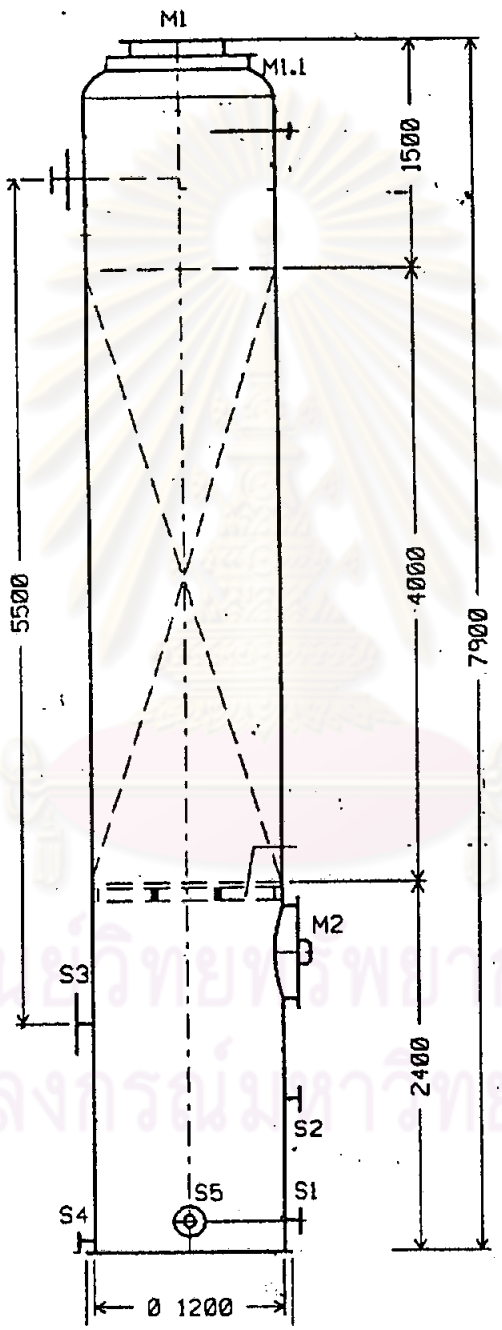
บทที่ 3

เครื่องมือและวิธีการทดลอง

1.อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1.1 หอดูดซึมแบบแพค ดังแสดงในรูปที่ (3.2) วัสดุทำจากเหล็กไร้สนิม (Stainless steel) หอดูดซึมที่ใช้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ϕ 1,200 มม. ความสูงทั้งหมดประมาณ 8,000 มม. โดยมีส่วนที่บรรจุแพคกิ้งสูง 4,000 มม. ภายในบรรจุด้วยแพคกิ้งประเภทอินทาลอค แซดเดล (Intalox Saddle) ซึ่งทำจากเซรามิค ดังแสดงในรูปที่ (3.1) โดยมีการจัดเรียงแพคกิ้งในหอเป็นแบบแรนดอม แพคกิ้งที่ใช้มีขนาด 40 มม. หรือ 1 1/2 นิ้ว มีท่อสำหรับก๊าซเข้าและออกจากหอดูดซึม ขนาด ϕ 10 นิ้ว มีท่อสำหรับน้ำเข้าขนาด ϕ 1 นิ้ว และท่อสำหรับกรดพ่นลงมาเป็นฝอยขนาด ϕ 2 นิ้ว

รูปที่ 3.1 แพคกิ้ง



รูปที่ 3.2 หอดูดซึมแบบ แพค

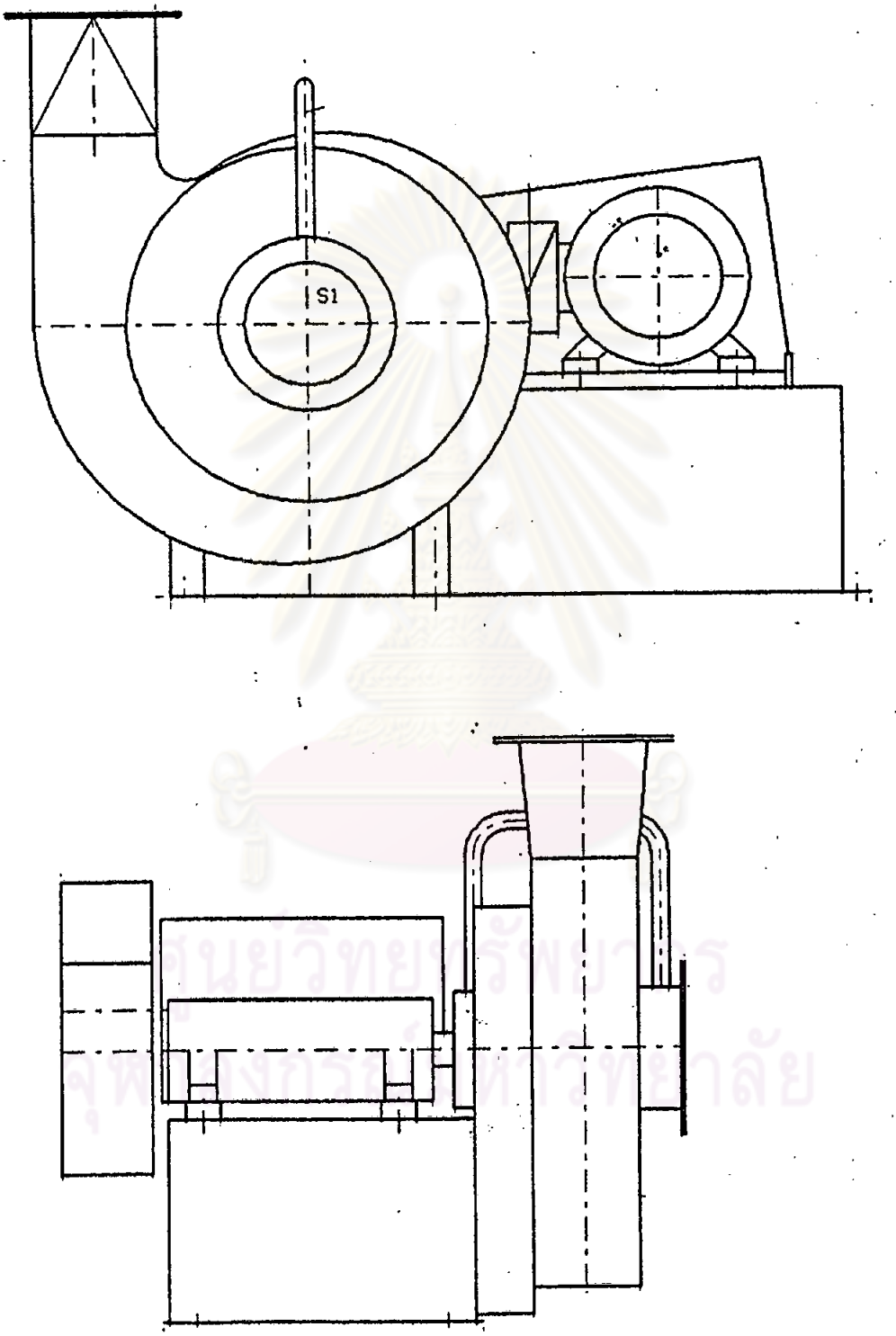
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.2 พัดลมดูดอากาศ (Blower) ดังแสดงในรูปที่ (3.3) ทำจากเหล็กไร้สนิม (Stainless steel) ทำหน้าที่ดูดอากาศและ NO_x จากกระบวนการมาผ่านเข้าหอดูดซึมแบบแพคที่ใช้ มีมอเตอร์เป็นต้นกำลังขับเคลื่อนพัดลมดูดอากาศ มีมู่เล่และสายพานช่วยในการปรับความเร็วรอบและส่งผ่านกำลังไปยังพัดลมดูดอากาศ

1.3 ปั๊มไหลเวียน (circulation pump) ดังแสดงในรูปที่ (3.4) ทำจากเหล็กไร้สนิม ใช้สำหรับสูบกรดจากด้านล่างของหอดูดซึมขึ้นไปพ่นเป็นฝอยผ่านบนยอดหอดูดซึม

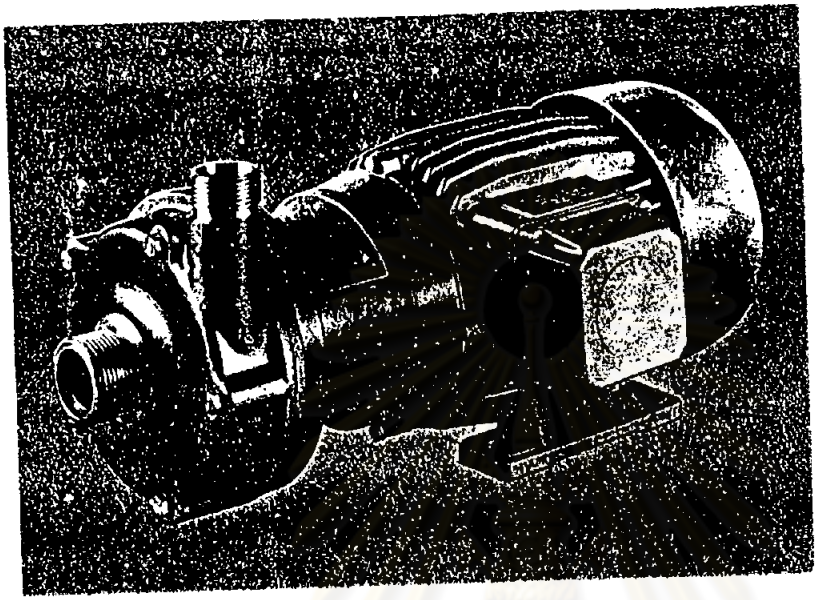
1.4 ปั๊มฉีดสารเคมี (injection pump) ดังแสดงในรูปที่ (3.5) ทำจาก PTFE ใช้สำหรับสูบสารละลาย NaCl เพื่อฉีดเข้าไปในหอดูดซึมสำหรับศึกษารูปแบบการไหลของของเหลวในหอดูดซึม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

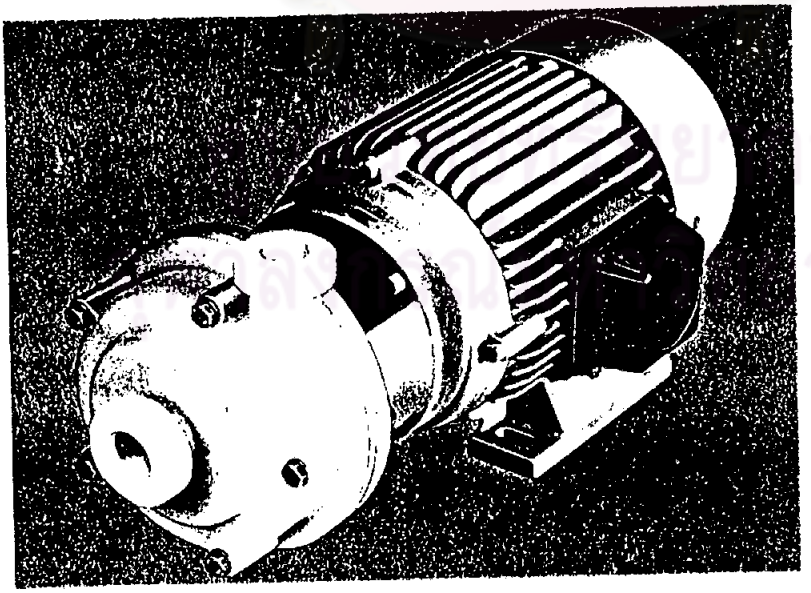


รูปที่ 3.3 พัดลมดูดอากาศ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.4 ปั๊มไหลเวียน



รูปที่ 3.5 ปั๊มฉีดสารเคมี

1.5 เครื่องอินเวิทร์เตอร์ (Inverter) ดังแสดงในรูปที่ (3.6) ใช้สำหรับปรับความเร็วรอบของมอเตอร์ที่ใช้ขับเคลื่อนพัดลมดูดอากาศ ทำให้สามารถปรับความเร็วรอบและอัตราการไหลของก๊าซได้

รูปที่ 3.6 Inverter

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.6 เทอร์โมมิเตอร์ ใช้วัดอุณหภูมิของก๊าซและของเหลว (กรดไนตริคและน้ำ)

1.7 แด้กเกอร์ปั๊ม (Drager pump) ดังแสดงในรูปที่ (3.7) ใช้สำหรับสูบก๊าซผสมของสารตัวอย่างผ่านเข้าสู่ท่อแด้กเกอร์ เพื่อวัดความเข้มข้นของก๊าซผสม

รูปที่ 3.7 Drager pump

1.8 ท่อแด็กเกอร์ (Drager Tube) ดังแสดงในรูปที่ (3.8) ทำจากแก้วและภายในท่อบรรจุด้วยรีเอเย่น (reagent) พิเศษที่ใช้เฉพาะกับก๊าซที่จะทำการวัด ด้านปลายของท่อทั้งสองจะปิดสนิท เวลาใช้ต้องทำให้หัวทั้งสองด้านแตก แล้วใช้หัวด้านหนึ่งต่อเข้ากับแด็กเกอร์ปั๊ม อีกปลายหนึ่งจ่อเข้ากับก๊าซผสมที่จะวัด แล้วทำการปั๊มตามจำนวนครั้งที่กำหนด รีเอเย่นในท่อแก้วจะเปลี่ยนสีไปตามระดับความเข้มข้นของก๊าซที่ผ่านเข้าออกหอดูดซึม เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดค่าความเข้มข้นของก๊าซ $NO+NO_2$ ในหน่วย ppm.

รูปที่ 3.8 Drager Tube

1.9 บิวเรต

1.10 บิเปต

1.11 ปีกเกอร์

1.12 Volumetric Flask

1.13 Flask

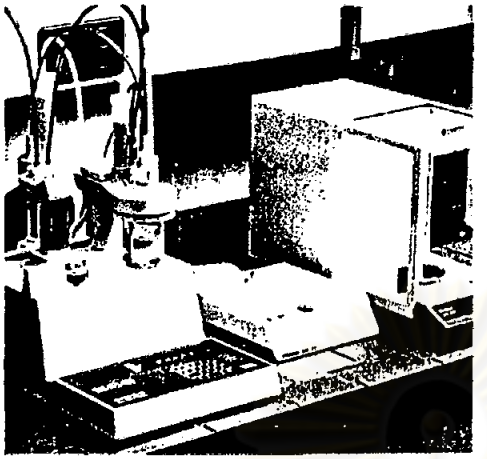
1.14 ขวดพลาสติกเก็บตัวอย่าง

1.15 Metler Automatic titrator : ดังแสดงในรูป (3.9)

1.16 เครื่องชั่งไฟฟ้า

1.17 เครื่องมือวัดความเร็วของลม (ANEMOMETER) ใช้วัดความเร็วของก๊าซที่ออกจากหอดูดซึม ดังแสดงในรูป (3.10)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.9 เครื่องติเตรตอัตโนมัติ

รูปที่ 3.10 เครื่องมือวัดความเร็วลม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.สารเคมีที่ใช้

2.1 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 0.3 N ใช้ในการติเตรตหาความเข้มข้นของกรด

2.2 สารละลายซิลเวอร์ไนเตรท ($AgNO_3$) 0.1 N ใช้ในการติเตรตหาค่าคลอไรด์

2.3 ฟินอฟทาลีน อินดิเคเตอร์ ใช้เป็นอินดิเคเตอร์ในการหาความเข้มข้นของกรด

2.4 โปแตสเซียมโครเมท เป็นอินดิเคเตอร์ในการหาค่าคลอไรด์

2.5 น้ำกลั่น

2.6 น้ำอ่อน (soft water)

2.7 สารละลายโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) 10 % W/W ใช้เป็นเทรเซอร์ (Tracer) ฉีดเข้าหอดูดซึม เพื่อศึกษารูปแบบการไหลของของเหลว

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I17175926

3. วิธีการทดลอง

3.1 ศึกษารูปแบบการไหลของของเหลวในหอดูดซึม NO_x ระดับอุตสาหกรรม

ทำการเดินเครื่องหอดูดซึม NO_x โดยมีพัดลมดูดอากาศทำการดูดอากาศและ NO_x จากในกระบวนการด้วยอัตราการไหล 1,232 ลบ.ม./ชั่วโมง และมีปั๊มไหลเวียนสูบของเหลวจากก้นหอขึ้นไปพ่นเป็นฝอยบนยอดหอดูดซึมด้วยอัตราการไหล 20 ลบ.ม./ชั่วโมง จากนั้นทำการสูบสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) 10 % จำนวน 10 ลิตร ซึ่งใช้เป็น Tracer เข้าไปในหอดูดซึมทางด้านยอดหอโดยใช้ระยะเวลาสั้นๆ เพียง 1 นาที เป็นพัลส์ (pulse input) แล้วทำการเก็บตัวอย่างของเหลว (กรดไนตริก) จากทางด้านล่างหอดูดซึมตั้งแต่เวลาเริ่มแรกที่สูบสารละลายโซเดียมคลอไรด์เข้าไป (นาทีที่ศูนย์) แล้วนำตัวอย่างของเหลวไปทำการติเตรทเพื่อหาความเข้มข้นของคลอไรด์ และทำการเก็บตัวอย่างของเหลวอีกทุกๆ 2 นาที นับจากเวลาเริ่มแรก และนำตัวอย่างไปทำการติเตรทเพื่อหาความเข้มข้นของคลอไรด์เช่นกัน ทำการเก็บตัวอย่างจนกระทั่งความเข้มข้นของคลอไรด์ในของเหลวตัวอย่างใกล้เคียงกับค่าความเข้มข้นของคลอไรด์ที่มีอยู่ในของเหลวตัวอย่างแรก จึงหยุดทำการเก็บตัวอย่าง จากนั้นนำค่าความเข้มข้นของคลอไรด์และเวลามาทำเป็นกราฟเพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้น (E_θ) กับเวลา (θ) ในรูปของตัวแปรไร้มิติ โดยอาศัยหลักการทางด้านจลนพลศาสตร์เชิงเคมี (Chemical Kinetics) และทางด้านไดนามิคส์ (Dynamics) มาใช้ในการคำนวณ ทำการเปรียบเทียบกราฟที่ได้จากการทดลองจริง (Actual E-curve) กับกราฟซึ่งแสดงแบบจำลองการไหลรูปแบบต่างๆ ของของเหลว เพื่อจะได้ทราบว่าการไหลของของเหลวในหอดูดซึม NO_x ระดับอุตสาหกรรมที่ใช้อยู่นี้มีรูปแบบการไหลใกล้เคียงกับแบบจำลองใด เพื่อจะได้นำแบบจำลองนั้นมาใช้คำนวณในตอนต่อไป

3.2 ศึกษาถึงปัจจัย ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของหอดูดซึม NO_x ระดับอุตสาหกรรม

ในการทดลองถึงปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของหอดูดซึม NO_x ระดับอุตสาหกรรมที่ใช้อยู่นี้ ได้ทำการทดลองโดยใช้อัตราการไหลของก๊าซที่ 1,232, 1,072 และ 904 ลบ.ม./ชั่วโมง และในแต่ละการทดลองที่ความเร็วก๊าซต่างๆ กันนี้ จะทำการทดลอง เปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของปั๊มไหลเวียนของ เหลว โดยใช้อัตราการไหลของของ เหลวที่ประมาณ 252, 335, 418 และ 468 ลิตร/นาที ในแต่ละการทดลองจะทำการ เก็บตัวอย่างของ เหลวที่เข้าทางด้านยอดหอดูดซึมและที่ออกจากหอดูดซึมทางด้านล่าง เพื่อหาค่าความเข้มข้นและเซ็คอุณหภูมิ และทำการวัดอุณหภูมิและความเข้มข้นของก๊าซที่เข้าและออกจากหอดูดซึมด้วย เช่นกัน จากนั้น นำข้อมูลที่ได้ มาทำการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่าย เทมวลสาร เฉพาะที่โดยใช้สมการของ ออนดา (ONDA) และสัมประสิทธิ์การถ่าย เทมวลสารรวมโดยใช้รูปแบบการไหลของของ เหลวที่เป็นแบบคล้ายลูกสูบ (Plug Flow), แบบผสมผสาน (well-mixed) และตามแบบจำลองที่ได้จากการทดลองในตอนแรก (จาก 3.1) โดยใช้สมการทั่วไปของ ศ.ดร.ปิยะสาร ประเสริฐธรรม ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์การถ่าย เทมวลสารตามสมการข้างต้นนี้ เป็นแบบไม่มีปฏิกิริยา เกิดขึ้น จากนั้นทำการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่าย เทมวลสารตามสมการของนายมิลเลอร์ (Miller) ซึ่ง เป็นแบบมีปฏิกิริยา เกิดขึ้นด้วย ทำการแปลงค่าสัมประสิทธิ์การถ่าย เทมวลสารให้อยู่ในรูปของตัวแปรไร้มิติ ($K_La\overline{\tau}_L$) เพื่อหาความสัมพันธ์กับประสิทธิภาพของหอดูดซึม (η) ซึ่งหาได้จากความเข้มข้นของ NO_x ที่หายไปเปรียบเทียบกับความเข้มข้นของ NO_x เริ่มต้นที่เข้าสู่ระบบ

นอกจากการทดลอง เปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของก๊าซและของ เหลวแล้ว ยังได้ทำการทดลอง เปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของของ เหลวที่ใช้ด้วย โดยใช้ตามเข้มข้นของกรดไนตริกที่ 1-2 %, 6.27 %, 9.31 % และ 27.16 % w/w เพื่อศึกษาถึงผลของความเข้มข้นของกรดไนตริกต่อประสิทธิภาพของหอดูดซึม NO_x โดยใช้

อัตราการไหลของก๊าซที่ 1,072 ลบ.ม./ชั่วโมง และอัตราการไหลของของเหลว ที่ 466 ลบ.ม./ชั่วโมง สำหรับวิธีการคำนวณหาสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสารใช้วิธีการตามการทดลองข้างต้นที่กล่าวมาแล้ว

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย