บทที่ 3

ทฤษฎี

3.1 ที่มาของความขุ่นในน้ำ

ความขุ่นที่เกิดขึ้นในน้ำอาจจะเกิดจากสารซึ่งไม่ละลายน้ำเช่น ดิน โคลน และสารอินทรีย์อื่น ๆ ที่ถูกน้ำชะไหลในขณะฝนตกไหลลงสู่ที่ต่ำ สารที่ทำให้เกิดความขุ่นนี้มีขนาดต่าง ๆ กัน สามารถแบ่งออกตามขนาดของอนุภาคของสารแขวนลอยในน้ำได้ 2 ประเภท

ก. อนุภาคขนาดใหญ่ ซึ่งสามารถตกตะกอนแยกตัวออกจากน้ำได้โดยให้น้ำไหลช้า

ข. อนุภาคขนาดเล็ก (0.1 μ ถึง 1 μ) ซึ่งจะลอยแขวนอยู่ในน้ำต่อไป แต่สามารถจะกำจัดออกได้โดยวิธีการทำตะกอน ทำให้อนุภาครวมตัวกันให้มีขนาดโตขึ้น และสามารถตกตะกอนได้โดยน้ำหนัก

3.2 คอลลอยด์ (Colloid)

สารจำพวกคอลลอยด์ในน้ำแบ่งออกได้เป็นสองชนิดคือ ไฮโดรโฟบิค และไฮโดรฟิลิค สำหรับพวกความขุ่นของน้ำดิบ ที่ใช้ในการวิจัยนี้เป็นพวกดินเหนียว ซึ่งจัดอยู่ในพวกไฮโดรโฟบิค

การที่คอลลอยด์สามารถลอยแขวนได้นั้น สามารถอธิบายได้โดย "สแตบีลิตี้" และ "อันสแตบีลิตี้" ของสารที่ลอยแขวนนั่นเอง สแตบีลิตี้คือ การที่สารนั้นอยู่ในสภาพลอยกระจายอยู่ในน้ำได้ตลอดเวลาอันยาวนาน อันสแตบีลิตี้นี้คือ เมื่อให้สารที่ลอยอยู่ในน้ำมีโอกาสสัมผัสกันมีแนวโน้มที่จะรวมตัวกันให้มีขนาดโตขึ้น

การลอยแขวนอยู่ในน้ำของสารพวกไฮโดรโฟบิคนั้น สามารถอธิบายได้โดยใช้ทฤษฎีของ Helmholtz (1879), Gouy (1910), Chapman (1913) และ Stern (1924) คือ

สารไฮโดรโฟบิคที่ลอยอยู่ในน้ำ อยู่ในสภาพที่มีประจุไฟฟ้าอยู่บนผิวของสารนั้น ๆ ประจุไฟฟ้าเหล่านี้อาจเกิดขึ้นโดยผ่านการแตกตัวของอะตอมที่ผิวหน้าของสารนั้น หรือสารนั้นได้รับประจุไฟฟ้ามาจากการดูดซับของประจุไฟฟ้าโดยเฉพาะของไฮดรอกไซด์ไอออนจากน้ำ ประจุไฟฟ้าเหล่านี้จะยึดกันอย่างเหนียวแน่นอยู่ที่ผิวของสาร และดึงดูดให้เกิดประจุไฟฟ้าชนิดตรงกันข้าม ซึ่งได้มาจากในน้ำนั้น ชั้นของประจุไฟฟ้าชนิดตรงกันข้ามนี้จะยึดอยู่โดยรอบใกล้ ๆ สารนั้นด้วยอีเลคโทรสแตติคฟอร์ซ

สรุปแล้วก็คือ แรงที่ทำให้สารลอยห้อยแขวนอยู่ในน้ำได้ นั้นก็คือการละลายได้ในน้ำของสารนั้น ซึ่งเกิดเนื่องจากโปรเทคทิพเชลของน้ำ และอีเลคติเคิลคับเบิลเลเยอร์เป็นตัวทำให้เกิดอิเลคติเคิลโปเทนเชียล ทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้สารแต่ละอันเข้ามารวมกัน

3.3 <u>เคมีเคิลโคแอคกลูเลชั่น</u>

เคมีเคิลโคแอคกลูเลชั่นและการทำตะกอน เป็นขบวนการที่ใช้ในการกำจัดพวกสารคอลลอยด์เคิล สารที่มีน้ำหนักเบาและสารละลายต่าง ๆ ออกจากน้ำ ถ้าจะอธิบายกันอย่างกว้าง ๆ ถึงทฤษฎีในการทำโคแอคกลูเลชั่น และกลไกขั้นพื้นฐานของคอลลอยด์สแตบิลิตี้แล้ว ก็มีอยู่สองทฤษฎีคือ

3.3.1 โดยปฏิกริยาทางเคมี

เมื่อใส่สารเคมีเช่นสารส้มที่ใช้เป็นตัวทำการโคแอคกลูเลชั่นลงไปในน้ำที่มีความขุ่น สารส้มจะเกิดปฏิกริยาไฮโดรลิติคกับน้ำให้อนุกรมของมัลติวาเลนท์ชาร์จ ไฮดรัสออก-ไซด์สปีชีล (multivalent charged hydrous oxide species)สารประกอบนี้จะมีประจุลบหรือบวกขึ้นอยู่กับค่าพีเอ็ชของน้ำ ถ้าพีเอ็ชต่ำสารประกอบนี้จะมีประจุบวก และถ้าพีเอ็ชสูงสารประกอบก็มีประจุลบ สมการของปฏิกริยาเขียนได้ดังนี้

$$\left[Al(H_2O)_6\right]^{3+} + H_2O \rightleftharpoons \left[Al(H_2O)_5OH\right]^{2+} + H_3O^+$$

$$\left[Al(H_2O)_5OH\right]^{2+} + H_2O \rightleftharpoons \left[Al(H_2O)_4(OH)_2\right]^{+} + H_3O^+$$

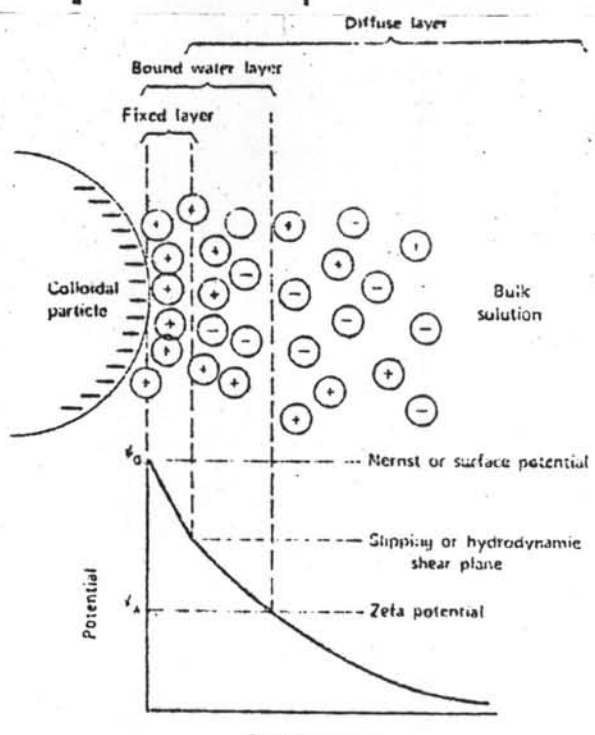
ปฏิกริยานี้จะเป็นไปเรื่อยจนได้นิวเทรัลสปีชีส (neutral species)
$\left[Al(H_2O)_3\ (OH)_3\right]$ หรือสปีชีสที่ให้ประจุลบ $\left[Al(H_2O)_2\ (OH)_4\right]^-$

สารประกอบนี้จะมีลักษณะเป็นฟล็อค คือเป็นสารขนาดเล็กมีลักษณะเหนียว สารประกอบนี้จะไปดูดซับเอาพวกความขุ่นมารวมตัวด้วย และเมื่อหาทางให้สารประกอบนี้ได้มีโอกาสเข้าใกล้ความขุ่นเรื่อย ๆ โดยการกวนช้า ๆ ขนาดของฟล็อคก็จะโตขึ้น จะมีน้ำหนักพอที่จะแยกตัวออกจากน้ำเมื่อความเร็วของการไหลของน้ำช้าลง

3.3.2 โดยกลไกทางฟิสิโคเคมิเกิล

ในการทำโคแอคกูเลชั่น สารที่มีอยู่ในน้ำในรูปความขุ่นจะมี

ก. ความขุ่นเนื่องจากสารที่ไหลมากับน้ำ เช่น พวกดินเหนียว จะมีประจุลบอยู่รอบภายในผิวนอกและมีประจุบวกอยู่รอบภายนอกของผิวนอก ประจุลบรอบภายในผิวนอกไม่สามารถวัดได้โดยตรง เนื่องจากจะถูกล้อมรอบด้วยประจุบวกตรงกันข้ามใน Fixed layer



รูปที่ 3.1 Double layer model of colloidal particle

ประจุใน fixed layer จะค่อย ๆ ถูกนิวเทรัลไลซ์โดยประจุชนิดตรงกันข้ามที่มีปริมาณมากกว่าใน diffuse double layer, microelectropheresis เป็นกลไกหนึ่งที่ใช้หาประจุที่ slipping plane หรือ shear plane ซึ่ง ณ ที่นี้สารจะลอยอยู่ได้อย่างอิสระ ประจำที่ระนาบนี้ก็คือ Zeta potential

ข. ความขุ่นเนื่องจากการใส่สารเคมีลงไปในขบวนการโคแอคกูเลชั่น ดังได้กล่าวไว้ในข้อ 3.3.1 แล้วว่า เมื่อใส่สารส้มลงไปในน้ำจะได้ฟล็อคซึ่งเป็นสารเหนียว ๆ เกิดขึ้น รูปแบบของสารประกอบที่เกิดเป็นฟล็อคนี้จะมีประจุอย่างใดก็ขึ้นอยู่กับพีเอชของน้ำ

การกำจัดความขุ่นโดยทฤษฎีที่สองนี้คือ สารประกอบของสารส้มซึ่งมีประจุชนิดตรงกันข้ามกับของสารคอลลอยด์จะไปลด Zeta Potential ทำให้เกิด destabilization สารคอลลอยด์ขึ้น

เนื่องจากบราวนเนี่ยนมูฟเมนท์ สารที่ลอยอยู่ก็จะลอยเข้ามาใกล้กันและจะรวมตัวเข้าด้วยกันด้วยแวนเดอวาลส์ฟอร์ซ เมื่อรวมตัวกันมีน้ำหนักพอและเมื่อลดอัตราการไหลของน้ำลง ความขุ่นที่มีน้ำหนักและขนาดโตนี้ก็จะแยกตัวออกจากน้ำ

3.4 โคแอคกูเลนท์เอคส์

จุดประสงค์ในการใช้โคแอคกูเลนท์เอคส์ มีอยู่สามประการคือ

3.4.1 เพื่อเพิ่มน้ำหนักของฟล็อค ซึ่งในกรณีนี้ก็คือใส่สารที่มีน้ำหนักลงไปเพื่อเป็นแกนให้ฟล็อค และเมื่อฟล็อคไปรวมตัวกับความขุ่นซึ่งเบามากไปเรื่อย ๆ ฟล็อคก็จะโตขึ้นและมีน้ำหนักมากขึ้นทำให้การตกตะกอนดีและง่ายขึ้น

3.4.2 เพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้กับฟล็อคในกรณีที่น้ำมีความขุ่นน้อย ความหนาแน่นของความขุ่นก็น้อย โอกาสที่พัดพาให้ฟล็อคได้สัมผัสกับความขุ่นนี้น้อย หรือแรงที่จะพัดพาให้ฟล็อคได้สัมผัสกับความขุ่นก็ต้องใช้แรงมาก เพื่อให้เข้าได้ใกล้กันซึ่งแรงนี้จะทำให้ฟล็อคแตกได้ และเมื่อฟล็อคแตกแล้วจะไม่รวมตัวกันอีก ทำให้มีขนาดเล็กลงและน้ำหนักเบามาก ก็จะไม่รวมตัวกับ

ความขุ่นจะลอยฟุ้งกระจายอยู่ในน้ำ ทำให้น้ำเกิดความขุ่นมากขึ้น จำเป็นต้องหาสารบางอย่างใส่ลงไปเพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้กับฟล็อค สารที่ใช้กันก็มีหลายชนิดเช่น สารคลอรีน พวกโพลีอีเล็คโตรไลท์ แอคติเวเติค ซีลิก้า และ ฯลฯ

3.4.3 เพื่อลด Zeta Potential ทำให้เกิด destabization ของสารคอลลอยด์ขึ้น

3.5 ทฤษฎีของการทำตะกอน

จุดประสงค์ของการทำตะกอนนั้น มุ่งหวังที่จะลดปริมาณคอลลอยด์และสารแขวนลอยที่มีอยู่ในน้ำโดยการใช้สารเคมีช่วยทำให้ตะกอนเล็ก ๆ รวมตัวกันให้ขนาดใหญ่ขึ้น และจะตกตะกอนด้วยน้ำหนักของตัวเอง

ปกติ ถ้าหากเราใส่สารส้มลงไปในน้ำ โดยปล่อยให้มันทำปฏิกริยาโดยไม่มีการกวนจะพบว่าตะกอนที่เกิดขนาดเล็กและเกิดโดยทั่ว เนื่องจากเมื่อน้ำอยู่นิ่งนั้นอนุภาคของตะกอนซึ่งมีอำนาจดึงดูดซึ่งกันและกันนั้น จะดูดเฉพาะตะกอนที่อยู่ข้างเคียงได้เท่านั้น แต่ถ้าหากเรามีการกวนซึ่งจะทำให้น้ำเกิดการหมุนเวียน ทำให้ตะกอนมีโอกาสเคลื่อนที่ไปมามากขึ้น ในขณะที่ตะกอนเคลื่อนที่เข้ามาหากันในระยะที่ใกล้พอ ตะกอนนั้นก็จะสามารถดูดซึ่งกันและกันกลายเป็นตะกอนใหญ่ขึ้นทำให้ตกตะกอนได้เร็วขึ้น

อัตราการทำตะกอนนั้นสามารถแสดงได้โดยสมการดังต่อไปนี้

$$J_{ij} = \frac{1}{6} n_i n_j G (d_i + d_j)^3 \qquad (3.1)$$

โดยที่

J_{ij} = จำนวนการจับตัวกันต่อหน่วยปริมาตรต่อหน่วยเวลา

G = ความเร็วสัมพัทธ์ต่อหน่วยระยะทางในถังทำตะกอน

n_i = ความเข้มข้นของอนุภาคที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง d_i

n_j = ความเข้มข้นของอนุภาคที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง d_j

ความเร็วของการกวนตะกอนก็จะมีผลต่อการเกิดตะกอนคือ ในขณะที่ตะกอนได้รวมตัวมีขนาดใหญ่ขึ้นนั้น ถ้าหากใช้ความเร็วในการกวนมาก ความเร็วนี้จะทำให้เกิดแรงเฉือนทำให้ตะกอนแตกตัวและเล็กลง ดังนั้น ในการกวนตะกอนนั้นเราจะคำนึงถึงค่าความเร็วสัมพัทธ์ต่อหน่วยระยะทาง (G) โดยที่ค่า G ที่ใช้มีค่าสูง ทำให้ขนาดของตะกอนที่เกิดเล็กลง แต่ถ้าเราใช้ค่า G ต่ำ ตะกอนที่เกิดจะมีขนาดใหญ่

ความเร็วสัมพัทธ์ต่อหน่วยระยะทาง (G) สามารถหาได้จากสมการ

$$G = \sqrt{P/\mu} \qquad (3.2)$$

โดยที่

P = พลังงานที่ใส่ต่อหน่วยปริมาตร

μ = ความหนืดสมบูรณ์ของน้ำ

ในการกวนตะกอนโดยใช้เครื่องจักรกล อาจจะเป็นแบบใช้ใบพัดหรือแบบแผ่นกั้นนั้น จะพบว่าตะกอนที่เกิดขึ้น ณ จุดต่าง ๆ จะมีขนาดต่าง ๆ กัน แต่ในระหว่างการกวนนั้นถ้าหากได้กวนอย่างทั่วถึงแล้ว ทุกตะกอนจะเคลื่อนไปตามจุดต่าง ๆ ทั่วทั้งถัง ดังนั้น จะเห็นว่าขนาดตะกอนจะถูกควบคุมโดยค่า G ที่มีค่ามากที่สุด

Camp and Stein [26] หาค่าเฉลี่ยพลังงานที่ใส่เข้าไปในถังได้โดยใช้สมการ

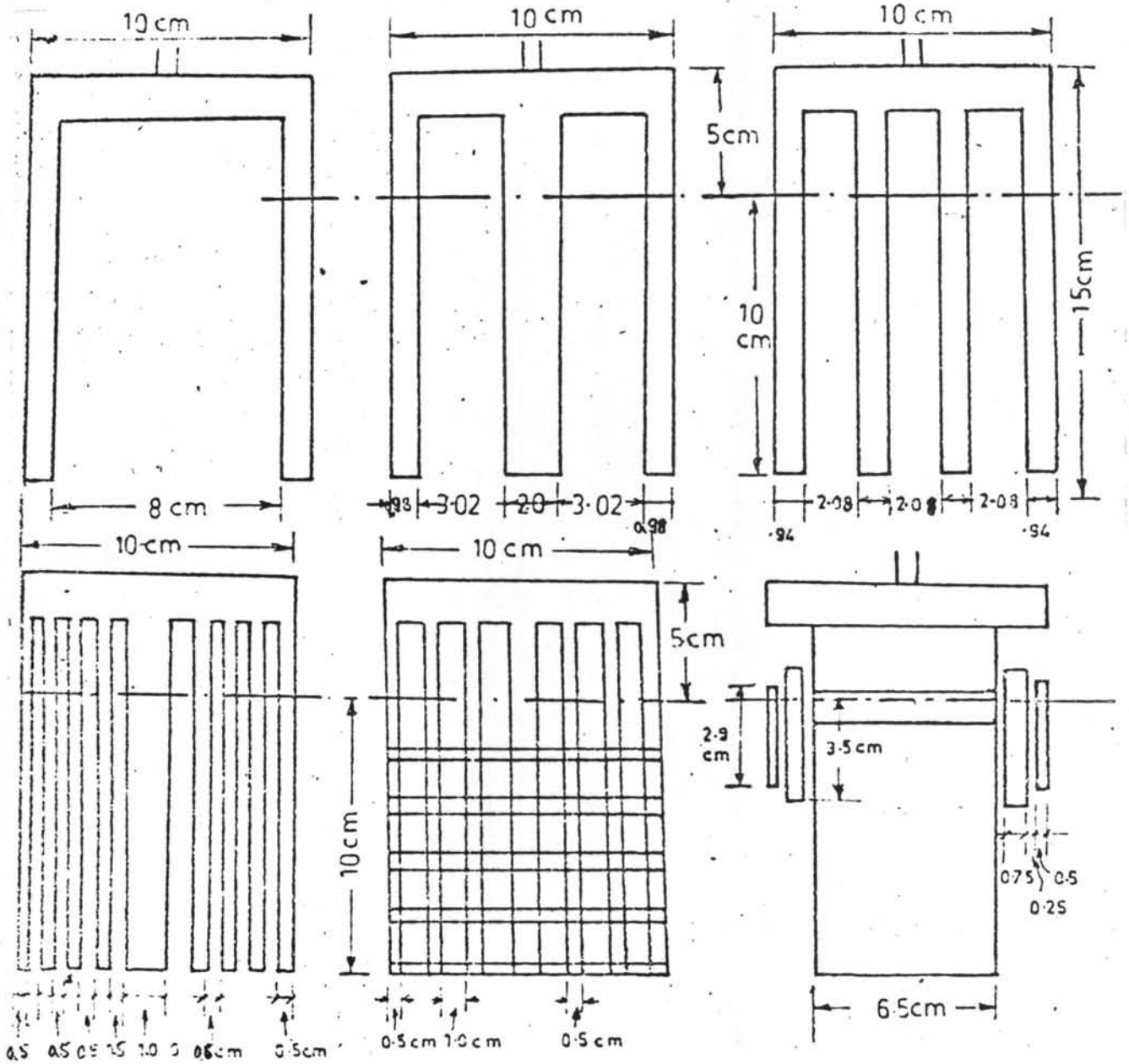
$$G = \sqrt{\frac{P}{\mu C}} \qquad (3.3)$$

โดยที่

P = พลังงานที่ใส่ทั้งหมด

C = ปริมาตรทั้งหมดของถัง

พลังงานที่ใช้ควบคุมได้โดยวิธีควบคุมความเร็วหรือการหมุนของใบพัด นั่นหมายถึงสามารถควบคุมค่าความเร็วสัมพัทธ์คือหน่วยระยะทางในถังทำตะกอนได้ การใช้ใบพัดที่แตกต่างกันแม้จะให้ค่า G เท่ากัน แต่ประสิทธิภาพของการเกิดตะกอนแตกต่างกัน ดังนั้น ผลที่ได้จะออกมาที่ดีที่สุด ถ้าเราใช้ใบพัดตามแบบที่ Patwardhen[37] แนะนำ คือ ใบพัดที่ดีนั้นเมื่อกวนแล้วจะทำให้จุดต่าง ๆ เกิดการเคลื่อนที่อย่างทั่วถึง ดังแสดงในรูป 3.2



รูปที่ 3.2 DETAILS OF PADDLES USED BY PATWARDHAN

จะเห็นได้ว่าผลของการกวนตะกอนนั้น ถ้าหากเราสามารถควบคุมการกวนให้ทั่วถึงแล้ว การเกิดตะกอนจะขึ้นอยู่กับเวลาและความเร็วที่ใช้กวน สำหรับใบพัดแบบต่าง ๆ นั้น จะใช้เวลาในการกวน 20 – 40 นาที โดยจะขึ้นอยู่กับการออกแบบใบพัดคือ จำนวนใบ ความเร็วและขนาดของใบพัด

สำหรับจำนวนการจับตัวกันสามารถหาได้โดยสมการ

$$J_{ij} = \frac{1}{6} n_i n_j \sqrt{\frac{P}{\mu C}} (d_i + d_j)^3 \qquad (3.4)$$

สมการนี้จะแสดงถึง อัตราส่วนระหว่างจำนวนการสัมผัสและเวลาที่ใช้ และปริมาณที่เพิ่มขึ้นกับจำนวนและขนาดของอนุภาค พลังงานที่ใช้ต่อหน่วยปริมาตรและอุณหภูมิของของเหลว

จากประสพการณ์ของผู้ที่เคยวิจัยมาได้บันทึกไว้ว่า ค่า G ควรจะมีอยู่ระหว่าง 30 – 60 ต่อวินาทีสำหรับระยะเวลาของการไหล (t_d) 20 – 40 นาที และ Gt_d ระหว่าง 10^4 ถึง 10^5

3.6 <u>ขั้นตอนในการทำตะกอน</u> (Stages in flocculations)

ขบวนการทำตะกอนประกอบด้วย 2 ขั้นตอนคือ การผสมเร็วและการกวนช้า

การผสมเร็วนั้นจะใช้ความเร็วที่เร็วที่สุดหรือ G สูง ๆ เพื่อให้สารเคมีกระจายไปทั่วน้ำ แล้วลดความเร็วลงเป็นกวนช้า เพื่อให้ฟล็อคที่เกิดได้เคลื่อนไปรวมตัวกับความขุ่นที่มีอยู่ในน้ำ ทำให้ฟล็อคมีขนาดโต และหนักขึ้นพอที่จะแยกตัวออกจากน้ำ

ดังนั้น ในการปฏิบัติการทำตะกอนจะมีเครื่องมือ 2 แบบ คือ เครื่องมือที่ใช้ผสม และเครื่องที่ใช้กวน

3.6.1 เครื่องผสม (Mixing devices) แบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ

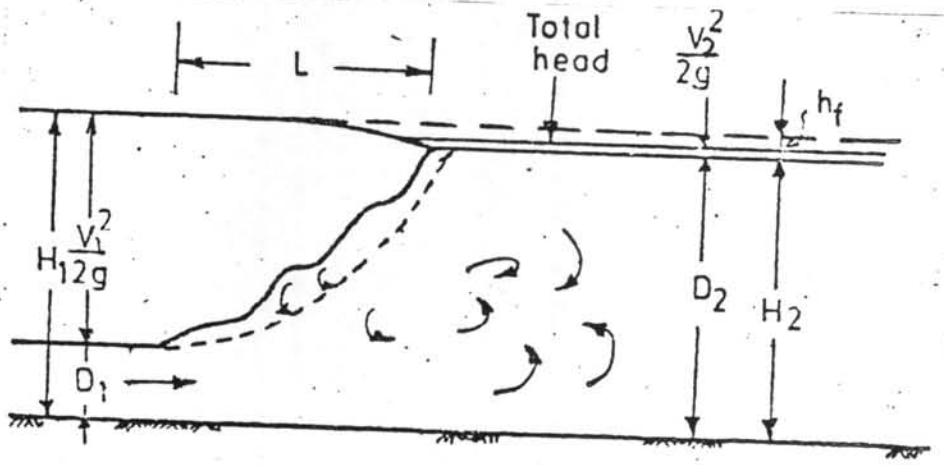
3.6.1.1 การผสมโดยใช้ Hydraulic jump

Hydraulic jump (13) เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อของไหลเปลี่ยนสภาพจาก Super critical flow เป็น Sub critical flow ซึ่งสาเหตุที่การไหลเปลี่ยนจาก Super critical เป็นการไหลแบบ Sub critical flow ก็เนื่องจากความเสียดทานของท้องคลอง หรือผ่านสิ่งกีดขวางต่าง ๆ

การไหลของน้ำแบบ Hydraulic jump จะทำให้เกิดปั่นป่วนไปทั่วถัง ทำให้สิ้นเปลืองพลังงานมาก การผสมนี้จะประกอบด้วยหางลาดหรืออาจจะมีขอบหรือไม่มีขอบก็ได้ โดยความเอียงนี้จะให้เกิด jump โดยที่ขอบของรางจะเป็นตัวทำให้เกิด jump แบบต่าง ๆ

Hanter Rouse (38) ได้แสดง Hydraulic jump โดยทำให้น้ำเกิดเป็นคลื่นที่ผิว เมื่อความลึก D_1/D_2 มีค่ามากกว่า 2,375 ค่า Froude number FN มีค่ามากกว่า 2

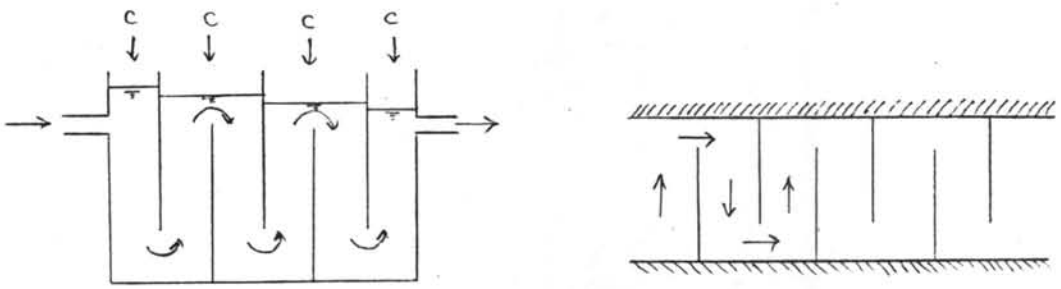
ค่าของ $D_1+V_1^2/2g$ จะมีค่ามากขึ้นในบริเวณที่การไหลไม่แน่นอน ถ้าหากว่าเรามีการควบคุมอย่างดีแล้ว สามารถทำให้เกิด Hydraulic jump ที่พอเหมาะซึ่งจะเป็นการทำตะกอนแบบผสมเร็ว



รูปที่ 3.3 -PROFILE CHARACTERISTICS OF HYDRAULIC JUMP

3.6.1.2 แบบแผ่นกั้น (Baffle)

ถังที่ใช้ผสมเร็วชนิดนี้มักเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า อาจให้น้ำไหลไปตามแนวนอน หรือขึ้นลงตามแนวตั้งก็ได้ ตัวถังจะมีแผ่นกั้น (Baffle) เป็นระยะ ๆ ไป น้ำดิบซึ่งผสมกับสารเคมีจะไหลไปตามช่องแคบ ๆ ทำให้มีความเร็วเพิ่มขึ้น โดยปกติความเร็วของน้ำอยู่ระหว่าง 0.75 – 1.50 เมตร/วินาที



แบบขึ้นลงตามแนวตั้ง (over and under baffle)

แบบไหลตามแนวนอน (round the end baffle)

รูปที่ 3.4 แผ่นกั้น(baffle)

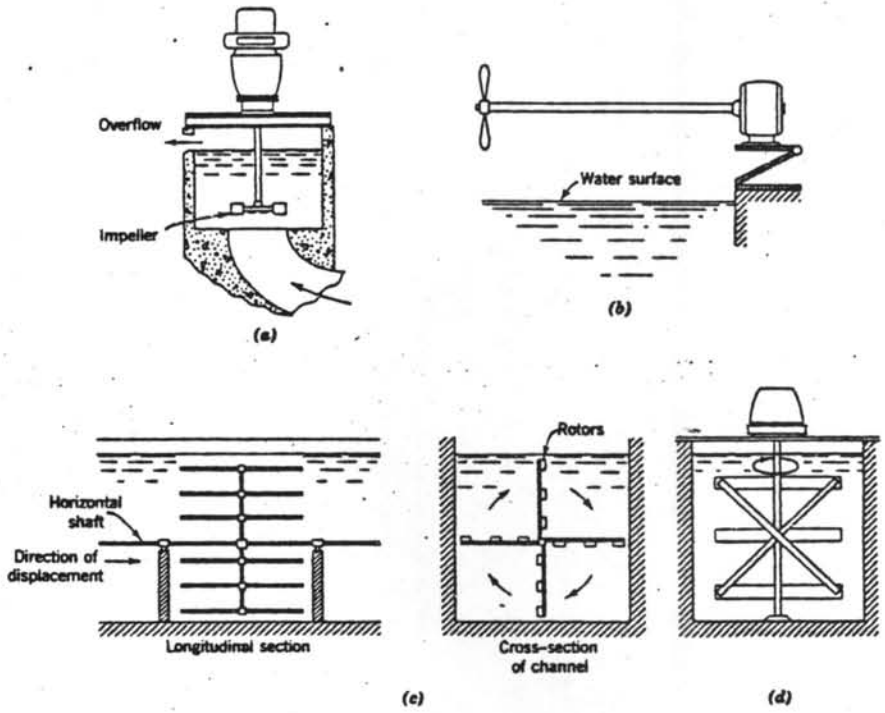
3.6.1.3 การผสมโดยใช้เครื่องมือกล (Mechanical Mixing)

การผสมแบบนี้ความเร็วสัมพัทธ์ต่อหน่วยระยะทางไม่ขึ้นอยู่กับอัตราการไหล แต่ขึ้นอยู่กับความเร็วของใบพัด แบบต่าง ๆ ของเครื่องมือกลมีดังนี้

1. ใบพัด Paddles ใบพัดอาจจะติดตั้งในแนวดิ่งหรือแนวระดับ การหมุนของใบพัดจะทำให้น้ำในถังถูกกวนและหมุนวนไปรอบ ๆ

2. กังหัน Turbines กังหันจะประกอบด้วยใบพัดโค้งติดอยู่ที่แกนในแนวดิ่ง และแนวระดับ โดยใช้ความเร็ว 10 – 50 รอบต่อนาที

3. ใบจักร Propellers มีลักษณะเป็นเกลียวโดยเกลียวจะอยู่ในแนวดิ่งหรือเอียง ๆ ความเร็ว 50 – 1500 รอบ/นาที



รูปที่ 3.5

Mixing and stirring impellers. (a) Flash mixer; (b) mixing propeller tilted into horizontal position; (c) paddle or blade mixer with horizontal shaft; (d) paddle mixer with vertical shaft.

การผสมเร็วในถังผสมโดยใช้เครื่องยนต์หมุนใบพัด ทำให้เกิดการปั่นป่วนจัดว่าเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพมาก ถังผสมที่ใช้อาจเป็นรูปทรงกระบอกหรือรูปสี่เหลี่ยม พบว่าโดยทั่วไปใช้เวลาผสม 30 – 60 วินาที (detention time) โดยให้น้ำในถังมีความเร็วสัมพัทธ์ต่อหน่วยระยะทาง (G)ประมาณ 300 น. /วินาที – น.

3.6.2 เครื่องกวน (Stirring devices)

หลังจากสารเคมีผสมเข้ากับน้ำดิบโดยทั่วกันแล้ว จะเกิดเป็นตะกอนฟล็อคขนาดเล็ก ๆ เป็นจำนวนมากไหลปะปนไปตามถังกวนตะกอน (flocculation tank) ตะกอนฟล็อคเหล่านี้จะปะทะกันเอง และสัมผัสกับสิ่งปะปนอื่น ๆ ในน้ำด้วย เมื่อระยะเวลาของการไหลและการสัมผัสกันเพิ่มขึ้น ตะกอนฟล็อคจะจับตัวกันมีขนาดใหญ่ขึ้นรวมทั้งน้ำหนักของตะกอนก็จะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ในการไหลดังกล่าวในถังทำตะกอนนี้จะต้องจัดให้มีความเร็วของการไหลไม่ต่ำกว่า 0.15 เมตร/วินาที เพราะถ้าไหลช้ากว่านี้อาจมีการตกตะกอนในถังทำตะกอนนี้ได้ และไม่ควรจะไหลด้วยความเร็วสูงกว่า 0.61 เมตร/วินาที เพราะการปะทะอาจแรงเกินไปจนทำให้ตะกอนฟล็อคแตกออกเป็นเม็ดเล็กไม่มีน้ำหนักเพียงพอที่จะตกตะกอน ระยะเวลาของการไหลและสัมผัส (detention time)อยู่ระหว่าง 20 – 60 นาที

ถ้าหากการเกิดตะกอนเป็นไปยากมีฟล็อคน้อย อาจปรับค่าความเร็วสัมพัทธ์ต่อหน่วยระยะทางให้ลดลงเหลือ 5 เมตร/วินาที – เมตร แต่ถ้าการเกิดฟล็อคดีอาจใช้ค่า G ได้สูงถึง 100 เมตร/วินาที – เมตร

ชนิดของการทำตะกอนแบ่งออกได้เป็นแบบแผ่นกั้น (baffle)และใช้เครื่องยนต์หมุนใบพัด (Mechanical)

3.6.2.1 แบบแผ่นกั้น (Baffle)

แบบนี้เป็นวิธีที่สมัยแรกนิยมใช้กันมาก โดยให้มีการไหลลอดหรือไหลข้าม และไหลวนในแผ่นกั้นความเร็วของการไหลของน้ำอยู่ในช่อง 0.09 – 0.31 เมตร/วินาที โดยให้เวลาที่ต้องค้างอยู่ในถังมีค่า 10 – 60 นาที สำหรับค่าระดับน้ำที่สูญเสียหาได้จากสมการ

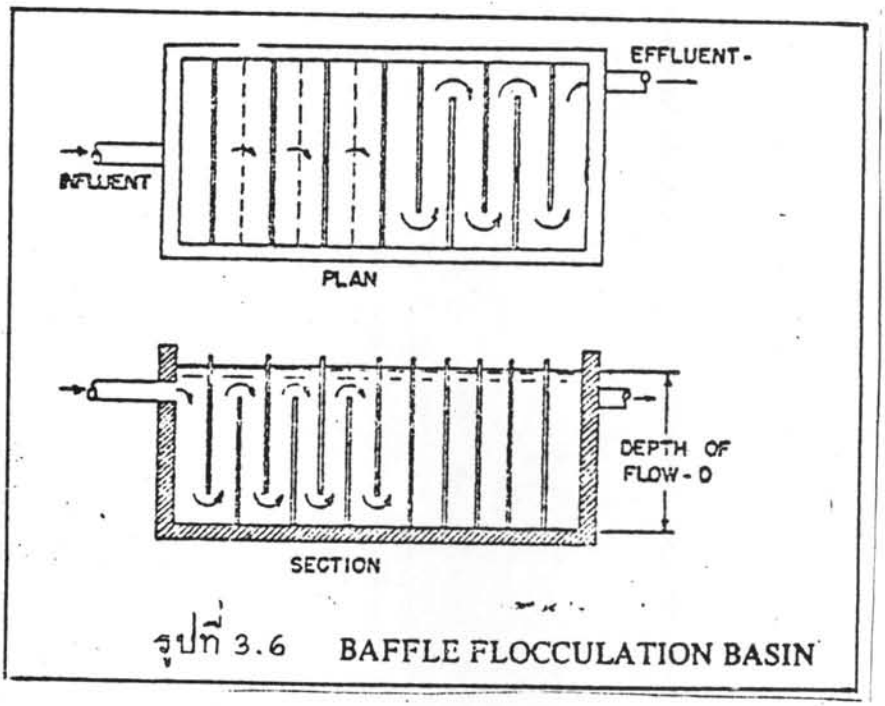
$$H = nv_1^2/2g + (n-1)v_2^2/2g$$

โดยที่

V_1 = ความเร็วของน้ำที่ไหลระหว่างแผ่นกั้น

V_2 = ความเร็วของน้ำที่ไหลออมตรงปลายแผ่นกั้น

n = จำนวนช่องที่น้ำไหล



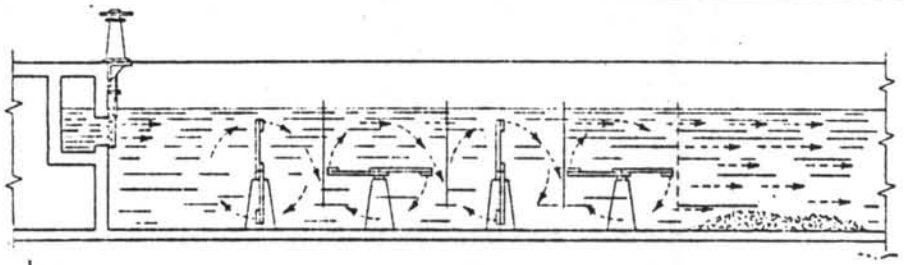
รูปที่ 3.6 BAFFLE FLOCCULATION BASIN

3.6.2.2 Mechanical Stirres

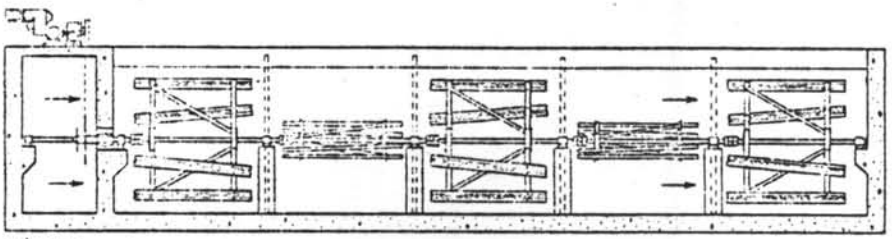
เครื่องมือกวนที่ใช้มีหลายแบบหลายขนาด ดังแสดงในรูป 3.7 ถ้าใช้เครื่องมือกวนต่างขนาดหรือต่างแบบ แม้ว่าจะให้ค่า G เท่ากัน แต่ฟล็อคที่ได้อาจจะไม่เหมือนกัน เครื่องมือกวนแบบที่ดีที่สุดได้แก่ที่ให้ค่า G เท่ากันตลอดในถังทำตะกอน

ปัจจุบันเครื่องมือกวนแบบใช้ใบพัด เป็นที่นิยมใช้มากแต่มีข้อจำกัดว่า

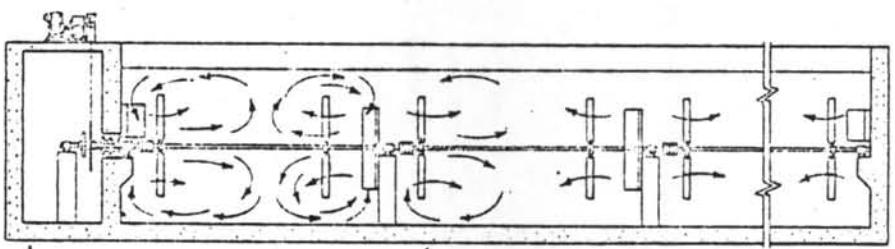
1. ไม่สามารถทำให้เกิดการกวนในถังทำตะกอนให้เท่ากันตลอดได้ อันทำให้ฟล็อคที่ได้ไม่ดีนัก
2. ต้องลงทุนค่าก่อสร้างสูง
3. ต้องลงทุนค่าบำรุงรักษามาก
4. ต้องมีช่างที่มีฝีมือคอยควบคุมดูแลรักษา



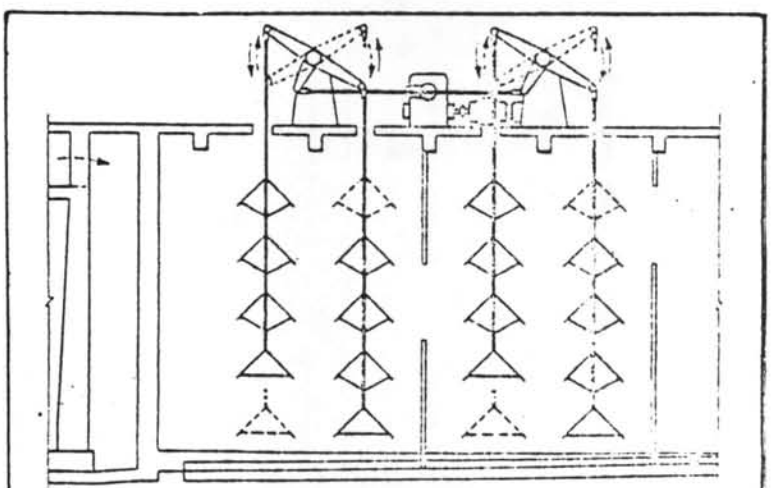
รูป 3.7.1 Flocculating equipment. A series of paddles placed transvorsely across the tank width are arranged to impart a barrel-roll motion to the water.



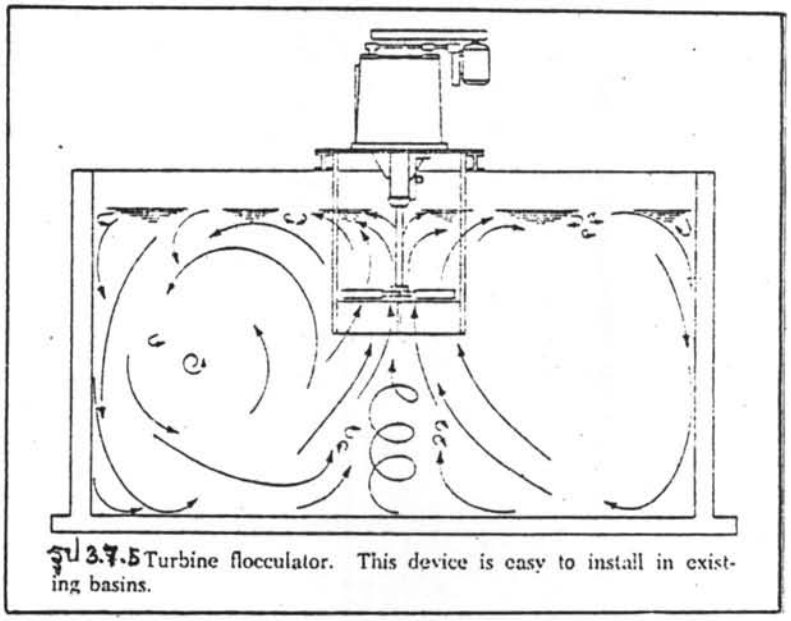
รูป 3.7.2 Paddle reel flocculator. The intensity of mixing depends on the area of the paddle blades and the rotational speed of the shaft. The water flows in the direction of the drive shaft.



รูป 3.7.3 Axial-flow propeller flocculator. This mixing unit is similar to the paddle reel flocculator.



รูป 3.7.4 Walking beam flocculator. The up-and-down motion of the paddles provides gentle agitation.



รูป 3.7.5 Turbine flocculator. This device is easy to install in existing basins.

รูปที่ 3.7 Mechanical Stirres

3.7 ความสำคัญของขนาดฟล็อคที่มีผลต่อการตกตะกอน

ในถังตกตะกอนนั้นความเร็วในการตกตะกอนของฟล็อคสามารถแสดงได้ด้วยกฎของสโต๊กดังนี้คือ

$$V_s = \frac{1}{18} \frac{g(\rho - \rho')\, d^2}{\mu}$$

โดยที่

V_s = ความเร็วในการตกตะกอนของฟล็อค

ρ = ความหนาแน่นของน้ำ

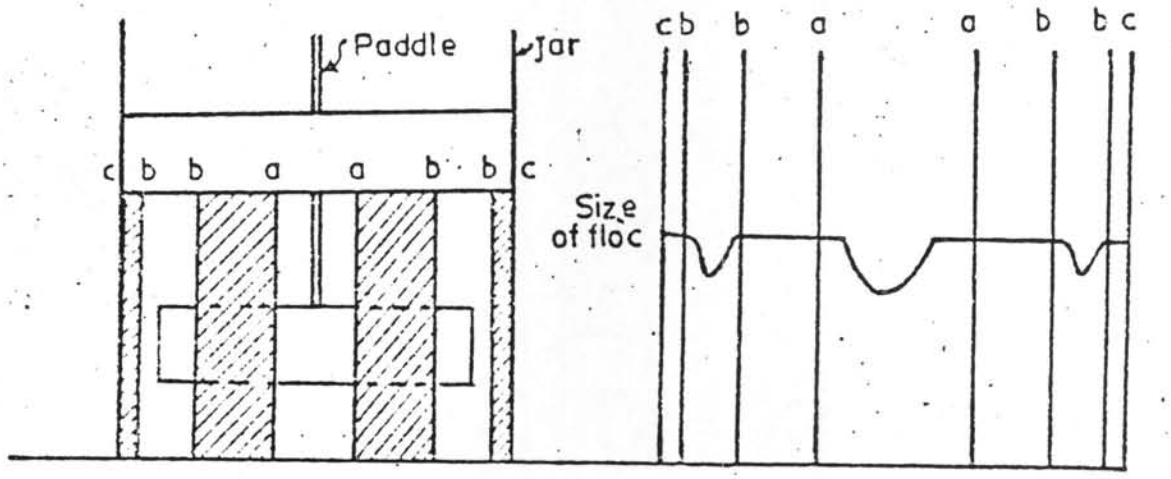
ρ' = ความหนาแน่นของฟล็อค

d = เส้นผ่าศูนย์กลางของฟล็อค

μ = ความหนืดสมบูรณ์ของน้ำ

สำหรับตะกอนและของเหลวที่มีค่า ρ, ρ', g, μ คงที่แล้ว ค่า V_s จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับ d^2

ในการกวนตะกอนแบบใช้เครื่องจักรกลนี้ สามารถกระจายความเร็วเป็นเขตดังรูป 3.5 จะเห็นได้ว่าขอบเขตที่อยู่ใกล้กับแกนนั้น จะมีความเร็วต่ำ ซึ่งทำให้น้ำเกิดการปั่นป่วนน้อยและจุดที่ใกล้ ๆ กับปลายใบพัดจะมีความเร็วสูง ซึ่งทำให้เกิดการปั่นป่วนมาก จากรูปขอบเขต a – a เป็นเขตที่มีการปั่นป่วนน้อยที่สุด และขอบเขต b – b จะมีความปั่นป่วนมากที่สุด และขอบเขตของ a – b และ b – c จะมีความปั่นป่วนเหมาะสม ดังนั้น จะไม่มีการเกิดตะกอนในขอบเขต a – a และตะกอนขนาดใหญ่เกือบทั้งหมดจะเกิดในขอบเขต b – b แต่เนื่องจากมีความปั่นป่วนมากในขอบเขต b – b จึงทำให้ตะกอนในเขต b – b มีขนาดเล็กลง ดังนั้น จะได้ขนาดตะกอนที่ดีที่สุดในเขต a – b และ b – c จากรูปซึ่งแสดงขนาดตะกอนต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น พบว่าพลังงานที่ใช้จะใช้เพียง 1/3 ของพลังงานทั้งหมดที่ได้ใช้ประโยชน์เท่านั้น



(a) Velocity distribution diagram (b) Floc size distribution diagram

(Not to scale)

รูปที่ 3.8 แสดงการกระจายความเร็วที่บริเวณต่าง ๆ

3.8 เครื่องทำตะกอนแบบใช้ของแข็งเป็นตัวกลาง

การที่จะให้ตะกอนที่มีขนาดและรูปร่างเท่า ๆ กันนั้น สิ่งสำคัญก็คือจะต้องให้น้ำไหลผ่านในเครื่องทำตะกอนมีความเร็วสัมพัทธ์ต่อหน่วยระยะทางเท่า ๆ กันตลอดพื้นที่หน้าตัด เครื่องทำตะกอนแบบใช้ของแข็งเป็นตัวกลางสามารถที่จะแก้ปัญหานี้ได้โดยหมดสิ้น หลักการของเครื่องทำตะกอนแบบใช้ของแข็งเป็นตัวกลางโดยให้น้ำดิบผสมสารส้มและไหลผ่านตัวกลาง ซึ่งถูกบรรจุในท่อทำตะกอน ตัวกลางที่ใช้ในที่นี้อาจจะเป็นกรวดทรายก็ได้ เมื่อน้ำดิบที่ผสมสารส้มแล้วไหลผ่านช่องว่างระหว่างเม็ดตัวกลาง ทำให้เกิดแรงเฉือนและเกิดความเร็วสัมพัทธ์ต่อหน่วยระยะทางเกิดการสัมผัสกันของอนุภาค และรวมตัวเป็นอนุภาคขนาดใหญ่ขึ้น

จุดประสงค์ของการเลือกขนาดตัวกลาง ความลึกหรือหนาของตัวกลาง และอัตราการไหลของน้ำก็เพื่อให้ได้ขนาดของตะกอนที่ออกมาเหมาะสมดี และให้ความขุ่นที่เกิดขึ้นค้างอยู่ในท่อกวนตะกอนน้อยที่สุด เพื่อป้องกันปัญหาการกำจัดหรือเก็บกักความขุ่นในท่อกวนตะกอน ความเร็วในการไหลจึงควรมีค่ามากกว่า 0.30 เมตร/นาที การที่จะทำให้เกิดการเก็บกักความขุ่นในท่อกวนตะกอนน้อยที่สุดนั้นควบคุมโดยขนาดของตัวกลาง ความลึกของตัวกลาง และความเร็วในการไหล นั่นคือ เมื่อขนาดของตัวกลางมีขนาดใหญ่ขึ้น การเก็บกักตะกอนจะมีน้อยกว่าขนาดตัวกลางที่เล็ก และเมื่อความเร็วของการไหลสูงการกำจัดหรือเก็บกักตะกอนในท่อจะน้อยกว่าการไหลที่ใช้ความเร็วต่ำ เพราะฉะนั้นเพื่อจะลดการกำจัดหรือเก็บกักในท่อทำตะกอน จึงควรพิจารณาขนาดของตัวกลาง ความหนาของตัวกลาง และความเร็วในการไหล

3.9 การควบคุมและวัดค่าความเร็วสัมพัทธ์ต่อหน่วยระยะทางในเครื่องทำตะกอนแบบใช้ของแข็งเป็นตัวกลาง

ความเร็วสัมพัทธ์ต่อหน่วยระยะทาง (G) สามารถหาได้จาก

$$G = \sqrt{\frac{P}{\mu C}} = \left(\frac{Q\rho gh}{\mu C}\right)^{1/2} = \left(\frac{gh}{\frac{\mu}{\rho}\frac{C}{Q}}\right)^{1/2}$$

$$= \left(\frac{gh}{\nu t_d}\right)^{1/2}$$

โดยที่

h = ค่าระดับน้ำที่สูญเสีย (เมตร)

t_d = ระยะเวลาที่น้ำไหลผ่านตัวกลาง (วินาที)

ν = ความหนืดจลน์ (สโตก)

ε = อัตราเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก (เมตร/วินาที ^{2})

จากสมการนี้ค่า G สามารถควบคุมได้โดยการควบคุมระยะเวลาที่น้ำไหล และค่าระดับน้ำที่สูญเสียที่ผ่านตัวกลางของแข็ง

ค่าระยะเวลาที่น้ำไหลหรือสัมผัสสามารถควบคุมได้โดยการปรับค่าปริมาณการไหลของน้ำดิบที่ผ่านชั้นตัวกลางไป ซึ่งสามารถแสดงสมการได้ดังนี้

$$t_d = L/V$$

โดยที่

t_d = ระยะเวลาที่น้ำไหลหรือสัมผัส (นาที)

L = ความหนาหรือความลึกของตัวกลาง (เมตร)

V = ความเร็วที่น้ำไหลผ่านตัวกลาง (เมตร/นาที)