

ถังตกตะกอน Pulsator Clarifier ประเภท Pressure Type

โดย นายพรศักดิ์ สมรไกรสรกิจ

ส่วนแผนและประเมินผล

กองแผนคุณภาพน้ำ

ฝ่ายคุณภาพน้ำ การประปานครหลวง

1. วัตถุประสงค์ของระบบ

ถังตกตะกอนแบบ Vertical Flow Sludge Blanket หรือ Pulsator Clarifier เป็นถังกลม ภายในติดตั้งช่องรับตะกอนส่วนเกิน ท่อกระจายน้ำดิบทางด้านล่างและท่อรับน้ำใสด้านบน โดยถังตกตะกอนแบบมีชั้นตะกอน (Sludge Blanket) นี้ เป็นแบบที่ไม่ต้องหมุนเวียนตะกอนและต้องรักษาให้มีชั้นตะกอนคงอยู่ตลอดเวลา เป็นเนื้อเดียวกัน ไม่แตกกระจายหรืออัดตัวเกาะกันแน่นบริเวณก้นถัง

น้ำดิบเมื่อจ่ายสารเคมีเพื่อทำลายเสถียรภาพของอนุภาคคอลลอยด์แล้วจะไหลเข้าบริเวณสร้างแรงดันในช่องบริเวณตรงกลางด้านบนถึงหลังจากมีแรงดันน้ำระดับหนึ่งแล้วน้ำจะเกิดการไหลลงด้านล่างด้วยแรงดันดังกล่าวเกิดกระบวนการกวนเร็ว (Flash mixing) ขึ้นในบริเวณนี้และไหลลงด้านล่างถึงผ่านช่องเปิดของท่อกระจายน้ำดิบเริ่มเกิดกระบวนการกวนช้า (Slow mixing) ขึ้นในบริเวณนี้ น้ำดิบจะไหลผ่านชั้นตะกอนเก่าขึ้นไปด้านบน โดยส่วนที่เป็นน้ำใสจะไหลขึ้นด้านบนและเข้าสู่ท่อรับน้ำซึ่งจะเป็นรูรับน้ำและไหลเข้าสู่ถังกรองต่อไป

ถังตกตะกอนมีหน้าที่ทำให้อนุภาคสารแขวนลอยในน้ำ ซึ่งได้ทำปฏิกิริยากับสารเคมีแล้ว มีการรวมตัวกันเป็นอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ขึ้นและตกลงสู่ข้างล่างหรือส่วนที่เป็นชั้นตะกอนทำให้ส่วนที่เป็นน้ำใสแยกออกจากตะกอน เพื่อไหลไปยังถังกรองต่อไป

2. อัตราการผลิตน้ำ

อัตราการผลิตน้ำหน่วยลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง ขึ้นอยู่กับการออกแบบ ยังไม่มีเอกสารยืนยันว่าค่าสูงสุดที่สามารถรับได้ต่อ 1 หน่วยถึงสามารถรับได้เท่าไร

3. หลักการทำงานของถัง Pulsator Clarifier

หลักการทำงานของถังตกตะกอนชนิดนี้ คือเมื่อน้ำดิบผสมกับสารเคมีในท่อน้ำดิบก่อนเข้าสู่ถังตกตะกอน ช่องตรงกลางถึงส่วนด้านบน เพื่อสร้างแรงดัน Pressure Chamber หลังจากนั้นระบบจะสร้าง

พลังงานโดยการใช้ความดันที่เกิดขึ้นจากระดับน้ำที่แตกต่างกันเป็นตัวสร้างแล้วเกิดการกระแทกลงด้านล่างถึง ซึ่งเป็นกระบวนการกวนเร็ว (Flash Mixing) และหลังจากนั้นน้ำจะถูกกระจายออกโดยท่อข้างปลาหรือท่อ lateral pipe น้ำจะออกจากรู orifice port ของท่อข้างปลา ทำหน้าที่กระจายน้ำให้ไหลทั่วพื้นที่ของถัง น้ำใหม่ที่ไหลออกมาจากรู orifice port เล็กๆซึ่งมีการจับรวมตัวกันของอนุภาคคอลลอยด์กับสารเคมีกลายเป็นกลุ่มก้อนของอนุภาคจะไหลไปชนกระบังสามเหลี่ยมเพื่อลดความเร็วน้ำเป็นกระบวนการกวนช้า (Slow Mixing) เมื่อไหลผ่านชั้นตะกอนซึ่งมีการเลี้ยงชั้นตะกอนไว้ (Sludge Blanket) ในส่วนล่างของของถังมีลักษณะเป็นชั้นตะกอนเข้มข้น เพื่อให้เกิดการชนสัมผัสกับตะกอนใหม่กับตะกอนเดิม ซึ่งเป็นแนวกันชนไม่ให้ตะกอนใหม่ไหลขึ้นไปด้านบน ดังนั้นตะกอนเก่าจึงเปรียบเสมือนเป็นแนวกันชนหรือ Barrier Layer นอกจากนี้แล้วชั้นตะกอนยังทำหน้าที่เป็นตัวกรองชั้นต้นโดยจะดักจับตะกอนที่เข้ามาใหม่ เมื่อตะกอนใหม่ไม่สามารถขึ้นไปได้ มีผลทำให้เกิดการเร่งให้มีการรวมตัวของตะกอน เพื่อให้ตะกอนตกและมีแรงเกาะกัน กลายเป็นกลุ่มตะกอนที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ก็จะมีเพียงน้ำส่วนใสเท่านั้นที่สามารถผ่านไปได้น้ำส่วนใสนี้ก็จะไหลขึ้นด้านบนสู่ท่อรับน้ำด้านบนเพื่อไปสู่ถึงกรองต่อไป ในขณะที่เดียวกันตะกอนเก่าบางส่วนจะไหลล้นออกมาทางช่องรับตะกอนส่วนเกินก็จะถูกระบายออกจากถังไป

จากกระบวนการทั้งหมดดังกล่าวทำให้กระบวนการเกิดน้ำใสสามารถทำได้เร็วขึ้น ทำให้อนุภาคชนสัมผัสกันได้มากขึ้น มีการเกาะรวมตัวกลายเป็นกลุ่มก้อนตะกอนได้มากขึ้น ถึงแม้ว่าในน้ำดิบจะมีอนุภาคในปริมาณน้อย ทำให้สามารถรับอัตราการไหลของน้ำได้สูงกว่าถังตกตะกอนโดยทั่วไป

หอสร้างแรงดัน Pressure Chamber ทำงานโดยอาศัยระดับความสูงของน้ำบริเวณถังวงกลมด้านบนนอกของหอสร้างแรงดัน น้ำ service water จะดักอากาศในท่อน้ำบริเวณวงกลมด้านในของหอสร้างแรงดัน เมื่อระดับน้ำในท่อน้ำวงกลมด้านบนสูงขึ้นมาถึงระดับแรงดันที่ตั้งไว้แล้วก็จะเกิดแรงดันผลักดันน้ำในให้ไหลออกไป ทำให้ระดับน้ำถูกผลักดันให้ลดต่ำลง น้ำก็จะไหลเข้าสู่ท่อด้านล่าง เมื่อระดับน้ำในหอสร้างแรงดันต่ำลงจนถึงระดับที่ตั้งไว้ (บริเวณปลายท่อน้ำเข้า) ก็จะเกิดการทำงานในรอบใหม่อีกครั้ง

ระยะเวลาที่น้ำดิบไหลเข้าสู่หอสร้างแรงดัน จนกระทั่งถึงระดับที่จะเริ่มกระบวนการสร้างแรงดัน ประมาณ 20 วินาที และระยะเวลาที่น้ำเกิดกระบวนการสร้างแรงดัน ประมาณ 5 – 10 วินาที ระยะเวลาดังกล่าวนี้สามารถกำหนดได้โดยการปรับวาล์ว และระดับช่องระบายน้ำตรงกลางถัง Pulsator

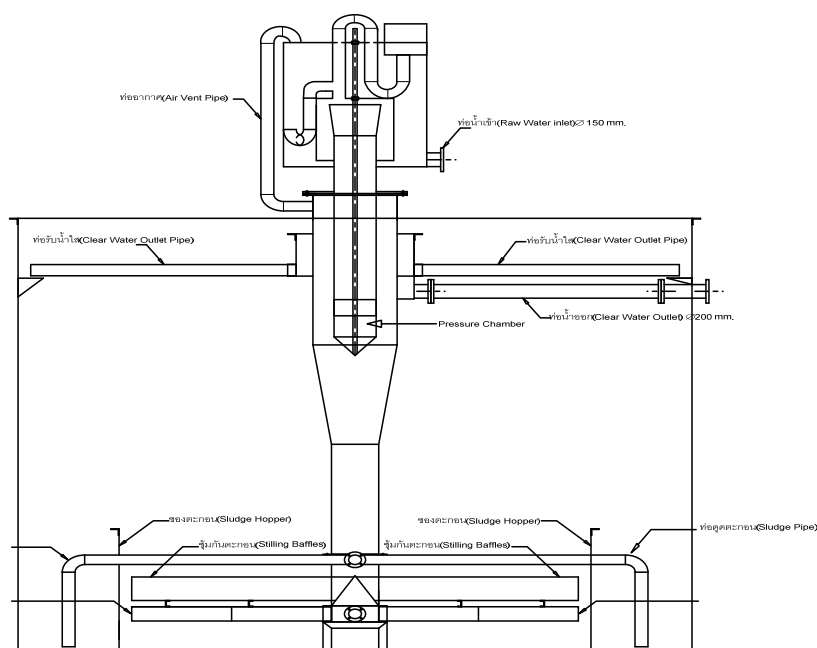
วัตถุประสงค์ของระบบ Pressure Chamber ที่ทำให้เกิดแรงดันที่ความสูงระดับหนึ่งและปล่อยลงด้านล่าง เพื่อให้ น้ำไหลต่อไปยังด้านล่างของถังตกตะกอน มีแรงที่จะทำให้เกิดการเคลื่อนไหวของชั้นตะกอนในถังทำให้ตะกอนมีการเคลื่อนไหวและมีการระบายตะกอนเก่าออกเป็นการป้องกันไม่ให้เกิดการสะสมของตะกอนเก่าอันอาจทำให้เกิดการเน่าเสียในชั้นตะกอนได้และทำให้ชั้นตะกอนเข้มข้นใกล้เคียงกันตลอดทั้งชั้น

การเริ่มใช้งานถังตกตะกอน จำเป็นต้องมีการสร้างชั้นตะกอนขึ้นมาก่อน ซึ่งสามารถทำได้โดยการใช้อัตราการผลิตไม่เกิน 50 % ของอัตราการผลิตสูงสุด ถ้าใช้กำลังการผลิตสูงกว่านี้จะทำให้ตะกอนไม่มีการ

รวมตัวกันอยู่ในถังจะหลุดลอยออกไปกับน้ำ ระยะเวลาการสร้างชั้นตะกอนขึ้นอยู่กับคุณภาพน้ำดิบและปริมาณสารเคมีที่ใช้ อาจใช้เวลาตั้งแต่ 3 ชั่วโมงขึ้นไปแต่โดยทั่วไปแล้วมักไม่เกิน 24 ชั่วโมง

ในกรณีที่ต้องหยุดเดินระบบผลิตเกิน 3 วัน จำเป็นต้องระบายตะกอนในถังทิ้งให้หมด เพื่อป้องกันตะกอนเกิดการเน่าเสีย

ระยะเวลาที่น้ำดิบอยู่ในบริเวณตรงกลางถัง(Flocculation Zone) ประมาณ 20 - 40 นาที โดยทั่วไปใช้ค่า 20 นาที (Integrated design and operation of water treatment facilities, Kawamura) และระยะเวลาของน้ำที่อยู่ในบริเวณ Sedimentation Zone ประมาณ 1 – 2 ชั่วโมง ค่า Surface loading ระหว่าง 2 – 4 เมตร/ชั่วโมง แต่ถ้าต้องการอัตราการผลิตน้ำให้เพิ่มขึ้นโดยใช้ขนาดถังเท่าเดิมสามารถใส่ tube หรือ lamellae module ลงไปในถัง Pulsator จึงเรียกชื่อใหม่ว่า Superpulsator สามารถเพิ่มค่า Surface loading ได้เป็น 4 – 8 เมตร/ชั่วโมง (Water Treatment Handbook, Degremont Volume 2, 1991)



ภาพที่ 1 แสดงโครงสร้างถังตกตะกอนแบบ Pulsator Clarifier (Pressure Type)

4. การเริ่มต้นเดินระบบ Pulsator เบื้องต้น

ตรวจสอบให้แน่ใจว่าเราได้ทำความสะอาดโครงสร้างทั้งหมดในส่วนต่างๆอย่างถูกต้อง โดยเฉพาะอย่างยิ่งด้านล่างของช่องตกตะกอน (Sludge Concentrator) ด้านล่างของถังตกตะกอน ช่องตรงกลางถังส่วนด้านบน เพื่อสร้างแรงดัน Pressure Chamber และอุโมงค์จ่ายน้ำต่างๆ ของโครงสร้างตลอดจนท่อในส่วนอื่นๆ

ทดสอบความดันและการทำงานของวาล์วทิ้งตะกอนอัตโนมัติ (Automatic Sludge Draw-Off Valve) ตลอดจนการหยุดอุปกรณ์อัตโนมัติซึ่งถูกควบคุมโดยวาล์วตัวนี้

การเปิดปิดวาล์วด้วยมือ (Manual Valves) เพื่อที่จะให้น้ำดิบเข้าสู่ถัง Pulsator และเพื่อเป็นการตรวจสอบการทำงานที่เหมาะสมของวาล์วทั้งหมดทุกตัว โดยเฉพาะอย่างยิ่งวาล์วน้ำทิ้ง (Drain valves)



ภาพที่ 2 แสดงโครงสร้างส่วนสร้างแรงดันของถัง Pulsator Clarifier (Pressure Type)

5. การจ่ายน้ำดิบเข้าสู่ถัง Pulsator

เริ่มปล่อยน้ำดิบเข้าถัง Pulsator ขณะเดียวกันให้เริ่มตั้งระบบปั๊มจ่ายสารเคมี ปิดวาล์วน้ำทิ้งต่างๆ หลังจากทำการทดสอบแล้วว่าปกติ เมื่อระดับน้ำในถังตกตะกอนค่อยๆ เพิ่มขึ้น ทำการตรวจสอบว่าไม่มีการรั่วจากผนังหรือวาล์วน้ำทิ้ง ปิด Concentrator drain valves เมื่อทดสอบแล้วว่าทำงานได้ปกติ ปิด Concentrator manual sludge draw-off valve เมื่อทดสอบแล้วว่ามันทำงานได้ปกติ

ให้เริ่มทำการจับเวลาที่ใช้ในการเติมน้ำดิบเข้าระบบเมื่อระดับน้ำสูง 20 เซนติเมตรเหนือ Concentrator weir ข้อสำคัญการจับเวลาต้องทำก่อนที่ระดับน้ำจะสูงถึงระดับต่ำสุดของอุโมงค์

การคำนวณอัตราไหลของน้ำดิบเข้าถึง Pulsator

T = เวลาที่ใช้ในการจ่ายน้ำเข้าถึง Pulsator ให้สูงที่ระดับ 20 เซนติเมตร

S1 = พื้นที่ผิวของถัง Pulsator ทั้งหมด หน่วยเป็นตารางเมตร

S2 = พื้นที่ผิวภายในผนังห้องสร้างแรงดัน หน่วยเป็นตารางเมตร

S3 = พื้นที่ผิวทั้งหมดของเสา หน่วยเป็นตารางเมตร

Q = อัตราน้ำดิบเข้าถึง หน่วยเป็นลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง

การวัดอัตราการไหลของน้ำเข้าถึง Pulsator จะเท่ากับ

$$Q = \frac{(S1 - S2 - S3) \times 0.2 \times 3600}{T} \quad m^3 / hr$$

6. การปรับอัตราการทิ้งตะกอน (Sludge Draw-Off)

เมื่อระดับน้ำขึ้นมาถึงรางรับน้ำในถัง Pulsator ให้หยุดปั๊มจ่ายสารเคมีและหยุดจ่ายน้ำดิบเข้าถึง (ถ้าระดับน้ำขึ้นมาสูงกว่ารางรับน้ำให้ปล่อยน้ำทิ้งเพื่อให้ต่ำกว่าระดับรางรับน้ำ) หลังจากนั้นให้ทำการเปิดวาล์วน้ำทิ้งที่ละตัวนาน 5 นาที และทำการวัดความลึกของน้ำทิ้งที่ออกไป วัดพื้นที่ผิวของถัง Pulsator และให้ลบออกจาก พื้นที่ผิวของเสาและพื้นที่ผิวภายในผนังห้องสุญญากาศและนำไปคูณกับความลึกของน้ำทิ้งที่ออกไป ผลที่ได้คือปริมาตรของน้ำทิ้งที่ 5 นาที ของวาล์วระบายตะกอนแต่ละตัว ด้วยวิธีนี้เราจะสามารถหาอัตราน้ำทิ้งต่อชั่วโมงได้และสามารถหาปริมาตรของน้ำทิ้งในแต่ละครั้งได้เช่นกัน

$$\begin{aligned} \text{พื้นที่ผิว} &= \text{พื้นที่ผิวของถังตกตะกอน} - \text{พื้นที่ผิวของช่องสุญญากาศ} - \text{พื้นที่ผิวเสา} \\ \text{ปริมาตรของน้ำทิ้งที่ 5 นาที} &= \text{พื้นที่ผิว} \times \text{ความลึกของน้ำทิ้ง} \end{aligned}$$

7. การปรับอัตรา Pulsation และเวลาระบายตะกอน

การปรับเวลาเฉลี่ยเมื่อเริ่มแรกคือ

- ระยะเวลาระบายน้ำ(Flushing) : 5 ถึง 10 วินาที

- ระยะเวลายกตัว(Suction) : 20 วินาที

การปรับระยะเวลาการทำ Pulse และความสูงของการ Flush ครั้งสุดท้าย

ถ้าความเข้มข้นของชั้นตะกอนแตกต่างกันไม่เกินกว่า 4 – 6 % อัตราการยกตะกอนอาจถือได้ว่าถูกต้องแล้ว แต่ถ้าความเข้มข้นต่างกันมากกว่านี้ก็ควรปรับอัตราการยกตะกอนใหม่ โดยเริ่มปรับที่อัตรา Flushing Time ซึ่งสามารถลดลงมาที่ 5 วินาทีได้ ถ้ายังไม่พอให้ลดอัตราการยกตัว(Suction time) โดยอัตราการดูดต้องน้อยกว่าอัตราการไหลเข้าเสมอ

การตรวจค่าเปอร์เซ็นต์ของตะกอนในส่วนบนและล่างของชั้นตะกอนเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการปรับอัตราการ Flush และระยะความสูงในการ Suction ให้รอดูผลหลังการปรับอัตราแล้ว 3 ชั่วโมงก่อนเก็บข้อมูลใหม่เพื่อดูผลการตรวจอีกครั้ง

ก. ผลต่างระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์ของชั้นตะกอนในส่วนบนและค่าเปอร์เซ็นต์ของชั้นตะกอนในส่วน ล่าง จะต้องมีค่าไม่เกิน 7% โดยค่าเปอร์เซ็นต์ในส่วนล่างมีค่ามากกว่า

- ถ้ามากกว่า 7 % แสดงว่าระยะเวลาในการทำ Pulse เข้าเกินไปหรือความสูงของการทำ Flush ต่ำเกินไปในขั้นต้นให้ลดเวลาในการ Flushing Time ลง (ซึ่งสามารถลดได้เหลือ 5 วินาที)

- ถ้าเปอร์เซ็นต์ของตะกอนยังมากกว่า 7 % อยู่ก็ให้เพิ่มระยะความสูงของการ Flush ขึ้น 5 เซนติเมตร ซึ่งยังคงมีระยะเวลาการทำ Pulse คงเดิม (Flush time : 5 วินาที ระยะเวลาการทำสุญญากาศ : 45 วินาที) ระยะความสูงของการ Flush สามารถเพิ่มสูงขึ้นได้ถึง 0.8 เมตร

- ถ้าเปอร์เซ็นต์ของตะกอนยังมากกว่า 7 % อีกให้ลดระยะเวลาการทำสุญญากาศ(Suction Time) ลง ครั้งละ 5 วินาทีแต่ไม่เกิน 20 วินาที

ข. ผลต่างของเปอร์เซ็นต์ของชั้นตะกอนส่วนบนมากกว่าเปอร์เซ็นต์ของชั้นตะกอนส่วนล่างแสดงว่าเวลาการทำ Pulse เร็วเกินไปหรือไม่ก็ความสูงของการ Flush สูงเกินไป ชั้นแรกลดความสูงของการ Flush ลง 5 เซนติเมตรถ้ายังไม่ได้ผลเพิ่มระยะเวลาการทำสุญญากาศขึ้นครั้งละ 1 วินาที (ซึ่งสามารถเพิ่มขึ้นได้สูงสุด 15 วินาที) ตรวจดูอัตราการจ่ายสารเคมีใหม่

ค. ถ้ายังไม่สำเร็จให้ระบายน้ำออกจากถัง Pulsator ให้หมดและทำความสะอาดใหม่ ตรวจสอบความถูกต้องของระบบทั้งหมด แล้วปรับเวลาและระยะยกน้ำของการ Suction และ Flushing ใหม่

ง. ถ้าความแตกต่างและความเข้มข้นของชั้นตะกอนถูกต้องแต่ยังมีฟlocsลอยขึ้นมาที่ผิวน้ำอีกมากให้เพิ่มเวลาการดูด(Suction time) ถึงเวลาสูงสุดประมาณ 45 วินาที ถ้าจำเป็นให้เพิ่มเวลา Flushing แต่ยังคงไว้ที่ไม่เกิน 10 วินาที

ทุกครั้งที่ทำการปรับเปลี่ยนให้รออย่างน้อย 3 ชั่วโมงเพื่อรอคูลที่สภาวะสมดุลย์ไม่เปลี่ยนแปลงแล้วเสียก่อน

โดยทั่วไปในการปรับเปลี่ยนอัตราต่างๆเหล่านี้ ขึ้นอยู่กับหลักการที่ว่า ถ้าน้ำดิบยิ่งขุ่นมากเท่าไร, มีการใช้สารเคมีมากเท่าไร อัตราการยกตะกอนก็จะยิ่งสูงขึ้นและทำซ้ำมากขึ้นเพื่อที่จะให้ได้ชั้นตะกอนที่เป็นเนื้อเดียวกัน ในทางกลับกันถ้าฟล็อกมีลักษณะเบา suction rate ก็ควรจะต่ำลง suction time ก็จะมีมากขึ้นเนื่องจากจะมีฟล็อกเล็กๆลอยตัวขึ้นสู่อากาศมากถ้าการยกตัวของตะกอนดีหรือรุนแรงเกินไป

หมายเหตุ

1. ส่วนใหญ่เปอร์เซ็นต์ชั้นตะกอนส่วนบนจะน้อยกว่าเปอร์เซ็นต์ชั้นตะกอนส่วนล่างเสมอ
2. ในกรณีที่มีการปรับตั้งตกตะกอนให้แน่ใจว่า อัตราการทำสุญญากาศของเครื่องทำสุญญากาศจะต้องน้อยกว่าอัตราการไหลของน้ำดิบ
3. ถึงแม้ว่าจะมีฟล็อกเบาเกิดขึ้นและชั้นตะกอนมีความเข้มข้นต่ำ ก็ต้องทำ Pulsation หรือการยกตะกอนอยู่ตลอดเวลา ทั้งนี้เพื่อป้องกันตะกอนสะสมอยู่กันถึง

8. การปรับเปลี่ยนอัตราการระบายตะกอนออกจากถัง Pulsator

เมื่อมีชั้นตะกอนสะสมสูงถึงขอบบนของช่องตกตะกอน ต้องมีการระบายตะกอนทันที อัตราการระบายตะกอนออกและความถี่ของการระบายตะกอนออกจากถัง Pulsator ขึ้นอยู่กับสารแขวนลอยในน้ำดิบและสารเคมีที่เติมลงไป ความสามารถในการจับกันเป็นก้อนตะกอน และความสามารถของวาล์วระบายตะกอนแต่ละตัว

8.1 การคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การระบายตะกอน

เปอร์เซ็นต์ของตะกอนที่ต้องระบายอาจหาได้คร่าวๆจากปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้นในการรวมตะกอน (Flocculation) ในน้ำดิบที่ได้จากการทดลองในห้องปฏิบัติการ โดยใช้บีคเกอร์ขนาด 1 ลิตร จำนวน 5 ใบใส่น้ำดิบแล้วเติมสารเคมีในปริมาณที่เหมาะสม หลังจากทำ Flocculation Test แล้วทิ้งไว้ให้ตัวอย่างน้ำตกตะกอนนาน 10 นาที แล้วดูดเอาน้ำส่วนใสออก รวบรวมตะกอนจากทั้ง 5 ใบ ใส่รวมในกระบอกตวงขนาดบรรจุ 1 ลิตร ค่อยๆเทตะกอนช้าๆเพื่อไม่ให้ตะกอนแตกตัวค่อยๆกวนตะกอนให้เข้ากัน โดยหมุนกระบอกตวงช้าๆหลายรอบ แล้วตั้งทิ้งไว้ 15 นาที จดบันทึกปริมาตรของตะกอนที่นอนกัน เช่น P มิลลิลิตร

$$\therefore \% \text{ ของตะกอน} = \frac{P}{5000} \times 100$$

8.2 การปรับเปลี่ยนอัตราการระบายตะกอน

เมื่อระดับชั้นตะกอนสูงถึงขอบช่องดักตะกอน ให้ปฏิบัติดังนี้

- เปิดสวิตช์อุปกรณ์ควบคุมการระบายตะกอนอัตโนมัติและปรับอัตราการระบายตะกอนดังนี้

: ระยะเวลาการเปิดประตูน้ำระบายตะกอน	15	วินาที
: ความถี่ของการระบาย	30	นาที

การปรับที่เหมาะสมสามารถหาได้จากอัตราการระบายและเปอร์เซ็นต์ระบายตะกอนดังกล่าวข้างต้นหรือไม่ก็ปรับเปลี่ยนโดยการทดลอง ซึ่งอาจทำได้โดยการเช็คความเข้มข้นของตะกอนที่ระบายออกหรือโดยการวัดระดับของตะกอนในช่องดักตะกอน

8.3 การวัดความเข้มข้นของตะกอน

เก็บตัวอย่างตะกอนที่ระบายออกประมาณ 250 มิลลิลิตร หลังจากเปิดประตูน้ำ 2 วินาที และอีก 250 มิลลิลิตร หลังจากเปิดประตูน้ำ 3 วินาที กวนตะกอนให้เข้ากันแล้ววางทิ้งไว้ จดบันทึกเปอร์เซ็นต์ของตะกอนหลังวางทิ้งไว้ 5, 10 และ 30 นาที ตามลำดับ

$$\text{เปอร์เซ็นต์ตะกอน(\%)} = \frac{\text{ปริมาตรตะกอน (มิลลิลิตร)} \times 100}{250}$$

ค่าที่ได้ควรมีค่า :

- หลังตั้งทิ้งไว้ 5 นาที = 99 % (โดยประมาณ)
 - หลังตั้งทิ้งไว้ 10 นาที = 90 % (เป็นอย่างน้อย)
- ทั้ง 2 ตัวอย่างควรมีค่าใกล้เคียงกัน

ถ้าหลังจาก 30 นาทีเปอร์เซ็นต์ตะกอนต่างกันมากกว่า 10 % ให้ลดการระบายตะกอนลง ถ้ายังไม่ได้ผล ให้ลดระยะเวลาระหว่างการระบายแต่ละครั้งลง (เพิ่มความถี่ของการระบายขึ้นนั่นเอง)

8.4 การปรับเปลี่ยนตามระดับในช่องดักตะกอน (Concentrators)

ถ้าชั้นตะกอนคงที่และเพื่อลดปริมาณน้ำสูญเสียลง ให้วัดระดับของตะกอนในช่องดักตะกอนและเปิดประตูน้ำให้ถึงชั้นจนกระทั่งระดับตะกอนในช่องดักตะกอนสูงขึ้นเกือบถึงขอบบนของช่องดักตะกอน อัตราการปรับดังกล่าวจะใช้ได้ก็ต่อเมื่ออัตราการไหลคงที่และมีการตรวจเช็คระดับตะกอนอยู่เสมอ ถ้าตรวจเช็คไม่เพียงพอ ควรระบายให้บ่อยขึ้นดีกว่าระบายไม่พอเพียง

9. การเกิด Sludge Blanket

ประมาณ 50 % ของอัตราการไหลสูงสุด จะถูกทำให้เกิดเป็น Sludge Blanket ความเร็วของการเกิด Sludge Blanket ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของน้ำและปริมาณสารเคมีที่เติมลงไปเพื่อทำให้เกิดการตกตะกอน บางครั้ง Sludge Blanket อาจเกิดขึ้นภายใน 3 ชั่วโมง ถ้าน้ำดิบขุ่นและมีการเติมสารเคมีในปริมาณมาก ในทางตรงกันข้ามการเกิด Sludge Blanket อาจใช้เวลามากกว่า 24 ชั่วโมง เพื่อที่จะให้น้ำใสและใช้สารเคมีในปริมาณน้อย ระหว่างการทดสอบให้ทำการบันทึกข้อมูลดังนี้เป็นระยะๆ คือ

- การไหลของน้ำดิบ
- ความสูงของน้ำในห้องสุญญากาศ
- ระยะเวลาการ Flush
- ระยะเวลาการ Suction

หลังจากเดินระบบแล้ว 3 ชั่วโมงให้ตรวจเช็คทุกๆชั่วโมงและเริ่มเช็คเปอร์เซ็นต์ของ Sludge Blanket

10. การปรับเปลี่ยนระบบให้เหมาะสม

เมื่อระบบเริ่มทำงานที่อัตราการไหลปกติแล้ว รอจนกระทั่งชั้นตะกอนสูงถึงระดับของบนของช่องดักตะกอน (Concentrators) และความเข้มข้นของชั้นตะกอนคงที่ ทำการตรวจวัดความเข้มข้นของชั้นตะกอน โดยการใช้ขวดเก็บตัวอย่างน้ำหย่อนลงในถัง Pulsator แล้วกระตุกฝาขวดให้ปิดที่ระดับต่างๆกันเพื่อเก็บตัวอย่างน้ำตะกอน แต่อีกวิธีหนึ่งใช้สายยางที่ถ่วงน้ำหนักอยู่ข้างหนึ่งแล้วทำกาลักน้ำเก็บตัวอย่างน้ำที่ระดับต่างๆกัน ทำการเก็บตัวอย่างตะกอนที่ระดับความลึก 50 เซนติเมตร, 1 เมตร และ 1.5 เมตร วัดจากระดับปากช่องดักตะกอน (Concentrator) (ไม่ควรเก็บตัวอย่างน้ำที่ระดับตื้นกว่า 15 เซนติเมตร จากชั้นขอบบนของตะกอน เก็บตัวอย่างน้ำตะกอนใส่กระบอกตวงรูปกรวย (Imhoff Cone) ขนาด 250 มิลลิลิตร แล้วจับเวลาโดยปล่อยทิ้งไว้ 10 นาที บันทึกปริมาตรตะกอน

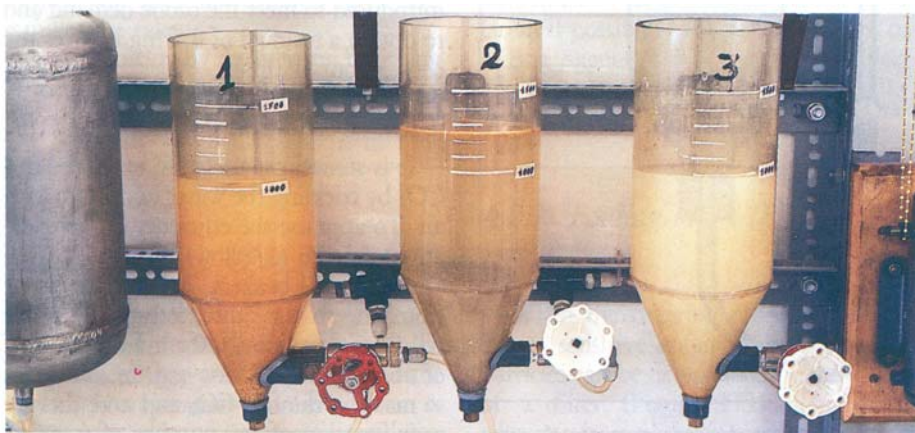


Figure 168. Laboratory flotation test apparatus (Flottatest).

ภาพที่ 3 แสดง Imhoff Cone สำหรับดูการตกตะกอนของชั้นตะกอนในระดับต่างๆของถัง Pulsator

ความเข้มข้นของตะกอน(Sludge Concentration) = ปริมาตรตะกอน (มิลลิลิตร) x (100/250) หน่วย %

11. การแปลผลทดสอบ

ความเป็นเนื้อเดียวกันของชั้นตะกอนเกิดจากอัตราการยกตะกอน (Pulsation rate) ซึ่งมีจุดประสงค์เพื่อให้ตะกอนเป็นเนื้อเดียวกัน ถ้าอัตราการยกตะกอนช้าเกินไป ชั้นตะกอนก็จะค่อนข้างแน่นและความเข้มข้นของชั้นตะกอนส่วนล่างก็จะสูงกว่าของชั้นตะกอนส่วนบนมาก แต่ถ้าอัตราการยกตะกอนเร็วเกินไป ชั้นตะกอนก็จะแตกตัวทำให้ความเข้มข้นของตะกอนชั้นบนสูงกว่าชั้นล่าง ในขณะเดียวกัน ฟลอคก็หลุดออกไปกับน้ำใสได้ เราไม่ควรด่วนสรุปผลเร็วเกินไป แต่ควรจะทำการตรวจวัดผลหลายๆครั้งที่อัตราการไหลคงที่ ถ้าอัตราการไหลลดลงตะกอนก็มักจะอัดตัวกันแน่น ทำให้ผลการวัดความเข้มข้นของตะกอนชั้นล่างสูงขึ้นได้ และอาจจะลอยได้เนื่องจากตะกอนอยู่นานเกินไป ในทางกลับกันถ้าอัตราการไหลเพิ่มขึ้นตะกอนก็จะขยายตัวและทำให้ความเข้มข้นของตะกอนชั้นล่างจางลง โดยเหตุผลนี้ เราจึงควรเชื่อถือผลการทดสอบหลังจากเริ่มเดินระบบไปแล้ว 3 ชั่วโมง

12. ขั้นตอนการควบคุมระบบ

12.1 ผู้ออกแบบจะทำการตั้งระบบการขึ้นลงของตัวสร้างสภาพความปั่นป่วนของน้ำให้ผู้ใช้งานไว้เป็นที่เรียบร้อยแล้ว ดังนั้นผู้ใช้งานไม่ต้องไปปรับแต่งระบบดังกล่าวอีกเพราะจะทำให้ระบบเสียสมดุลย์ทำให้งจรการสร้างชั้นตะกอนผิดไปและไม่เป็นไปตาม design criteria ที่ผู้ออกแบบ

12.2 ผู้ควบคุมเพียงสังเกตุปริมาณตะกอนว่ามีมากเกินไปหรือเปล่าและการลอยของตะกอนขึ้นมาเร็วหรือเปล่า (วิธีการแก้ไขดูจากหัวข้อ อาการ สาเหตุและการแก้ไข)

12.3 ปัจจุบันผู้ออกแบบได้ตั้งเวลาการระบายตะกอนไว้ที่ 2 ชั่วโมงระบายตะกอนอัตโนมัติ 10 วินาที (เป็นค่ามาตรฐานระบบทั่วไป) แต่หากคุณภาพน้ำแต่ละที่ไม่เหมือนกันดังนั้นผู้ควบคุมสามารถปรับแต่งระยะเวลาดังกล่าวตามความเหมาะสมได้ภายหลัง ซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้นและชั่วโมงการเดินระบบว่าเดินตลอด 24 ชั่วโมง หรือเดินวันละไม่กี่ชั่วโมงแล้วหยุดระบบ

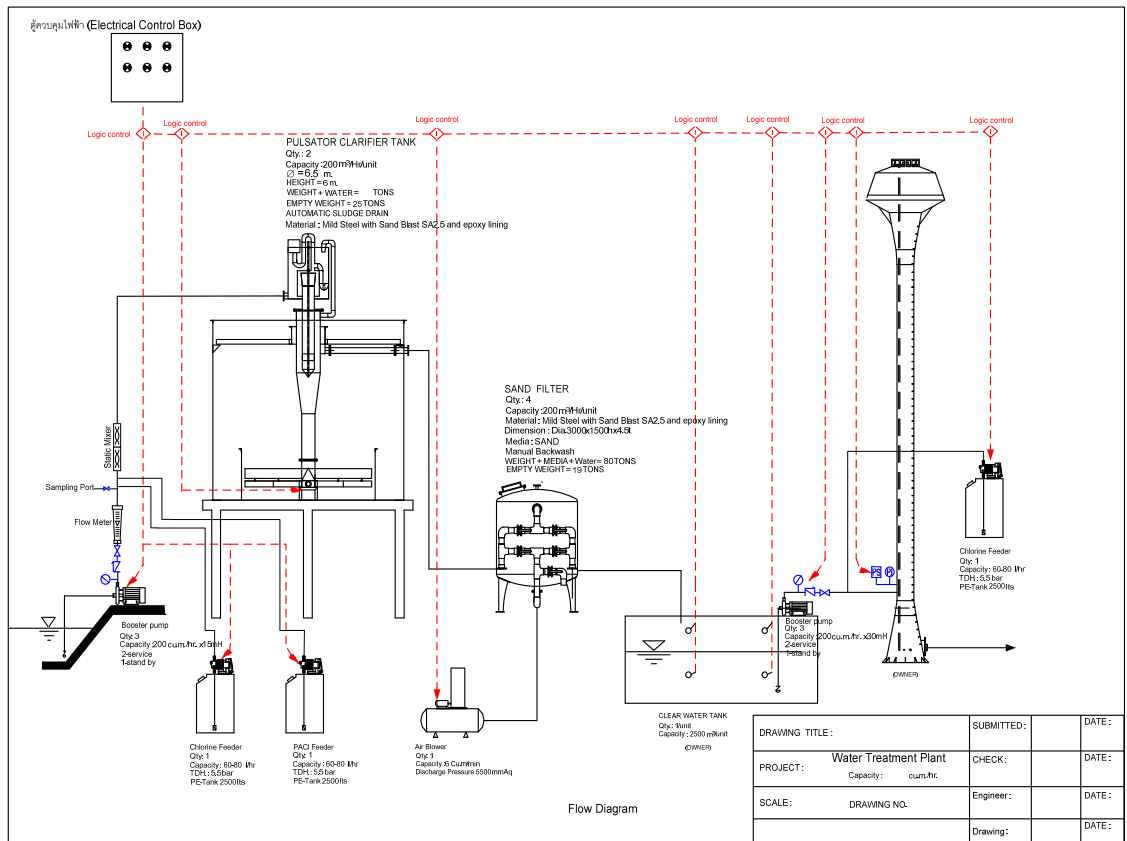
13. รายละเอียดการออกแบบถังตกตะกอน Pulsator Clarifier แบบ Pressure Type

- ปริมาณน้ำที่เข้าสู่ระบบการผลิต	ลูกบาศก์เมตร/วัน
- จำนวนถังตกตะกอน	ใบ
- อัตราการผลิตแต่ละชุด	ลูกบาศก์เมตร/วัน
- ขนาด	เส้นผ่านศูนย์กลาง เมตร สูง เมตร
- ปริมาตรถังตกตะกอน	ลูกบาศก์เมตร
- ระยะเวลาที่เก็บ	นาที
- พื้นที่ผิวแต่ละใบ	ตารางเมตร
- ภาวะบรรทุกน้ำล้น (ความเร็วในชั้นน้ำใส)	เมตร/ชั่วโมง
- ความเร็วในชั้นตะกอน	เมตร/ชั่วโมง

14. การเก็บตัวอย่างตะกอน

ถังตกตะกอนแต่ละใบจะมีท่อระบายตะกอนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง มิลลิเมตร ติดตั้งวาล์วอัตโนมัติจำนวน ชุด โดยระบายตะกอนออกจากช่องรับตะกอนส่วนเกินภายในถังตกตะกอน

การตรวจหาเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของตะกอนที่ระบายจากถังตกตะกอนทำได้โดยใช้กระบอกตวงขนาด 1000 มิลลิลิตร เก็บตัวอย่างตะกอนจากท่อระบายตะกอน วัดเปอร์เซ็นต์ตะกอนโดยทิ้งไว้ 30 นาที



ภาพที่ 4 แสดงจุด Flow Diagram ระบบผลิตน้ำประปาที่ใช้ถังตกตะกอน Pulsator Clarifier ประเภท Pressure Type

15. ปัญหาการไหลลัดทางในถังตกตะกอน (มันซิน, 2537)

ถังตกตะกอนแบบอุดมคติต้องมีการไหลของน้ำเป็นแบบปลั๊กโฟลว (Plug Flow) กล่าวคือน้ำจะใช้ระยะเวลาอยู่ในถังนานเท่ากับเวลากักน้ำตามทฤษฎีพอดี้ อย่างไรก็ตาม บัจจัยหลายอย่างทำให้น้ำบางส่วนไหลออกจากถังก่อนหรือหลังเวลากักน้ำอย่างยากที่จะหลีกเลี่ยงได้ ปัญหาที่เกิดขึ้นเมื่อน้ำใช้เวลาอยู่ในถังน้อยเกินไปหรือที่เรียกว่าเกิดการไหลลัดทางหรือไหลลัดวงจร (Short Circuiting) ผลที่ติดตามการไหลลัดทางคือน้ำมักพาตะกอนแขวนลอยหลุดออกไปจากถังตกตะกอนด้วย

15.1 สาเหตุของการไหลลัดทาง

ปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดการไหลลัดทางได้แก่ กระแสความหนาแน่น (Density Current) ซึ่งหมายความถึงการไหลในน้ำที่มีความหนาแน่นแตกต่างกัน กระแสความหนาแน่นเกิดขึ้นเนื่องจากสาเหตุใหญ่ 4 ประการคือ อุณหภูมิ, ความขุ่น, สารละลาย, และกระแสลม

15.1.1 อิทธิพลของอุณหภูมิ

น้ำที่มีอุณหภูมิต่างกันจะมีความหนาแน่นไม่เท่ากัน น้ำเย็นจะหนักกว่าน้ำร้อน เมื่อน้ำอุ่นไหลเข้ามาในถังตกตะกอนที่มีน้ำเย็นกว่า น้ำที่เข้ามาใหม่จะไหลลัดทางตามผิวน้ำและออกไปจากถังโดยใช้เวลาเพียงเสี้ยวเดียวของเวลากักน้ำ ทั้งนี้เนื่องจากน้ำอุ่นมีความหนาแน่นน้อยกว่านั่นเอง การที่น้ำใช้เวลาน้อยอยู่ในถังตกตะกอนจึงเชื่อได้ว่าโอกาสที่จะเกิดการตกตะกอนไม่มีทางที่จะเกิดขึ้นตามที่ออกแบบไว้ สำหรับในประเทศไทย การไหลลัดทางที่เกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิของน้ำอาจเกิดขึ้นได้ในช่วงฤดูร้อน ความร้อนจากแสงอาทิตย์อาจทำให้อุณหภูมิของน้ำเพิ่มขึ้นในอัตราสูงกว่า 1 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง ทำให้เกิดกระแสความหนาแน่นภายในถัง ซึ่งจะรุนแรงในเวลาเที่ยงหรือขณะที่อุณหภูมิสูงสุด

กรณีน้ำเย็นไหลเข้าถังตกตะกอนที่มีน้ำอุ่นกว่าก็อาจเกิดปัญหาเรื่องการไหลลัดทางที่เกิดจากกระแสความหนาแน่นได้เช่นเดียวกัน แต่ในกรณีนี้ น้ำที่เข้าใหม่(น้ำเย็น) จะไหลดิ่งลงไปตามก้นถังอย่างรวดเร็วเนื่องจากมีน้ำหนักมากกว่าและใช้เวลาน้อยกว่าเวลากักน้ำในการเคลื่อนที่ออกจากถังตกตะกอน การไหลไปตามก้นถังทำให้เกิดการฟุ้งกระจายของ Sludge ที่ตกตะกอนอยู่ก่อนแล้ว ถ้าถึงมีความลึกน้อยความขุ่นที่ฟุ้งกระจายอาจลอยขึ้นผิวน้ำและหนีออกไปกับน้ำล้างทำให้การตกตะกอนไม่ได้ผล แสงอาทิตย์อาจทำให้น้ำในถังตกตะกอน(โดยเฉพาะถังไฮลิติกคอนแทคท์) มีอุณหภูมิสูงกว่าน้ำที่เข้าใหม่ ทำให้เกิดกระแสความหนาแน่นที่มีผลเสียต่อถังตกตะกอน ถังตกตะกอนที่ไม่ได้คิดถึงปัญหาเหล่านี้และไม่ได้หาวิธีป้องกันเอาไว้ก่อนจะมีประสิทธิภาพแปรปรวนตามแต่อุณหภูมิและปัจจัยอื่นๆที่มีอิทธิพลต่อกระแสความหนาแน่น

15.1.2 อิทธิพลของความขุ่นหรือตะกอนแขวนลอย

ความขุ่นทำให้มีความหนาแน่นแตกต่างกัน การเพิ่มความขุ่นของน้ำดิบอย่างกะทันหันก่อให้เกิดกระแสความหนาแน่นในถังตกตะกอนและมีการไหลลัดเกิดขึ้น น้ำที่มีความขุ่นสูงจะไหลจมลงก้นถังเหมือนในกรณีของน้ำเย็น ทำให้มีการฟุ้งกระจายของสลัดจ์และทำให้ความขุ่นหนีออกไปจากถังได้

15.1.3 อิทธิพลของความเค็มหรือสารละลาย(TDS)

น้ำที่มีเกลือแร่ละลายอยู่มากจะมีน้ำหนักมากกว่าน้ำที่มีสารละลายน้อย อิทธิพลของความเค็มหรือสารละลายน้ำจึงคล้ายกับอิทธิพลของความขุ่นหรือตะกอนแขวนลอย

15.1.4 อิทธิพลของกระแสลม

ถังตกตะกอนที่มีพื้นที่หน้าตัดกว้างเกินไปจะอยู่ในอิทธิพลของกระแสลม ทั้งนี้เพราะกระแสลมทำให้เกิดความปั่นป่วนต่อตอนบนของน้ำในถังและอาจทำให้น้ำไหลออกจากถังเร็วเกินควร ด้วยเหตุนี้วิศวกรจึงมาควรออกแบบถังตกตะกอนใบเดียวมีขนาดใหญ่มาๆ

15.1.5 วิธีการแก้ไขและป้องกันการไหลลัดทาง

การปิดฝาดังตกตะกอนอาจช่วยบรรเทาผลเสียหายที่เกิดจากการไหลลัดทาง แต่ไม่ใช่วิธีที่เป็นไปได้เสมอในทางปฏิบัติ วิธีที่ยอมรับและนิยมใช้กันมากกว่ามี 4 วิธีดังนี้

15.1.5.1 ติดรางน้ำล้นบนผิวหน้าให้ครอบคลุมพื้นที่ส่วนใหญ่ของถัง

15.1.5.2 ปรับปรุงทางน้ำเข้า

15.1.5.3 ใช้ท่อตกตะกอนหรือแผ่นตกตะกอน

15.1.5.4 ใช้ถังแบบไซลิคัลคอนแทคท์

ในกรณีที่น้ำไหลลัดทางลงสู่ก้นถัง ความขุ่นจะถูกค้ำยให้กระจายขึ้นสู่ผิวน้ำ ในบริเวณทางออกของถัง(ไม่ว่าเป็นถังกลมหรือผืนผ้า) มักปรากฏว่าผิวน้ำในบริเวณตอนกลางของถังมักเป็นเขตที่มีน้ำใสเพราะความขุ่นพุ่งไปไม่ถึงดังนั้นวิธีแก้ไขปัญหการลัดทางลงสู่ก้นถัง จึงกระทำได้โดยการติดตั้งรางน้ำล้นให้ครอบคลุมพื้นที่ส่วนใหญ่ของถัง การปรับปรุงทางน้ำเข้า โดยใช้แผ่นกั้นน้ำเพื่อบังคับน้ำให้ไหลลงข้างล่างและกระจายให้ส่วนต่างๆของถัง

การติดตั้งท่อตกตะกอนหรือแผ่นตกตะกอนสามารถช่วยบรรเทาการไหลลัดทางทั้งสองชนิดได้ ทั้งนี้ด้วยเหตุผล 2 ประการคือ ทำให้การไหลของน้ำมีความเร็วเพิ่มขึ้นมากและทำให้การไหลถูกบังคับให้มีทิศทางอย่างแน่นอน

วิธีป้องกันผลเสียที่เกิดจากการไหลลัดทางที่ได้ผลดีกว่าวิธีอื่นคือ การหมุนเวียนน้ำตะกอน (Slurry Recirculation) มาผสมกับน้ำเข้าและติดรางน้ำล้นให้ครอบคลุมให้ทั่วพื้นผิวหน้า การหมุนเวียนน้ำตะกอนช่วยทำให้น้ำเข้ามีตะกอนแขวนลอยสูงเสมอเป็นการบังคับให้น้ำไหลลงข้างล่าง การสัมผัสระหว่างความขุ่นใหม่และความขุ่นเก่าทำให้มีการจับตัวเป็นก้อนใหญ่ตกตะกอนได้ดี จนพลังงานของกระแสความหนาแน่นไม่อาจทำให้เกิดการฟุ้งกระจายของความขุ่น ถังตกตะกอนแบบไซลิคัลคอนแทคท์ สามารถป้องกันกระแสความหนาแน่นได้ดีเนื่องจากการไหลของน้ำเข้าถูกบังคับให้มีทิศทางอย่างแน่นอน(ปัจจุบันนี้เป็นข้อหนึ่งที่ทำให้มีการซื้อถังสำเร็จรูปมาใช้มากกว่าที่จะออกแบบถังไซลิคัลคอนแทคท์มาใช้) ไม่ว่าจะมีความหนาแน่นเกิดขึ้นหรือไม่ก็ตาม นอกจากนี้ การสร้างชั้นสลัดจ์หรือการหมุนเวียนน้ำตะกอนที่เกิดขึ้นในถังไซลิคัลคอนแทคท์ยังช่วยทำลายพลังงานของกระแสความหนาแน่นจนไม่สามารถทำให้เกิดการฟุ้งกระจายได้ การติดตั้งท่อตกตะกอนหรือหรือแผ่นตกตะกอนให้กับถังไซลิคัลคอนแทคท์อาจเป็นการป้องกันผลเสียจากกระแสความหนาแน่นเป็นมาตรการสุดท้าย

16. เกณฑ์การออกแบบ

16.1 Kawamura (2000)

- Flocculation Time : approx 20 min
- Setting Time : 1 – 2 hr
- Surface Loading : 2 – 3 m/hr
- Weir Loading : 7.3 – 15 m³/m.hr
- Upflow Velocity : < 10 mm/min

16.2 AWWA & ASCE (1990)

- Surface Loading : 0.625 – 4.75 m/hr (average : 2.5 m/hr)

16.3 Culp & Wesner (1968)

- Surface Loading : 2.44 – 4.88 m/hr

16.4 EPB (2002)

- Flocculation Time : approx 20 min
- Surface Loading : 2 – 3 m/hr
- Setting Time : 1 – 2 hr
- Weir Loading : 7 – 15 m³/m.hr
- Upflow Velocity : < 0.6 m/hr

16.5 Degremont (1991)

- Surface Loading : 2 – 4 m/hr (super pulsator : 4 – 8 m/hr)
-

References:

1. คู่มือการควบคุมระบบผลิตน้ำประปา โรงงานผลิตน้ำประปาหนองจอก การประปานครหลวง
2. คู่มือการควบคุมระบบผลิตน้ำประปา โรงงานผลิตน้ำประปamahavithai การประปานครหลวง
3. มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์. พ.ศ. 2537. วิศวกรรมการประปา เล่ม 1. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพมหานคร. 305 หน้า
4. American Society of Civil Engineers & American Water Works Association. 1990. Water treatment Plant Design (second edition), United States of America. 598 p.
5. Culp & Wesner. 1986. Hand Book of Public Water Systems. New York United States of America. 1113p.
6. Degremont. 1991. Water Treatment Handbook, France. 1459 p.
7. Environmental Protection Branch. 2002. A Guide to Waterworks Design, Regina SK. 47p.
8. Susumu Kawamura. 2000. Integrated Design and Operation of Water Treatment Facilities second edition, New York United States of America. 691p.