การออกแบบและสร้างโรงงานต้นแบบผลิตแก๊สสังเคราะห์

นายสาธิต จิตต์จงรัก

วิทยานิพนธ์นี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2530

ISBN 974-567-862-7

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

012853

I10297224

DESIGN AND CONSTRUCTION OF A PROTOTYPE PLANT FOR SYNTHESIS GAS PRODUCTION

Mr. Sathid Jitjongruck

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Chemical Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

1987

ISBN 974-567-862-7

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การออกแบบและสร้างโรงงานต้นแบบผลิตแก๊สสังเคราะห์
โดย	นายสาธิต จิตต่จงรัก
ภาควิชา	วิศวกรรมเคมี
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร. ปิยะสาร ประเสริฐธรรม

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..................................คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ ดร. ถาวร วัชราภัย)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..................................ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชัยฤทธิ์ สัตยาประเสริฐ)

..................................กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ปิยะสาร ประเสริฐธรรม)

..................................กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อุรา ปานเจริญ)

..................................กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. เกริกชัย สุกาญจนัจที)

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การออกแบบและสร้างโรงงานต้นแบบผลิตแก๊สสังเคราะห์
ชื่อนิสิต นายสาเหต จิตต์จงรัก
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.ปิยะสาร ประเสริฐธรรม
ภาควิชา วิศวกรรมเคมี
ปีการศึกษา 2529

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อ

[illegible] มอนนอกไซด์ [illegible] เปอร์เซนต์ [illegible] ผลิตแก๊สต้องมีคาร์บอนไดออกไซด์ในสายแก๊สไม่เกิน 2 เปอร์เซนต์ [illegible] ไอน้ำในสายแก๊สที่ออกต่ำกว่า 20 องศาเซลเซียส และสามารถเดินเครื่องได้ตลอด 24 ชั่วโมง โดยมีหน่วยปฏิบัติการหลัก 4 ระบบ ระบบที่ 1 คือ เตาผลิตแก๊สสังเคราะห์ เป็นเตาแบบ [illegible] (Moving bed) [illegible] ในเตาเป็นแบบ [illegible] ระบบที่ 2 คือ [illegible]

[illegible]

Thesis Title	Design and Construction of a Prototype Plant for Synthesis Gas Production
Name	Mr. Sathid Jitjongruck
Thesis Advisor	Associate Professor Piyasarn Prasertdham
Department	Chemical Engineering
Academic Year	1986

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ABSTRACT

The propose of this research is to design and construct of a Prototype Plant for Synthesis Gas Production from Biomass. Under the condition of using saw mill & wood charcoal to be the feed stock of this plant. Fourty five cubic meter per hours, 24 hours operation is the capability of this plant, having the summation of percentage of carbonmonoxide and hydrogen about 32, and 2 % maximum for gas carbondioxide in gas leaving with it's dew point at 20 degree celcius. The four systems of principle operation units have been [illegible] in this prototype plant. The first one [illegible] gases flow. The second system is designed to capture dust, ash and tar form gases stream, which is consisted of Scrubber and Spray column, using direct contacting with water. The third system is the carbondioxide absorption. Monoethanolamine solution have been used for limitting the amount of carbondioxide at below 2 %. The last system is dehydration by using silica gel. The leaving dew point of gas stream is lower than 20 ° celcius.

This plant have the combination of carbonmonoxide and hydrogen percentage [illegible] leaving [illegible] about 24 % with $CO:H_2$ ratio about [illegible] which is acceptable. The leaving gas from

absorption and dehydration having [illegible] % carbondioxide maximum and 11.1 degree celcius. By changing the ration of wood charcoal vs saw mill can vary $CO:H_2$ ratio, the ratio 1:2 ratio was recommended.

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ผู้ให้พละ กำลังแด่ผู้เขียน ขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร. ปิยะสาร ประเสริฐธรรม ผู้เป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ให้คำแนะนำ กำลังใจ และความสนับสนุน ในการทำวิทยานิพนธ์เรื่องนี้ ขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร. ชัยฤทธิ์ สัตยาประเสริฐ ผู้เป็นประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ และขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร. เกริกชัย สุกาญจนัจที ผศ.ดร. อุรา ปานเจริญ ผู้เป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้สละเวลา ให้คำปรึกษา แก้ไข และรับรองวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอขอบพระคุณ นายอัมพรชัย โหลทอง นายระวิ โหลทอง ผู้ให้อุปการะคุณแด่ผู้เขียน ขอขอบคุณ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ทุนสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์เรื่องนี้ ขอขอบคุณ นายพิสิฐ ภูมิวัฒน์ นายสุรพล ดาวพิเศษ นายพิเชษฐ ขุมทรัพย์ นายกอบบุญ หล่อทองคำ และ เพื่อน ๆ ในภาควิชาวิศวกรรมเคมี ที่ช่วยร่วมทำวิทยานิพนธ์เรื่องนี้ ขอขอบคุณ นางสาวสุนิภา ตันติวิชญ์โกศล ผู้ให้กำลังใจแก่ผู้เขียน นางสาวเกษณี รังสิโกสัย นางสาวสุจินดา ลีวาณิชย์ นางสาวเกล็ดแก้ว หิรัญรุจินงค์ นางสาวอัญชลีพร วาริทสวัสดิ์ นายลือชัย ธรรมวินัยสถิต นางสาววราภรณ์ ธนะกุลรังสรรค์ และ เพื่อนๆ ตลอดจนผู้ร่วมงานหลายท่านที่มิได้กล่าวนาม ผู้ช่วยเหลือให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ และท้ายที่สุดขอขอบคุณ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และคณาจารย์ ผู้ประสิทธิ์ประสาทวิชาแด่ผู้เขียน อันประมาณค่ามิได้

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

		หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย		ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ		ข
กิตติกรรมประกาศ		ค
สารบัญ		ง
สารบัญตาราง		ฉ
สารบัญรูป		ฎ
บทที่		
1	บทนำ	1
2	ทฤษฎีทั่ว ๆ ไปเกี่ยวกับระบบ	5
	2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับเตาผลิตแก๊สเชื้อเพลิง	5
	2.1.1 ปฏิกิริยาการเกิดแก๊สเชื้อเพลิง	5
	2.1.2 ส่วนต่าง ๆ ของเตาปฏิกรณ์	10
	2.1.3 แบบต่าง ๆ ของเตาผลิตแก๊สเชื้อเพลิง	10
	2.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับแก๊สซัลเฟอร์	14
	2.3 ทฤษฎีในการกำจัดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์	16
	2.3.1 การดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์โดยใช้น้ำ	17
	2.3.2 การดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์โดยใช้แอมโมเนีย	18
	2.3.3 การดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์โดยใช้สารเอททาโนลามีน	19
	2.3.4 การดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์โดยใช้สารละลายเกลือด่าง	22
	2.4 การดูดซับน้ำจากสายแก๊ส	31
	2.4.1 ลักษณะการดูดซับ	31
	2.4.2 สารดูดซับ	32

บทที่		หน้า
3	การออกแบบระบบต่าง ๆ	44
	3.1 การออกแบบเตาผลิตแก๊สสังเคราะห์	44
	3.2 การออกแบบสครับเบอร์	48
	3.3 การออกแบบหอดูดคาร์บอนไดออกไซด์	50
	3.4 การออกแบบหอกลั่นสารดูดคาร์บอนไดออกไซด์	54
	3.5 การออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน	55
	3.6 การออกแบบหม้อต้มซ้ำ	59
	3.7 การออกแบบเครื่องควบแน่น	59
	3.8 การออกแบบหอดูดความชื้น	63
4	การสร้างโรงงานต้นแบบผลิตแก๊สสังเคราะห์	69
	4.1 การสร้างเตาผลิตแก๊สสังเคราะห์	69
	4.1.1 การสร้างตัวถังส่วนบน	70
	4.1.2 การสร้างตัวถังส่วนเผาไหม้	71
	4.1.3 การสร้างส่วนเก็บกักเถ้าถ่าน	74
	4.1.4 การสร้างส่วนเก็บกักเชื้อเพลิง	75
	4.1.5 การสร้างช่องใส่ถ่านกลางเตา	75
	4.1.6 การประกอบเตาสังเคราะห์แก๊ส	78
	4.2 การสร้างสครับเบอร์	78
	4.3 การสร้างหอดูดคาร์บอนไดออกไซด์	82
	4.3.1 การสร้างตัวถังหอดูดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์	82
	4.3.2 การสร้างตัวถังส่วนหัว	84
	4.3.3 การสร้างส่วนล่างและฐาน	85
	4.3.4 การสร้างแผ่นกั้นแพคกิ้ง	86
	4.3.5 การสร้างแผ่นกระจายสารเคมี	86
	4.3.6 แพคกิ้ง	87
	4.3.7 การประกอบหอดูดคาร์บอนไดออกไซด์	87
	4.4 การสร้างหอกลั่นสารดูดคาร์บอนไดออกไซด์	88
	4.4.1 ส่วนตัวถัง	89
	4.4.2 ส่วนแผ่นชีฟ	90

บทที่		หน้า
	4.4.3 ส่วนตัวถังด้านล่าง	91
	4.4.4 ส่วนตัวจุดป้อนสารเคมีเข้า	91
	4.4.5 การประกอบ	91
	4.5 การสร้างคอนเดนเซอร์	93
	4.6 การสร้างเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน	94
	4.7 การสร้างส่วนต้มกลั่น	95
	4.8 การสร้างระบบขจัดความชื้นจากน้ำ	96
5	การเดินเครื่องโรงงานต้นแบบผลิตแก๊สสังเคราะห์	100
	5.1 ตรวจสอบความเรียบร้อยของอุปกรณ์	100
	5.2 การเปิดตู้ควบคุม	101
	5.3 การเดินระบบต่าง ๆ	101
	5.4 การหยุดเครื่องระบบต่าง ๆ	102
	5.5 การควบคุมเตาผลิตแก๊สสังเคราะห์	103
	5.6 การควบคุมสครับเบอร์	103
	5.7 การควบคุมหอดูดคาร์บอนไดออกไซด์และหอกลั่นสารเคมี	103
	5.8 การควบคุมหอดูดความชื้น	103
	5.9 การเติมเชื้อเพลิงใส่เตาผลิตแก๊สสังเคราะห์	104
	5.10 การเติมสารโมโนเอทะโนลาไมน์	104
6	ปัญหาและการแก้ไข	105
	6.1 ปัญหาและการแก้ไขระบบเตาผลิตแก๊สสังเคราะห์	105
	6.2 ปัญหาและการแก้ไขระบบสครับเบอร์	106
	6.3 ปัญหาและการแก้ไขระบบหอดูดคาร์บอนไดออกไซด์และหอกลั่น	107
	6.4 ปัญหาการรีเจนเนอเรทหอดูดความชื้น	110
	6.5 ปัญหาความต้องการพลังงานไฟฟ้า	110
7	ผลการทดลอง	112
	7.1 ผลการทดลองเดินเครื่องเตาผลิตแก๊สสังเคราะห์	112
	7.2 ผลการทดลองเดินเครื่องดูดซึมคาร์บอนไดออกไซด์	118
	7.3 ผลการทดลองเดินเครื่องดูดน้ำจากสายแก๊ส	119
8	สรุปผลการทดลองและวิเคราะห์	1[illegible]

บทที่		หน้า
9	ข้อเสนอแนะ	127
	9.1 เตาผลิตแก๊สสังเคราะห์	127
	9.2 ระบบขจัดฝุ่น เถ้า ทาร์	128
	9.3 ระบบขจัดคาร์บอนไดออกไซด์	128
	9.4 ระบบดูดความชื้นจากสายแก๊ส	129
เอกสารอ้างอิง		130
ภาคผนวก		
	ก. การคำนวณต่าง ๆ	132
	ก.1 การคำนวณขนาดเตาผลิตแก๊สสังเคราะห์	132
	ก.2 การคำนวณการออกแบบสครับเบอร์	136
	ก.3 การคำนวณหอดูดคาร์บอนไดออกไซด์	136
	ก.4 การคำนวณหอกลั่นสารดูดคาร์บอนไดออกไซด์	144
	ก.5 การคำนวณเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนลีน-ริช	152
	ก.6 การคำนวณหม้อต้มซ้ำ	156
	ก.7 การคำนวณขนาดเครื่องควบแน่น	157
	ก.8 การคำนวณหอดูดความชื้น	167
	ก.9 การคำนวณราคาแก๊สสังเคราะห์จากเตาผลิตแก๊สสังเคราะห์	172
	ก.10 การคำนวณหาเวลาที่เพิ่มขึ้นในหอดูดความชื้น	174
	ก.11 การคำนวณเวลาที่ใช้ในการรีเจนเนอเรท	175
	ข. ข้อมูลการทดลอง	174
	ข.1 ข้อมูลการทดลองเดินเครื่องเตาผลิตแก๊สสังเคราะห์	176
	ค. การวิเคราะห์ข้อมูล	181
	ค.1 สภาวะการวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟฟี	181
	ค.2 การหาพื้นที่ใต้กราฟ (Peak area)	182
ประวัติผู้เขียน		183

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ค่าความร้อนของการเกิดปฏิกิริยาเคมีต่างๆ (กิโลจูลต่อโมล) ที่อุณหภูมิต่าง ๆ (องศาเคลวิน)	6
2.2	ค่าคงที่สมดุลย์ปฏิกิริยาเคมีต่าง ๆ ในรูปลอกการิทึม ที่อุณหภูมิต่าง ๆ	
2.3	แบบต่าง ๆ ของสครับเบอร์กับความดันลด และขนาดฝุ่น ที่จับได้เล็กที่สุด	16
2.4	เปรียบเทียบการดูดซับทางกายภาพและทางเคมี	33
2.5	คุณสมบัติทางกายภาพของสารดูดซับ	34
2.6	องค์ประกอบทางเคมีของซิลิกาเจลในทางอุตสาหกรรม	39
2.7	องค์ประกอบทางเคมีของแอกติเวเต็ดอะลูมินา	41
2.8	องค์ประกอบทางเคมีของอัลโค เอช-151	42
2.9	องค์ประกอบทางเคมีของแอกติเวเต็ดบอกไซด์	43
2.10	โมเลคิวลาร์ซีฟชนิดต่าง ๆ	[illegible]
2.11	คุณสมบัติทางกายภาพที่สำคัญของสารดูดความชื้น	44
3.1	อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่าง ๆ ของเตาผลิตแก๊ส และผลการวิเคราะห์ แก๊สเชื้อเพลิงด้วย Gas Chromatograph ของการทดลองชุดที่ 5 ..	46
3.2	ขนาดของหยดน้ำและฝุ่นที่จับได้ในออริฟิสสครับเบอร์	49
7.1	ผลการทดลองการเดินเครื่องเตาผลิตแก๊สสังเคราะห์ ที่อัตรา 45 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง	114
7.2	ข้อมูลการทดลองเดินเครื่องเตาผลิตแก๊สสังเคราะห์ ที่อัตรา 45 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง	117
7.3	ผลการทดลองเดินเครื่องระบบขจัดคาร์บอนไดออกไซด์ จากสายแก๊สสังเคราะห์	118

ตารางที่		หน้า
7.4	ผลการทดลองดูดความชื้นจากสายแก๊สโดยใช้ซิลิกาเจล ที่อัตราไหล 40 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง	119
7.5	ผลการรีเจนเนอเรทหอดูดความชื้น ที่อัตราการไหล 75 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง	121
7.6	ผลการรีเจนเนอเรทหอดูดความชื้น ที่อัตราการไหล 90 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง	122
8.1	เปรียบเทียบราคาแก๊สสังเคราะห์กับพลังงานชนิดอื่น ๆ	135
ก.1	ค่าคงที่ของแพคกิ้ง	143
ก.2	ค่าของ [illegible] และพื้นที่ [illegible]	147
ก.3	ปริมาณความร้อนที่ใช้กับโรงงานอะมีน	156
ก.4	ค่าทางเทอร์โมไดนามิกค์ของน้ำและคาร์บอนไดออกไซด์	158
ก.5	ปริมาณขจัดน้ำออกจากเครื่องควบแน่น	159
ก.6	ปริมาณขจัดความร้อนจากคอนเดนเซอร์ที่ช่วงอุณหภูมิต่าง ๆ	160
ก.7	ค่าทางเทอร์โมไดนามิกค์ของน้ำและคาร์บอนไดออกไซด์	164
ก.8	พื้นที่ที่ช่วงอุณหภูมิต่าง ๆ ของคอนเดนเซอร์	166

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	กระบวนการผลิตแก๊สสังเคราะห์	3
2.1	การเกิดแก๊สต่าง ๆ ของการทำปฏิกิริยาระหว่าง คาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน อะตอม ที่อุณหภูมิต่าง ๆ ที่จะสมดุลย์เคมีของปฏิกิริยา (ก) ใช้ออกซิเจนและไฮโดรเจนน้อย ๆ (ข) ใช้ออกซิเจนและน้ำทำปฏิกิริยาผ่านหินในปริมาณพอเหมาะ (ค) ใช้ออกซิเจนในปริมาณที่มากเกินพอ	8
2.2	ส่วนผสมของแก๊สต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นที่จุดสมดุลย์ ปฏิกิริยาความดัน 1 บรรยากาศ และอุณหภูมิ 1,000 องศาเคลวิน โดยการเพิ่มอัตราส่วนของไอน้ำต่อคาร์บอน และเพิ่มอัตราส่วนของออกซิเจนต่อคาร์บอน	9
2.3	ผลของอุณหภูมิและความดันที่มีต่อการเกิดแก๊สต่าง ๆ โดยใช้ไอน้ำต่อคาร์บอนเท่ากับ 1 (เทียบอัตราส่วนโดยโมล) และออกซิเจนต่อคาร์บอน เท่ากับ 0.75 (โดยโมล)	3
2.4	เตาปฏิกรณ์ระบบลมในเตาวิ่งขึ้น และแสดงบริเวณการเกิดกระบวนการต่าง ๆ	11
2.5	เตาปฏิกรณ์ระบบลมในเตาวิ่งลง และแสดงบริเวณการเกิดกระบวนการต่าง ๆ	11
2.6	เตาปฏิกรณ์ระบบลมในเตาวิ่งในแนวนอน และแสดงบริเวณการเกิดกระบวนการต่าง ๆ	12
2.7	เตาปฏิกรณ์ระบบลมในเตามีทั้งวิ่งขึ้นและวิ่งลง	12
2.8	เตาปฏิกรณ์แบบฟลูอิไดซ์เบด โดยใช้ความร้อนที่เกิดขึ้นภายในเตา ...	13
2.9	เตาปฏิกรณ์แบบฟลูอิไดซ์เบด โดยใช้ความร้อนจากนอกเตา	13
2.10	เตาปฏิกรณ์แบบเอนเทรนด์โฟลว์	14
2.11	เตาปฏิกรณ์แบบโมลเทนมีเดีย	15

รูปที่		หน้า
2.12	แผนผังอย่างง่ายของกระบวนการดูดกลืนคาร์บอนไดออกไซด์จากสายแก๊สด้วยน้ำ	17
2.13	แผนผังแสดงกระบวนการดูดกลืนคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยสารละลายแอมโมเนีย	18
2.14	แผนผังกระบวนการดูดกลืนแก๊สกรดด้วยอัลกาโนลาไมน์	22
2.15	แผนผังกระบวนการดูดกลืนคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยสารละลายเกลือด่าง	24
2.16	การดูดกลืนคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ ข้อมูลของเทปและดอจ (Tepe & Dodge)	24
2.17	แผนผังกระบวนการดูดคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยโปรตัสเซียม-คาร์บอเนตร้อน (Split-Stream adsorption)	25
2.18	ความดันไอสมดุลย์ของ CO_2 ที่สารละลายโปรแตสคาร์บอเนตความเข้มข้น 20 เปอร์เซ็นต์	26
2.19	เปรียบเทียบการลงทุนของโรงงานขจัดคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยระบบต่าง ๆ เทียบกับกระบวนการเบนฟิลด์ ข้อมูลคิดที่อัตราการไหลแก๊ส 5 ล้านล้านลูกบาศก์ฟุตต่อชั่วโมง CO_2 ขาเข้า 20 เปอร์เซ็นต์ ขาออก 0.1 เปอร์เซ็นต์	28
2.20	เปรียบเทียบการลงทุนโรงงานขจัดคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยระบบต่าง ๆ เทียบกับกระบวนการเบนฟิลด์ (ข้อมูลคิดที่อัตราเดียวกับรูปที่ 2.19) อัตราค่าความร้อน 0.5 เหรียญสหรัฐต่อล้านล้านบีทียู ไฟฟ้า 0.008 เหรียญสหรัฐต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง น้ำหล่อเย็น 0.015 ต้นต่อแกลลอน เดินเครื่อง 330 วันต่อปี	29
2.21	ความดันย่อยสมดุลย์ของไอน้ำเหนือซิลิกาเจล ที่ดูดซับน้ำในปริมาณต่าง ๆ กัน	40
2.22	สมดุลย์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์กับความจุของสารดูดซับชนิดต่าง ๆ	41
3.1	ส่วนต่าง ๆ ภายในของเตาปฏิกรณ์ผลิตแก๊สเชื้อเพลิงที่ นายพิเชษฐ์ ชุมทรัพย์ ใช้ทดลอง	47
3.2	การเกิดละลองภายในสครับเบอร์	48

รูปที่		หน้า
3.3	การเกิดละอองภายในสครับเบอร์	49
3.4	ขนาดภายในของสครับเบอร์	51
3.5	ความสัมพันธ์ในการหาเส้นผ่าศูนย์กลางหอแพคกิ้ง	52
3.6	ลักษณะภายในของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อขด	56
3.7	ลักษณะภายในของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อขด	56
3.8	ค่า "X_s" ของสารต่าง ๆ ที่ 25 องศาเซลเซียส	64
3.9	ค่าตัวคูณอันเนื่องมาจากอุณหภูมิที่มีผลต่อความสามารถในการดูดน้ำ ...	64
3.10	ลักษณะของอุณหภูมิในขณะรีเจนเนอเรท	66
4.1	ขั้นตอนการสร้างตัวถังส่วนบน	70
4.2	การสร้างตัวถังส่วนเผาไหม้	71
4.3	ตัวถังเก็บกักถ่านด้านล่าง	74
4.4	ส่วนรองรับถ่านและเก็บกับเถ้าถ่าน	74
4.5	ตัวถังส่วนเก็บกับเชื้อเพลิง	75
4.6	การสร้างฝาปิดส่วนเก็บกักเชื้อเพลิง	76
4.7	ภาพด้านหน้าของระบบป้อนเชื้อเพลิง, ภาพด้านข้างของระบบป้อนเชื้อเพลิงช่องถ่านออก	77
4.8	ช่องเก็บถ่านส่วนกลาง	78
4.9	จุดรับน้ำหนักของตัวถังเตาผลิตแก๊สสังเคราะห์	78
4.10	การติดตั้งส่วนตัวถังด้านบนและส่วนเผาไหม้	79
4.11	ภาคตัดภายในของเตาผลิตแก๊สสังเคราะห์	80
4.12	เตาผลิตแก๊สสังเคราะห์ที่ประกอบเสร็จแล้ว	81
4.13	ขนาดต่าง ๆ ของสครับเบอร์	81
4.14	การทำตัวถังหอดูดคาร์บอนไดออกไซด์	82
4.15	ภาพด้านข้างของตัวถังหอดูดความชื้น	83
4.16	ส่วนหัวของหอดูดคาร์บอนไดออกไซด์	84
4.17	ส่วนล่างของหอดูดคาร์บอนไดออกไซด์	85
4.18	ส่วนฐานของหอดูดคาร์บอนไดออกไซด์	85
4.19	แผ่นกั้นแพคกิ้ง	86
4.20	แผ่นกระจายสารเคมี	86

รูปที่		หน้า
4.21	ท่ออะลูมิเนียมตัดยาว 1 ซม.	87
4.22	การวางชั้นของแพคกิ้งและแผ่นกระจายสารเคมี	87
4.23	หอดูดคาร์บอนไดออกไซด์ที่ประกอบเสร็จแล้ว	88
4.24	ขั้นตอนการสร้างตัวถังหอกลั่นฯ	89
4.25	ขั้นตอนการทำแผ่นซีฟ	90
4.26	ส่วนตัวถังด้านล่าง	91
4.27	การติดตั้งตัวถังส่วนล่างกับตัวถังชั้นต่าง ๆ	92
4.28	การติดตั้งระหว่างชั้น	92
4.29	ภาคตัดภายในคอนเดนเซอร์	93
4.30	คอนเดนเซอร์ที่สำเร็จรูปแล้ว	94
4.31	ถัง 2 ชั้น ของระบบแลกเปลี่ยนความร้อน	94
4.32	เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ประกอบเสร็จแล้ว	95
4.33	องค์ประกอบภายในส่วนต้มกลั่น	96
4.34	ตัวถังระบบดูดความชื้นจากน้ำ	97
4.35	ช่องตาดูที่จะนำมาเชื่อมต่อกับตัวถัง	97
4.36	เหล็กข้ออ้อยที่ตัดแล้ว	98
4.37	สัดส่วนของหอดูดความชื้น	98
4.38	หอดูดความชื้นที่ประกอบเสร็จ	99
6.1	กระบวนการกำจัดทาร์และสิ่งสกปรกออกจากแก๊สสังเคราะห์ ตลอดจนการลดอุณหภูมิของแก๊สที่ออกจากเตาผลิตแก๊สสังเคราะห์	108
6.2	วงจรควบคุมระบบทั้งหมด	109
9.1	เปลวไฟของแก๊สที่ออกจากเตาผลิตแก๊สสังเคราะห์	127
ก.1	สมดุลย์มวลสารของ CO_2 ต่อ MEA ที่อุณหภูมิต่าง ๆ	140
ก.2	ความถ่วงจำเพาะของสารโมโนเอททาโนลามีน ที่อุณหภูมิต่าง ๆ	140
ก.3	สมดุลย์ของ CO_2 บน 2.5 N MEA	142
ก.4	การคำนวณหาพื้นที่ภายใต้เส้นโค้ง	143
ก.5	ค่าความเร็วท่วมท้น (Flooding Velocity) ของแผ่นเจาะรู	145
ก.6	ความสัมพันธ์ของจุดวีป	145
ก.7	สมดุลย์มวลของหอกลั่น	146

รูปที่		หน้า
ก.8	สมดุลย์มวลที่คอนเดนเซอร์	148
ก.9	การหาจำนวนชั้นโดยวิธีกร๊าฟ	150
ก.10	การหาจำนวนชั้นโดยวิธีกร๊าฟ	151
ก.11	ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนด้านท่อ	153
ก.12	ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนด้านท่อ	162
ก.13	ค่าสัมประสิทธิ์ความร้อนเทียบกับค่าเรย์โนลด์	163
ก.14	ค่าความชื้นในบรรยากาศ	169
ข.1	แสดงจุดน้ำค้างของแก๊สสังเคราะห์ที่ผ่านระบบดูดความชื้น	179
ข.2	ค่าอุณหภูมิที่เวลาต่าง ๆ ที่ทำรีเจนเนอเรท ที่อัตรา 75 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง	179
ข.3	ค่าอุณหภูมิที่เวลาต่าง ๆ ที่ทำรีเจนเนอเรท ที่อัตรา 90 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง	180
ค.1	โครมาโตแกรมของแก๊สสังเคราะห์	182