บทที่ 3

การดำเนินการวิจัย

แผนการวิจัยและลำดับการทดลอง

การทำการทดลองครั้งนี้ ได้ทำการทดลองที่ห้องปฏิบัติการ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยแบ่งลำดับการดำเนินการออกเป็น การเตรียมการเบื้องต้น และการทดลองสมานตะกอน

การเตรียมการเบื้องต้น

เป็นการเตรียมการและทดลองให้ทราบค่าตัวแปรคงที่ เช่น ชนิดของวัตถุที่จะใช้เป็นตัวกลาง ค่าความสูงของตัวกลางในสภาวะนิ่ง

การเลือกวัสดุที่จะใช้เป็นตัวกลาง

คุณสมบัติของวัตถุที่จะนำมาใช้เป็นตัวกลาง มีเกณฑ์การพิจารณาดังนี้

1. ตัวกลางจะต้องมีขนาดและค่าความหนาแน่นไม่มากจนเกินไป จนกระทั่งเมื่ออยู่ในสภาวะเสมือนการไหล เกิดความปั่นป่วนมากทำให้เกิดฟล็อคได้ไม่ดี นอกจากนี้แล้ว ตัวกลางจะต้องมีความเร็วปลาย (terminal velocity) มากพอควรเพื่อจะได้อัตราการผลิตน้ำที่สูงโดยไม่หลุดออกจากถังปฏิกริยา จากการทดลองของ AG Bhole และคณะ (1975) โดยใช้ทรายขนาด 2.68 เป็นตัวกลาง พบว่า เกิดความปั่นป่วนสูงจนเกินไป จึงน่าจะใช้กับวัสดุที่มีความหนาแน่นน้อยกว่า ดังนั้น ในการวิจัยครั้งนี้ จึงเลือกใช้ถ่านแอนทราไซด์ที่มีความหนาแน่นประมาณ 1.4 ถึง 1.5 กรัม/ลบ.ซม.

2. ตัวกลางจะต้องไม่ทำให้เกิดมลภาวะแก่น้ำ

การเลือกความสูงของชั้นตัวกลางในสภาวะนิ่ง ความสูงของชั้นตัวกลางในสภาวะนิ่งได้ถูกกำหนดให้เป็นตัวแปรคงที่ ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยจะทำการทดลองเบื้องต้น เพื่อหาความสูงของตัวกลางในสภาพนิ่งที่เหมาะสม โดยกำหนดค่าความเข้มข้นสารส้มและความเข้มข้นสารโพลิเมอร์เป็นค่าคงที่ และพิจารณาค่าความขุ่นที่เหลือ

การทดลองสมานตะกอน

ทดลองสมานตะกอนโดยใช้เครื่องสมานตะกอนโดยใช้ตัวกลางฟลูอิดไดซ์ โดยใช้ถ่านแอนทราไซด์เป็นตัวกลาง มีการทดลองทั้งหมด 60 การทดลอง โดยมีการแปรค่าตัวแปรต่างๆ ดังรายละเอียด ต่อไปนี้

ตัวแปร

ตัวแปรในการทดลองประกอบด้วย ตัวแปรคงที่ ตัวแปรอิสระ และตัวแปรตาม

ตัวแปรคงที่

1. ความขุ่นของน้ำขุ่นสังเคราะห์ 50 NTU. ตลอดทุกการทดลอง
2. ความสูงของ ชั้นตัวกลาง 20 ซม.
3. ค่าความเข้มข้นของสารละลายโพลีเมอร์ประจุลบ 0.3 มก./ล.
4. อัตราน้ำล้นผิวของการตกตะกอน หรือ SOR (SURFACE OVERFLOW RATE) มีค่าเท่ากับ 1 ม/ชม. ตลอดการทดลอง

ตัวแปรอิสระ

1. ขนาดตัวกลางที่ทำการทดลอง 3 ขนาด คือ 0.36 มม., 0.72 มม., 1.44 มม.

2. ความเข้มข้นของสารส้มจำนวน 4 ค่าคือ 10 มก./ล., 15 มก./ล., 20 มก./ล., 30 มก./ล.

3. ค่าการขยายตัวของตัวกลาง 5 ค่า คือ 20%, 30%, 45%, 60%, 75%

ตัวแปรตาม

1. ความขุ่นที่เหลือ (residual turbid)

2. ความเร็วไหลขึ้น (upflow velocity)) เพื่อให้เกิดการขยายตัวของชั้นตัวกลาง

วัสดุและอุปกรณ์ในการทดลอง

วัสดุที่ใช้ในการทดลองได้แก่ น้ำขุ่นสังเคราะห์ สารเคมี ถ่านแอนทราไซด์ อุปกรณ์ได้แก่ อุปกรณ์สมานตะกอน อุปกรณ์สำหรับเก็บตัวอย่าง และเครื่องมือวิเคราะห์

น้ำขุ่นสังเคราะห์

น้ำขุ่นสังเคราะห์ที่ใช้ในการทดลอง ได้จากการนำดินคาโอลินละลายน้ำ เนื่องจากอนุภาคของแร่ดินเหนียวที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ ที่ทำให้น้ำขุ่นจะอยู่ในช่วงอนุภาคคอลลอยด์ คือมีขนาด 0.001 ถึง 1 ไมครอน ดังนั้น เพื่อให้ขนาดของอนุภาคของดินคาโอลิน อยู่ในช่วงของอนุภาคคอลลอยด์จึงต้องทำการคัดขนาด โดยปล่อยให้อนุภาคดินคาโอลิน ตกตะกอนในน้ำนิ่งตามความลึกและเวลาที่คำนวนจากสมการการตกตะกอนแบบโดดของ Stoke ดังนี้

$$V_s = \frac{g\,(\rho_p - \rho)\,d^2}{18\mu}$$

โดยที่ V_s = ความเร็วในการจมตัวแบบอิสระของอนุภาค, ม./วท.

ρ_p = ความหนาแน่นของอนุภาค กก./ลบ.ม.

ρ = ความหนาแน่นของน้ำ กก./ลบ.ม.

d = ขนาดของอนุภาค ม.

μ = ความหนืดสัมบูรณ์ของน้ำ, นิวตัน-วินาที/ม.^{2}

g = ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก ม./วท.^{2}

จากการคำนวณพบว่าอนุภาคดินคาโอลิน ขนาด 1 ไมครอน จะมีความเร็วในการตกตะกอน 7.2 ซม./วัน ดังนั้นถ้าปล่อยให้อนุภาคดินคาโอลินตกตะกอน อยู่ในน้ำนิ่งเป็นเวลา 2 วัน อนุภาคที่ยังลอยอยู่ที่ระดับผิวน้ำจนถึง 14.40 ซม. จากผิวน้ำลงมา จะมีขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอน โดยสรุปแล้วขั้นตอนการเตรียมน้ำขุ่นสังเคราะห์มีดังนี้

1. นำดินคาโอลิน มาผสมน้ำ แล้วกวนให้เป็นเนื้อเดียว เพื่อให้อนุภาคดินคาโอลินกระจายได้อย่างทั่วถึง

2. ปล่อยให้ตกตะกอนเป็นเวลา 48 ชม.

3. ดูดน้ำตัวอย่างออกด้วยวิธีกาลักน้ำ โดยเริ่มดูดจากตำแหน่งที่ลึกจากผิวน้ำเท่ากับ 14.40 ซม.

4. ทำการเจือจางน้ำขุ่นสังเคราะห์ด้วยน้ำประปา จนกระทั่งได้ความขุ่น 50 NTU. น้ำขุ่นที่ได้จะเป็นน้ำขุ่นที่ใช้ในการทดลองต่อไป

<u>สารเคมี</u>

1. สารส้ม (aluminium sulfate hexadeca hydrate) มีสูตรเคมี คือ $Al_2(SO_4)_3$ 16 H_2O น้ำหนักโมเลกุล 630.39 เป็นชนิดมาตรฐาน LAB grade ผลิตโดย FLUKA CHEMICAL เตรียมให้มีความเข้มข้น 500 มก./ล.

2. โพลีเมอร์ประจุลบ ผลิตโดย SNF FLOERGER รหัสการค้า AN 923 PG มีลักษณะเป็นผงสีขาว ขนาด 0.5-1.5 มม. ความหนาแน่น 0.7-0.8 ก./ลบ.ซม. เตรียมให้มีความเข้มข้น 70 มก./ล.

3. ดินคาโอลิน เป็นชนิด commercial grade

I16455497X

ตัวกลาง

ตัวกลางที่ใช้ในการทดลองคือถ่านแอนทราไซค์ที่ใช้มีเครื่องหมายการค้า KOWA ATC ขนาด 2.46 มม.-2. นำมาบดโดยใช้เครื่องบดกาแฟโมลีเนค แล้วนำมาร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 12 และให้ค้างบนตะแกรงเบอร์ 16 เพื่อให้ได้ขนาดตัวกลาง 1.44 มม. สำหรับตัวกลางขนาด0.72 มม. ทำได้โดยร่อนตัวกลางที่บดแล้วผ่านตะแกรงเบอร์ 20 และค้างบนตะแกรงเบอร์ 30 สำหรับตัวกลางขนาด 0.36 มม. ทำ ได้โดยร่อนตัวกลางที่บดแล้วผ่านตะแกรงเบอร์ 40 และค้างบนตะแกรงเบอร์ 50 ซึ่งขนาดประสิทธิผลของตะแกรงเบอร์ต่างๆ ได้แสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเบอร์ของตะแกรงและขนาดช่องเปิดตามมาตรฐานของสหรัฐอเมริกา

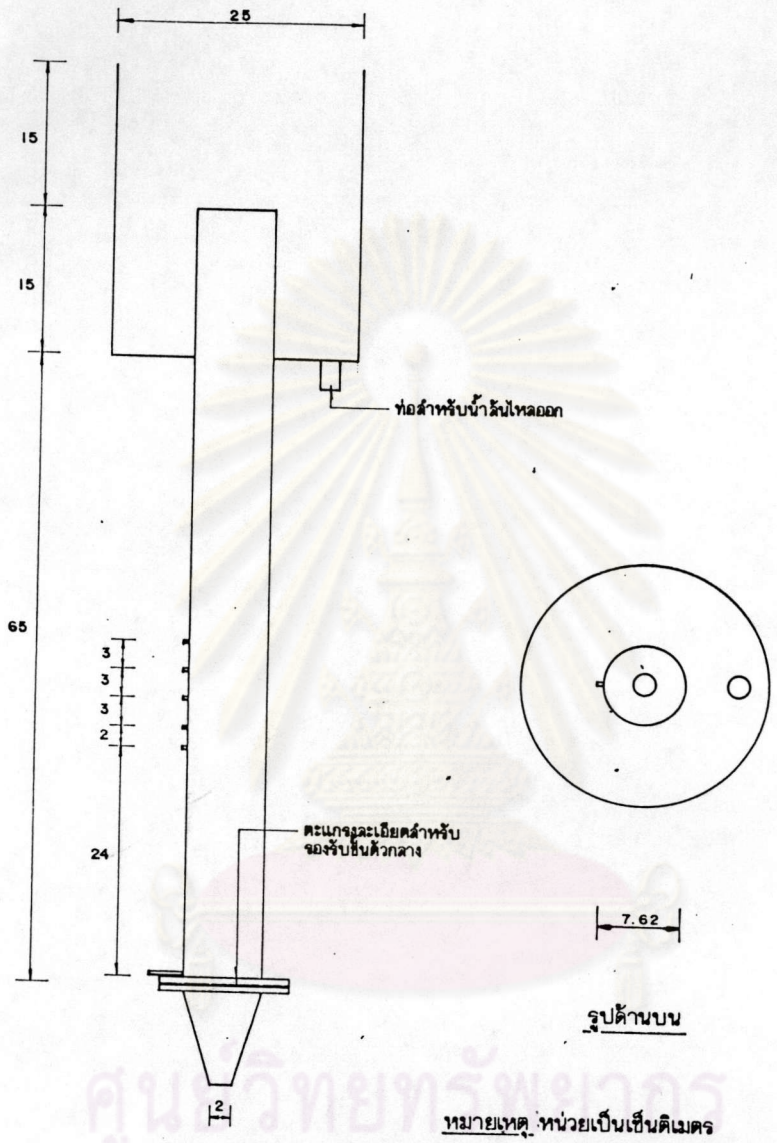
sive no.	sive opening (mm.)
12	1.68
16	1.19
20	0.84
30	0.59
40	0.42
50	0.297

