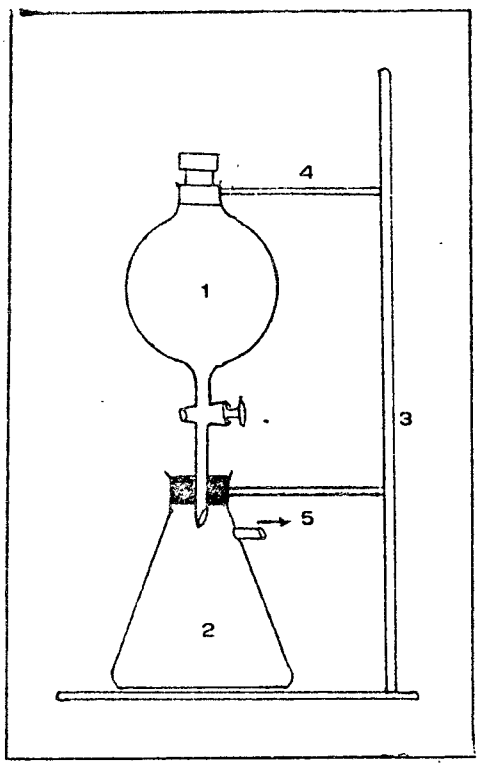
บทที่ 5

เครื่องมือทดลองและหลักการ

5.1 เครื่องมือสำหรับเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยานิเกิลโดยวิธีซับ



1. กรวยแยก (Separating Funnel)
2. ขวดดูด (Suction Flask)
3. ขาตั้ง (Stand)
4. มือจับ (Clamp)
5. ทางต่อปั๊มดูด (Suction Pump)

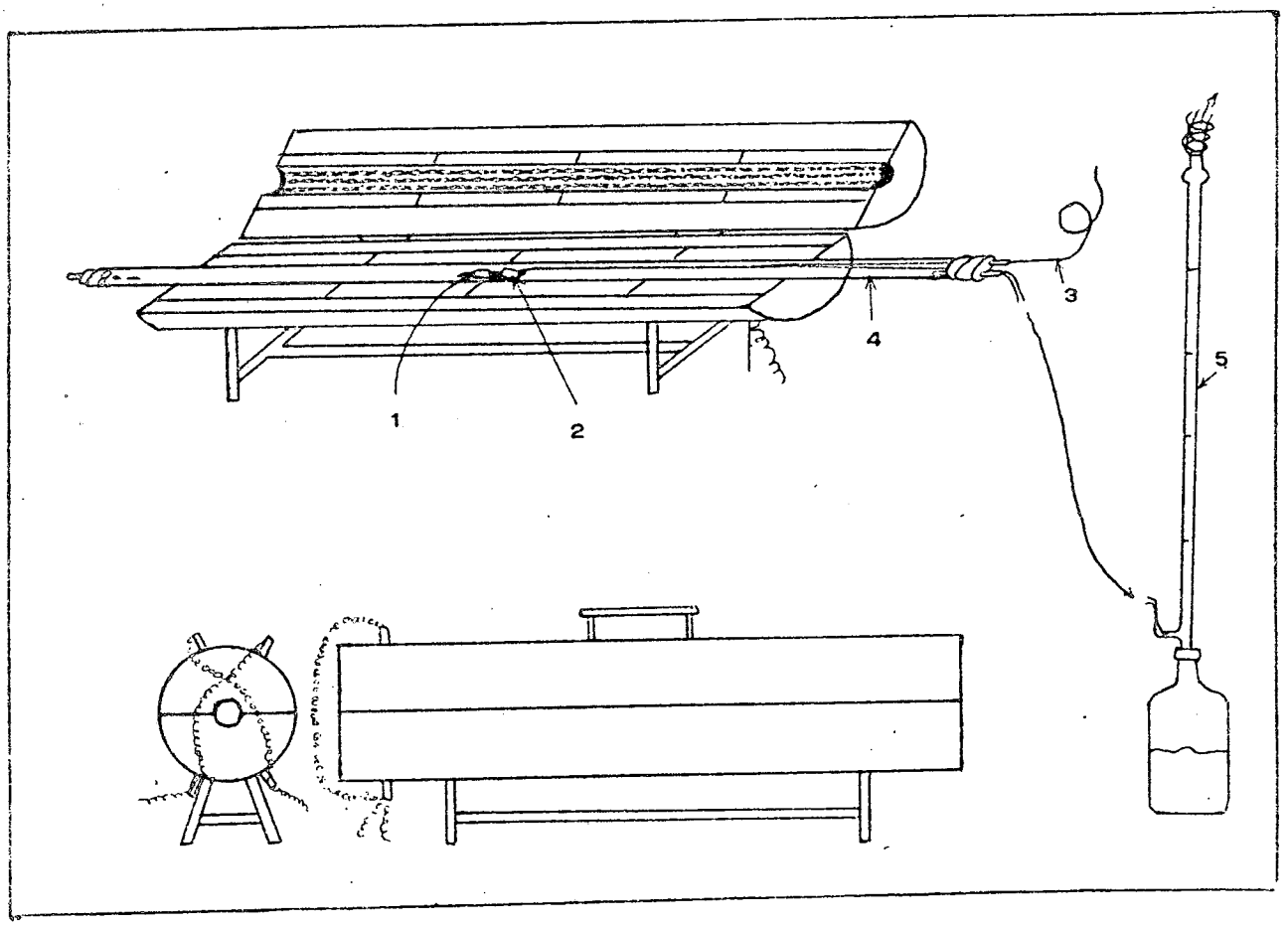
รูปที่ 5.1 เครื่องมือสำหรับเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยานิเกิลโดยวิธีซับ

ส่วนประกอบที่สำคัญ

1. กรวยแยกสำหรับเติมสารละลายนิเกิลไนเตรตที่ทราบความเข้มข้นแน่นอน
2. ขวดดูดสำหรับใส่ตัวรองรับอะลูมินา
3,4. ขาตั้งและมือจับสำหรับยึดกรวยแยกและขวดดูดให้แน่น
5. ทางต่อปั๊มดูดสำหรับดูดอากาศออกจากรูพรุนของตัวรองรับอะลูมินา ก่อนเติมสารละลายนิเกิลไนเตรตลงมา

5.2 <u>เครื่องมือสำหรับเผาที่อุณหภูมิสูง</u> (Calcinator)

เป็นเครื่องมือที่สร้างขึ้นเองในห้องปฏิบัติการ ดังแสดงในรูปที่ 5.2 รูปร่างเป็นทรงกระบอก ซึ่งสามารถเปิดปิดได้ โครงสร้างเป็นเหล็กอ่อน มีเซรามิกทำเป็นร่องสำหรับวางขดลวดความร้อน ขนาด 2000 วัตต์อยู่ภายใน ระหว่างเซรามิกและโครงเหล็กอ่อนมีฉนวนใยแก้วและใยหิน ปลายขดลวดทั้ง 2 ต่อเข้ากับ "วาริแอค"(Variac) ซึ่งเป็นตัวควบคุมความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ป้อนให้กับขดลวด



1. ภาชนะรองรับ (boat)
2. ตัวเร่งปฏิกิริยา
3. เทอร์โมคัปเปิล
4. ท่อแก้วควอตซ์
5. เครื่องมือวัดอัตราการไหลแบบฟองก๊าซ

รูปที่ 5.2 เครื่องมือสำหรับเผาที่อุณหภูมิสูง (Calcinator)

ตรงกลางของแคลซิเนเตอเป็นรูกลมสำหรับสอดท่อแก้วควอตซ์ ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมขึ้นจะวางบนภาชนะรองรับ (Boat) และวางในท่อแก้วควอตซ์ ปลายท่อแก้วควอตซ์ทั้ง 2 ข้าง ปิดด้วยจุกทนความร้อน ข้างหนึ่งเจาะรูเดียวสำหรับผ่านก๊าซไนโตรเจน หรือก๊าซเฉื่อยที่เป็นตัวพาก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ซึ่งเกิดจากการสลายตัวของนิเกิลไนเตรต ส่วนอีกปลายข้างหนึ่งเจาะรู 2 รู รูหนึ่งเป็นทางออกของก๊าซซึ่งต่อเข้ากับเครื่องมือวัดอัตราการไหลแบบฟองก๊าซ (Bubble Flow Meter) เพื่อวัดอัตราเร็วของก๊าซไนโตรเจนที่ใช้ ก๊าซที่ผ่านเครื่องมือวัดอัตราการไหลแบบฟองก๊าซจะถูกปล่อยทิ้งไป อีกรูหนึ่งเสียบเทอร์โมเวล (Thermoweld) ที่มีเทอร์โมคับเบิล (Thermocouple) อยู่ข้างใน ปลายสองข้างของเทอร์โมคับเบิลต่อกับเครื่องอ่านอุณหภูมิของเตาแคลซิเนเตอ

5.2.1 <u>เครื่องมือวัดอัตราการไหลแบบฟองก๊าซ</u>

เครื่องมือวัดอัตราการไหลแบบฟองก๊าซ ประกอบด้วยหลอดแก้วที่มีขีดบอกปริมาตรต่อกับหลอดแก้วรูป ─┤ ด้วยสายยางดังแสดงในรูป 5.3 ปลายที่เหลือ 2 ข้าง ปลายหนึ่งต่อกับสายยาง ซึ่งเป็นทางเข้าของก๊าซที่จะวัดอัตราการไหล อีกปลายหนึ่งต่อกับลูกยางซึ่งภายในบรรจุ แชมพู ซึ่งจะถูกบีบออกมาขณะวัดอัตราการไหล เกิดเป็นฟิล์ม (Film) ของแชมพู ก๊าซจะพาฟิล์มนี้วิ่งไปในหลอดแก้วที่มีขีดบอกปริมาตร เมื่อจับเวลาวิ่งของฟิล์มก็จะรู้อัตราการไหลของก๊าซได้

5.3 <u>เครื่องมือทดลองสำหรับทดสอบตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมขึ้น และสมการอัตราเร็วแบบยกกำลังของปฏิกิริยามีเธนสตีมรีฟอร์มมิง</u>

เครื่องมือแสดงในรูปที่ 5.4

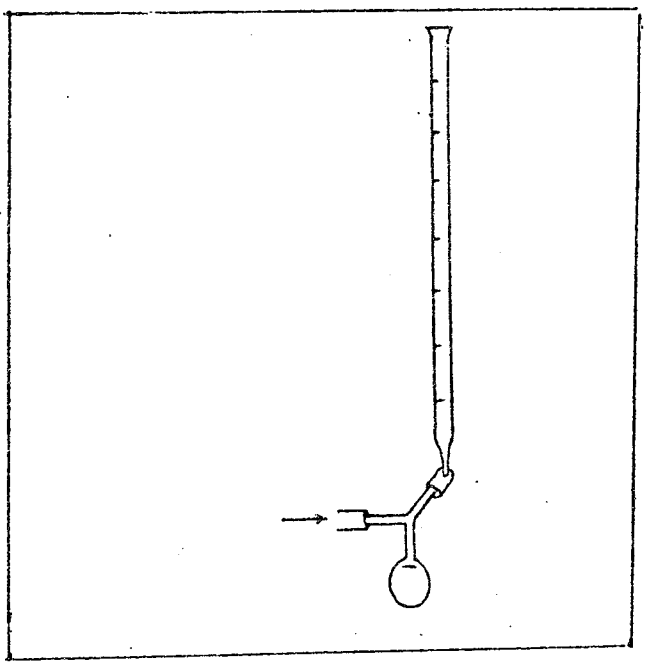
1. ก๊าซไนโตรเจน เป็นก๊าซที่ใช้สำหรับตรวจสอบการรั่วของเครื่องมือ, ช่วยด้านปลอดภัย (Safety Gas) ในกรณีที่เกิดอุบัติเหตุระหว่างทดลอง, และเป็นก๊าซที่ใช้ในช่วงอุ่น (Preheat) เตาปฏิกรณ์เคมี

2. ก๊าซไฮโดรเจน เป็นก๊าซที่ใช้สำหรับการรีดักชันนิเกิลออกไซด์เป็นนิเกิล

3. ก๊าซมีเธน เป็นสารตั้งต้นของปฏิกิริยามีเธนสตีมรีฟอร์มมิง

4. เครื่องกรองฝุ่น (Filter) สำหรับกรองฝุ่นหรืออนุภาคที่มีขนาดโตกว่า 7 ไมครอน เพื่อมิให้เกิดการอุดตันของวาล์วควบคุมการไหลของก๊าซ

5. วาล์วสำหรับควบคุมการไหลของก๊าซ ใช้วาล์วของบริษัทนูโปร (Nupro Compony) เลขหมายคาตาลอต (Catalog Number) B4SG



รูปที่ 5.3 เครื่องมือวัดอัตราการไหลแบบฟองก๊าซ

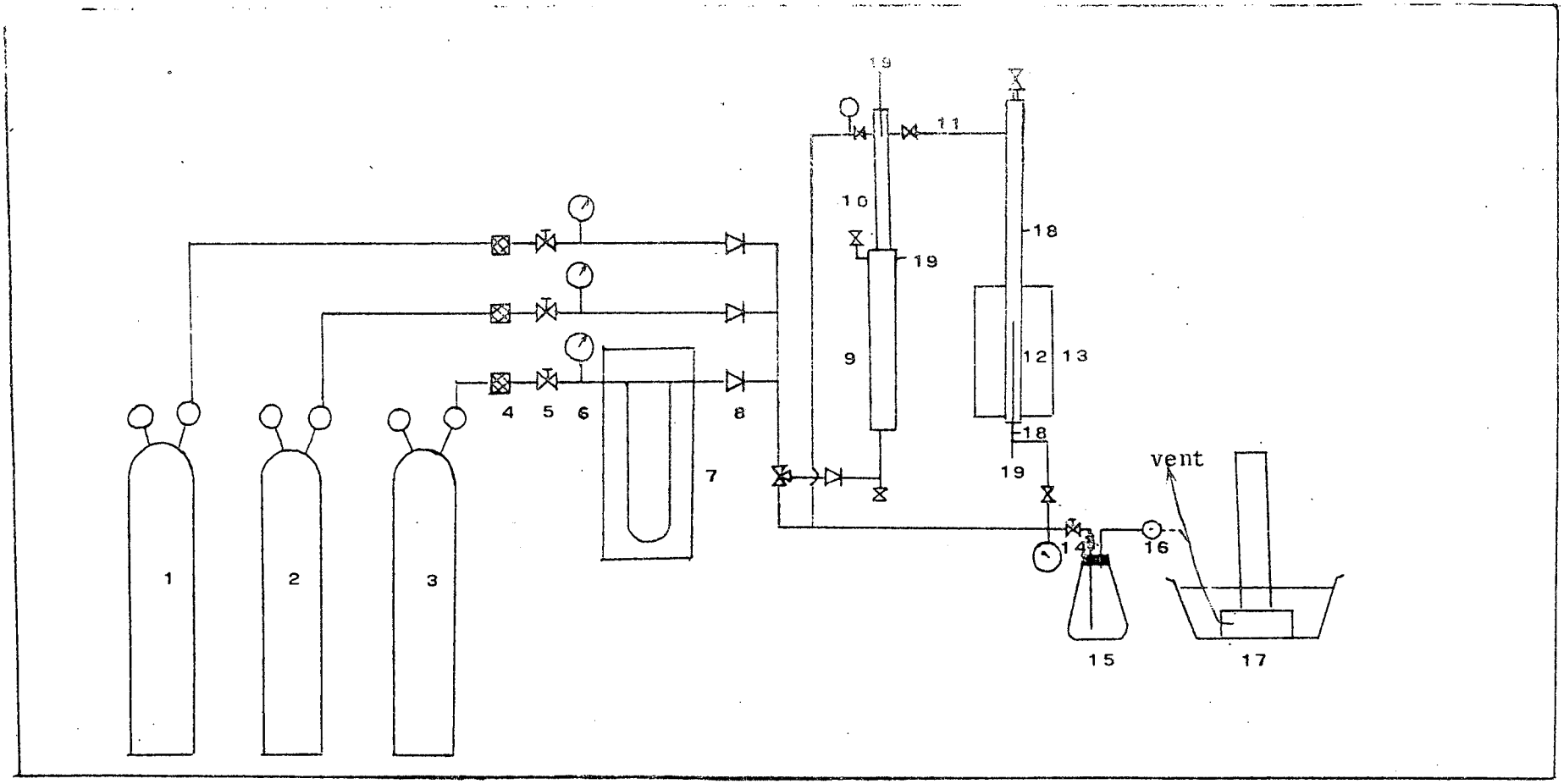
6. เกจ์วัดความดัน เป็นเกจ์บอกความดันของระบบ

7. เครื่องมือวัดอัตราการไหลแบบมาโนมิเตอร์

เครื่องมือวัดอัตราการไหลแบบมาโนมิเตอร์ทำด้วยหลอดแก้วรูปตัวยู ภายในบรรจุปรอท และมีขีดบอกความสูงของปรอท เมื่อก๊าซผ่านท่อซึ่งบรรจุทรายไว้ภายใน (ดูรูปที่ 5.5) จะเกิดความดันลด ซึ่งอ่านได้จากความแตกต่างของความสูงของปรอท ค่าความดันลดที่อ่านได้สามารถบอกอัตราการไหลของก๊าซ

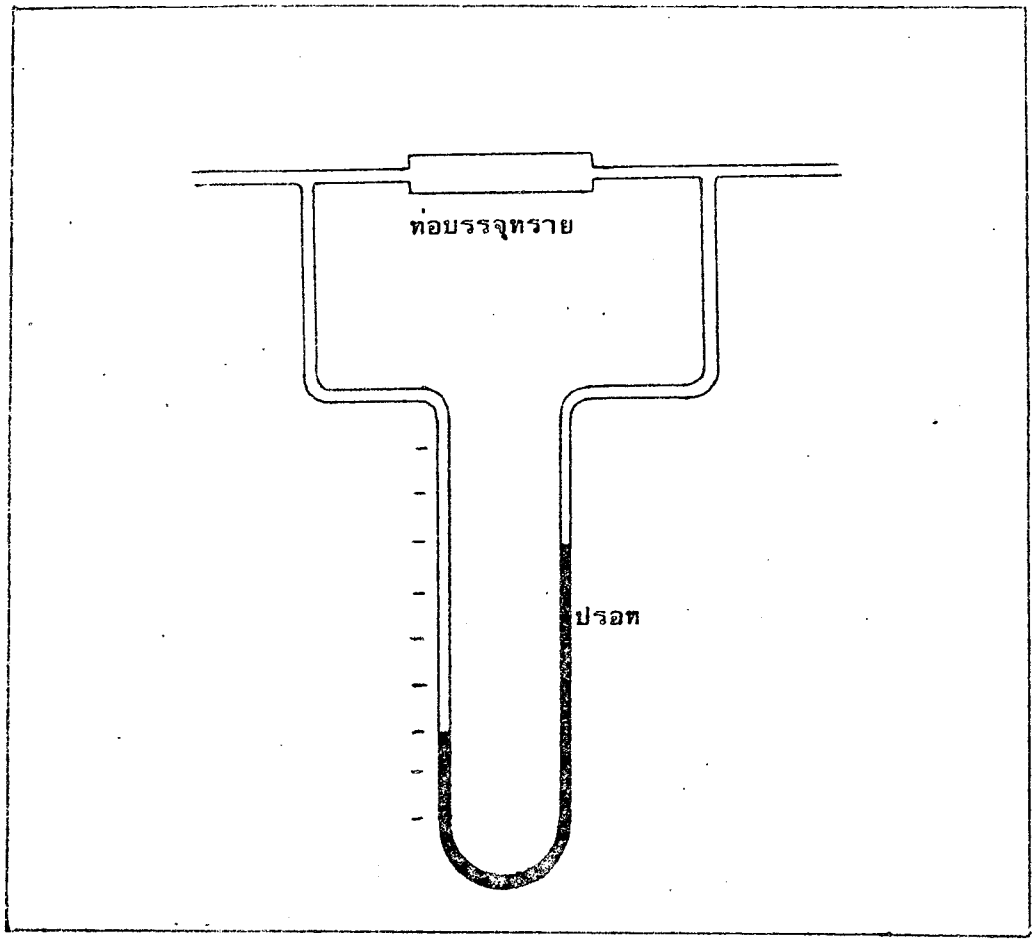
8. วาล์วสำหรับควบคุมการไหลข้างเดียว (Check Valve) เป็นวาล์วที่บังคับการไหลให้ ไหลผ่านเพียงข้างเดียว ไม่ให้ไหลย้อนกลับได้ เช็ควาล์วที่ใช้ในการทดลอง เป็นของบริษัทนูโปร เลขหมายคาตาลอต B-4C-1 ความดันลดผ่านเช็ควาล์วประมาณ 1 ปอนด์ต่อ 1 ตารางนิ้ว

9. ตัวทำให้ก๊าซอิ่มตัว (Saturator) เป็นท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3/4 นิ้ว ยาว 30 นิ้ว ส่วนบนของตัวทำให้ก๊าซอิ่มตัวต่อเข้ากับตัวควบแน่น (Condensor) ขนาด 1/2 นิ้ว



1. ก๊าซไนโตรเจน
2. ก๊าซไฮโดรเจน
3. ก๊าซมีเธน
4. เครื่องกรองฝุ่น
5. วาล์วสำหรับควบคุมการไหลของก๊าซ (วาล์วเข็ม)
6. เกจ์วัดความดัน
7. เครื่องมือวัดอัตราการไหลแบบมาโนมิเตอร์
8. วาล์วสำหรับควบคุมการไหลข้างเดียว (เช็ควาล์ว)
9. ตัวทำให้ก๊าซอิ่มตัว (Saturator)
10. ตัวควบแน่น (Condensor)
11. ตัวอุ่น (Preheater)
12. เตาปฏิกรณ์เคมี (Reactor)
13. เตาอบ
14. วาล์วสำหรับลดความดัน
15. ตัวหล่อเย็น (Cooling)
16. จุดเก็บตัวอย่าง
17. เครื่องมือวัดอัตราการไหลแบบแทนที่น้ำ
18. ตำแหน่งอ่านอุณหภูมิ
19. ตำแหน่งควบคุมอุณหภูมิ

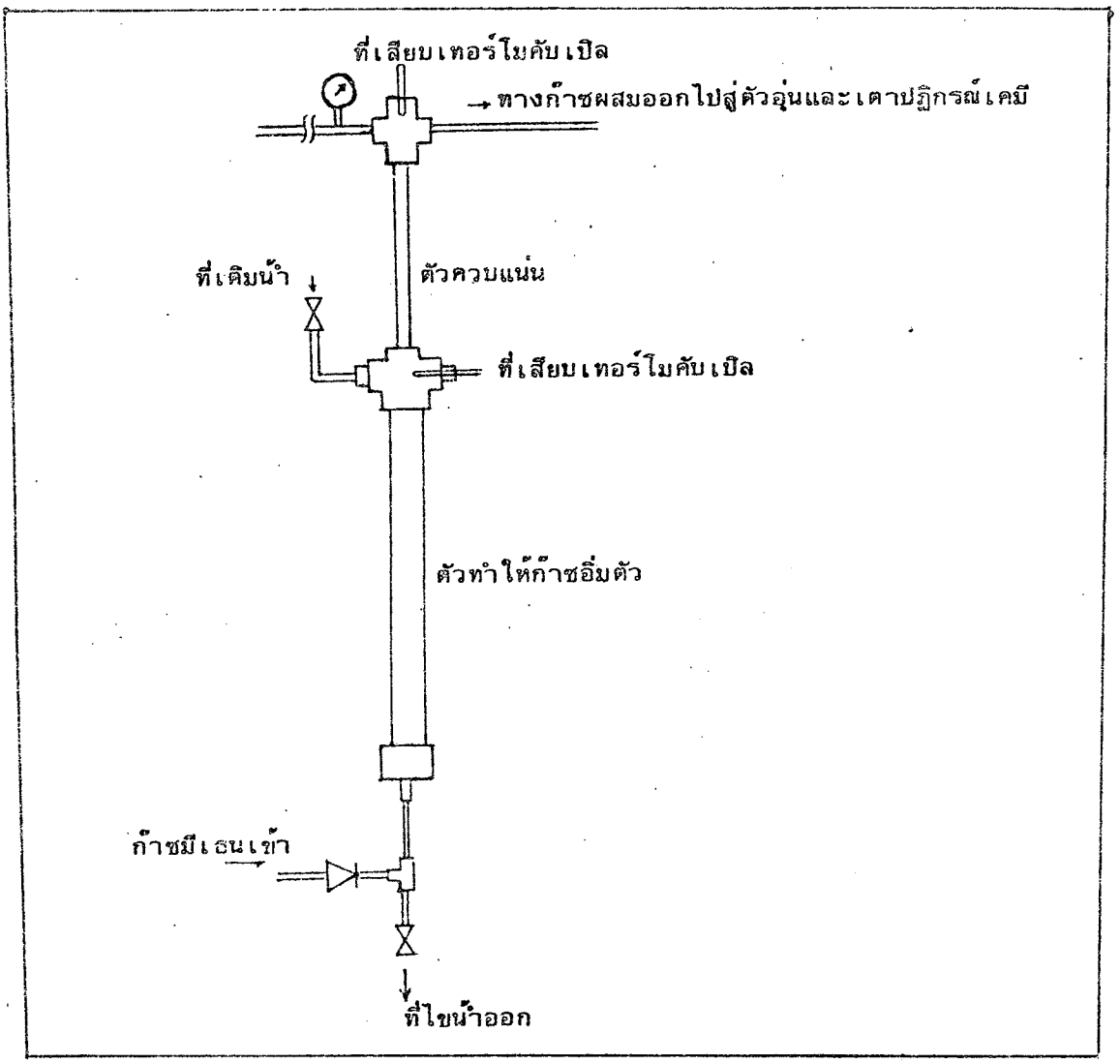
รูปที่ 5.4 เครื่องมือทดลองสำหรับปฏิกิริยามีเธนสตีมรีฟอร์มมิง



รูปที่ 5.5 เครื่องมือวัดอัตราการไหลแบบมาโนมิเตอร์

ระหว่างตัวทำให้ก๊าซอิ่มตัวและตัวควบแน่น เป็นข้อต่อ 4 ทาง สำหรับเติมน้ำลงในตัวทำให้ก๊าซอิ่มตัว และควบคุมอุณหภูมิของตัวทำให้ก๊าซอิ่มตัว ส่วนล่างของตัวทำให้ก๊าซอิ่มตัวต่อกับข้อต่อ 3 ทาง ทางหนึ่งเป็นทางเข้าของก๊าซมีเธน มีเข็มวาล์วต่อไว้เพื่อไม่ให้น้ำในตัวทำให้ก๊าซอิ่มตัวไหลย้อนกลับ อีกทางหนึ่งต่อกับวาล์วเปิดปิด สำหรับไขน้ำในตัวทำให้ก๊าซอิ่มตัวทิ้งไป (ดูรูป 5.6) ความร้อนที่ให้แก่ตัวทำให้ก๊าซอิ่มตัวเป็นความร้อนที่ได้จากขดลวดความร้อนขนาด 500 วัตต์ พันรอบตัวทำให้ก๊าซอิ่มตัว

10. ตัวควบแน่น เป็นท่อขนาด 1/2 นิ้ว ยาว 6 นิ้ว ด้านบนต่อเข้ากับข้อต่อ 4 ทาง (ดูรูป 5.7) ติดเกจ์วัดความดัน, ที่เสียบเทอร์โมคับเบิลสำหรับควบคุมอุณหภูมิของตัวควบแน่น และทางออกของก๊าซผสมเพื่อออกไปสู่ตัวอุ่น(Preheater) และเคาปฏิกรณ์เคมี ความร้อนที่ให้แก่ตัวควบแน่น เป็นความร้อนที่ได้จากขดลวดความร้อนขนาด 500 วัตต์ พันรอบตัวควบแน่น



รูปที่ 5.6 ระบบตัวทำให้ก๊าซอิ่มตัวและตัวควบแน่น

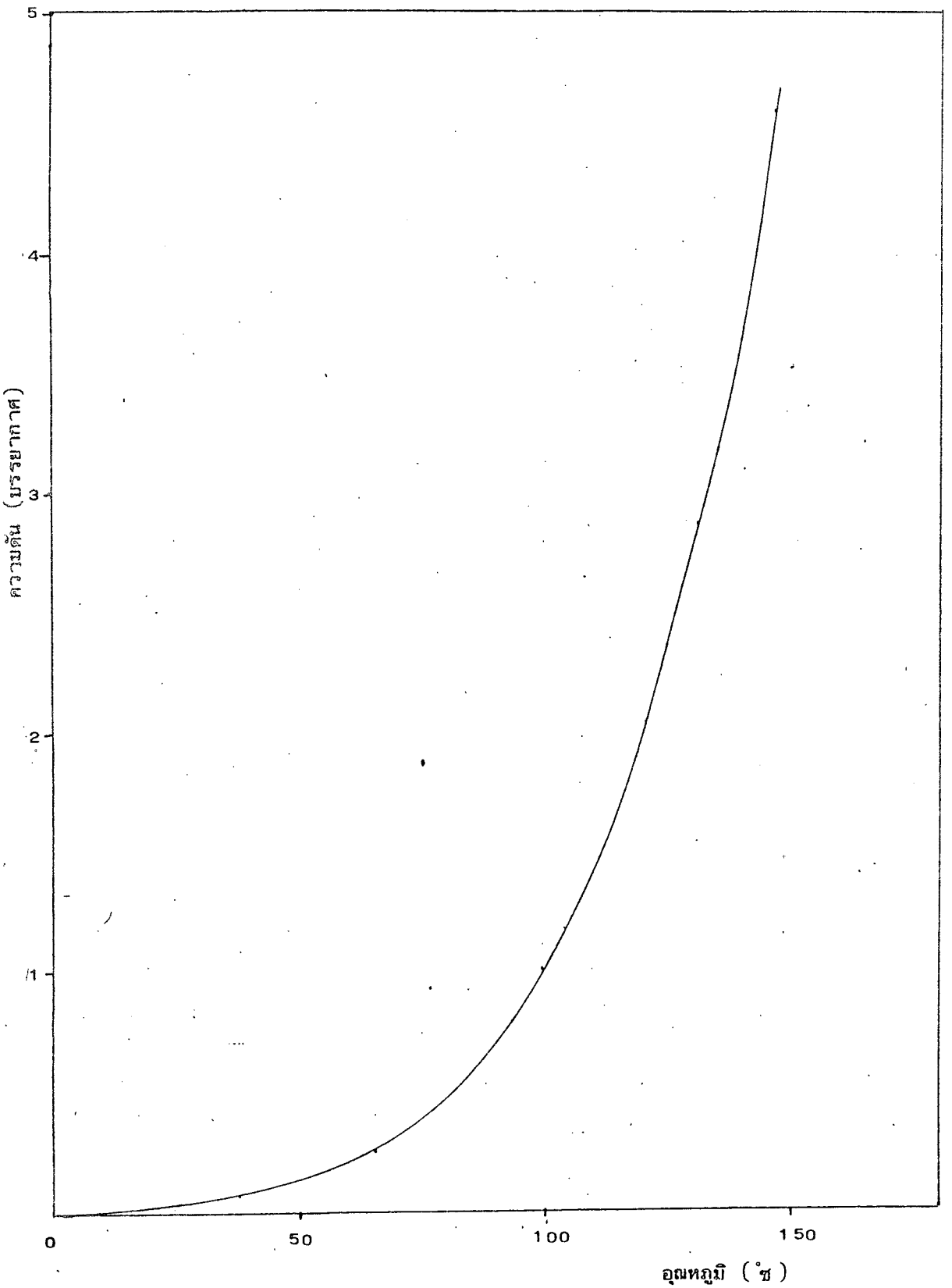
หลักการของตัวทำให้ก๊าซอิ่มตัวและตัวควบแน่น (31,32)

ตัวทำให้ก๊าซอิ่มตัว เป็นที่สำหรับเติมน้ำ เพื่อให้ก๊าซมีเธนไหลผ่าน แล้วพาไอน้ำขึ้นไปด้วยสู่เตาปฏิกรณ์เคมี อัตราส่วนไอน้ำต่อก๊าซมีเธนที่ต้องการ กำหนดขึ้นจากการตั้งอุณหภูมิที่ขาออกตัวควบแน่น โดยดูจากเส้นโค้งอิ่มตัวของไอน้ำ (Steam Saturation Curve) ว่าความดันย่อยของไอน้ำที่ต้องการตรงกับอุณหภูมิเท่าไร จึงตั้งอุณหภูมิที่ได้ตรงขาออกของตัวควบแน่น ส่วนเกจ์วัดความดันที่ตัวควบแน่นบอกความดันรวมของระบบ สำหรับอุณหภูมิที่ตั้งตรงตัวทำให้ก๊าซอิ่มตัว ต้องตั้งให้สูงกว่าอุณหภูมิขาออกของตัวควบแน่นเล็กน้อย เพื่อให้ก๊าซมีเธนพาไอน้ำออกจากตัวทำให้ก๊าซอิ่มตัวขึ้นมามากเกินพอ โดยไอน้ำจะควบแน่นบางส่วนกลายเป็นน้ำตกลงในตัวทำให้ก๊าซอิ่มตัว โดยจะได้ปริมาณของไอน้ำออกมาพอดี ที่ขาออกของตัวควบแน่น (รูปเส้นโค้งอิ่มตัวของไอน้ำแสดงในรูปที่ 5.7)

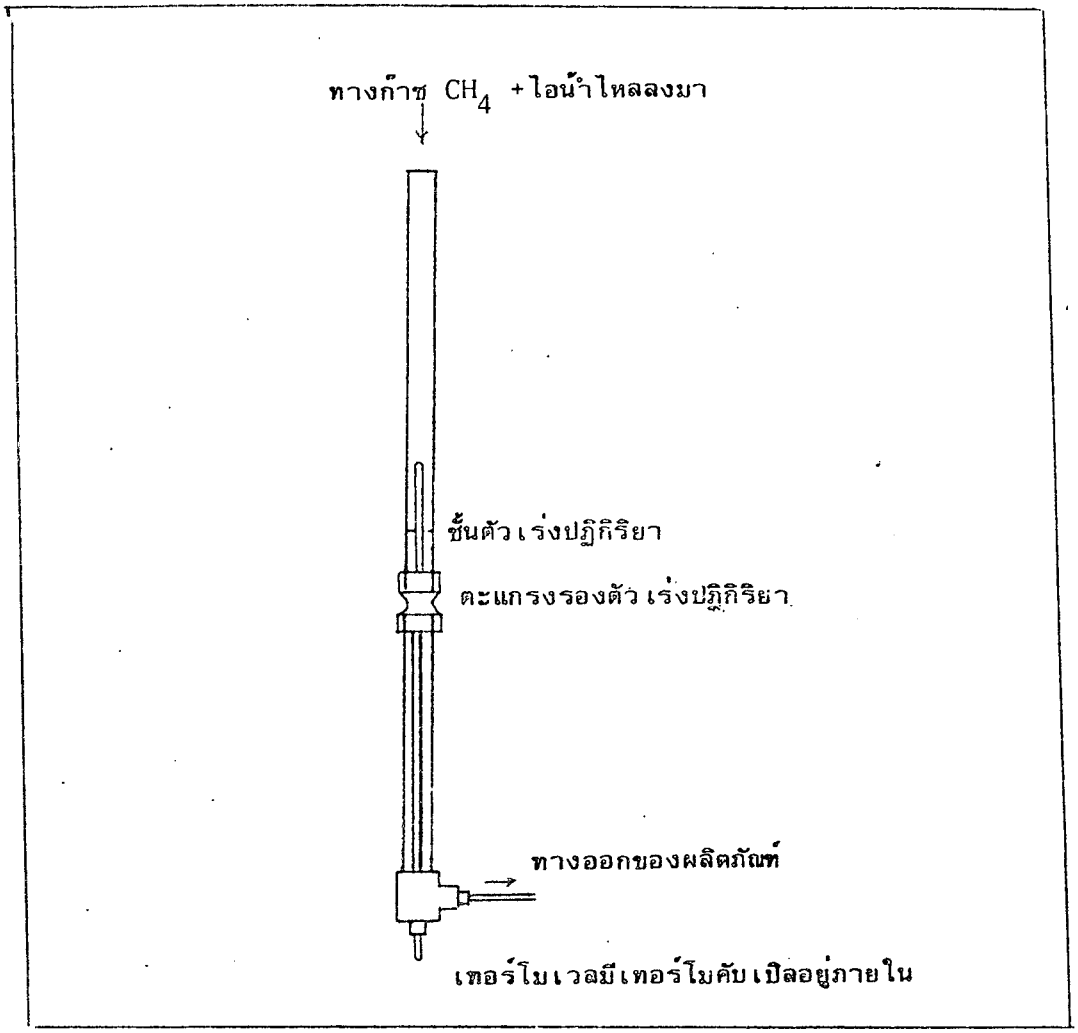
11. ตัวอุ่น เมื่อก๊าซมีเธนและไอน้ำออกจากตัวควบแน่น จะถูกทำให้ร้อนขึ้นทันที ไอน้ำจะอยู่ในรูปไอน้ำที่ร้อนจัด (Superheated Steam) เพื่อให้ก๊าซมีเธนและไอน้ำ มีอุณหภูมิสูงเพียงพอที่จะป้อนสู่เตาปฏิกรณ์เคมี

12. เตาปฏิกรณ์เคมี เตาปฏิกรณ์เคมีที่ใช้ในการวิจัยนี้เป็นเตาปฏิกรณ์เคมีแบบเบดนิ่ง (Fixed Bed)ลักษณะเป็น 2 ท่อซ้อนกันอยู่ (Tubular Reactor) ทำด้วยเหล็กสแตนเลส AISI 304 ท่อนอกมีเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 1/2 นิ้ว ภายใน 3/8 นิ้ว ท่อในมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 1/8 นิ้ว ทำหน้าที่เป็นเทอร์โมเวล (Thermoweld) เสียบเทอร์โมคับเบิลไว้ภายในสำหรับควบคุมอุณหภูมิของเตาปฏิกรณ์เคมี ระหว่างท่อทั้ง 2 เป็นช่องว่างรูปวงแหวนเพื่อเติมตัวเร่งปฏิกิริยานิเกิลลงไป พื้นที่ภาคตัดขวางของวงแหวน 0.0982 ตารางนิ้ว ตะแกรงที่ใช้รองรับตัวเร่งปฏิกิริยานิเกิลมีขนาด 150 เมช เตาปฏิกรณ์เคมีวางอยู่ในเตาอบที่ทำขึ้นเอง ก๊าซมีเธนและไอน้ำไหลลงมาจากข้างบน ผ่านชั้นของตัวเร่งปฏิกิริยานิเกิลเกิดปฏิกิริยาขึ้น ผลิตภัณฑ์ที่ได้ไหลลงมาข้างล่างต่อไป (ดูรูป 5.8)

13. เตาอบ เตาอบที่ใช้ เป็นเตาอบที่ทำขึ้น เพื่อใช้กับงานวิจัยเรื่องนี้โดยเฉพาะ มีขนาด 7" x 7" x 16" ด้านนอกเป็นแผ่นเหล็กสแตนเลส AISI 304 ด้านในเป็นอิฐทนไฟทำเป็นร่องสำหรับใส่ขดลวดความร้อนขนาด 1500 วัตต์



รูปที่ 5.7 แสดงเส้นโค้งอิ่มตัวของไอน้ำ (32)



รูปที่ 5.8 เตาปฏิกรณ์เคมีที่ใช้ในการวิจัย

14. วาล์วสำหรับลดความดัน (Pressure Decreasing Valve)

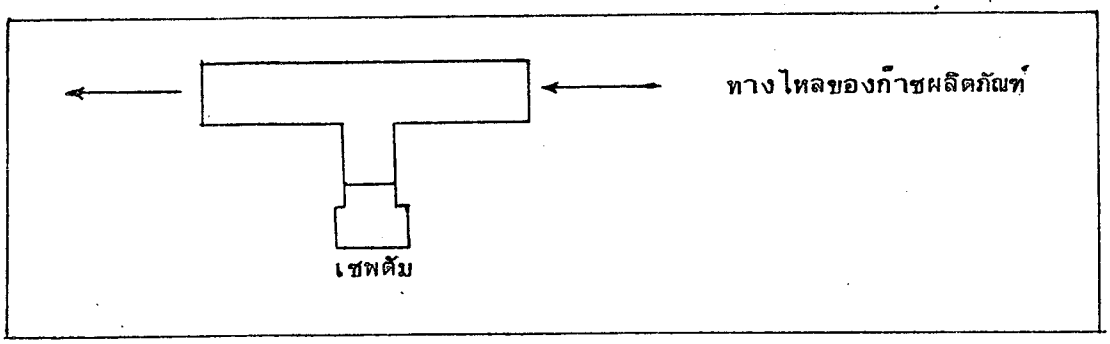
เป็นวาล์วสำหรับลดความดันในเตาปฏิกรณ์เคมี เหลือความดันบรรยากาศ ก่อนที่จะผ่านเข้าสู่ตัวหล่อเย็น (Cooling) และจุดเก็บตัวอย่าง วาล์วที่ใช้เป็นของบริษัทไวที (Whitey Co.Ltd.) เลขหมายคาตาลอต SS-21RS4

15. ตัวหล่อเย็น (33) ตัวหล่อเย็นทำด้วยขวดรูปชมพู่ (Conical Flash) ปิดด้วยจุกคอร์ก เจาะรู 2 รู รูแรกเป็นทางเข้าของก๊าซผลิตภัณฑ์ร้อน รูหลังเป็นทางออกของก๊าซผลิตภัณฑ์ที่เย็น โดยตัวหล่อเย็นวางในคูลเลอ (Cooler) ที่ใส่น้ำแข็งปนเกลือ เพื่อให้ไอน้ำควบแน่นกลายเป็นน้ำหมดในตัวหล่อเย็น

16. จุดเก็บตัวอย่าง เป็นตำแหน่งที่ดึงก๊าซผลิตภัณฑ์โดยเข็มฉีดก๊าซไปวิเคราะห์เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณของก๊าซมีเธน, ไฮโดรเจน, คาร์บอนไดออกไซด์และคาร์บอนมอนอกไซด์ ลักษณะของจุดเก็บตัวอย่างทำด้วยแก้ว 3 ทาง ปลายหนึ่งมีเซพตัม (Septum) เสียบอยู่เพื่อใช้เป็นตำแหน่งดึงก๊าซผลิตภัณฑ์ออก เซพตัมมีลักษณะพิเศษคือเมื่อดึงเข็มฉีดก๊าซ

ออกมาแล้วรูที่เกิดจากการดึงเข็มฉีดก๊าซออกจะปิดสนิทไม่เกิดการรั่วของก๊าซ ลักษณะของจุดเก็บตัวอย่าง แสดงในรูปที่ 5.9

17. เครื่องมือวัดอัตราการไหลแบบแทนที่น้ำ เป็นเครื่องมือวัดอัตราการไหลของก๊าซผลิตภัณฑ์ที่ออกจากเตาปฏิกรณ์เคมีที่ไม่มีไอน้ำปนอยู่ ทำได้โดยให้ก๊าซผลิตภัณฑ์แทนที่น้ำในปริมาณหนึ่ง แล้วจับเวลาก็จะรู้อัตราการไหลของก๊าซผลิตภัณฑ์ได้



รูปที่ 5.9 ลักษณะของจุดเก็บตัวอย่าง

5.4 เครื่องวิเคราะห์

5.4.1 เครื่องอะตอมมิก แอบซอบชัน (Atomic Absorption)

ใช้สำหรับวิเคราะห์หาปริมาณของนิเกิลที่เกาะบนตัวรองรับอะลูมินา เพื่อตรวจสอบตัวเร่งปฏิกิริยาเคมีที่เตรียมขึ้น เครื่องอะตอมมิกแอบซอบชันที่ใช้คือ โมเดล 951 ของ SAS

5.4.2 เครื่องเอกซเรย์ ดิฟแฟรคชัน (X-ray Diffraction)

ใช้สำหรับวิเคราะห์หาชนิดของสารประกอบในตัวเร่งปฏิกิริยา เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคชันที่ใช้คือ TW1130/90

5.4.3 เครื่องก๊าซโครมาโตกราฟฟี (Gas Chromatography)

ใช้สำหรับวิเคราะห์หาปริมาณของก๊าซผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเตาปฏิกรณ์เคมี อันได้แก่ก๊าซมีเธน, คาร์บอนไดออกไซด์, คาร์บอนมอนนอกไซด์และไฮโดรเจน เครื่องก๊าซโครมาโตกราฟฟี่ที่ใช้คือ TCD GOW MAC SERIES 150

5.5 แผนการทดลองเพื่อทดสอบตัวเร่งปฏิกิริยานิเกิลที่เตรียมขึ้น และหาสมการอัตราเร็วแบบยกกำลัง

การทดลองได้ถูกวางแผนเป็นสองส่วนคือ

5.5.1 <u>การทดสอบตัวเร่งปฏิกิริยานิเกิลที่เตรียมขึ้นเอง 5 ชุด และตัวเร่งปฏิกิริยานิเกิลที่ใช้ในอุตสาหกรรม</u> ได้แก่

1. 8% Ni/Al_2O_3 พื้นที่ผิวทั้งหมดของตัวรองรับ 30±5 เมตร^2/กรัม
2. 12% Ni/Al_2O_3 พื้นที่ผิวทั้งหมดของตัวรองรับ 30±5 เมตร^2/กรัม
3. 16% Ni/Al_2O_3 พื้นที่ผิวทั้งหมดของตัวรองรับ 30±5 เมตร^2/กรัม
4. 24% Ni/Al_2O_3 พื้นที่ผิวทั้งหมดของตัวรองรับ 30±5 เมตร^2/กรัม

ทั้ง 4 ชุด ใช้ตัวรองรับ SA-3232 ของบริษัทนอตัน

5. 12% Ni/Al_2O_3 พื้นที่ผิวทั้งหมดของตัวรองรับ 3-10 เมตร^2/กรัม

ใช้ตัวรองรับ CS303 ของบริษัทยูไนเต็ดคาตาลิส

5 ชุดแรกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมขึ้นเองในห้องปฏิบัติการ

6. 12% Ni/Al_2O_3 พื้นที่ผิวทั้งหมดของ ตัวรองรับ 3-10 เมตร^2/กรัม

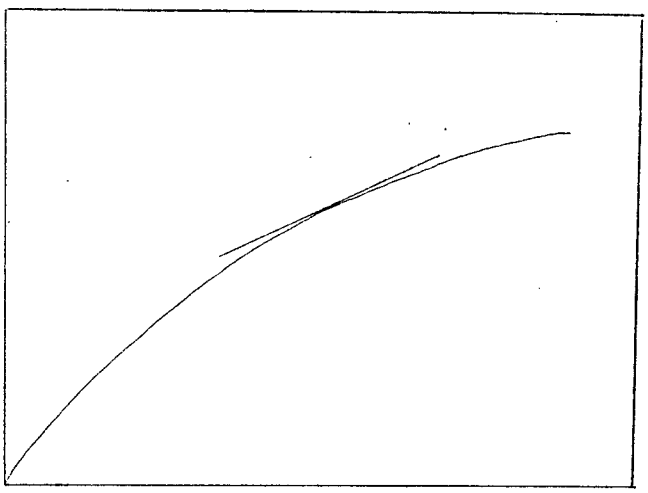
เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในอุตสาหกรรมของบริษัทยูไนเต็ด คาตาลิส หมายเลขตัวเร่งปฏิกิริยา C11-9-02

คุณสมบัติของตัวรองรับและตัวเร่งปฏิกิริยาแสดงในตารางที่ 5.1 และ 5.2 (รูปที่ 5.11, 5.12,5.13 แสดงลักษณะของตัวรองรับและตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในการวิจัย)

จากนั้นก็เลือกตัวเร่งปฏิกิริยา ที่เตรียมขึ้นเองในห้องปฏิบัติการตัวที่ให้ความว่องไวในเชิงปฏิกิริยาสูงสุด (ดูค่า % การเปลี่ยนรูป) ในสภาวะการทดลองเดียวกัน คืออุณหภูมิ 760° ซ ความดัน 5 บรรยากาศสัมบูรณ์ อัตราส่วนไอน้ำต่อก๊าซมีเธน 3 ต่อ 1

5.5.2 <u>การหาสมการอัตราเร็วของปฏิกิริยาแบบยกกำลัง</u> (34)

หลังจากเลือกตัวเร่งปฏิกิริยาที่ดีที่สุดแล้ว ก็นำมาทดสอบหาสมการอัตราเร็วแบบยกกำลัง วิธีการทำได้คือเปลี่ยนค่าความเร็วของก๊าซมีเธนที่ป้อนแก่เตาปฏิกรณ์เคมี การเปลี่ยนค่าความเร็วของก๊าซมีเธนทำให้ % การเปลี่ยนรูปกลายเป็นผลิตภัณฑ์เปลี่ยนด้วย นำค่าการเปลี่ยนรูปกลายเป็นผลิตภัณฑ์ (X) และค่าตัวประกอบเวลา (Time Factor , T.F. = W/F เมื่อ W = น้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยา, F = อัตราเร็วของก๊าซมีเธน), ไปพล็อตในกราฟ ค่าความชันของเส้นโค้งเป็นอัตราเร็วของปฏิกิริยา ดังแสดงในรูปที่ 5.10



รูปที่ 5.10 ตัวอย่างการหาค่าอัตราเร็วของปฏิกิริยา(ค่าความชัน) เมื่อค่าการเปลี่ยนรูป (X) และตัวประกอบเวลา (T.F.) เปลี่ยนไป

จากนั้นก็นำค่าอัตราเร็วของปฏิกิริยาที่ได้ และความดันย่อยของมีเธน, ไอน้ำขาออกที่ค่าตัวประกอบเวลา ใส่ลงในสมการอัตราเร็วของปฏิกิริยาแบบยกกำลัง เพื่อหาตัวเลขยกกำลังของก๊าซมีเธน, ไอน้ำ และ ค่าคงที่ของปฏิกิริยา ดูสมการที่ (5.1)

$$\text{rate} = kP_{CH_4}^{\alpha} P_{H_2O}^{\beta} \qquad (5.1)$$

ค่าต้องการหา k, α , β เมื่อทราบค่า Rate, P_{CH_4} , P_{H_2O}

5.6 <u>การหาค่าการเข้าใกล้สมดุลของปฏิกิริยามีเธนสตีมรีฟอร์มมิงและปฏิกิริยาวอเตอร์-ก๊าซชีฟ</u>

เป็นการหาว่า ค่าของอุณหภูมิที่ห่างจากอุณหภูมิสมดุลของปฏิกิริยาทั้ง 2 ซึ่งการหาค่าเหล่านี้เป็นการบอกถึงความว่องไวเชิงปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยา และแสดงว่าในสภาวะนั้นปฏิกิริยาทั้ง 2 ไม่ได้อยู่ในสมดุล โดยแสดงได้คือ

$\Delta T = T_A - T_E$

T_A = อุณหภูมิที่สภาพจริงๆ

T_E = อุณหภูมิที่ถือว่าก๊าซผสมอยู่ในสมดุล

จากค่าความดันย่อยของก๊าซผสมขาออก นำมาใส่ในสมการ

$$K^T_{WGS} = \frac{(P_{CO_2})(P_{H_2})}{(P_{CO})(P_{H_2O})} \qquad (2.4)$$

$$K^T_{MS} = \frac{(P_{CO})(P_{H_2})^3}{(P_{CH_4})(P_{H_2O})} \left(\frac{P}{\Sigma N}\right)^2 \qquad (2.2)$$

จากนั้นก็เปิดค่าในตาราง ผ.ก.2 และ ผ.ก.3 เพื่อหาค่า T_E โดยที่ค่า T_A = 760°ซ ดังนั้นก็สามารถหาค่า ΔT ได้

ตารางที่ 5.1 คุณสมบัติของตัวรองรับ SA-3232 ของบริษัทนอตัน (35)

Typical Chemical Analysis (%)	
- Al_2O_3	80.30%
- SiO_2	17.90%
- Fe_2O_3	0.40%
- TiO_2	0.60%
- CaO	0.10%
- MgO	0.20%
- Na_2O	0.30%
- K_2O	0.20%
- ZrO_2 + HFO_2	0.05%
Typical Physical Properties(%)	
-Apparent Porosity	62-68%
-Water Absorption	56-61%
-Bulk Density (gm/cc)	1.0-1.2
-Apparent Specific Gravity	3.1-3.3
-Packing Density (lb ./ft.^{3})	39-43
-Surface Area (m^2/gm)	30±5

ตารางที่ 5.2 คุณสมบัติของตัวรองรับ, ตัวเร่งปฏิกิริยาของบริษัทยูไนเต็ดคาตาลิส (36)

Catalyst Type		C11-9-02	
Support Type		CS 303	
Chemical Composition (Weight Percent)			
Ni		12±1	%
Al_2O_3		80-86	%
CaO	<	0.10	%
MgO	<	0.10	%
SiO_2	<	0.05	%
TiO_2	<	0.05	%
C	<	0.10	%
Na	<	0.15	%
S	<	0.05	%
Cl	<	0.02	%
B	<	0.02	%
K_2O	<	0.05	%
Other Alkali Metals	<	0.05	%
Other Heavy Metals	<	0.05	%
Trace Metal Impurities			
Zn	<	0.05	
Pb		Nil	
Sn		Nil	
As		Nil	
Hg		Nil	
Cu	<	0.02	
P		Nil	
Other Trace Metals		Nil	

Physical Properties

A. Bulk Density (lb ./Cu.ft.)	77±5
B. Surface Area (m^2/gm)	3-10
C. Pore Volume (cc/gm)	0.15-0.30
D. Fusion Point (^oF)	3000°F
E. Crush Strength, *minimum average	
a) Oxidized Catalyst	80
Maximum percentage below fifty percent of average	0
0% below	40
b) Reduced Catalyst	65-75
(Laboratory tests at reforming conditions for 200 hours minimum)	
Crush Strength Range	40-195
F. Particle Size	
Normal	$^5/_8$"
Normal Height	$^3/_8$"
Normal Hole Diameter	$^5/_{16}$"
Form Variation:	
Diameter Range	0.584-0.656
Height Range	0.337-0.413
Hole Diameter Range	0.285-0.342
G. Spinel Formation	
a) Catalyst Heated in Air for 24 hours at 2300°F	
% Ni as NiO	0
b) New Catalyst	
% Ni in form of $NiAl_2O_4$	2

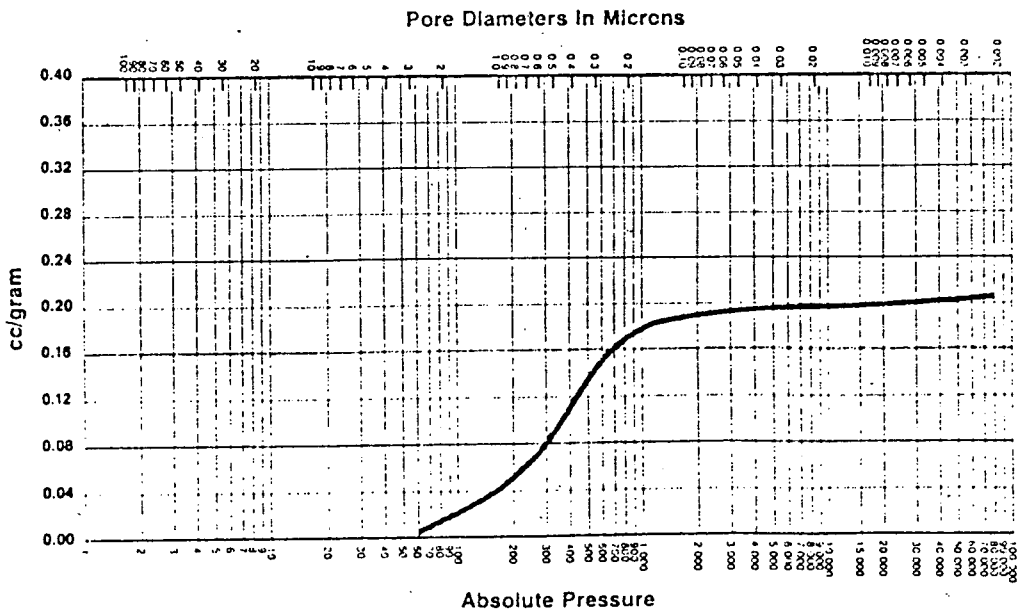
Activity Test

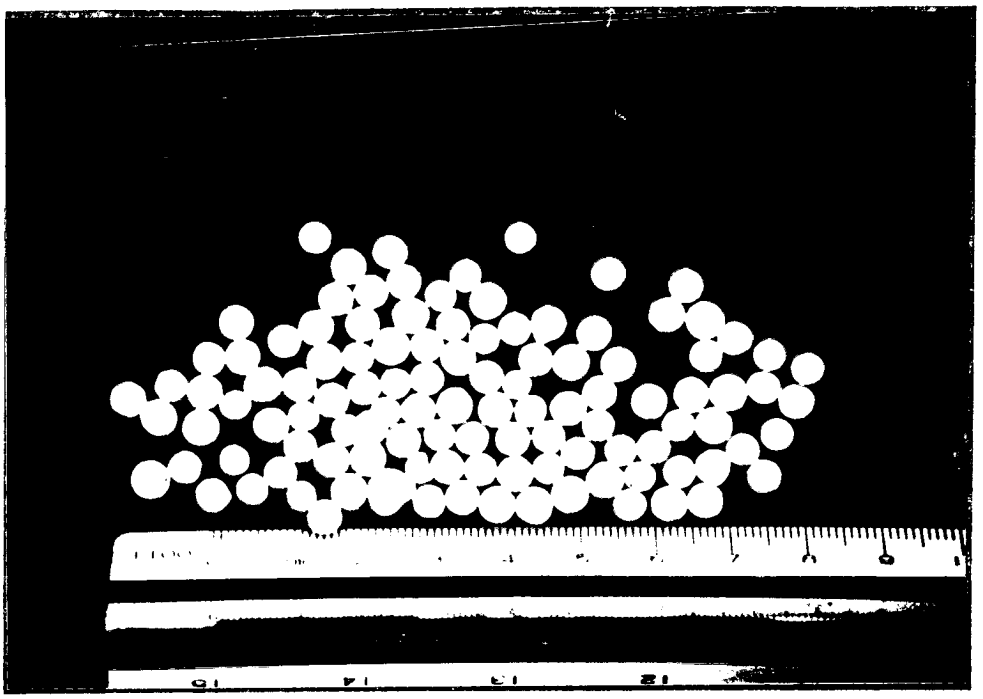
Test Conditions

Feed	Desulfurized Methane
Pressure	Atmospheric
Steam to Carbon Ratio	3.0
Theoretical Space Velocity	2,000
Tube Diameter, I.D.	2.0 inches
Catalyst Volume, cc	450.0

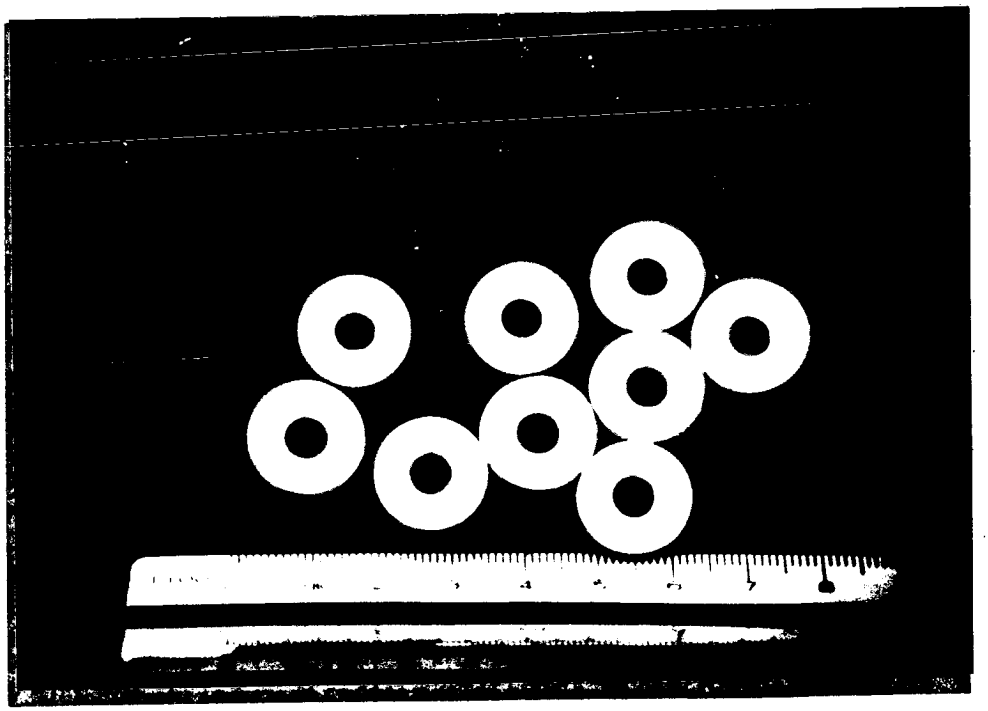
Temperature, °F	Methane Leakage
800	95-100
1000	25-35
1200	5-15
1400	0.5-1.5
1600	0.05-0.30

Typical Pore Volume Distribution Curve

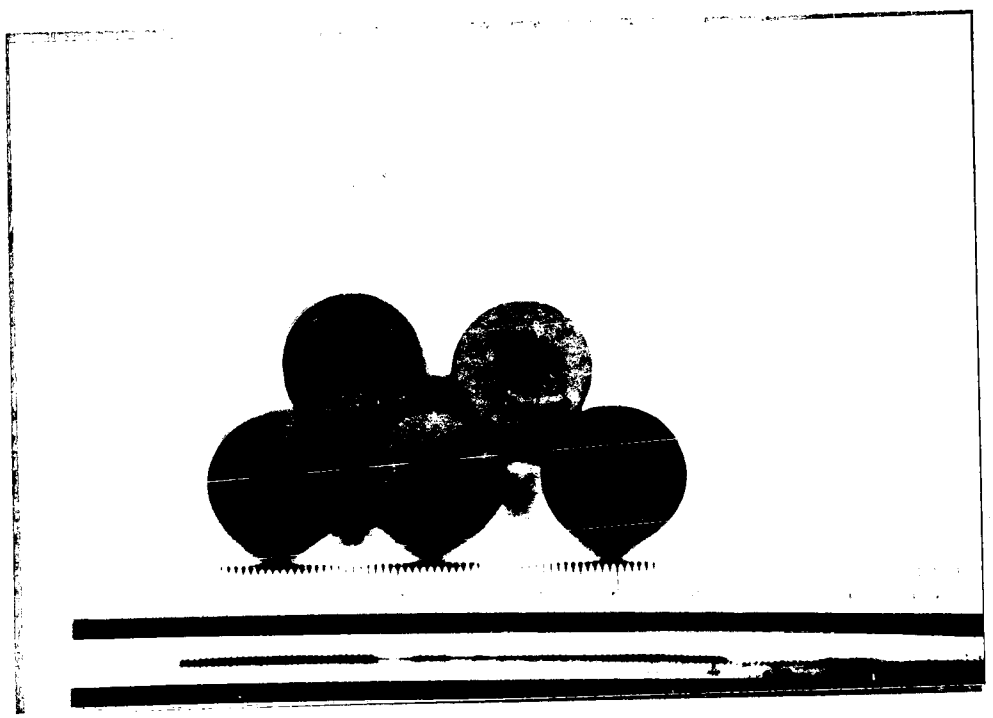




รูปที่ 5.11 แสดงลักษณะของตัวรองรับ SA-3232 ของบริษัท นอตัน



รูปที่ 5.12 แสดงลักษณะของตัวรองรับ CS303 ของบริษัท ยูไนเต็ดคาตาลิส



รูปที่ 5.13 แสดงลักษณะของตัวเร่งปฏิกิริยานิเกิล C11-9-02 ที่ใช้ในกระบวนการสตีมรีฟอร์มมิง