บทที่ 4

การทดลอง

4.1 รายละเอียดเกี่ยวกับระบบต่างๆ ของโรงงานต้นแบบกำจัดแก๊สคาร์บอน-ไดออกไซด์โดยใช้สารละลายโมโนเอธาโนลามีน

โรงงานต้นแบบนี้ประกอบด้วยหน่วยต่างๆในรูป 4.1.1 ดังนี้คือ

1) หน่วยผลิตแก๊สสังเคราะห์ (Gasifier)

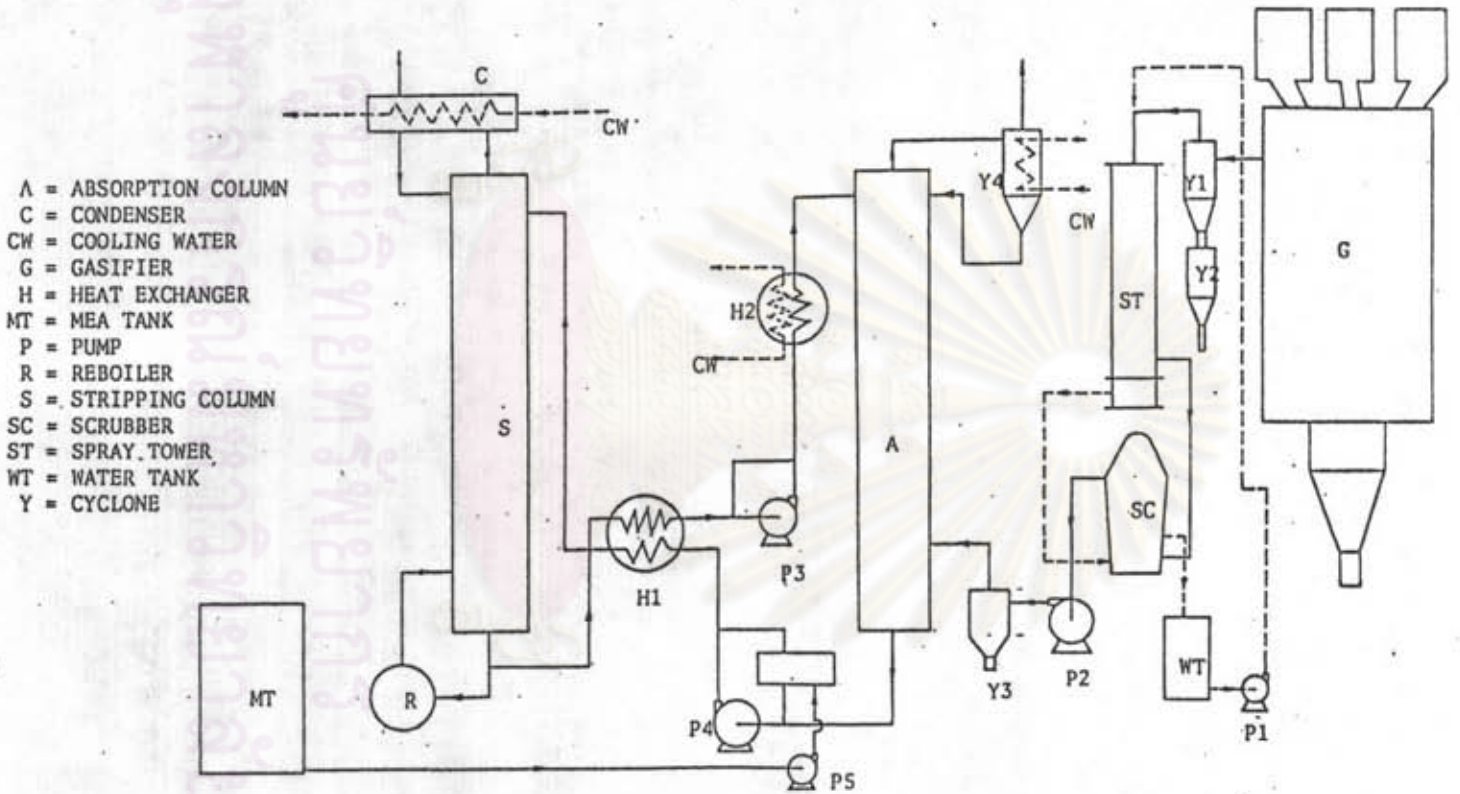
2) หน่วยกำจัดฝุ่นออกจากแก๊สสังเคราะห์ (Scrubber and Spray Tower)

3) หน่วยดูดซึมแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (Absorber)

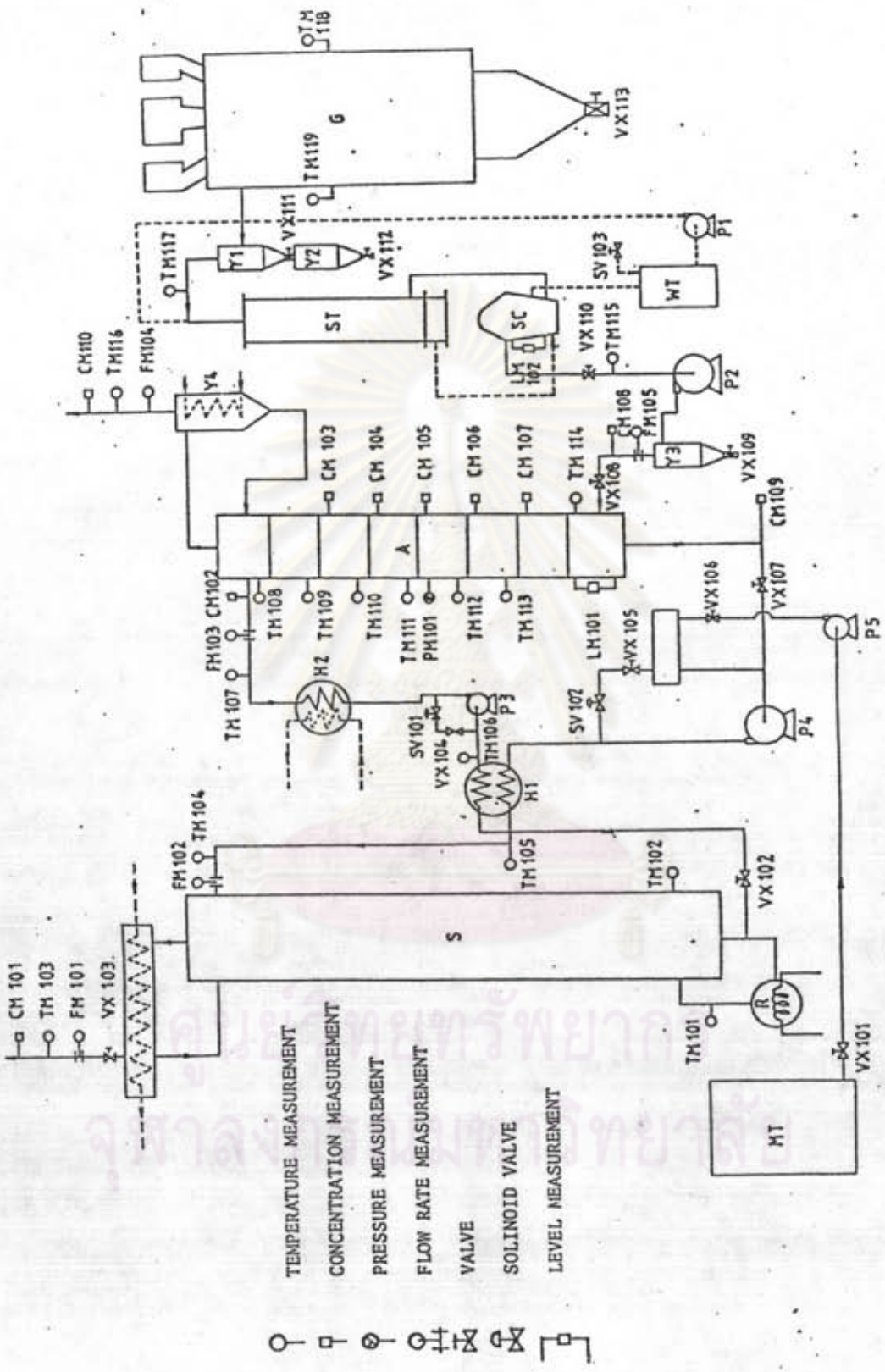
4) หน่วยกลั่นสารดูดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (Stripper)