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อุปกรณ์การสมานตะกอน

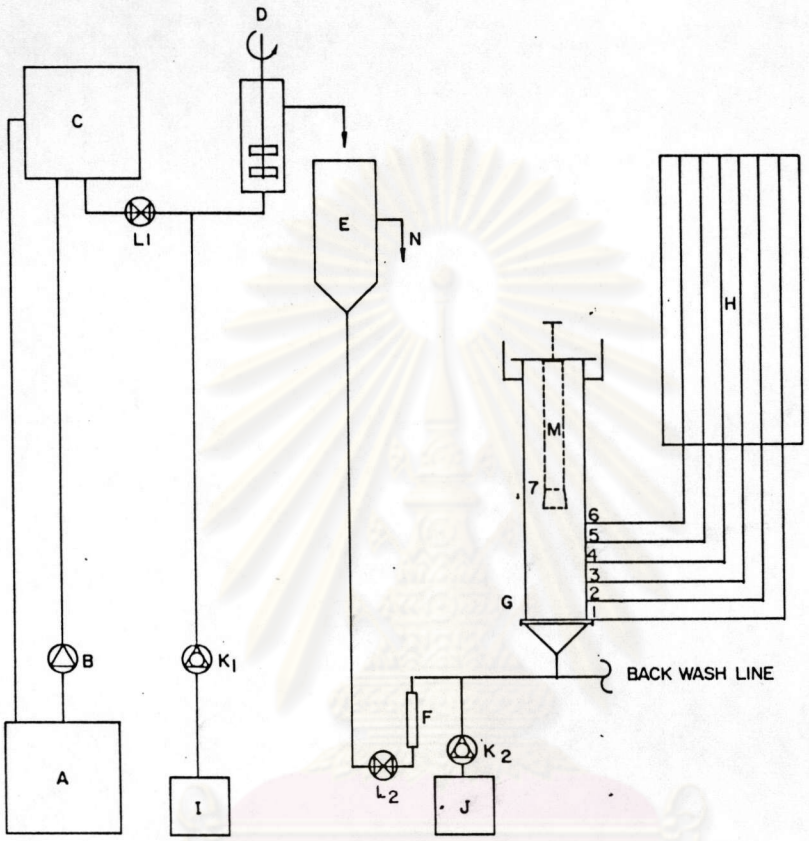
อุปกรณ์ที่ใช้ในการสมานตะกอน ทำด้วยท่อพลาสติกใส เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 7.62 ซม. ดังแสดงรายละเอียดในรูปที่ 3.2 และอุปกรณ์ประกอบการทดลองในรูปที่ 3.3

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.1 อุปกรณ์การสมานตะกอน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



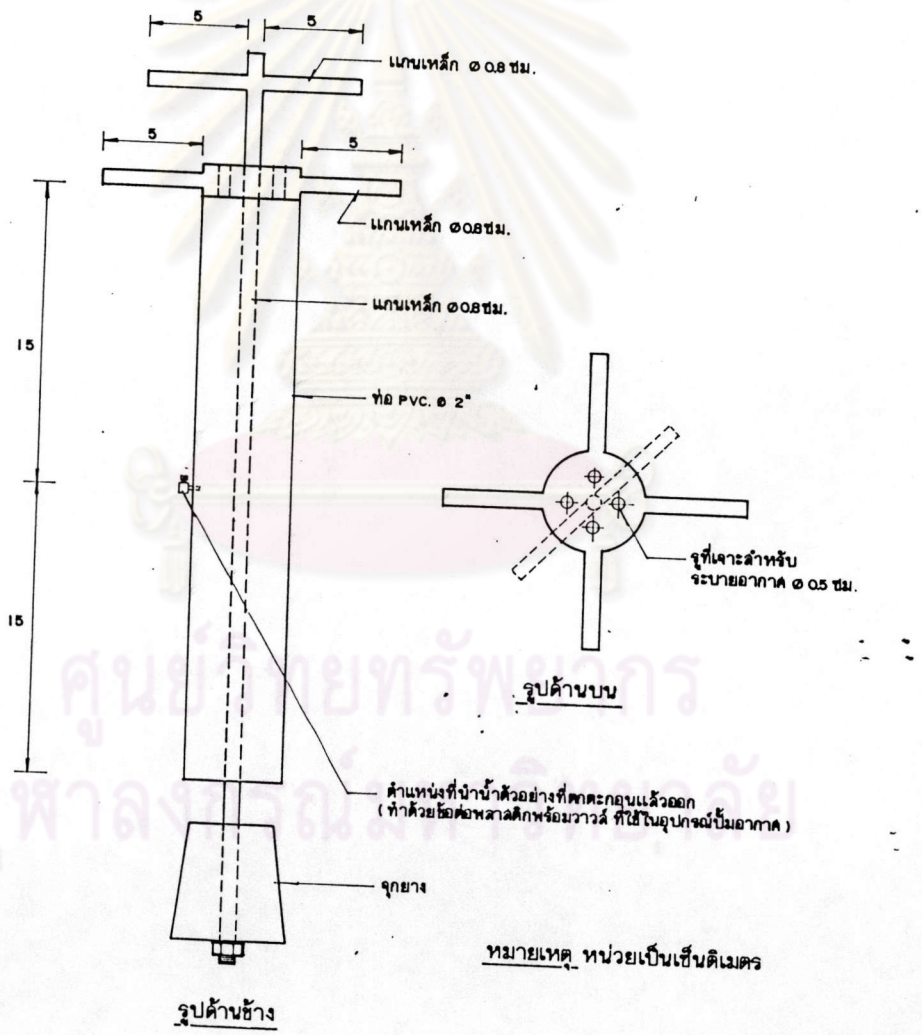
รายการอุปกรณ์ประกอบ

A. ถังเก็บน้ำชุ่นสังเคราะห์	E. ถังใส่อากาศ	I. ถังใส่สารส้ม
B. เครื่องสูบน้ำแบบหอยโข่ง	F. FLOWMETER	J. ถังเก็บโพลิเมอร์
C. ถังสูงที่มีระดับน้ำคงที่	G. เครื่องสมานตะกอน	K_1,K_2 เครื่องสูบน้ำแบบรีดสายยาง
D. ถังกวนเร็ว	H. มาโนมิเตอร์	L_1,L_2 วาวล์ปรับอัตราการไหล
M. อุปกรณ์เก็บตัวอย่าง	1,2,3,4,5,6 ตำแหน่งวัดการสูญเสียเฮด	N. ระบายน้ำทิ้ง
7. ตำแหน่งเก็บตัวอย่าง		

รูปที่ 3.2 อุปกรณ์ประกอบการสมานตะกอน

อุปกรณ์การเก็บตัวอย่าง

ในช่วงแรกก่อนการทำการวิจัย ได้ทำการทดลองการเก็บตัวอย่างของน้ำผลิตที่ผ่านการสมานตะกอนแล้ว ณ จุดออกด้านข้างที่ทำการเจาะไว้ ลงในกระบอกตวงพลาสติกขนาด 500 ลบ.ซม. พบว่า ฟล็อคเกิดการแตก เนื่องจากได้รับการกระทบกระเทือนจากการไหลด้วยความเร็วสูงในท่อเก็บตัวอย่าง จึงได้ทำการพัฒนาอุปกรณ์เก็บตัวอย่างโดยทำการเก็บโดยตรงในถังปฏิกริยาโดยตรง รูปแบบและลักษณะของอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแสดงในรูปที่ 3.4 และแสดงตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างในรูปที่ 3.3



มาตราส่วน 1 : 2.5

รูปที่ 3.3 อุปกรณ์เก็บตัวอย่าง

เครื่องมือวิเคราะห์

ในการวิเคราะห์ตัวแปรตาม คือ ความขุ่นที่เหลือ ความเร็วไหลขึ้น พีเอช การสูญเสียเฮด เครื่องมือวิเคราะห์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ แสดงอยู่ในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.2 เครื่องมือวิเคราะห์ที่ใช้ทดลอง

พารามิเตอร์	เครื่องมือ
1. ความขุ่นที่เหลือ	turbid meter ของ HACH รุ่น 2100 A
2. การสูญเสียเฮด	manometer
3. พีเอช	ph meter ของ BECKMAN รุ่น ZEROMATIC
4. อัตราน้ำล้นผิว	กระบอกตวงขนาด 1000 ลบ.ซม. นาฬิกาจับเวลา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การเดินระบบ

การเดินระบบมีการกระทำเป็นขั้นตอน ดังนี้

1. เปิดเครื่องสูบน้ำเพื่อสูบน้ำชุ่นไปเก็บบนถังสูง จนกระทั่งมีน้ำชุ่นล้นออกมาจากทางระบายน้ำล้นของถังสูง

2. ทำการปรับวาวล์ เพื่อให้ตัวกลางขยายตัวตามขนาดการขยายตัวที่ต้องการ ทิ้งให้ระบบเดินอยู่ประมาณ 15 นาที เพื่อตรวจสอบว่าระดับการขยายตัวของชั้นตัวกลางคงที่หรือไม่

3. ทำการวัดอัตราการไหลของน้ำที่ล้นออกมา และทำการคำนวนอัตราการสูบสารโพลิเมอร์ สำหรับอัตราการสูบสารส้ม เพื่อให้ได้ค่าความเข้มข้นสารส้มต่างๆ ได้ทำการคำนวนจากอัตราการไหลของน้ำเข้าสู่ตัวกวนเร็วซึ่งทำการคำนวนก่อนแล้วและครอบคลุมค่าการขยายตัวของชั้นตัวกลางทุกๆ ค่า

4. เดินเครื่องสูบน้ำแบบรีดสายยางของสารส้ม และโพลิเมอร์

5. เก็บตัวอย่างน้ำเพื่อวัดความชุ่นด้วยอุปกรณ์เก็บตัวอย่างทุก 1 ชั่วโมง

6. เมื่อสิ้นสุดการทดลองที่ชั่วโมงที่ 6 ทำการปิดระบบทั้งหมดเปิดวาวล์ น้ำล้างย้อนซึ่งใช้น้ำประปาในห้องทดลอง ปรับใช้ชั้นตัวกลางขยายตัวประมาณ 15% ถึง 20% ประมาณ 15 นาที และปรับให้ขยายตัวประมาณ 150% หรือ ชั้นตัวกลางอยู่ที่ระดับ 50 ซม. ประมาณ 30 นาที

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การเก็บตัวอย่างน้ำและการวิเคราะห์

การเก็บน้ำตัวอย่าง

การเก็บตัวอย่างน้ำ สำหรับการวิเคราะห์ความขุ่น จะทำการเก็บทุกชั่วโมง หลังจากเริ่มทำการทดลอง โดยทำการเก็บตัวอย่างที่จุดเก็บตัวอย่างดังแสดงในรูปที่ 3.3

การวิเคราะห์น้ำตัวอย่าง

การวิเคราะห์ความขุ่นที่เหลือ จะทำการวิเคราะห์ความขุ่นที่เหลือหลังจากตกตะกอนด้วยอัตราน้ำล้นผิว 1 เมตร/ชม. โดยตกตะกอนในอุปกรณ์เก็บตัวอย่าง ทั้งนี้เพื่อให้ใกล้กับอัตราน้ำล้นผิวที่ใช้ในโรงผลิตประปามีค่าประมาณ 0.8-1.2 ม./ชม. (ศุภวิท เชยะกุล,2531) สำหรับอุปกรณ์เก็บตัวอย่างจะใช้เป็นถังตกตะกอนในตัวเพื่อไม่ให้ฟล็อคกระทบกระเทือนจนแตกก่อน โดยจะเก็บตัวอย่างที่ระดับ 15 ซม. ลงมาจากผิวน้ำ ใช้เวลาในการตกตะกอน 9 นาที เพื่อให้มีอัตราน้ำล้นผิว 1 ม./ชม. (รายการคำนวนอยู่ในภาคผนวก ก1)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย