

สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ	ค
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
สารบัญ	ฉ
สารบัญตาราง	ฎ
สารบัญภาพ	ฏ
อักษรย่อและสัญลักษณ์	ค
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 ชีวมวล	3
1.2.1 ศักยภาพชีวมวลและการใช้ประโยชน์เชิงพลังงาน	6
1.2.2 สมบัติของชีวมวล	10
1.3 แกสซิฟิเคชัน (Gasification)	11
1.3.1 วิวัฒนาการของกระบวนการแกสซิฟิเคชัน	11
1.3.2 ทฤษฎีแกสซิฟิเคชัน	13
1.3.2.1 ปฏิกิริยาเผาไหม้พื้นฐาน (Fundamental combustion reaction)	15
1.3.2.2 ปฏิกิริยาในกระบวนการแกสซิฟิเคชัน	16
1.3.2.3 ประเภทของกระบวนการแกสซิฟิเคชัน	18
(Classification of gasification)	
1.4 แก๊สไฮโดรเจน	24
1.4.1 การผลิตแก๊สไฮโดรเจน	24
1.4.2 การจัดเก็บแก๊สไฮโดรเจน	24

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
1.5 การชะละลาย (Leaching)	25
1.5.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการชะละลาย	26
1.5.1.1 การเตรียมของแข็ง	26
1.5.1.2 อุณหภูมิการสกัด	27
1.5.2 ประเภทของปฏิบัติการและลักษณะของเครื่องสกัด	27
1.5.2.1 ปฏิบัติการในสถานะไม่คงที่	27
1.5.2.2 ปฏิบัติการในสถานะคงที่	27
1.5.3 ประสิทธิภาพการสกัด	27
1.6 ตัวเร่งปฏิกิริยา	28
1.7 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	34
1.8 วัตถุประสงค์ของโครงการ	36
1.9 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการศึกษา เจริญทฤษฎีและ/หรือเชิงประยุกต์	36
1.10 ขอบเขตงานวิจัย	37
บทที่ 2 การทดลอง	38
2.1 วัสดุ สารเคมี และอุปกรณ์	38
2.1.1 วัสดุ	38
2.1.2 สารเคมี	38
2.1.3 เครื่องมือและอุปกรณ์	39
2.1.4 ชุดเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง (Fixed bed reactor system)	40
2.1.5 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ (Gas chromatograph)	41
2.2 วิธีการทดลอง	42
2.2.1 การเตรียมวัตถุดิบ	42
2.2.2 การวิเคราะห์ปริมาณกลุ่มสาร	43

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.2.3 การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ	43
2.2.4 การวิเคราะห์หาค่าความร้อนสูง	43
2.2.5 การชะละลายแก้วของถ่านหินเพื่อเตรียมเป็นตัวอย่างปฏิกิริยา	44
2.2.6 การเตรียมตัวอย่างปฏิกิริยานิกเกิลบนถ่านหินลิกไนต์โดยวิธีแลกเปลี่ยนไอออน (Ion-exchange)	46
2.2.7 การหาปริมาณร้อยละของนิกเกิลในตัวอย่างปฏิกิริยา	47
2.2.8 การหา Heating zone ของท่อปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง	48
2.2.9 การทดสอบอุณหภูมิของเครื่องระเหย	48
2.2.10 การทดสอบอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง	49
2.2.11 การหาอัตราส่วนโดยมวลของขี้เถ้าต่อตัวอย่างปฏิกิริยาที่เหมาะสมในการแกสซิฟิเคชันด้วยไอน้ำแบบมีตัวเร่งปฏิกิริยา	49
2.2.12 การหาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการผลิตแก๊สไฮโดรเจนจากขี้เถ้าโดยแกสซิฟิเคชันด้วยไอน้ำแบบมีตัวเร่งปฏิกิริยา	51
2.2.13 การวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (GC – TCD)	51
2.2.14 สรุปวิธีการทดลองในงานวิจัย	51
บทที่ 3 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	55
3.1 การวิเคราะห์แบบประมาณแบบแยกธาตุและค่าความร้อนสูงของขี้เถ้าและถ่านหิน	55
3.2 ผลการเตรียมตัวอย่างปฏิกิริยานิกเกิลบนถ่านหินลิกไนต์จากถ่านหินที่ผ่านและไม่ผ่านการชะละลายแก้ว	56
3.2.1 ผลการชะละลายแก้วของถ่านหิน	56
3.2.2 ผลการวิเคราะห์ธาตุในถ่านหินและตัวอย่างปฏิกิริยา	58
3.2.3 ผลการวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวของถ่านหินก่อนและหลังการเตรียมเป็นตัวอย่างปฏิกิริยานิกเกิลบนถ่านหินลิกไนต์	60
3.2.4 ปริมาณร้อยละของนิกเกิลในตัวอย่างปฏิกิริยานิกเกิลบนถ่านหินลิกไนต์	64

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.3 ผลการทดสอบอุณหภูมิของเครื่องระเหย	65
3.4 ผลการหา Heating zone ของท่อปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง	66
3.5 ผลการทดสอบอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่งที่อุณหภูมิต่าง ๆ	68
3.6 ผลการศึกษาการผลิตแก๊สไฮโดรเจนจากจีแอลเอมส์โดยแก๊สฟิเคชันไอน้ำ โดยใช้ถ่านหินที่ผ่านการชะละลายแล้วเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา	69
3.6.1 ผลการทดลองการแก๊สฟิเคชันจีแอลเอมส์โดยใช้ไอน้ำและ ไม่ใช้ไอน้ำโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา	69
3.6.2 ผลการทดลองการแก๊สฟิเคชันจีแอลเอมส์ด้วยไอน้ำ แบบใช้ตัวเร่งปฏิกิริยากับไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา	70
3.6.3 ผลการศึกษาการหาอัตราส่วนโดยมวลของจีแอลเอมส์ต่อตัวเร่งปฏิกิริยาที่ เหมาะสมในการผลิตแก๊สไฮโดรเจนจากจีแอลเอมส์โดยแก๊สฟิเคชันด้วย ไอน้ำแบบมีตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลบนถ่านหินลิกไนต์	72
3.6.3.1 ผลของอัตราส่วนโดยมวลของจีแอลเอมส์ต่อตัวเร่งปฏิกิริยา นิกเกิลบนถ่านหินลิกไนต์ต่อการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์	72
3.6.3.2 ผลของอัตราส่วนโดยมวลของจีแอลเอมส์ต่อตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิล บนถ่านหินลิกไนต์ต่อองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์แก๊ส	74
3.6.3.3 ผลของอัตราส่วนโดยมวลของจีแอลเอมส์ต่อตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิล บนถ่านหินลิกไนต์ต่อผลรวมของไฮโดรเจนกับคาร์บอนมอน- นอกไซด์(H_2+CO) และอัตราส่วนร้อยละ โดยโมลของคาร์บอน- มอนอกไซด์ต่อ คาร์บอนไดออกไซด์ (CO/CO_2) และ ไฮโดรเจนต่อคาร์บอนมอนอกไซด์ (H_2/CO)	76
3.6.3.4 ผลของอัตราส่วนโดยมวลของจีแอลเอมส์ต่อตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิล บนถ่านหินลิกไนต์ต่อร้อยละสารป้อนที่ทำปฏิกิริยาไปของ จีแอลเอมส์ และร้อยละผลิตภัณฑ์ที่ได้ต่อสารป้อนที่ทำปฏิกิริยา ไปของผลิตภัณฑ์แก๊ส	78

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.6.4 ผลการศึกษาการหาอุณหภูมิที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตแก๊สไฮโดรเจนจากชี้เลี้ยงโดยแกสิฟิเคชันด้วยไอน้ำแบบมีตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลบนถ่านหินลิกไนต์	80
3.6.4.1 ผลของอุณหภูมิต่อการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์ทั้งหมด	81
3.6.4.2 ผลของอุณหภูมิต่อองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์แก๊สแต่ละชนิด	82
3.6.4.3 ผลของอุณหภูมิต่อผลรวมของไฮโดรเจนกับคาร์บอนมอนอกไซด์(H_2+CO) และอัตราส่วนร้อยละโดยโมลของไฮโดรเจนต่อคาร์บอนมอนอกไซด์(H_2/CO)และคาร์บอนมอนอกไซด์ต่อคาร์บอนไดออกไซด์ (CO/CO_2)	84
3.6.4.4 ผลของอุณหภูมิต่อร้อยละสารป้อนที่ทำปฏิกิริยาไปของชี้เลี้ยงและร้อยละผลิตภัณฑ์ที่ได้ต่อสารป้อนที่ทำปฏิกิริยาไปของผลิตภัณฑ์แก๊ส	87
3.7 ผลการศึกษาตัวเร่งปฏิกิริยาโดยใช้ถ่านหินที่ผ่านการชะละลายแล้ว	88
3.7.1 ผลของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์ทั้งหมด	89
3.7.2 ผลของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์แก๊สแต่ละชนิด	90
3.7.3 ผลของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อผลรวมของไฮโดรเจนกับคาร์บอนมอนอกไซด์(H_2+CO) และอัตราส่วนร้อยละโดยโมลของไฮโดรเจนต่อคาร์บอนมอนอกไซด์(H_2/CO) และคาร์บอนมอนอกไซด์ต่อคาร์บอนไดออกไซด์ (CO/CO_2)	91
3.7.4 ผลของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อร้อยละสารป้อนที่ทำปฏิกิริยาไปของชี้เลี้ยงและร้อยละผลิตภัณฑ์ที่ได้ต่อสารป้อนที่ทำปฏิกิริยาไปของผลิตภัณฑ์แก๊ส	93

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.8 การเปรียบเทียบผลงานวิจัยกับผลงานวิจัยต่างประเทศ	95
บทที่ 4 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	98
4.1 สรุปผลการทดลอง	98
4.2 ข้อเสนอแนะ	107
บรรณานุกรม	108
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก การวิเคราะห์ปริมาณกลุ่มสารของขี้เลื่อย	114
ภาคผนวก ข การวิเคราะห์ปริมาณกลุ่มสารของถ่านหิน	116
ภาคผนวก ค การวิเคราะห์แบบแยกธาตุของขี้เลื่อยและถ่านหิน	118
ภาคผนวก ง การวิเคราะห์ค่าความร้อนสูงและปริมาณซัลเฟอร์ของขี้เลื่อยและถ่านหิน	119
ภาคผนวก จ การหาปริมาณร้อยละโดยน้ำหนักของนิกเกิลในตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลบนถ่านหินลิกไนต์	125
ภาคผนวก ฉ การวิเคราะห์แก๊สโครมาโทกราฟของผลิตภัณฑ์แก๊ส	127
ภาคผนวก ช กราฟมาตรฐานของผลิตภัณฑ์แก๊ส	131
ภาคผนวก ซ โครมาโทแกรมของผลิตภัณฑ์แก๊ส	133
ภาคผนวก ฌ การคำนวณ	135
ภาคผนวก ญ การทำสมดุลคาร์บอน	138
ประวัติผู้เขียน	140

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
1.1 สักยภาพชีวมวลของประเทศไทยปี พ.ศ. 2550-2551	8
1.2 ปฏิบัติการเผาไหม้พื้นฐาน	15
1.3 Major independent & Dependent gasifier characteristics	18
1.4 ลักษณะการดำเนินการของ Moving bed gasifiers โดยใช้ Bituminous coals มีการป้อนไอน้ำและออกซิเจน หรืออากาศ	20
1.5 การแบ่งตัวรองรับตามจุดหลอมเหลวและความเป็นกรด-เบส	30
1.6 ตัวรองรับชนิดต่าง ๆ ตามพื้นที่ผิว	31
2.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	38
2.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	39
3.1 ผลการวิเคราะห์แบบประมาณ แบบแยกธาตุ และค่าความร้อนสูงของ จี๊เลื้อยและถ่านหิน	55
3.2 ปริมาณเถ้าของถ่านหินที่ผ่านการชะละลายเถ้าที่เวลาต่างๆ	57
3.3 ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุโลหะของถ่านหิน	58
3.4 ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุโลหะของตัวเร่งปฏิกิริยา	59
3.5 ปริมาณร้อยละ โดยน้ำหนักของนิกเกิลในตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลบนถ่านหินลิกไนต์	64
3.6 อุณหภูมิในส่วน Heating zone ของท่อปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง	66
3.7 ปริมาณเถ้าของถ่านหินที่ใช้เตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา	89
3.8 การเปรียบเทียบงานวิจัยกับงานวิจัยอื่น	96
ง-1 การวิเคราะห์หาค่าความร้อนสูงในการทดลอง	122
ง-2 ข้อมูลต่างๆ ที่ใช้ในการคำนวณค่าความร้อนสูงของถ่านหิน	123
จ-1 ค่าการดูดกลืนแสงของสารมาตรฐานนิกเกิลที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	125
จ-2 ปริมาณร้อยละนิกเกิลของตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลบนถ่านหินลิกไนต์	126
ซ -1 ค่า Retention time ของผลิตภัณฑ์แก๊สและแก๊สมาตรฐาน	133

สารบัญภาพ

รูป	หน้า
1.1 โครงสร้างของเซลล์โฟล	10
1.2 กระบวนการเกิดแก๊สฟิเคชัน	14
1.3 Moving bed gasifier	14
1.4 ตัวอย่างของ Lurgi dry ash gasifier	21
1.5 เตาผลิตแก๊ส 4 ประเภท	23
2.1 ชุดเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่งในกระบวนการแก๊สฟิเคชันด้วยไอน้ำแบบมีตัวเร่งปฏิกิริยา	40
2.2 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ	41
2.3 เครื่องบด (Hammer mill)	42
2.4 เครื่องร่อนคัดขนาด	42
2.5 จีเลื่อย	42
2.6 เครื่องวิเคราะห์ค่าความร้อน (Bomb calorimeter)	44
2.7 ก่อตั้งจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	45
2.8 เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรสโคปี	45
2.9 สารละลายนิเกิล	46
2.10 สารละลายนิเกิลผสมกับถ่านหิน	46
2.11 ชุดกรองตัวเร่งปฏิกิริยา	46
2.12 ตัวเร่งปฏิกิริยา	46
2.13 โถดูดความชื้น (Desicator)	47
2.14 เครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง	48
2.15 ท่อปฏิกรณ์	50
2.16 เครื่องระเหย	50
2.17 ถังเก็บแก๊สผลิตภัณฑ์	50
2.18 ถ่านชาร์จีเลื่อย	50
2.19 แผนผังสรุปงานวิจัย	52

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูป	หน้า
3.1 แนวโน้มปริมาณก๊าซของถ่านหินที่ผ่านการชะละลายไถ้ที่เวลาต่างๆ	57
3.2 ลักษณะพื้นผิวของถ่านหินที่ไม่ผ่านการชะละลายไถ้	61
3.3 ลักษณะพื้นผิวของถ่านหินที่ผ่านการชะละลายไถ้ที่เวลา 60 นาที	61
3.4 ลักษณะพื้นผิวของถ่านหินที่ผ่านการชะละลายไถ้ที่เวลา 120 นาที	61
3.5 ลักษณะพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมจากถ่านหินที่ไม่ผ่านการชะละลายไถ้	62
3.6 ลักษณะพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาของถ่านหินที่ผ่านการชะละลายไถ้ที่เวลา 60 นาที	63
3.7 ลักษณะพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาของถ่านหินที่ผ่านการชะละลายไถ้ที่เวลา 120 นาที	63
3.8 ผลการทดสอบอุณหภูมิของเครื่องระเหยที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส	65
3.9 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิกับระยะห่างจากตะแกรงในท่อปฏิกรณ์	67
3.10 อุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์แบบเบคกิงที่อุณหภูมิต่าง ๆ	68
3.11 ผลการใช้ไอน้ำและไม่ใช้ไอน้ำในการแกสฟิเคชันของซีลี้อยโดยไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยา	70
3.12 ผลการทดลองการแกสฟิเคชันซีลี้อยด้วยไอน้ำแบบใช้ตัวเร่งปฏิกิริยากับไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาและผลของการแกสฟิเคชันตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยไอน้ำในขณะที่ไม่มีซีลี้อย	71
3.13 ผลของอัตราส่วนโดยมวลของซีลี้อยต่อตัวเร่งปฏิกิริยาต่อการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์	73
3.14 ผลของอัตราส่วนโดยมวลของซีลี้อยต่อตัวเร่งปฏิกิริยาต่อองค์ประกอบผลิตภัณฑ์แก๊ส	75
3.15 ผลของอัตราส่วนโดยมวลของซีลี้อยต่อตัวเร่งปฏิกิริยาต่อผลผลรวมของไฮโดรเจนกับการ์บอนมอนอกไซด์	76
3.16 ผลของอัตราส่วนโดยมวลของซีลี้อยต่อตัวเร่งปฏิกิริยาต่ออัตราส่วนร้อยละโดยโมลของ H_2/CO และ CO/CO_2	77
3.17 ผลของอัตราส่วนโดยมวลของซีลี้อยต่อตัวเร่งปฏิกิริยาต่อร้อยละสารป้อนที่ทำปฏิกิริยาไปของซีลี้อย	79
3.18 ผลของอัตราส่วนโดยมวลของซีลี้อยต่อตัวเร่งปฏิกิริยาต่อร้อยละผลิตภัณฑ์ที่ได้ต่อสารป้อนที่ทำปฏิกิริยาไปของผลิตภัณฑ์แก๊ส	79

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูป	หน้า
3.19 ผลของอุณหภูมิต่อการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์แก๊สทั้งหมดในการ แกสซิฟิเคชันจากชี้เลื่อยด้วยไอน้ำ แบบมีตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลบนถ่านหินลิกไนต์	81
3.20 ผลของอุณหภูมิที่ 600, 650 และ 700 องศาเซลเซียส ต่อองค์ประกอบผลิตภัณฑ์ แก๊สแต่ละชนิดโดยใช้ไอน้ำและตัวเร่งปฏิกิริยา	82
3.21 แนวทางการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างการแกสซิฟิเคชันของถ่านหิน	84
3.22 ผลของอุณหภูมิต่อผลรวมของไฮโดรเจนกับคาร์บอนมอนอกไซด์	86
3.23 ผลของอุณหภูมิต่ออัตราส่วนร้อยละโดยโมลของ H_2/CO และ CO/CO_2	86
3.24 ผลของอุณหภูมิต่อร้อยละสารป้อนที่ทำปฏิกิริยาไปของชี้เลื่อย	87
3.25 ผลของอุณหภูมิต่อร้อยละผลิตภัณฑ์ที่ได้ต่อสารป้อนที่ทำปฏิกิริยาไปของผลิตภัณฑ์แก๊ส	87
3.26 ผลของอุณหภูมิต่อการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์แก๊สทั้งหมดในการแกสซิฟิเคชันจาก ชี้เลื่อยด้วยไอน้ำ โดยใช้ถ่านหินที่ผ่านการชะละลายแล้วเป็นตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลบน ถ่านหินลิกไนต์	89
3.27 ผลของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อองค์ประกอบผลิตภัณฑ์แก๊สแต่ละในการแกสซิฟิเคชันจาก ชี้เลื่อยด้วยไอน้ำ โดยใช้ถ่านหินที่ผ่านการชะละลายแล้วเป็นตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิล บนถ่านหินลิกไนต์	91
3.28 ผลของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อผลรวมของไฮโดรเจนกับคาร์บอนมอนอกไซด์ในการ แกสซิฟิเคชันจากชี้เลื่อยด้วยไอน้ำ โดยใช้ถ่านหินที่ผ่านการชะละลายแล้วเป็น ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลบนถ่านหินลิกไนต์	92
3.29 ผลของอุณหภูมิต่อร้อยละผลิตภัณฑ์ที่ได้ต่อสารป้อนที่ทำปฏิกิริยาไปของผลิตภัณฑ์ แก๊สในการแกสซิฟิเคชันจากชี้เลื่อยด้วยไอน้ำ โดยใช้ถ่านหินที่ผ่านการชะละลายแล้ว เป็นตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลบนถ่านหินลิกไนต์	92
3.30 ผลของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อร้อยละสารป้อนที่ทำปฏิกิริยาไปของชี้เลื่อย	94
3.31 ผลตัวเร่งปฏิกิริยาต่อร้อยละผลิตภัณฑ์ที่ได้ต่อสารป้อนที่ทำปฏิกิริยาไปของ ผลิตภัณฑ์แก๊ส	95

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูป	หน้า
ง-1 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงกับเวลา ในการทดลองบอมบ์แคลอริมิเตอร์ของจี้เลื่อย	123
จ-1 กราฟมาตรฐานนิกเกิล	125
ฉ-1 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ	127
ช-1 กราฟมาตรฐานของแก๊สไฮโดรเจน	131
ช-2 กราฟมาตรฐานของแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์	132
ช-3 กราฟมาตรฐานของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์	132
ช-1 โครมาโทแกรมของผลิตภัณฑ์แก๊สที่ได้จากการแกสลิฟเคชันจี้เลื่อยด้วยไอน้ำแบบ มีตัวเร่งปฏิกิริยา โดยมีอัตราส่วนโดยมวลของจี้เลื่อยต่อตัวเร่งปฏิกิริยาเป็น 1:1 ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส	134
ช-2 โครมาโทแกรมของผลิตภัณฑ์แก๊สที่ได้จากการแกสลิฟเคชันจี้เลื่อยด้วยไอน้ำแบบ มีตัวเร่งปฏิกิริยา โดยมีอัตราส่วนโดยน้ำหนักของจี้เลื่อยต่อตัวเร่งปฏิกิริยาเป็น 1:1 ที่อุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียส	134
ญ-1 สมดุลคาร์บอนที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียสที่อัตราส่วนโดยมวลของจี้เลื่อย ต่อตัวเร่งปฏิกิริยา 1:1	139
ญ-2 สมดุลคาร์บอนที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส ที่อัตราส่วนโดยมวลของจี้เลื่อย ต่อตัวเร่งปฏิกิริยา 1:3	139

อักษรย่อและสัญลักษณ์

ชื่อย่อ	ชื่อเต็ม
$^{\circ}\text{C}$	องศาเซลเซียส (Degree celcius)
%	เปอร์เซ็นต์ (Percentage)
%wt	เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (Percentage by weight)
mg/g	มิลลิกรัมต่อกรัม (Milligram per gram)
ml/min	มิลลิลิตรต่อนาที (Milliliter per minute)
MJ/kg	เมกะจูลต่อกิโลกรัม (Megajoule per kilogram)
M	โมลาร์ (Molar)
mg/l	มิลลิกรัมต่อลิตร (Milligram per litre)
ppm	หนึ่งในล้านส่วน (Part per million)
ml	มิลลิลิตร (Millitter)
lb	ปอนด์ (Pound)
cal	แคลอรี (Calori)
cal/g	แคลอรีต่อกรัม (Calori per gram)
N	นิวตัน (Newton)