บทที่ 3

การดำเนินการวิจัย

3.1 แผนการวิจัย

การวิจัยทั้งหมดทำในห้องปฏิบัติการของภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย แผนการวิจัยได้กำหนดให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์และขอบเขตของงานวิจัยดังนี้

3.1.1 ค่าตัวแปรในการทดลอง

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาเพื่อหาประสิทธิภาพของถังปฏิกรณ์ในการอ๊อกซิไดส์เหล็กในรูปเฟอร์รัส (Fe^{+2}) ให้เป็นเหล็กในรูปเฟอร์ริค (Fe^{+3}) ดังนั้นจึงกำหนดค่าตัวแปรที่แปรเปลี่ยนไว้ดังนี้คือ

1) ความดันในระบบ กำหนดให้ควบคุมความดันในระบบไว้ดังนี้ คือ 0.25, 0.50, 0.75 และ 1.00 บาร์

2) อัตราการจ่ายน้ำดิบสังเคราะห์เข้าสู่ระบบกำหนดไว้ดังนี้คือ 20, 30, 40, 50 และ 60 ลิตรต่อชั่วโมง

3) ความเข้มข้นของเหล็กในรูปเฟอร์รัส (Fe^{+2}) ในน้ำดิบสังเคราะห์กำหนดไว้ดังนี้คือ 0.25, 0.50, 0.75, 1.00, 1.25, 1.50, 1.75 และ 2.00 มิลลิกรัมต่อลิตร

4) ค่าพีเอช กำหนดให้น้ำดิบสังเคราะห์มีค่าพีเอชเท่ากับ 7.0

จากค่าตัวแปรที่กำหนดสามารถแสดงความสัมพันธ์กันได้ตามตารางที่ 3.1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.1 ความสัมพันธ์ของค่าตัวแปรที่ใช้ในการวิจัย

ค่าตัวแปร	หน่วย	ค่าของตัวแปรที่ใช้ทำการวิจัย	
ความดัน	บาร์	0.5 , 1.0	0.25, 0.75
อัตราการจ่ายน้ำดิบสังเคราะห์เข้าระบบ	ลิตรต่อชั่วโมง	20,30,40,50,60	20, 40, 60
ความเข้มข้นของ Fe^{+2} ใน น้ำดิบสังเคราะห์	มิลลิกรัมต่อลิตร	0.25, 0.50, 0.75 1.00, 1.25, 1.75 2.00	1.00, 1.50, 2.00
พีเอช	-	7	
รวมจำนวนการทดลอง		80	18
รวมเป็นการทดลองทั้งหมด		98	

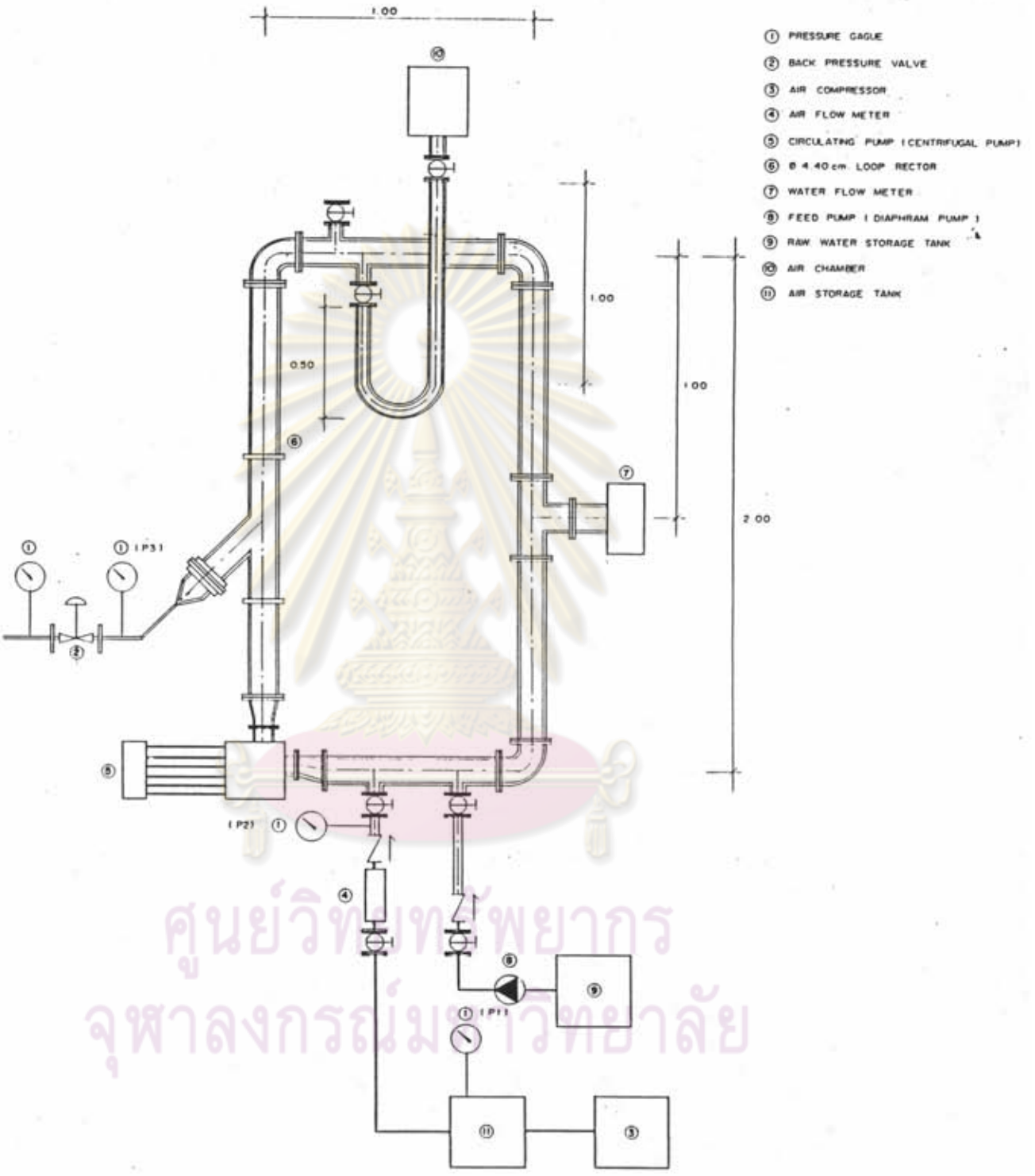
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2 <u>วัสดุและอุปกรณ์ในการวิจัย</u>

รูปที่ 3.1 แสดงถึงถังปฏิกรณ์วนเวียนในแนวดิ่งและอุปกรณ์ต่าง ๆ นั้นประกอบไปด้วย

1. ถังปฏิกรณ์วนเวียนแนวดิ่ง ทำด้วยท่อพลาสติกใสเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 4.40 เซนติเมตร ประกอบตามรูปที่ 3.1 ระยะห่างของเส้นผ่าศูนย์กลางถึงเส้นผ่าศูนย์กลางทางด้านกว้างเท่ากับ 1.00 เมตร และทางด้านสูงเท่ากับ 1.50 เมตร ปริมาตรของถังปฏิกรณ์วัดโดยตวงน้ำที่บรรจุเต็มในถังปฏิกรณ์เท่ากับ 9.45 ลิตร

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.1 ถังปฏิกรณ์วนเวียนแนวดิ่งที่ใช้ในการทำการวิจัย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. เครื่องสูบน้ำหมุนเวียนทำหน้าที่สูบน้ำวนเวียนภายในถังปฏิกรณ์ควบคุมการไหลเวียนของน้ำและอากาศ เครื่องสูบน้ำที่ใช้เป็นแบบหอยโข่ง (Centrifulgal pump) SANSO MODEL PK-2511 ความต่างศักดิ์ 220 โวลท์, กระแส 2.5 แอมแปร์, 1 เฟส, ความเร็วรอบ 6,100 รอบต่อนาที, ความถี่ 50 เฮริท์ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเครื่องสูบน้ำเท่ากับ 25 มิลลิเมตร อัตราการสูบน้ำ 105 ลิตรต่อนาที, ความดันสูงสุด 33.0 เมตร

3. มาตรวัดความดันในระบบและบริเวณท่อทางออก ทำหน้าที่วัดค่าความดันในระบบและบริเวณทางออก

4. ประตูน้ำปรับความดัน (BACK PRESSURE VALVE) ทำหน้าที่ควบคุมความดันในถังปฏิกรณ์ให้คงที่โดยอ่านจากมาตรวัดความดัน เพื่อปรับประตูน้ำปรับความดัน

5. มาตรวัดอัตราการไหลของอากาศเข้าถังปฏิกรณ์ทำหน้าที่วัดอัตราการไหลของอากาศเข้าถังปฏิกรณ์

6. เครื่องสูบน้ำเข้าระบบ ทำหน้าที่สูบน้ำดิบสังเคราะห์เข้าสู่ถังปฏิกรณ์ เครื่องสูบน้ำเป็นแบบไดอะแฟรม (Diaphram pump) ELEPON MODEL CR 3 พร้อมเกียร์มอเตอร์ขนาด 100 W, 4 POLE. TOSIBA MODEL STK-FCKL 3 ความต่างศักดิ์ 220 โวลท์, กระแส 1.6 แอมแปร์, 1 เฟส, ความเร็วรอบ 1,420 รอบต่อนาที สามารถปรับความเร็วรอบได้ จากการตรวจสอบอัตราการจ่ายน้ำของเครื่องสูบน้ำที่ความต่างๆ สามารถสรุปได้ตามตารางที่ 3.2

7. เครื่องอัดอากาศกับถังอัดอากาศทำหน้าที่อัดอากาศเข้าถังเก็บอากาศ เครื่องอัดอากาศเป็นแบบลูกสูบ HERO MODEL VR-51 มอเตอร์ขนาด 0.30 kW ความเร็วรอบ 620 รอบต่อนาที ขนาดกระบอกสูบ (BORE) 51 มิลลิเมตร ช่วงชัก(STROKE) 45 มิลลิเมตร 2 กระบอก อัตราการจ่ายอากาศ 106 ลิตรต่อนาที ถังอัดอากาศขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 305 มิลลิเมตร ยาว 950 มิลลิเมตร ความจุ 85 ลิตร

8. ถังเก็บก๊กอากาศ ทำหน้าที่ค่อยๆ ปล่อยอากาศที่ถูกอัดจากเครื่องอัดอากาศเข้าถังปฏิกรณ์ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 35 เซนติเมตร สูง 60 เซนติเมตร ควบคุมเครื่องอัดอากาศ

ด้วยเครื่องตั้งความดัน (Pressure switch) และ โซลินอยด์วาวล์ปิดเปิดด้วยสัญญาณจาก Pressure switch

ตารางที่ 3.2 ความสัมพันธ์ตัวเลขบนหน้าปัดของเกียร์มอเตอร์กับอัตราการสูบน้ำดิบที่ความดันต่างๆ

อัตราการสูบน้ำของเครื่องสูบน้ำดิบ (ลิตรต่อชั่วโมง)	ความดัน (บาร์)			
	0.25	0.50	0.75	1.0
20	27.5	30	31.5	33
30	-	46	-	50
40	61	63	65	67.5
50	-	80	-	85
60	94	96	97.5	100

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.3 <u>การเตรียมน้ำดิบสังเคราะห์และสารเคมี</u>

การเตรียมน้ำดิบสังเคราะห์และสารเคมี ดำเนินการตามรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.3.1 น้ำดิบสังเคราะห์

น้ำดิบสังเคราะห์ที่ใช้ในการทดลองเตรียมจากน้ำประปาซึ่งมีเหล็กอยู่ในปริมาณต่ำ นำมาทำการไล่ก๊าซออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำ โดยก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ วัดค่าการละลายของออกซิเจนในน้ำ (D.O) จนสามารถอ่านค่าได้ใกล้ 0. มิลลิกรัมต่อลิตร เพื่อให้น้ำดิบสังเคราะห์มีคุณลักษณะใกล้เคียงกับน้ำบาดาลตามธรรมชาติ นำมาเติมสารเคมีคือ เฟอร์รัสซัลเฟต ($FeSO_4.7H_2O$) ซึ่งเตรียมให้อยู่ในรูปของสารละลายเพื่อให้ได้น้ำดิบที่มีปริมาณเหล็กเฟอร์รัส (Fe^{+2}) ตามต้องการคือ 0.25, 0.50, 0.75, 1.00, 1.50, 1.75 และ 2.00 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ ปรับพีเอชของน้ำดิบสังเคราะห์ให้มีค่าประมาณ 7.00 ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) แล้วจึงสร้างแผ่นฟิลม์ด้วยน้ำมันก๊าดบริเวณผิวหน้าของถังเก็บน้ำดิบสังเคราะห์

3.3.2 สารเคมี

3.3.2.1 สารละลายเฟอร์รัสซัลเฟต

การเตรียมสารละลายเฟอร์รัสซัลเฟตโดยละลายเฟอร์รัสซัลเฟต ($FeSO_4.7H_2O$) 9.9561 กรัมในน้ำกลั่นเติมกรดเกลือเข้มข้น 20 มิลลิลิตร (เพื่อป้องกันการตกผลึกของเหล็ก) แล้วเจือจางให้ได้ปริมาตร 1 ลิตร เป็นสารละลายสต็อคโดย 1 มิลลิลิตรของสารละลายสต็อคจะมีปริมาณเหล็กเฟอร์รัส (Fe^{+2}) ประมาณ 2 มิลลิกรัม

3.3.2.2 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เตรียมโดยละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 4.0 กรัมในน้ำกลั่นแล้วเจือจางให้ได้ 1 ลิตร จะได้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร

3.3.2.3 สารเคมีที่ใช้วิเคราะห์หาเหล็กและลักษณะสมบัติอื่น ๆ ของน้ำ

สารเคมีต่าง ๆ เตรียมตาม Standard Method.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.4 การดำเนินการทดลอง

การดำเนินการทดลองแบ่งเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงแรกทำการทดลองที่ความดัน 0.50 และ 1.00 บาร์ ที่อัตราสูบน้ำดิบสังเคราะห์ 20, 30, 40, 50 และ 60 ลิตรต่อชั่วโมง ความเข้มข้นของเหล็กเฟอร์รัส 0.25, 0.50, 0.75, 1.00, 1.25, 1.50, 1.75 และ 2.00 มิลลิกรัมต่อลิตร เพื่อหาช่วงที่เหมาะสมในการทำการวิจัย จากผลการทดลองของช่วงแรกสามารถสรุปช่วงที่เหมาะสมในการหาประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กได้ คือ ความเข้มข้นของเหล็กเฟอร์รัสควรจะมากกว่า 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังนั้นการทดลองในช่วงที่สองจึงกำหนดค่าตัวแปรดังนี้ คือ ความดัน 0.25 และ 0.75 บาร์ อัตราการสูบน้ำดิบสังเคราะห์ 20, 40 และ 60 ลิตรต่อชั่วโมง ความเข้มข้นของเหล็กเฟอร์รัส 1.00, 1.50 และ 2.00 มิลลิกรัมต่อลิตร

ขั้นตอนการทดลองมีดังนี้

1. การทดลองโดยเตรียมน้ำดิบสังเคราะห์ตามวิธีเตรียมน้ำดิบสังเคราะห์หัวข้อ 3.3.1 โดยให้น้ำดิบมีความเข้มข้นของ Fe^{+2} = 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร สูบน้ำดิบสังเคราะห์เข้าสู่ระบบจนเต็มถังปฏิกรณ์ปรับอัตราสูบน้ำดิบโดยให้เข้าสู่ระบบด้วยอัตรา 20 ลิตรต่อชั่วโมง ทำการปรับความดันในถังให้มีความดัน 1.0 บาร์ เติมอากาศเข้าสู่ระบบด้วยเครื่องอัดอากาศโดยผ่านถังกักเก็บอากาศ ปรับอัตราการจ่ายอากาศของเครื่องอัดอากาศโดยให้อ่านค่าอัตราการจ่ายอากาศเท่ากับ 10 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที ที่อัตราการจ่ายอากาศนี้จะทำให้ฟองอากาศสามารถละลายน้ำได้โดยไม่สะสมเพิ่มขึ้นสังเกตุจากการทดลอง

2. ทำการเก็บตัวอย่างน้ำที่ผ่านถังปฏิกรณ์ในขณะที่ระบบทำงานในสภาพที่กำหนด (ตามข้อ 1) ที่เวลาต่างๆ กันนำมาวิเคราะห์หาปริมาณ Fe^{+2} ที่เหลืออยู่จนกระทั่งความเข้มข้นของ Fe^{+2} ที่เหลืออยู่มีค่าคงที่

3. ทำการทดลองในภาวะของระบบเช่นเดิม แต่เปลี่ยนอัตราการสูบน้ำดิบสังเคราะห์เข้าสู่ระบบเป็น 30, 40, 50 และ 60 ลิตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ สำหรับความดัน 0.5 และ 1.0 บาร์ และที่ 40 และ 60 ลิตรต่อชั่วโมง สำหรับความดัน 0.25 และ 0.75 บาร์

4. ทำการทดลองตามหัวข้อที่ 1-3 แต่เปลี่ยนความเข้มข้นของ Fe^{+2} เป็น 0.25, 0.50, 0.75, 1.00, 1.25, 1.50 และ 1.75 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

สำหรับความดัน 0.5 และ 1.0 บาร์ และเป็น 1.00 และ 1.50 มิลลิกรัมต่อลิตร สำหรับความดัน 0.25 และ 0.75 บาร์

5. ทำการทดลองตามหัวข้อที่ 1-4 แต่ปรับค่าความดันที่ควบคุมในถังปฏิกรณ์ให้มีความดันที่ 0.25, 0.50 และ 0.75

ตารางที่ 3.1 แสดงถึงความสัมพันธ์ของค่าตัวแปรสำหรับดำเนินการทดลอง ตั้งแต่ข้อ 1 ถึง 5

3.5 การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของน้ำ

การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติต่าง ๆ ของน้ำหน่วยที่ใช้และความถี่ในการเก็บตัวอย่างสามารถแสดงดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติต่างๆ ของน้ำในการทำการวิจัย

ตัวแปร	หน่วย	วิธีวิเคราะห์	ตำแหน่งของการเก็บตัวอย่าง		
			น้ำดิบ	ภายในถังปฏิกรณ์	น้ำที่ผ่านถังปฏิกรณ์
1. เหล็กละลายน้ำ (Fe^{+2})	มก./ล.	วิธีฟีแนนโทรลีน	A/C		B
2. พีเอช	-	พีเอชมิเตอร์	A/C		C
3. ออกซิเจนละลายน้ำ	มก./ล.	วิธีเมมเบรนอิเลคโทรด	A/C		C
4. อุณหภูมิ	°C	เทอร์โมมิเตอร์	A		C
5. ความดัน	บาร์	มาตรวัดความดัน		D	

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หมายเหตุ

A = ตัวแปรที่วิเคราะห์ 1 ครั้งก่อนทำการทดลอง

B = ตัวแปรที่วิเคราะห์ที่เวลา 0, 3, 5, 10, 15, 20, 30, และ45 นาที หลังจากเริ่มการทดลอง

C = ตัวแปรที่วิเคราะห์ที่เวลา 45 นาที หลังจากเริ่มการทดลอง

D = ตัวแปรที่ควบคุมให้คงที่ตลอดการทดลอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย