

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญรูป	ช
สารบัญตาราง	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์หลักของแผนงานวิจัย	2
1.3 ทฤษฎี สมมติฐาน และ/หรือ กรอบแนวความคิดของแผนงานวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.5 ระเบียบวิธีดำเนินการวิจัย	4
1.6 ผลการดำเนินงาน	5
1.7 สรุปผลการดำเนินงาน	8
1.8 งานที่ควรจะทำต่อไป	8
บทที่ 2 การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาขนาดนาโนในกระบวนการผลิตก๊าซไฮโดรเจนจาก เมทานอลด้วยวิธีปฏิกิริยาไอน้ำ	
2.1 ที่มาและความสำคัญ	10
2.2 วัตถุประสงค์หลักของโครงการวิจัย	12
2.3 การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	12
2.4 ระเบียบวิธีดำเนินการวิจัย	16
2.5 ผลการวิจัย และการอภิปรายผล	17
2.5.1 คุณสมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยา	18
2.5.2 การทดสอบความสามารถในการเร่งปฏิกิริยารีฟอร์มมิงเมทานอลด้วยไอน้ำ	26
2.6 สรุปและข้อเสนอแนะ	32
2.6.1 สรุปผลการดำเนินงาน	32
2.6.2 ข้อเสนอแนะ	33
2.7 บรรณานุกรม	34

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 การเตรียมถ่านกัมมันต์จากวัสดุเหลือใช้เพื่อเป็นตัวรองรับคะตะลิสต์	
3.1 ที่มาและความสำคัญ	37
3.2 การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	39
3.3 ระเบียบวิธีดำเนินการวิจัย	41

3.3.1 การเตรียมถ่านกัมมันต์	41
3.3.2 การวิเคราะห์วัตถุติดและถ่านกัมมันต์	44
3.4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล	44
3.4.1 การวิเคราะห์คุณสมบัติโดยประมาณ	44
3.4.2 การวิเคราะห์พฤติกรรมของการสลายตัวทางความร้อน	45
3.4.3 ผลได้ (Yield)	47
3.4.4 การวิเคราะห์ค่าพื้นที่ผิวจำเพาะ และขนาดของรูพรุน	48
3.4.5 การถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	50
3.4.6 การวิเคราะห์ด้วยไอโซเทอมของการดูดซับ	51
3.4.7 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy	52
3.5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	53
3.5.1 สรุปผลการวิจัย	53
3.5.2 ข้อเสนอแนะ	54
3.6 บรรณานุกรม	54
บทที่ 4 การเตรียมอัลจินเทร่วมกับไคโตซานในการตรึงเซลล์จุลสาหร่ายระดับอนุภาคนาโนเพื่อผลิตก๊าซไฮโดรเจน	
4.1 ความเป็นมาหลักการและเหตุผล	58
4.2 วัตถุประสงค์	60
4.3 การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	60
4.3.1 กระบวนการผลิตแก๊สไฮโดรเจนของจุลสาหร่ายชนิดต่างๆ	60
4.3.2 การตรึงเซลล์ด้วยวัสดุชนิดต่างๆ	63
4.4 ระเบียบวิธีดำเนินการวิจัย	68
4.4.1 การคัดเลือกสายพันธุ์สาหร่ายและทดสอบหาสภาวะที่เหมาะสมที่สามารถผลิตมวลและผลิตก๊าซรวมได้สูงสุด	68
4.4.2 หาสัดส่วนที่เหมาะสมระหว่างสารละลายแคลเซียมคลอไรด์และสารละลายสตรอนเทียมคลอไรด์ที่ใช้ในการฟอร์มตัว	69

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.4.3 การหาอัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับการตรึงเซลล์ด้วยอัลจินเทร	70
4.4.4 การตรึงเซลล์ด้วยอัลจินเทรและเคลือบด้วยไคโตซาน	70
4.4.5 การวัดผล	71
4.4.6 เปรียบเทียบปริมาณแก๊สไฮโดรเจน	72
4.5 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล	
4.5.1 ผลการวิจัย	73
4.5.1.1 การเปรียบเทียบและคัดเลือกสายพันธุ์สาหร่ายที่สามารถผลิตมวลและแก๊สไฮโดรเจนได้สูงสุด	73
4.5.1.2 หาสัดส่วนที่เหมาะสมระหว่างสารละลายแคลเซียมคลอไรด์และสารละลายสตรอนเทียมคลอไรด์ ที่ใช้ในการฟอร์มตัว	77

4.5.1.3 การตรึงเซลล์ด้วยอัลจิเนท	79
4.5.1.4 การตรึงเซลล์ด้วยอัลจิเนท และเคลือบด้วยไคโตซาน	84
4.5.1.5 ทดสอบการผลิตก๊าซไฮโดรเจนของจุลสาหร่ายที่ถูกตรึง	92
4.5.2 อภิปรายผลการทดลอง	
4.5.2.1 การคัดเลือกสายพันธุ์สาหร่ายและทดสอบหาสภาวะที่เหมาะสมที่สามารถผลิตมวลและผลิตแก๊สรวมได้สูงสุด	93
4.5.2.2 หาสัดส่วนที่เหมาะสมระหว่างสารละลายแคลเซียมคลอไรด์และสารละลายสตรอนเทียมคลอไรด์ ที่ใช้ในการฟอร์มตัว	95
4.5.2.3 การตรึงเซลล์ด้วยอัลจิเนท	96
4.5.2.4 การตรึงเซลล์ด้วยอัลจิเนทและเคลือบด้วยไคโตซาน	96
4.5.2.5 ทดสอบการผลิตก๊าซไฮโดรเจนของจุลสาหร่ายที่ถูกตรึง	98
4.6 สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ	
4.6.1 สรุปผลการทดลอง	98
4.6.1.1 การตรึงเซลล์ด้วยอัลจิเนท	98
4.6.1.2 การตรึงเซลล์ด้วยอัลจิเนทเคลือบไคโตซาน	98
4.6.2 ข้อเสนอแนะ	99
4.7 บรรณานุกรม	99
ภาคผนวก ก	106
ภาคผนวก ข	113
ส่วนประกอบตอนท้าย	114

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1.1 แผนการรวมงานวิจัยเพื่อใช้ก๊าซไฮโดรเจนในการผลิตกระแสไฟฟ้าผ่านเซลล์เชื้อเพลิงแบบเยื่อเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน	8
รูปที่ 2.1 วัตถุดิบและวิธีการสำหรับผลิตก๊าซไฮโดรเจน	11
รูปที่ 2.2 เครื่องวิเคราะห์พื้นที่ผิว และรูพรุน	17
รูปที่ 2.3 รูปแบบ XRD ของตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีปริมาณซีเรียมออกไซด์และเซอร์โคเนียมออกไซด์คงที่ที่ร้อยละ 40 โดยเป็นซีเรียมออกไซด์ร้อยละ 32 และเซอร์โคเนียมออกไซด์ร้อยละ 8 และมีปริมาณของ ซิงค์ออกไซด์ต่ออลูมิเนียมออกไซด์ ($\text{ZnO}:\text{Al}_2\text{O}_3$) ทั้ง 9 สัดส่วน เทียบกับตำแหน่งพีคมาตรฐานของซิงค์ออกไซด์ (ZnO) (ก) 20:80 (ข) 30:70 (ค) 40:60 (ง) 50:50 (จ) 60:40 (ฉ) 70:30 (ช) 80:20 (ซ) 90:10 (ม) ZnO 100% และ (ย) ZnO มาตรฐาน	20
รูปที่ 2.4 รูปแบบ XRD ของตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีปริมาณซีเรียมออกไซด์และเซอร์โคเนียมออกไซด์คงที่ที่ร้อยละ 40 โดยเป็นซีเรียมออกไซด์ร้อยละ 32 และเซอร์โคเนียมออกไซด์ร้อยละ 8 และมีปริมาณของซิงค์ออกไซด์ต่ออลูมิเนียมออกไซด์ ($\text{ZnO}:\text{Al}_2\text{O}_3$) ทั้ง 9 สัดส่วน เทียบกับตำแหน่งพีคมาตรฐานของโลหะออกไซด์ผสมซีเรียมเซอร์โคเนียมออกไซด์ ($\text{Ce}_{0.75}\text{Zr}_{0.25}\text{O}_2$)	21

(ก) 20:80 (ข) 30:70 (ค) 40:60 (ง) 50:50 (จ) 60:40 (ฉ) 70:30 (ช) 80:20 (ซ) 90:10 (ม) ZnO 100% และ (ย) Ce _{0.75} Zr _{0.25} O ₂ มาตรฐาน	
รูปที่ 2.5 รูปแบบ EDX ของตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีปริมาณซีเรียออกไซด์และเซอร์โคเนียมออกไซด์ คงที่ที่ร้อยละ 40 โดยเป็นซีเรียออกไซด์ร้อยละ 32 และเซอร์โคเนียมออกไซด์ร้อยละ 8 และมีปริมาณของซิงค์ออกไซด์ต่ออลูมิเนียมออกไซด์ (ZnO: Al ₂ O ₃) ร้อยละ 20:80 โดยน้ำหนัก	23
รูปที่ 2.6 รูปแบบ EDX ของตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีปริมาณซีเรียออกไซด์และเซอร์โคเนียมออกไซด์ คงที่ที่ร้อยละ 40 โดยเป็นซีเรียออกไซด์ร้อยละ 32 และเซอร์โคเนียมออกไซด์ร้อยละ 8 และมีปริมาณของ ซิงค์ออกไซด์ต่ออลูมิเนียมออกไซด์ (ZnO: Al ₂ O ₃) ร้อยละ 50:50 โดยน้ำหนัก	24
รูปที่ 2.7 รูปแบบ EDX ของตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีปริมาณซีเรียออกไซด์และเซอร์โคเนียมออกไซด์ คงที่ที่ร้อยละ 40 โดยเป็นซีเรียออกไซด์ร้อยละ 32 และเซอร์โคเนียมออกไซด์ร้อยละ 8 และมีปริมาณของ ซิงค์ออกไซด์ต่ออลูมิเนียมออกไซด์ (ZnO: Al ₂ O ₃) ร้อยละ 70:30 โดยน้ำหนัก	24

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 2.8 รูปแบบ EDX ของตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีปริมาณซีเรียออกไซด์และเซอร์โคเนียมออกไซด์ คงที่ที่ร้อยละ 40 โดยเป็นซีเรียออกไซด์ร้อยละ 32 และเซอร์โคเนียมออกไซด์ร้อยละ 8 และมีปริมาณของ ซิงค์ออกไซด์ต่ออลูมิเนียมออกไซด์ (ZnO: Al ₂ O ₃) ร้อยละ 90:10 โดยน้ำหนัก	25
รูปที่ 2.9 ร้อยละการเปลี่ยนแปลงเมทานอลคอนเวอร์ชันในการเร่งปฏิกิริยารีฟอร์มมิ่งเมทานอล ด้วยไอน้ำ	29
รูปที่ 2.10 ร้อยละการเลือกเกิดปฏิกิริยาของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในการเร่งปฏิกิริยา รีฟอร์มมิ่งเมทานอลด้วยไอน้ำ	30
รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการเตรียมถ่านกัมมันต์จากเปลือกมังคุด	43
รูปที่ 3.2 กราฟ TG/dTG ของ (ก) เปลือกมังคุดที่ยังไม่ได้ผ่านการกระตุ้น, (ข) เปลือกมังคุด ที่ผสมกับสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ และ (ค) สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์	46
รูปที่ 3.3 ภาพถ่ายถ่านกัมมันต์ที่เตรียมและปรับสภาพด้วยวิธีการต่างๆ ด้วยกล้อง จุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดด้วยกำลังขยาย 5000 เท่า	50
รูปที่ 3.4 ไอโซเทอมของการดูดซับและการคายซับของถ่านกัมมันต์	51
รูปที่ 3.5 ผลการวิเคราะห์ FTIR ของถ่านกัมมันต์ — AC ผลการวิเคราะห์ FTIR ของ ถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการกระตุ้นด้วยไอน้ำ และ ■■■ AC(HNO ₃) ผลการวิเคราะห์ FTIR ของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการกระตุ้นด้วยไอน้ำ และผ่านการปรับสภาพหลังการ กระตุ้นด้วยกรดไนตริก	52
รูปที่ 4.1 การสังเคราะห์แสงของจุลสาหร่ายไฟโตอีโตรีฟิค	61
รูปที่ 4.2 การสังเคราะห์แสงของไฟโตเฮเทอโรโทรฟิค	61
รูปที่ 4.3 ชุดการเก็บแก๊สไฮโดรเจน	72
รูปที่ 4.4 สภาพความเป็นกรด-เบส ต่อการเพิ่มมวลชีวภาพของจุลสาหร่ายสายพันธุ์ Amphora sp.	73

รูปที่ 4.5 สภาพความเป็นกรด-เบส ต่อการเพิ่มมวลชีวภาพของจุลสาหร่ายสายพันธุ์ <i>Spirulina</i> sp.	74
รูปที่ 4.6 สภาพความเป็นกรด-เบส ต่อการเพิ่มแก๊สรวมของจุลสาหร่ายสายพันธุ์ <i>Amphora</i> sp.	75
รูปที่ 4.7 สภาพความเป็นกรด-เบส ต่อการเพิ่มแก๊สรวมของจุลสาหร่าย สายพันธุ์ <i>Spilurina</i> sp.	76
รูปที่ 4.8 ความแข็งแรงของเม็ดอัลจิเนทเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ ที่สารละลายต่างๆ	77
รูปที่ 4.9 การมีชีวิตรอดและการเจริญเติบโตของเซลล์จุลสาหร่ายของเม็ดอัลจิเนท เข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ ที่สารละลายต่างๆ	78
รูปที่ 4.10 ความแข็งแรงของเม็ดอัลจิเนท เมื่อความเข้มข้นของสารละลายอัลจิเนท 2, 2.5, 3, 3.5 และ 4 เปอร์เซ็นต์ (w/v) ตามลำดับ	79

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.11 การเจริญเติบโตของสาหร่าย เมื่อความเข้มข้นของสารละลายอัลจิเนท 2, 2.5, 3, 3.5 และ 4 เปอร์เซ็นต์ (w/v) ตามลำดับ	80
รูปที่ 4.12 ความแข็งแรงของเม็ดอัลจิเนท เมื่อปริมาณของเซลล์จุลสาหร่าย 0.75, 1.5, 1.875 และ 2.35 กรัม (แห้ง) ในอัลจิเนท 100 มิลลิลิตร	81
รูปที่ 4.13 การเจริญเติบโตของเซลล์จุลสาหร่าย ในปริมาณของเซลล์จุลสาหร่าย 0.75, 1.5, 1.875 และ 2.35 กรัม (แห้ง) ตามลำดับ	81
รูปที่ 4.14 ความแข็งแรงของเม็ดจุลสาหร่ายถูกแช่ในสารละลายสตรอนเทียมคลอไรด์ 4 เปอร์เซ็นต์ ที่ 2 และ 12 ชั่วโมง	82
รูปที่ 4.15 การเจริญเติบโตของเม็ดจุลสาหร่ายที่ถูกแช่ในสารละลายสตรอนเทียมคลอไรด์ 4 เปอร์เซ็นต์ เวลา 2 และ 12 ชั่วโมง	83
รูปที่ 4.16 ความแข็งแรงของเม็ดตรึงอัลจิเนท-โคโคซานที่ความเข้มข้นของโคโคซานต่างๆ และที่ความเข้มแสง (ก) 1200 ลักซ์ (ข) 1600 ลักซ์ และ (ค) 2000 ลักซ์	85
รูปที่ 4.17 ความแข็งแรงของเม็ดตรึงอัลจิเนท-โคโคซานที่ความเข้มข้นของโคโคซานต่างๆ เม็ดตรึงมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.3 มิลลิเมตร และที่ความเข้มแสง (ก) 1200 ลักซ์ (ข) 1600 ลักซ์ และ (ค) 2000 ลักซ์	86
รูปที่ 4.18 ความแข็งแรงของเม็ดตรึงอัลจิเนท-โคโคซานที่ความเข้มข้นของโคโคซานต่างๆ เม็ดตรึงมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 มิลลิเมตร และที่ความเข้มแสง (ก) 1200 ลักซ์ (ข) 1600 ลักซ์ และ (ค) 2000 ลักซ์	87
รูปที่ 4.19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนเซลล์กับเวลาของเซลล์อิสระ	88
รูปที่ 4.20 การเจริญและรอดชีวิตของจุลสาหร่ายที่อัลจิเนทเข้มข้น 4% เม็ดตรึงมีขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 2.3 มิลลิเมตร ที่ความเข้มแสง (ก) 1200 ลักซ์ (ข) 1600 ลักซ์ และ (ค) 2000 ลักซ์	89
รูปที่ 4.21 การเจริญและรอดชีวิตของจุลสาหร่ายที่อัลจิเนทเข้มข้น 4% เม็ดตรึงมีขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 2.3 มิลลิเมตร ที่ความเข้มแสง (ก) 4000 ลักซ์ (ข) 6000 ลักซ์ และ (ค) 8000 ลักซ์	91
รูปที่ 4.22 การเจริญและรอดชีวิตของจุลสาหร่ายที่อัลจิเนทเข้มข้น 4% เม็ดตรึงมีขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 มิลลิเมตร ที่ความเข้มแสง (ก) 4000 ลักซ์ (ข) 6000 ลักซ์ และ (ค) 8000 ลักซ์	92

รูปที่ 4-23 อัตราการผลิตก๊าซไฮโดรเจนระหว่างเซลล์เปล่า เซลล์ที่ตรึงด้วยอัลจิเนท และ เซลล์ที่ถูกตรึงด้วยอัลจิเนทเคลือบไคโตซาน	93
รูปที่ ก-1 การผสมจุลสาหร่ายกับอัลจิเนท	107

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ ก-2 การนับเซลล์จุลสาหร่าย	107
รูปที่ ก-3 จุลสาหร่ายที่ทำการตรึงเซลล์ด้วยอัลจิเนท	108
รูปที่ ก-4 เซลล์ภายในเม็ดตรึง	108
รูปที่ ก-5 การหยดอัลจิเนทที่ผสมกับเซลล์จุลสาหร่ายลงในสารละลายสตรอนเทียมคลอไรด์ โดยใช้ peristaltic pump	109
รูปที่ ก-6 การให้ออกซิเจนแก่จุลสาหร่ายที่ทำการตรึงเซลล์	109
รูปที่ ก-7 การใช้ตะแกรงกรองเม็ดตรึงเพื่อเปลี่ยนอาหาร	110
รูปที่ ก-8 ขวดแบนทางขวามือคือเม็ดที่ตรึงด้วยอัลจิเนทเริ่มหลุดลอกทำให้อาการมีความขุ่นขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับขวดทางซ้ายมือ (อาหารเริ่มต้น)	110
รูปที่ ก-9 ความเข้มข้นของสารละลายอัลจิเนท 2, 2.5, 3, 3.5 และ 4 เปอร์เซ็นต์ (w/v) ตามลำดับในสารละลายสตรอนเทียม 4 เปอร์เซ็นต์ (w/v) ในวันที่ 7	111
รูปที่ ก-10 ภาพเปรียบเทียบเม็ดตรึงเมื่อเวลาผ่านไป 12 วัน ระหว่างเม็ดตรึงที่ไม่เคลือบไคโตซาน และเม็ดตรึงที่เคลือบด้วยไคโตซานเข้มข้น 0.4 เปอร์เซ็นต์ ที่ความเข้มแสง 2000 ลักซ์	112

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 พื้นที่ผิวจำเพาะและขนาดรูพรุนของตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีอัตราส่วนร้อยละของซิงค์ออกไซด์ และอลูมิเนียมออกไซด์โดยน้ำหนักต่างกัน	18
ตารางที่ 2.2 ขนาดผลึกของตัวเร่งปฏิกิริยา โดยมีอัตราส่วนร้อยละของซิงค์ออกไซด์ และอลูมิเนียมออกไซด์โดยน้ำหนักต่างกัน	22
ตารางที่ 3.1 ผลได้ของถ่านกัมมันต์ พื้นที่ผิวจำเพาะ และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนเฉลี่ยของถ่านกัมมันต์จากเปลือกมังคุดที่เตรียมด้วยวิธีต่างๆ	49
ตารางที่ 4.1 ข้อดีและข้อเสียของ photoautotrophic และ photoheterotrophic ในกระบวนการผลิตไฮโดรเจน	63
ตารางที่ 4.2 สรุปการตรึงเซลล์จุลินทรีย์โดยวิธีการและวัสดุแบบต่างๆ	65
ตารางที่ 4.3 สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของจุลสาหร่ายเมื่อถูกตรึง	67