4.1.1 หน่วยผลิตแก๊สสังเคราะห์ (20)

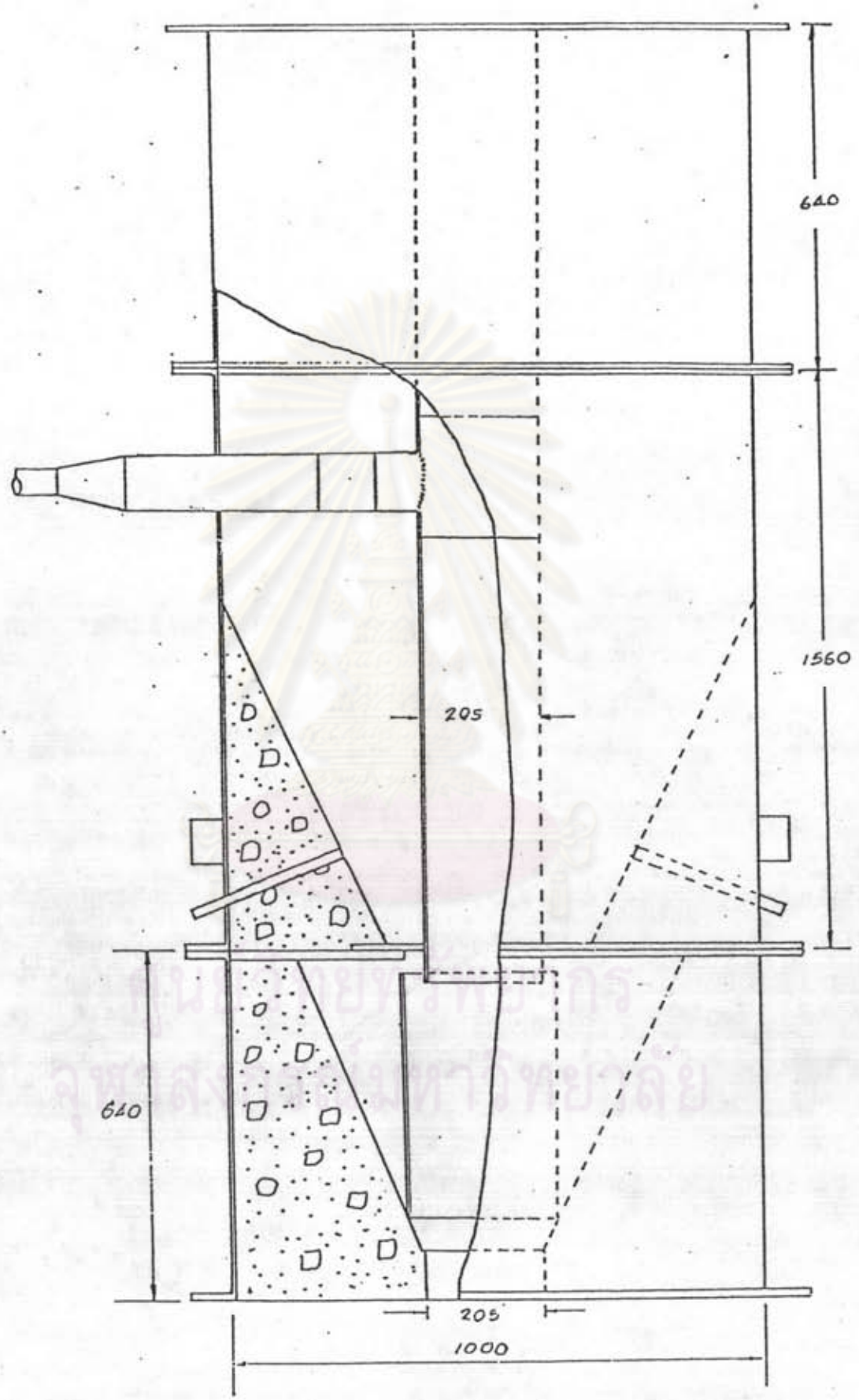
หน่วยนี้เป็นเตาผลิตแก๊สสังเคราะห์ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 เมตร สูง 2 เมตร แสดงในรูป 4.2.1 และ 4.2.2 ภายในแบ่งเป็น 2 เขต คือ เขตที่เกิดการเผาไหม้ (Combustion Zone) หรือบางทีเรียกว่า "อาร์ทโซน" (Hearth Zone) จะเป็นส่วนที่เกิดการเผาไหม้ของคาร์บอน ให้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ จะเป็นจุดที่มีอุณหภูมิสูงสุดของเตา เชื้อเพลิงที่ใช้ในบริเวณนี้เป็นชี้เลื่อย ผสมกับถ่านไม้ในอัตราส่วน ชี้เลื่อย : ถ่านไม้ เท่ากับ 2:1 เขตที่สอง คือเขตที่เกิดปฏิกิริยารีดักชัน (Reduction Zone) หรือเรียกบริเวณนี้ว่า "แก๊สซิฟิเคชันโซน" (Gasification Zone) เป็นช่วงที่จะเกิดปฏิกิริยาแกซิฟิเคชันต่างๆ เพื่อให้ได้แก๊สไฮโดรเจน คาร์บอนมอนออกไซด์ มีเทน เขตที่เกิดปฏิกิริยารีดักชันนี้มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 205 มม.ยาว 1,500 มม. เชื้อเพลิงที่ใช้เป็น ถ่านไม้



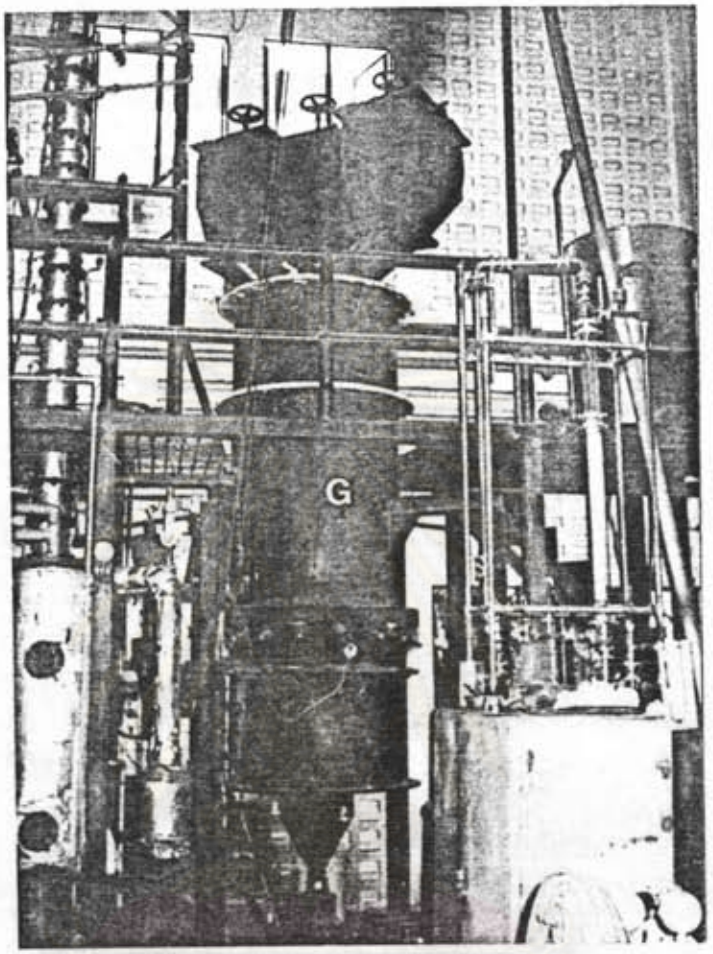
รูปที่ 4.1.1 กระบวนการกำจัดแก๊สกรดออกจากแก๊สสังเคราะห์



รูปที่ 4.1.2 แสดงตำแหน่งการวัดค่าต่างๆ



รูปที่ 4.2.1 ภาคตัดภายในของเตาผลิตแก๊สสังเคราะห์



รูปที่ 4.2.2 แสดงเตาผลิตแก๊สสังเคราะห์ที่ใช้ในการทดลองนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.1.2 หน่วยกำจัดฝุ่นออกจากแก๊สลังเคราะห์

ส่วนประกอบในหน่วยนี้แสดงในรูปที่ 4.3 ดังนี้

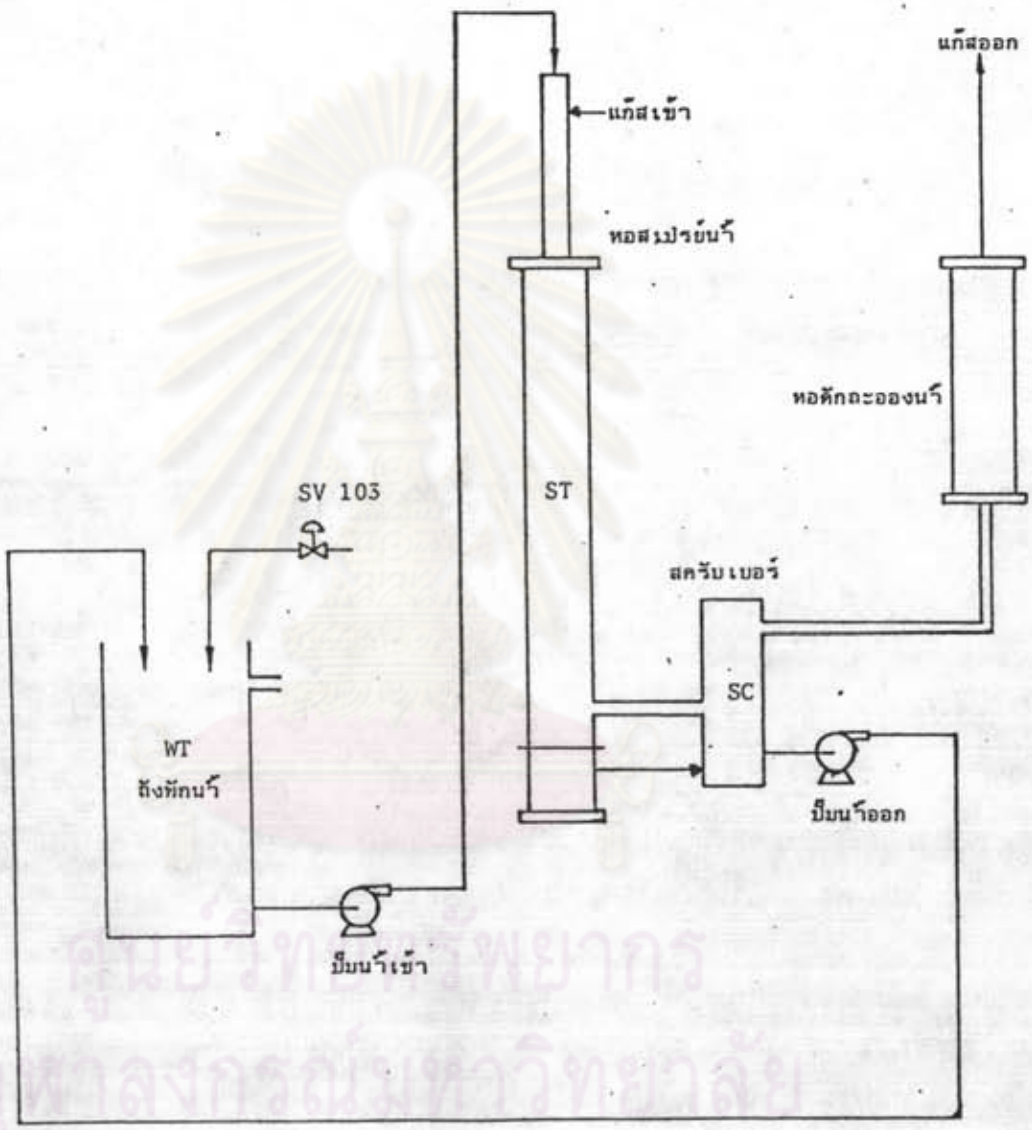
4.1.2.1 สครับเบอร์ (Scrubber , SC) แบบของสครับเบอร์ที่ใช้นี้ คือ แบบออริฟิสสครับเบอร์ ตามรูปที่ 4.4 ซึ่งเป็นแบบที่สร้างได้ง่ายและราคาถูก เหมาะกับแก๊สที่มีความเร็วสูง ๆ โดยแก๊สจะกระทบกับน้ำแตกกระจายเป็นฝอยผ่านช่องเปิด แล้วกระทบกับแผ่นข้างทำให้ฝุ่นละอองถูกจับและสะสมในถังสครับเบอร์ ตัวถังของสครับเบอร์ทำด้วยทองแดงเพื่อป้องกันการผุกร่อน และง่ายต่อการขึ้นรูป

4.1.2.2 หอสเปรย์น้ำ (Spray Tower , ST) เนื่องจากอุณหภูมิของแก๊สลังเคราะห์ที่ออกจากเตาผลิตแก๊สลังเคราะห์ สูงถึงประมาณ 300 องศาเซลเซียส จึงต้องตั้งหอสเปรย์น้ำเพื่อช่วยลดอุณหภูมิของแก๊ส ซึ่งสามารถลดอุณหภูมิลงได้มาก โดยวัดอุณหภูมิของแก๊สลังเคราะห์หลังออกจากสครับเบอร์แล้วได้ประมาณ 30-35 องศาเซลเซียส หอสเปรย์น้ำนี้ทำจากท่อเหล็กขนาด 152 มม. (6 นิ้ว) ท่อที่เป็นท่อสเปรย์มีขนาด 12.7 มม. (1/2 นิ้ว) เจาะรูโดยรอบ ขนาด 1 มม. จำนวน 30 รู

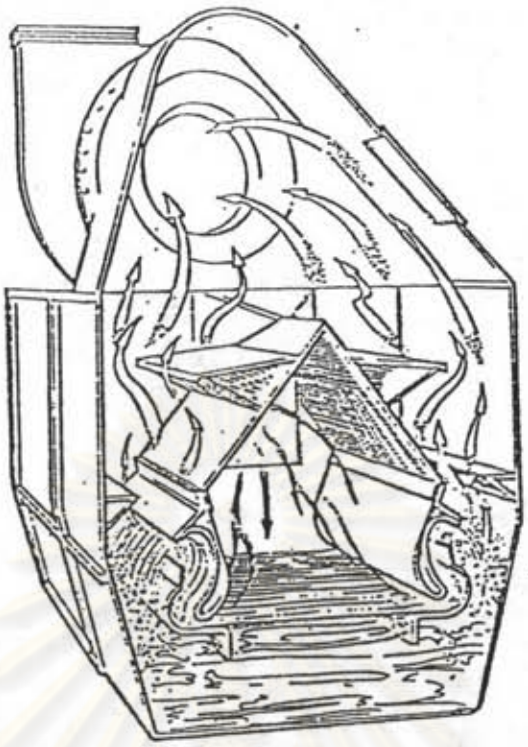
4.1.2.3 ถังพักน้ำ (Water Tank , WT) ฝุ่นและผงถ่านจะมาสะสมตัวในถังพักน้ำนี้ เนื่องจากมีตะแกรงกั้นก่อนที่น้ำในถังจะถูกปั๊มไปสู่หอสเปรย์น้ำ ถ้าผงถ่านมีมากจะต้องเอาออก และเปลี่ยนน้ำในถังพักน้ำ นอกจากนี้ยังมีวาล์วไฟฟ้า (SV103) คอยเปิดปิดน้ำจากภายนอกที่จะเติมลงสู่ถังพักน้ำ โดยจะเปิดเมื่ออุณหภูมิในถังสูงกว่า 50 องศาเซลเซียส

4.1.3 หน่วยดูดซึมแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์

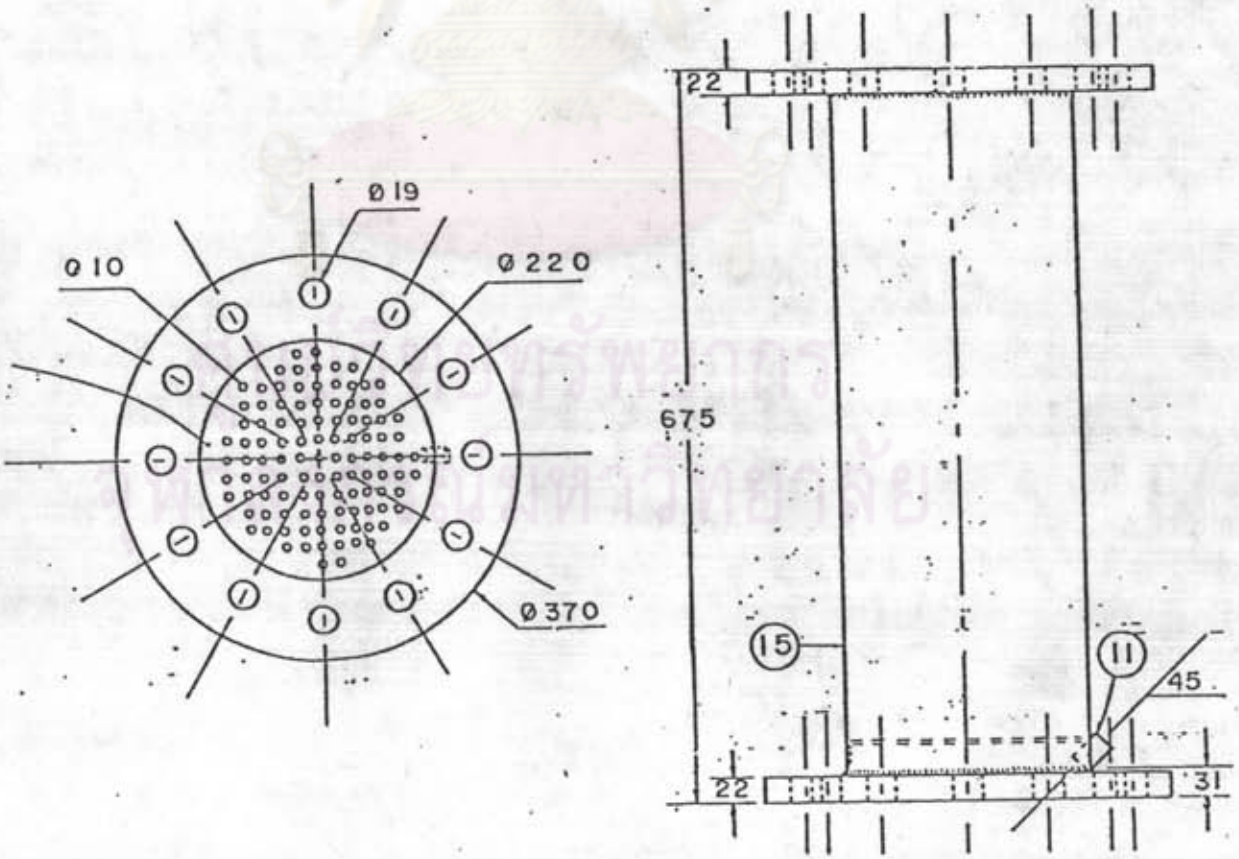
หอดูดซึมที่ใช้เป็นหอดูดซึมแบบแพคมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางหอ 205มม. (8 นิ้ว) ส่วนที่บรรจุแพคกิง (Packing) สูง 4.05 เมตร แบ่งเป็น 6 ชั้นๆละ 675 มม. ระหว่างชั้นมีแผ่นกระจายสารเคมี (Redistributor) เพื่อช่วยให้การละลายของสารละลายเป็นไปอย่างทั่วถึงและมีการสัมผัสกับแก๊สเป็นอย่างดี ไม่เกิดการไหลติดด้านข้าง (Channeling Flow) ตามคำแนะนำของ ออตโต แฟรงค์ (Otto Frank)(22)



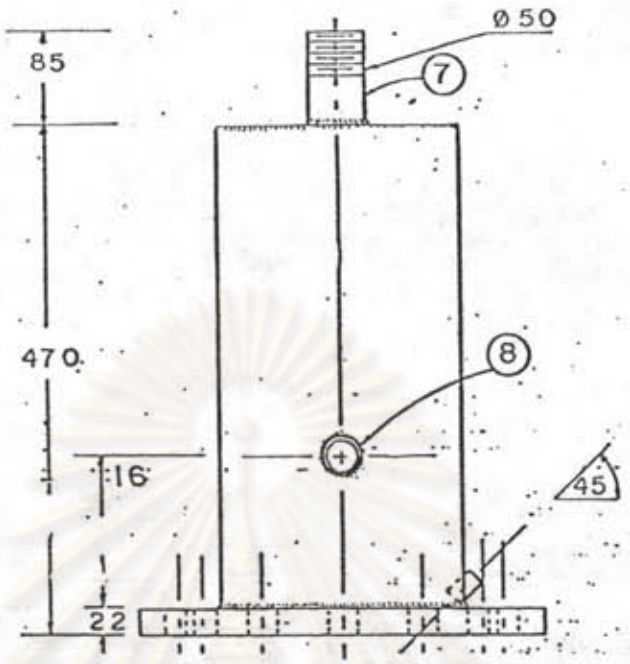
รูปที่ 4.3 กระบวนการกำจัดทาร์และสิ่งสกปรกออกจากแก๊สสังเคราะห์ตลอดจนการลดอุณหภูมิของแก๊สที่ออกจากเตาผลิตแก๊สสังเคราะห์



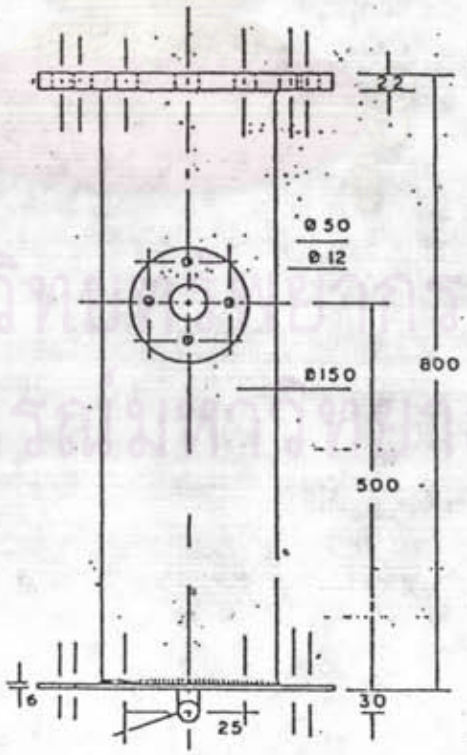
รูปที่ 4.4 การเกิดละอองภายในสครับเบอร์ (Scrubber)(21)



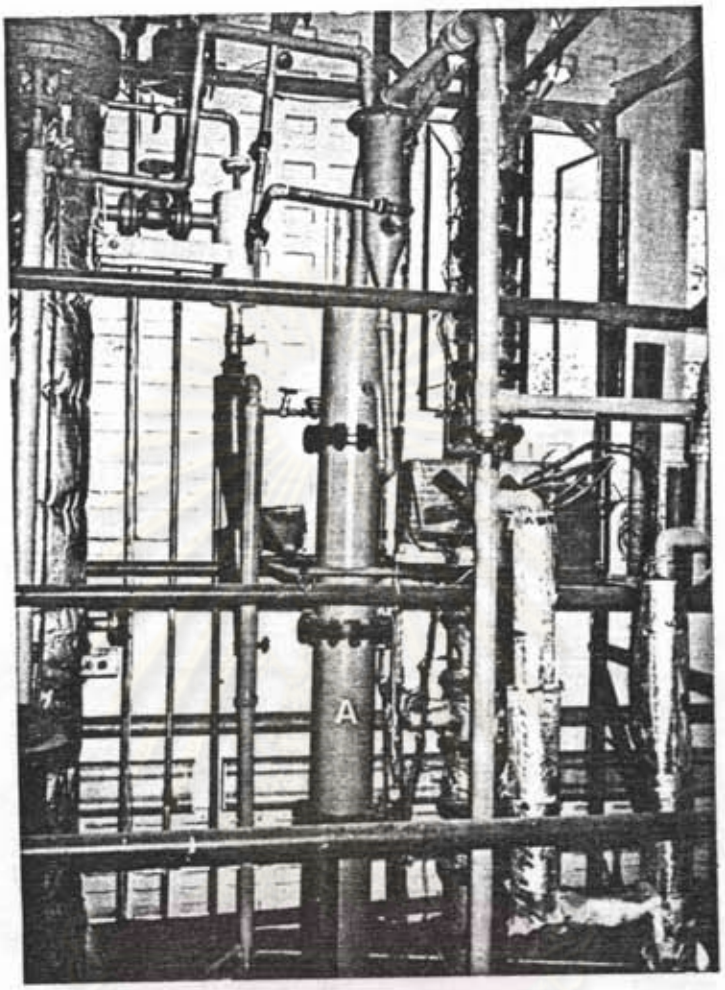
รูปที่ 4.5 ภาพด้านข้างของตัวถังหอดูดคาร์บอนไดออกไซด์



รูปที่ 4.6 ส่วนหัวของหอดูดคาร์บอนไดออกไซด์

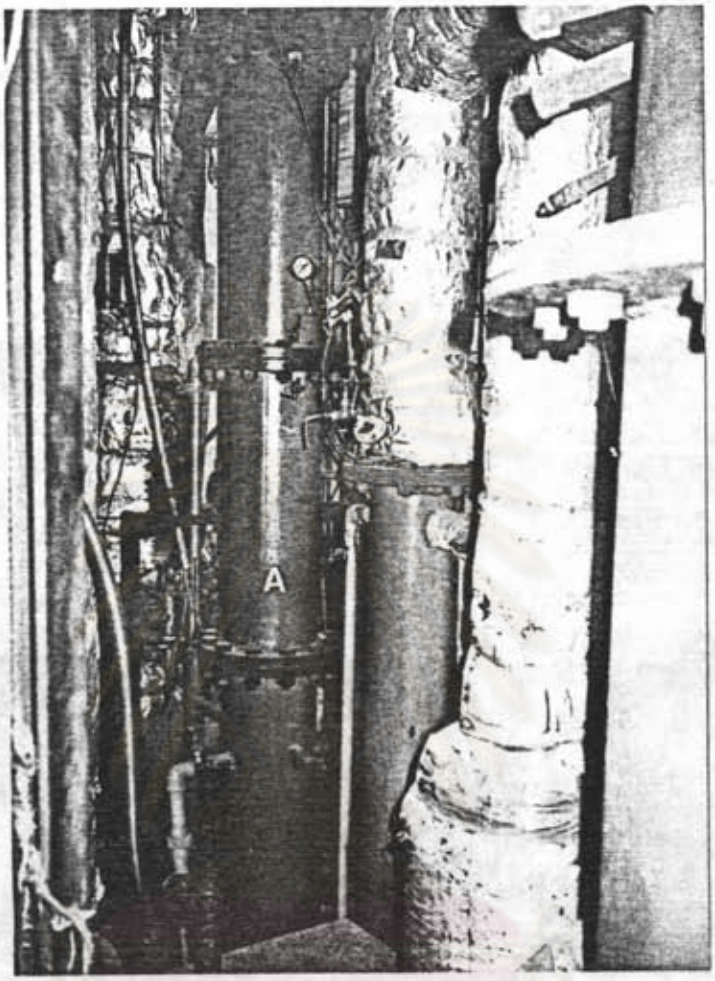


รูปที่ 4.7 ส่วนล่างของหอดูดคาร์บอนไดออกไซด์



รูปที่ 4.8 แสดงส่วนบนของหอดูดซึม ที่ใช้ในการทดลอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

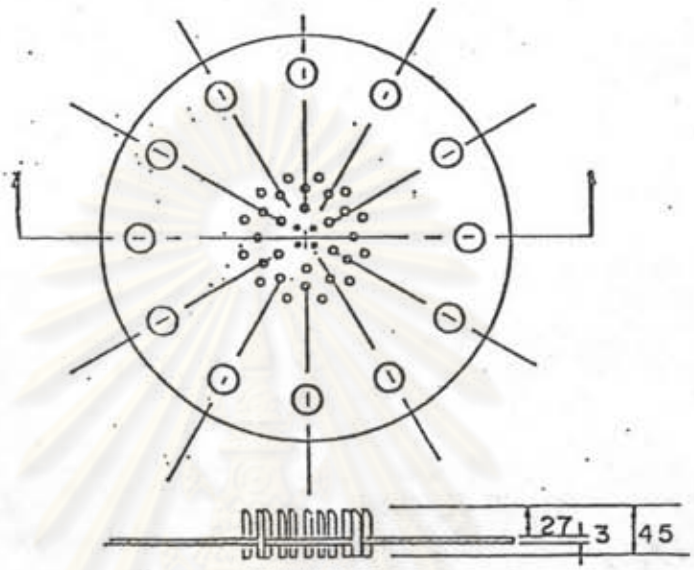


รูปที่ 4.9 แสดงส่วนล่างของหอดูดซึม ที่ใช้ในการทดลอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

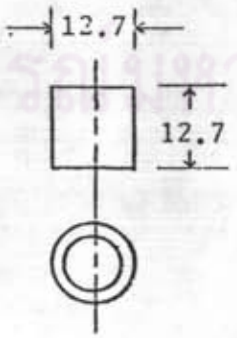
I 10300739

แผ่นกระจายสารเคมีเป็นแผ่นทองเหลืองวงกลม มีขนาดเท่าหน้าแปลนมาตรฐาน (370 มม.) เจาะรูภายในมีขนาด 10 มม. จำนวน 30 รู แต่ละรูมีท่อกระจายสารเคมีที่เกิดจากท่อทองแดงเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 มม. ยาวท่อนละ 45 มม. ดังรูป 4.10



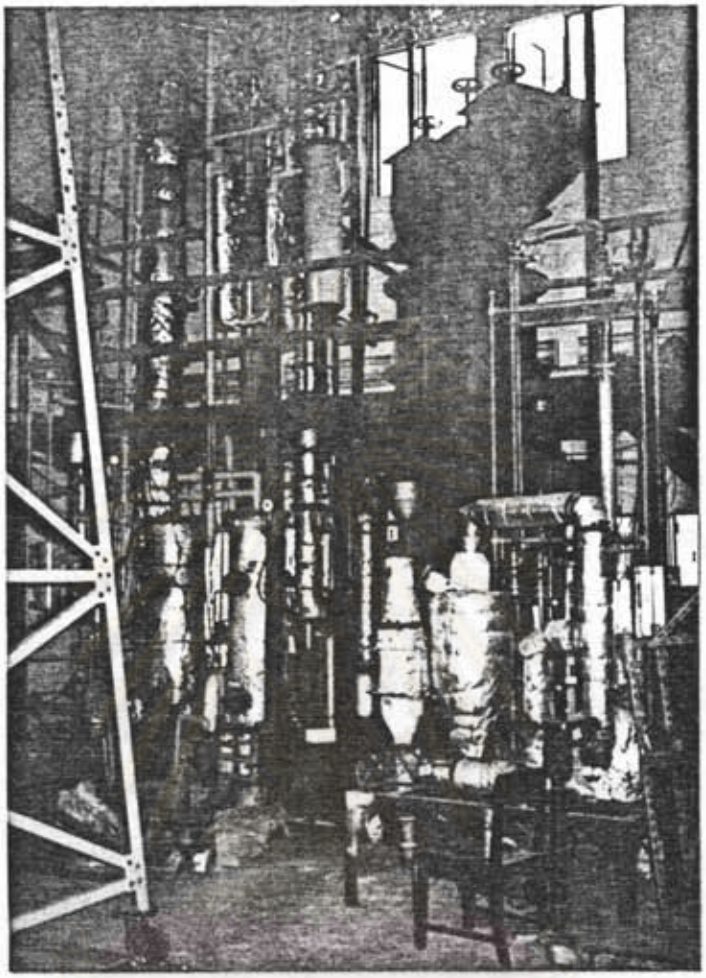
รูปที่ 4.10 แผ่นกระจายสารเคมี

แพคกิงที่บรรจุภายในหอ เป็นวงแหวนแรชชิก (Rashing Ring) ขนาดมาตรฐาน (Norminal Size) เท่ากับ 1.27 เซนติเมตร ทำด้วยท่ออลูมิเนียมหนา 1 มม.



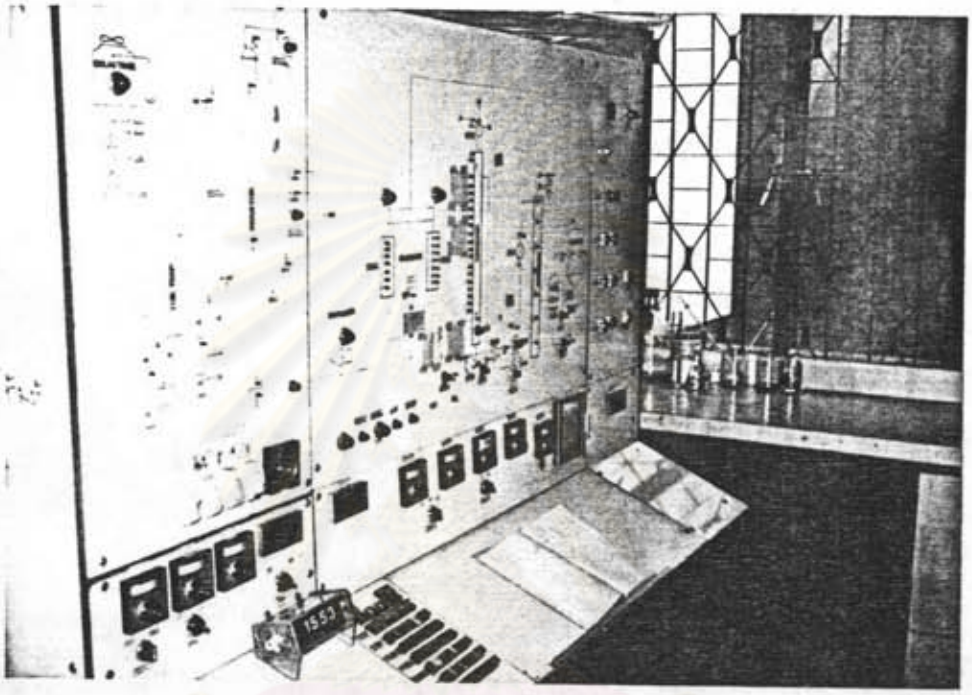
รูปที่ 4.11 แพคกิงภายในหอดูดซึม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.12 แสดงโรงงานต้นแบบที่ใช้ในการทดลอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.13 แสดงตู้ควบคุมการทำงานของโรงงานต้นแบบ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.1.4 หน่วยกลั่นสารดูดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์

หอกลั่นที่ใช้นี้มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 152 มม. ชนิดของเพลท (Plate) เป็นชนิดเพลทรูพรุน (Perforated Plate หรือ Sieve Plate) มีช่องทางลง(Down Comer) แบบท่อ เพลทรูพรุนมีความหนา 3 มม. มีจำนวน 20 เพลทเท่ากับ 230 มม. จุดป้อนเข้า(Feed Point) อยู่ที่เพลทที่ 3 ความร้อนที่ใช้ในส่วนต้มกลั่น (Reboiler)ได้มาจาก ลวดความร้อน(Heater) ขนาด 4500 วัตต์ จำนวน 4 ตัว โดยลวดความร้อน 3 ตัว ติดตั้งที่ส่วนต้มกลั่น อีก 1 ตัวติดตั้งที่ส่วนล่าง (Bottom) ของหอกลั่น

4.2 การเตรียมการก่อนเดินเครื่อง

4.2.1 เตรียมสารละลายโมโนเอธาโนลามีน ความเข้มข้น 12.2% จำนวน 150 ลิตร ในถังโมโนเอธาโนลามีน ซึ่งทำด้วยเหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless Steel) สารละลายโมโนเอธาโนลามีนที่ใช้เป็นเกรดทางการค้า (Commercial Grade) ความเข้มข้นเท่ากับ 99.9% ในระหว่างการเตรียมต้องระวังไอของสารละลายโมโนเอธาโนลามีน อย่าให้เข้าตาหรือสูดดมเข้าร่างกาย

4.2.2 เตรียมเชื้อเพลิงสำหรับเตาผลิตแก๊สลังเคราะห์ ซึ่งเป็นขี้เลื่อยผสมกับถ่าน ในอัตราส่วน ขี้เลื่อย : ถ่าน เท่ากับ 2:1 เตรียมไว้กระสอบละ 35 กิโลกรัม ในการเดินเครื่องเตาผลิตแก๊สลังเคราะห์ 1 วัน ใช้เชื้อเพลิง 2 กระสอบโดยเติมลงในเตาข้างละกระสอบ (ช่องกลางไม่ต้องเติมเชื้อเพลิง)

4.2.3 ตรวจไซโคลนดักฝุ่น ของเตาผลิตแก๊สลังเคราะห์ (Y1 และ Y2) โดยให้วาล์วตัวบน (VX111) เปิดอยู่ และ วาล์วตัวล่างปิด (VX112)

4.2.4 ตรวจสครับเบอร์ว่ามีน้ำในถังพักเพียงพอและน้ำไม่มีฝุ่นตะกอน

4.2.5 ตรวจเครื่องสูบแก๊ส(P2) ให้มีน้ำมันอยู่ภายในตัวเครื่องสูบ, สายพานตึง, ทดลองหมุนวงล้อเครื่องสูบไม่มีสิ่งติดขัด

4.2.6 ตรวจวาล์วทางเข้าหอดูดซึม (VX108) ให้ปิด และวาล์วใต้ไซโคลน Y3 (VX109) ให้เปิด เพื่อยังไม่ให้แก๊สเข้าหอดูดซึม

4.3 ขั้นตอนการเดินเครื่อง (Start up)

4.3.1 สูบสารละลายโมโนเอธาโนลามีน ที่เตรียมไว้จากถังเก็บ (MT) เข้าสู่หอดูดซึม (A) ทางถังพัก โดยใช้เครื่องสูบ (P5)

4.3.2 สูบสารละลายโมโนเอธาโนลามีนจากหอดูดซึมไปยังหอกลั่นสารดูดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (S) โดยใช้เครื่องสูบ (P4) และกลับไปยังหอดูดซึมโดยเครื่องสูบ (P3) ดูระดับของสารละลายในหอทั้งสองจากหลอดแก้วข้างหอ

4.3.3 ปรับการไหลเวียนของสารละลายในหอทั้งสองให้เท่ากัน เพื่อไม่ให้สารละลายท่วมหอใดหอหนึ่ง โดยปรับที่วาล์ว VX102, VX104, VX105 และ VX106

4.3.4 เปิดระบบน้ำหล่อเย็น (Cooling Tower) ตรวจดูว่าพัดลมและเครื่องสูบของน้ำหล่อเย็นเดินเป็นปกติไม่ติดขัด

4.3.5 เปิดลวดความร้อน(Heater) ที่อยู่ในหม้อต้มซ้ำ (R) จำนวน 3 ตัวและที่อยู่ส่วนล่าง(Bottom) ของหอกลั่นสารจำนวน 1 ตัว ควรเปิดทีละตัว ห่างกันประมาณ 5 นาที สำหรับลวดความร้อนที่ส่วนล่างของหอกลั่นสารต้องให้ระดับสารละลายท่วมลวดความร้อนอยู่ตลอดเวลา

4.3.6 จดบันทึกอุณหภูมิในหม้อต้มซ้ำ ทุกๆ 10-15 นาที

4.3.7 ล้างเครื่องสูบ (P5)

4.3.8 เดินระบบสครับเบอร์ ตรวจดูให้มีการไหลเวียนของน้ำ

4.3.9 เดินเครื่องสูบแก๊ส (P2) ตรวจดูว่าวงล้อหมุนได้ดีไม่มีเสียงผิดปกติ

4.3.10 จุดเตาผลิตแก๊สสังเคราะห์ (G) โดยใช้ไฟล่อจากหัวเชื่อมแก๊สเมื่อพบว่าไฟติดดีแล้ว จึงเสียบแท่งวัดอุณหภูมิเข้าไปภายในเตา

4.3.11 จดบันทึกอุณหภูมิภายในเตาผลิตแก๊สสังเคราะห์ทุกช่วงเวลา เมื่ออุณหภูมิเตาถึง 700-800 องศาเซลเซียส ให้เก็บตัวอย่างแก๊สที่ออกจากเครื่องสูบแก๊สที่วาล์ว VX109 ไปวิเคราะห์ปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ โดยใช้เครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี (Gas Chromatography) ถ้าวัดปริมาณแก๊ส CO_2 ได้ประมาณ 6-7 % (โดยปริมาตร) หรือมากกว่านั้นถือว่าใช้ได้

4.3.12 ถ้าอุณหภูมิภายในเตาผลิตแก๊สสังเคราะห์ลดลงมาก ต้องใช้ลวดเชี่ยตามรูของเตาผลิตแก๊สสังเคราะห์ หรือต้องเติมขี้เลื่อยผสมถ่านในอัตราส่วน 2:1 ลงในช่องด้านบน 2 ช่องข้างๆ ช่องละเท่าๆกัน (ห้ามเติมลงช่องกลาง)

4.3.13 ดูบันทึกอุณหภูมิในหม้อต้มซ้ำ ถ้าอุณหภูมิคงที่อยู่ที่ประมาณ 80-100° C แสดงว่าหอกลั่นสารดูดแก๊สคาร์บอนไดออดไซด์พร้อมที่จะทำงานแล้ว

4.3.14 ปล่อยแก๊สจากเตาผลิตแก๊สลังเคราะห์เข้าหอดูดซึมทางด้านล่างของหอ โดยเปิดวาล์ว VX108 และปิดวาล์ว VX109

4.3.15 ในช่วงเวลาแรกๆ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จะถูกดูดซึมได้มากจึงควรรอให้ระบบเข้าสู่สถานะคงตัว (Steady State) โดยการเก็บตัวอย่างแก๊ส และตัวอย่างสารละลายโมโนเอธาโนลามีน ทั้งขาเข้าและขาออกจากหอดูดซึมไปวิเคราะห์เป็นระยะ

4.3.16 เก็บข้อมูลตามต้องการ

4.4 ขั้นตอนการหยุดเครื่อง (Shut Down)

4.4.1 ปิดแก๊สไม่ให้เข้าสู่หอดูดซึมโดยเปิดวาล์วVX109 และปิดวาล์ว VX108

4.4.2 ปิดเครื่องสูบแก๊ส (P2)

4.4.3 ปิดสครับเบอร์

4.4.4 ปิดรูรอบๆเตาผลิตแก๊สลังเคราะห์ให้หมดไฟในเตาจะดับไปเอง

4.4.5 ปล่อยให้สารละลายโมโนเอธาโนลามีน ไหลหมุนเวียนต่อไปอีกสักพัก เพื่อแยกแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากสารละลาย ทดสอบได้โดยเก็บตัวอย่างแก๊สที่ออกจากเครื่องควบแน่น (Condenser) ของหอกลั่นสาร (CM101)ไปวิเคราะห์หาปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์

4.4.6 ปิดลวดความร้อน เมื่อไม่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากหอกลั่นสารแล้ว แต่ยังให้สารละลายไหลหมุนเวียนเพื่อให้อุณหภูมิลดลง

4.4.7 สูบสารละลายออกทางหม้อต้มซ้ำของหอกลั่นสารเข้าไปเก็บในถังเก็บสารละลายโมโนเอธาโนลามีน

4.4.8 ใช้น้ำประปาล้างหอดูดซึม, หอกลั่นสาร, เครื่องสูบของหอดูดซึม(P4), เครื่องสูบของหอกลั่นสาร(P3) และเครื่องสูบที่ใช้สูบสารละลายออกจากหอ(P5) โดยใช้น้ำล้างหลายๆครั้ง

4.4.9 ใช้ลมจากเครื่องสูบลม (P2) หรือจากเครื่องอัดอากาศ (Compressor) เป่าภายในหอทั้งสองให้แห้งสนิท

4.5 การเก็บข้อมูลและการวัดค่า

จุดที่ทำการเก็บข้อมูล และวัดค่าทั้งหมดแสดงในรูป 4.1.2

4.5.1 การวัดอัตราการไหล

การวัดอัตราการไหลของแก๊สขาเข้าหอดูดซึม (FM 105) ใช้ออริฟิส(Orifice) เป็นตัววัด กราฟระหว่างผลต่างระดับปรอท กับ อัตราการไหล (ลบ.เมตร/ชั่วโมง) แสดงในรูป ฎ.1 ส่วนการวัดอัตราการไหลของแก๊สขาออกจากหอดูดซึม (FM 104) และขาออกจากหอกลั่นแยกสาร (FM 101) ใช้เครื่องวัดความเร็วลมวัดที่ปากทางออก

การวัดอัตราการไหลของสารละลายโมโนเอธาโนลามีน วัดในช่วงขาเข้าหอดูดซึม (FM 103) โดยใช้มิเตอร์วัดน้ำ

4.5.2 การวัดค่าอัตราส่วนการจับคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbonation Ratio)

ค่าอัตราส่วนการจับคาร์บอนไดออกไซด์จะได้จากการวัดค่า pH ของสารละลายโมโนเอธาโนลามีน ทั้งขาเข้า (CM 102) และขาออกจากหอดูดซึม (CM 109) ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนการจับคาร์บอนไดออกไซด์กับค่า pH ของสารละลายโดยมีอุณหภูมิเป็นตัวแปรนั้น ได้จากผลงานที่มีผู้ทำการทดลองไว้แล้ว ซึ่งผลงานนั้นถูกนำมาเปรียบเทียบ และตรวจสอบ โดยการไตเตรตตามวิธีของ (ยีชังชาง) (Yi-Chung chang) (23) (ภาคผนวก ฌ)

4.5.3 การวัดความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในกระแสแก๊ส

ปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และแก๊สอื่นๆ หาได้โดยการเก็บตัวอย่างแก๊สไปฉีดเข้าเครื่องแก๊สโครมาโทรกราฟี่ (Gas Chromatography) ตำแหน่งที่เก็บแก๊สเพื่อหาปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2), ไฮโดรเจน (H_2), ออกซิเจน (O_2), ไนโตรเจน (N_2), คาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) และน้ำ(H_2O) ได้แก่ CM 108 (แก๊สขาเข้าหอดูดซึม) , CM 110 (แก๊สขาออกจากหอดูดซึม) และ CM 101 (แก๊สขาออกจากหอกลั่นแยกสาร) ตำแหน่งที่

เก็บแก๊สเพื่อหาปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์อย่างเดียวได้แก่ CM 103, CM 104, CM 105, CM 106 และ CM107 (ตามความสูงของหอดูดซึม)

สภาวะของเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี่ และรูปแสดงเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี่ แสดงในภาคผนวก ญ

4.5.4 การวัดอุณหภูมิและความดัน

ใช้เทอร์โมคัปเบิล (Thermocouple) วัดอุณหภูมิตามจุดต่างๆ (TMxxx) ตามที่แสดงในรูป 4.1.2 โดยทำการบันทึกทุกครึ่งชั่วโมง สำหรับอุณหภูมิตามความสูงของหอดูดซึม ตั้งแต่จุด TM 108 ถึง TM 113 จะเป็นอุณหภูมิของสารละลายที่จุดนั้น เนื่องจากเทอร์โมคัปเบิลจะจุ่มอยู่ในสารละลายบนแผ่นกระจายสารละลายแต่ละชั้น

ส่วนความดันใช้เกจวัดความดัน (Pressure Gauge) วัดความดันของหอดูดซึมที่ตำแหน่ง PM 101

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย