การวิจัยและพัฒนาการสังเคราะห์น้ำมันสังเคราะห์ระยะที่ 2

โดย

ดร. ปิยะสาร ประเสริฐธรรม

โครงการวิจัย เลขที่ RIG-CHEM-2527
ทุนงบประมาณแผ่นดิน

สถาบันวิจัยและพัฒนาของคณะวิศวกรรมศาสตร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
กรุงเทพฯ

สิงหาคม 2530

665.7
ป621ก
ส.2 ฉ.1

สถาบันวิจัยและพัฒนาของคณะวิศวกรรมศาสตร์ไม่รับผิดชอบต่อผลเสียใด ๆ อันอาจเกิดจากการนำความคิดเห็นในเอกสารฉบับนี้ไปใช้ ความคิดเห็นที่ปรากฏในเอกสารเป็นความคิดเห็นของผู้เขียนซึ่งไม่จำเป็นต้องเป็นความคิดเห็นของสถาบันฯ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การวิจัยและพัฒนาการสังเคราะห์น้ำมันสังเคราะห์ระยะที่ 2

โดย

รองศาสตราจารย์ ดร. บิยะสาร ประเสริฐธรรม

วุฒิ วศ.บ. (จุฬา), M.S. (P.I.N.Y.),

Dr.Ing (I.N.S.A.)

โครงการวิจัยเลขที่ 21G-CHEM-2527

ทุนงบประมาณแผ่นดิน

สถาบันวิจัยและพัฒนาของคณะวิศวกรรมศาสตร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กรุงเทพฯ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สิงหาคม 2530

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คำนำ

แม้ว่าขณะนี้ราคาน้ำมันดิบทั่วโลกจะอยู่ในระดับต่ำ (ประมาณ 17-18 เหรียญสหรัฐต่อบาร์เรล) แต่แนวโน้มของราคาน้ำมันดิบมีทีท่าจะสูงขึ้น ดังนั้นเพื่อเป็นการพึ่งตนเองของประเทศเรา รัฐบาลได้พยายามส่งเสริมให้มีการสำรวจ ขุดเจาะปิโตรเลียม และแก๊สธรรมชาติขึ้นภายในประเทศ ทั้งนี้เพื่อลดการพึ่งพาน้ำมันดิบจากต่างประเทศและเพื่อความมั่นคงทางด้านพลังงาน ในยามที่เกิดวิกฤตการณ์น้ำมันขึ้นในโลก เช่น ยามสงครามเป็นต้น อีกหนทางหนึ่งคือพยายามนำเชื้อเพลิงพวก ถ่านหิน, ฟืนและถ่าน มาใช้ทดแทนน้ำมัน แต่ก็พบว่าเชื้อเพลิงแข็งมีข้อเสียเปรียบอยู่หลายประการ เช่น การขนส่งไม่สะดวก ปัญหาเรื่องมลพิษที่ปล่อยออกมาหลังการเผาไหม้และปัญหาเถ้าเป็นต้น วิธีแก้ไขหนทางหนึ่งก็คือพยายามเปลี่ยนเชื้อเพลิงแข็งให้อยู่ในรูปเชื้อเพลิงเหลว นั่นคือน้ำมันสังเคราะห์

โครงการวิจัยและพัฒนาการสังเคราะห์น้ำมันสังเคราะห์เป็นโครงการสร้างโรงงานต้นแบบเพื่อผลิตน้ำมันสังเคราะห์ จากเชื้อเพลิงเช่น ไม้และถ่าน โดยมีกำลังการผลิต 1/2 ลิตรต่อชั่วโมง โครงการนี้ได้รับการสนับสนุนจากงบประมาณแผ่นดินและโครงการแบ่งออกเป็น สามระยะ คือ ระยะแรกสร้างและทดสอบระบบทำแก๊สสังเคราะห์ให้บริสุทธิ์ ระยะที่สอง สร้างและทดสอบระบบผลิตแก๊สสังเคราะห์ ระยะสุดท้าย สร้างและทดสอบเครื่องปฏิกรณ์ผลิตน้ำมันสังเคราะห์

ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการนี้นอกเหนือจากการผลิตน้ำมันสังเคราะห์แล้ว ยังเป็นการเรียนรู้เทคโนโลยีขั้นสูงเกี่ยวกับอุตสาหกรรมปิโตรเคมี ปัญหาอุปสรรคและวิธีแก้ไขขณะสร้างและเดินโรงงาน เป็น knowhow ที่ไม่มีเขียนเผยแพร่ เมื่อโครงการนี้สำเร็จจะเป็นประโยชน์ต่อประเทศไทยอย่างมหาศาล ทำให้สามารถเข้าใจขั้นพื้นฐานในการสร้างโรงงานอุตสาหกรรมปิโตรเคมี เพราะขณะนี้โรงงานปิโตรเคมีทุกโรงในประเทศไทยได้ซื้อมาทั้งโรงงาน แทบจะไม่มีการถ่ายทอดเทคโนโลยีเลย ในอนาคตหวังว่าประเทศไทยควรจะสามารถซื้อบางส่วนของโรงงานมาประกอบเป็นโรงงานได้ โดยอาศัยวิศวกรภายในประเทศ.

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นโครงการวิจัยและพัฒนาการสังเคราะห์น้ำมันสังเคราะห์ ระยะที่ 2 ซึ่งในระยะที่ 2 นี้จะเน้นที่การศึกษาและออกแบบโรงงานผลิตแก๊สสังเคราะห์ขนาด 30 ลบ.เมตรต่อชั่วโมง สามารถให้ปริมาณแก๊สสังเคราะห์สูงปราศจากทาร์ และมีคาร์บอนไดออกไซด์ และความชื้นไม่เกิน 2 % การออกแบบเตาผลิตแก๊สสังเคราะห์อาศัยหลักการขยายสเกลจากเตาขนาดเล็กที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.30 เมตร ซึ่งได้สร้างขึ้นเพื่อทดสอบหาสภาวะที่เหมาะสม สมมติฐานที่ใช้ในการขยายขนาดเตาคือกำหนดให้ความเร็วของแก๊สที่ผ่านโซนฮาร์ทและเวลาของการทำปฏิกิริยาในโซนรีดักชันของเตาทั้งสองขนาดเท่ากัน จากการคำนวณพบว่า เตาผลิตแก๊สสังเคราะห์ให้ได้ 30 ลบ.ม./ชั่วโมงและเดินเครื่องอย่างต่อเนื่องเป็นเวลานานควรมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 เมตร สูง 2 เมตร และมีที่เก็บขี้เลื่อย 2 ตัวขนาดตัวละ 0.25 ลบ.เมตร ที่เก็บถ่านขนาด 0.25 ลบ.เมตร และเพื่อให้เตานี้สามารถใช้กับเชื้อเพลิงได้ทุกชนิดรวมทั้งเชื้อเพลิงที่มีทาร์สูง เช่น ไม้ เป็นต้น จึงออกแบบเตาเป็นแบบ 2 ชั้น โดยมีบริเวณเผาไหม้อยู่ชั้นนอก และบริเวณรีดักชันอยู่ด้านใน โดยทั้งสองบริเวณแยกจากกัน เชื้อเพลิงที่มีทาร์สูงจะใช้ในบริเวณเผาไหม้ และใช้ถ่านเพื่อการรีดักชัน

ระบบทำแก๊สให้บริสุทธิ์ประกอบด้วย ไซโคลนขนาด 200 มม. สูง 460 มม. สำหรับกำจัดผงถ่านและขี้เถ้า ระบบหอสเปรย์ขนาด 152 มม. สูง 1000 มม. เพื่อทำให้อุณหภูมิของแก๊สสังเคราะห์ลดลง สครับเบอร์แบบออริฟิสที่มีพื้นที่หน้าตัดของรูออริฟิสเท่ากับ 30.6 ตร.ซม.ทำหน้าที่จับทาร์และเถ้าขนาดเล็ก หอดูดคาร์บอนไดออกไซด์ขนาด 303.2 มม. สูง 3.5 เมตร เป็นหอชนิดแพคใช้สารละลายโมโนเอทานอลามีน เมื่อใช้งานแล้วนำมาผ่านหอกลั่นแยกเอาคาร์บอนไดออกไซด์ออกแล้วนำกลับไปจับคาร์บอนไดออกไซด์ใหม่ หอกลั่นแยกมีขนาด 152.4 มม. เป็นหอชนิดเพลทมีจำนวนเพลทเท่ากับ 20 และหอดูดความชื้นขนาด 355 มม. สูง 1.5 เมตร 2 หอ ภายในบรรจุซิลิกาเจลเพื่อใช้ดูดความชื้นโดยขณะที่หอหนึ่งทำงาน อีกหอจะทำการรีเจเนอเรท(ไล่ความชื้นออกจากซิลิกาเจล) โรงงานต้นแบบผลิตแก๊สสังเคราะห์นี้ควบคุมการทำงานโดยใช้แผงควบคุมที่ติดตั้งภายในห้องควบคุม

ผลการทดลองเดินเครื่องปรากฏว่า โรงงานต้นแบบสามารถผลิตแก๊สสังเคราะห์ที่มีอัตราส่วน H_2:CO เท่ากับ 0.58:1 และมีอัตราเผาไหม้ขี้เลื่อยเท่ากับ 3.1 กิโลกรัม/ชั่วโมง อัตราใช้ถ่านเท่ากับ 6.7 กิโลกรัม/ชั่วโมง มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์อยู่เพียง 1.97 % และมีความชื้นที่จุดน้ำค้างเท่ากับ 11.1 °ซ โรงงานนี้สามารถเดินได้ตลอด 24 ชั่วโมงเป็นเวลาหลายวันติดกัน

ABSTRACT

This research is the second phase of the Research and Development of Synthetic Crude Oil Project. In this phase , The emphasis is on study and design of the Synthesis Gas prototype plant which has a capacity of 30 m^3/hr and operates at a high yield of synthesis gas. The CO_2 and moisture content in synthesis gas should be below 2 % . The principle of the gasifier design is scaled up from the existing 0.30 m gasifier which was built for performance test. The criteria for scaling up are the same speed of gas passing through the hearth zone and the same reduction zone time, for both gasifiers. It is found that for the 30 m^3/hr gasifier operating at a long period of time, the dimension should be as follows: 1 m diameter , 2 m height, with two 0.25 m^3 sawdust hoppers and one 0.25 m^3 charcoal hopper, and for use with all kinds of biomass , including high tar solid fuel such as wood, etc. It is essential to divide the gasifier into two separate parts : the inner part and outer part. The outer part is a combustion zone, the inner a reduction zone. High tar solid fuel is used for combustion zone which charcoal is used in the reduction zone. The gas purification system consists of a cyclone with 200 mm. diameter and 460 mm. height used for collecting charcoal dust and flyash. The spray tower system has a diameter of 152 mm. and 1000 mm. height for cooling synthesis gas. An orific scrubber with orific cross-section area of 30.6 cm^2 is used for tapping tars and fine flyash particles. The diameter of the column is 303.2 mm, 3.5 m. height. This column uses monoethanolamine for absorbing CO_2. MEA which has been used can be regenerated by passing through a distillation column with the diameter of 152.4 mm. 20 plates and two-dehydrators with the diameter of 355

mm. and 2.5 m. height are packed with silica gel for adsorbing water. While one column is running the other regenerates by air (to remove moisture content). The synthesis gas prototype is controlled by a control panel located in the control room. As a result, the prototype can produce synthesis gas at H_2:CO equaling 0.58:1 , and the rate of saw dust and charcoal consumption is 3.1 and 6.7 kg/hr respectively. The CO_2 content equals 1.97 % and its humidity is at dewpoint equaling 11.1 °C. This prototype can operate for many consecutive 24-hour days.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

บทที่		หน้า
1	บทนำ	1
2	ทฤษฎีทั่ว ๆ ไปและข้อมูลเกี่ยวกับระบบ	8
3	การสร้างเตาผลิตแก๊สสังเคราะห์	23
4	การเดินเครื่องโรงงานต้นแบบผลิตแก๊สสังเคราะห์	36
5	ปัญหาและการแก้ไข	41
6	ผลการทดลอง	47
7	สรุปผลการทดลองและวิเคราะห์	57
เอกสารอ้างอิง		59
ภาคผนวก		
ก.	การออกแบบเตาผลิตแก๊สสังเคราะห์	61
ข.	ข้อมูลการทดลอง	65
ค.	การวิเคราะห์ข้อมูล	69
	ค.1 สภาวะการวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟฟี	69
	ค.2 การหาพื้นที่ใต้กราฟ (Peak area)	70

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	กระบวนการทำแก๊สให้บริสุทธิ์ (รูปแบบเดิมที่ออกแบบไว้ครั้งแรก)	2
2.1	แสดงค่าสมดุลของการเกิดปฏิกิริยาแก๊สซิฟิเคชัน	11
2.2	เตาผลิตแก๊สสังเคราะห์แบบเบดเลื่อนตกขณะเผา	12
2.3	เตาปฏิกรณ์ระบบลมในเตาวิ่งขึ้น และแสดงบริเวณการเกิดกระบวนการต่าง ๆ	14
2.4	เตาปฏิกรณ์ระบบลมในเตาวิ่งลง และแสดงบริเวณการเกิดกระบวนการต่าง ๆ	14
2.5	เตาปฏิกรณ์ระบบลมในเตาวิ่งในแนวนอน และแสดงบริเวณการเกิดกระบวนการต่าง ๆ	14
2.6	เตาปฏิกรณ์ระบบลมในเตามีทั้งวิ่งขึ้นและวิ่งลง	14
2.7	เตาปฏิกรณ์แบบฟลูอิไดซ์เบดโดยใช้ความร้อนที่เกิดขึ้นภายในเตา	16
2.8	เตาปฏิกรณ์แบบฟลูอิไดซ์เบดโดยใช้ความร้อนจากนอกเตา	16
2.9	เตาปฏิกรณ์แบบเอนเทรนด์โฟลว์	17
2.10	เตาปฏิกรณ์แบบโมลเทนมีเดีย	17
2.11	แสดงส่วนต่าง ๆ ภายในของเตาปฏิกรณ์ผลิตแก๊สเชื้อเพลิง ที่ นายพิเชษฐ์ ชุมทรัพย์ ใช้ทดลอง	19
3.1	ขั้นตอนการสร้างตัวถังส่วนบน	24
3.2	การสร้างตัวถังส่วนเผาไหม้	25
3.3	ตัวถังเก็บกักถ่านด้านล่าง	28
3.4	ส่วนรองรับถ่านและเก็บกักเถ้าถ่าน	28
3.5	ตัวถังส่วนเก็บกักเชื้อเพลิง	29
3.6	การสร้างฝาปิดส่วนเก็บกักเชื้อเพลิง	30
3.7	แสดงด้านหน้าและด้านข้างของระบบป้อนเชื้อเพลิง	31
3.8	ช่องเก็บถ่านส่วนกลาง	32
3.9	จุดรับน้ำหนักของตัวถังเตาผลิตแก๊สสังเคราะห์	32
3.10	การติดตั้งส่วนตัวถังด้านบนและส่วนเผาไหม้	33

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.11	ภาคตัดภายในของเตาผลิตแก๊สสังเคราะห์	34
3.12	เตาผลิตแก๊สสังเคราะห์ที่ประกอบเสร็จแล้ว	35
5.1	กระบวนการกำจัดทาร์และสิ่งสกปรกออกจากแก๊สสังเคราะห์ ตลอดจนการลดอุณหภูมิของแก๊สที่ออกจากเตาผลิตแก๊สสังเคราะห์	43
5.2	วงจรควบคุมทั้งหมด	45
ข.1	แสดงอุณหภูมิแก๊สที่ออกจากสครับเบอร์	67
ข.2	แสดงค่าอุณหภูมิที่เวลาต่าง ๆ ที่ทำรีเจนเนอเรทที่อัตราการไหลของอากาศ 75 ลบ.เมตร/ชม.	68
ค.1	แสดงโครมาโตแกรมของแก๊สสังเคราะห์	70

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	แสดงค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยาเคมี	11
2.2	แสดงค่าความร้อนในการเกิดปฏิกิริยาการรวมตัวของแก๊ส	11
2.3	อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่าง ๆ ของเตาผลิตแก๊ส และผลการวิเคราะห์ แก๊สเชื้อเพลิงด้วย Gas Chromatograph ของการทดลองชุดที่ 5	20
6.1	ผลการทดลองเดินเครื่องเตาผลิตแก๊สสังเคราะห์ ที่อัตราการไหล 45 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง	48
6.2	ข้อมูลการทดลองเดินเครื่องเตาผลิตแก๊สสังเคราะห์ ที่อัตราการไหล 45 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง	52
6.3	ผลการทดลองเดินเครื่องระบบดูดคาร์บอนไดออกไซด์ จากแก๊สสังเคราะห์	53
6.4	ผลการทดลองดูดความชื้นจากสายแก๊สโดยใช้ซิลิกาเจล ที่อัตราไหล 40 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง	54
6.5	อัตราการไหลของอากาศที่ใช้ในการรีเจนเนอเรท 75 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง	56

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

โครงการผลิตน้ำมันจากสารชีวมวลขนาด 1/2 ลิตรต่อชั่วโมงนี้ ได้แบ่งขั้นตอนออกเป็นสามระบบ ดังต่อไปนี้

ก. ระบบทำความสะอาดแก๊สสังเคราะห์

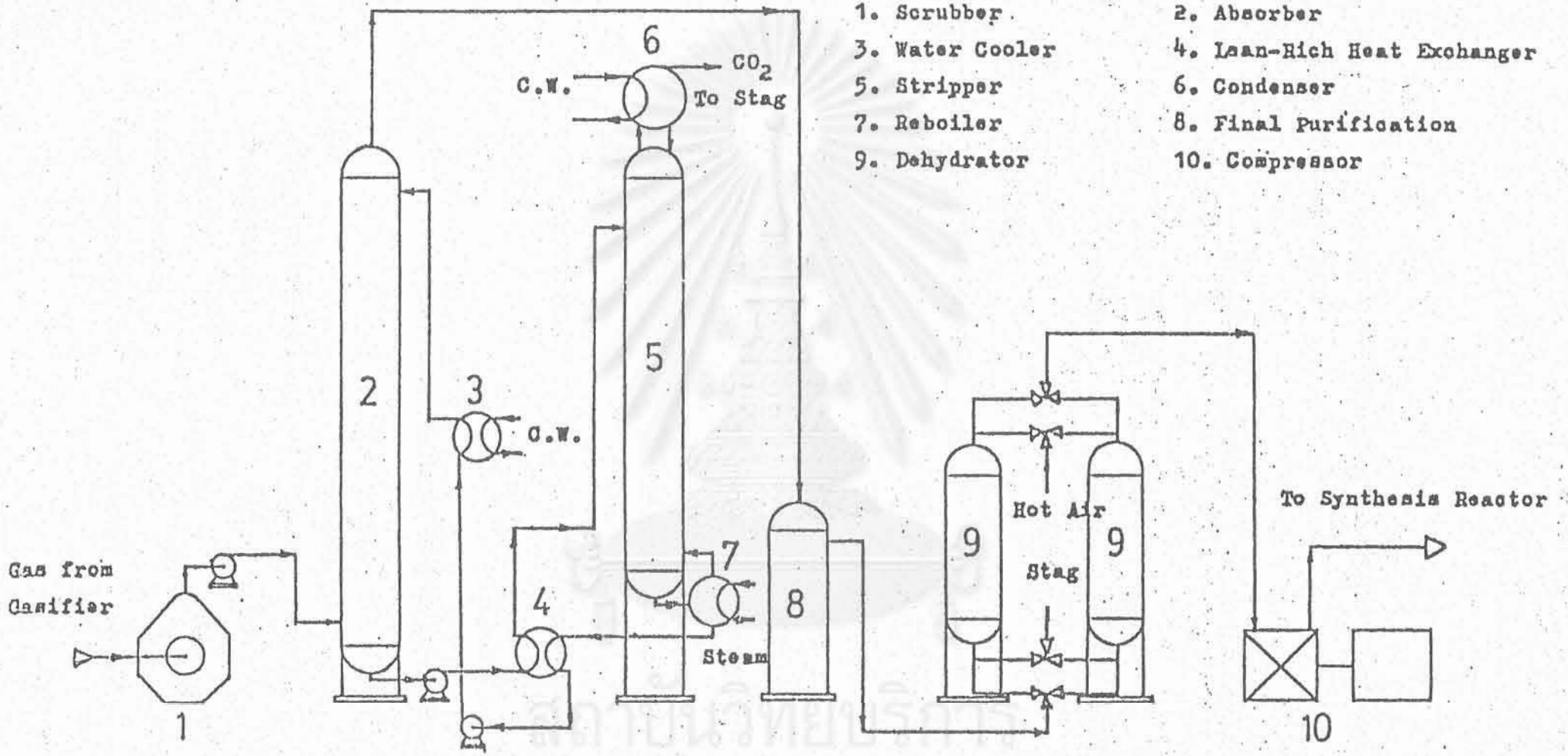
ข. ระบบเตาผลิตแก๊สสังเคราะห์

ค. ระบบสังเคราะห์แก๊สให้เป็นน้ำมัน

1.1 โครงการช่วงแรกเป็นการออกแบบและสร้างระบบทำความสะอาดแก๊สสังเคราะห์จากแก๊สซิไฟเออร์ ดังภาพ 1.1 ได้เสร็จสิ้นโครงการเมื่อวันที่ 5 กันยายน 2527 ผลงานที่ผ่านมาของระบบนี้คือ

1.1.1 การออกแบบและสร้างระบบขจัดเถ้า, ทาร์ จากสายแก๊สสังเคราะห์ ได้ทำการออกแบบระบบนี้ซึ่งเรียกว่า สครับเบอร์ (Scrubber) แบบออริฟิส มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ปริมาณการไหลของแก๊ส	45	ลบ.ม./ชม.
พื้นที่หน้าตัดของรูออริฟิส	30.6	ตร.ซม.
ช่องเปิดออริฟิส 2 ช่อง ขนาด	15.24 x 1	ซม. x ซม.
ความเร็วของแก๊ส	4.11	เมตร/วินาที
วัสดุที่ใช้ทำ	ทองเหลือง	
ช่องเปิดขาเข้า (ø ศูนย์กลาง)	6.35	ซม.
ช่องเปิดขาออก (ø ศูนย์กลาง)	5.08	ซม.
ระดับของเหลว	15	ซม.



รูปที่ 1.1 กระบวนการทำแก๊สให้บริสุทธิ์ (รูปแบบเดิมที่ออกแบบไว้ครั้งแรก)

1.1.2 การออกแบบและสร้างระบบขจัดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จากสายแก๊ส ระบบนี้ประกอบด้วย

ก. หอดูดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ 1 ชุด มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

% CO_2 ในแก๊ส	33.3	%
อัตราการไหลของแก๊ส	45	ลบ.ม./ชม.
แบบของหอ	แพคคอลัมน์	
สารเคมีที่ใช้	MEA	
ความเข้มข้นสารเคมี (MEA)	18	% โดย นน.
อัตราการไหลของสารเคมี	726	กก./ชม.
อัตราการกำจัดคาร์บอนไดออกไซด์	642.31	โมล/ชม.
เส้นผ่าศูนย์กลางหอ	20.32	ซม.
จำนวนชั้นแพค	6	ชั้น
ความสูงของชั้นแพค	0.58	เมตร/ชั้น
แบบของแพคกิ้ง	Rachig Ring	
ขนาดของแพคกิ้ง	1/2 inch nominal	
ชนิดของแพคกิ้ง	อลูมิเนียม	
ความดันในการใช้งาน	1	บรรยากาศ
อุณหภูมิ	60	°ซ

ข. หอกลั่นแยกแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ 1 ชุด มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

แบบ	หอเบ็นชั้น ๆ	
อัตราการไหลเข้าของของเหลว	754.26	กก./ชม.
เส้นผ่าศูนย์กลางหอ	152.4	มม.
จำนวนเพลท	20	เพลท
ระยะระหว่างเพลท	229	มม.
พื้นที่ใช้งานต่อเพลท, An	145.5	ตร.ซม.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พื้นที่ของรูต่อเพลท	20.3	ตร.ซม.
พื้นที่ดาวน์คัมเมอร์	18.2	ตร.ซม.
พื้นที่รูต่อพื้นที่ที่ใช้งาน	0.14	
พื้นที่ดาว์นคัมเมอร์ต่อพื้นที่เพลท	0.1	
เส้นผ่าศูนย์กลางรู	3.2	มม.
อัตราไหลของไอยอดหอ	14.4	ลบ.ม./ชม.
ความยาวของเวียร์	11.07	ซม.
ความสูงของเวียร์	1.9	ซม.
อัตราส่วนการป้อนเวียนรอบ	1.5	

ค. เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน 2 ชุด มีรายละเอียดดังนี้

แบบ	ท่อเกลียว	
เส้นผ่าศูนย์กลางวงนอก	355.6	มม.
เส้นผ่าศูนย์กลางวงใน	273	มม.
เส้นผ่าศูนย์กลางท่อทองแดง	19	มม.
ความหนาท่อทองแดง	1	มม.
อัตราการไหลของของเหลวในท่อร้อน	345	กก./ชม.
อัตราการไหลของเหลวในท่อเย็น	333	กก./ชม.
อัตราการถ่ายเทความร้อน	9,960	กิโลแคลอรี่/ชม.
จำนวนขดท่อ	47	รอบ
ความสูง	1,371.6	มม.

ง. เครื่องควบแน่น 1 ชุด มีรายละเอียดดังนี้

เส้นผ่าศูนย์กลางตัวถัง	254	มม.
เส้นผ่าศูนย์กลางท่อ	9.5	มม.
จำนวนท่อ	100	ท่อ
ระยะห่างของท่อ	15.88	มม.

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ความยาวตัวถัง	1,024.5	มม.
อัตราการไหลน้ำหล่อเย็น	818.83	ลิตร/ชม.
อุณหภูมิน้ำขาเข้า	26.7	°ซ
อุณหภูมิน้ำขาออก	32.2	°ซ

จ. หม้อต้มซ้ำของหอกลั่นแยก 1 ชุด มีรายละเอียดดังนี้

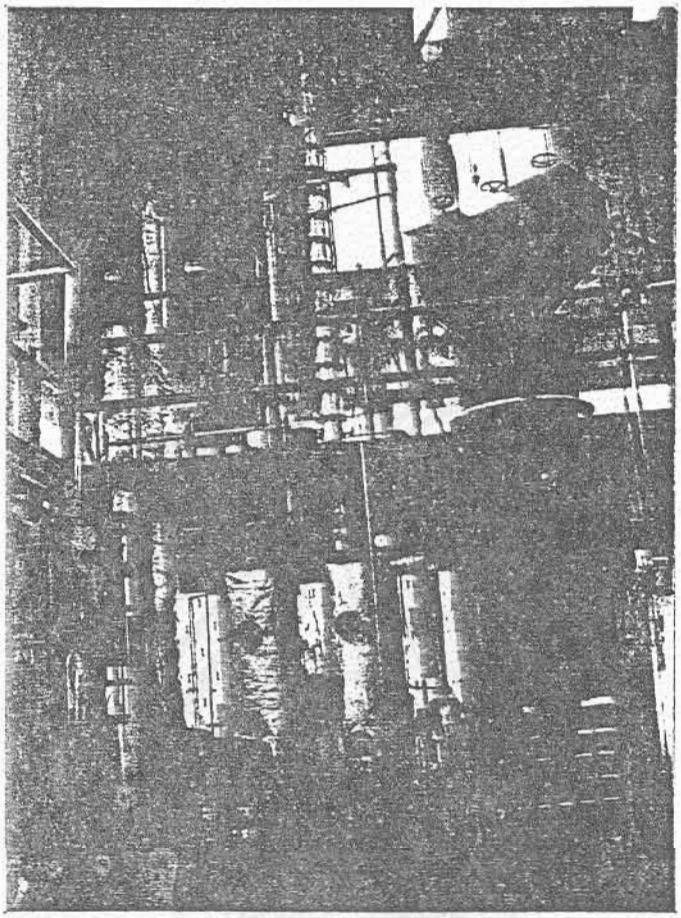
ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางตัวถัง	325	มม.
ความยาว	1,250	มม.
ขนาดท่อ	12.7	มม.
จำนวนท่อ	52	ท่อ
อัตราการเผาไหม้แก๊สหุงต้ม	3.15	กก./ชม.

1.1.3 การออกแบบและสร้างระบบดูดความชื้นจากแก๊สสังเคราะห์โดยใช้ซิลิกาเจล มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

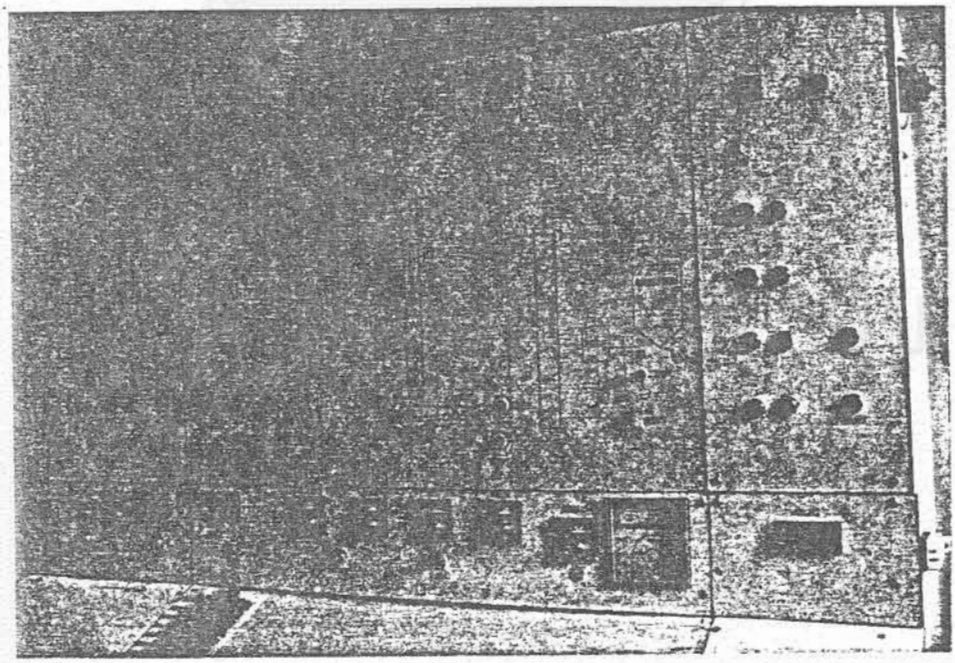
อัตราการไหลของแก๊ส	30	ลบ.ม./ชม.
ความชื้นสัมพัทธ์ขาเข้า	100	% ที่ 37.8 °ซ
ความชื้นสัมพัทธ์ขาออก	0	%
จำนวนหอ	2	หอ
เส้นผ่าศูนย์กลางหอ	355	มม.
ความสูงหอ	1.5	เมตร
ความสูงส่วนบรรจุซิลิกาเจล	1.07	เมตร
เวลาที่ใช้ในการดูดความชื้น	8	ชม.
เวลาที่ใช้ในการรีเจนเนอเรท	4	ชม.
เวลาที่ใช้ในการทำให้เย็น	2	ชม.
อุณหภูมิปฏิบัติการ	37.8	°ซ
อุณหภูมิในการรีเจนเนอเรท	149	°ซ
อัตราการไหลของอากาศร้อน	60	ลบ.ม./ชม.

1.1.4 ทดลองเดินเครื่องระบบทำความสะอาดแก๊ส ได้ทำการทดลองระบบเพื่อศึกษา Physical Characteristic ของระบบแล้ว ในโครงการระยะที่ 1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปภาพแสดงเครื่องจักรในการผลิตก๊าซสังเคราะห์



รูปภาพแสดงแผงควบคุมเครื่องจักรในการผลิตก๊าซสังเคราะห์

บทที่ 2

ทฤษฎีทั่ว ๆ ไป และข้อมูลเกี่ยวกับระบบเตาผลิตแก๊สลังเดราะห์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ทฤษฎีทั่ว ๆ ไป และข้อมูลเกี่ยวกับระบบเตาผลิตแก๊สสังเคราะห์ (Gasifier)

2.1 ทฤษฎี [5]

กระบวนการเผาไหม้ของไม้ และถ่าน หรือเชื้อเพลิงชีวมวล ที่เกิดขึ้นในสภาวะจำกัดอากาศ หรือที่เรียกว่าการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ (Partial Oxidation) จะทำให้แก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ และแก๊สไฮโดรเจนเกิดขึ้นในระบบ และทำให้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์น้อยลงตามลำดับเรียกว่าเกิดแก๊สซิฟิเคชัน (Gasification) ในเตาสังเคราะห์จะมีกระบวนการเกิดเรียงตามลำดับดังนี้

2.1.1 กระบวนการอบแห้ง (Drying)

เป็นการไล่น้ำออกจากสารชีวมวล เพื่อทำให้แห้ง

2.1.2 กระบวนการกลั่นทำลาย (Distillation)

เป็นกระบวนการที่สารระเหยได้ (Volatile Matter) สลายตัวออกมาจากสารชีวมวล เรียกช่วงนี้ว่าช่วงกลั่นทำลาย (Pyrolysis or Distillation Zone) เกิดปฏิกิริยาดังต่อไปนี้ [5]

$$(-CH_xO_y-)_n + mO_2 \quad \text{-----} > \quad aCO_2 + bCO + cCH_4 + dH_2 + eH_2O + Oil + Tar + Char + Organics$$

2.1.3 กระบวนการเผาไหม้ (Combustion)

เป็นกระบวนการที่เชื้อเพลิงทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศ ให้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และพลังงานความร้อนสูงสุด ส่วนนี้เรียกว่าฮาร์ทโซน (Hearth Zone) หรือส่วนเผาไหม้ (Combustion Zone) เป็นช่วงที่มีอุณหภูมิสูงที่สุดในระบบ และปฏิกิริยาเกิดดังต่อไปนี้

$$C + O_2 \longrightarrow CO_2 \qquad H_{298} = -395.5 \text{ kJ/mole}$$

จะเห็นว่าค่าพลังงานของการเกิดปฏิกิริยามีค่าเป็นลบ แสดงว่ามีการคายความร้อนเมื่อเกิดปฏิกิริยา

2.1.4 กระบวนการเกิดแก๊สซิฟิเคชัน (Gasification)

เป็นกระบวนการที่เชื้อเพลิงทำปฏิกิริยากับแก๊สร้อน ภายใต้สภาวะจำกัดอากาศ เกิดเป็นแก๊สเชื้อเพลิง เรียกบริเวณนี้ว่ารีดักชันโซน (Reduction Zone)

$$C + CO_2 \longrightarrow 2CO \qquad H_{298} = 175.5 \text{ kJ/mole}$$

$$C + 1/2O_2 \longrightarrow CO \qquad H_{298} = -110.5 \text{ kJ/mole}$$

$$C + 2H_2O \longleftrightarrow CO_2 + 2H_2 \qquad H_{298} = 90.1 \text{ kJ/mole}$$

$$C + H_2O \longleftrightarrow CO + H_2 \qquad H_{298} = 131.1 \text{ kJ/mole}$$

$$CO + H_2O \longrightarrow CO_2 + H_2 \qquad H_{298} = -41.2 \text{ kJ/mole}$$

$$C + 2H_2 \longrightarrow CH_4 \qquad H_{298} = -74.8 \text{ kJ/mole}$$

$2C + 2H_2O \quad <=====> \quad CO_2 + CH_4 \qquad H_{298} = 7.7$ kJ/mole

$H_2 + 1/2O_2 \quad ------> \quad H_2O \qquad H_{298} = -241.8$ kJ/mole

ช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมของการเกิดแก๊สเชื้อเพลิง คือ 800-1,500 องศาเคลวิน (°K) จะเห็นได้ว่าปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นนั้นมีทั้งคายความร้อนและดูดความร้อน

ตารางที่ 2.1 และตารางที่ 2.2 แสดงค่าสมดุลของปฏิกิริยาเคมี และพลังงานในการเกิดปฏิกิริยาตามลำดับ ส่วนรูปที่ 2.1 แสดงค่าสมดุลของการเกิดปฏิกิริยาแก๊สซิฟิเคชันที่อุณหภูมิต่าง ๆ

2.2 แบบต่าง ๆ ของเตาผลิตแก๊สเชื้อเพลิง (Type of Gasifier)

แบบต่าง ๆ ของเตาผลิตแก๊สเชื้อเพลิงที่พัฒนาถึงปัจจุบัน พอจะแบ่งออกเป็น 4 แบบใหญ่ๆ ตามลักษณะการใช้วัตถุดิบและขั้นตอนการเกิดแก๊สซิฟิเคชันในเตาผลิตแก๊ส ได้ดังนี้

2.2.1 เตาปฏิกรณ์แบบเชื้อเพลิงหรือวัตถุดิบเลื่อนตกขณะเผา (Moving Packed Bed Gasifier)

2.2.2 เตาปฏิกรณ์แบบฟลูอิไดซ์เบด (Fluidized Bed Gasifier)

2.2.3 เตาปฏิกรณ์แบบเอนเทรนด์โฟลว์ (Entrained Flow Gasifier)

2.2.4 เตาปฏิกรณ์แบบโมลเทนมีเดีย (Molten Media Gasifier)

2.2.1 เตาปฏิกรณ์แบบเชื้อเพลิงหรือวัตถุดิบเลื่อนตกขณะเผา

ลักษณะการเผาในเตาปฏิกรณ์ ก้อนถ่านหรือไม้จะค่อย ๆ ถูกเผาหมดไปเรื่อย ๆ ตรงส่วนที่เผาไหม้ และก้อนถ่านหรือไม้ที่อยู่ส่วนบนก็จะเลื่อนตกลงมาแทนที่ส่วนที่ถูกเผาไป เตาแบบนี้ยังแบ่งออกเป็น 4 ชนิด (ดูรูปที่ 2.2) ได้แก่

ตารางที่ 2.1 แสดงค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยาเคมี, ค่าอยู่ในรูป logK

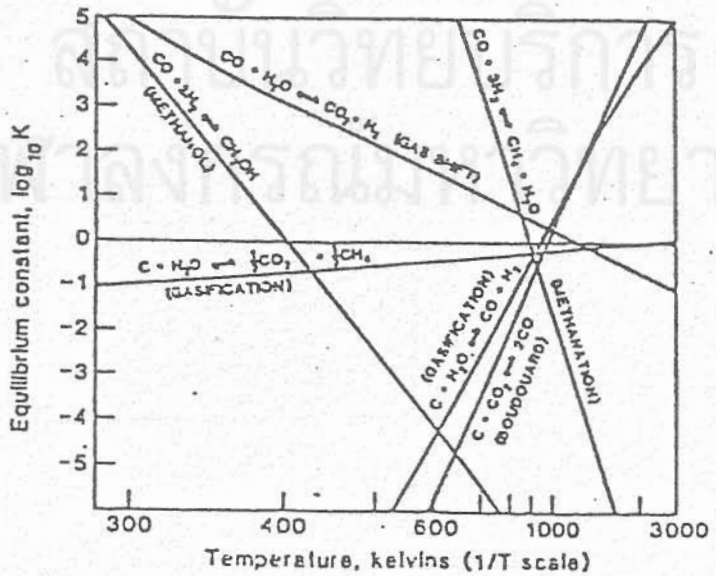
Reaction	298 K	700 K	1000 K	1500 K
$C + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow CO$	+24.065	+12.958	+10.483	+ 8.507
$C + O_2 \rightarrow CO_2$	+69.134	+29.502	+20.677	+13.801
$C + 2H_2 \rightarrow CH_4$	+ 8.906	+ 0.958	− 0.999	− 2.590
$H_2 + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow H_2O$	+40.073	+15.590	+10.070	+ 5.733
$C + 2H_2 + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow CH_3OH(g)$	+28.331	+ 7.593	+ 2.780	− 1.042
$2C + 3H_2 + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow C_2H_5OH(g)$	+29.500	+ 6.852	+ 1.572	− 2.618
$2C + 3H_2 \rightarrow C_2H_6$	+ 5.771	− 3.413	− 5.719	− 7.594
$2C + 2H_2 \rightarrow C_2H_4$	−11.940	− 7.097	− 6.189	− 5.551
$2C + H_2 \rightarrow C_2H_2$	−36.674	−13.908	− 8.888	− 5.035
$6C + 3H_2 \rightarrow C_6H_6(g)$	−22.736	−15.097	−13.646	−12.607
$6C + 3H_2 + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow C_6H_5OH(g)$	+ 5.770	− 4.518	− 6.984	− 8.941
$\frac{1}{2}N_2 + \frac{3}{2}H_2 \rightarrow NH_3$	+ 2.859	− 2.041	− 3.246	− 4.222
$\frac{1}{2}N_2 + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow NO$	−15.198	− 6.090	− 4.063	− 2.482
$S(g) + O_2 \rightarrow SO_2$	+59.672	+23.190	+15.064	+ 8.753
$S(g) + H_2 \rightarrow H_2S$	+12.853	+ 4.140	+ 2.131	+ 0.548

* For any other reaction R which can be written in terms of the formation reactions R_i such that $R = \sum a_i R_i$, then $\log K = \sum a_i \log K_i$.

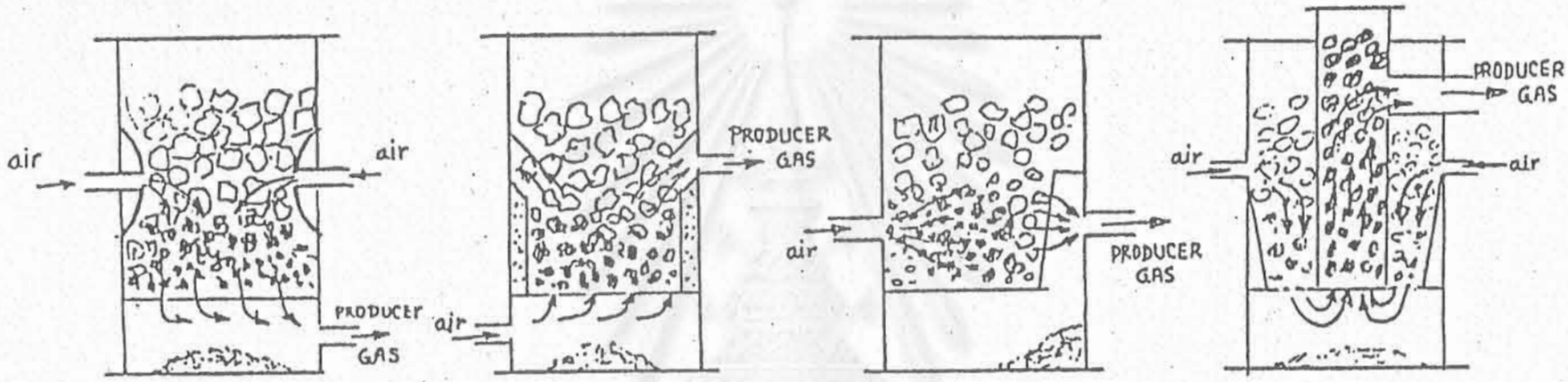
ตารางที่ 2.2 แสดงค่าความร้อนในการเกิดปฏิกิริยาสำหรับปฏิกิริยาการรวมตัวของแก๊ส, KJ/mole

Reaction	298 K	700 K	1000 K	1500 K
$C + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow CO$	−110.5	−110.5	−111.9	−116.1
$C + O_2 \rightarrow CO_2$	−393.5	−394.0	−394.5	−395.0
$C + 2H_2 \rightarrow CH_4$	− 74.8	− 85.3	− 89.5	− 94.0
$H_2 + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow H_2O$	−241.8	−245.6	−247.8	−250.5
$C + 2H_2 + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow CH_3OH(g)$	−201.2	−212.9	−217.2	−223.9
$2C + 3H_2 + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow C_2H_5OH(g)$	−218.5	−233.6	−238.0	−245.9
$2C + 3H_2 \rightarrow C_2H_6$	− 84.7	−100.4	−105.6	−110.8
$2C + 2H_2 \rightarrow C_2H_4$	+ 52.2	+ 42.3	+ 38.7	+ 33.2
$2C + H_2 \rightarrow C_2H_2$	+226.7	+225.0	+223.2	+217.9
$6C + 3H_2 \rightarrow C_6H_6(g)$	+ 82.9	+ 66.9	+ 62.7	+ 53.6
$6C + 3H_2 + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow C_6H_5OH(g)$	− 96.4	−108.9	−111.3	−113.2
$\frac{1}{2}N_2 + \frac{3}{2}H_2 \rightarrow NH_3$	− 45.9	− 52.6	− 55.0	− 57.5
$\frac{1}{2}N_2 + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow NO$	+ 90.4	+ 90.6	+ 90.6	+ 91.4
$S(g) + O_2 \rightarrow SO_2$	−361.7	−363.0	−362.9	−361.3
$S(g) + H_2 \rightarrow H_2S$	− 84.9	− 89.0	− 90.4	− 91.8

* For any other reaction R which can be written in terms of the formation reactions R_i such that $R = \sum a_i R_i$, then $\Delta H^\circ = \sum a_i \Delta_i (H^\circ)$



รูปที่ 2.1 แสดงค่าสมดุลของการเกิดปฏิกิริยาแก๊สซิฟิเคชัน



รูปที่ 2.2 เตาผลิตแก๊สสังเคราะห์แบบเบดเลื่อนตกขณะเผา

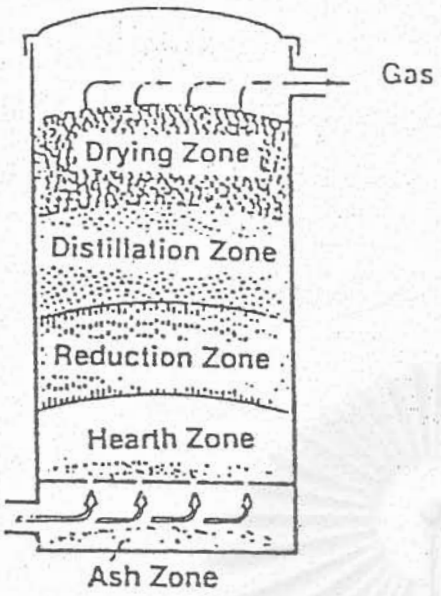
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ก. ระบบลมในเตาวิ่งขึ้น (Up-Draught Gasifier) ดูรูปที่ 2.3 ในระบบนี้ อากาศจะเข้าทางด้านล่างของเตา แล้วเผาไหม้เชื้อเพลิงที่อยู่ในช่วงเผาไหม้ (Combustion Zone) หรืออาร์ทโซน (Hearth Zone) ให้พลังงานความร้อนออกมาพร้อม ๆ กับการเกิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ จากนั้น แก๊สร้อนจะทำปฏิกิริยากับเชื้อเพลิงที่อยู่ในชั้นถัดขึ้นไปจากชั้นเผาไหม้เกิดปฏิกิริยารีดักชัน ให้แก๊สเชื้อเพลิงออกมา ในขณะเดียวกันอุณหภูมิของสายแก๊สจะลดลงเพราะการเกิดปฏิกิริยาดูดความร้อน และถ่ายเทความร้อนให้กับเชื้อเพลิงในชั้นถัดขึ้นไป ทำให้เกิดการกลั่นทำลาย และอบแห้ง ตามลำดับ โดยมากนิยมใช้กับเชื้อเพลิงที่มีทาร์น้อย เช่น ถ่าน [11]

ข. ระบบลมในเตาวิ่งลง (Down Draught Gasifier) ดูรูปที่ 2.4 ระบบนี้อากาศจะเข้ามาที่ส่วนเผาไหม้ทางด้านข้างของเตา แล้วเกิดการเผาไหม้ให้พลังงานความร้อนออกมา จากนั้น จะไหลลงไปทำปฏิกิริยากับเชื้อเพลิงในส่วนล่างเกิดแก๊สซิฟิเคชันในช่วงรีดักชัน (Reduction Zone) แล้วออกไปพร้อมกับเถ้า ในส่วนบนของส่วนเผาไหม้จะเกิดการกลั่นทำลายและอบแห้ง เมื่อเกิดการเผาไหม้ไปเรื่อย ๆ เชื้อเพลิงในส่วนบนจะไหลลงมาแทนที่เรื่อย ๆ

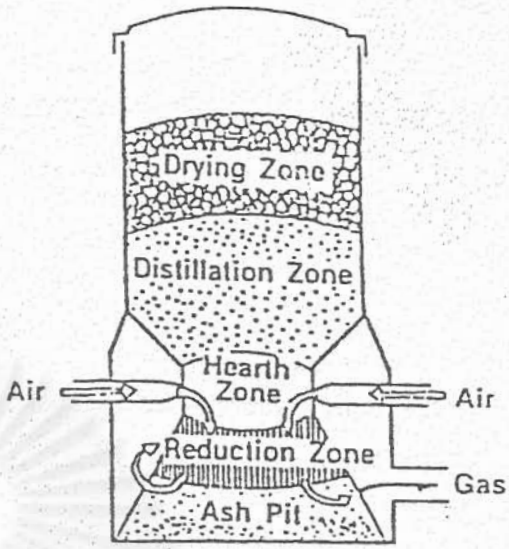
ค. ระบบลมในเตาวิ่งในแนวขวาง (Cross Draught Gasifier) ดูรูปที่ 2.5 ระบบนี้อากาศจะเข้ามาทางด้านข้างของเตา และออกไปทางด้านตรงข้ามกัน ส่วนรีดักชันจะอยู่ติดทางออก ซึ่งจะมีตะแกรงกันเชื้อเพลิงหลุดติดออกไป ช่วงเผาไหม้จะเกิดที่ส่วนที่อากาศเข้ามา ซึ่งมักจะอยู่บริเวณใจกลางของเตา ดังนั้น เตานี้จึงสามารถใช้ตัวถังเป็นเหล็ก ไม่จำเป็นต้องมีฉนวนปูนทนไฟ สำหรับส่วนกลั่นทำลายและส่วนอบแห้งจะอยู่ที่ด้านบนของส่วนเผาไหม้ ระบบนี้เหมาะกับเชื้อเพลิงที่มีทาร์น้อยเช่นกัน [11]

ง. ระบบลมในเตาวิ่งขึ้น-ลง (Double Circulation Gasifier) ดูรูปที่ 2.6 ระบบนี้เป็นการผสมผสานระหว่างระบบลมวิ่งขึ้น และระบบลมวิ่งลง โดยให้ระบบลมวิ่งลงอยู่ที่ด้านนอก และระบบลมวิ่งขึ้นอยู่ที่ส่วนใน อากาศที่เข้ามาจะเผาไหม้เชื้อเพลิงที่ด้านนอกเกิดการเผาไหม้ ให้พลังงานความร้อนและคาร์บอนไดออกไซด์เพื่อทำปฏิกิริยารีดักชันกับเชื้อเพลิงด้านใน ดังนั้น สามารถใช้เชื้อเพลิงที่มีทาร์สูง



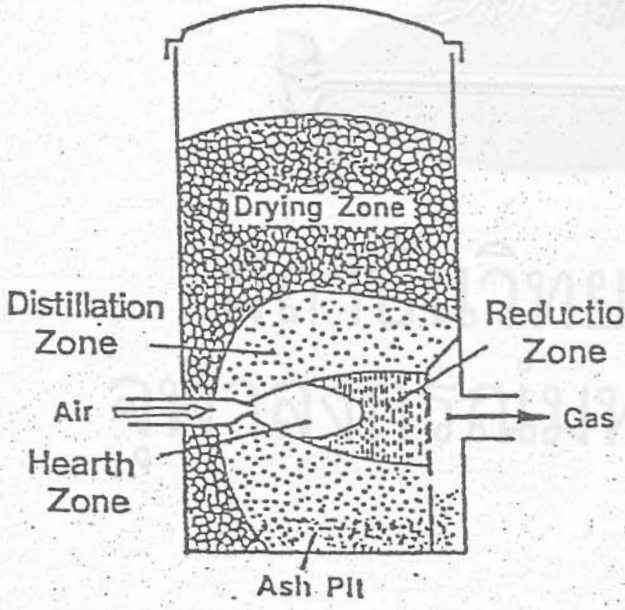
UPDRAUGHT

รูปที่ 2.3 เตาปฏิกรณ์ระบบลมในเตาวิ่งขึ้น และแสดงบริเวณการเกิดกระบวนการต่างๆ (11)



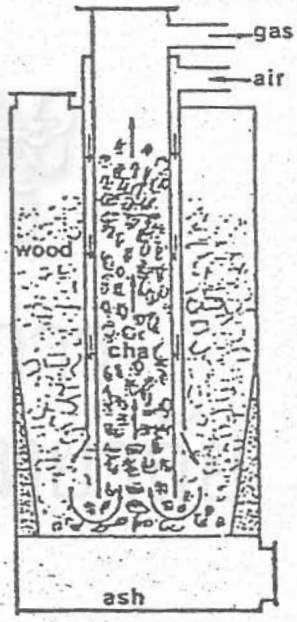
DOWNDRAUGHT

รูปที่ 2.4 เตาปฏิกรณ์ระบบลมในเตาวิ่งลง และแสดงบริเวณการเกิดกระบวนการต่างๆ (11)



CROSSDRAUGHT

รูปที่ 2.5 เตาปฏิกรณ์ระบบลมในเตาวิ่งในแนวนอนและแสดงบริเวณการเกิดกระบวนการต่างๆ (11)



DOUBLE CIRCULATION

รูปที่ 2.6 เตาปฏิกรณ์ระบบลมในเตามีทั้งวิ่งขึ้นและวิ่งลง (9)

ในด้านนอกได้ ข้อดีของระบบนี้คือ สามารถควบคุมความยาวของรีดักชันได้ อย่างไรก็ตาม เชื้อเพลิงที่ใช้ในส่วนกลางควรมีทาร์ต่ำ [9]

2.2.2 เตาปฏิกรณ์แบบฟลูอิไดซ์เบด

เป็นเตาที่พัฒนาเพื่อใช้กับเชื้อเพลิงที่มีขนาดเล็กๆ เช่น ขี้เลื่อย, ขี้กบ, แกลบ, ถ่านบด, ถ่านหินบด ฯลฯ ระบบนี้จะทำให้เชื้อเพลิงลอยตัวอยู่ในสภาพฟลูอิไดซ์เพื่อเกิดการเผาไหม้และรีดักชัน แบ่งออกได้เป็น 2 ระบบ ได้แก่

ก. ระบบที่ไม่ต้องพึ่งแหล่งพลังงานความร้อนจากภายนอก (Direct Heat Fluidized Bed Gasifier) ดูรูปที่ 2.7 ระบบนี้จะเผาไหม้และเกิดแก๊สซิฟิเคชันพร้อม ๆ กัน โดยใช้พลังงานความร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้ภายในเตา [12]

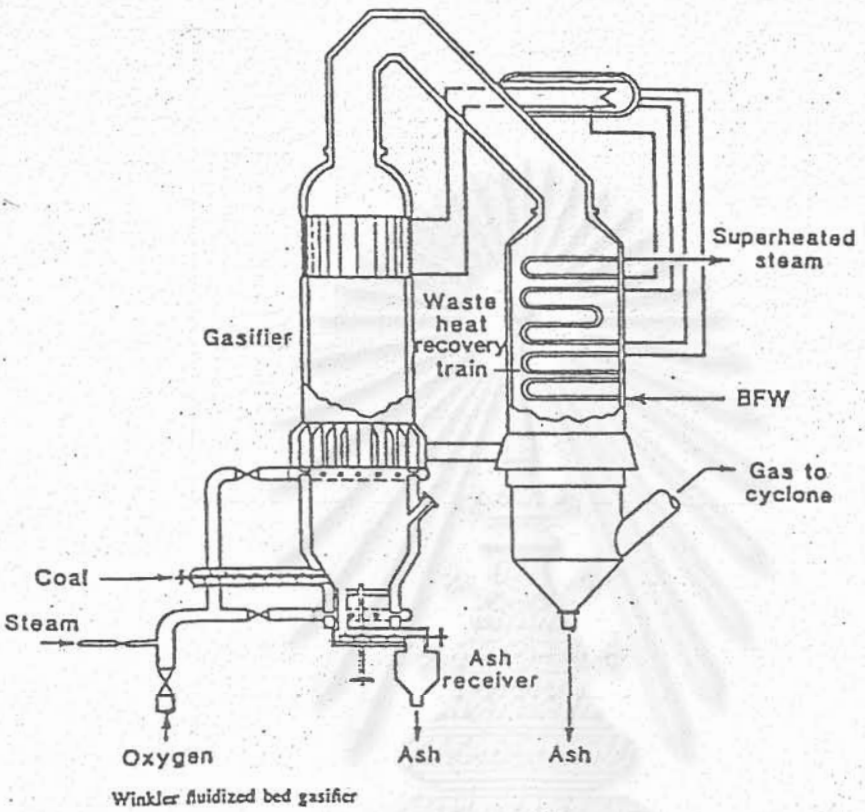
ข. ระบบที่ต้องใช้ความร้อนจากภายนอกเตา (Indirect Heat Fluidized Bed Gasification) ดูรูปที่ 2.8 ระบบนี้จะเผาไหม้เชื้อเพลิงให้ร้อนจากภายนอกเตาโดยใช้ระบบฟลูอิไดซ์เบด แล้วให้เชื้อเพลิงที่ร้อนนี้ทำปฏิกิริยากับไอน้ำและแก๊สจากการเผาไหม้อีกที เพื่อเกิดแก๊สซิฟิเคชันภายในเตา [12]

2.2.3 เตาปฏิกรณ์แบบเอนเทรนด์โฟลว์

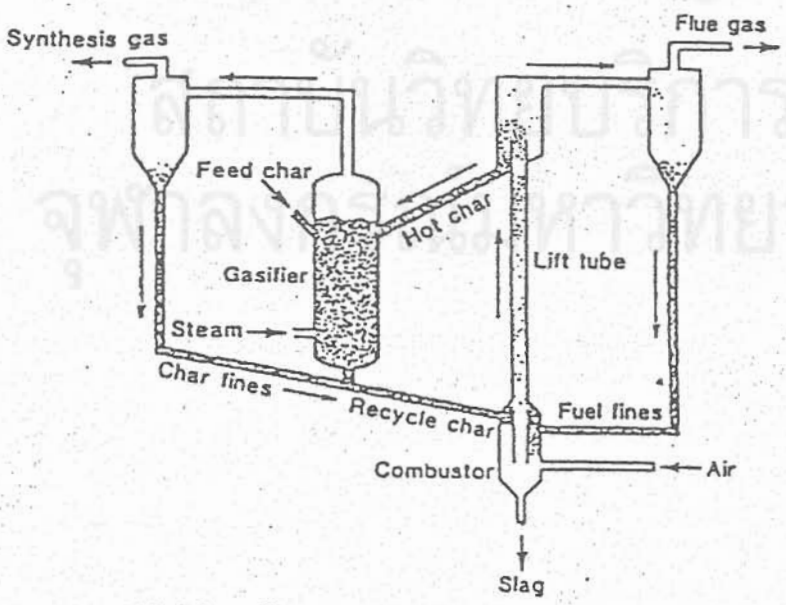
เป็นเตาที่นิยมใช้กับเชื้อเพลิงประเภทถ่าน ทั้งถ่านหินและถ่านไม้ โดยบดเป็นเม็ดเล็ก ๆ ผสมกับน้ำเป็นมลสาย (Slurry) แล้วใช้ออกซิเจนเป็นแก๊สสำหรับการเผาไหม้ [12] ดูรูปที่ 2.9

2.2.4 เตาปฏิกรณ์แบบโมลเทนมีเดีย

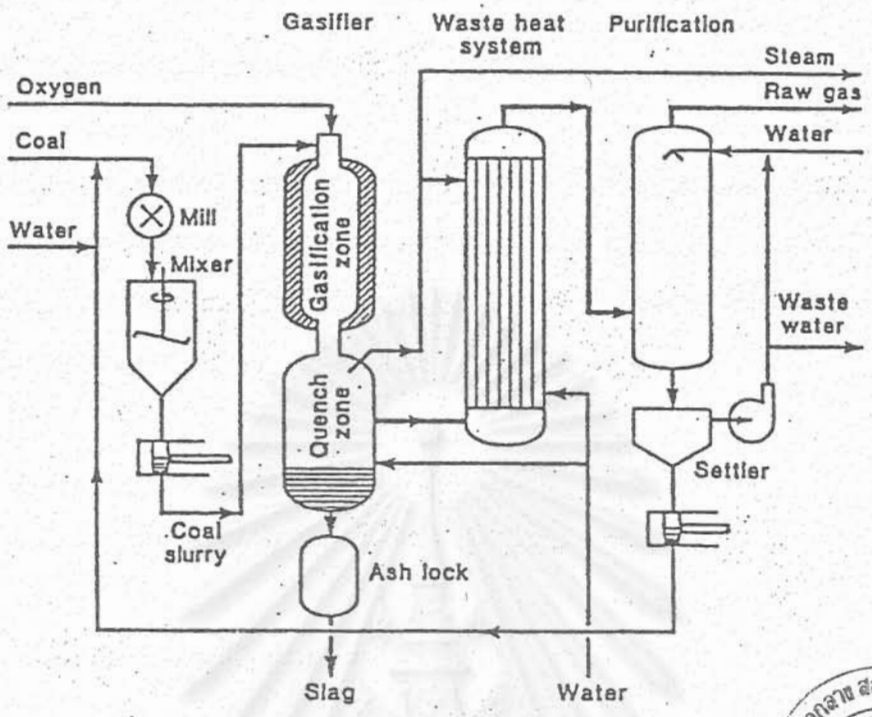
เป็นเตาที่ใช้กับถ่านหิน โดยปนกับสารบางชนิดที่ช่วยในการหลอมเหลว เช่น โดโลไมท์ (Dolomite) หรือเหล็กออกไซด์เผารวมกันให้อยู่ในสภาวะของเหลว ใช้ออกซิเจนเป็นแก๊สช่วยในการเผาไหม้ แสลก (Slag) และกำมะถันจะรวมตัวกันไหลออกไปทางช่องทิ้งแสลก [12] ดูรูปที่ 2.10



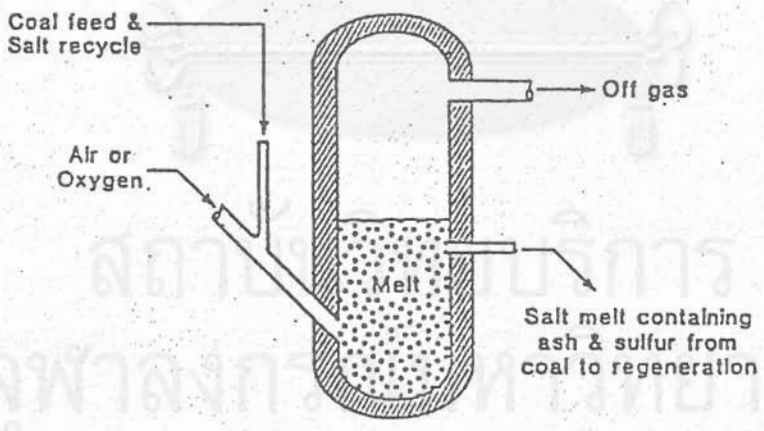
รูปที่ 2.7 เตาปฏิกรณ์แบบ ฟลูอิไดซ์เบด โดยใช้ความร้อนที่เกิดขึ้นภายในเตา (12)



รูปที่ 2.8 เตาปฏิกรณ์แบบ ฟลูอิไดซ์เบด โดยใช้ความร้อนจากนอกเตา (12)



รูปที่ 2.9 เคาปฏิกรณ์แบบ เอ็นเทรนด์โฟลว์ (12)



รูปที่ 2.10 เคาปฏิกรณ์แบบ ไบลเทนบี เคีย (12)

2.3 สมมติฐานในการออกแบบเตาผลิตแก๊สสังเคราะห์

เนื่องจากไม่มีทฤษฎีในการออกแบบที่ชัดเจน จึงจำเป็นที่จะต้องเลือกการออกแบบเตาฯ จากการขยายขนาดของเตาสังเคราะห์แก๊สของ นายพิเชษฐ์ ขุมทรัพย์ [5] เพราะมีข้อมูลค่อนข้างละเอียดเกี่ยวกับผลการทดลองและขนาดของเตาฯ ที่ใช้ในการทดลอง โดยได้ตั้งสมมติฐานในการขยายขนาดดังต่อไปนี้

2.3.1 ความเร็วของแก๊สที่ผ่านฮาร์ทโชนคงที่

2.3.2 ให้เวลาของการทำปฏิกิริยาในรีดักชันโชนคงที่

2.4 การออกแบบเตาผลิตแก๊สสังเคราะห์

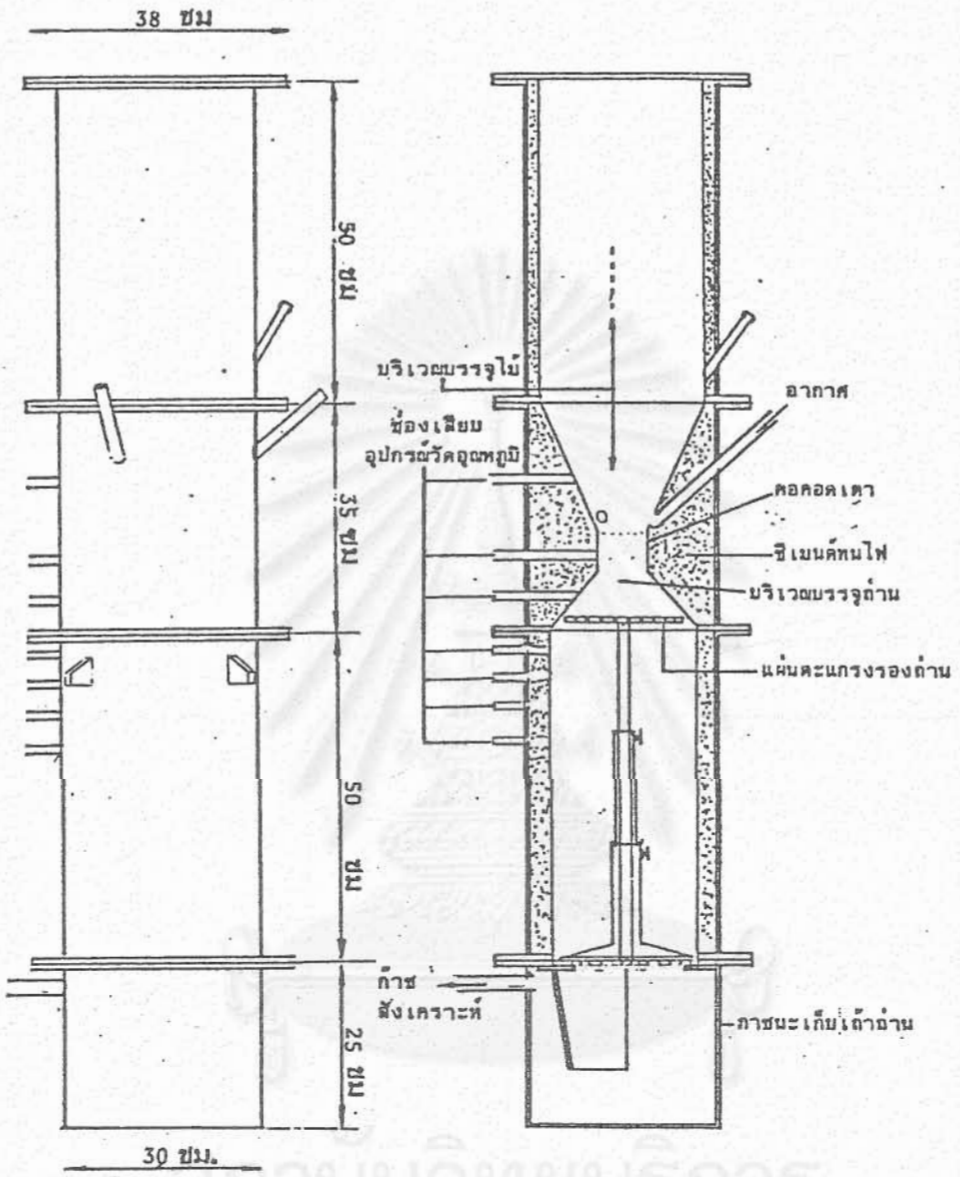
ได้เลือกแบบเตาของนายพิเชษฐ ขุมทรัพย์ [5] และข้อมูลที่ 5 เป็นจุดเริ่มต้นการออกแบบ รูปที่ 2.11 แสดงเตาผลิตแก๊สเชื้อเพลิงที่นายพิเชษฐใช้ศึกษา โดยเตานี้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 300 มม. สูง 1,600 มม. และเลือกอัตราเร็วของแก๊สที่ 40 ลบ.เมตร/ชม. เพราะได้ค่า CO + H_2 มีเปอร์เซ็นต์สูงสุด จาก ตารางที่ 2.3 และรายละเอียดของภาวะที่ใช้ทดลองเป็นดังต่อไปนี้

อัตราไหลแก๊ส 40 ลบ.เมตร/ชม., เส้นผ่าศูนย์กลางคอคอด 140 มม. ความยาวช่วงรีดักชั่น 200 มม. เส้นผ่าศูนย์กลางภายในส่วนของรีดักชั่น 250 มม.

ขนาดภายในของเตาที่ออกแบบจะใช้การขยายขนาดของเตาของนายพิเชษฐ์ โดยมีข้อจำกัดดังต่อไปนี้

ก. แก๊สเชื้อเพลิงที่ออกจากเตาผลิตแก๊สสังเคราะห์ มีอัตราการไหล 45 ลบ.เมตร/ชม.

ข. ขนาดที่ทำงานของเตาต้องไม่เกิน กว้าง 3 เมตร, ยาว 3 เมตร, สูง 7 เมตร เพื่อที่จะสามารถบรรจุอยู่ภายในพื้นที่ของห้องปฏิบัติการวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.11 ส่วนต่าง ๆ ภายในของเตาปฏิกรณ์ผลิตแก๊สเชื้อเพลิง
ที่ นายพิเชษฐ์ ขุมทรัพย์ ใช้ทดลอง

ตารางที่ 2.3 อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ของเตาผลิตแก๊ส และผลการวิเคราะห์แก๊สเชื้อเพลิงด้วย Gas Chromatograph ของการทดลองชุดที่ 5

อัตราการไหลของแก๊สเชื้อเพลิง(ลบ.ม./ชม.)	อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่าง ๆ ของเตาผลิตแก๊ส (°ซ) ตำแหน่งที่				ปริมาณแก๊สต่าง ๆ ของแก๊สเชื้อเพลิง (% โมล)					
	1	2	3	4	CO	CH_4	H_2	CO_2	N_2	O_2
5	310	720	280	53	12.68	1.29	4.78	6.96	70.04	4.25
9	356	856	396	53	14.19	1.65	5.56	7.91	66.77	3.92
13	470	923	498	74	16.20	1.92	6.05	7.38	65.10	3.35
17	522	987	683	128	16.95	1.99	6.52	7.91	63.81	2.82
20	490	1002	720	238	18.34	2.14	8.20	7.40	61.72	2.20
25	528	1044	778	370	19.31	2.01	8.90	7.62	60.75	1.41
30	520	1065	803	457	19.90	1.83	10.34	7.1	59.97	0.86
35	501	1109	882	540	21.50	1.40	11.22	7.29	57.76	0.83
40	**503**	**1156**	**901**	**650**	**22.34**	**1.18**	**11.55**	**6.39**	**57.48**	**1.06**
43	489	1210	936	721	21.75	1.08	12.68	6.75	56.8	0.93

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ค. สามารถเดินเครื่องต่อเนื่อง 24 ชั่วโมง

ง. ใช้อากาศในการเผาไหม้

จ. วัสดุที่ใช้ สามารถหาได้ภายในประเทศไทย

ฉ. เชื้อเพลิงที่ใช้เป็นชี้เลื่อย เศษไม้ ถ่านไม้

ช. สามารถผลิตแก๊สสังเคราะห์ที่มีองค์ประกอบของคาร์บอนมอนนอกไซด์รวมกับไฮโดรเจนสูง

ในการออกแบบได้เลือกใช้ช่วงเวลา 8 ชั่วโมง สำหรับการเติมเชื้อเพลิง เนื่องจากจะทำการเดินเครื่องเป็น 3 กะ กะละ 8 ชั่วโมง

แบบการไหลของแก๊สในเตาผลิตแก๊สเชื้อเพลิงนี้ ได้ออกแบบให้มีการไหลแบบขึ้น-ลง โดยจะให้การเผาไหม้มีการไหลแบบแก๊สไหลลง (Down draft) และในช่วงรีดักชั่นจะไหลแบบขึ้น (Up draft) การคำนวณ (ภาคผนวก ก.) หาขนาดช่องเปิดของส่วนเผาไหม้ ได้ระยะห่าง 24 มม. หรือประมาณ 1 นิ้ว โดยกำหนดให้ช่องใส่ถ่านตรงกลางมีขนาด 205 มม.

ปริมาตรของเตาที่ได้จากการคำนวณ (ภาคผนวก ก.) มีขนาด 0.479 ลบ.เมตร ได้เลือกใช้เตาเป็นรูปทรงกระบอก มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1,000 มม. สูง 2,000 มม. จะได้ปริมาตรใกล้เคียงกับค่าที่ออกแบบ เพราะเมื่อก่อปูนทนไฟแล้วปริมาตรจะลดลง 2/3 ได้ค่าปริมาตรภายในของเตา 0.523 ลบ.เมตร ใกล้เคียงกับค่าที่ออกแบบไว้

ช่องเติมเชื้อเพลิงจะออกแบบให้มีการป้องกันการไหลเข้าของอากาศทางช่องที่เปิดคือใช้ระบบฝา 2 ชั้น เมื่อต้องการเปิดชั้นนอกจะปิดชั้นในก่อน ป้องกันอากาศไหลเข้าขณะเติมเชื้อเพลิง

สรุปข้อกำหนดในการออกแบบเตาผลิตแก๊สสังเคราะห์ คือ

1.	อัตราการไหลของแก๊สสังเคราะห์ขาออก	45	ลบ.ม./ชม.
2.	ขนาดของเตาผลิตแก๊สสังเคราะห์	1.5	ลบ.ม
	เส้นผ่าศูนย์กลาง	1	เมตร
	ความสูง	2	เมตร
3.	อุณหภูมิในเตา (องศาเซลเซียส)	1,100-1,200	
4.	ขนาดที่เก็บขี้เถ่าย (Hopper)	2 x 0.25	ลบ.ม.
5.	ขนาดที่เก็บถ่าน (Hopper)	0.25	ลบ.ม.
6.	การควบคุมการไหลเลื่อนของเชื้อเพลิงแข็งใช้แรงดึงดูดของโลก		

หมายเหตุ

1. ในการออกแบบครั้งแรก เนื่องจากขาดข้อมูลการทดลอง จึงได้ใช้สมการปฏิกิริยาเคมีอย่างง่าย ๆ คือ

$$C + O_2 + H_2O \text{ ------> } CO + CO_2 + H_2$$

หรืออัตราส่วนระหว่าง $CO:H_2:O_2 = 1:1:1$ แต่ภายหลังที่นายพิเชษฐ์ได้ทำการทดลองแล้ว จึงได้อาศัยข้อมูลของนายพิเชษฐ์ เป็นหลักในการออกแบบเตาผลิตแก๊สสังเคราะห์ต่อไป

2. เนื่องจากการทดลองของนายพิเชษฐ์ใช้อากาศในการเดินเตาผลิตแก๊สสังเคราะห์ ดังนั้น ในการออกแบบครั้งนี้ จึงถือว่าใช้อากาศในการเดินเตาผลิตแก๊สสังเคราะห์เหมือนกัน แต่เมื่อจะทำการเดินเครื่องปฏิกรณ์จะพยายามใช้แก๊ส O_2 แทนอากาศ

บทที่ 3

การสร้างเตาผลิตแก๊สสังเคราะห์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

การสร้างเตาผลิตแก๊สสังเคราะห์

การสร้างเตาผลิตแก๊สสังเคราะห์ (Gasifier) ได้แบ่งออกเป็นส่วนต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

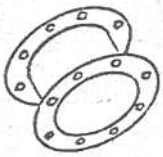
3.1 การสร้างตัวถังส่วนบน
3.2 การสร้างตัวถังส่วนเผาไหม้
3.3 การสร้างส่วนเก็บกักเถ้าถ่าน
3.4 การสร้างส่วนเก็บกักเชื้อเพลิง
3.5 การสร้างช่องใส่ถ่านกลางเตา
3.6 การประกอบส่วนต่าง ๆ

3.1 การสร้างตัวถังส่วนบน (ดูรูปที่ 3.1)

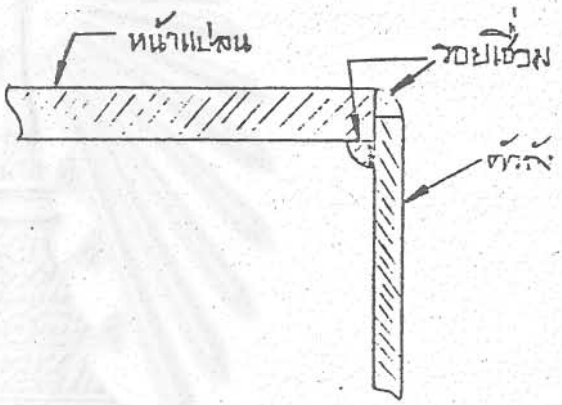
ในการสร้างตัวถังเตาผลิตแก๊สสังเคราะห์ ได้นำเหล็กแผ่นขนาดยาว 3,140 มม. กว้าง 640 มม. หนา 3 มม. ดูรูปที่ 3.1.ก มาม้วนตามความยาวเป็นทรงกระบอก มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1,000 มม. สูง 640 มม. เชื่อมยึดตามแนวตะเข็บ ดูรูปที่ 3.1.ข แล้วนำทรงกระบอกนี้ไปเชื่อมต่อกับหน้าแปลนที่ทำจากเหล็กแผ่นหนา 8 มม. ตัดเป็นวงแหวน มีรัศมีภายใน 1,000 มม. และรัศมีวงนอก 1,300 มม. เจาะช่องยึดน็อต จำนวน 16 รู ขนาด 20 มม. ดูรูปที่ 3.1.ค การเชื่อมจะทำที่ด้านนอกและในของหน้าแปลน ดูรูปที่ 3.1.ง ประกอบ จากนั้นจึงใช้หินเจียรมือแต่งรอยเชื่อมให้เรียบและสวยงาม ทาสีกันสนิม 2 ครั้ง

ก. แผ่นเหล็กขนาด 3,140 มม. x 640 มม. หนา 3 มม.

ข. ม้วนเป็นทรงกระบอกรัศมี 1,000 มม. สูง 640 มม. เชื่อมตามแนวตะเข็บ



ค. เชื่อมต่อกับหน้าแปลนหนา 8 มม. รัศมีวงใน 1,000 มม. วงนอก 1,300 มม.



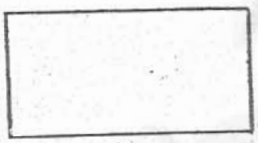
ง. รอยเชื่อมระหว่างหน้าแปลนกับตัวถัง

รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการสร้างตัวถังส่วนบน

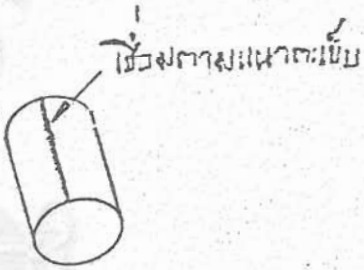
3.2 การสร้างตัวถังส่วนเผาไหม้

การสร้างทำเช่นเดียวกับตัวถังส่วนบน แต่ใช้เหล็กขนาด 3,140 มม. กว้าง 1,560 มม. หนา 3 มม. ดูรูปที่ 3.2.ก มาม้วนเป็นทรงกระบอกเชื่อมตามแนวตะเข็บ และส่วนต่อของทรงกระบอก ดูรูปที่ 3.2.ข นำหน้าแปลนที่ทำจากแผ่นเหล็กหนา 1 ซม. ซึ่งตัดเป็นวงแหวนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางวงนอกและในเป็น 1,300, 1,000 ตามลำดับ หน้าแปลนนี้จะเป็นส่วนที่ต่อกับตัวถังส่วนบน ดูรูปที่ 3.2.ค จากนั้น จะเจาะที่ตัวถังเป็นช่องสี่เหลี่ยมขนาด 5 ซม. x 5 ซม. แต่จะตัดเพียง 3 ด้าน โดยรอบตัวถัง แล้วจิงเคาะเข้าไปภายในตัวถังเพื่อใช้เป็นแนวช่องลมเข้าส่วนก่อนเผาไหม้ เพื่อทำให้เกิด

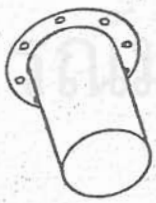
ลมหมุนภายในตัวถัง ดูรูปที่ 3.2.ง จากนั้นจะนำแผ่นเหล็กวงแหวน ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางวงนอกและในเป็น 1,300, 1,010 ตามลำดับ จำนวน 2 แผ่นมาเชื่อมติดกับตัวถังเพื่อจะเป็นปล่องที่จะให้เกิดลมหมุนรอบตัวถัง ดูรูปที่ 3.2.จ แล้วจึงเชื่อมปิดด้วยแผ่นเหล็กที่ม้วนไว้ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1,300 กว้าง 100 จากนั้นจะเชื่อมต่อกับท่อเหล็กสังกะสีขนาด 4 นิ้ว เพื่อเป็นช่องลมเข้า ดูรูปที่ 3.2.ฉ แล้วจะเจาะรูขนาด 1.5 ซม. จำนวน 12 รูโดยรอบส่วนที่จะเกิดการเผาไหม้เพื่อเป็นช่องเสียบเครื่องวัดอุณหภูมิและเป็นช่องลมเข้าส่วนเผาไหม้ โดยนำท่อเหล็ก 3/4 นิ้ว ที่ทำเกลียวปลายด้านหนึ่งมีขนาดยาว 12 ซม. 8 ท่อน มาเชื่อมปิดรูที่เจาะไว้ ยกเว้นรูด้านหน้า ข้างซ้าย ขวา และหลังที่อยู่ตรงข้ามกัน จะเชื่อมด้วยท่อขนาด 2 นิ้ว ยาว 12 ซม. 4 ท่อน เพื่อเป็นช่องจุดเตา ดูรูปที่ 3.2.ช จากนั้นจะเชื่อมต่อกับแผ่นเหล็กหน้าแปลนวงแหวนขนาดหนา 8 ซม. เส้นผ่าศูนย์กลางวงนอกและในเป็น 1,300, 600 ตามลำดับ เพื่อเป็นส่วนรับน้ำหนักของอิฐทนไฟและปูนทนไฟที่จะก่อภายในเตา ดูรูปที่ 3.2.ซ ประกอบ



ก. นำแผ่นเหล็กขนาด 3,140 มม. x 780 มม. หนา 3 มม.



ข. ม้วนและเชื่อมเป็นทรงกระบอก

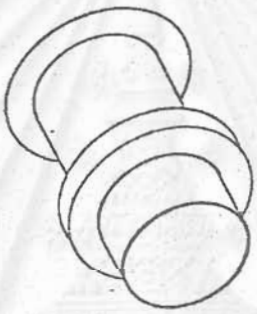


ค. เชื่อมต่อกับหน้าแปลนที่มีรัศมีวงนอกและในเป็น 1,300, 1,000 ตามลำดับ

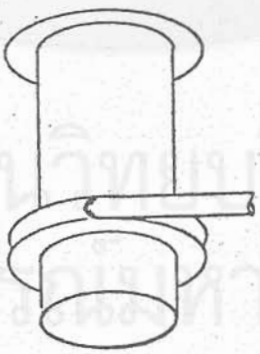
รูปที่ 3.2 การสร้างตัวถังส่วนเผาไหม้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ง. เจาะช่องสี่เหลี่ยมขนาด 1.5 นิ้ว x 1.5 นิ้ว จำนวน 12 ช่อง โดยรอบ แล้วเคาะแผ่นเหล็กที่เจาะเข้าไปภายในตัวถัง

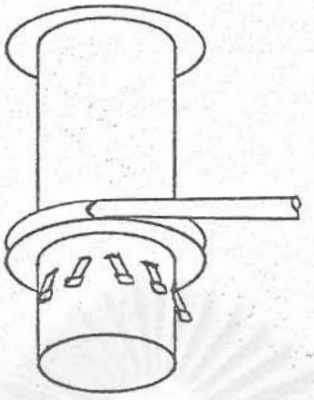


จ. เชื่อมด้วยวงแหวนเหล็กขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางวงในและนอก 1,000, 1,300 ตามลำดับ

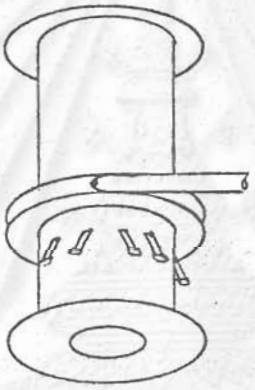


ฉ. เชื่อมปิดด้วยแผ่นเหล็กขนาด 4,084 x 100 และเชื่อมต่อด้วยท่อเหล็กขนาด 4 นิ้ว

รูปที่ 3.2 (ต่อ)



ช. เจาะรูขนาด 15 มม. โดยรอบตัวถัง แล้วเชื่อมต่อด้วยท่อขนาด 3/4 นิ้ว ทำมุมเอียง 30 องศา จากแนวราบ ยกเว้น 4 จุด ที่อยู่ตรงข้ามกันจะเชื่อมด้วยท่อ 2 นิ้ว



ช. เชื่อมต่อท่อนล่างด้วยหน้าแปลนที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายในและภายนอกเป็น 1,300, 450 ตามลำดับ

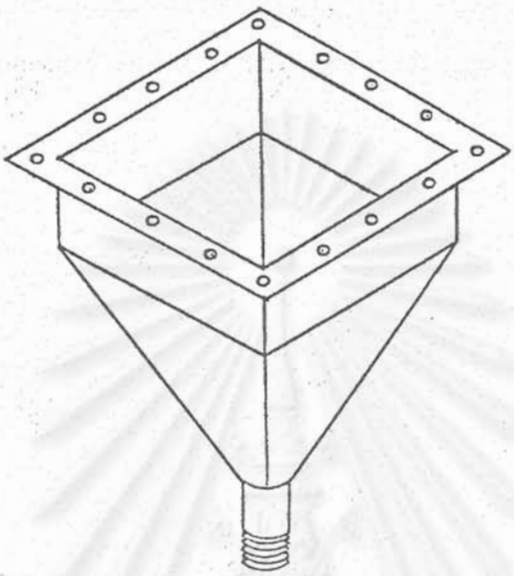
รูปที่ 3.2 (ต่อ)

จากนั้น จะใช้หินเจียรแต่งรอยเชื่อม และขัดผิวเหล็กส่วนที่เป็นสนิมออก ทาด้วยสีกันสนิม 2 ชั้น จะได้ตัวถังส่วนเผาไหม้รอการประกอบและฉาบปูนภายใน

3.3 ส่วนเก็บกักเถ้าถ่าน

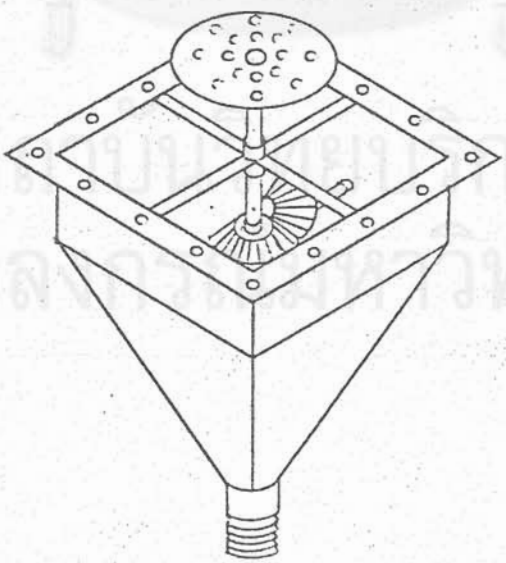
นำแผ่นเหล็กมาม้วนเป็นทรงกระบอก และเชื่อมต่อด้วยหน้าแปลนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายในและภายนอกเป็น 1,000, 1,300 ตามลำดับ ในส่วนล่างใช้แผ่นเหล็ก

หน้าแปลนหนา 1 ซม. มีเส้นผ่าศูนย์กลางวงในและนอกเป็น 1,300, 220 ตามลำดับ จากนั้นนำเหล็กแผ่นมาเชื่อมเป็นตัวถัง ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ตัวถังเก็บกักถ่านด้านล่าง

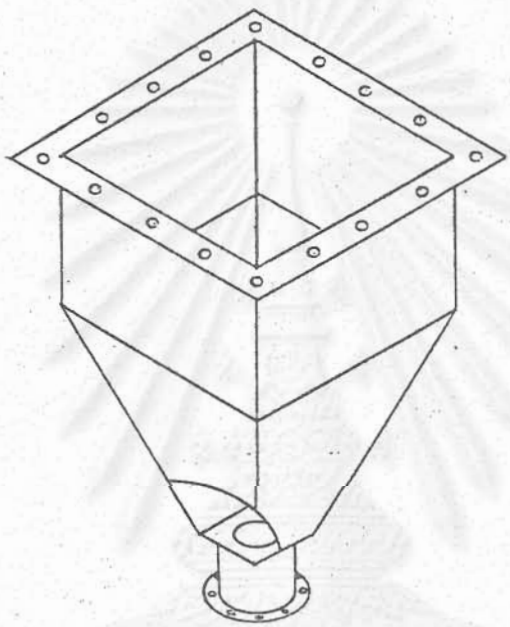
นำแท่งเหล็กที่ต่อกับเกียรส่งกำลังแนวฉาก (bevel gear) มาเชื่อมต่อกับส่วนนี้ ดังรูปที่ 3.4 เพื่อเป็นส่วนรองรับถ่านช่องกลาง



รูปที่ 3.4 ส่วนรองรับถ่านและเก็บกักเถ้าถ่าน

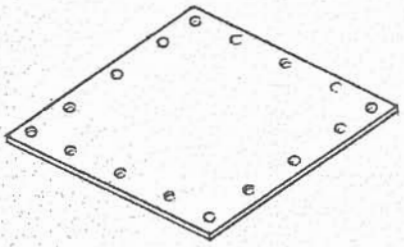
3.4 ส่วนเก็บกักเชื้อเพลิง

จะใช้แผ่นเหล็กหนา 3 มม. ตัดขนาดตามรูปที่ 3.7 เป็นโครงสร้างถัง เชื่อมต่อด้วยหน้าแปลนสี่เหลี่ยมที่ทำจากเหล็กหนา 7.5 มม. ส่วนล่างเชื่อมต่อกับท่อขนาด 203 มม. (8 นิ้ว) ดังรูปที่ 3.5

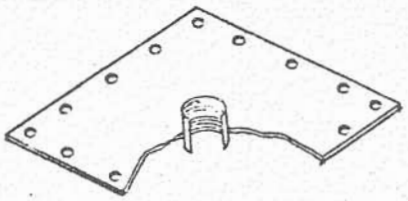


รูปที่ 3.5 ตัวถังส่วนเก็บกักเชื้อเพลิง

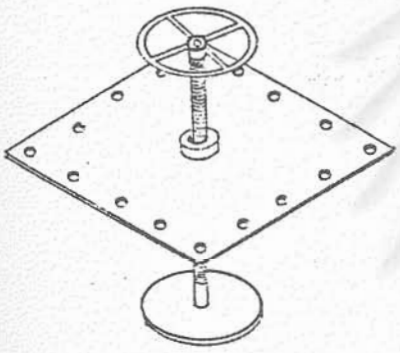
ส่วนฝาซึ่งเป็นส่วนสำคัญ เพราะจะทำประตู 2 ชั้น สำหรับเติมเชื้อเพลิง ทำโดยนำเหล็กแผ่นหนา 8 มม. ตัดขนาดความยาวเท่ากับหน้าแปลนตัวถัง ส่วนเก็บกักเชื้อเพลิง เจาะช่องตรงแนวของท่อ 203 มม. เชื่อมด้วยปลอกเหล็กเกลียวในขนาด 20 มม. จากนั้นจึงนำแท่งเกลียวนอกมาใส่เพื่อเป็นแกนของฝาปิดใน เชื่อมต่อส่วนปลายทั้งสองด้วยมือหมุน และฝาปิดที่ทำจากเหล็กแผ่นหนา 8 มม. จากนั้นจึงทำช่องประตูบนเพื่อเป็นที่เติมเชื้อเพลิง ดังรูปที่ 3.6



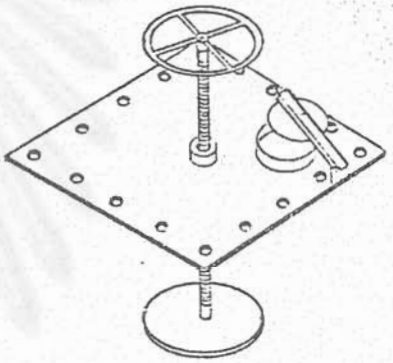
ก. แผ่นเหล็กขนาด 8 มม. ขนาดเท่าหน้าแปลนของตัวถังส่วนเก็บกักเชื้อเพลิง



ข. เชื่อมต่อกับปลอกเหล็กเกลียวในขนาด 20 มม.



ค. นำแท่งเหล็กเกลียวตลอดขนาด 3/4 นิ้ว เชื่อมต่อด้านล่างกับแผ่นเหล็ก เส้นผ่าศูนย์กลาง 230 มม. (9 นิ้ว) หนา 8 มม. ด้านบนใส่น็อตล๊อคมือหมุน

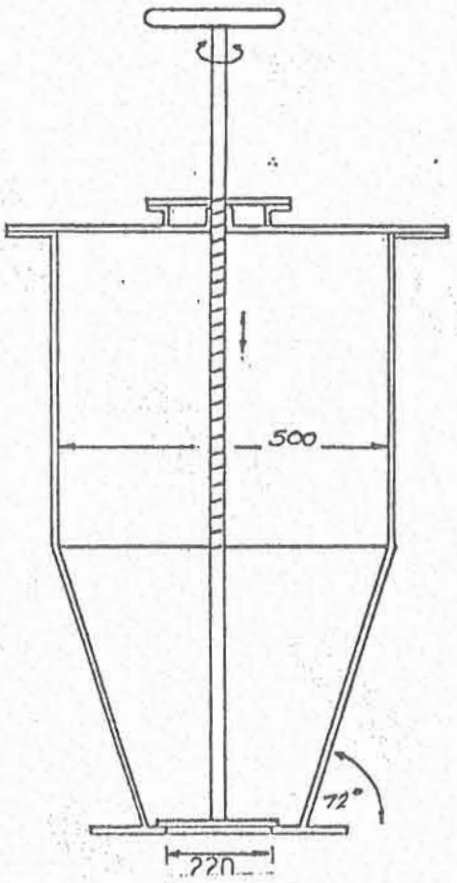


ง. เชื่อมต่อด้วยฝาเติมเชื้อเพลิงด้านนอก

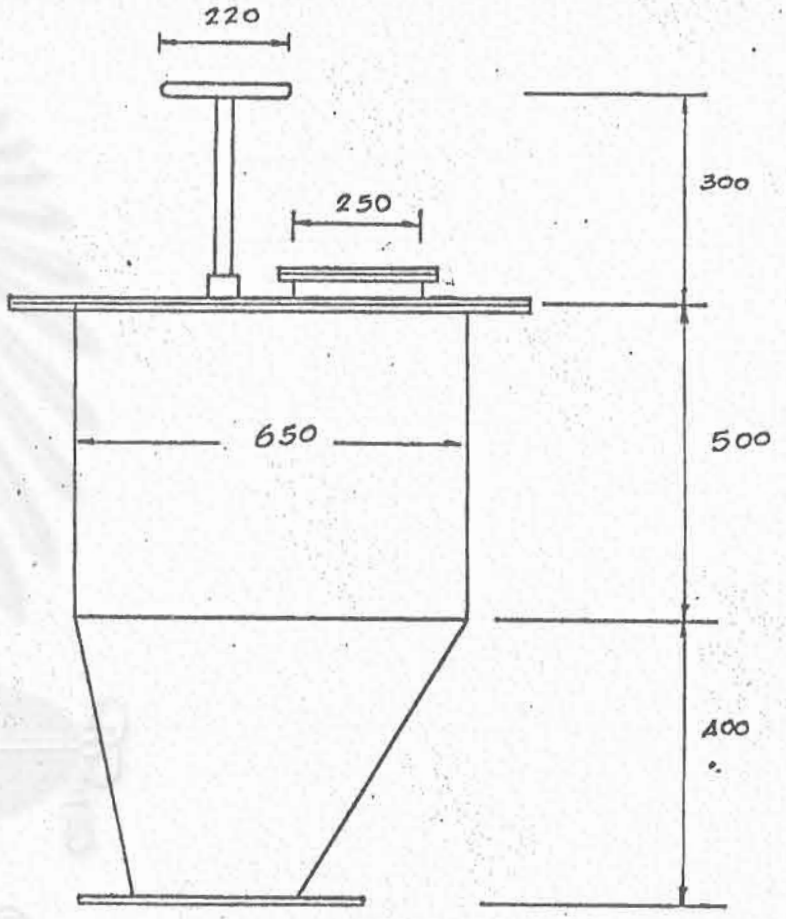
รูปที่ 3.6 การสร้างฝาปิดส่วนเก็บกักเชื้อเพลิง

3.5 ช่องเก็บถ่านส่วนกลาง

ช่องนี้จะถูกแบ่งออกเป็น 2 ท่อน เพราะอยู่ติดกับส่วนเผาไหม้ ท่อนแรกนี้จะเป็นส่วนที่ใส่ถ่านซึ่งจะทนอุณหภูมิสูง จึงใช้ปูนทนไฟหล่อกับท่อสังกะสี 180 มม. (7 นิ้ว) ใช้ลวดตาข่ายเสริมเป็นโครงสร้าง หล่อปูนหนา 1 ซม. ท่อนที่ 2 จะต่อจากส่วนเก็บกักถ่านลงมาจนถึงช่องทางออกแก๊ส ทำด้วยท่อเหล็ก 8 นิ้ว



หน่วย : m.m.

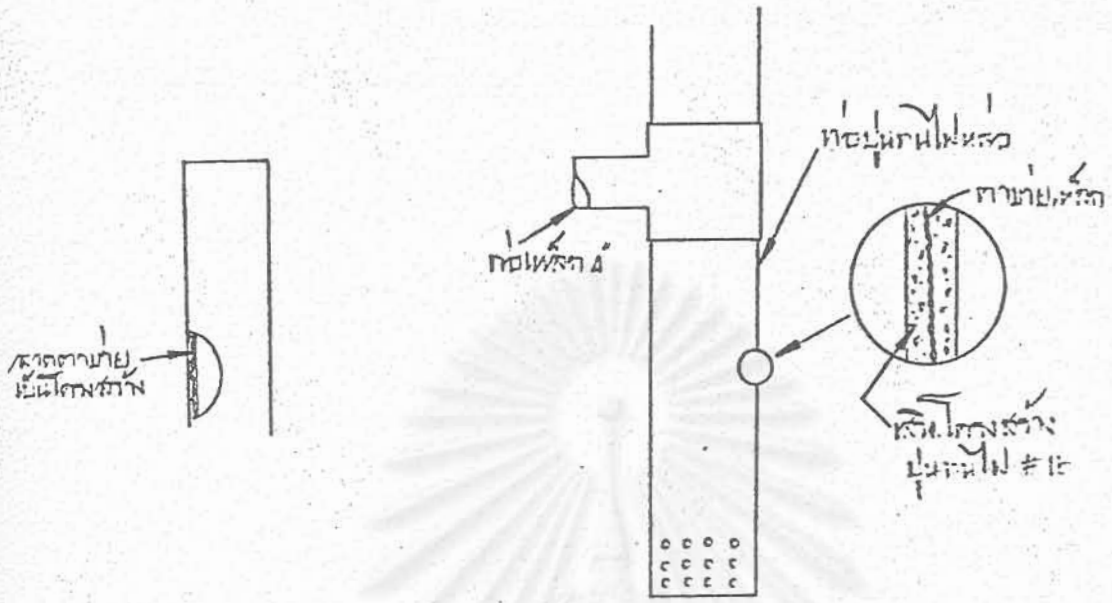


ก. ด้านหน้า

ข. ด้านข้าง

รูปที่ 3.7 แสดงด้านหน้าและด้านข้างของระบบป้อนเชื้อเพลิง

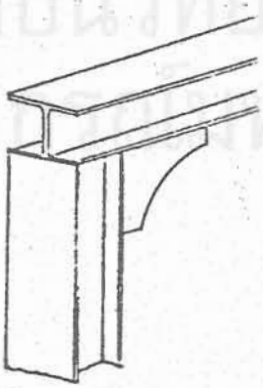
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.8 ช่องเก็บถ่านส่วนกลาง

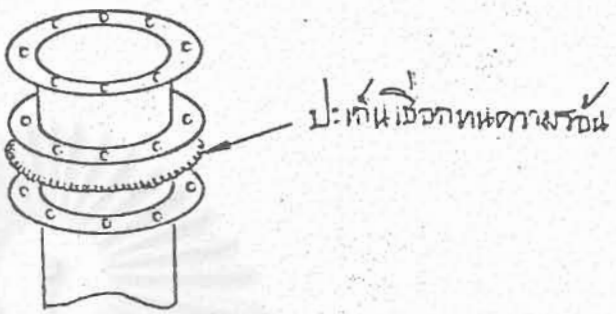
3.6 การประกอบเตาสังเคราะห์แก๊ส

การประกอบจะเริ่มจากการตั้งฐาน 3 จุดของเตาสังเคราะห์แก๊ส โดยใช้เหล็ก I-beam 4 นิ้ว ยาว 2.5 เมตร เชื่อมแผ่นเหล็กที่ฐานแบบอัดกับพื้น จากนั้นจึงเชื่อมจุดรับน้ำหนักที่ตัวถังส่วนเผาไหม้กับเสา I-beam ที่ทำเป็นฐาน ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 จุดรับน้ำหนักของตัวถังเตาผลิตแก๊สสังเคราะห์

จากนั้นจะนำตัวถังส่วนบนมาต่อกับส่วนบนของส่วนเผาไหม้นี้ โดยวางปะเก็นเชือกทนความร้อนตามแนวหน้าแปลน ดังรูปที่ 3.10

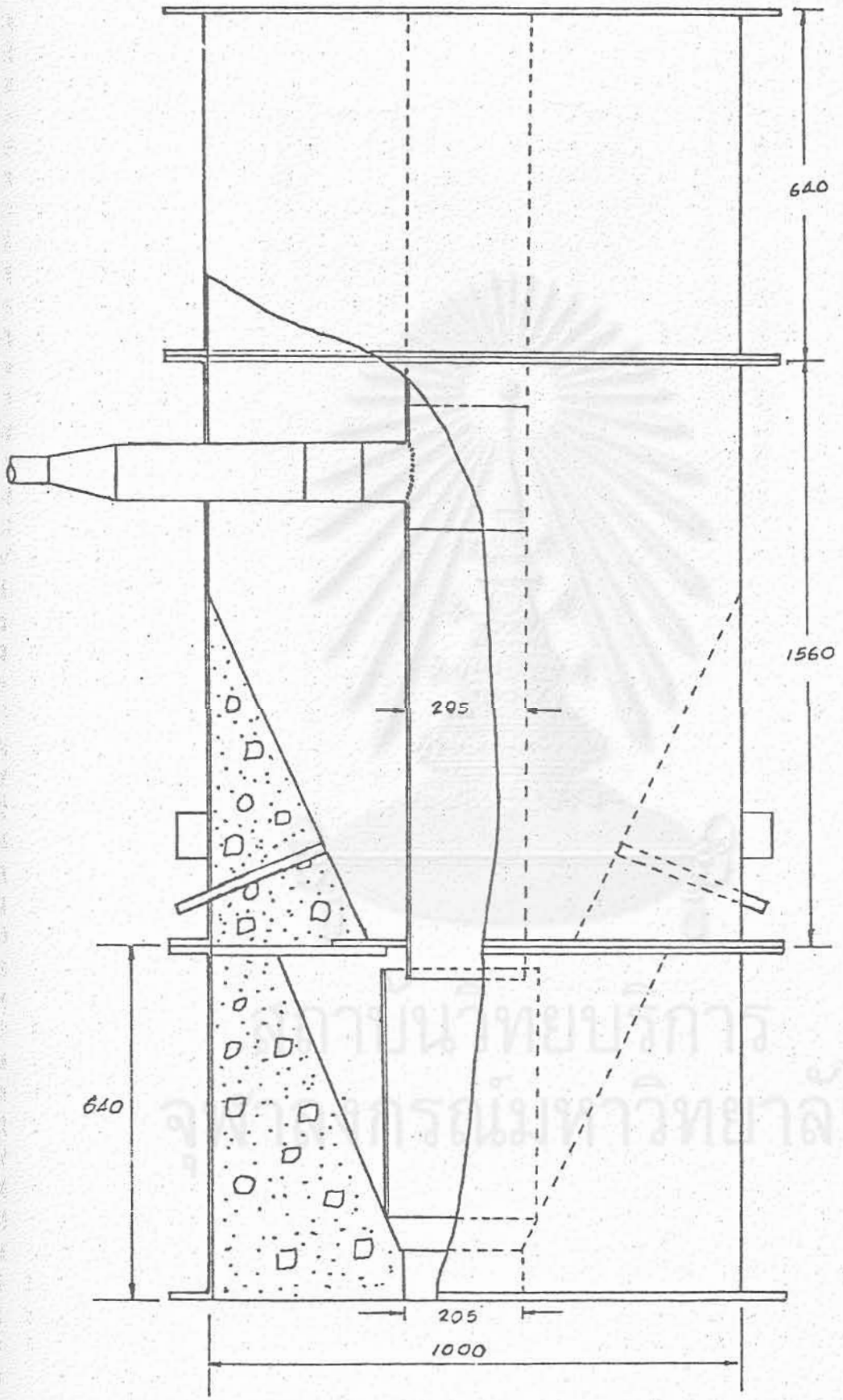


รูปที่ 3.10 การติดตั้งส่วนตัวถังด้านบนและส่วนเผาไหม้

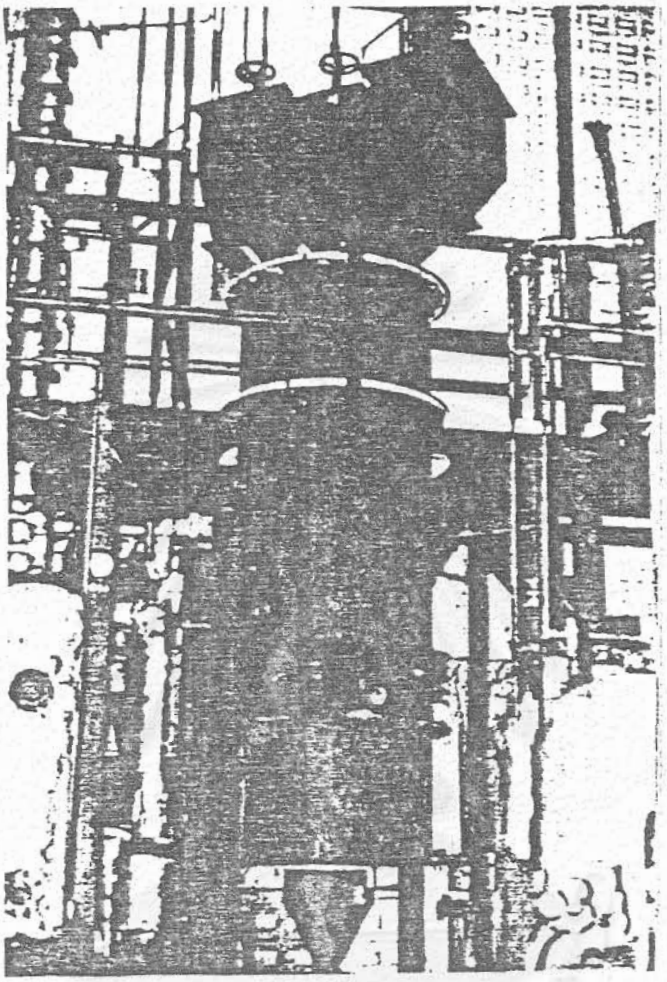
จากนั้นจะก่อปูนในส่วนเก็บกักเถ้าถ่าน ดังรูปที่ 3.11 โดยให้มุมที่ก่อปูนมากกว่า 70 องศา

ส่วนเก็บกักเถ้าถ่านนี้ จะมีตะแกรงวงกลมทำจากปูนทนไฟหนา 25 มม. เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 900 มม. เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 220 มม. วางต่อจากส่วนเผาไหม้เพื่อเป็นตัวรองรับเชื้อเพลิงมิให้ตกลงมา จากนั้นจึงยกส่วนเก็บกักเชื้อเพลิงขึ้นประกอบระหว่างรอยต่อหน้าแปลนใช้ปะเก็นทนไฟคลุกด้วยยางซิลิโคนเพื่อกันรั่ว

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.11 ภาคตัดภายในของเตาผลิตแก๊สสังเคราะห์



รูปที่ 3.12 เตาผลิตแก๊สสังเคราะห์ที่ประกอบเสร็จแล้ว

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

041457

บทที่ 4

การเดินเครื่องโรงงานต้นแบบผลิตแก๊สสังเคราะห์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

การเดินเครื่องโรงงานต้นแบบผลิตแก๊สสังเคราะห์

การเดินเครื่องโรงงานต้นแบบ ๆ นี้ ได้แบ่งออกเป็นขั้นตอนต่าง ๆ 10 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้

4.1 ตรวจสภาพความเรียบร้อยของอุปกรณ์
4.2 การเปิดตู้ควบคุม
4.3 การเดินระบบต่าง ๆ
4.4 การหยุดเครื่องระบบต่าง ๆ
4.5 การควบคุมเตาผลิตแก๊สสังเคราะห์
4.6 การควบคุมสครับเบอร์
4.7 การควบคุมหอดูดคาร์บอนไดออกไซด์ และหอกลั่นสารเคมี
4.8 การควบคุมหอดูดความชื้น
4.9 การเติมเชื้อเพลิงใส่เตาผลิตแก๊สสังเคราะห์
4.10 การเติมสารโมโนเอททาโนลาไมน์ (MEA)

4.1 ตรวจสภาพความเรียบร้อยของอุปกรณ์

4.1.1 เตาผลิตแก๊สสังเคราะห์ ตรวจดูว่ามีเชื้อเพลิงพร้อมที่จะทำการเดินเครื่อง ฝาช่องเติมเชื้อเพลิงปิดสนิท ฝาและวาวล์ช่องขจัดเถ้าปิดสนิท ฝาอากาศเข้าปิดอยู่ทุกจุด ตัววัดอุณหภูมิถูกถอดออกจากเตา

4.1.2 ไซโคลนดักฝุ่น ตรวจดูว่าวาวล์ตัวบนเปิดอยู่ และ ตัวล่างปิดอยู่

4.1.3 สครับเบอร์ ตรวจดูว่ามีน้ำในถังพักเพียงพอ น้ำไม่มีฝุ่นตะกอน

4.1.4 แก๊สปั๊ม วาวล์ทางเลี่ยง (by-pass value) ปิดสนิท สายพานตึง มีน้ำมันอยู่ภายในตัวปั๊ม ทดลองหมุนวงล้อแก๊สปั๊มไม่มีสิ่งติดขัด

4.1.5 หอดูดคาร์บอนไดออกไซด์ ตรวจดูว่ามีสารเคมีเพียงพอที่จะทดลองเดินเครื่อง ถ้าไม่พอให้เติมโดยใช้ปั๊มจากถังเก็บเข้าไป วาวล์แก๊สเข้าปิดอยู่ วาวล์น้ำหล่อเย็นเปิดอยู่

4.1.6 หอกลั่นสารดูดคาร์บอนไดออกไซด์ มีสารเคมีภายในเพียงพอ วาวล์น้ำหล่อเย็นเปิดอยู่

4.1.7 หอดูดความชื้น ตำแหน่งวาวล์สามทางเปิด-ปิดถูกต้อง

4.1.8 คอมเพรสเซอร์ มีน้ำมันในเครื่องจักร

4.1.9 ระบบน้ำหล่อเย็น มีน้ำอยู่ภายในเพียงพอ วาวล์เติมน้ำเปิดอยู่

4.2 การเปิดตู้ควบคุม

เนื่องจากตู้ควบคุมนี้ ได้ออกแบบให้มีระบบป้องกันการกระชากของไฟฟ้า เมื่อไฟฟ้าดับลงไปแล้วติดขึ้นมาใหม่ การเปิดตู้ควบคุมทำได้โดย เปิดสวิทช์ไฟควบคุม แล้วจึงกดปุ่มรีเซ็ท (Reset) จะทำให้ไฟฟ้าเข้าที่ ระบบควบคุมทั้งหมดพร้อมที่จะเดินเครื่องจักรต่าง ๆ

4.3 การเดินระบบต่าง ๆ ให้ทำตามขั้นตอนต่อไปนี้

4.2.1 เปิดระบบน้ำหล่อเย็น โดยกดปุ่มสีเขียวของระบบหล่อเย็น (Cooling Tower) จะเห็นไฟสีเขียวติดที่ตำแหน่งระบบน้ำหล่อเย็นที่แผงควบคุม เมื่อเปิดระบบน้ำหล่อเย็นแล้ว ให้ตรวจดูว่าพัดลมและน้ำหล่อเย็นเดินเป็นปกติไม่มีติดขัด

4.2.2 เดินระบบสครับเบอร์ โดยกดสวิทช์ควบคุมที่ข้างตัวสครับเบอร์ จะต้องพบว่ามีการไหลเวียนของน้ำ

4.3.3 เดินแก๊สปั๊ม โดยกดสวิทช์ควบคุมที่ข้างตัวแก๊สปั๊ม จะต้องพบว่าวงล้อหมุนได้ดีไม่มีเสียงผิดปกติ

4.3.4 จุดเตาสังเคราะห์แก๊ส โดยใช้ไฟล่อจากหัวเชื่อมแก๊ส ให้จ่อที่แก๊สเข้าทุกรู เมื่อพบว่าไฟติดดีแล้ว จึงเสียบแท่งวัดอุณหภูมิเข้าไปภายในเตา

4.3.5 เมื่ออุณหภูมิของเตาถึง 700-800 องศาเซลเซียส ให้เก็บตัวอย่างแก๊สที่ออกจากแก๊สปั๊ม เพื่อวิเคราะห์หาคาร์บอนมอนนอกไซด์ และไฮโดรเจน หรือทดลองว่าแก๊สที่ออกมาสามารถติดไฟได้หรือไม่

4.3.6 เดินระบบหอดูดคาร์บอนไดออกไซด์ และหอกลั่น โดยการกดปุ่มสีเขียวของปั๊มหมุนเวียน 2 ตัว (Absorber recirculating & stripper recirculating pumps) ตั้งอุณหภูมิของหอกลั่นตามที่กำหนด

4.3.7 เมื่อแก๊สที่ออกมาจากแก๊สปั๊ม มีสัดส่วนที่เหมาะสม คือ มี $CO+H_2$ มากกว่า 13 เปอร์เซ็นต์ หรือแก๊สสามารถติดไฟได้ แก๊สนี้ผ่านเข้าระบบหอดูดคาร์บอนไดออกไซด์ต่อไป

4.3.8 ในขณะที่แก๊สเข้าระบบดูดคาร์บอนไดออกไซด์ ต้องดูว่าวาวล์หน้าคอมเพรสเซอร์เปิดอยู่เพื่อเป็นทางออกของแก๊ส

4.3.9 เดินคอมเพรสเซอร์โดยกดปุ่มสีเขียวของคอมเพรสเซอร์ แล้วจึงปิดวาวล์ที่หน้าคอมเพรสเซอร์เพื่อให้คอมเพรสเซอร์ดูดแก๊สจากระบบทำความสะอาดแก๊ส-สังเคราะห์

4.3.10 ตรวจอุณหภูมิของเตาสังเคราะห์ ถ้าพบอุณหภูมิต่ำลงให้ปรับช่องอากาศเข้าเตาตามสมควร

4.4 การหยุดเครื่องระบบต่าง ๆ ให้ทำตามขั้นตอนดังนี้

4.4.1 เปิดวาวล์หน้าคอมเพรสเซอร์ เพื่อให้เป็นช่องดูดอากาศ และเป็นช่องระบายแก๊ส เมื่อหยุดคอมเพรสเซอร์

4.4.2 กดสวิทช์สีแดงเพื่อหยุดเครื่องคอมเพรสเซอร์

4.4.3 ปิดวาวล์แก๊สเข้าหอดูดคาร์บอนไดออกไซด์

4.4.4 ปิดระบบควบคุมอุณหภูมิหอกลั่น เพื่อลดอุณหภูมิภายในหอกลั่น

4.4.5 ปิดช่องอากาศเข้าเตาสังเคราะห์แก๊ส

4.4.6 ปิดแก๊สปั๊ม

4.4.7 ปิดสครับเบอร์

4.4.8 เมื่อหอกลั่นเย็นลง ให้ปิดปั๊มหมุนเวียนของหอดูดคาร์บอนไดออกไซด์ ปั๊มสารเคมีจากหอกลั่นมาใส่หอดูดคาร์บอนไดออกไซด์จนหมด แล้วจึงปิดปั๊มหมุนเวียนของหอกลั่น เปิดวาวล์ใต้หอดูดคาร์บอนไดออกไซด์ แล้วปั๊มสารเคมีออกมาโดยใช้ปั๊มที่ใช้เติมสารเคมีเข้า จนสารเคมีหมดหอดูดคาร์บอนไดออกไซด์ เติมน้ำใส่หอนี้ประมาณครึ่งหอ เปิดปั๊มหมุนเวียนน้ำทั้งสองหอจนสะอาด ระบายน้ำออกโดยวิธีเดียวกับการดูดสารเคมีออก

4.4.9 เปาลมเข้าหอทั้งสอง เพื่อให้แห้ง

4.4.10 บิดสวิทช์ตู้ควบคุม

4.5 การควบคุมเตาผลิตแก๊สสังเคราะห์

ในขณะเดินเครื่องต้องคอยวัดอุณหภูมิของเตาผลิตแก๊สว่าคงที่หรือไม่ พร้อมทั้งเดินตรวจดูช่องอากาศเข้าเตาว่าไฟติดดีหรือเปล่า มีการเลื่อนไหลของเชื้อเพลิงดีหรือไม่ บางครั้งจำเป็นต้องใช้เหล็กแยงให้เชื้อเพลิงตกลงมา ในส่วนของถ่านช่องกลางต้องหมุนตะแกรงรับถ่านที่ส่วนเก็บกักเชื้อเพลิงให้ถ่านเลื่อนไหลลงมา

4.6 การควบคุมสครับเบอร์

คอยหมั่นตรวจดูระดับน้ำในถังสครับเบอร์และถ่ายน้ำทิ้งจากสครับเบอร์ เมื่อพบว่าสกปรก

4.7 การควบคุมหอดูดคาร์บอนไดออกไซด์ และหอกลั่นสารเคมี

การควบคุมนั้นทำโดยสังเกตการเปิดปิดของวาวล์ไฟฟ้า (Solinoid Valve) ที่ติดตั้งเพื่อควบคุมระดับของเหลวภายในหอมิให้แห้ง เมื่อพบระดับของเหลวลดลงไปในหอกลั่นสารเคมีให้เติมสารดูดคาร์บอนไดออกไซด์เข้าไปอีก และคอยตรวจดูอุณหภูมิของหอทั้งสองเป็นระยะ

4.8 การควบคุมหอดูดความชื้น

ให้คอยอ่านอุณหภูมิของเครื่องวัดอุณหภูมิกระเปาะแห้ง - กระเปาะเปียก (Wet-dry bulb thermometer) เมื่อเกินค่ากำหนดไว้ ให้สลับหอดูดความชื้นมาใช้ตัวที่ทำการรีเจนเนอเรทแล้ว และเริ่มรีเจนเนอเรทหอดูดความชื้นที่อิ่มตัวแล้ว โดยบิดสวิทช์ไปที่รีเจนเนอเรท และเปิดพัดลมรีเจนเนอเรท

4.9 การเติมเชื้อเพลิงใส่เตาผลิตแก๊สสังเคราะห์

เชื้อเพลิงที่ใช้มี 2 อย่าง อย่างแรกคือขี้เลื่อย จะเติมที่ช่องเก็บเชื้อเพลิงรอบนอก 2 ช่อง กระทำโดยการปิดฝาภายในโดยการหมุนฝาปิดลงไปจนสนิทจากนั้นจึงเปิดฝาด้านนอก เติมขี้เลื่อยลงไปจนเต็มถังเก็บกักเชื้อเพลิง จากนั้นจะปิดฝานอกแล้วเปิดฝาในให้ขี้เลื่อยไหลหล่นลงไปในเตาเชื้อเพลิง อีกตัวหนึ่งที่ใช้คือถ่าน จะใส่ในช่องเก็บกักเชื้อเพลิงส่วนกลางของเตา การเปิดปิดฝาทำเช่นเดียวกับช่องเติมขี้เลื่อย

4.10 การเติมสารโมโนเอททาโนลาไมน์ (MEA)

การเติมสารโมโนเอททาโนลาไมน์เข้าหอกลั่นและหอดูดคาร์บอนไดออกไซด์กระทำได้โดยการนำสารเคมีใส่ในถังสเตนเลสที่เตรียมไว้ ผสมกับน้ำจนได้อัตราส่วนและปริมาณที่ต้องการ จากนั้นจะเดินปั๊มเข้าไปในหอดูดคาร์บอนไดออกไซด์จนหมด แล้วปิดปั๊มนี้จากนั้นจะเดินปั๊มหมุนเวียนของหอดูดคาร์บอนไดออกไซด์เข้าหอกลั่น เมื่อหอกลั่นเริ่มที่ของเหลวที่ก้นหอ (ดูระดับด้านข้าง) จึงเดินปั๊มหมุนเวียนของหอกลั่น เมื่อระดับทั้ง 2 หอนี้คงที่แล้ว จึงปิดปั๊มหมุนเวียนทั้ง 2 ตัว

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

ปัญหาและการแก้ไข

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

ปัญหาและการแก้ไข

ในการทดลองเดินเครื่องโรงงานต้นแบบนี้ ได้พบปัญหาต่าง ๆ มากมาย และได้แก้ไข แบ่งเป็นระบบต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

5.1 ปัญหาและการแก้ไขระบบเตาผลิตแก๊สสังเคราะห์

ก. อุณหภูมิในเตาไม่สูงพอที่จะทำให้เกิดแก๊สสังเคราะห์ คือ อยู่ที่ประมาณ 500-600 องศาเซลเซียส ได้ทำการแก้ไขโดยตากเชื้อเพลิงที่ใช้ (ขี้เลื่อย) ให้แห้ง โดยใช้เวลาในการตากประมาณ 8 ชั่วโมง พบว่า ความชื้นลดลงจากประมาณ 40-50 เปอร์เซ็นต์ เหลือเพียง 18 เปอร์เซ็นต์ เตานี้จึงมีอุณหภูมิสูงขึ้นประมาณ 600-700 องศาเซลเซียส พบว่าแก๊สที่ออกจากเตาผลิตแก๊สสังเคราะห์เริ่มติดไฟได้บ้างแต่ไม่ดีพอ คาดว่าสาเหตุมาจากอากาศไม่สามารถเข้าเตาได้ดีพอ จึงทดลองใช้อากาศแรงดัน (Compressed Air) เป่าช่วยในช่องดูดอากาศของเตา พบว่า สามารถทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นได้ แต่สภาพของเปลวไฟยังไม่ดีพอ คือ ยังคงติด-ดับ ต้องใช้ไฟล่อ (Pilot) อยู่ตลอดเวลา จึงได้ทดลองเปลี่ยนอัตราส่วนของเชื้อเพลิงด้านขี้เลื่อย โดยใช้ถ่านผสมกับขี้เลื่อย ในอัตราส่วน 1:2 โดยน้ำหนัก พบว่า สามารถเพิ่มอุณหภูมิภายในช่วงเผาไหม้ขึ้นได้สูงถึง 900 องศาเซลเซียส นอกจากปัญหาความชื้นในเชื้อเพลิงแล้ว พบว่า การกลั่นตัวของน้ำในเชื้อเพลิงสูง ทำให้อุณหภูมิเตาไม่คงที่ จึงใส่แผ่นตะแกรงเจาะรูขนาด 5 มม. รอบตัวถังด้านใน และเจาะช่องระบายน้ำที่กลั่นตัวนี้ออกไป พบว่า ช่วยทำให้อุณหภูมิในเตาคงที่ขึ้น

ข. การกัดกร่อนในช่วงริดักชัน เมื่อใช้ท่อรีดักชันเป็นท่อปูนจะทำให้แตกง่ายเมื่อเติมเชื้อเพลิง การถอดตรวจสภาพภายใน ฯลฯ จึงได้เปลี่ยนมาใช้ท่อเหล็กขนาด 203 มม. (8 นิ้ว) พบว่า มีการกัดกร่อนสูงมาก เนื่องจากอุณหภูมิในช่วงเผาไหม้สูงประมาณ 900-1,000 องศาเซลเซียส จุดที่มีการกัดกร่อนจะเป็นช่วงเหล็กที่อยู่ในช่วงริดักชัน ตรง

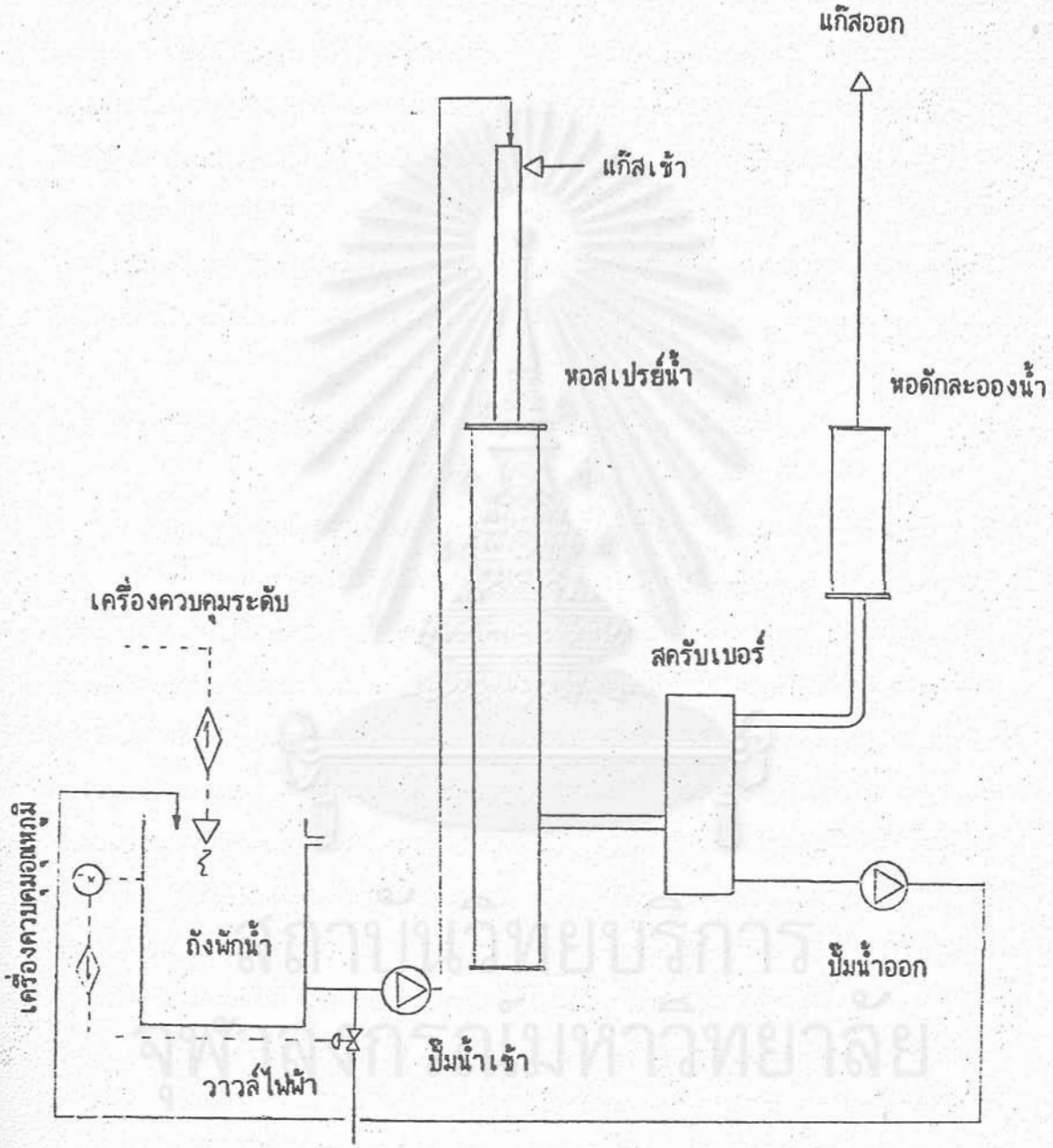
ส่วนที่ตรงกับจุดเผาไหม้ คาดว่า เกิดการรีดักชั่นที่เนื้อเหล็กด้วยสภาพเหล็กเหนียว (Mild Steel) เปลี่ยนเป็นเหล็กหล่อ (Cast Steel) ซึ่งมีปริมาณการกัดกร่อนสูงและเปราะ พบว่า อัตราการกัดกร่อนสูงถึง 2 มม.ต่อเดือน จึงจำเป็นต้องตัดต่อท่อในส่วนนี้ นำส่วนที่เสียทิ้งไปและนำท่อเหล็กมาเชื่อมต่อใหม่

ค. การเลื่อนไหลของเชื้อเพลิง ในการทดลองเดินเครื่องพบว่าชิ้เลื่อยมีการเลื่อนไหลตัวลงส่วนเผาไหม้ได้ยาก ทำให้เกิดโพรงชิ้นระหว่างช่วงเผาไหม้กับช่วงกลั่นสลาย วิธีแก้ไขได้ใช้เหล็กแหลมแยงช่วย จะทำให้เชื้อเพลิงตกได้ดี

ง. การไหลวนของอากาศและการติดไฟของเชื้อเพลิง เนื่องจากจะออกแบบให้เกิดการหมุนวนของอากาศก่อนเข้าช่วงเผาไหม้ โดยเจาะช่องสี่เหลี่ยมรอบตัวถัง พบว่า อากาศมิได้ไหลวนดังต้องการ ทำให้เชื้อเพลิงเกิดการเผาไหม้ในช่วงที่ใกล้ทางเข้าของอากาศมากกว่าด้านตรงข้าม จึงปิดรูอากาศเข้า และใช้วิธีเปิดจุดอากาศเข้ารอบตัวเตา ทำให้การเผาไหม้เป็นไปได้อย่างทั่วถึงรอบเตา

5.2 ปัญหาและการแก้ไขระบบสครับเบอร์

ก. ปัญหาอุณหภูมิภายในสครับเบอร์สูง เนื่องจากอุณหภูมิของแก๊สสังเคราะห์ที่ออกจากเตาผลิตแก๊สฯ สูงถึงประมาณ 300 องศาเซลเซียส จึงติดตั้งระบบป้อนน้ำอัตโนมัติเข้าสครับเบอร์ โดยติดตั้งวาวล์ไฟฟ้าและเครื่องควบคุมอุณหภูมิ พบว่า อุณหภูมิของน้ำในสครับเบอร์สามารถลดลงได้ แต่อุณหภูมิของแก๊สที่ออกจากสครับเบอร์สูงถึง 60-70 องศาเซลเซียส จึงติดตั้งหอสเปรย์น้ำ (ดูรูป 5.1 ประกอบ) ทำจากท่อเหล็กขนาด 152 มม. (6 นิ้ว) ภายในที่ท่อ ขนาด 12.7 มม. (1/2 นิ้ว) เจาะรูโดยรอบ ขนาด 1 มม. จำนวน 30 รู แล้วใช้ปั๊มน้ำปั๊มจากสครับเบอร์ ด้วยอัตรา 5-10 ลิตรต่อนาที เข้าหอสเปรย์น้ำ พบว่า อุณหภูมิของปั๊มแก๊สที่ออกจากสครับเบอร์ลดลงถึงประมาณ 30-35 องศาเซลเซียส แต่กลับพบปัญหาการอุดตันในท่อหัวฉีดนี้ด้วยผงถ่านเล็ก ๆ จึงดัดแปลงแก้ไขโดยต่อท่อน้ำที่จะฉีดเข้าหอสเปรย์จากถังพักที่สามารถกั้นผงถ่านได้ (โดยใช้แผ่นตะแกรงกั้น) แล้วจึงปั๊มเข้าหอสเปรย์

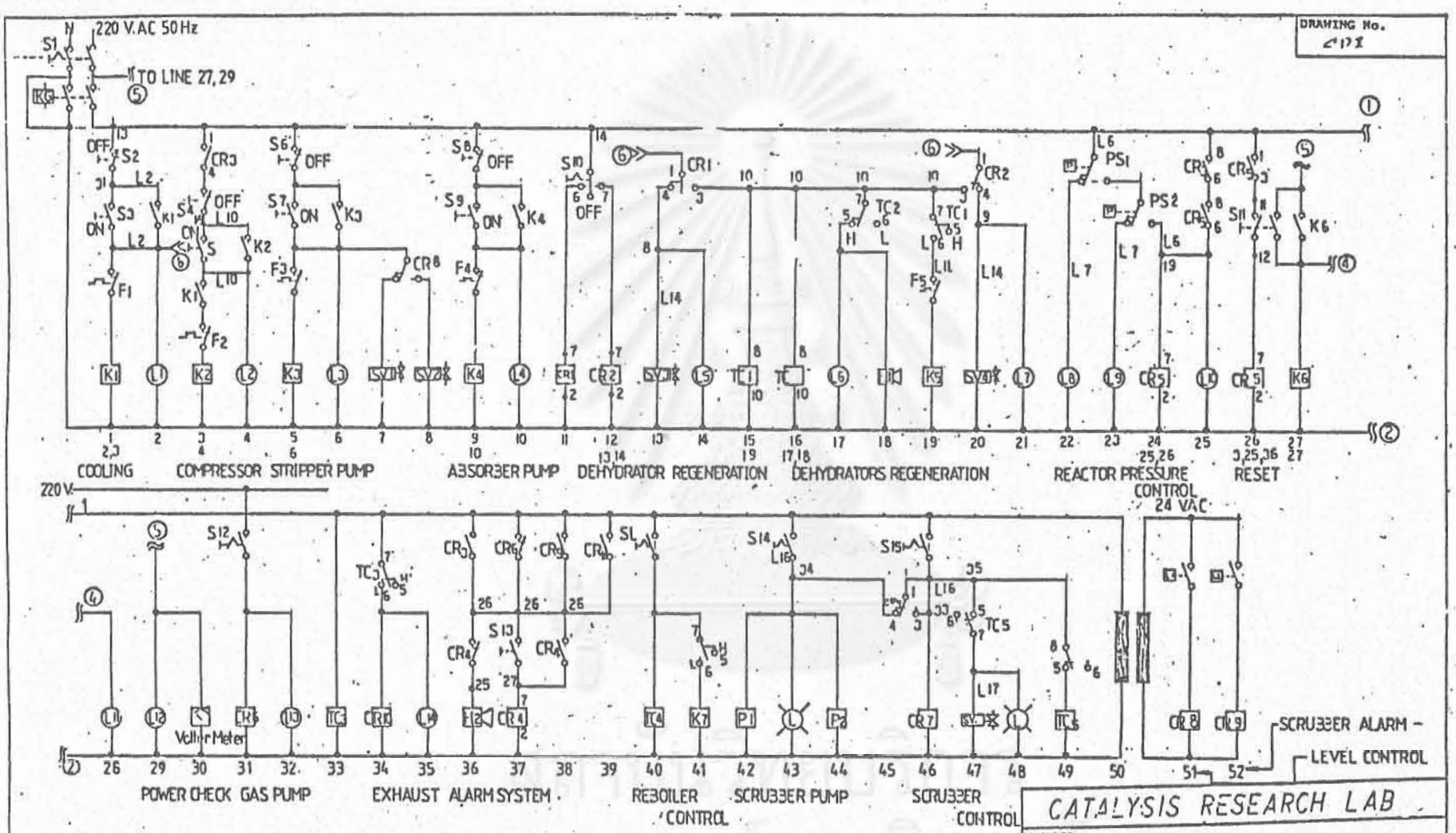


รูปที่ 5.1 กระบวนการกำจัดทาร์และสิ่งสกปรกออกจากแก๊สสังเคราะห์ ตลอดจนการลดอุณหภูมิของแก๊สที่ออกจากเตาผลิตแก๊สสังเคราะห์

ข. ปัญหาการท่วมท้นของน้ำในสครับเบอร์ เนื่องจากผงถ่านไปอุดตันท่อน้ำไหลออกจากสครับเบอร์ ได้แก้ไขโดยใช้ปั๊มน้ำที่เป็นแบบหล่อน้ำในตัว (Self Prime Pump) ดูดน้ำที่มีผงถ่าน ฯลฯ ออกจากสครับเบอร์เข้าถังพักน้ำที่จะฉีดเข้าหอสเปรย์ แต่ยังพบว่า น้ำที่หมุนเวียนสกปรกเร็วมากภายใน 20 นาที ต้องถ่ายน้ำทิ้ง และบางครั้งพบก้อนถ่านขนาดประมาณ 10 มม. ขวางทางเดินน้ำในท่อดูดออกจากสครับเบอร์ จึงแก้ปัญหานี้โดยมีถังกักฝุ่นขนาดใหญ่จากเตาผลิตแก๊สสังเคราะห์ โดยใช้ถังที่มีรูปร่างเป็นไซโคลนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 20 ซม. สูง 46 ซม. ทางแก๊สเข้าและออกเท่ากับ 5 ซม. ไซโคลนนี้ทำหน้าที่ดักฝุ่นผงไว้ ปัญหาต่าง ๆ ของสครับเบอร์จึงลดลงไป แผนผังของกระบวนการนี้ได้แสดงไว้ในรูปที่ 5.1

5.3 ปัญหาและการแก้ไขระบบหอดูดคาร์บอนไดออกไซด์และหอกลั่น

ก. ปัญหาการควบคุมระดับของเหลวในหอทั้งสอง เนื่องจากเมื่อเดินเครื่องไปนาน ๆ จะเกิดปัญหาหอด้านใดด้านหนึ่งแห้งลง และของเหลวจะสะสมอยู่ที่อีกหอหนึ่ง เนื่องมาจากการปรับอัตราการไหลของหอทั้งสองไม่เที่ยงตรงเพียงพอ จำเป็นต้องคอยปรับวาวล์ทางเข้าของปั๊มอยู่เรื่อย ๆ จึงได้ออกแบบวงจรไฟฟ้าที่จะช่วยรักษาระดับของเหลวภายในหอให้คงที่ ไม่แห้ง รูปที่ 5.2 ตั้งแต่แถวที่ 42 ถึง 52 แสดงวงจรควบคุมระดับของเหลวทั้งสองหอนี้ ในชั้นแรกได้ใช้ลูกลอย (OVL-2) 2 ชุด ต่อกับไฟฟ้าสลับ 24 โวลท์ เมื่อระดับของเหลวลดลงไปมากจะเปิดวาวล์ไฟฟ้าทางเลี่ยง (Solinoid by passed Valve) ทำให้ของเหลวไม่ถูกปั๊มไปสู่อีกหอหนึ่ง ระยะเวลาตัดต่อประมาณ 10 วินาที พบว่า ที่อุณหภูมิต่ำ (ต่ำกว่า 60 องศาเซลเซียส) ระบบนี้สามารถใช้งานได้ดี แต่ที่อุณหภูมิสูงจะทำให้ลูกลอยที่ใช้เกิดการขยายตัวของไมโครสวิทช์ (Micro switch) ภายใน ทำให้วงจรควบคุมผิดความต้องการ จึงแก้ไขอีกโดยการนำลูกลอยในหอกลั่นออก ใช้เฉพาะลูกลอยในหอดูดคาร์บอนไดออกไซด์ พบว่า ระบบสามารถทำงานได้ดี สามารถควบคุมมิให้หอดูดคาร์บอนไดออกไซด์แห้ง แต่ต้องคอยตรวจว่าในหอกลั่นสารดูดคาร์บอนไดออกไซด์แห้งลงไปหรือไม่ ถ้าแห้งมากจึงเติมสารเคมีเพิ่มเติมเข้าไปภายในหอดูดคาร์บอนไดออกไซด์



รูปที่ 5.2 วงจรควบคุมทั้งหมด

ข. อุณหภูมิหม้อต้มซ้ำไม่สูงพอ เนื่องจากอัตราการเผาไหม้ของแก๊สหุงต้มไม่ถึงค่ากำหนด เป็นเพราะห้องเผาไหม้เล็กเกินไป และทางออกของแก๊สเสียมีขนาดเล็กเกินไป จึงจำเป็นต้องใช้ขดลวดความร้อนแทนแก๊สหุงต้ม ขดลวดความร้อนที่ใช้มีขนาด 4.5 กิโลวัตต์ 5 ชุด สามารถเพิ่ม อุณหภูมิของหม้อต้มซ้ำได้ถึง 100 องศาเซลเซียส

ค. ละอองน้ำหลุดจากหอดูดคาร์บอนไดออกไซด์ไปยังหอดูดความชื้น ทำให้หอดูดความชื้นมีช่วงการทำงานสั้นลง วิธีแก้ไขกระทำโดยใส่ตะแกรงลวดที่ทางออกของหอดูดคาร์บอนไดออกไซด์ไว้กักละอองน้ำขนาดใหญ่ และมีขดท่อทองแดงที่มีน้ำหล่อเย็นไหลผ่านคอยดักความชื้นอีกชั้นก่อนเข้าสู่หอดูดความชื้น ปัญหานี้จึงลดลงไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 6

ผลการทดลอง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 6

ผลการทดลอง

6.1 ผลการทดลองเดินเครื่องเตาผลิตแก๊สสังเคราะห์

การทดลองเดินเครื่องเตาผลิตแก๊สสังเคราะห์ ได้ทำการทดลองหาสัดส่วนของเชื้อเพลิงที่ใช้ ซึ่งประกอบด้วยขี้เลื่อยกับถ่านไม้ เวลาที่ใช้ในการทดลองทั้งสิ้น 259 ชั่วโมง ผลการทดลองทั้งหมดได้แสดงในตารางที่ 6.1

- ข้อมูลที่ 1-2 เป็นข้อมูลของการทดลองใช้ถ่านผสมขี้เลื่อย ในอัตราส่วน 8:5 โดยน้ำหนัก ไม่ใส่ถ่านในส่วนรีดักชัน ได้อัตราส่วนแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ต่อแก๊สไฮโดรเจน ประมาณ 1.3:1 โดยมีผลรวมของแก๊สทั้งสองประมาณ 8.98 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ประมาณ 13.85 เปอร์เซ็นต์

- ข้อมูลที่ 3-8 เป็นข้อมูลการทดลองใช้ถ่านผสมขี้เลื่อย ในอัตราส่วน 2:1 โดยน้ำหนัก ไม่ใส่ถ่านในส่วนรีดักชัน ได้อัตราส่วนแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ต่อแก๊สไฮโดรเจน ประมาณ 2:1 โดยมีผลรวมของแก๊สทั้งสองประมาณ 2.34 เปอร์เซ็นต์ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ประมาณ 15.51 เปอร์เซ็นต์

- ข้อมูลที่ 9-33 เป็นข้อมูลการทดลองใช้ถ่านผสมขี้เลื่อย ในอัตราส่วน 2:1 โดยน้ำหนัก ใส่ถ่านในช่วงรีดักชัน ได้อัตราส่วนแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ต่อแก๊สไฮโดรเจน ประมาณ 1.7:1 โดยมีผลรวมของแก๊สทั้งสองประมาณ 20.38 เปอร์เซ็นต์ แก๊สคาร์บอน-ไดออกไซด์ ประมาณ 12.27 เปอร์เซ็นต์

- ข้อมูลที่ 34-40 เป็นข้อมูลการทดลองใช้เชื้อเพลิงขี้เลื่อยในช่องเผาไหม้ โดยใส่ถ่านในส่วนรีดักชัน ได้อัตราส่วนแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ต่อแก๊สไฮโดรเจนประมาณ 2.1:1 ผลรวมของแก๊สทั้งสองประมาณ 23.24 เปอร์เซ็นต์ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ประมาณ 4.97 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 6.1 ผลการทดลองเดินเครื่องเตาผลิตแก๊สสังเคราะห์ที่อัตราการไหล 45 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง

NO	SAMPLE #	G.TEMP	OUT T.	SC. TEMP	H2	CO	CH4	N2	O2	CO2	CO+H2 %
1	B01/01	1115	211	38	4.42%	5.33%	1.27%	72.10%	1.46%	15.42%	9.75%
2	C00/02	1115	211	38	3.40%	4.81%	0.95%	76.51%	2.64%	12.27%	8.21%
	AVERAGE	1115	211	38	3.91%	5.07%	1.11%	74.31%	1.75%	13.85%	
	MAXIMUM	1115	211	38	4.42%	5.33%	1.27%	76.51%	2.06%	15.42%	
	MINIMUM	1115	211	38	3.40%	4.81%	0.95%	72.10%	1.46%	12.27%	
3	B02/01	836	192	34	0.00%	0.39%	0.00%	79.70%	1.77%	18.14%	0.39%
4	C01/02	836	192	34	0.37%	1.59%	0.00%	82.40%	2.66%	12.99%	1.95%
5	B03/01	838	186	38	0.00%	0.00%	0.00%	80.34%	1.18%	18.48%	0.00%
6	C02/02	838	186	38	2.32%	4.24%	0.32%	78.06%	2.25%	12.76%	6.56%
7	B04/01	881	187	40	0.86%	1.35%	0.04%	80.16%	0.44%	17.16%	2.21%
8	C03/02	881	187	40	1.06%	1.89%	0.00%	82.87%	1.46%	12.53%	2.94%
	AVERAGE	852	188	37	0.77%	1.57%	0.06%	80.46%	1.67%	15.51%	
	MAXIMUM	881	192	40	2.32%	4.24%	0.32%	82.40%	2.66%	18.48%	
	MINIMUM	836	186	34	0.00%	0.00%	0.00%	78.06%	0.44%	12.76%	
9	B05/01	815	142	41	11.03%	12.03%	8.09%	53.10%	1.27%	14.43%	23.06%
10	C04/02	815	142	41	8.56%	8.67%	7.91%	62.64%	0.70%	12.12%	17.23%
11	B06/01	848	136	33	9.79%	5.61%	1.21%	55.48%	1.13%	26.78%	15.40%
12	C05/02	848	136	33	10.11%	5.92%	1.24%	69.43%	1.27%	12.02%	16.03%
13	B07/01	852	138	33	9.73%	9.89%	0.41%	63.76%	0.75%	15.46%	19.62%
14	C06/02	852	138	33	8.91%	8.74%	0.36%	69.58%	0.85%	11.56%	17.64%
15	B08/01	1037	206	32	5.73%	9.05%	0.00%	71.25%	0.45%	13.23%	14.83%
16	C07/02	1034	227	34	7.14%	12.77%	0.97%	62.32%	1.04%	10.77%	19.91%
17	C08/02	916	172	32	9.08%	9.52%	0.95%	65.47%	1.25%	13.34%	18.61%
18	B09/02	1168	178	31	7.62%	14.21%	0.60%	66.47%	1.10%	10.00%	21.83%
19	C10/02	1181	175	31	7.04%	13.80%	0.35%	68.03%	1.35%	11.41%	20.83%
20	B10/01	1061	175	32	7.99%	15.76%	0.51%	63.93%	0.72%	11.10%	23.75%
21	C11/02	1123	179	33	7.12%	12.42%	0.23%	67.31%	1.12%	11.80%	19.54%
22	B12/02	1083	176	31	7.60%	11.23%	0.36%	68.33%	0.89%	10.67%	18.83%
23	B13/02	1062	176	30	6.94%	12.54%	0.20%	67.81%	1.10%	11.41%	19.48%
24	B14/02	1078	168	31	6.46%	17.07%	0.06%	65.16%	0.62%	10.63%	23.53%
25	B15/02	1061	178	31	6.59%	16.90%	0.04%	65.24%	0.88%	10.35%	23.49%
26	B16/02	1023	173	32	6.25%	15.10%	0.21%	66.55%	1.87%	10.02%	21.34%
27	B17/02	827	178	33	8.21%	14.20%	0.65%	64.76%	2.16%	10.01%	22.40%
28	B11/01	827	178	33	7.96%	13.86%	0.62%	67.58%	0.43%	10.34%	21.72%
29	B18/02	807	178	32	7.44%	12.09%	0.21%	65.57%	1.14%	10.55%	19.72%
30	B19/02	809	176	31	7.11%	13.52%	0.04%	64.11%	0.74%	10.90%	20.62%
31	B20/02	702	186	32	4.97%	19.17%	0.00%	69.31%	5.63%	10.27%	34.14%
32	B21/02	718	184	34	5.24%	15.86%	0.00%	69.63%	3.18%	10.35%	24.10%
33	B22/02	720	182	35	6.01%	15.31%	0.00%	70.23%	1.01%	10.35%	21.32%
	AVERAGE	927	171	33	7.63%	12.75%	1.21%	65.62%	1.25%	12.27%	
	MAXIMUM	1181	227	41	11.03%	19.17%	8.09%	71.27%	5.63%	26.78%	
	MINIMUM	702	136	30	4.97%	5.61%	0.00%	53.10%	0.43%	10.00%	

ตารางที่ 6.1 (ต่อ)

NO	SAMPLE #	B.TEMP	OUT T.	SO. TEMP	H2	CO	CH4	N2	O2	CO2	CO+H2 %
34	C23/02	729	177	34	7.34%	15.57%	0.00%	75.14%	2.65%	7.27%	22.91%
35	C24/02	953	172	35	5.93%	13.74%	0.00%	69.73%	0.96%	13.57%	19.67%
36	C25/02	710	178	33	1.81%	15.64%	0.36%	66.82%	6.76%	2.33%	17.45%
37	C27/02	763	163	34	6.32%	12.35%	1.94%	69.26%	4.10%	6.03%	18.68%
38	C28/02	771	169	36	10.14%	16.92%	0.59%	65.87%	1.16%	5.30%	27.06%
39	C29/02	718	223	33	6.46%	15.48%	0.14%	70.37%	2.57%	4.98%	21.94%
40	C30/02	807	177	36	6.36%	18.94%	0.02%	69.65%	1.44%	3.57%	25.30%
	AVERAGE	770	183	35	7.32%	15.92%	0.87%	69.79%	2.33%	4.97%	
	MAXIMUM	807	223	36	10.14%	18.94%	1.94%	70.37%	4.10%	6.03%	
	MINIMUM	718	163	33	6.32%	12.35%	0.02%	65.87%	1.18%	3.57%	
41	B31/01	822	192	32	11.50%	11.40%	0.00%	69.51%	0.03%	7.57%	22.90%
42	B32/01	1053	191	32	8.38%	17.33%	0.00%	73.72%	0.02%	0.54%	25.71%
43	B33/01	923	157	33	7.13%	15.20%	0.00%	71.04%	0.03%	6.60%	22.33%
44	B34/01	834	178	33	8.11%	16.60%	0.00%	70.63%	0.03%	4.63%	24.71%
45	B32/02	822	182	32	9.97%	12.04%	0.00%	74.89%	0.03%	3.07%	22.00%
46	B33/02	1058	184	34	8.92%	16.03%	0.00%	69.51%	0.03%	5.52%	24.54%
47	B34/02	1053	191	32	8.74%	16.56%	0.00%	71.42%	0.03%	3.22%	25.29%
48	B35/02	966	177	34	10.55%	17.97%	0.00%	64.85%	0.03%	6.60%	28.52%
49	B36/02	923	157	33	7.85%	16.60%	0.00%	69.46%	0.03%	6.03%	24.49%
50	B38/02	800	186	34	8.15%	17.05%	0.00%	69.29%	0.03%	5.45%	25.23%
51	B39/02	788	197	34	9.09%	17.64%	0.00%	66.36%	0.03%	6.86%	26.74%
52	C40/02	772	210	34	8.82%	16.91%	0.00%	68.73%	0.03%	5.51%	25.73%
53	C41/02	658	201	33	8.54%	15.35%	0.00%	68.12%	0.03%	7.95%	23.90%
	AVERAGE	882	184	33	8.91%	15.90%	0.00%	69.81%	0.03%	5.35%	
	MAXIMUM	1058	210	34	11.50%	17.97%	0.00%	74.89%	0.03%	7.95%	
	MINIMUM	658	157	32	7.13%	11.40%	0.00%	64.85%	0.03%	0.54%	
54	B35/01	857	160	33	0.00%	0.21%	0.00%	80.08%	11.58%	7.52%	0.21%
55	B36/01	690	204	34	0.00%	0.00%	0.00%	72.51%	7.30%	20.19%	0.00%
56	B37/01	631	165	34	0.00%	1.69%	0.00%	91.42%	6.89%	0.00%	1.69%
	AVERAGE	726	176	34	0.00%	0.63%	0.00%	81.33%	8.59%	9.25%	
	MAXIMUM	857	204	34	0.00%	1.69%	0.00%	91.42%	11.58%	20.19%	
	MINIMUM	631	160	33	0.00%	0.00%	0.00%	72.51%	6.89%	0.00%	
57	C44/02	998	176	33	7.90%	19.81%	0.68%	62.82%	3.61%	5.78%	27.71%
58	C45/02	924	176	33	7.68%	21.47%	0.78%	61.38%	3.44%	5.32%	29.15%
59	C46/02	941	199	33	6.84%	22.95%	0.62%	63.80%	1.65%	4.73%	29.79%
60	C47/02	983	224	35	6.85%	25.91%	0.00%	61.10%	0.93%	5.18%	32.75%
61	C48/02	914	252	33	6.00%	24.83%	0.00%	61.84%	1.30%	6.02%	30.83%
62	C49/02	999	257	32	4.22%	23.10%	0.36%	65.16%	2.12%	6.37%	27.32%
	AVERAGE	960	211	33	6.58%	22.85%	0.41%	63.69%	2.15%	5.56%	
	MAXIMUM	999	257	35	7.90%	25.91%	0.78%	65.16%	3.61%	6.37%	
	MINIMUM	914	176	32	4.22%	19.81%	0.00%	61.10%	0.93%	4.73%	

ตารางที่ 6.1 (ต่อ)

NO	SAMPLE #	B.TEMP	OUT T.	SC. TEMP	H2	CO	CH4	N2	O2	CO2	CO+H2 %
63	C52/02	972	172	33	12.17%	20.56%	1.76%	57.46%	0.94%	7.11%	32.73%
64	C53/02	988	196	33	11.51%	20.35%	0.64%	56.67%	1.03%	8.80%	31.86%
65	C54/02	970	204	32	10.65%	22.06%	0.41%	59.21%	1.02%	6.65%	32.71%
66	C55/02	1044	189	33	11.02%	18.02%	0.44%	61.30%	1.15%	8.07%	29.04%
67	C56/02	1077	196	33	10.61%	18.51%	0.42%	60.90%	1.35%	8.21%	29.12%
68	C57/02	937	195	33	10.49%	17.09%	0.42%	61.30%	1.24%	9.46%	27.58%
69	C58/02	1057	183	34	11.15%	15.02%	0.31%	61.46%	1.05%	11.01%	26.17%
70	C59/02	970	244	31	11.04%	19.06%	0.08%	59.63%	0.99%	9.20%	30.10%
71	C60/02	1020	241	32	10.82%	18.36%	0.09%	66.02%	1.26%	3.45%	29.18%
72	C61/02	965	244	31	7.32%	16.02%	0.06%	67.51%	4.25%	0.84%	23.34%
	AVERAGE	1004	207	32	10.65%	18.50%	0.46%	61.45%	1.43%	7.48%	
	MAXIMUM	1057	244	34	12.17%	22.06%	1.76%	67.51%	4.25%	11.01%	
	MINIMUM	937	172	31	7.32%	15.02%	0.06%	57.46%	0.94%	3.45%	
73	C62/02	911	219	30	4.12%	11.56%	0.00%	73.02%	7.33%	3.97%	15.65%
74	C63/02	824	243	32	7.77%	11.88%	0.96%	72.16%	4.54%	2.69%	19.65%
75	C64/02	736	240	32	3.39%	8.41%	0.00%	71.05%	2.16%	14.99%	11.80%
76	C65/02	858	280	33	0.00%	0.00%	0.00%	84.94%	0.65%	14.42%	0.00%
	AVERAGE	832	251	32	3.82%	7.96%	0.24%	78.29%	3.67%	9.02%	
	MAXIMUM	911	17	33	7.77%	11.88%	0.96%	84.94%	7.33%	14.99%	
	MINIMUM	736	239	30	0.00%	0.00%	0.00%	71.05%	0.65%	2.69%	

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- ข้อมูลที่ 41-53 เป็นข้อมูลการทดลองใช้ถ่านผสมขี้เลื่อย ในอัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนัก ใส่ถ่านในช่วงรีดักชัน ได้อัตราส่วนแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ต่อแก๊สไฮโดรเจน ประมาณ 1.8:1 ผลรวมของแก๊สทั้งสองประมาณ 24.82 เปอร์เซ็นต์ แก๊สคาร์บอน-ไดออกไซด์ ประมาณ 5.32 เปอร์เซ็นต์

- ข้อมูลที่ 54-56 เป็นข้อมูลการทดลองเดินเครื่องโดยใช้ถ่านอย่างเดียว ในช่องเผาไหม้ ในส่วนรีดักชันไม่ใส่เชื้อเพลิง ผลรวมของแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์กับไฮโดรเจนประมาณ 0.83 เปอร์เซ็นต์

- ข้อมูลที่ 57-62 เป็นข้อมูลการทดลองเดินเครื่อง โดยใช้ถ่านทั้งส่วนเผาไหม้และส่วนรีดักชัน ได้อัตราส่วนแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ต่อไฮโดรเจนประมาณ 3.5:1 โดยมีผลรวมของแก๊สทั้งสองประมาณ 29.43 เปอร์เซ็นต์ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ประมาณ 5.56 เปอร์เซ็นต์

- ข้อมูลที่ 63-72 เป็นข้อมูลการทดลองเดินเครื่องโดยใช้ถ่านผสมขี้เลื่อย ในอัตราส่วน 1:2 และใส่ถ่านในส่วนรีดักชัน ได้อัตราส่วนของแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ต่อแก๊สไฮโดรเจน ประมาณ 1.7:1 โดยมีผลรวมของแก๊สทั้งสองประมาณ 29.18 เปอร์เซ็นต์ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ประมาณ 7.48 เปอร์เซ็นต์

- ข้อมูลที่ 73-76 เป็นข้อมูลการทดลองเดินเครื่องโดยใช้ถ่านผสมขี้เลื่อย ในอัตราส่วน 1:2 และไม่ใส่เชื้อเพลิงในส่วนรีดักชัน ได้อัตราส่วนของแก๊สคาร์บอน-มอนนอกไซด์ต่อไฮโดรเจนประมาณ 2.1:1 โดยมีผลรวมของแก๊สทั้งสองประมาณ 11.78 เปอร์เซ็นต์ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ประมาณ 9.02 เปอร์เซ็นต์

ข้อมูลการทดลองเหล่านี้ ได้สรุปลงในดังตารางที่ 6.2 ซึ่งจะสังเกตเห็นว่า ข้อมูลชุดที่สองจะให้ค่าเปอร์เซ็นต์ของ CO_2 มากที่สุด คือ 15.51 เปอร์เซ็นต์ และข้อมูลชุดที่ 8 ให้ค่าเปอร์เซ็นต์ของแก๊สสังเคราะห์สูงที่สุด คือ 29.18 เปอร์เซ็นต์ โดยที่มีอัตราส่วนระหว่าง H_2:CO = 0.58:1 ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่สูงที่สุด

ตารางที่ 6.2 ข้อมูลการทดลองเดินเครื่องเตาผลิตแก๊สสังเคราะห์ ที่อัตราการไหล 45 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง

เชื้อเพลิงช่วงเผาไหม้ถ่านะขี้เลื่อย	เชื้อเพลิงช่วงรีดักชัน	อุณหภูมิเตา(เฉลี่ย) องศาเซลเซียส	อุณหภูมิแก๊สขาออก องศาเซลเซียส	ปริมาณแก๊สต่าง ๆ ของแก๊สสังเคราะห์ (% โมล)							สัดส่วน
				H_2	CO	CH_4	N_2	O_2	CO_2	$CO+H_2$	$CO:H_2$
8:5	-	1,115	211	3.91	5.07	1.11	74.31	1.76	13.85	8.98	1.3:1
2:1	-	851	188	0.77	1.57	0.06	80.46	1.63	15.51	2.34	2:1
2:1	ถ่าน	927	171	7.63	12.75	1.21	65.62	1.25	12.27	20.38	1.7:1
0:1	ถ่าน	770	182	7.32	15.92	0.67	68.79	2.33	4.97	23.24	2.1:1
1:1	ถ่าน	882	184	8.91	15.91	0.00	69.81	0.03	5.32	24.82	1.8:1
1:0	-	726	176	0.00	0.83	0.00	81.33	8.59	9.25	0.83	3.5:1
1:0	ถ่าน	975	220	6.58	22.85	0.14	62.69	2.18	5.56	29.43	3.5:1
1:2	ถ่าน	988	207	10.68	18.50	0.46	61.45	1.43	7.48	29.18	1.7:1
1:2	-	832	250	3.82	7.96	0.24	75.29	3.69	9.02	11.78	2.1:1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อุณหภูมิของแก๊สที่ออกจากเตาผลิตแก๊สสังเคราะห์ และจากสครับเบอร์ ได้แสดงในตารางที่ 6.1 ในหัวข้อของ G.TEMP คืออุณหภูมิแก๊สที่ออกจากเตาผลิตแก๊สสังเคราะห์, SC.TEMP คืออุณหภูมิแก๊สที่ออกจากสครับเบอร์ อุณหภูมิเฉลี่ยของแก๊สที่ออกจากเตาผลิตแก๊สสังเคราะห์ และสครับเบอร์เป็น 185 และ 33 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

6.2 ผลการทดลองเดินเครื่องดูดซึมคาร์บอนไดออกไซด์และหอกลั่น

ใช้ภาวะการทดลองที่ให้ค่าเปอร์เซ็นต์ของ CO_2 มากที่สุด (ข้อมูลการทดลองชุดที่สองในตารางที่ 6.2) ทำการวัดค่าต่าง ๆ ของหอดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์และหอกลั่นสารดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ ข้อมูลเหล่านี้แสดงในตารางที่ 6.3 ซึ่งจะพบว่าขาเข้ามีคาร์บอนไดออกไซด์ 15.51 เปอร์เซ็นต์ ขาออกเหลือเพียง 1.97 เปอร์เซ็นต์ ต่ำกว่าค่าที่กำหนดไว้คือ 2 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 6.3 ผลการทดลองเดินเครื่องระบบดูดคาร์บอนไดออกไซด์จากแก๊สสังเคราะห์

หอดูดซึมคาร์บอนไดออกไซด์		
อัตราการไหลแก๊สขาออก	40	ลบ.เมตร/ชม. (วัด)
อัตราการหมุนเวียนสารเคมี	391.8	ลิตร/ชม. (วัด)
ความเข้มข้นสารเคมี	20	เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
อุณหภูมิของหอ	40	องศาเซลเซียส
อัตราส่วนแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ขาเข้า	15.51	เปอร์เซ็นต์
อัตราส่วนแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ขาออก	1.97	เปอร์เซ็นต์
หอกลั่นสารดูดซึมคาร์บอนไดออกไซด์		
อัตราการป้อนสารเคมีเข้า	389	ลิตร/ชม. (วัด)
อุณหภูมิที่จุดป้อน	80	องศาเซลเซียส
อุณหภูมิที่หม้อต้มซ้ำ	100	องศาเซลเซียส
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในส่วนหม้อต้มซ้ำ	22.5	กิโลวัตต์

6.3 หอดูดซับความชื้นจากสายแก๊ส

จากการทดลองดูดความชื้นของสายแก๊สที่อัตรา 40 ลบ.เมตรต่อชั่วโมง ได้วัดอุณหภูมิกระเปาะแห้ง - กระเปาะเปียกแล้วหาค่าจุดน้ำค้างได้ผลดัง ตารางที่ 6.4

ตารางที่ 6.4 ผลการทดลองดูดความชื้นจากสายแก๊สโดยใช้ซิลิกาเจล ที่อัตราไหล 40 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง

	เวลา (ชม.)	อุณหภูมิ กระเปาะแห้ง องศาเซลเซียส	อุณหภูมิ กระเปาะเปียก องศาเซลเซียส	จุดน้ำค้าง องศาเซลเซียส	อุณหภูมิเฉลี่ยหอ องศาเซลเซียส	อุณหภูมิ แก๊สขาเข้า องศาเซลเซียส
1	0	29.5	21	16.7	49	37
2	0:30	29.5	18.5	11.1	48	37
3	1:00	30.0	18.5	11.1	48	36
4	1:30	30.0	18.5	11.1	51	36
5	2:00	30.0	18.5	11.1	52	35
6	3:00	30.0	18	11.1	54	36
7	3:30	29.5	18	11.1	57	37
8	5:00	29	18	11.1	62	36
9	6:00	29	17.5	11.1	62	36
10	6:30	28.5	17.5	11.1	61	36
11	7:00	28.5	17.5	11.1	62	37
12	7:30	28	17	11.1	62	36
13	8:00	28	17	11.1	61	36
14	8:30	28.5	17.5	11.1	59	34
15	9:00	28.5	17.5	11.1	59	34

ตารางที่ 6.4 (ต่อ)

	เวลา (ชม.)	อุณหภูมิกระเปาะแห้ง องศาเซลเซียส	อุณหภูมิกระเปาะเปียก องศาเซลเซียส	จุดน้ำค้าง องศาเซลเซียส	อุณหภูมิเฉลี่ยหอ องศาเซลเซียส	อุณหภูมิแก๊สขาเข้า องศาเซลเซียส
16	9:30	29	17.5	11.1	58	34
17	10:00	29	18	11.1	57	34
18	10:30	29	18	11.1	49	33
19	11:00	38	23	15	59	36
20	11:30	38	27	22.2	58	36
21	12:00	30.5	20	15	58	34
22	12:30	31	20	14	57	37
23	13:00	32	23	18.3	58	36
24	13:30	33	24	20	61	36
25	14:00	33	25	20.6	62	36
26	14:30	34	26	22.2	62	37
27	15:00	34	27	23.9	62	37
28	15:30	35	26.5	24	62	37
29	16:00	35	27	25	62	36
30	17:00	35	27	25	60	36

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การทดลองรีเจนเนอเรทหอดูดความชื้น ที่อัตราเร็วของอากาศที่ใช้ 75 ลบ.เมตร ต่อชั่วโมง ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 6.5

ตารางที่ 6.5 อัตราการไหลของอากาศที่ใช้ในการรีเจนเนอเรท 75 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง

เวลา (ชม.)	อุณหภูมิขาออก (องศาเซลเซียส)
0.0	33
0.5	45
1.0	46
1.5	45
2.5	45
3.0	45
4.0	51
5.0	158
6.0	161
7.0	156
7.5	160*
8.5	142
10.5	69
12.5	55
13.5	49

* หยุดการให้ความร้อน

บทที่ 7

สรุปผลการทดลองและวิเคราะห์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 7

สรุปผลการทดลองและวิเคราะห์

ในส่วนของเตาผลิตแก๊สสังเคราะห์ การปรับอัตราส่วนของเชื้อเพลิงถ่านกับชี้เลื่อยในช่วงเผาไหม้ จะทำให้ผลรวมของแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ และไฮโดรเจนสูงตามต้องการได้ พบว่า การใส่ถ่านในช่วงรีดักชัน จะทำให้ปริมาณผลรวมของแก๊สทั้งสองสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของนายพิเชษฐ ขุมทรัพย์ [5]

ในการใช้ชี้เลื่อยเป็นเชื้อเพลิงในส่วนเผาไหม้เพียงอย่างเดียว พบว่า การไหลเลื่อนของเชื้อเพลิงไม่ต่อเนื่อง ทำให้การควบคุมเตาเป็นไปด้วยความยากลำบาก จำเป็นต้องช่วยแยงเชื้อเพลิงให้ตกลงมาในช่วงเผาไหม้ และพบว่า การใช้ชี้เลื่อยผสมถ่านในอัตราส่วน 2:1 ในบริเวณการเผาไหม้ กับใช้ถ่านอย่างเดียวในบริเวณรีดักชัน ให้ผลดีที่สุดทั้งทางด้านการควบคุมเตาผลิตแก๊สสังเคราะห์และปริมาณแก๊สสังเคราะห์ที่ผลิตได้ รวมถึงให้ค่าอัตราส่วนของ H_2:CO สูงที่สุดคือ 0.58:1 และมีอัตราการเผาไหม้ชี้เลื่อยเท่ากับ 3.1 กก./ชม. อัตราเผาไหม้ถ่านเท่ากับ 6.7 กก./ชม. (วัดโดยการคำนวณจากปริมาณวัสดุที่ใส่ในเตาต่อเวลาที่ใช้วัสดุนั้นจนหมด)

ในส่วนของระบบดูดคาร์บอนไดออกไซด์จากสายแก๊ส พบว่า ปริมาณคาร์บอน-ไดออกไซด์ ที่ออกจากสายแก๊สไม่เกิน 2 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งตรงตามที่ออกแบบไว้

ในส่วนของหอดูดความชื้นจากสายแก๊สนี้ พบว่า ค่าจุดน้ำค้างที่ออกจากระบบเป็น 11.1 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาประมาณ 10 ชั่วโมง ดังตารางที่ 6.4 จากนั้นจุดน้ำค้างจะสูงขึ้น และสุดท้ายที่ 26 องศาเซลเซียส ซึ่งแตกต่างจากค่าที่คำนวณไว้ถึง 2 ชั่วโมง คาดว่าเป็นเพราะจุดน้ำค้างของไอที่ขาเข้าลดลงจาก 37.8 องศาเซลเซียส เป็น 26 องศาเซลเซียส ผลจากการลดความชื้นขาเข้าทำให้เวลาในการดูดความชื้นนานขึ้น นั่นคือ ระบบนี้สามารถดูดความชื้นได้ยาวนานถึง 10 ชั่วโมง ให้ค่าจุดน้ำค้างขาออกเป็น

11.1 องศาเซลเซียส หรือความชื้นสัมพันธ์ของแก๊สสังเคราะห์เป็น 20 เปอร์เซ็นต์ โดยที่ออกแบบคราวแล้วกำหนดให้เป็น 0 เปอร์เซ็นต์ (ซึ่งเป็นไปไม่ได้) ปริมาณน้ำที่อยู่ในแก๊สสังเคราะห์เท่ากับ 1.2 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นที่ยอมรับได้เมื่อผ่านแก๊สสังเคราะห์ปริมาณนี้เข้าสู่เครื่องปฏิกรณ์ (ข้อจำกัดเกี่ยวกับความชื้นมิได้มีหนังสือหรือเอกสารใดระบุไว้ จึงใช้ข้อจำกัดเดียวกันกับแก๊ส CO_2 ซึ่งในเอกสารอ้างอิงที่ 18 ได้ระบุไว้)

ในการรีเจนเนอเรชั่น ได้ออกแบบไว้ที่ระยะเวลา 4 ชั่วโมง แต่จากการทดลองพบว่า ต้องใช้เวลารีเจนเนอเรท 10.5 ชั่วโมง (ตารางที่ 6.5) โดยใช้อัตราไหลของอากาศ 75 ลบ.เมตร/ชม. อุณหภูมิที่ใช้ 160 องศาเซลเซียส และมีแหล่งจ่ายความร้อน (ขดลวดความร้อน) 3 กิโลวัตต์/ชม. วิธีการแก้ไขระบบนี้คือ ควรเพิ่มอัตราการไหลของอากาศที่ใช้รีเจนเนอเรทให้สูงขึ้น อาจเป็น 200 ลบ.เมตร/ชม. และในเวลาเดียวกันควรเพิ่มขดลวดความร้อนจาก 3 กิโลวัตต์ เป็น 5 กิโลวัตต์ (ค่าประมาณ)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เอกสารอ้างอิง

1 กรมโยธาธิการ เตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงประสิทธิภาพสูง เอกสารกรมโยธาธิการ กระทรวงมหาดไทย,2522

2 กองเกษตรวิศวกรรม แบบสำหรับสร้างเตาผลิตก๊าซจากถ่านไม้ เอกสารกองเกษตรกองเกษตรวิศวกรรม กระทรวงเกษตรและสหกรณ์,2533

3 อรุณ ชมชาญ พลังงานจากไม้ เอกสารเสนอต่อที่ประชุมสัมมนาเรื่องพลังงานเศรษฐกิและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยมหิดล วันที่ 13-15 ธันวาคม 2521

4 -------- พลังงานจากไม้(2) : แนวการวิจัยและพัฒนาการแปรรูปและใช้พลังงานจากไม้ เอกสารกรมป่าไม้ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์,2522

5 พิเชษฐ์ ชุมทรัพย์ ผลของตัวแปรต่างๆที่มีต่อการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากเตาผลิตก๊าซจากไม้แบบอากาศไหลลง วิทยานิพนธ์หลักสูตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,2528

6 อำนวย คอวณิช เศษไม้ในเมืองไทย เอกสารสมทบสาขาวนผลิตภัณฑ์ เสนอต่อที่ประชุมกรมป่าไม้ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2520

7 องค์การอุตสาหกรรมป่าไม้ เตาเผาถ่านเคลื่อนที่แบบมาร์ค 5 เอกสารองค์การอุตสาหกรรมป่าไม้,2520

8 Kaupp,A." Gasification of Rice Hull Theory and Praxis" German Appropriate Technology Exchange GATE,P.Box 5180, D-6236 Eschborn 1, Fed.Rep. at Germany 1983.

9 FAO Regional Office and The Pacific "Second Expert Consulation and Producer Gas DEvelopment in Asia and The Pacific Region" FAO Regional Office and The Pacific, Bangkok, Thailand, 1983.

10 Breay, G.R. and Chittenden,S.E. "Producer Gas : Its Potential and Application in Developing Countries" Tropical Product Institute, 1972.

11 Skov,N.A. and Papwarth,M.L. "The Pegasus Unite" Pegasus Publisher.Inc., Olympia, Washington, 1975.

12 Probstein,R.F. and Hicks,R.E. Synthetic Fuels 1 st ed., International Student Edition, McGraw-Hill International Book Company, 1982.

13 Kasaoka,S.,Sakata,Y.,Yamashita,H. and Nishino,T. "Effects of Catalysis and Composition of Inlet Gas on Gasification of Carbon and Coal" International and Chemical Engineering. 20(3), (1981):419-433.

14 Katta,S. and Kearins,D.L. "Study of Kinetics of Carbon Gasification Reactions "Ind.Eng.Chem.Fundam.20, (1981):6-13.

15 Storch,H.H.,Golumbic,N. and Anderson,R.B. The Fischer-Tropsch and Related Synthesis Wiley, 1951.

16 Reed,T.B. and Jantzen,D. "Generator Gas The Swedish Experience from 1939-1945 "Swedish Academy of Engineering, Translated by The Solar Energy Research Institute SERI, 1979.

17 Arthayukti,W. "Biomass Gasification Workshop" Chulalongkorn University, Bangkok 10500, Thailand, 1984.

18 Groggins, P.H. "Unit Processes in Organic Synthesis", 5th edition, 1958.

ภาคผนวก ก.

การออกแบบเตาผลิตแก๊สสังเคราะห์ (Gasifier Design)

จุดประสงค์ เพื่อผลิตน้ำมันดิบสังเคราะห์ขนาด 1/2 ลิตรต่อชั่วโมง

ความต้องการในการผลิต (Requirement for Synthesis Gas)

แก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์	1.548	ลบ.เมตร/ชม.
แก๊สไฮโดรเจน	1.548	ลบ.เมตร/ชม.

ข้อมูลจากการเดินเครื่องเตาผลิตแก๊สสังเคราะห์ของนายพิเชษฐ์ ชุมทรัพย์ [5]

เงื่อนไข วัดอัตราการไหลของแก๊สสังเคราะห์ขาออก (Basis Flue Gas)

ข้อมูลจากการทดลองเมื่อไม่คิดเปอร์เซ็นต์ของไอน้ำและทาร์ มีดังนี้

อัตราการไหลของแก๊สสังเคราะห์	40	ลบ.เมตร(มาตรฐาน)/ชม.
แก๊สไนโตรเจน	57.8	%
แก๊สออกซิเจน	1.06	%
แก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์	22.34	%
แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์	6.39	%
แก๊สไฮโดรเจน	11.55	%
แก๊สมีเทน	1.08	%

จะเห็นว่า สามารถผลิตแก๊สไฮโดรเจนได้ 11.5 % นั่นคือ

ปริมาณปริมาตรทั้งหมด = 1.548x100/11.55 ลบ.เมตร/ชม.

= 13.4 ลบ.เมตร/ชม.

ให้อัตราการไหลเป็น 3.4 เท่าของที่คำนวณได้ (เพื่อความปลอดภัย)

ดังนั้น อัตราไหลของแก๊ส $\simeq$ 45 ลบ.เมตร/ชม.

ใน 1 ชั่วโมง จะได้แก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์

= 45x0.2234 ลบ.เมตร

= 10.053 ลบ.เมตร

= 10.053x1,000 ลิตร

= 10,053 ลิตร

= 10,053/22.4 โมล

= 448.79 โมล

จะได้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ = 45x0.0639x1,000/22.4 โมล

= 128.37 โมล

จะได้แก๊สมีเทน = 45x0.0108x1,000/22.4 โมล

= 21.70 โมล

เมื่อคิดโมลอะตอมของคาร์บอน จะได้ = 448.79+128.37+21.70 โมล

= 598.86 โมล

= 598.86x12 กรัม

= 7,186.32 กรัม

= 7.19 กิโลกรัม

โดยทั่วไปไม้เมืองไทย เมื่อนำมากลั่นเป็นถ่าน (คาร์บอน) จะได้ถ่านประมาณ 30 % (fixed carbon + volatile matter ที่มีปริมาณน้อยมาก) (เอกสารจากกรมป่าไม้)

ดังนั้น ถ้าต้องการคาร์บอน 30 กิโลกรัม ต้องใช้ไม้

= 100 กิโลกรัม

ถ้าต้องการคาร์บอน 7.19 กิโลกรัม ต้องใช้ไม้

= 100x7.19/30 กิโลกรัม

= 23.97 กิโลกรัม

ใน 1 ชั่วโมง ใช้ไม้ในการเผา = 23.97 กิโลกรัม

ใน 8 ชั่วโมง ใช้ไม้ในการเผา = 191.73 กิโลกรัม

จากการวัดพบว่า ค่าความหนาแน่นไม้ (ชี้เลื่อย)

= 400 กก./ลบ.เมตร

เพราะฉะนั้นปริมาณช่องใส่ชี้เลื่อย = 191.73/400

= 0.479 ลบ.เมตร

เวลาของแก๊สในรีดักชัน

จากข้อมูลของนายพิเชษฐ์ พบว่าเวลาของแก๊สที่ใช้เมื่อผ่านบริเวณรีดักชันเท่ากับ

$$t = \frac{(\pi)(0.25)^2(0.200)(3,600)}{4x40}$$

= 0.88 วินาที

เพราะฉะนั้นในการออกแบบ จะให้เวลาในรีดักชันโซนเท่ากันกับของนายพิเชษฐ์ โดยกำหนดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อของบริเวณรีดักชันเท่ากับ 205 มม.

ดังนั้น ช่วงรีดักชันโซนควรมีความสูงอย่างน้อย

$$= \frac{(45)(0.88)}{\frac{\pi}{4}(0.205)^2(3,600)}$$

= 0.333 เมตร

= 333 มม.

ดังนั้น จะเลือกจุดทางออกของแก๊สสังเคราะห์อยู่เหนือบริเวณเผาไหม้ขึ้นไป 1.5 เมตร

การคำนวณหาขนาดของช่องเผาไหม้

จากผลการคำนวณความเร็วของแก๊สช่วงเผาไหม้ (ข้อมูลของนายพิเชษฐ์)

= อัตราการไหล/พื้นที่หน้าตัด

$$= \frac{40}{\frac{\pi}{4}(0.14)^2 \times 3,600}$$

= 0.72 เมตร/วินาที

เพราะฉะนั้นพื้นที่หน้าตัดช่องเผาไหม้ = อัตราการไหล/ความเร็วผ่านช่องเผาไหม้

= 45/(0.72x3,600)

= 0.0174 ตร.เมตร

พื้นที่วงแหวน = $\pi(D_1^2-D_2^2)/4$

โดยที่ D_1 = เส้นผ่าศูนย์กลางวงนอกของวงแหวนนี้

D_2 = เส้นผ่าศูนย์กลางของช่องรีดักชัน (0.205 เมตร)

เพราะฉะนั้นเส้นผ่าศูนย์กลางวงนอกวงแหวน (D_1)

= 253 มม.

ดังนั้น ช่องห่างในบริเวณเผาไหม้ = (253-205)/2

= 24 มม.

สรุปข้อกำหนดในการออกแบบเตาผลิตแก๊สสังเคราะห์คือ

1. อัตราการไหลของแก๊สสังเคราะห์ขาออก 45 ลบ.เมตร/ชม.
2. ขนาดของเตาผลิตแก๊สสังเคราะห์ 1.5 ลบ.เมตร
   โดยมี เส้นผ่าศูนย์กลาง 1 เมตร
   ความสูง 2 เมตร
3. อุณหภูมิในเตา 1,000-1,200 °ซ
4. ขนาดที่เก็บไม้ (Hopper x 2) 2 x 0.25 ลบ.เมตร
5. ขนาดที่เก็บถ่าน (Hopper x 1) 0.25 ลบ.เมตร
6. การควบคุมการไหลของไม้และถ่าน จะใช้วาวล์ควบคุม 2 ชั้น

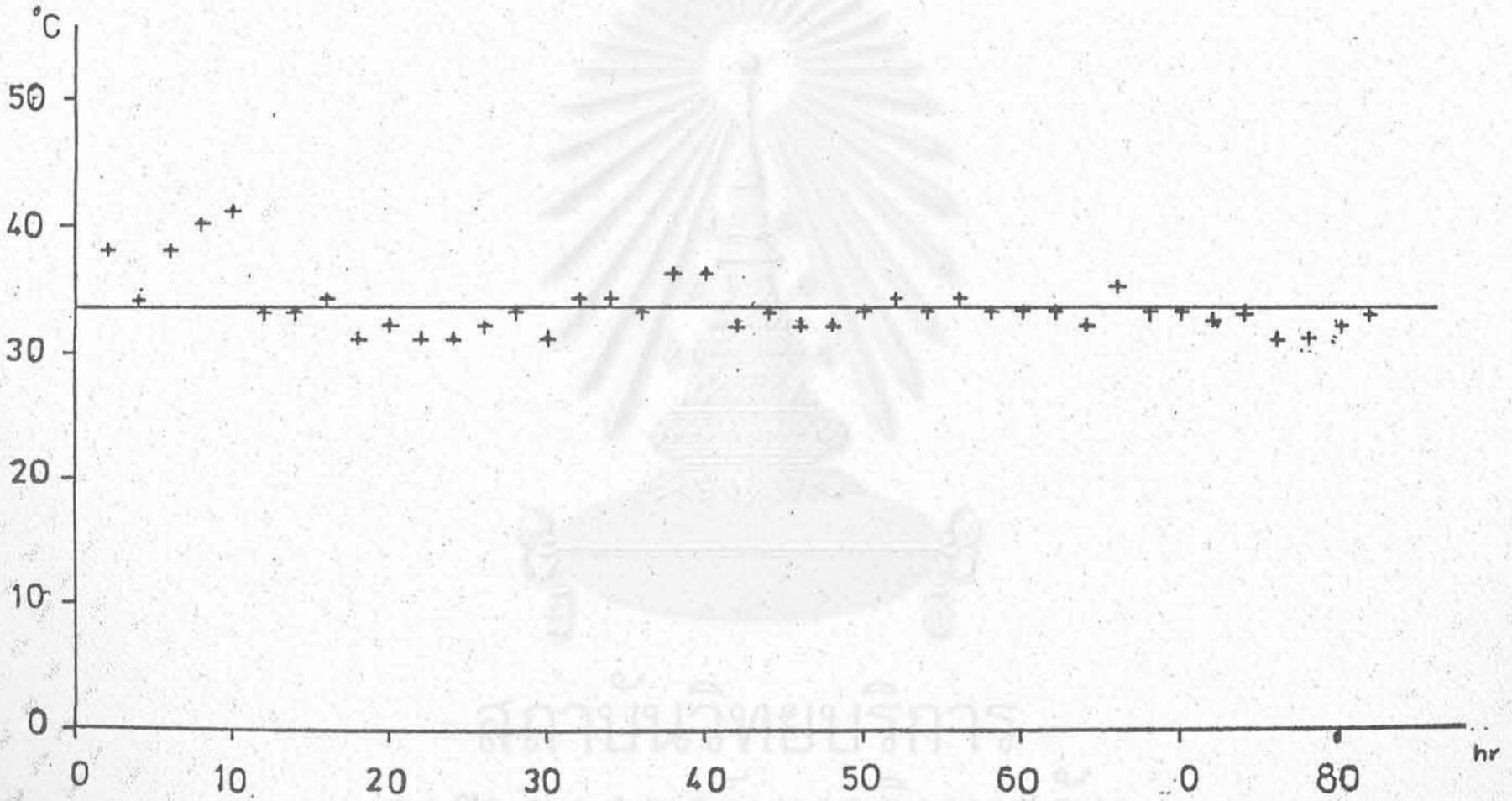
ภาคผนวก ข.

ข้อมูลการทดลองเดินเครื่องเตาผลิตแก๊สสังเคราะห์

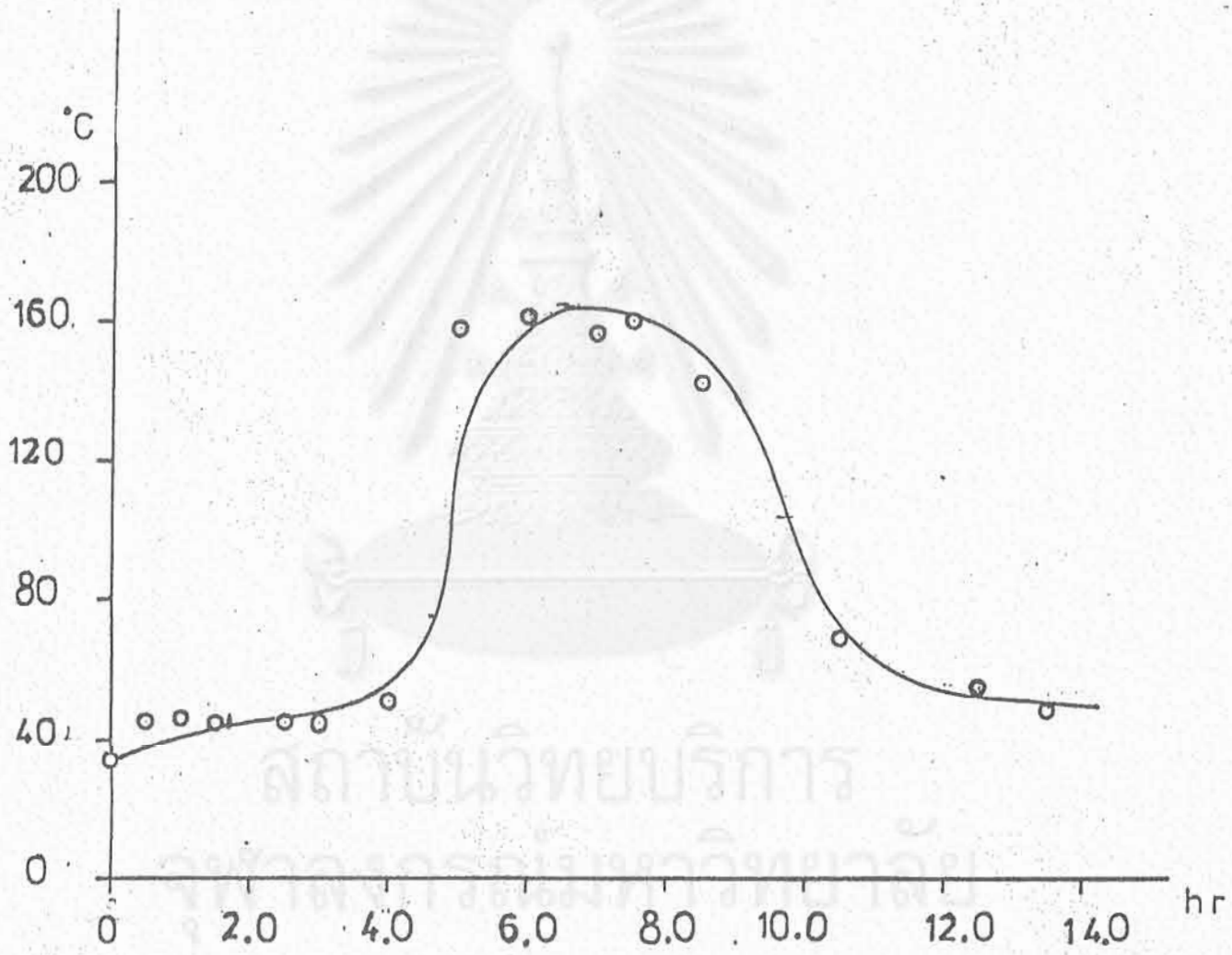
NO	SAMPLE #	B.TEMP	OUT T.	SC. TEMP	H2	CO	CH4	N2	O2	CO2	CO+H2 %	REMARKS
1	B05/01	815	142	41	11.03%	12.03%	8.09%	53.10%	1.27%	14.45%	23.06%	
2	C04/02	815	142	41	8.56%	8.67%	7.91%	62.04%	0.70%	12.12%	17.23%	
3	B06/01	848	136	33	9.79%	5.61%	1.21%	55.48%	1.13%	26.78%	15.40%	
4	C05/02	846	136	33	10.11%	5.92%	1.26%	65.43%	1.27%	12.02%	16.03%	
5	B07/01	852	138	33	9.73%	9.86%	0.41%	63.76%	0.75%	15.46%	19.62%	
6	C06/02	852	138	33	8.91%	8.74%	0.36%	69.56%	0.83%	11.56%	17.64%	
7	B08/01	1037	206	32	5.73%	9.09%	0.00%	71.29%	0.65%	13.23%	14.83%	
8	C07/02	1034	227	34	7.14%	12.77%	5.97%	62.32%	1.04%	10.77%	19.91%	
9	C08/02	916	172	32	9.08%	9.92%	0.95%	65.47%	1.23%	13.34%	19.01%	
10	C09/02	1168	178	31	7.62%	14.21%	0.60%	66.47%	1.10%	10.00%	21.82%	
11	C10/02	1181	175	31	7.04%	13.80%	0.35%	66.03%	1.38%	11.41%	20.83%	
12	B10/01	1061	175	32	7.99%	15.76%	0.51%	62.93%	0.72%	11.10%	23.75%	
13	C11/02	1123	179	33	7.12%	12.42%	0.23%	67.31%	1.12%	11.80%	19.54%	
14	C12/02	1003	178	31	7.60%	11.23%	0.36%	66.33%	0.80%	13.67%	18.83%	
15	C13/02	1062	176	30	6.94%	12.54%	0.20%	67.81%	1.10%	11.41%	19.48%	
16	C14/02	1078	168	31	6.46%	17.07%	0.06%	65.16%	0.62%	10.63%	23.53%	
17	C15/02	1061	178	31	6.59%	16.90%	0.06%	65.24%	0.86%	10.35%	23.49%	
18	C16/02	1023	173	32	6.25%	15.10%	0.21%	66.55%	1.87%	10.02%	21.34%	
19	C17/02	827	178	33	8.21%	14.20%	0.65%	64.78%	2.16%	10.01%	22.40%	
20	B11/01	827	176	33	7.86%	13.86%	0.62%	67.58%	0.03%	10.04%	21.72%	
21	C18/02	807	178	32	7.64%	12.09%	0.21%	65.57%	1.14%	10.59%	19.72%	
22	C19/02	809	176	31	7.10%	13.52%	0.06%	66.11%	0.74%	10.50%	20.62%	
23	C20/02	702	166	32	4.97%	19.17%	0.00%	69.31%	5.60%	10.27%	24.14%	
24	C21/02	718	184	34	5.24%	18.86%	0.00%	69.63%	2.18%	12.35%	24.10%	
25	C22/02	720	182	35	6.01%	15.31%	0.00%	70.23%	1.01%	12.33%	21.32%	
26	C23/02	729	177	34	7.34%	15.57%	0.00%	75.14%	2.65%	7.27%	22.91%	
27	C24/02	953	172	35	5.93%	13.74%	0.00%	69.73%	0.96%	13.57%	19.67%	
28	C25/02	710	178	33	1.81%	15.64%	0.35%	84.92%	6.78%	2.35%	17.45%	
29	C27/02	783	163	34	6.32%	12.35%	1.94%	69.26%	4.10%	6.03%	18.68%	
30	C28/02	771	168	36	10.14%	16.92%	0.59%	65.87%	1.18%	5.30%	27.06%	
31	C29/02	718	223	33	6.46%	15.48%	0.14%	70.37%	2.57%	4.98%	21.94%	
32	C30/02	807	177	36	6.36%	18.94%	0.02%	69.66%	1.46%	3.57%	25.30%	
33	B31/01	822	181	32	11.44%	11.33%	0.00%	69.12%	0.58%	7.52%	22.77%	
34	B32/01	1053	191	32	8.33%	17.23%	0.00%	73.29%	0.62%	0.54%	25.56%	
35	B33/01	923	157	33	7.09%	15.11%	0.00%	70.63%	0.60%	6.57%	22.20%	
36	B34/01	834	178	33	8.06%	16.51%	0.00%	70.23%	0.59%	4.60%	24.57%	
37	C32/02	822	182	32	9.51%	11.96%	0.00%	74.45%	0.63%	3.05%	21.87%	
38	C33/02	1058	184	34	5.87%	15.94%	0.00%	69.12%	0.55%	8.49%	24.81%	
39	C34/02	1053	151	32	8.65%	16.46%	0.00%	71.05%	0.60%	3.20%	25.15%	
40	C35/02	966	177	34	10.45%	17.87%	0.00%	64.45%	0.56%	6.56%	28.37%	
41	C36/02	923	157	33	7.84%	16.51%	0.00%	69.07%	0.59%	5.99%	24.35%	
42	C38/02	800	186	34	8.14%	16.95%	0.00%	69.90%	0.59%	5.42%	25.09%	
43	C39/02	785	157	34	9.04%	17.55%	0.00%	66.00%	0.57%	6.84%	26.59%	
44	C40/02	772	210	34	8.77%	16.81%	0.00%	69.36%	0.55%	5.48%	25.58%	
45	C41/02	658	201	33	5.56%	15.27%	0.00%	67.75%	0.58%	7.91%	20.77%	
46	C44/02	995	176	33	7.93%	19.81%	0.05%	62.52%	0.61%	9.75%	27.74%	
47	C45/02	924	176	33	7.66%	21.47%	0.73%	61.33%	3.44%	5.32%	29.13%	
48	C46/02	941	166	32	6.94%	22.95%	0.02%	63.53%	1.65%	4.71%	29.76%	
49	C47/02	983	224	35	6.85%	25.91%	0.00%	61.10%	0.93%	5.15%	32.75%	
50	C48/02	914	202	33	6.00%	24.87%	0.00%	61.84%	1.30%	6.01%	30.87%	

NO	SAMPLE #	B.TEMP	OUT T.	SO. TEMP	H2	CO	CH4	N2	O2	CO2	CO+H2 %	REMARKS
51	C49/02	999	257	32	4.22%	22.13%	0.00%	65.16%	2.12%	6.37%	26.35%	
52	C52/02	972	172	33	12.17%	26.56%	1.76%	57.46%	0.94%	7.11%	38.73%	
53	C53/02	988	196	33	11.51%	20.35%	0.64%	59.67%	1.03%	6.80%	31.86%	
54	C54/02	970	201	32	10.65%	22.06%	0.41%	59.21%	1.62%	6.65%	32.71%	
55	C55/02	1044	189	32.5	11.02%	18.02%	0.44%	61.30%	1.15%	8.07%	29.04%	
56	C56/02	1077	196	33	10.61%	18.51%	0.42%	60.90%	1.35%	8.21%	29.12%	
57	C57/02	937	195	33	10.49%	17.09%	0.42%	61.30%	1.24%	9.46%	27.58%	
58	C51/02	1097	188	34	11.15%	15.02%	0.31%	61.46%	1.05%	11.01%	26.17%	
59	C59/02	970	244	31	11.04%	19.06%	0.08%	59.63%	0.99%	9.20%	30.10%	
60	C60/02	1020	241	32	10.82%	18.36%	0.06%	66.02%	1.26%	3.45%	29.18%	
61	C61/02	985	244	31	7.32%	16.02%	0.06%	67.51%	4.25%	4.84%	23.34%	
	AVERAGE	917	185	33	9.14%	15.66%	0.64%	66.24%	1.41%	8.64%	23.79%	
	STD.VAR	128	24	2	2.02%	4.15%	1.59%	5.12%	1.23%	4.12%	4.44%	
	VARIENCE	16496	658	4	0.04%	0.17%	0.03%	0.26%	0.02%	0.17%	0.20%	
	MAXIMUM	1121	257	41	12.17%	25.91%	5.09%	86.52%	6.76%	25.73%	32.75%	
	MINIMUM	638	135	30	1.81%	5.61%	0.00%	53.10%	0.03%	0.34%	14.53%	

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ข.1 แสดงอุณหภูมิแก๊สที่ออกจากสครับเบอร์



รูปที่ ข.2 แสดงค่าอุณหภูมิที่เวลาต่าง ๆ ที่ทำรีเจนเนอเรทที่อัตราการไหลของอากาศ 75 ลบ.เมตร/ชม.

ภาคผนวก ค.

ค.1 สภาวะการวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี

(Gas-Dchromatography Analytical Conditions)

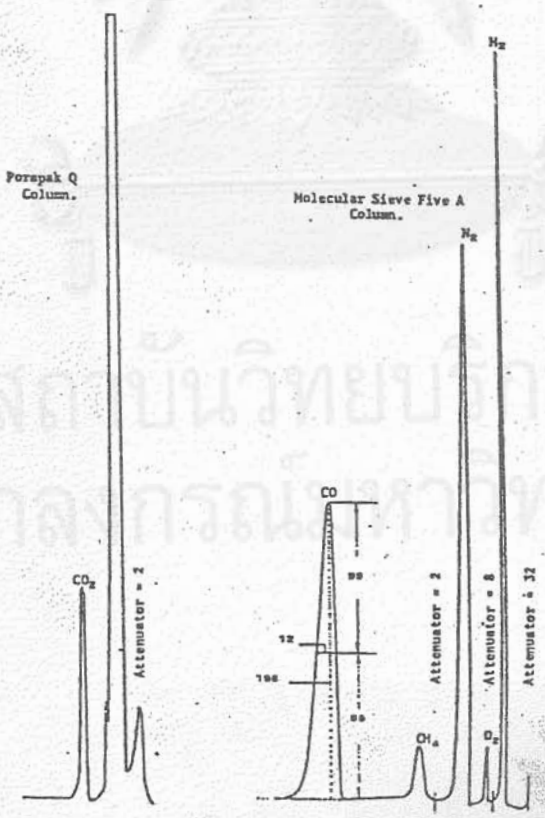
แก๊สนำพา (Carrier Gas)	=	อาร์กอน (argon)
ปริมาณแก๊สนำพา	=	0.5 ลบ.ซม./วินาที
อุณหภูมิของคอลัมน์ (Column Temperature)	=	60 องศาเซลเซียส
อุณหภูมิการฉีดแก๊ส (Injector Temperature)	=	80 องศาเซลเซียส
ระบบตรวจวัด (Detector)	=	ระบบวัดสภาพการนำความร้อน(TCD)
ความว่องไวระบบตรวจวัด (Sensibility)	=	80 มิลลิแอมป์แปร์

	คอลัมน์ ก	คอลัมน์ ข
ชนิดคอลัมน์ :	MS-5A ขนาด -80+100 mesh	PORAPAK Q; ขนาด -80+100
ขนาดคอลัมน์ :	ø=1/8 นิ้ว; ยาว 6 ฟุต	ø=1/8 นิ้ว; ยาว 6 ฟุต
แก๊สที่สามารถทำการแยกได้ เรียงตามลำดับเวลา		
	แก๊สไฮโดรเจน	แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์
	แก๊สออกซิเจน	
	แก๊สไนโตรเจน	
	แก๊สมีเทน	
	แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์	

ค.2 การหาพื้นที่ใต้กราฟ (Peak area)

ในการวัดหาพื้นที่ใต้กราฟ ใช้ไม้บรรทัดแบบย่อส่วนโดยใช้สเกล 1:2.500 เมตร วัด โดยกำหนดว่าเลข 10 ในไม้บรรทัดมีค่าเท่ากับ 10 หน่วย จากรูปกราฟที่ 6.1 กราฟของ CO ความสูงของกราฟ 198 หน่วย และความกว้างของกราฟที่ครึ่งหนึ่งของความสูงของกราฟ 12 หน่วย คือ มีพื้นที่ใต้กราฟ 198x12 ตารางหน่วย

หาพื้นที่ใต้กราฟของ	CO	=	2,376	ตารางหน่วย
	CH_4	=	210	ตารางหน่วย
	H_2	=	856.8	ตารางหน่วย
	N_2	=	2,133	ตารางหน่วย
	O_2	=	55.5	ตารางหน่วย



รูปที่ ค.1 แสดงโครมาโตแกรมของแก๊สสังเคราะห์