

บทที่ 3

การดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้กระทำที่ห้องปฏิบัติการ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยมีรายละเอียดการดำเนินการวิจัย ดังต่อไปนี้

3.1 ลำดับการทดลอง

การทดลองแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนการเตรียมการ การหาค่าความเร็วต่ำสุด ในการเกิดสภาวะเสมือนของไหล และขั้นตอนการหาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดฟลูออไรด์ โดยการตกผลึกในกระบวนการฟลูอิดไดซ์เบด

3.1.1 ขั้นเตรียมการ

เป็นการจัดเตรียมวัสดุ อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับการทดลอง ได้แก่

1. การออกแบบและติดตั้งอุปกรณ์การทดลอง โดยคำนึงถึงความเหมาะสมต่อการทดลองพารามิเตอร์ต่าง ๆ
2. เตรียมทรายกรอง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตามที่กำหนด
3. เตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ ตามความเข้มข้นที่กำหนด
4. เตรียมสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง
5. เตรียมสารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ตัวอย่าง

3.1.2 ชั้นทดลองหาค่าความเร็วต่ำสุดในการเกิดสภาวะเสมือนของไหล

ทดลองหาค่าความเร็วต่ำสุดที่เหมาะสมในการเกิดสภาวะเสมือนของไหลเพื่อนำไปใช้เป็นค่าความเร็วน้ำไหล ในการทดลองต่อไป

3.1.3 ชั้นทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดฟลูออไรด์ โดยกระบวนการตกผลึกในฟลูอิดไดซ์เบด

ทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดฟลูออไรด์ โดยเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ต่างเพื่อหาค่าฟลูออไรด์คงเหลือที่น้อยที่สุด

3.2 พารามิเตอร์ในการทดลอง

การวิจัยมุ่งศึกษาพารามิเตอร์ที่สำคัญ ๆ ในการกำจัดฟลูออไรด์ โดยกระบวนการตกผลึกในฟลูอิดไดซ์เบด ประกอบด้วยพารามิเตอร์ที่กำหนดให้แปรค่า และพารามิเตอร์ที่กำหนดให้คงที่ ดังนี้

3.2.1 พารามิเตอร์ที่กำหนดให้แปรค่า

ตารางที่ 3.1 พารามิเตอร์ที่แปรเปลี่ยนในการวิจัย

ตัวแปร	ค่าที่ทดลอง
1. ความเข้มข้นของฟลูออไรด์ (มก./ล.)	50 100 200 300 400
2. ความสูงของอนุภาคที่อยู่กับที่ (ม.)	0.5 1.0 1.5 2.0
3. พีเอชน้ำออก	7.0 7.5 8.0 8.5 9.0

3.2.2 พารามิเตอร์ที่กำหนดให้คงที่

1. ขนาดของทราย ใช้ทรายขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.85-1.0 มม.
2. ความเร็วน้ำไหลขึ้นเท่ากับ 1.5 เท่า ของความเร็วต่ำสุด ในการเกิดสภาวะเสมือนของไหล
3. ชนิดสารเคมีที่ใช้ปรับพีเอช ได้แก่ โซดาไฟ (NaOH)
4. สารที่ใช้เพิ่มปริมาณแคลเซียม คือ CaCl_2 ในปริมาณ 1.5 เท่า ของจุดสตอปยซีโอเมตริก
5. อัตราการกรองทรายใช้ชนิดกรองเร็ว ความเร็วในการกรองประมาณ 5 ม./ชม.

3.3 วัสดุอุปกรณ์ในการวิจัย

วัสดุที่สำคัญสำหรับการทดลองวิจัย ได้แก่ ทรายกรอง น้ำเสียสังเคราะห์ และสารเคมี อุปกรณ์ ได้แก่ ชุดเครื่องกำจัดฟลูออไรด์ โดยกระบวนการตกผลึกในฟลูอิดไดซ์เบดและถังกรองทราย

3.3.1 ทรายกรอง

ทรายที่ใช้เป็นทรายก่อสร้างทั่วไป นำมาล้างด้วยน้ำแล้วแช่ด้วยกรดเกลือ (HCl 0.1 N) ที่ทิ้งไว้ 24 ชม. ตากให้แห้ง แล้วนำมาร่อนหาขนาดของทรายโดยวิธีตะแกรงร่อน โดยร่อนทรายผ่านตะแกรงเบอร์ 18 คงค้างตะแกรงเบอร์ 20 จะได้ทรายที่มีขนาด 0.85-1.00 มม.

3.3.2 การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ และสารเคมี

การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ และสารเคมี สามารถดำเนินการได้ดังนี้

3.3.2.1 น้ำเสียสังเคราะห์

น้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้ในการทดลองเตรียมจาก น้ำประปา นำมาเติมสารเคมี โซเดียมฟลูออไรด์ (NaF) ในปริมาณที่ให้ให้ความเข้มข้นของฟลูออไรด์ตามที่กำหนด ผสมให้เข้ากัน

3.3.2.2 สารเคมี

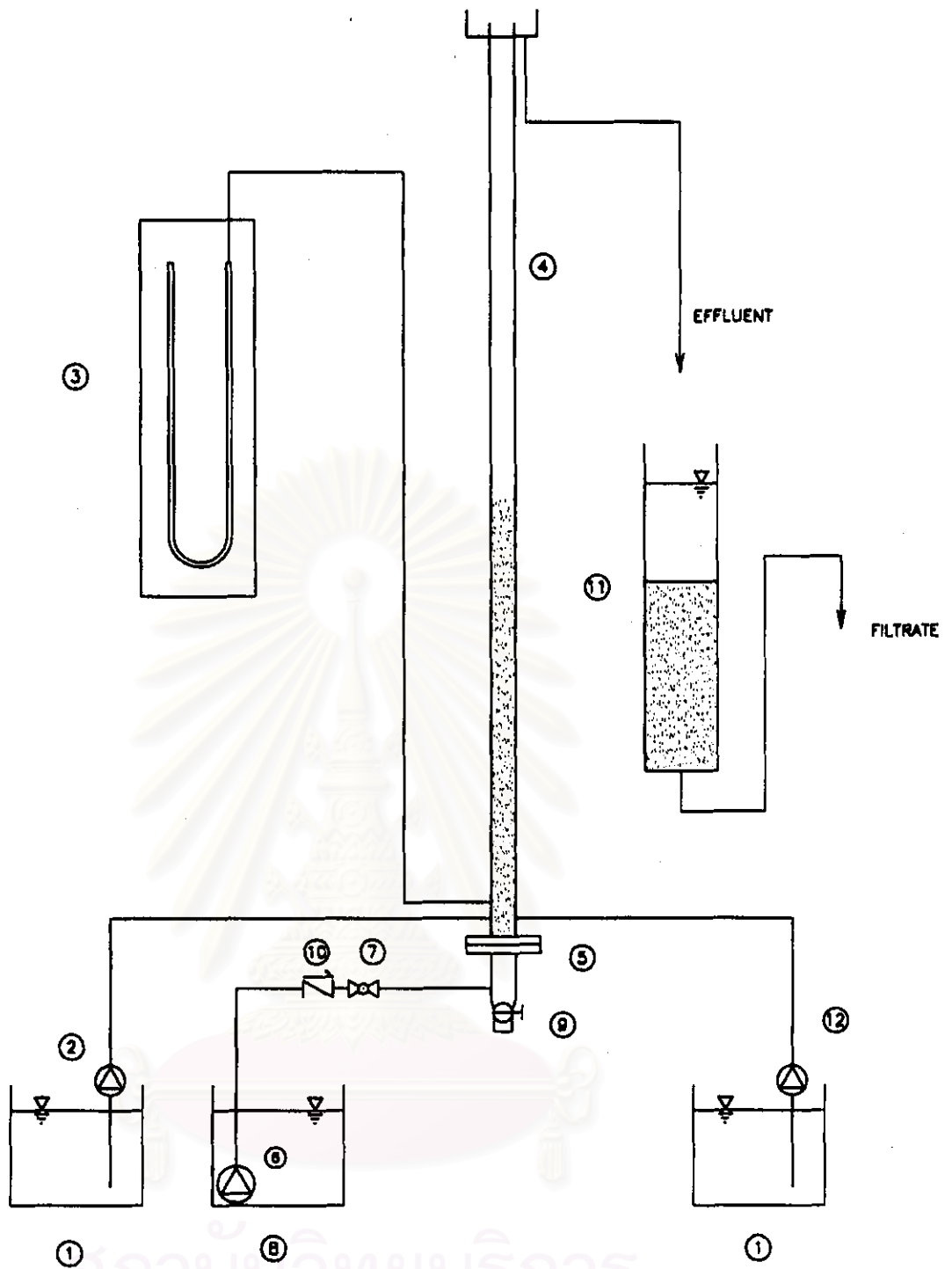
สารเคมีที่ใช้ในการทดลองสรุปได้ดังหัวข้อต่อไปนี้ และการเตรียมสารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติต่างๆของน้ำ เตรียมตามหนังสือ Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater พิมพ์ครั้งที่ 19 ปี 1995

1. โซเดียมฟลูออไรด์ (NaF)
2. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)
3. แคลเซียมคลอไรด์ ($\text{CaCl}_2 \cdot 8 \text{H}_2\text{O}$)
4. สารเคมีที่ใช้หาฟลูออไรด์ตามวิธี SPADNS
5. สารเคมีที่ใช้หาความเป็นด่างตามวิธี INDICATOR
6. สารเคมีที่ใช้หาแคลเซียมตามวิธี EDTA

3.3.3 อุปกรณ์การกำจัดฟลูออไรด์โดยกระบวนการตกผลึกในฟลูอิดไดซ์เบด

แสดงในรูป 3.1 ประกอบด้วยเครื่องมือและอุปกรณ์ต่าง ๆ คือ

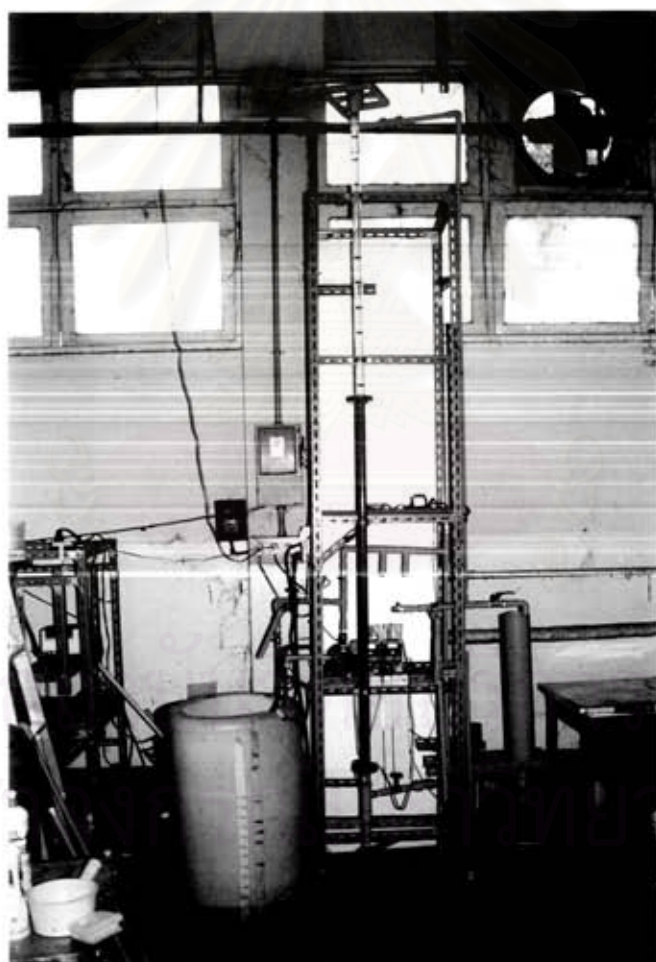
1. ถังปฏิกรณ์ ทำด้วยท่ออะคริลิกใส ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 3 ซม. ความสูงประมาณ 2.8 ม.
2. แผ่นกระจายของไหล เป็นแบบแผ่นเจาะรู
3. มาโนมิเตอร์วัดความดันสูงเสถียรขณะที่มีการไหลของของเหลวผ่านคอลัมน์
4. ถังเก็บน้ำเสียสังเคราะห์ ขนาดความจุ 200 ลิตร 1 ใบ
5. ถังเก็บสารเคมี ขนาดความจุ 10 ลิตร 2 ใบ
6. เครื่องสูบน้ำแบบจุ่มน้ำ 1 ชุด ยี่ห้อ NAZA รุ่น NAZA MANUAL ขนาด 100 W
7. เครื่องสูบน้ำสารเคมีแบบ diaphragm 2 ชุด ยี่ห้อ Prominent รุ่น G/4A1201



รูปที่ 3.1 ไตอะแกมมอุปกรณ์การกำจัดฟอสฟอรัสโดยใช้การตกตะกอนในระบบการฟลูอิดไลซ์เบด

รายการอุปกรณ์ประกอบ

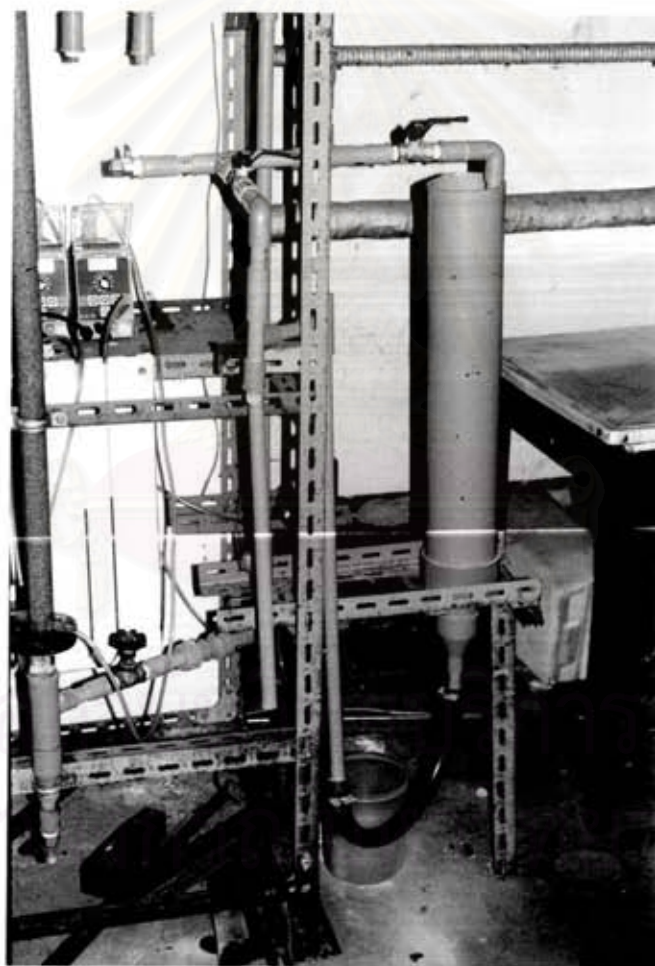
- | | |
|------------------------------|--|
| 1. ถังเก็บสารเคมี | 2. เครื่องสูบจ่าย NaOH แบบ Diaphragm |
| 3. มาโนมิเตอร์ | 4. ถังปฏิกรณ์ |
| 5. แผ่นกระจายของไหล | 6. เครื่องสูบน้ำแบบจุ่มน้ำ |
| 7. globe valve ขนาด 1/2 นิ้ว | 8. ถังเก็บน้ำเสียตั้งเคราะห์ |
| 9. drain valve ขนาด 1/2 นิ้ว | 10. check valve ขนาด 1/2 นิ้ว |
| 11. ถังกรองทราย | 12. เครื่องสูบจ่าย CaCl ₂ แบบ Diaphragm |



รูปที่ 3.2 ชุดการทดลองกำจัดฟลูออไรด์โดยกระบวนการตกผลึกในฟลูอิดไลซ์เบด

3.3.4 ถังกรองทราย

ใช้ถังกรองทรายแบบกรองเร็วโดยใช้ท่อ PVC เส้นผ่าศูนย์กลาง 6 นิ้ว (15 ซม.) สูง 65 ซม. ดังรูปที่ 3.3 และ ใช้ทรายกรองขนาด 0.6 - 0.84 มม. ความสูงทรายกรอง 45 ซม.



รูปที่ 3.3 ถังกรองทรายที่ใช้กรองตามหลังกระบวนการฟลูอิดไดซ์เบด

3.4 การดำเนินการทดลอง

การทดลองแบ่งออกเป็น 2 การทดลอง คือ การทดลองหาความเร็วต่ำสุดของการเกิดสภาวะเสมือนของไหล และการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดฟลูอิดไรด์ โดยการตกผลึกในกระบวนการฟลูอิดไดซ์เบด

3.4.1 การหาค่าความเร็วต่ำสุดของการเกิดสภาวะเสมือนของไหล ตามขั้นตอนต่อไปนี้

1. เติมน้ำในถังเก็บน้ำเสีย (8)
2. เติมหอยกรองที่คัดขนาดแก้วในถังปฏิกรณ์ (4) ให้ได้ความสูง 0.5 ม.
3. ปิดวาล์ว (7) และเปิดเครื่องสูบน้ำ (6)
4. ค่อยๆ เปิดวาล์ว (7) โดยบันทึกอัตราการไหลกับค่าความดันสูญเสียโดยดูจากมาโนมิเตอร์ (3)
5. เปลี่ยนค่าอัตราการไหลให้เป็นความเร็วไหลขึ้น นำไปเขียนกราฟระหว่างความเร็วไหลขึ้นของน้ำกับค่าความดันสูญเสีย
6. ทำการทดลองซ้ำ โดยเปลี่ยนความสูงชั้นทรายในข้อ 2 เป็น 1.0, 1.5 และ 2 ม. ตามลำดับ

จากผลการทดลองจะได้ค่าความดันสูญเสียที่เกิดจากการที่น้ำไหลผ่านชั้นทรายในถังปฏิกรณ์ที่ค่าความเร็วต่างๆ ซึ่งสามารถหาค่าความเร็วต่ำสุดของการเกิดสภาวะฟลูอิดไดซ์โดยการเขียนกราฟระหว่างค่าความเร็วไหลขึ้นของน้ำกับค่าความดันสูญเสีย จากกราฟจะได้ค่าความเร็วต่ำสุดของการเกิดสภาวะฟลูอิดไดซ์ที่จุดที่การเปลี่ยนแปลงความดันสูญเสียเริ่มมีค่าคงที่

3.4.2 การหาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดฟลูออไรด์ โดยการตกผลึกในกระบวนการฟลูอิดไดซ์เบด ขั้นตอนการทดลองมีดังต่อไปนี้

1. นำทรายกรองที่คัดขนาดแล้ว บรรจุในคอลัมน์ที่มีความสูง 0.5 ม.
2. เตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ของฟลูออไรด์ที่มีความเข้มข้น 50 มก. ต่อ ลิตร
3. หาปริมาณของ NaOH ที่ต้องการใช้ในการที่จะทำให้ น้ำเสียสังเคราะห์ปริมาณ 1 ลิตร มีค่าพีเอช 7 โดยการไตเตรท
4. หาปริมาณของ CaCl₂ ที่ต้องการใช้ในการที่จะทำให้ปริมาณแคลเซียมเท่ากับ 1.5 เท่าของปริมาณฟลูออไรด์
5. หาอัตราการจ่ายสารเคมีของเครื่องสูบสารเคมี (2) และ (12)
6. คำนวณหาปริมาณ NaOH และ CaCl₂ ที่ต้องการใช้ทั้งหมดโดยใช้ข้อมูลจากข้อ 3, 4 และ 5 ใส่ในถังเก็บสารเคมี (1)
7. ป้อนน้ำเสียโดยเปิดเครื่องสูบน้ำเสีย (6) ด้วยความเร็วน้ำไหลขึ้น 1.5 เท่าของค่าความเร็วต่ำสุดในการเกิดสภาวะเสมือนของไหล (V_{m}) ที่หาได้จากการทดลองและจ่ายสารเคมีโดยเครื่องสูบสารเคมี (2) และ (12) เข้าสู่ถังปฏิกรณ์ โดยป้อนน้ำเสียเป็นเวลา 3 ชั่วโมง
8. ตรวจสอบค่าพีเอชโดยใช้พีเอชมิเตอร์และคอยปรับอัตราการจ่าย NaOH ของเครื่องสูบสารเคมีให้ได้ค่าพีเอชที่ต้องการ
9. เก็บตัวอย่างน้ำออกจากกระบวนการฟลูอิดไดซ์เบด ก่อนและหลังผ่านกระบวนการกรองไปวิเคราะห์
10. ทำการทดลองซ้ำโดยปรับความเข้มข้นฟลูออไรด์ในน้ำเข้าเป็น 100, 200, 300 และ 400 มก./ล. ความสูงทราย 1.0, 1.5 และ 2.0 ม. พีเอช 7.5, 8.0, 8.5 และ 9.0 ตามลำดับ

จากการทดลองเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ข้างต้น จะได้การทดลองทั้งสิ้น 100 การทดลอง โดยจากการทดลองในระยะแรกพบว่า น้ำที่ผ่านการกำจัดฟลูออไรด์ยังมีความเข้มข้นฟลูออไรด์คงเหลืออยู่และค่าของแข็งแขวนลอยก็มียาก จึงทำการเพิ่มถังกรองทรายชนิดกรองเร็ว ตามหลังกระบวนการตกผลึกในฟลูอิดไดซ์เบด (Post filtration)

3.5 การวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของน้ำ

การวิเคราะห์ลักษณะสมบัติต่างๆของน้ำ หน่วยที่ใช้ และความถี่ในการเก็บตัวอย่างน้ำมีดังนี้

ตารางที่ 3.2 รายละเอียดการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของน้ำ และการเก็บตัวอย่างน้ำ

ตัวแปรที่วิเคราะห์	หน่วย	วิธีวิเคราะห์	จุดเก็บตัวอย่าง	
			น้ำดิบ	น้ำที่บำบัดแล้ว
ความกระด้าง	มก./ล. (หินปูน)	EDTA	A	C
ความเป็นด่าง	มก./ล. (หินปูน)	INDICATOR	A	C
ฟลูออไรด์	มก./ล.	SPADNS	A	B
พีเอช		pH Meter	A	B

หมายเหตุ A = ตัวแปรที่วิเคราะห์ 1 ครั้ง

B = ตัวแปรที่วิเคราะห์หลังจากเริ่มทดลอง 5, 10, 20, 40, 60 นาที และทุกๆ 30 นาที

C = ตัวแปรที่วิเคราะห์หลังจากเริ่มทดลอง 5, 20, 60 นาที และทุกๆ 60 นาที

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย