



### บทที่ 3

## การดำเนินการวิจัย

### แผนการวิจัย

การทดลองทั้งหมด กระทำในห้องปฏิบัติการของกองควบคุมคุณภาพน้ำ การประปาส่วนภูมิภาค โดยน้ำดิบที่ใช้เป็นน้ำใต้ดินสังเคราะห์ ศึกษาทดลองการเติมสารควบคุม ได้แก่ สารซิลิเกตและสารโพลีฟอสเฟตเพื่อรักษาเสถียรภาพของเหล็กในน้ำ มิให้เกิดการตกตะกอนในช่วงเวลาที่กำหนดเป็นเวลากักน้ำ (Retention Time) ภายหลังจากการเติมคลอรีนเพื่อฆ่าเชื้อโรค โดยได้ทำการทดลองเป็น 2 ระยะ ภายหลังจากที่ได้มีการปรับปรุงแก้ไขค่าตัวแปรต่าง ๆ เพื่อความเหมาะสม

### ค่าตัวแปรในการทดลอง

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาถึงประสิทธิภาพของการควบคุมเหล็กในน้ำใต้ดินโดย สารละลายโซเดียมซิลิเกต และสารละลายโพลีฟอสเฟต ดังนั้น จึงกำหนดค่าตัวแปรที่แปรเปลี่ยนได้ ดังนี้

1. ปริมาณเหล็กในน้ำเริ่มต้นในน้ำดิบสังเคราะห์ ที่แปรเปลี่ยนสำหรับสารควบคุมแต่ละชนิดซึ่งได้แก่สารละลายโซเดียมซิลิเกตและสารละลายโพลีฟอสเฟต โดยกำหนดค่าความเข้มข้นของเหล็กในน้ำตั้งแต่ 0.5 0.75 1.00 1.25 และ 1.50 มก./ล. ตามลำดับ

2. ปริมาณสารควบคุมที่แปรเปลี่ยน เพื่อทำการควบคุมปริมาณเหล็กในน้ำใต้ดิน ได้แก่

- สารละลายซิลิเกตที่มีค่าความเข้มข้นตั้งแต่ 5 10 15 20 มก./ล. และเพิ่ม

เติม 60 มก./ล. สำหรับการทดลองระยะที่ 1.

- สารละลายโพสเฟตที่มีค่าความเข้มข้นตั้งแต่ 5 10 15 20 มก./ล. และเพิ่มเติม 60 มก./ล. สำหรับการทดลองระยะที่ 1

3. วิธีการเติมสารละลายคลอรีน เมื่อเลือกใช้ชนิดของสารควบคุม

- สารละลายซิลิเกต จะเติมสารละลายคลอรีนลงไปก่อนการเติมสารละลายซิลิเกตประมาณ 15-30 วินาที และเพิ่มเติมสารละลายคลอรีนลงไปหลังการเติมสารละลายซิลิเกตประมาณ 15-30 วินาที ในการทดลองระยะที่ 1

- สารละลายโพสเฟต จะเติมสารละลายคลอรีนลงไปหลังการเติมสารละลายโพสเฟต ประมาณ 15-30 วินาที

4. เวลาที่ใช้ในการกวน เพื่อให้มีเวลาในการเกิดปฏิกิริยา (Reaction Time) เพื่อให้ถึงสมดุล โดยใช้เวลากวนดังนี้

- การทดลองระยะที่ 1 ใช้เวลากวน 5 นาที
- การทดลองระยะที่ 2 ใช้เวลากวน 60 นาที

5. ชนิดของน้ำที่ใช้เตรียมน้ำดิบสังเคราะห์

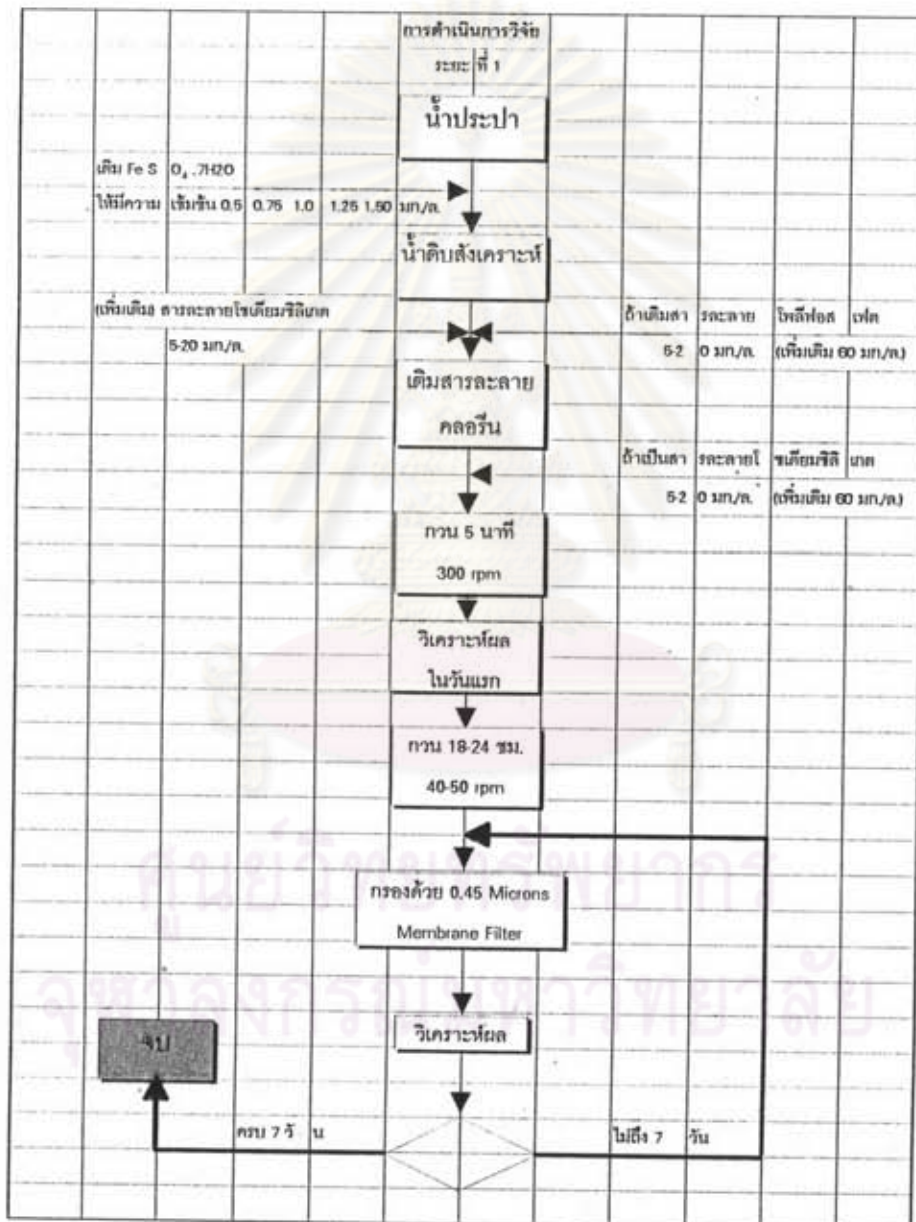
- การทดลองระยะที่ 1 ใช้น้ำประปา
- การทดลองระยะที่ 2 ใช้น้ำกลั่น

ลำดับการทดลอง

การทดลองแบ่งเป็น 2 ระยะ

1. การทดลองระยะที่ 1

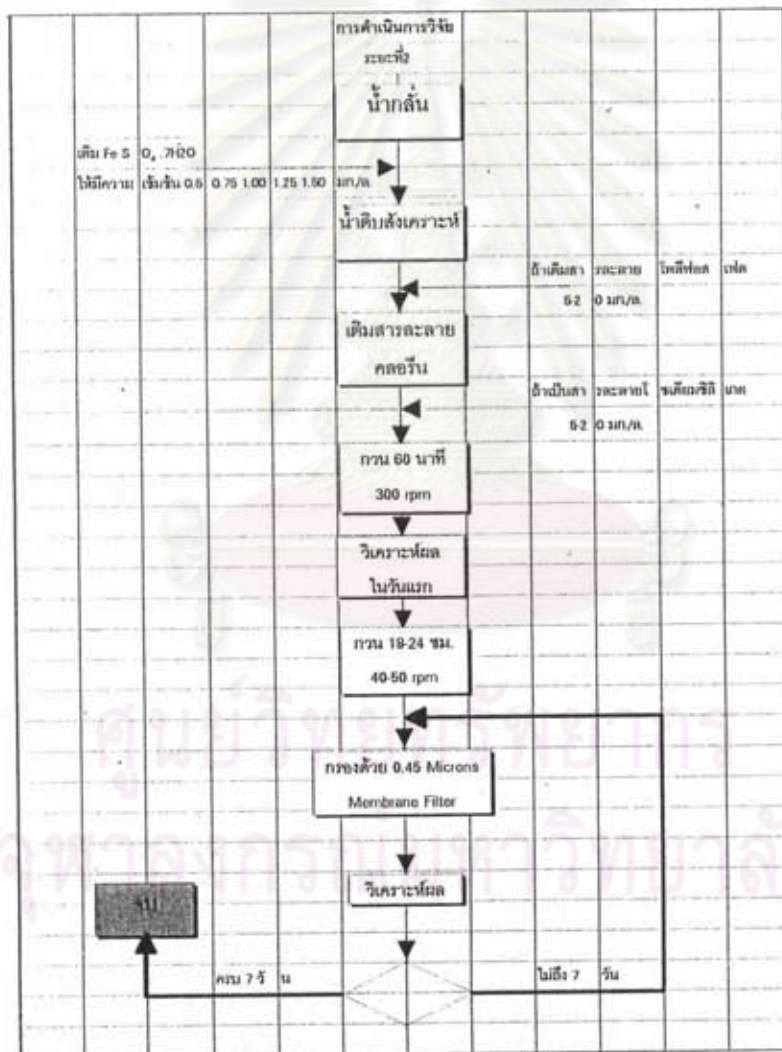
การทดลองในระยะนี้ได้ดำเนินการวิจัย ตามแผนการวิจัย และ ขอบเขตการวิจัยที่เคยเสนอตามโครงร่างวิทยานิพนธ์ โดยใช้น้ำประปาผสมสารเฟอร์รัสซัลเฟตให้เป็นน้ำดิบสังเคราะห์ให้เวลาทวนเร็วให้เกิดปฏิกิริยาประมาณ 5 นาที เติมสารละลายคลอรีนใน ปริมาณ 2 มก./ล. เมื่อเลือกเติมสารสร้างเสถียรภาพ จะวิเคราะห์ตัวแปรต่างๆ โดยใช้เวลาประมาณ 7 วัน



รูปที่ 3.1 แผนผังการทดลองระยะที่ 1

2. การทดลองระยะที่ 2

การทดลองในระยะนี้ได้ดำเนินการวิจัยโดยทำการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรต่างๆ ที่คาดว่าจะมีผลต่อการควบคุมเหล็กในน้ำใต้ดินสังเคราะห์ ได้แก่ ใช้น้ำกลั่นผสมสารเฟอร์ริสซัลเฟต ให้เป็นน้ำดิบสังเคราะห์ ใช้เวลาทวนเร็วให้เกิดปฏิกิริยา ประมาณ 60 นาที เติมสารละลายคลอรีนในปริมาณ 2 มก./ล. เมื่อเลือกเติมสารสร้างเสถียรภาพ จะวิเคราะห์ตัวแปรต่างๆ โดย ใช้เวลาประมาณ 7 วัน และเพิ่มเวลาศึกษาวิเคราะห์เป็นประมาณ 30 วัน เมื่อเติมสารละลายซิลิเกตที่ความเข้มข้น 20 มก./ล.



รูปที่ 3.2 แผนผังการทดลองระยะที่ 2

## วัสดุและอุปกรณ์ในการวิจัย

### 1. เครื่องกวน

เครื่องกวนที่ใช้ในการทดลองจะใช้ 2 แบบ คือ

1.1 เครื่องกวนแม่เหล็ก (Magnetic Stirrer) ใช้ยี่ห้อ Heidolph รุ่น MR 2002 โดยใช้ในช่วงการเติมสารเคมีต่างๆ และกวนเร็วให้มีเวลาในการทำปฏิกิริยา (Reaction Time) ซึ่งสามารถใช้งานได้ดีกว่าเครื่องจาร์เทสต์ ใช้เวลา 5 นาที ในการทดลองระยะที่ 1 และใช้เวลา 60 นาที ในการทดลองระยะที่ 2 เลือกใช้ความเร็วในการกวนเร็วประมาณ 300 รอบต่อนาที

1.2 เครื่องกวนแบบจาร์เทสต์ใช้ยี่ห้อ Phipps & Bird รุ่น Model 302 ใช้สำหรับการกวนช้าๆ ต่ออีก 18-24 ชั่วโมง เพื่อให้ถึงสมดุลย์ โดยใช้ความเร็วรอบ 40-50 รอบ/นาที

### 2. เครื่องกรอง

การกรองน้ำตัวอย่างเพื่อหาปริมาณเหล็กในน้ำจะใช้เครื่องกรองแบบสุญญากาศแบบ Vacuum Pump ยี่ห้อ Gast รุ่น Model 0211-V45M ขนาด 1/6 แรงม้า พร้อม กรวยกรองเหล็กไร้สนิมโดยใช้กระดาษกรองแบบเมมเบรน ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 47 มม. และมีขนาด Pore size 0.45 ไมครอน

## การเตรียมน้ำดิบสังเคราะห์และสารเคมี

การเตรียมน้ำดิบสังเคราะห์และสารเคมี สามารถดำเนินการได้ดังนี้

### 1. น้ำดิบสังเคราะห์

น้ำดิบสังเคราะห์ที่ใช้ในการทดลอง เตรียมจากน้ำประปาซึ่งมีเหล็กในปริมาณต่ำใน

การทดลองระยะที่ 1 และเปลี่ยนใช้น้ำกลั่น ในการทดลองระยะที่ 2 นำมาเติมสารเคมีคือ เฟอร์รัสซัลเฟต ( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) ซึ่งเตรียมให้อยู่ในรูปสารละลาย โดยจะเตรียมให้น้ำดิบ สังกะระหที่ที่มีปริมาณเหล็ก 0.5 0.75 1.00 1.25 1.50 มก./ล. ตามลำดับ

## 2. สารเคมี

### 2.1 การเตรียมสารละลายเหล็ก

สารละลายเหล็กเฟอร์รัสซัลเฟตเตรียมโดยละลายเฟอร์รัสซัลเฟต ( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) 9.9561 กรัมในน้ำกลั่น แล้วเติมกรดเกลือเข้มข้น 20มล.(เพื่อป้องกันการตกผลึกของเหล็ก) แล้วเจือจางให้ได้ปริมาตร 1 ลิตร สารละลายสต็อกเหล็กนี้จะมีค่าความเข้มข้น 2,000 มก./ล. เมื่อจะนำสารละลายสต็อกไปใช้ในการเตรียมสารละลายมาตรฐาน ต้องใช้ปริมาณ สารละลายสต็อกเหล็ก 5 มล. แล้วเจือจางด้วยน้ำกลั่นให้ใช้ปริมาตร 1 ลิตร จะได้สารละลายมาตรฐานความเข้มข้น 10 มก/ล. การเตรียมน้ำดิบสังเคราะห์จากน้ำกลั่นให้มีความเข้มข้น 0.5 0.75 1.00 1.25 และ 1.50 มก/ล. จะต้องใช้ปริมาณสารละลายเหล็ก มาตรฐาน 50 75 100 125 และ 150มล. ตามลำดับ ส่วนการใช้น้ำประปาในการเตรียมน้ำดิบสังเคราะห์ จะเติมสารละลายมาตรฐานเหล็กลงไปอีก 35 60 85 115 และ 135 มล. ตามลำดับ เนื่องจากในน้ำประปามีเหล็กอยู่แล้วในปริมาณ 0.15 มก/ล. จากนั้นเจือจางด้วยน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร1ลิตร จะได้สารละลายเฟอร์รัสซัลเฟตที่มีความเข้มข้นตั้งแต่ 0.5-1.50 มก./ล. ตามต้องการ

### 2.2 สารละลายโซเดียมซิลิเกต

ละลายสารโซเดียมเมตาซิลิเกตแอนไฮดรัส ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) 2.23 กรัม ในน้ำกลั่นเจือจางให้มีปริมาตร 1 ลิตร จะได้สารละลายโซเดียมซิลิเกตที่มีความเข้มข้น 1,000 มก./ล. เก็บในขวดพลาสติกปิดฝาให้แน่น

### 2.3 สารละลายโพสเฟต

ละลายสารโปแตสเซียมฟอสเฟต ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ) 4.39 กรัม ในน้ำกลั่นเจือจางให้มีปริมาตรเป็น 1 ลิตร จะได้สารละลายโพสเฟต ที่มีความเข้มข้น 1000 มก./ล.

### 2.4 สารละลายคลอรีน

ละลายผงปูนคลอรีน (60% Calcium Hypochlorite) 3.33 กรัม ในน้ำกลั่นเจือจางให้มีปริมาตรเป็น 1 ลิตรจะได้สารละลายคลอรีนที่มีความเข้มข้น 2,000 มก./ล.

### 2.5 สารละลายรีเอเจนท์

สารละลายรีเอเจนท์อื่น ๆ เช่น สารละลายไฮดรอกซีลามีเน สารละลายแอมโมเนียมอะซิเตทบัฟเฟอร์ สารละลายฟีนอล์ฟทาลีน ฯลฯ เตรียมตามที่ระบุใน หนังสือ Standard - Methods

### การดำเนินการทดลอง

ในการวิจัยได้แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วนดังนี้

#### 1. การดำเนินการทดลองระยะที่ 1

การทดลองในลำดับนี้ เป็นการหาประสิทธิภาพของการควบคุมเหล็กในน้ำดิบส่งเคราะห์ที่เตรียมจากน้ำประปา โดยเติมสารควบคุมคือสารละลายซิลิเกตและสารละลายโพสเฟต ทั้งก่อนและหลังการเติมสารละลายคลอรีน โดยใช้เวลาในการกวนให้มีเวลาในการทำปฏิกิริยา 5 นาที

## 1.1 วิธีการดำเนินการทดลองระยะที่ 1

1.1.1 ใช้น้ำประปา ซึ่งมีเหล็กในปริมาณประมาณ 0.15 มก./ล. นำมาเติมสารเคมีคือเฟอร์รัสซัลเฟต ( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) โดยผสมให้มีความเข้มข้นในแต่ละการทดลองในปริมาณ 0.50 0.75 1.00 1.25 และ 1.50 มก./ล. ตามลำดับ

1.1.2 เติมสารควบคุมที่กำหนดไว้ คือสารละลายโซเดียมซัลเฟตในปริมาณ 5 10 15 20 มก./ล. และ 60 มก./ล. และเติมสารละลายโพสเฟต ในปริมาณ 5 10 15 20 มก./ล. และ 60 มก./ล. ตามลำดับ โดยวิธีการเติมจะทำการเติม 2 แบบ คือ การเติมสารควบคุมก่อนสารละลายคลอรีน ประมาณ 15 วินาที และการเติมสารควบคุมหลังสารละลายคลอรีน ประมาณ 15 วินาที โดยเติมสารละลายคลอรีน ในอัตรา 2 มก./ล. การเติมสารควบคุมจะเติมทีละ 0.5 มล. ทุกๆ 3-5 วินาที

1.1.3 กวนด้วยเครื่องกวนแม่เหล็ก ที่ความเร็วประมาณ 300 รอบ/นาที ประมาณ 5 นาที

1.1.4 เริ่มดำเนินการวิเคราะห์ตัวแปรต่าง ๆ

1.1.5 ตั้งกวนทิ้งไว้ 18-24 ชั่วโมง ด้วยเครื่องกวนแบบจาร์เทสต์ ด้วยความเร็วรอบประมาณ 30-40 รอบ/นาที

1.1.6. วิเคราะห์ตัวแปรต่าง ๆ โดยดำเนินการทดลองแบบทีละเท (Batch Test) ทุกวันเป็นเวลาประมาณ 7 วัน โดยยกเว้นติดวันหยุดอาจเลื่อนไปเพื่อความเหมาะสม

## 2. การดำเนินการทดลองระยะที่ 2

การทดลองในลำดับนี้ เป็นการทดลองหาประสิทธิภาพในการควบคุมเหล็กในน้ำดิบ สังกะสีที่เตรียมจากน้ำกลั่นโดยเติมสารละลายโซเดียมซัลเฟตหลังการเติมสารละลายคลอรีน และเติมสารละลายโพสเฟตก่อนการเติมสารละลายคลอรีน โดยใช้เวลาในการกวนให้เกิดปฏิกิริยา (Reaction Time) ประมาณ 60 นาที



## 2.1 วิธีการดำเนินการทดลองระยะที่ 2

2.1.1 ใช้น้ำกลั่น นำมาเติมสารเคมี คือ เฟอร์ริซัลเฟต ให้มีความเข้มข้นตั้งแต่ 0.50 0.75 1.00 1.25 1.50 มก./ล. ตามลำดับ

2.1.2 เติมสารควบคุมที่กำหนดไว้ คือ สารละลายโซเดียมซิลิเกต ในปริมาณ 5 10 15 20 มก./ล. และสารละลายโพสเฟต ในปริมาณ 5 10 15 และ 20 มก./ล. ตามลำดับ โดยวิธีการเติมจะเติมสารละลายโซเดียมซิลิเกตหลังการเติมสารละลายคลอรีน ประมาณ 15 วินาที และเติมสารละลายโพสเฟตก่อนการเติมสารละลายคลอรีนประมาณ 15 วินาที โดยเติมสารละลายคลอรีนในอัตรา 2 มก./ล. การเติมสารควบคุมจะเติมทีละ 0.5 มล. ทุก ๆ 3-5 วินาที

2.1.3 กวนด้วยเครื่องกวนแม่เหล็ก ที่ความเร็วประมาณ 300 รอบ/นาที ประมาณ 60 นาที

2.1.4 เริ่มดำเนินการวิเคราะห์ตัวแปรต่าง ๆ

2.1.5 ตั้งกวนทิ้งไว้ 18-24 ชั่วโมง ด้วยเครื่องกวนแบบจาร์เทสต์ ด้วยความเร็วรอบประมาณ 30-40 รอบ/นาที

2.1.6 วิเคราะห์ตัวแปรต่าง ๆ โดยดำเนินการทดลองแบบทีละเท (Batch Tests) ทุกวัน เป็นเวลา 7 วัน และเพิ่มเวลาดำเนินการวิเคราะห์เป็นประมาณ 30 วัน เมื่อเติมสารละลายโซเดียมซิลิเกตที่มีความเข้มข้น 20 มก./ล.

### การวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของน้ำ

การวิเคราะห์ลักษณะสมบัติต่างๆของน้ำ หน่วยที่ใช้และความถี่ในการเก็บตัวอย่างน้ำมีดังนี้

ตารางที่ 3.1 รายละเอียดการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของน้ำและการเก็บตัวอย่างน้ำ

ลำดับ ที่	ตัวแปร	หน่วย	วิธีวิเคราะห์	ตำแหน่งของการเก็บตัวอย่าง	
				ตำแหน่งของการเก็บตัวอย่าง	หมายเหตุ
1	เหล็กรวม	มก./ล.	พีแนนโทรลีน AAS*	A	*ใช้กับน้ำดิบสัง
2	เหล็กละลายน้ำ	มก./ล.	พีแนนโทรลีน AAS*	B	เคราะห์ที่เดิม
3	ออกซิเจนละลายน้ำ	มก./ล.	เมมเบรนอิเล็กโทรด	A/B	สารละลายโพสิฟอสเฟต
4	ความเป็นต่าง	มก./ล. หินปูน	วิธีอินดิเคเตอร์	A/B	
5	อุณหภูมิ	°C	เมมเบรนอิเล็กโทรด	A/B	
6	ค่าพีเอช	-	พีเอชมิเตอร์	A/B	
7	สี	Units	สเปคโตรโฟโตมิเตอร์	A/B	

A = ตัวแปรที่วิเคราะห์ 1 ครั้ง ก่อนทำการกรองในวันแรก

B = ตัวแปรที่วิเคราะห์หลังการกรอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย