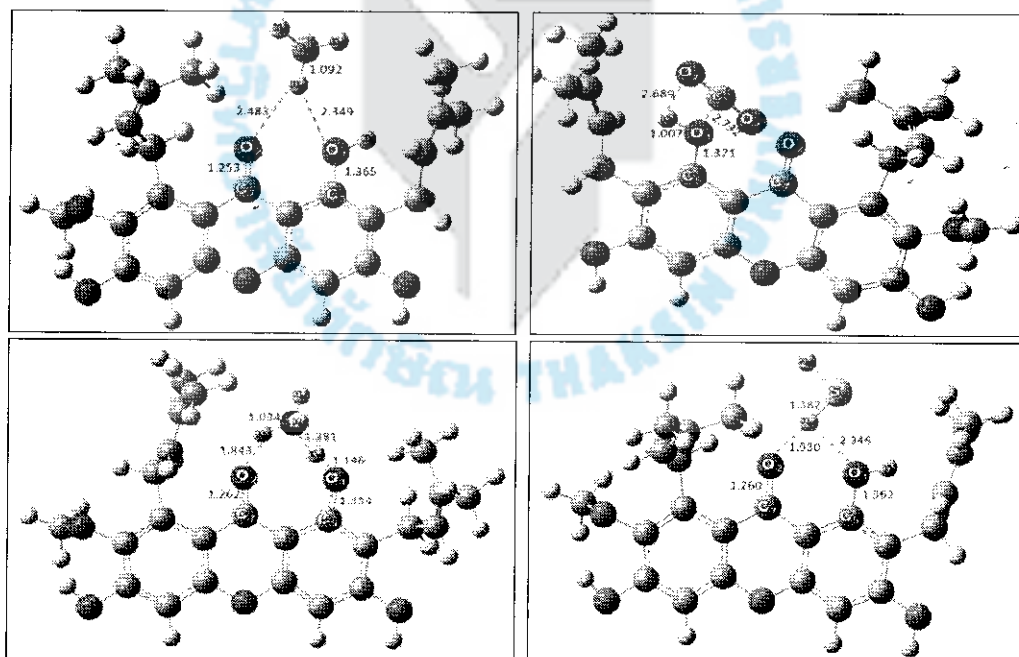
โดยการจัดการอบรมถ่ายทอดองค์ความรู้เกี่ยวกับการกรองก๊าซชีวภาพก่อนการใช้งานเพื่อกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ซึ่งเป็นอันตรายต่อสุขภาพผู้ใช้งานก๊าซชีวภาพ และเป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม จากนั้น ทำการติดตั้งระบบกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในครัวเรือนนาร่อง จำนวน 5 ครัวเรือน ของชุมชนบ้านหัวคู ตำบลนาหารง อำเภอนบพิตำ จังหวัดนครศรีธรรมราช และสุดท้าย มีการติดตามผลการใช้ระบบกรองก๊าซชีวภาพ

## บทที่ 4 ผลการทดลอง

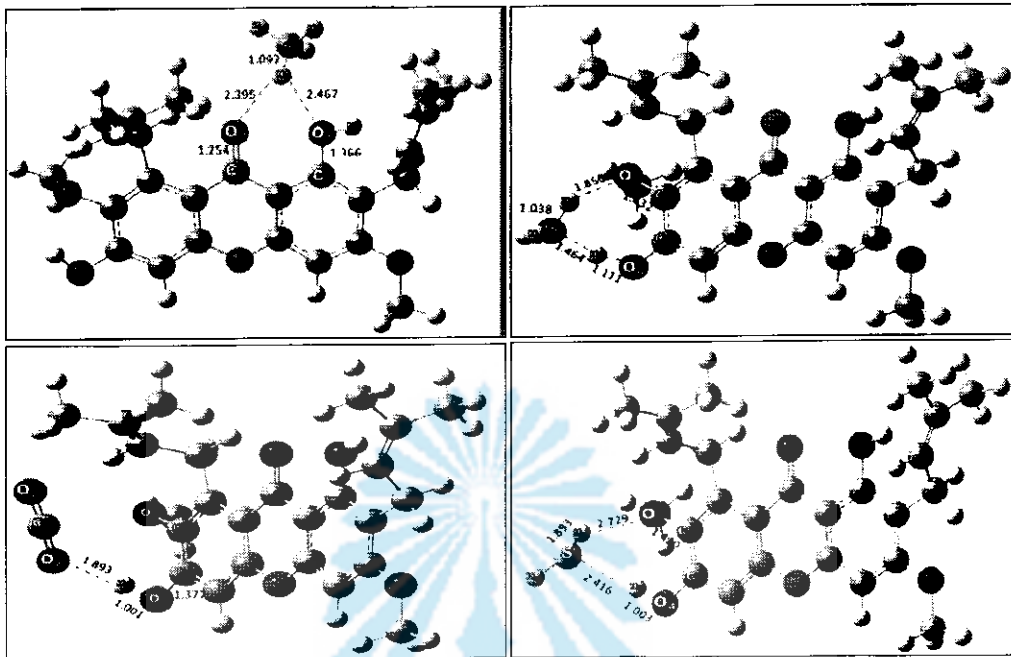
งานวิจัยเรื่องการกำจัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพ แบ่งการศึกษาออกเป็น 3 ส่วน ตอนแรกเป็นการใช้การคำนวณทางเคมีคอมพิวเตอร์มาทำนายอันตรกิริยาระหว่างตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับแต่ละชนิด ตอนที่สองเป็นการทดลองประสิทธิภาพการดูดซับของเปลือกมังคุดในห้องปฏิบัติการเคมี และตอนสุดท้ายเป็นการถ่ายทอดองค์ความรู้สู่ชุมชน นำไปเปลือกมังคุดไปเป็นตัวดูดซับเพื่อทำความสะอาดก๊าซชีวภาพก่อนการใช้งานในครัวเรือน แต่ละขั้นตอน มีผลการศึกษา ดังต่อไปนี้

### ตอนที่ 1 ระเบียบวิธีการคำนวณทางเคมีคอมพิวเตอร์

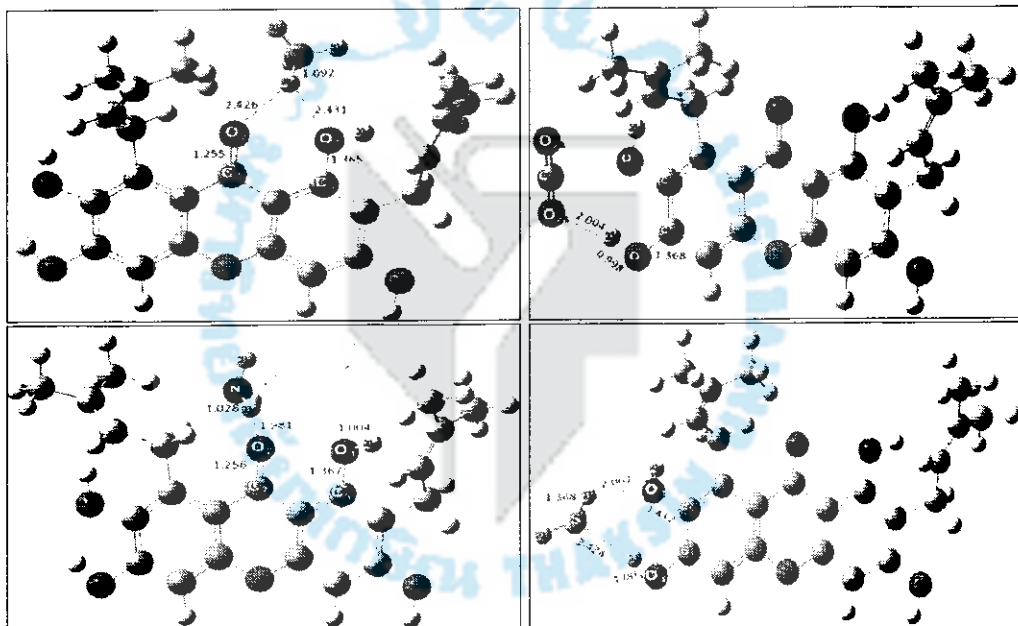
จากทฤษฎีการคำนวณระบบอันตรกิริยาระหว่างโครงสร้างของ Mangostin ชนิด  $\alpha$ -mangostin,  $\beta$ -mangostin และ  $\gamma$ -mangostin กับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ( $H_2S$ ) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ( $CO_2$ ) ก๊าซแอมโมเนีย ( $NH_3$ ) และมีเทน ( $CH_4$ ) ด้วยวิธีการคำนวณทางเคมีคอมพิวเตอร์ ด้วยระเบียบวิธีการ DFT (B3LYP/6-31G (d,p)) โดยสร้างแบบจำลองโครงสร้างของ Mangostin ทั้ง 3 ชนิด คือ  $\alpha$ -mangostin,  $\beta$ -mangostin และ  $\gamma$ -mangostin และแบบจำลองโครงสร้างของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ( $H_2S$ ) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ( $CO_2$ ) ก๊าซแอมโมเนีย ( $NH_3$ ) และมีเทน ( $CH_4$ ) เพื่อดูโครงสร้างที่เสถียรของโมเลกุลแต่ละโมเลกุล จากนั้น เมื่อได้โครงสร้างที่เสถียรของแต่ละโมเลกุลแล้ว นำมาศึกษาค่าอันตรกิริยาของระบบการดูดซับ ที่ประกอบด้วย 1 ตัวดูดซับ และ 1 ตัวถูกดูดซับ ตำแหน่งการเกิดอันตรกิริยาของก๊าซองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพและโครงสร้างแมงโกสติน  $\alpha$ -mangostin,  $\beta$ -mangostin และ  $\gamma$ -mangostin เป็นดังรูปที่ 10 11 และ 12 ตามลำดับ



รูป 10 ตำแหน่งการเกิดอันตรกิริยาที่เสถียรที่สุดระหว่างองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ (บนซ้าย) มีเทน (บนขวา) คาร์บอนไดออกไซด์ (ล่างซ้าย) แอมโมเนีย และ (ล่างขวา) ไฮโดรเจนซัลไฟด์ บนโครงสร้างแอลฟา-แมงโกสติน



รูป 11 ตำแหน่งการเกิดอันตรกิริยาที่เสถียรที่สุดระหว่างองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ (บนซ้าย) มีเทน (บนขวา) คาร์บอนไดออกไซด์ (ล่างซ้าย) แอมโมเนีย และ (ล่างขวา) ไฮโดรเจนซัลไฟด์ บนโครงสร้างเบต้า-แมงโกสทิน



รูป 12 ตำแหน่งการเกิดอันตรกิริยาที่เสถียรที่สุดระหว่างองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ (บนซ้าย) มีเทน (บนขวา) คาร์บอนไดออกไซด์ (ล่างซ้าย) แอมโมเนีย และ (ล่างขวา) ไฮโดรเจนซัลไฟด์ บนโครงสร้างแกมมา-แมงโกสทิน

จากผลการทดลอง พบว่า โครงสร้างแมงโกสทินทั้ง 3 ชนิด เกิดอันตรกิริยากับก๊าซแอมโมเนียที่ตำแหน่งเดียวกัน แต่เกิดอันตรกิริยากับก๊าซมีเทน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ตำแหน่งแตกต่างกัน ตารางที่ 2 แสดงค่าพลังงานการดูดซับระหว่างโครงสร้างแมงโกสทินทั้ง 3 ชนิด และองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพทั้ง 4 ชนิด พบว่า โครงสร้างแมงโกสทินทุกชนิด สามารถเกิดอันตรกิริยากับองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพที่ศึกษาได้

โดยโครงสร้างแมงโกสทินทั้ง 3 ชนิด สามารถเกิดอันตรกิริยากับก๊าซแอมโมเนียได้ดีที่สุด มีค่าพลังงานการดูดซับ -29.10 kcal/mol 29.19 kcal/mol และ 24.02 kcal/mol สำหรับ  $\alpha$ -mangostin  $\beta$ -mangostin และ  $\gamma$ -mangostin ตามลำดับ โครงสร้างแมงโกสทินทั้ง 2 ชนิด คือ  $\alpha$ -mangostin และ  $\beta$ -mangostin สามารถเกิดอันตรกิริยากับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ดีรองลงมา มีค่าพลังงานการดูดซับ -10.85 kcal/mol และ -10.85 kcal/mol ตามลำดับ ส่วน  $\gamma$ -mangostin เกิดอันตรกิริยากับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ดีเป็นอันดับสอง มีค่าพลังงานการดูดซับ -9.45 kcal/mol แต่อย่างไรก็ตาม โครงสร้างแมงโกสทิน ทั้ง 3 ชนิด สามารถเกิดอันตรกิริยากับก๊าซมีเทนได้น้อยที่สุด มีค่าพลังงานการดูดซับ เท่ากับ 4.51 kcal/mol 4.51 kcal/mol และ 3.42 kcal/mol  $\alpha$ -mangostin  $\beta$ -mangostin และ  $\gamma$ -mangostin ตามลำดับ

ตาราง 2 ค่าพลังงานการดูดซับของก๊าซองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ ทั้ง 4 องค์ประกอบ บนโครงสร้างแมงโกสทิน

ตัวดูดซับ	ตัวถูกดูดซับ	พลังงานการดูดซับ (kcal/mol)
$\alpha$ -mangostin	CH <sub>4</sub>	- 4.518
	CO <sub>2</sub>	-7.844
	NH <sub>3</sub>	-29.190
	H <sub>2</sub> S	-10.856
$\beta$ -mangostin	CH <sub>4</sub>	-4.518
	CO <sub>2</sub>	-7.844
	NH <sub>3</sub>	-29.190
	H <sub>2</sub> S	-10.856
$\gamma$ -mangostin	CH <sub>4</sub>	-3.424
	CO <sub>2</sub>	-9.450
	NH <sub>3</sub>	-24.202
	H <sub>2</sub> S	-5.660

ตารางที่ 3 แสดงความยาวพันธะและมุมของระบบการเกิดอันตรกิริยาระหว่าง โมเลกุลก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ คาร์บอนไดออกไซด์ แอมโมเนีย และมีเทน บนโครงสร้าง Mangostin ทั้ง 3 ชนิด คำนวณด้วยระเบียบวิธี DFT (B3LYP /6-31G (d,p) พบว่าความยาวพันธะและมุมมีการเปลี่ยนแปลง เมื่อเปรียบเทียบระหว่างโมเลกุลโดดเดี่ยวของโมเลกุลแมงโกสทิน และโมเลกุลคอมเพลกซ์ระหว่างโมเลกุลแมงโกสทินและโมเลกุลก๊าซองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ การเปลี่ยนแปลงมุมลักษณะความยาวพันธะจะแสดงถึงการเกิดอันตรกิริยา ซึ่งถือเป็นการยืนยันกลไกการดูดซับระหว่างโมเลกุลของตัวดูดซับ และตัวถูกดูดซับ

ตาราง 3 ความยาวพันธะและมุมของระบบการเกิดอันตรกิริยาระหว่างโครงสร้าง Mangostin 3 ชนิด และองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพที่ศึกษาทั้ง 4 ชนิด

Parameters						
(Å)	$\alpha$ -mangostin		$\beta$ -mangostin		$\gamma$ -mangostin	
Distances	Isolated	Complex	Isolated	Complex	Isolated	Complex
<b>CH<sub>4</sub></b>						
O2-C7	1.251	1.253	1.252	1.254	1.253	1.255
O1-C5	1.365	1.365	1.366	1.366	1.365	1.365
Cz1-Hz4	1.094	1.092	1.094	1.092	1.094	1.092
<b>CO<sub>2</sub></b>						
O2 - C5	1.251	1.371	1.252	1.367	1.253	1.370
O1 - H1	1.004	1.007	1.003	1.004	1.004	1.005
O1-Cz1	1.183	2.732	1.183	2.787	1.183	2.680
<b>NH<sub>3</sub></b>						
O2 - C7	1.251	1.262	1.252	1.270	1.253	1.256
O1 - C5	1.364	1.334	1.366	1.336	1.365	1.367
O1 - H1	1.004	1.146	1.003	1.154	1.004	1.004
N1-Hz1	1.022	1.034	1.022	1.038	1.022	1.028
<b>H<sub>2</sub>S</b>						
O2 - C7	1.251	1.260	1.251	1.260	1.253	1.262
O1 - C5	1.365	1.362	1.366	1.363	1.365	1.362
S1 - Hz1	1.374	1.382	1.374	1.382	1.374	1.383
<b>Angle</b>						
<b>CH<sub>4</sub></b>						
O2 -C7-C4	122.029	122.038	121.724	121.973	121.864	122.088
O1-C5-C4	118.712	118.762	118.679	118.590	122.079	118.661
H1-O1 -C5	109.551	110.052	109.440	109.852	109.531	109.847
<b>CO<sub>2</sub></b>						
O2- C7-C4	122.029	121.682	121.724	121.703	121.864	122.157
O1-C5-C4	118.712	117.729	118.679	118.659	122.079	119.274
H1-O1-C5	109.551	110.118	109.440	110.329	109.531	109.527
<b>NH<sub>3</sub></b>						
O2-C7-C4	122.029	123.256	121.724	122.512	121.864	121.957
O1-C5-C4	118.712	125.293	118.679	125.133	122.079	118.732
H1-O1-C5	109.551	124.240	109.440	124.103	109.531	109.353
<b>H<sub>2</sub>S</b>						
O2-C7-C4	122.029	122.536	121.724	122.579	121.864	122.696

O1-C5-C4	118.712	118.305	118.679	118.214	122.079	118.257
H1-O1-C5	109.551	110.266	109.440	110.205	109.531	110.236

จากการศึกษาการเกิดอันตรกิริยาของ โมเลกุลไฮโดรเจนซัลไฟด์ คาร์บอนไดออกไซด์ แอมโมเนีย และมีเทนบน โครงสร้าง Mangostin ชนิด  $\alpha$ -mangostin,  $\beta$ -mangostin,  $\gamma$ -mangostin คำนวณด้วยระเบียบวิธี DFT (B3LYP /6-31G (d,p)) พบว่า โครงสร้างทั้งสามชนิดมีค่าพลังงานการดูดซับ (adsorption energy) โมเลกุลไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ดีที่สุด รองลงมา คือ โมเลกุลของแอมโมเนียและคาร์บอนไดออกไซด์ ส่วนโมเลกุลมีเทนดูดซับได้น้อยมาก ซึ่งเป็นคุณสมบัติของตัวดูดซับที่ดี เหมาะสมต่อการใช้ประโยชน์ในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ในก๊าซชีวภาพ

## ตอนที่ 2 การศึกษาศักยภาพการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และก๊าซมีเทนของเปลือกมังคุด

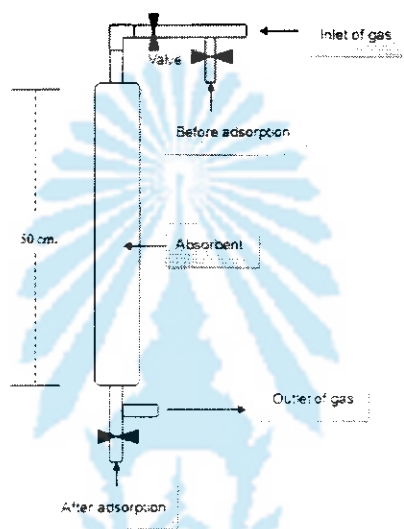
ในขั้นตอนนี้ เป็นการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับของเปลือกมังคุด ในการดูดซับก๊าซองค์ประกอบของ ก๊าซชีวภาพ จำนวน 2 ชนิด คือ ก๊าซมีเทน และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ซึ่งคุณสมบัติที่ดีของตัวดูดซับ คือ สามารถดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ดี และเกิดการดูดซับก๊าซมีเทนได้ดี เพราะก๊าซมีเทน เป็นก๊าซที่จุดติดไฟและให้พลังงานความร้อน ส่วนก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ เป็นก๊าซพิษ มีผลต่อกระหายด้านลบต่อสิ่งแวดล้อม และต่อสุขภาพของผู้ใช้ก๊าซชีวภาพ ในขั้นตอนแรก เริ่มจากการเตรียมเปลือกมังคุด โดยใช้เปลือกมังคุดเศษเหลือทิ้งจากภาคการเกษตร ผ่านกระบวนการตากแห้ง และผ่านกระบวนการลดขนาด จากนั้น ศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและทางชีวภาพของเปลือกมังคุดแห้ง และสุดท้าย ศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซก๊าซมีเทน และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ซึ่งผลการทดลอง เป็นดังรายละเอียดต่อไปนี้

การศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและทางชีวภาพของเปลือกมังคุด ทำการศึกษา 2 คุณสมบัติ ได้แก่ ค่าความชื้นและค่าการดูดซับไอโอดีน ตารางที่ 4 แสดงผลค่าความชื้นและค่าการดูดซับไอโอดีนของเปลือกมังคุด พบว่าเปลือกมังคุดมีค่าความชื้นต่ำ และมีค่าการดูดซับไอโอดีนสูง แสดงถึงคุณสมบัติที่ดีของตัวดูดซับ เพราะค่าความชื้นต่ำแสดงถึงปริมาณน้ำที่อยู่ในเปลือกมังคุดมีน้อย ซึ่งไม่ขัดขวางการดูดซับโมเลกุลของตัวถูกดูดซับบนพื้นผิวของตัวดูดซับ ส่วนค่าการดูดซับไอโอดีนนับเบอรัที่สูง แสดงถึงการมีพื้นที่ผิวในการดูดซับอยู่สูง ซึ่งสามารถรองรับโมเลกุลตัวถูกดูดซับเป็นจำนวนมาก

ตาราง 4 ปริมาณความชื้นและค่าการดูดซับไอโอดีนของเปลือกกล้วย

คุณสมบัติ	ค่าการทดลอง
ปริมาณความชื้น (%)	1.38
ค่าไอโอดีนนับเบอรั (mg/g)	674.60

ต่อมา เป็นการออกแบบระบบกรองหรือคอลัมน์สำหรับบรรจุเปลือกมังคุด เพื่อใช้ในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ซึ่งคอลัมน์ตัวดูดซับ เป็นดังรูปที่ 13 ประกอบด้วยท่อคลริก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 เซนติเมตร ยาว 50 เซนติเมตร ท่อลดพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8.5 เซนติเมตร ลดเป็น 2.5 เซนติเมตร มีวาล์วทางเข้าก๊าซชีวภาพ (inlet gas) ซึ่งแยกออกเป็น 2 ทาง ทางหนึ่งไว้สำหรับเป็นทางเข้าก๊าซ และอีกทางหนึ่งไว้สำหรับการเก็บตัวอย่างมาเพื่อวิเคราะห์ ส่วนวาล์วทางออกก๊าซ (Outlet gas) แยกออกเป็น 2 ทางเช่นกัน ทางหนึ่งเป็นทางออกก๊าซ ไว้สำหรับวัดองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ และอีกทางหนึ่ง ไว้สำหรับวัดค่าพีเอส



รูป 13 ระบบกรองกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จากระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

ทำการบรรจุเปลือกมังคุดที่ผ่านการลดความชื้นและลดขนาดแล้ว ติดตั้งระบบกรองเข้ากับระบบผลิตก๊าซชีวภาพ ดังรูปที่ 14 จากนั้น ทำการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ และก๊าซมีเทน โดยการวัดความเข้มข้นของก๊าซทั้ง 2 ชนิด ด้วยเครื่อง mobile gas chromatography วัดทุกๆ 10 นาที เป็นระยะเวลา 90 นาที



รูป 14 การติดตั้งระบบกรองกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ กับระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

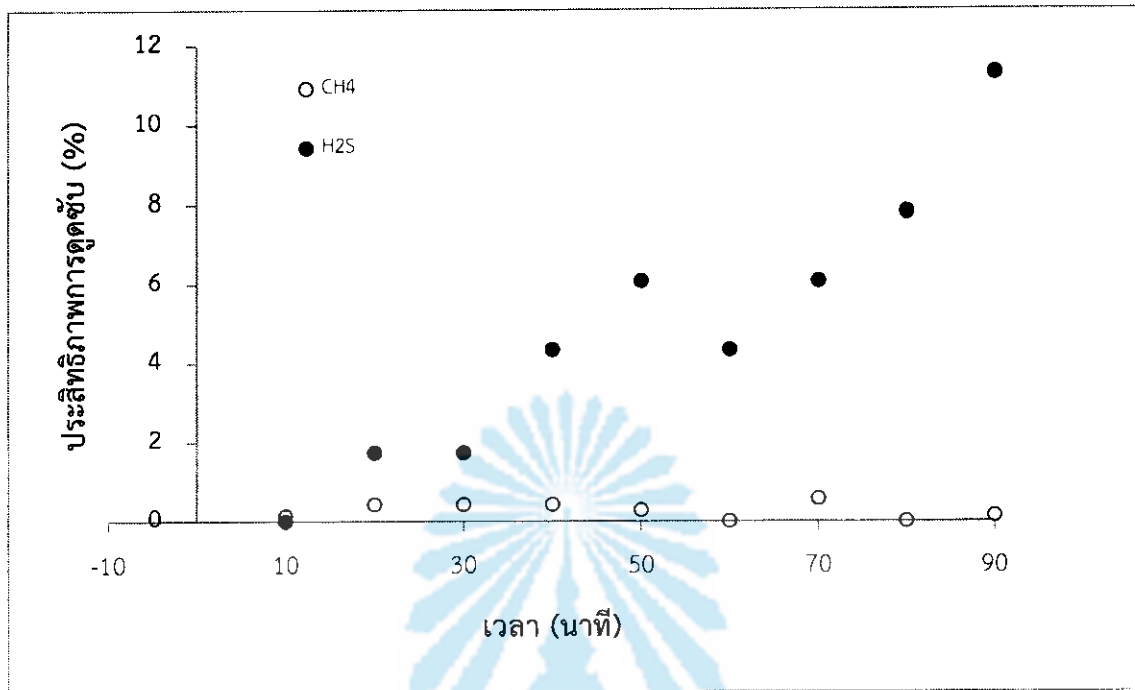


ประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ และก๊าซมีเทน แสดงไว้ดังตารางที่ 5 และเมื่อนำข้อมูลมาเขียนกราฟ เป็นดังภาพที่ 15 พบว่า เปลือกมังคุดสามารถดูดซับแก๊สมีเทนได้น้อย มีค่าประสิทธิภาพการดูดซับ อยู่ที่ระหว่าง ร้อยละ 0.00 – 0.28 และมีประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ค่อนข้างต่ำเช่นกัน มีค่าอยู่ระหว่าง ร้อยละ 0.00 – 11.30 ซึ่งจากกราฟ จะเห็นได้ชัดว่า ประสิทธิภาพการดูดซับเพิ่มขึ้น เมื่อระยะเวลาในการดูดซับเพิ่มขึ้น นั้นหมายถึง สมดุลการดูดซับระหว่างเปลือกมังคุดและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ เกิดขึ้นที่ระยะเวลาการดูดซับยาว จากผลการทดลอง เปลือกมังคุดไม่แสดงศักยภาพในการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ จึงไม่ใช่ตัวดูดซับที่ดีในการทำมาความสะอาดก๊าซชีวภาพ

จากนั้น ทำการวัดค่าพีเอชของสารละลายก๊าซชีวภาพ โดยใช้กระดาษอินดิเคเตอร์ 20 มิลลิลิตร ใส่ในบีกเกอร์ ขนาด 50 มิลลิลิตร จากนั้น ให้ก๊าซชีวภาพไหลผ่านลงในน้ำด้วยอัตราการไหลคงที่ แล้ววัดค่า pH ของน้ำดีไอ เปรียบเทียบค่า pH เมื่อก๊าซชีวภาพไหลผ่านน้ำโดยตรง และค่า pH เมื่อก๊าซชีวภาพไหลผ่านระบบกรองที่บรรจุเปลือกมังคุด แล้วไหลผ่านน้ำ ตารางที่ 6 แสดงค่า pH ของก๊าซชีวภาพที่ไหลผ่านน้ำ ก่อนและหลังกระบวนการดูดซับ และเมื่อนำค่ามาเขียนกราฟเปรียบเทียบ แสดงไว้ดังรูปที่ 16

ตาราง 5 ประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และก๊าซมีเทน ของเปลือกมังคุด

เวลา (นาที)	CH <sub>4</sub>			H <sub>2</sub> S		
	ก่อนการดูดซับ (%)	หลังการดูดซับ (%)	ประสิทธิภาพการดูดซับ (%)	ก่อนการดูดซับ (%)	หลังการดูดซับ (%)	ประสิทธิภาพการดูดซับ (%)
10	69.9	69.8	0.1430	1150	1150	0.0000
20	69.9	69.6	0.4292	1150	1130	1.7391
30	69.9	69.6	0.4292	1150	1130	1.7391
40	69.9	69.6	0.4292	1150	1100	4.3478
50	69.9	69.7	0.2861	1150	1080	6.0869
60	69.9	69.9	0.0000	1150	1100	4.3478
70	69.9	69.5	0.5722	1150	1080	6.0869
80	69.9	69.9	0.0000	1150	1060	7.8260
90	69.9	69.8	0.1430	1150	1020	11.3043



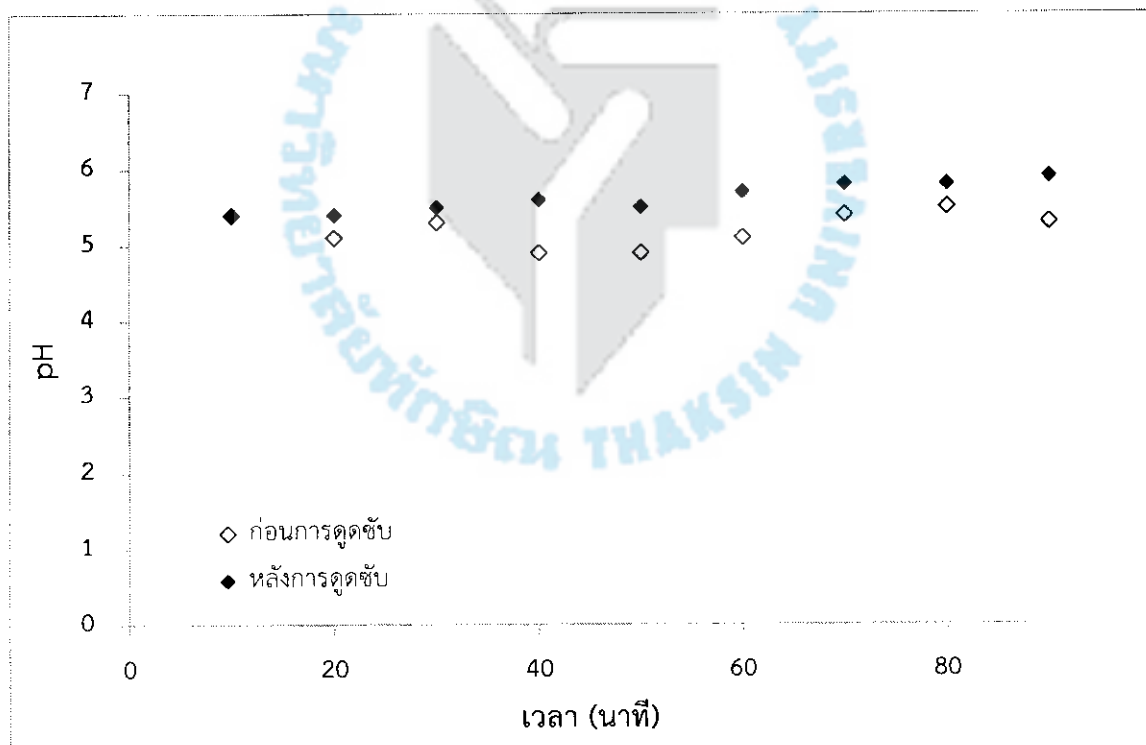
รูป 15 กราฟแสดงประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (●) และก๊าซมีเทน (○) ของเปลือกมังคุด

จากผลการทดลอง พบว่า ค่า pH ก่อนการดูดซับมีค่าต่ำกว่าค่า pH หลังการดูดซับ ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่า เมื่อผ่านกระบวนการดูดซับ ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่อยู่ในก๊าซชีวภาพ จะมีปริมาณลดลง เมื่อเทียบกับก่อนกระบวนการดูดซับ เพราะก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ เมื่อละลายลงในน้ำ จะเปลี่ยนกรดซัลฟิวริก ซึ่งมีความเป็นกรด และส่งผลต่อค่าความเป็นกรดเบสของน้ำ

การใช้เปลือกมังคุดเป็นตัวดูดซับ เพื่อกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพ ค่อนข้างมีประสิทธิภาพต่ำ สามารถกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้น้อย และระยะเวลาในการใช้งานต่ำ นั้นหมายถึง เปลือกมังคุดยังไม่เหมาะสมต่อการประยุกต์ใช้เป็นตัวดูดซับ เพื่อกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในครัวเรือน ดังนั้น จึงไม่เหมาะสมในการนำมาประยุกต์ใช้ในครัวเรือน เพื่อการถ่ายทอดองค์ความรู้สู่ชุมชน จึงจำเป็นต้องหาตัวดูดซับที่เหมาะสมยิ่งขึ้น

ตาราง 6 ค่า pH ของการละลายน้ำของก๊าซชีวภาพ ก่อนและหลังกระบวนการดูดซับด้วยเปลือกมังคุด

เวลา (นาที)	pH ก่อนการดูดซับ	pH หลังการดูดซับ
10	5.4	5.4
20	5.1	5.4
30	5.3	5.5
40	4.9	5.6
50	4.9	5.5
60	5.1	5.7
70	5.4	5.8
80	5.5	5.8
90	5.3	5.9



รูป 16 ค่า pH การละลายของก๊าซชีวภาพในน้ำดีไอก่อนและหลังกระบวนการดูดซับ

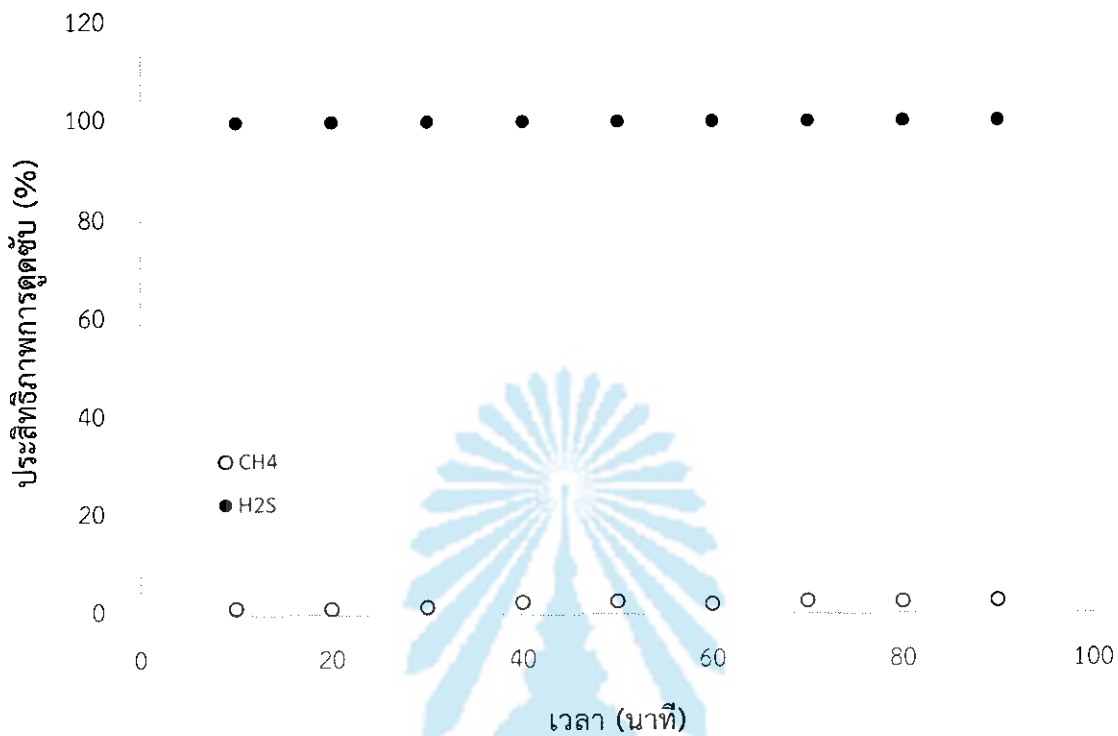
ในการดำเนินงานวิจัยนี้ จึงจำเป็นต้องพัฒนาตัวดูดซับที่เหมาะสมในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ จึงได้พัฒนาคุณสมบัติของเปลือกมังคุด เป็นถ่านเปลือกมังคุด โดยใช้กระบวนการไพโรไลซิส และใช้ความร้อนที่ ประมาณ 400 – 500 องศาเซลเซียส ซึ่งได้ผลิตถ่านเป็นถ่านเปลือกมังคุด เมื่อศึกษาคุณสมบัติของถ่านเปลือก มังคุด ปริมาณความชื้นและค่าการดูดซับไอโอดีน ซึ่งแสดงผลไว้ดังตารางที่ 7

ตาราง 7 คุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของถ่านเปลือกมังคุด

คุณสมบัติ	การดูดซับแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ด้วยเปลือกมังคุด
ปริมาณความชื้น	1.3051
ค่าไอโอดีนนัมเบอร์	681.65

ตาราง 8 ประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และก๊าซมีเทนของถ่านเปลือกมังคุด

เวลา (นาที)	CH <sub>4</sub>			H <sub>2</sub> S		
	ก่อนการดูดซับ (%)	หลังการดูดซับ (%)	ประสิทธิภาพการดูดซับ (%)	ก่อนการดูดซับ (ppm)	หลังการดูดซับ (ppm)	ประสิทธิภาพการดูดซับ (%)
10	70.9	69.9	1.4104	920	0	100
20	70.9	70.0	1.2694	920	0	100
30	70.9	69.8	1.5514	920	0	100
40	70.9	69.1	2.5388	920	0	100
50	70.9	69.0	2.6798	920	0	100
60	70.9	69.4	2.1157	920	0	100
70	70.9	69.0	2.6798	920	0	100
80	70.9	69.1	2.5388	920	0	100
90	70.9	69.0	2.6798	920	0	100

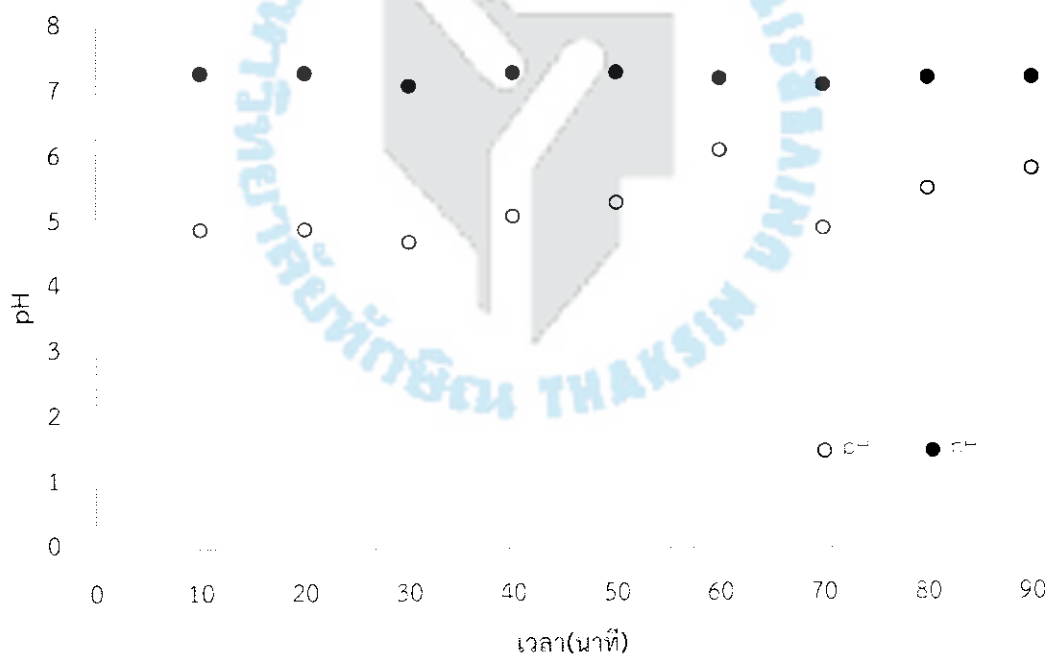


รูป 17 ประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และก๊าซมีเทนของถ่านเปลือกมังคุด

จากตารางที่ 7 เห็นว่าค่าความชื้นของถ่านเปลือกมังคุดมีค่าต่ำกว่าค่าความชื้นของเปลือกมังคุดแห้ง ในขณะที่ค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านเปลือกมังคุดมีค่าสูงกว่าค่าการดูดซับไอโอดีนของเปลือกมังคุด แสดงว่าถ่านเปลือกมีความเหมาะสมในการเป็นตัวดูดซับ เมื่อทำการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และก๊าซมีเทน ผลการทดลองเป็นดังตารางที่ 8 และเป็นดังภาพที่ 16 จากผลการทดลอง จะพบว่าประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซมีเทนของถ่านเปลือกมังคุด มีค่าอยู่ระหว่าง ร้อยละ 1.2 - 2.6 ในขณะที่ประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ของถ่านเปลือกมังคุด อยู่ที่ร้อยละ 100 ตลอดระยะเวลา 90 นาทีของการทดลอง ดังนั้น ถ่านเปลือกมังคุดจึงมีคุณสมบัติเป็นตัวดูดซับที่ดี ในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ออกจากก๊าซชีวภาพ การวัดค่า pH ของการละลายของก๊าซชีวภาพ เป็นการยืนยันกระบวนการดูดซับด้วยถ่านเปลือกมังคุด จากการศึกษา พบว่า ค่า pH ก่อนการดูดซับมีค่าต่ำกว่าค่า pH หลังกระบวนการดูดซับ โดยก่อนการดูดซับ สารละลายจะมีค่า pH อยู่ระหว่าง 4.9 - 5.8 และหลังการดูดซับ สารละลายจะมีค่า pH อยู่ระหว่าง 7.1 - 7.3 ซึ่งปริมาณของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการดูดซับ และหลังการดูดซับ แสดงถึงการดูดซับของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์บนถ่านเปลือกมังคุด

ตาราง 9 ค่า pH ของการละลายของก๊าซชีวภาพในน้ำดีไอก่อนและหลังการดูดซับด้วยถ่านเปลือกมังคุด

เวลา (นาที)	pH	
	ก่อนการดูดซับ	หลังการดูดซับ
10	4.9	7.3
20	4.9	7.3
30	4.7	7.1
40	5.1	7.3
50	5.3	7.3
60	6.1	7.2
70	4.9	7.1
80	5.5	7.2
90	5.8	7.2



รูป 18 ค่า pH ของการละลายของก๊าซชีวภาพในน้ำดีไอก่อนและหลังการดูดซับด้วยถ่านเปลือกมังคุด

### ตอนที่ 3 การถ่ายทอดองค์ความรู้สู่ชุมชน

ในขั้นตอนสุดท้ายของโครงการวิจัยนี้ เป็นการถ่ายทอดองค์ความรู้สู่ชุมชน ซึ่งได้เลือกชุมชนที่มีการใช้งานก๊าซชีวภาพในครัวเรือน ระบบก๊าซชีวภาพแบบถังพลาสติกใช้ในครัวเรือน คือ พื้นที่ชุมชนบ้านหัวคู ตำบลสระแก้ว อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครศรีธรรมราช โดยใช้ระบบกรองก๊าซชีวภาพที่ประกอบด้วยคอลัมน์ออกซิเจน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 เซนติเมตร และยาว 50 เซนติเมตร ใช้ถ่านเปลือกมังคุดเป็นตัวดูดซับ จากนั้น ได้ลงพื้นที่เพื่อถ่ายทอดองค์ความรู้เกี่ยวกับการความสะอาดก๊าซชีวภาพด้วยเปลือกมังคุด ติดตั้งระบบกรองก๊าซชีวภาพในครัวเรือนนําร่อง จำนวน 5 ครัวเรือน ถ่ายทอดวิธีการใช้งานระบบกรองก๊าซชีวภาพด้วยถ่านเปลือกมังคุด การดูแลรักษาระบบ



รูป 19 การถ่ายทอดองค์ความรู้และฝึกทักษะปฏิบัติการใช้งานระบบกรองก๊าซชีวภาพด้วยเปลือกมังคุด

หลังจากติดตามผลการใช้งานระบบกรองก๊าซชีวภาพ พบว่า ครัวเรือนนําร่องมีความพึงพอใจในระบบกรองก๊าซชีวภาพ เพราะว่าสามารถลดกลิ่นเหม็นที่มาจากก๊าซชีวภาพขณะใช้งานก๊าซชีวภาพในการหุงต้มในครัวเรือนลงอย่างชัดเจน กลิ่นเหม็นของก๊าซชีวภาพ คือ กลิ่นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลทางห้องปฏิบัติการ เปลือกมังคุดมีประสิทธิภาพสูงในการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

## บทที่ 5 สรุปผลโครงการวิจัย

โครงการวิจัยชิ้นนี้ ได้ทำการศึกษาการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพ ด้วยกระบวนการดูดซับ โดยใช้วัสดุพิเศษเหลือทางการเกษตรที่หาได้ง่ายในท้องถิ่นเป็นตัวดูดซับ การดำเนินงานแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน ขั้นตอนแรก คือ การคำนวณอันตรกิริยาระหว่างก๊าซของค์ประกอบต่างของก๊าซชีวภาพ 4 ชนิด ได้แก่ มีเทน คาร์บอนไดออกไซด์ แอมโมเนีย และไฮโดรเจนซัลไฟด์ และโครงสร้างของแมงโกสติน 3 ชนิด ได้แก่  $\alpha$ -mangostin,  $\beta$ -mangostin,  $\gamma$ -mangostin เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้วัสดุที่มีแมงโกสตินเป็นองค์ประกอบสำหรับการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพ ขั้นตอนที่สอง เป็นการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพของเปลือกมังคุดในห้องปฏิบัติการ และขั้นตอนสุดท้าย เป็นการถ่ายทอดองค์ความรู้ระบบกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์สู่ชุมชน ซึ่งชุมชนที่เลือก คือ ชุมชนบ้านหัวคู ตำบลนาแหร่ง อำเภอนบพิตำ จังหวัดนครศรีธรรมราช ซึ่งเป็นชุมชนที่มีเปลือกมังคุดเป็นวัสดุพิเศษเหลือทางการเกษตร และเป็นชุมชนที่ใช้ก๊าซชีวภาพทดแทนการใช้ก๊าซ LPG ในการหุงต้มในครัวเรือน

ในขั้นตอนแรก การศึกษาการเกิดอันตรกิริยาของ โมเลกุลก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ คาร์บอนไดออกไซด์ แอมโมเนีย และมีเทนบนโครงสร้าง Mangostin ชนิด  $\alpha$ -mangostin,  $\beta$ -mangostin,  $\gamma$ -mangostin จำนวนด้วยระเบียบวิธี DFT (B3LYP /6-31G (d,p)) พบว่าโครงสร้างของ Mangostin ทั้ง 3 ชนิด สามารถเกิดอันตรกิริยากับองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพที่ศึกษาทั้ง 4 ชนิด โดยมีค่าพลังงานการดูดซับ (adsorption energy) กับโมเลกุลของก๊าซแอมโมเนียสูงที่สุด รองลงมาคือ โมเลกุลก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และคาร์บอนไดออกไซด์ ส่วนโมเลกุลก๊าซมีเทนดูดซับได้น้อยมาก และโครงสร้างของ Mangostin ชนิด  $\alpha$ -mangostin,  $\beta$ -mangostin มีค่าพลังงานการดูดซับกับไฮโดรเจนซัลไฟด์ใกล้เคียงกันมาก และสูงกว่า ค่าพลังงานการดูดซับที่เกิดขึ้นกับ  $\gamma$ -mangostin ผลที่ได้จากการคำนวณเป็นข้อมูลพื้นฐานในการทำการทดลองการดูดซับโมเลกุลก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ คาร์บอนไดออกไซด์ และแอมโมเนียออกจากก๊าซชีวภาพ

ในขั้นตอนที่สอง ศึกษากระบวนการดูดซับเพื่อใช้กับระบบจริงของการหมักก๊าซชีวภาพจากเศษอาหารในครัวเรือน โดยนำระบบบำบัดก๊าซชีวภาพไปติดตั้ง ณ ถังเก็บก๊าซชีวภาพที่ได้จากการหมักก๊าซชีวภาพจากเศษเหลือจากการแปรรูปไก่ ณ โรงก๊าซชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง เริ่มจากการศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของเปลือกมังคุด (ค่าความชื้นและค่าการดูดซับไอโอดีน) พบว่าเปลือกมังคุด มีปริมาณความชื้นน้อย และมีค่าการดูดซับไอโอดีนสูง จากนั้นเก็บตัวอย่างก่อนผ่านระบบบำบัดก๊าซชีวภาพ และหลังผ่านระบบบำบัดก๊าซชีวภาพ ทำการเก็บตัวอย่างก๊าซชีวภาพหลังผ่านระบบบำบัดก๊าซชีวภาพทุกๆ 10 นาที เป็นระยะเวลา 90 นาที วิเคราะห์ตัวอย่างก๊าซดังกล่าวด้วยเครื่อง Gas Chromatography พบว่า เปลือกมังคุดมีประสิทธิภาพในการดูดซับก๊าซมีเทน (น้อยกว่า 0.28 %) และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (น้อยกว่า 11.30%) น้อยมาก จึงไม่เหมาะสมในการเป็นตัวดูดซับ เพื่อกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จากระบบหมักก๊าซชีวภาพ จึงได้ทำการพัฒนาคุณสมบัติของเปลือกมังคุด เป็นถ่านเปลือกมังคุด ด้วยกระบวนการไพโรไลซิส เมื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของถ่านเปลือกมังคุด พบว่ามีค่าความชื้นต่ำกว่า และค่าการดูดซับ



ไอโอดีนสูงกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับเปลือกมังคุดแห้ง เมื่อศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับของถ่านเปลือกมังคุดพบว่า ถ่านเปลือกมังคุดมีศักยภาพในการดูดซับก๊าซมีเทนต่ำ และมีศักยภาพในการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์สูงถึง 100% ตลอดระยะเวลา 90 นาที ดังนั้น จึงเลือกใช้ถ่านเปลือกมังคุดเป็นตัวดูดซับในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จากระบบหมักก๊าซชีวภาพ

ขั้นตอนสุดท้าย การถ่ายทอดองค์ความรู้เกี่ยวกับการกรองก๊าซชีวภาพด้วยถ่านเปลือกมังคุดสู่ชุมชนพบว่าครัวเรือนน้ำร่องมีความพึงพอใจในระบบกรองก๊าซชีวภาพ เพราะสามารถลดกลิ่นเหม็นที่มาจากก๊าซชีวภาพขณะใช้งานก๊าซชีวภาพในการหุงต้มในครัวเรือนลงได้ ซึ่งหมายถึงเปลือกมังคุดสามารถดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ สอดคล้องกับข้อมูลทางห้องปฏิบัติการ

ยิ่งไปกว่านั้น มีการติดตามผลระยะเวลากการใช้งานตัวดูดซับถ่านเปลือกมังคุดในครัวเรือนน้ำร่อง พบว่า การใช้งานถ่านเปลือกมังคุดเป็นตัวดูดซับสำหรับกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ มีประสิทธิภาพการดูดซับ 100 % เป็นระยะเวลา 10 วันแรก จากนั้น ประสิทธิภาพการดูดซับจะค่อยๆ ลดลง แต่อย่างไรก็ตาม ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ปนเปื้อนในก๊าซชีวภาพ ยังไม่เกินเกณฑ์มาตรฐาน ซึ่งยังอยู่ในระดับที่ไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม หลังจากงานวิจัยชิ้นนี้ จะมีการศึกษาระยะเวลากการใช้งานของการใช้ถ่านเปลือกมังคุดเป็นตัวดูดซับอีกต่อไป



## เอกสารอ้างอิง

Antonio Joao Cruz et al.,(2005). Physical Adsorption of H<sub>2</sub>S Related to the Conservation of Works of Art: The Role of the Pore Structure at Low Relative Pressure. *Manufactured in The Netherlands*. 11: 569–576.

C. Ebner, U. Onthong, M. Probst, Computational study of hydrated phosphate anions. *J. Molecular Liquids*. 118 (2005) 15– 25.

Gao, Li., Keener, K. C., Zhuang, L., and Siddiqui, F. K. (2001). A technical and economic comparison of biofiltration and wet chemical oxidation (scrubbing) for odor control at wastewater treatment plants. *Environ Eng Policy*. 2: 203-212

Goksel N. Dermirer and Shulin Chen. Anaerobic digestion of dairy manure in a hybrid reactor with biogas recirculation. *World Journal of Microbiology & Biotechnology* (2005) 21. 1509-1514

Pawinee, C., Annop, N., Tanong, C., Chinnapong, W., Warin, R., Pratin, K., Sakarindr, B. and Morakot, T. Thai Biogas Plants-High Rate Anaerobic Fixed Film Technology for Agroindustrial Wastewater. Research and Development Cluster Unit of Waste Utilization and Management Laboratory King Mongkut's University of Technology Thonburi (KMUTT).

Stephanie Lansing, RaúlBoteroBotero and Jay F. Martin. Waste treatment and biogas quality in small-scale agricultural digesters. *Bioresource Technology*, Volume 99, Issue 13, September 2008, Pages 5881-5890

Yakoh kharemdabeh.Usa onthong. (2009).การดูดซับฟอสเฟตบน H-zeolite โดยระเบียบวิธีการคำนวณทางเคมีคอมพิวเตอร์ ที่ระดับการคำนวณ HF/6-31G\* และ B3LYP/6-31G\*.

Y. Kim, J.H. Kim, K.G. Lee and S.G. Kang. Recycling of dust wastes as lightweight aggregates. *J. Ceramic Processing Research*. 6 (2005) 91-94.

Usa Onthong. (2009). ศึกษาการดูดซับโมเลกุลก๊าซอย่างง่ายบนโครงสร้างซีโอไลต์ ด้วยระเบียบวิธีการคำนวณทางเคมีคอมพิวเตอร์ที่ระดับการคำนวณ B3LYP/6-31G.

จันทิมา ชั่งสิริพร, วันใหม่เลิศระการสกุล,ผกาวรรณอ่อนขวัญเพชร และนิรติศัยรักมาก. (2552). การกำจัด H<sub>2</sub>S ในก๊าซชีวภาพด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชัน. การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ครั้งที่ 6. 21-22 พฤษภาคม 2552

ณัฐพล รัตนमुखย์ (2549) การกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยเครื่องกรองชีวภาพ วิทยานิพนธ์ (วศ.ม.) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รจนันท์ สมุทรเพชร. (2552).การศึกษาผลกระทบของปัจจัยควบคุมทางสิ่งแวดล้อมต่อประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในถังปฏิกรณ์ชีวภาพ (Biofilter).

วงศ์วิวรรธ อนุศิลป์ และ สุนันทา เลาว์ณย์ศิริ (2555) การกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จากก๊าซชีวภาพ โดยใช้ถ่านกัมมันต์และเหล็ก การประชุมวิชาการแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 9 6-7 ธันวาคม 2555 นครปฐม

สมวรรณ ศรีเจริญ. 2550. การกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยใช้น้ำเสียจากโรงงานน้ำมันปาล์มที่ผ่านการบำบัดแล้วเป็นตัวดูดซับ. คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. กรุงเทพมหานคร

สุชน ตั้งทวีวัฒน์ งามอาจ สองสี และ บุญล้อม ชีวะอิสระกุล (2549) การผลิตก๊าซชีวภาพเพื่อลดมลภาวะและเป็นแหล่งพลังงานทดแทนสำหรับเกษตรกรรายย่อย รายงานวิจัย คลินิกเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

