



ประวัติความเป็นมาและทฤษฎีของถังตกตะกอน

2.1 ประวัติความเป็นมา

Hazen (1904) ได้แนะนำเกี่ยวกับถังตกตะกอนแบบอุดมคติ (Ideal - Sedimentation) ใช้สำหรับตกตะกอนแบบที่ 1 ว่าถังควรมีพื้นที่มากที่สุดเท่าที่จะเป็นได้ ทั้งนี้เพราะว่าปริมาณการตกตะกอนของอนุภาคเชิงอิสระ ที่ไม่เกาะกัน (Discrete Particles) ซึ่งปะปนอยู่ในน้ำ และอัตราปริมาณน้ำไหลผ่านถังในการตกตะกอนแบบนี้ไม่ขึ้นกับความลึกของถัง หากสามารถเพิ่มพื้นที่ถังตกตะกอนได้เป็น 2 เท่า ประสิทธิภาพการตกตะกอนก็จะเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า Hazen จึงได้เสนอแนะว่าหากสามารถเพิ่มพื้นที่แผ่นขนานที่จะรับตะกอนของถังได้มากที่สุดเท่าใด ประสิทธิภาพการทำงานของถังก็จะเพิ่มมากขึ้นเท่านั้น อย่างไรก็ตามการเพิ่มพื้นที่ถังตกตะกอนให้มากขึ้นโดยเพิ่มแผ่นชั้นภายในถังจำนวนมากเกินไปจะทำให้ช่องว่างระหว่างแผ่นขนานเหล่านั้นน้อยเกินไป ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับการยกตัวของตะกอนที่ตกอยู่บนแผ่นขนานเหล่านั้นและปัญหาเกี่ยวกับการทำความสะอาดถัง

ปี 1915 ได้มีการปรับปรุงการออกแบบถังตกตะกอนชนิดมีแผ่นขนานวางเป็นชั้น ๆ ภายในถัง (Tray Settling Basin) ให้เหมาะสมกับการทำงานจริง โดยออกแบบแผ่นขนานแต่ละชั้นเป็นแบบกรวยกลม หรือแผ่นวงกลมเรียงซ้อนกันเป็นชั้น ตะกอนในแต่ละชั้นจะตกไปรวมกันในส่วนที่เก็บตะกอนซึ่งอยู่ส่วนล่างของถังตกตะกอน ตะกอนส่วนล่างของถังนำออกโดยใช้เครื่องกวาดตะกอน

Camp (1946) ได้อธิบายผลการออกแบบถังตกตะกอนโดยใช้แผ่นขนานกับพื้นถังวางเรียงห่างกันเป็นชั้น แต่ละชั้นห่างกัน 6 นิ้วและคิดว่าเป็นระยะห่างแต่ละชั้นที่เหมาะสมในการถ่ายเทตะกอนน้ำไหลผ่านถังใช้เวลา 10.80 นาที (Detention time) ความเป็นน้ำไหล-



ผานดัง 9.3 ฟุตก่อนน้ำ และอัตราน้ำผานดัง 667 แกลลอน ต่อตารางฟุตก่อนวัน

ผลการประยุกต์ดังตักตะกอนแบบต้นโดยใช้ผานขนานวางเรียงซ้อนกันเป็นชั้น
ประสมปัญหาในทางปฏิบัติที่สำคัญ 2 ประการ ดังนี้

1. ปัญหาการควบคุมให้น้ำไหลผานแต่ละชั้นภายในดังให้สม่ำเสมอ
2. ปัญหาการถ่ายเทตะกอนออกจากแต่ละชั้นภายในดังเนื่องจากระยะ
ห่างของชั้นภายในชิดกันเกินไป

Schmitt และ Voigt (1949) ได้รายงานผลการใช้ดังตักตะกอนแบบ
ภายในดัง ใช้ผานขนานแบ่งเป็น 2 ชั้น โดยแต่ละชั้นวางห่างกัน 15 ฟุตทำความสะอาดดัง
โดยให้ตะกอนไหลออกจากดังด้วยน้ำหนักตัวเอง

Camp (1953) ได้ออกแบบดังตักตะกอนโดยใช้ผานชั้นวางซ้อนกันเป็นจำนวน
มาก ระยะห่างแต่ละชั้นน้อยมาก ปรากฏว่าดังตักตะกอนแบบนี้ สามารถกำจัดตะกอนได้ดี
แต่ก็ยังมีปัญหาเกี่ยวกับการใช้เครื่องจักรในการนำตะกอนออกจากดัง

จากความพยายามเกี่ยวกับการปรับปรุงดังตักตะกอนทั้งหมด ตั้งแต่ปี 1915 -
ปี 1953 ปรากฏว่าได้ผลดีไม่เท่าที่ควร เนื่องจากยังไม่สามารถแก้ปัญหาที่สำคัญ 2 ประการ
ได้ คือ

1. ไม่สามารถควบคุมอัตราการไหลปริมาณน้ำในแต่ละชั้นภายในดังให้
สม่ำเสมอได้
2. มีปัญหาเกี่ยวกับการนำตะกอนออกจากดัง เนื่องจากระยะห่างผาน
ขนานภายในดังแต่ละชั้นน้อยเกินไป

Fischer Strom (1955) ได้กล่าวถึงความจำเป็นในการเตรียมของเหลว
ให้อยู่ในสภาวะพร้อมที่จะตักตะกอน อย่างมีประสิทธิภาพและกำหนดอัตราการไหลของน้ำที่
เหมาะสม เพราะจากรายงานของผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับดังตักตะกอนในช่วงนั้น ส่วนมากมักจะ
เน้นหนักไปทางความสำคัญของอัตราการไหลของน้ำต่อพื้นที่ โดยมีโค่นำไปถึงสภาวะของ-

เหลวที่เหมาะสมที่จะตกตะกอน โดยเข้าใจว่าอัตราการไหลที่มีค่าเรโนลด์ส์นิมเบอร์ 500 ที่
 อุณหภูมิ 32 ฟาเรนไฮต์ของน้ำภายในถังจะเป็นสภาวะที่เหมาะสมที่จะตกตะกอนมากที่สุด
 ซึ่งในปัจจุบันถังตกตะกอนส่วนมากสามารถรับปริมาณการไหลของน้ำได้มาก โดยมีค่า -
 เรโนลด์ส์นิมเบอร์ระหว่าง 1000 - 2500 ทั้งนี้เพราะว่าความหนืด นิมเบอร์ของน้ำภายใน
 ถัง สามารถลดค่าลงได้ เมื่อค่าเส้นรอบรูปของถังสูงขึ้น โดยการเพิ่มแผ่นชั้นในแนวนอน
 หรือแนวตั้ง นอกจากนี้แผ่นชั้นในแนวนอน นอกจากช่วยลดค่าเรโนลด์ส์นิมเบอร์ของน้ำภายใน
 ถังแล้ว ยังสามารถลดอัตราการไหลต่อพื้นที่ถังได้อีก ตลอดจนสามารถลดระยะเวลาการตกตะกอน
 ในแนวตั้งได้อีกด้วย โดยพบว่า การเพิ่มขึ้นภายในถังตกตะกอน ทำให้ถังตกตะกอนสามารถ
 ลดระยะเวลาการตกตะกอนได้มากกว่าธรรมดา

Hansen และ Culp (1967) ได้พบวิธีการแก้ปัญหาสำคัญ 2 ประการที่
 กล่าวมาแล้วของถังตกตะกอนแบบคันที่มีชั้นภายในถัง โดยได้ออกแบบถังตกตะกอนแบบที่
 ใช้หลอดเล็ก ๆ วางเรียงกัน ในลักษณะเอียงภายในถัง เรียกว่าถังตกตะกอนแบบ tube
 settler ซึ่งพบว่าหลอดเล็ก ๆ เหล่านั้น ได้เพิ่มเส้นรอบรูปเปียก (wetted perimeter)
 ขึ้นเป็นจำนวนมาก เมื่อเทียบกับเส้นรอบรูปเปียกของถังธรรมดา และจะลดค่าเรโนลด์ส์นิมเบอร์
 ของเหลวที่ไหลภายในถังลงได้อย่างมาก จึงทำให้ของเหลวอยู่ในสภาวะที่จะตกตะกอนได้ดี
 นอกจากนี้ยังพบว่าปัญหาการนำตะกอนออกสามารถทำได้โดยเอียงหลอดเพียง 5° กับแนวตั้ง
 ตะกอนที่ค้างภายในหลอดก็จะตกลงมาข้างล่างได้โดยน้ำหนักตัวเอง (Removal by
 gravity) จากการศึกษาและทดลองเกี่ยวกับถังตกตะกอน เมื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของ
 ของถังโดยการเพิ่มแผ่นชั้นภายในถัง ในลักษณะต่าง ๆ หรือเพิ่มหลอดกลมเล็ก ๆ จนมาถึง
 การออกแบบถังแบบระบบโซลิตคอนแทค ซึ่งใช้ระบบตะกอนหมุนเวียนภายในถังและรวมหน่วย
 ผสมน้ำกับสารเคมี, หน่วยตกตะกอน ไว้ในถังเดียวกัน

ถังตกตะกอนแบบโซลิตคอนแทคซึ่งใช้ในระบบการผลิตน้ำประปาเป็นที่รู้จักกันก่อน
 ปลายศตวรรษที่ 18 เรียกว่า ถังตกตะกอน Dortmund ซึ่งเป็นถังตกตะกอนแบบโซลิตคอนแทค
 ขนาดใหญ่ครั้งแรกที่สร้างขึ้นโดย Muller-Nahsen และ Kuiebacher ของ Dortmund

เมื่อปลายปี 1880 เริ่มแรกถึงมีลักษณะเป็นรูปกรวยหรือปิรามิดหงาย การออกแบบถึงลักษณะดังกล่าวเพื่อรับอนุภาคแขวนลอยและชั้นตะกอน มีเครื่องมือสำหรับควบคุมการไหลของน้ำเข้าถึงส่วนล่าง Prager (1950)

Archbutt และ Deeley (1892) ได้ออกแบบถึงตกตะกอนแบบไซคลิกคอนแทค โดยมีลักษณะที่สำคัญ 2 ส่วน ซึ่งมีความเกี่ยวข้องกันส่วนหนึ่งใช้สำหรับผสมสารเคมีกับของเหลวที่มีตะกอนอยู่ อีกส่วนหนึ่งสำหรับแยกส่วนใสและตะกอนออกจากกัน ซึ่งระบบดังกล่าวเรียกว่าระบบเร่งการเกิดตะกอน (Acceleration Precipitation) ผู้ประดิษฐ์มีจุดประสงค์ใช้ถึงแบบนี้เพื่อลดความกระด้างโดยถึงแบบนี้ทำให้ส่วนที่เกิดความกระด้างตกตะกอนและเป็นที่ยอมรับใช้กันในประเทศฝรั่งเศส และประเทศอังกฤษ

Declercq ได้ปรับปรุงถึงตกตะกอนแบบ Acceleration Precipitation โดยการนำตะกอนที่เจือจางหรือที่มีความเข้มข้นขนาดกลางกลับมาเข้าหน่วยผสมน้ำกับสารเคมีใหม่ พบว่าตะกอนที่มีขนาดเล็กหรือขนาดกลางเหมาะสมที่จะนำกลับมาใช้ใหม่ ดีกว่าตะกอนหนักจากการทดลองได้สรุปผลการหมุนเวียนตะกอนนำมาใช้ในของเหลวใหม่ว่า อัตราส่วนจากตะกอนเดิมที่สามารถนำมาใช้ใหม่จะมีค่าระหว่าง 5 ต่อ 1 ถึง 100 ต่อ 1 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดอนุภาคแข็งในตะกอนเหล่านั้นในปี 1909 Lamy ได้ปรับปรุงถึงตกตะกอนแบบนี้ให้ทันสมัยขึ้นโดยใช้แรงดันอากาศในการหมุนเวียนตะกอน Lamy (1950)

ในปี 1938 Charles H. Spaulding แห่งเมือง Springfield ได้ปรับปรุงถึงตกตะกอนแบบไซคลิกคอนแทค แบบทันสมัยเป็นครั้งแรกโดยเรียกถึงตกตะกอนแบบนี้ว่า Precipitator ถึงตกตะกอนแบบนี้รวมหน่วยผสมสารเคมีกับน้ำ, หน่วยที่ทำให้อนุภาคแข็งรวมตัวโตขึ้น และหน่วยตกตะกอนรวมไว้ในถึงเดียวกัน (Hopkin Bean 1966)

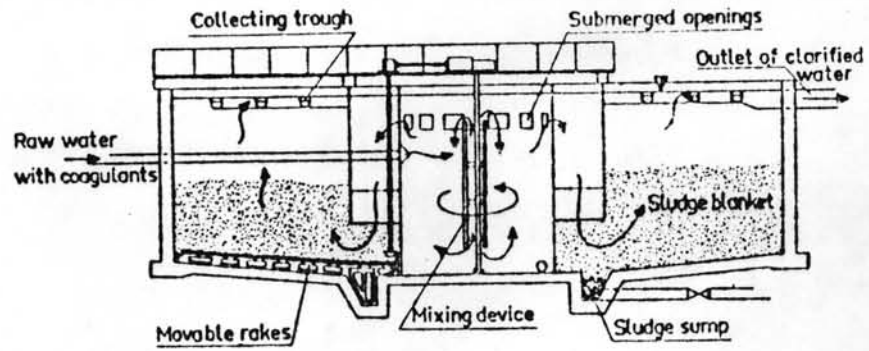
Tesarik (1967) ได้กล่าวว่าถึงตกตะกอนแบบไซคลิกคอนแทค ซึ่งเป็นที่รู้จักกันในราวปลายศตวรรษที่ 19 ในระบบการผลิตน้ำประปาเมื่อเทียบกับถึงตกตะกอนธรรมดา ถึงตกตะกอนแบบนี้มีข้อดีหลายประการ เช่น ระยะเวลาที่น้ำภายในถึงสั้น (Short Detention time) ประมาณ 1 - 2 ชั่วโมง การลงทุนก่อสร้างน้อยกว่าถึงธรรมดาประมาณ 5 % และ

สามารถผลิตน้ำที่มีคุณภาพดีกว่า อย่างไรก็ตามก็ดี ดังตกตะกอนแบบไฮดรอลิกคอนแทคต้องการความละเอียดในการควบคุมและขึ้นกับความถูกต้องในการผสมสารเคมีกับน้ำดิบ

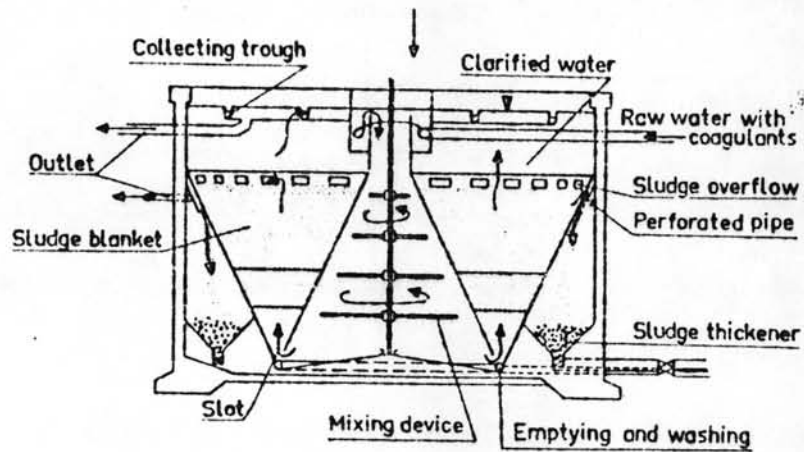
ดังตกตะกอนแบบไฮดรอลิกคอนแทคพอจะแบ่งได้เป็น 4 ประเภท

1. แบบที่ใช้เครื่องกลกววนส่วนผสมระหว่างสารเคมีและน้ำ (Mechanically Agitated Bed) ตามรูปที่ 1 ซึ่งมีเครื่องกวาดตะกอน วางอยู่บนพื้นล่างภายในตัวถัง เคลื่อนที่อย่างช้ากวาดตะกอนไปรวมไว้ในที่เก็บ ความเร็วสูงสุดในการเคลื่อนที่ประมาณ 0.6 มม. ต่อวินาที และอนุภาคแขวนที่รวมกัน (floc) ขนาดใหญ่ จะจับตัวรวมกับตกลงมาข้างล่าง น้ำที่เหลือหลังเครื่องกวาดจะทำให้อนุภาคแข็งที่ปนอยู่ในน้ำ อยู่ในลักษณะเป็นของไหล เคลื่อนที่ไปมาขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของถังประมาณ 40 เมตร
2. แบบไฮดรอลิกคัลล์ฟลูอิดไลส์เบด (Hydraulically Fluidized Bed) ตามรูปที่ 2 ภายในถังส่วนที่เป็นแบบไฮดรอลิกคอนแทค จะมีรูปร่างแบบกรวย โดยทำมุมกับแนวราบ 60° ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางไม่ต่ำกว่า 10 เมตร ความเร็วของน้ำที่ผ่านการทำโอเอกูเลชันเข้าถังไม่ต่ำกว่า 0.6 มม. ต่อวินาที เพื่อป้องกันมิให้อนุภาคแข็งที่รวมตัวขนาดใหญ่ไปอุดตันตรงส่วนที่ปล่อยน้ำเข้าถัง
3. แบบหมุนเวียนตะกอน (Sludge Circulation) ตามรูปที่ 3 การทำงานของถังอาศัยการหมุนเวียนตะกอนภายในถัง การไหลของน้ำภายในถังแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนที่ 1 เป็นส่วนของตะกอนที่ไหลลงสู่ส่วนล่างของถัง ส่วนที่ 2 เป็นส่วนของน้ำใสที่ไหลขึ้นด้านบนของถัง
4. แบบการไหลไม่คงที่ (Unsteady Discharge) ตามรูปที่ 4 ดังตกตะกอนแบบไฮดรอลิกการไหลของน้ำที่ผ่านการผสมเคมีแล้ว จะเข้าถังเป็นจังหวะ (ประมาณ 4 ครั้งต่อนาที) เพื่อป้องกันการอุดตันของตะกอนตรงปลายท่อที่นำน้ำเข้าถัง Teparik (1967)

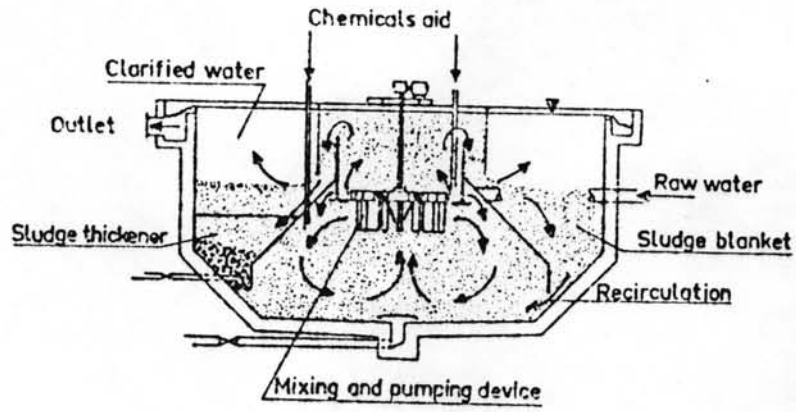
ในปัจจุบันนี้ ในยุโรปและอเมริกาใต้นิยมใช้ดังตกตะกอนแบบไฮดรอลิกคอนแทคกันอย่างแพร่หลายโดยมีการปรับปรุงถึงลักษณะต่าง ๆ กันของถังเพิ่มเติมมาเรื่อย ๆ ทั้งนี้เพื่อเพิ่ม -



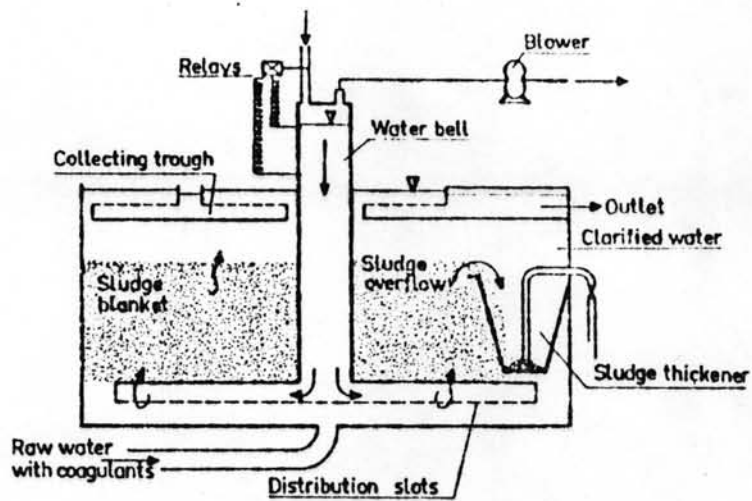
รูปที่ 1 ถังตกตะกอนใช้ลิตตอนแบบ Mechanically Agitated Bed



รูปที่ 2 ถังตกตะกอนใช้ลิตตอนแบบ Hydraulically Fluidized Bed



รูปที่ 3 ลักษณะการไหลเวียนของตะกอนแบบ Sludge circulation



รูปที่ 4 ลักษณะการไหลเวียนของตะกอนแบบ Unsteady Discharge

ประสิทธิภาพการทำงานของถังให้สูงขึ้นมากที่สุด ลดต้นทุนการผลิตให้ต่ำลงมากที่สุดเท่าที่จะทำได้ และเพิ่มปริมาณและคุณภาพในการผลิตน้ำประปาให้สูงขึ้น และมีการเรียกชื่อถังตะกอนที่เปลี่ยนแปลงขึ้นมาใหม่ต่าง ๆ กันตามบริษัทผู้ผลิต เช่น

Precipitator	(Permutit Co.)
Hydrotreator	(Dorr-Oliver)
Reactivator	(Graver Water Conditioning Co)
Pulsator	(Degremont)
Clariflow	(Waker Process Equipment)
Liquon	(Cochrane Corp)
Flocsettler	(American Well Works)
Accelator	(Infilco Co.)

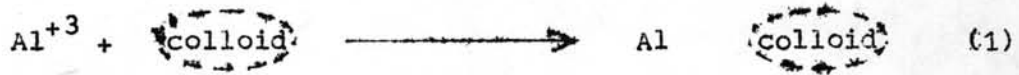


2.2 ทฤษฎีการรวมตะกอน (Theory of Coagulation)

โคแอกูเลชัน เป็นขบวนการเพื่อทำให้เกิดการรวมตัวของอนุภาคแขวนลอยเล็กๆ ในน้ำให้ใหญ่ขนาดโคจื่น และพร้อมที่จะตกตะกอนลงสู่ด้านล่าง ขบวนการโคแอกูเลชันเกิดขึ้นโดยการทำลาย (destabilization) แรงผลักรังกันและกันอันเนื่องมาจากประจุไฟฟ้า (electric double layers) รอบ ๆ อนุภาคแขวนลอยเหล่านั้น (La Mer, 1964)

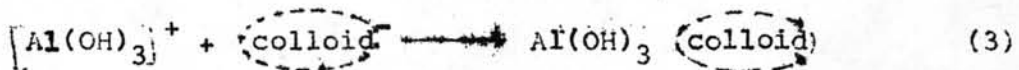
การทำลายแรงผลักรังกัน (destabilization) ของอนุภาคแขวนลอยด้วยการลดประจุไฟฟ้ารอบ ๆ อนุภาคเหล่านั้น ทำได้โดยการเติมสารเคมีโคแอกูแลนต์ ที่มีประจุไฟฟ้าตรงกันข้าม กับประจุไฟฟ้ารอบ ๆ อนุภาคเหล่านั้นจับตัวกันเป็นอนุภาคขนาดโคจื่น และตกตะกอนลงมา หรือสามารถทำได้โดยวิธีการเติมสารอิเล็กโทรไลต์ เพื่อลด electrokinetic zeta potential และลดแรงผลักรังกันระหว่างอนุภาคเหล่านั้นซึ่งจะทำให้เกิดโคแอกูเลชันเช่นกัน สารโคแอกูแลนต์ส่วนใหญ่ที่นิยมใช้กันอยู่มีหลายชนิด เช่น Aluminium sulfate ($Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$), Ferric Sulfate ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$)

การเกิดโคเอกูเลชัน เมื่อเติมโคเอกูแลนต์ ชนิด $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$ ลงไป
 ในน้ำปฏิกิริยาจะเกิดดังนี้ เมื่อทำการผสมอย่างเร็ว (flashmix) โมเลกุลของ
 aluminium sulfate จะสลายตัวให้ Al^{+3} , $SO_4^{=}$ และ complex ซึ่งเกิดจาก
 ไฮโดรไลซิสของอะลูมิเนียมต่าง ๆ เช่น $Al(OH)^{++}$, $Al(OH)_3$, $Al(OH)_4^-$
 ผลิตภัณฑ์ของการไฮโดรไลซิสบางตัวจะรวมกันเป็นลูกโซ่ยาวของ polymeric aluminium
 hydroxide ซึ่งมีประจุมากขึ้น พวกที่เกิดซึ่งมีประจุมาก อาจจะรวมกับคอลลอยด์ซึ่งมีประจุลบ
 เมื่อทำให้ประจุลบอนุภาคคอลลอยด์สะเทิน เกิดการรวมตัวของอนุภาคคอลลอยด์มีขนาดโตขึ้น

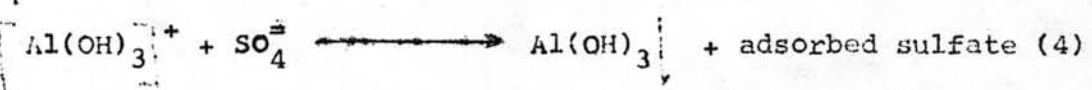


สำหรับโคเอกูแลนต์บางตัว เช่น $Al_2(SO_4)_3$, PH ของน้ำจะมีความสำคัญมาก
 ในการที่จะบอกค่าผลิตภัณฑ์พรีซิพิตไทน์จากการไฮโดรไลซิสที่เกิดขึ้นมากกว่าชนิดอื่น ถ้า PH ต่ำ
 พวกที่มีประจุบวกจะเกิดบวก โดยทั่วไป complex ซึ่งมีประจุลบมาก จะให้ผลในการเพิ่มทั้ง
 ปริมาณและอัตราเร็วของการตกตะกอน พวกอิออนที่มีประจุลบบางตัวเช่น $SO_4^{=}$ หรือ $PO_4^{=}$
 สามารถจะรวมตัวกับ Al^{+3} เกิดเป็น complex เป็นผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงถึงผลของ
 การตกตะกอน และ PH ที่ต่ำที่สุดที่การตกตะกอนเกิดขึ้น การคูณขึ้นของอิออน และคอลลอยด์
 มีความสำคัญมากในขบวนการนี้

Al^{+3} นอกจากจะจับตัวกับอนุภาคคอลลอยด์ดังสมการที่ 1 แล้ว ยังทำปฏิกิริยา
 กับ $(OH)^-$ ในน้ำกลายเป็น $Al(OH)_3$ เป็นตะกอนเล็ก ๆ รวมตัวกับอนุภาคชนิดอื่น
 เกิดเป็นตะกอนที่มีประจุบวกแล้วไปจับตัวกับอนุภาคคอลลอยด์ซึ่งมีประจุลบ เป็นเหตุให้เกิด
 อนุภาคใหญ่ขึ้น ดังสมการ



$[Al(OH)_3]^+$ + ที่เหลืออยู่จะทำปฏิกิริยากับอนุภาคลบอื่น เช่น $SO_4^{=}$



จากปฏิกิริยาเห็นว่า Al^{+3} มีประสิทธิภาพสูงกว่า $Al(OH)_3^+$ ในการทำลายประจุลบของอนุภาคคอลลอยด์ ดังนั้นเมื่อผสมสารส้มลงไปน้ำ จะต้องผสมอย่างรวดเร็วเพื่อให้เกิด Al^{+3} มากที่สุด (Sawyer และ McCarty)

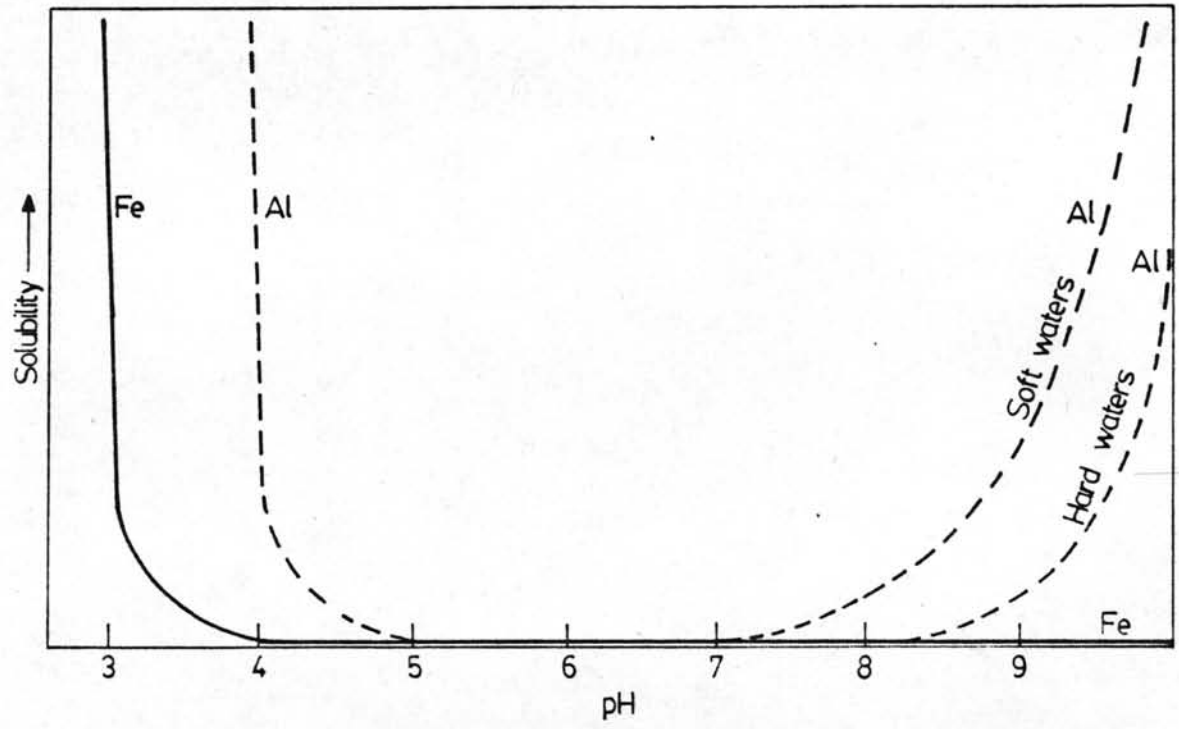
ผลกระทบของสิ่งเจือปนต่อขบวนการรวมตะกอน (Effect of Impurities on Coagulation)

004116

1. ผลกระทบของความขุ่น (Effect of Turbidity) น้ำที่มีความขุ่นน้อย อนุภาคแขวนลอยที่จะรวมตัวกันเป็นอนุภาคขนาดใหญ่ (floc) นั้น จะต้องใช้เวลานาน และทำได้ยากตรงกันข้ามกับน้ำที่มีความขุ่นสูงสามารถผสมสารเคมี เพื่อทำให้อนุภาคเหล่านั้นรวมตัวกันเป็นอนุภาคใหญ่ได้ง่ายกว่าและใช้เวลาน้อยกว่า Packham (1963)

2. ผลกระทบของพีเอช (Effect of PH)

PH ของน้ำมีความสำคัญมากในการควบคุมชนิดของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการไฮโดรไลซิสของโคเอกูแลนต์ และประจุของคอลลอยด์ หากค่า PH ของน้ำต่ำ พวกที่มีประจุบวกจะเกิดพวก โดยทั่วไป Complex ซึ่งมีประจุบวกมาก จะให้ผลในการเพิ่มทั้งปริมาณและอัตราเร็วของการตกตะกอน พวกไอออนที่มีประจุลบบางตัว เช่น SO_4^{2-} หรือ PO_4^{3-} สามารถที่จะรวมตัวกับ Al^{+3} เกิดเป็น Complex เป็นผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งผลของการตกตะกอน และ PH ที่ดีที่สุด ที่การตกตะกอนเกิดขึ้น ค่า PH ที่เหมาะสม (Optimum PH) ของการกำจัดคอลลอยด์ที่มีประจุแปรผันไปตามชนิดของน้ำ ปกติมีอยู่ในช่วง PH 5-6.5 ค่า K_{sp} ของ $Fe(OH)_3 = 1.1 \times 10^{-36}$ และ $Al(OH)_3 = 1.9 \times 10^{-33}$ ซึ่งทั้งสองตัวจะตกตะกอนอย่างสมบูรณ์ที่ PH 5 เหลือ Fe^{+3} และ Al^{+3} เพียงเล็กน้อยในน้ำ จาก solubility curve ในรูปที่ 5 จะเห็นว่า PH < 4, $(OH)^-$ จะมีไม่พอที่จะตกตะกอน Fe^{+3} และที่ PH < 5, $(OH)^-$ ก็จะไม่พอที่จะตกตะกอน Al^{+3} ดังนั้นในน้ำควรมีความเป็นด่าง ที่จะรักษา PH ไม่ให้ต่ำกว่า 5 เพื่อให้เกิดการตกตะกอนที่สมบูรณ์ของ Coagulation ion (จาก solubility curve ของ $Al(OH)_3$ จะขึ้นสูงไปอีกที่ PH 7-9 ทั้งนี้ เพราะมีคุณสมบัติเป็น amphoteric และมีแนวโน้มจะเกิดเป็น aluminate ion ที่ PH สูง ๆ (Sawyer และ McCarty)



รูปที่ 5 solubility curves for ferric and aluminum hydroxides.

3. ผลกระทบของความเป็นด่าง (Effect of Alkalinity)

ในขบวนการโคเอกูเลชันที่ใช้สารเคมีเพื่อทำให้เกิดการตกตะกอนของอนุภาคคอลลอยด์ในน้ำ จะทำปฏิกิริยากับน้ำเกิดเป็นตะกอนไฮดรอกไซด์ ซึ่งไม่ละลายน้ำ ในขบวนการดังกล่าว H^+ ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาเคมี จะทำปฏิกิริยากับความเป็นด่างของน้ำ ดังนั้นความเป็นด่างของน้ำจึงเป็นตัว buffer ที่จะรักษา pH ของน้ำให้อยู่ในช่วงที่ตกตะกอนทำงานได้ผล ค่าความเป็นด่างในน้ำควรจะมีอยู่ในปริมาณที่มากเกินปริมาณที่จะถูกทำลาย โดยกรดที่ถูกปล่อยออกมาจากสารตกตะกอน เพื่อให้การตกตะกอนได้ผลและเกิดอย่างสมบูรณ์ (Sawyer and McCarty)

4. ผลกระทบของอุณหภูมิ (Effect of Temperature)

น้ำที่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนในฤดูหนาวจะมีคุณสมบัติคือเรียกว่าฤดูร้อน เมื่อน้ำที่ผ่านถึงตกตะกอนแล้วจะผ่านถึงกรองมาตรวจสอบจะพบว่า น้ำที่ผ่านกระบวนการกรองรวมตะกอนในฤดูหนาวจะมีอนุภาคเล็ก ๆ จำนวนมากที่ไม่สามารถทำให้ตกตะกอนได้ในถังตกตะกอน เหลืออยู่และในขณะเดียวกันปริมาณสารเคมีที่ใช้ในฤดูหนาวจะมีปริมาณมากกว่า สำหรับถังตกตะกอนที่มีการไหลจากด้านล่างขึ้นมา ความเร็วของน้ำที่ปล่อยเข้าถังจะลดน้อยลงที่อุณหภูมิต่ำ เมื่อเทียบกับอุณหภูมิที่สูงกว่า เพื่อให้การทำงานของถังตกตะกอนมีประสิทธิภาพคงเดิมเพราะที่อุณหภูมิต่ำ น้ำจะมีความหนืดตัวสูงกว่าน้ำที่อุณหภูมิสูงกว่า (Tesarik, 1967)

2.3 ทฤษฎีของการทำให้เกิดฟล็อก (Theory of Flocculation)

ฟล็อกกุเลชัน เป็นขบวนการรวมตัวของอนุภาคคอลลอยด์ที่มีขนาดเล็กให้มีขนาดใหญ่ขึ้นแล้วตกตะกอนลงสู่ด้านล่าง เกิดขึ้นเมื่อเติมสารโคเอกูแลนต์ ลงไปในน้ำ เพื่อ destabilization อนุภาคคอลลอยด์ และทำให้อนุภาคคอลลอยด์เหล่านั้นเคลื่อนที่ไปมา จับตัวกันเป็นอนุภาคขนาดใหญ่ขึ้น (La Mer, 1964)

กลไกที่สำคัญ 2 ประการ สำหรับการทำให้เกิดกระบวนการฟล็อกกุเลชัน คือ

1. Perikinesis การรวมตัวของอนุภาคเล็ก ๆ ที่เกาะตัวรวมกัน ขณะเคลื่อนที่ไปมา เนื่องจากความร้อน อนุภาคเหล่านี้มีขนาดเล็กกว่า $1-2 \mu$
2. Orthokinesis การรวมตัวของอนุภาคเล็ก ๆ ที่เกาะตัวรวมกันขณะเคลื่อนที่ไปมาในน้ำ ด้วยความเร็วต่าง ๆ กัน เนื่องจากความเร็วเกรเดียนต์ (velocity gradient) ของการไหลของน้ำ และวิธีการกลไกแบบนี้ เป็นหลักสำคัญที่ใช้ในกระบวนการที่ทำให้เกิดฟล็อก ในถังตกตะกอนแบบไซคลิกคอนแทค (Greogory, 1977)

กลไกที่ทำให้เกิดฟล็อกสำหรับการไหลแบบแนวราบ (Mechanical Horizontal Flow Flocculators)

ปี 1917 von, Smoluchowski แสดงสมการ orthokinetic flocculation ดังนี้

$$\frac{dn}{dt} = \frac{G}{\epsilon} n_1 n_2 (d_1 + d_2)^3$$

$$\frac{dn}{dt} = \text{อัตราการกระทบระหว่างอนุภาค 1 และ 2}$$

$$G = \text{ค่าเฉลี่ย ความเร็ว เกรเดียนต์}$$

$$n_1, n_2 = \text{จำนวนของอนุภาค 1 และ 2}$$

$$d_1, d_2 = \text{เส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาค 1 และ 2}$$

Camp และ Stein (1943) ได้แสดงความสัมพันธ์ของความเร็วเกรเดียนต์, G กับพลังงานเข้าถึง P ดังนี้

$$G = \left[\frac{P}{\mu V} \right]^{1/2} \quad (6)$$

$$G = \text{ค่าเฉลี่ยของความเร็วเกรเดียนต์}$$

$$P = \text{พลังงานเข้าถึง}$$

$$V = \text{ปริมาตรของถัง}$$

$$\mu = \text{ความหนืดจลน์ของของเหลว}$$

Camp, (1955) ได้ทำการวิเคราะห์การออกแบบถังฟล็อกกูเลชั่นและได้ค่าที่เหมาะสมสำหรับตัวแปร Gt มีค่าระหว่าง 2×10^4 และ 2×10^5 และค่า G ระหว่าง 20 ถึง 74 วินาที^{-1}

สำหรับฟล็อกกูเลเตอร์ที่ใช้ใบพัดกวน กำลังงาน, P , ที่ใช้ในการทำให้ฟล็อก ไล้ จากสมการ

$$P = \frac{1}{2} C_D A \rho v^3 \quad (7)$$

$$C_D = \text{สัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน} = 1.8 \text{ สำหรับใบพัดแบบแบน}$$

$$v = \text{ความเร็วสัมพัทธ์ของใบพัดกับของเหลวมีค่าประมาณ } 0.75 \text{ ของความเร็วใบพัด}$$

$$\rho = \text{ความหนาแน่นของของเหลว}$$

$$A = \text{พื้นที่ใบพัดที่ไซกวนของเหลว}$$

Harris, Kaufman และ Krone (1966) ได้หาสมการสำหรับการติดตั้ง CSTR แบบอนุกรมจำนวน 3 ถัง โดยอาศัยหลักสมการของ von Smoluchowski สมการที่ 5 ได้ดังนี้

$$\frac{n_1^0}{n_1^M} = (1 + K \phi G \frac{T}{M}) \quad (8)$$

$$n_1^0, n_1^M = \text{จำนวนความเข้มข้นของปฏิกิริยาภาคตอนเข้าตรงกับจำนวนความเข้มข้นของอนุภาคตอนออกถึงของถังลำดับที่ } n$$

$$K = \text{ค่าคงที่}$$

$$\phi = \text{อัตราส่วนปริมาตรฟล็อก}$$

$$T = \text{ระยะเวลาพักน้ำในถังทั้งหมด}$$

ต่อมาได้มีการศึกษาเรื่องนี้กันหลายคน และได้พบความจริง 2 ประการ

1. ขนาดจำกัดของฟล็อกที่มีความแข็งแรงเพียงพอแปรผกผันกับความเร็วเกร เทียนท์

ของน้ำ นั่นคือ หากความเร็วเกรเดียนต์ของน้ำน้อย จะทำให้ขนาดของฟล็อกโตมากขึ้น

2. ฟล็อกที่เกิดจากความเร็วเกรเดียนต์ของน้ำสูง แม้จะมีขนาดเล็กแต่มีความแน่นมากกว่าฟล็อกที่เกิดจากความเร็วเกรเดียนต์ของน้ำต่ำ

ความเป็นจริงเหล่านี้แสดงให้เห็นเหตุผลบางส่วนในการรวมตัว และแตกสลายระหว่างการทำให้เกิดฟล็อก

Argaman และ Kaufman (1970) ได้วิเคราะห์สูตรตามสมการที่ 9 โดยรวมส่วนที่แตกสลายเข้ากับส่วนรวมตัวของฟล็อก ได้ว่า

$$\frac{n_1^0}{n_1} = \left[\frac{1 + K_A G \frac{T}{M}}{1 + K_B G \frac{2T}{M} \sum_{i=0}^{i=m-1} (1 + K_A G \frac{T}{M})^i} \right]$$

K_A = ค่าคงที่ของการจับรวมตัวของฟล็อก

K_B = ค่าคงที่การแตกสลายตัวของฟล็อก

จากสมการ (9) ค่าอัตราส่วนปริมาตรฟล็อก (floc volume fraction) จะรวมอยู่ในค่าคงที่ K_A , และค่า K_B สำหรับความขุ่นเนื่องจากดินเหนียวและฟล็อกที่เกิดจากสารส้ม $K_A = 10^{-4.3}$ และ $K_B = 10^{-7}$ วินาที

จากผลการทดลองของ Argaman และ Kaufman สรุปได้ว่า

1. มีช่วงเวลาต่ำสุดที่ไม่เกิดฟล็อก ไม่ว่าค่า G มีค่าเท่าใด (ยกตัวอย่างเมื่อการรวมตัวสัมพันธ์กับการแตกหักของฟล็อก)
2. ส่วนประกอบดังกล่าวช่วยลดเวลาการกำจัดตะกอน

Kao & Mason (1975) ได้ศึกษามวลอนุภาคที่แยกกันในสนามแรงเฉือนและได้ค่าความสัมพันธ์สำหรับปริมาตรที่รวมตัว หลังจากเวลา t ได้ว่า

$$R_0^3 - R_t^3 = KGt \quad (10)$$

- R_o = รัศมีการรวมกันครั้งแรกของอนุภาคแขวนลอย
 R_t = รัศมีการรวมตัวกันของอนุภาคแขวนลอยหลังจากผ่านแรงเฉือน
 ในระยะเวลา t
 t = ระยะเวลาที่เกิดแรงเฉือน
 K = ค่าคงที่ขึ้นกับลักษณะการไหล

Andreu-Villegas และ Letterman (1976) ได้ทำการศึกษาและชี้ให้เห็นว่าค่าเวลาที่เหมาะสมที่ทำให้เกิดฟล็อก, T ค่าความเร็วเกรเดียนต์ของน้ำ G มีความสัมพันธ์กัน ดังนี้

$$(G)^{2.8} T = K \quad 11$$

- G = ค่าความเร็วเกรเดียนต์ที่เหมาะสมของน้ำ วินาที⁻¹
 T = ระยะเวลาที่ทำให้เกิดฟล็อก นาที
 K = 4.9×10^5 , 1.9×10^5 และ 0.7×10^5 สำหรับความเข้มข้นของสารส้มที่ 10 มก/ล., 25 มก/ล และ 50 มก/ล

จากสมการที่ 11 สามารถเขียนเป็นสูตรทั่วไป ดังนี้

$$(G)^{2.8} T = (44 \times 10^5) / C \quad (12)$$

C = ความเข้มข้นของน้ำสารส้ม มก/ล มีค่าระหว่าง 0-50 มก/ล
 ค่าที่เหมาะสมสำหรับ G มีค่าระหว่าง 20 - 50 วินาที⁻¹

ส่วนที่ทำให้เกิดฟล็อกในถังตกตะกอนแบบโซลิดคอนแทค

(Flocculation Zone of Solid-Contact Clarifiers)

ส่วนที่ทำให้เกิดฟล็อกในถังตกตะกอนแบบโซลิดคอนแทคทำหน้าที่ลักษณะฟลูอิดไลส์เบค ซึ่งของเหลวอยู่ในสภาพเคลื่อนที่ไปมา มีลักษณะแตกต่างจากหน่วยที่ทำให้เกิดฟล็อกในถังตกตะกอนแบบที่มีการไหลแบบแนวราบ การไหลของของเหลวอยู่ในลักษณะปั่น่วน ซึ่งเป็นลักษณะที่เหมือนกับ

การทำให้เกิดฟลักของการไหลแบบแนวราบ แต่ส่วนแตกต่างที่เห็นได้ชัด คือส่วนของเหลวที่ทำให้เกิดฟลัก ในดังตตะกอนแบบโซลิดคอนเทค จะมีความเข้มข้นของอนุภาคแข็งอยู่สูง
 ความมาก

หลักการออกแบบดัง ประยุกต์มาจากสมการของ von Smoluchowski และ Hudson (5) ซึ่งได้เป็นสูตร ดังนี้

$$\frac{n_T}{n_0} = e^{(-\eta G \phi T) / \pi} \quad (13)$$

- n_T และ n_0 = จำนวนความเข้มข้นอนุภาคแขวนลอยในของเหลวช่วงที่ไหลออกจากถัง และช่วงที่ไหลเข้าถัง
- η = ตัวประกอบของประสิทธิภาพการสัมผัสของอนุภาคแขวนลอย
- T = ระยะเวลาพักของเหลวภายในถัง

นักวิจัยหลายคนประมาณค่า $G \phi T \approx 100$ สำหรับดังตตะกอนแบบโซลิดคอนเทค Bond, (1960) ได้แสดงความสัมพันธ์ค่าความเร็วตตะกอนของอนุภาคแขวนลอย V_S กับความเร็วการตตะกอนของอนุภาคอิสระ V_p

$$V_S = V_p (1 - f \phi^{2/3}) \quad (14)$$

f = ค่าคงที่ของลักษณะฟลัก = 2.78 สำหรับ ferric และ alum

Ives (1968) ได้แสดงสูตรการหาความเร็วเกรเดียนท์ของน้ำในดังตตะกอนแบบโซลิดคอนเทคแบบกรวยกลม

$$\sum_{L_1}^{L_u} G_L \phi_L^T L = \left[\frac{(r_s - r) \pi}{4Q_m f^{9/2}} \right]^{1/2} \int_{L_1}^{L_u} (L(1 - \frac{L_1}{L})^2)^{9/4} dL \quad (15)$$

$$= \frac{L_1^2}{2} \left[\frac{(r_s - r)}{4Q f^{9/2}} \right]^{1/2} F\left(\frac{L_u}{L_1}\right) \quad (16)$$



- T_L = ระยะพักของน้ำภายในถังที่ระกบ
- r_s, r = น้ำหนักจำเพาะของฟล็อกและของน้ำ
- L_1, L_u = เส้นผ่าศูนย์กลางคานล่างและคานบนของถังตกตะกอนแบบกรวยกลม
ซึ่งมีมุมเหลี่ยม 54°

2.4 ทฤษฎีเกี่ยวกับถังตกตะกอน (Theory of Sedimentation Tank)

การตกตะกอน เป็นกระบวนการแยกอนุภาคแขวนลอย ที่ไหลปะปนมาในน้ำ และหนักกว่าน้ำออกจากน้ำ ด้วยแรงดึงดูดของโลก ทำให้ด้วยการลดความเร็วการไหลของน้ำภายในถังให้น้อยลง จนกระทั่งความเร็วในการตกตะกอนของอนุภาคแขวนลอยเหล่านี้มากกว่าความเร็วของน้ำที่ไหลออกจากถัง อนุภาคแขวนลอยก็จะตกตะกอนลงสู่ส่วนล่าง โดยแรงดึงดูดของโลก (น้ำหนักตัวเอง) กระบวนการตกตะกอนเป็นกระบวนการหนึ่งที่สำคัญมากในระบบการผลิตน้ำประปา

การตกตะกอนของอนุภาคแขวนลอยในน้ำพอจะแบ่งได้ 4 แบบ ตามความเข้มข้นของตะกอน และความโน้มเอียงของตะกอน ที่จะจับตัวกันการตกตะกอนของอนุภาคแขวนลอยในน้ำนี้ อาจเกิดขึ้นมากกว่า 1 ประเภท พร้อม ๆ กัน (Fitch, 1958)

1. การตกตะกอนแบบที่ 1 หรือการตกตะกอนของอนุภาคที่ไม่เกาะกัน (Discrete Particles Settling) ในการตกตะกอนแบบนี้ แต่ละอนุภาคจะตกตามลำพัง ด้วยน้ำหนักตัวเอง ตัวอย่างเช่นการตกตะกอนของเม็ดทรายการตกตะกอนแบบนี้ อัตราความเร็วในการตกตะกอนจะคงที่และขึ้นกับชนิดของของเหลวที่อนุภาคแขวนลอยอยู่ รูปร่าง และขนาดของอนุภาคแข็ง อนุภาคแข็งที่มีลักษณะกึ่งที่เมื่อปล่อยให้ตกผ่านของเหลว ในครั้งแรกจะเคลื่อนที่ด้วยความเร่ง โดยความเร่งจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งแรงเสียดทานของของเหลวมีค่าเท่ากับแรงขับที่กระทำบนอนุภาคแข็งนั้น หลังจากนั้นอนุภาคแข็งจะเคลื่อนที่ลงด้วยความเร็วสม่ำเสมอ

จากกฎของนิวตัน ใคว่า

$$M \frac{dv_s}{dt} = F_W - F_B - F_D \quad (17)$$

- เมื่อ M = มวลอนุภาคแขวนลอย
 v_s = ความเร็วในการตกตะกอนของอนุภาคแขวนลอย
 t = เวลาในการตกตะกอน
 F_W = แรงเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก
 F_B = แรงยกตัวของอนุภาคแข็ง เนื่องจากการแทนที่ของเหลว
 F_D = แรงเสียดทานระหว่างอนุภาคแข็งกับของเหลว

แรงที่กระทำบนอนุภาคแขวนลอย เนื่องจากแรงดึงดูด โคนัสมการ

$$F_W = \rho_s V_p g \quad (18)$$

- เมื่อ ρ_s = ความหนาแน่นมวลอนุภาคแขวนลอย
 V_p = ปริมาตรของอนุภาคแขวนลอย
 g = ความเร่งในการตกตะกอนของอนุภาคแขวนลอย

ค่าแรงยกตัวของอนุภาคแขวนลอย (buoyant force)

$$F_B = \rho_l V_p g \quad (19)$$

- ρ_l = ความหนาแน่นมวลของเหลว

ค่าแรงเสียดทาน (drag force) ขึ้นกับความขรุขระผิว, ขนาด, รูปร่าง ความเร็วของอนุภาคแขวนลอย, ความหนาแน่น และความหนืดของของเหลว ซึ่งสามารถเขียนได้เป็นสูตรความสัมพันธ์ ดังนี้

$$F_D = \frac{C_D A_p \rho_l v_s^2}{2} \quad (20)$$

- C_D = สัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน

- A_p = พื้นที่ตั้งฉากของอนุภาคแขวนลอยกับทิศทางการตกตะกอน

นำสมการที่ 18, 19 และ 20 แทนค่าในสมการที่ 17 ได้ว่า

$$M \frac{dv_s}{dt} = g(\rho_s - \rho_1) V_p - C_D A_p \frac{V_s^2}{2} \quad (21)$$

เมื่อความเร็วตกตะกอนของอนุภาคแขวนลอยคงที่ ได้ว่า

$$v_t = \sqrt{\left[\frac{2g(\rho_s - \rho_1)}{C_D \rho_1} \right]} \times \frac{V_p}{A_p} \quad (22)$$

v_t = ความเร็วตกตะกอนของอนุภาคแขวนลอย

$$\frac{V_p}{A_p} = \frac{2 dp}{3}$$

เมื่อ dp = เส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาคแขวนลอยทรงกลม

แทนค่า สมการ 22 ในสมการ 21 ได้ว่า

$$v_t = \sqrt{\left[\frac{4g}{3C_D} \right]} \left[\frac{\rho_s - \rho_1}{\rho_1} \right] dp \quad (23)$$

เมื่อค่า $Re < 1$

$$C_D = \frac{24}{Re} \quad (24)$$

แทนค่า C_D จากสมการ 24 ลงในสมการ 23 ได้ว่า

$$v_t = \frac{g}{18\mu} (\rho_s - \rho_1) d_p^2 \quad (25)$$

ซึ่งเรียกว่ากฎของสโตกส์ (Stoke's Law)

ค่า C_D จะมีค่าเกือบคงที่สำหรับการไหลแบบปั่นป่วน (turbulent flow) ที่ค่า Re ระหว่าง 1000 - 25000 ได้ว่า

$$v_t = 1.82 \sqrt{\left[\frac{(\rho_s - \rho_1)}{\rho_1} \right]} d_p g \quad (26)$$

Hazen (1904) และ Camp (1946) ได้วิเคราะห์การตกตะกอนของอนุภาคแขวนลอยที่ไม่เกาะกัน ภายในถังตกตะกอนแบบอุดมคติโดยมีข้อสมมุติฐาน ดังนี้

1. อนุภาคแขวนลอยและความเร็วของน้ำกระจายสม่ำเสมอตลอดหน้าตัดถังตกตะกอน
2. มวลของน้ำเคลื่อนที่สม่ำเสมอทั้งหมด
3. อนุภาคแขวนลอยที่ตกตะกอนลงสู่ก้นถังจะถูกกำจัดออกหมด ไม่หวนกลับขึ้นไปอีก

ทั้งสองคนได้แสดงความสัมพันธ์ของความเร็วตกตะกอนของอนุภาคแขวนลอยกับอัตราน้ำไหลเข้าถัง และพื้นที่ผิวถังตกตะกอน ดังนี้

$$v_t = \frac{Q}{A} \quad (27)$$

Q = อัตราน้ำไหลผ่านถังตกตะกอน

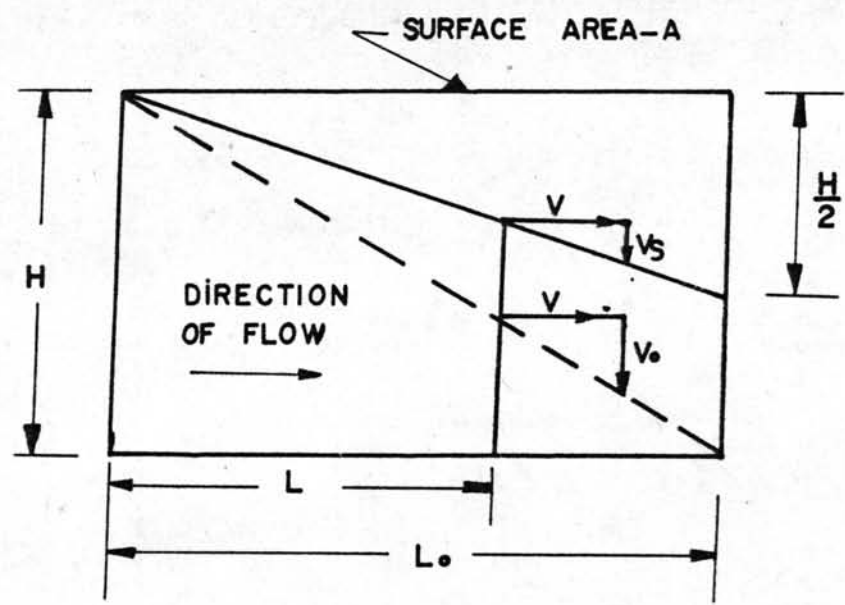
A = พื้นที่ผิวถังตกตะกอน

หากพิจารณาการตกตะกอนของอนุภาคที่ไม่เกาะกัน (discrete particles) ในถังตกตะกอนแบบอุดมคติ (ตามรูปที่ 6) ซึ่งมีความเร็วในการตกตะกอน v_0 ตะกอนของอนุภาคแขวนลอยเหล่านั้น จะถูกกำจัดออกหมด 100 % หากความเร็วในการตกตะกอนของอนุภาคแขวนลอย v_s น้อยกว่า v_0 ตะกอนส่วนนี้จะถูกกำจัดออกในอัตราส่วน v_s/v_0 จะได้ว่าประสิทธิภาพการกำจัดตะกอนของถังตกตะกอนมีค่า R ซึ่งเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$R = (1 - C_{r,0}) + \frac{1}{v_0} \int_0^{C_{r,0}} v_s dC_r \quad (28)$$

$C_{r,0}$ = อัตราส่วนของจำนวนอนุภาคซึ่งมีความเร็วเท่ากับหรือน้อยกว่า v_0

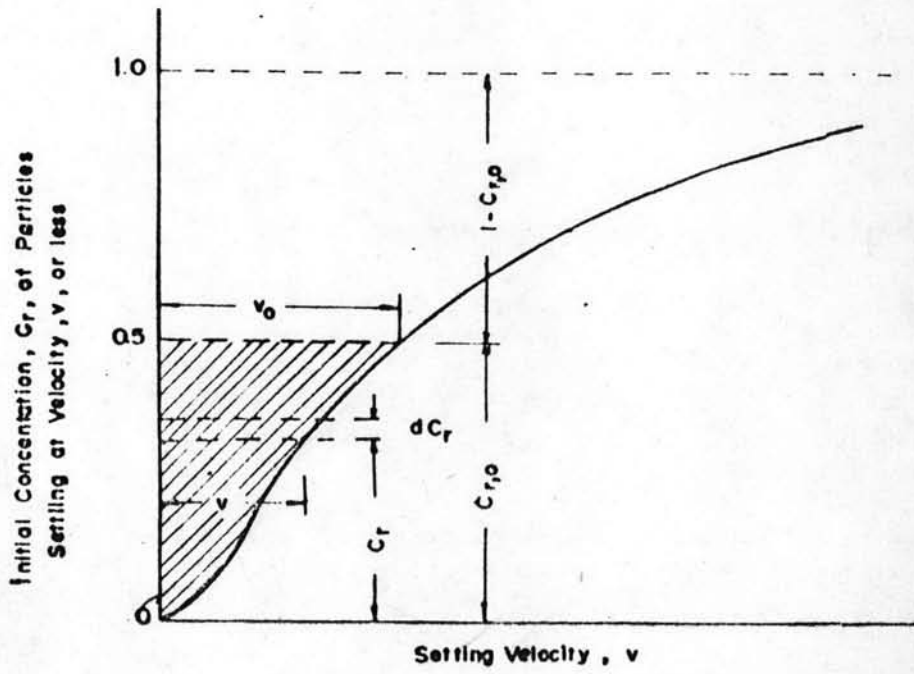
จากรูปที่ 7 ได้ว่า $\frac{1}{v_0} \int_0^{C_{r,0}} v_s dC_r$ เป็นค่าเฉลี่ยกราฟเส้นโค้งระหว่างระยะแนวตั้งกับแนวราบ



OVER FLOW = Q

$$v_0 = \frac{Q}{A}$$

प्रश्न 6. IDEALIZED SETTLING BASIN PATHS OF DISCRETE PARTICLES IN HORIZONTAL FLOW TANK



7

Typical Settling Velocity Analysis Curve of Suspension for Discrete Particles (After CAMP 1946)

2. การจมน้ำแบบที่ 2 (Flocculate Settling)

พบว่าในน้ำที่มีความเข้มข้นของตะกอนไม่มากนัก ลักษณะตะกอนเป็นตะกอนเบา จึงจำเป็นต้องทำให้ตะกอนเหล่านั้นมารวมตัวกันเป็นตะกอนใหญ่ก่อนจึงจะตกตะกอน ดังนั้นความสามารถในการจมน้ำของอนุภาคแขวนลอย ย่อมขึ้นกับคุณสมบัติของอนุภาคแข็ง และยังขึ้นกับความสามารถในการรวมตัวของอนุภาคแข็ง, ความลึกของถัง, อัตราน้ำล้นถัง ความเร็วเกรเดียนต์ของการไหลของน้ำ ฯลฯ ซึ่งผลกระทบเหล่านี้จะมีผลให้เกิดแรงเฉือนและการไหลแบบปั่นป่วนในน้ำ เป็นเหตุให้อนุภาคแขวนลอยเคลื่อนที่ไปมากระทบกัน มีขนาดโตขึ้น เหมาะสมที่จะตกตะกอน ก็จะทำให้ประสิทธิภาพการจมน้ำสูงขึ้น

3. การจมน้ำแบบที่ 3 (Zone Settling)

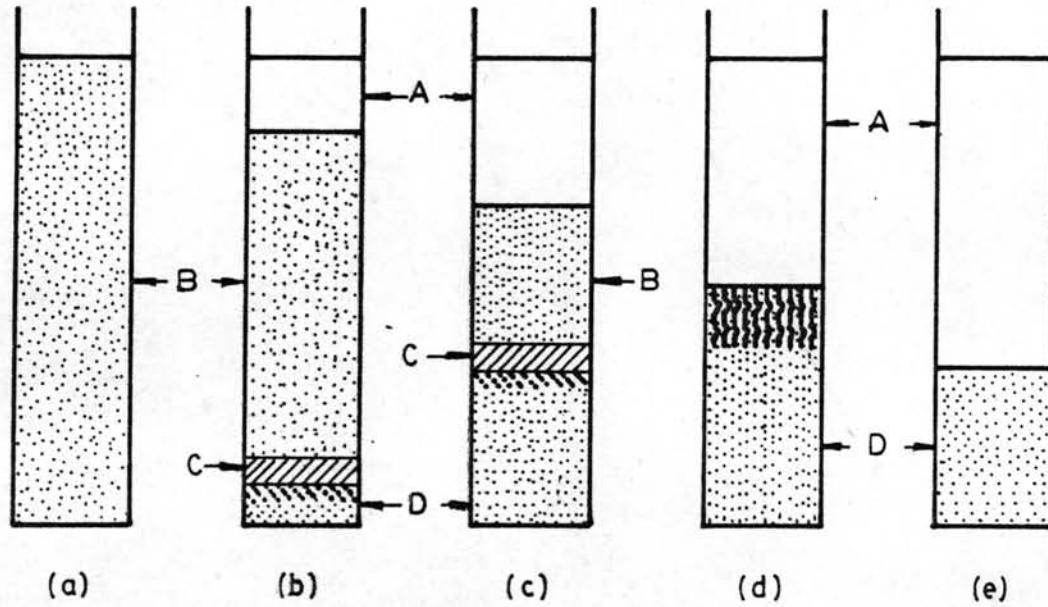
เกิดขึ้นเมื่อของเหลวมีอนุภาคแขวนลอยค่อนข้างสูง อนุภาคเหล่านี้จะเกาะกลุ่มแล้วตกตะกอนไปด้วยกัน ทำให้เกิดเป็น solid-liquid interface ระหว่างส่วนของตะกอนและส่วนของน้ำใสแยกกันอย่างเห็นได้ชัด

ลักษณะการจมน้ำแบบที่ 3 ที่เกิดขึ้นในถังตกตะกอน สามารถพิจารณาได้ 2 แบบ คือ

1. การจมน้ำของตะกอนที่เกิดขึ้นในถังตกตะกอนที่ไม่มีการไหลผ่านของของเหลว

2. การจมน้ำของตะกอนในถังตกตะกอนที่ของเหลวไหลผ่านสม่ำเสมอ

3.1 การจมน้ำของตะกอนในถังตกตะกอนที่ไม่มีการไหลผ่านของของเหลว
พิจารณาได้จาก batch column (ตามรูปที่ 8) ครั้งแรกทำให้ของเหลวมีความเข้มข้นสม่ำเสมอและอยู่ในสภาพแขวนลอยด้วยการไหลแบบปั่นป่วน เรียกว่าชั้น B หลังจากลดความเร็วการไหลของน้ำ และอนุภาคแขวนลอยเริ่มจับตัวเกาะกัน เป็นฟล็อกขนาดเหมาะสมพร้อมที่จะตกตะกอน ตะกอนจะจับตัวเกาะกัน เริ่มเคลื่อนต่ำลงมาช้า ๆ ช่วงน้ำใสด้านบนก็จะเกิดขึ้น เรียกว่าชั้น A ส่วนอนุภาคแขวนลอยที่จับตัวเกาะกันเป็นชั้น B จะเคลื่อนที่-

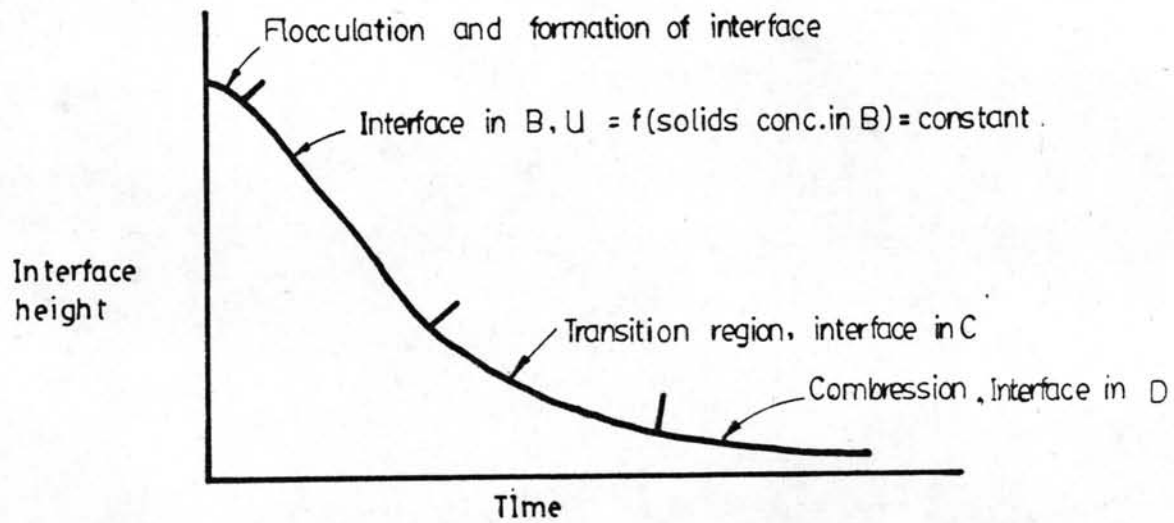


รูปที่ 8 แสดงการامتตะกอนของอนุภาคแขวนลอยใน Batch column

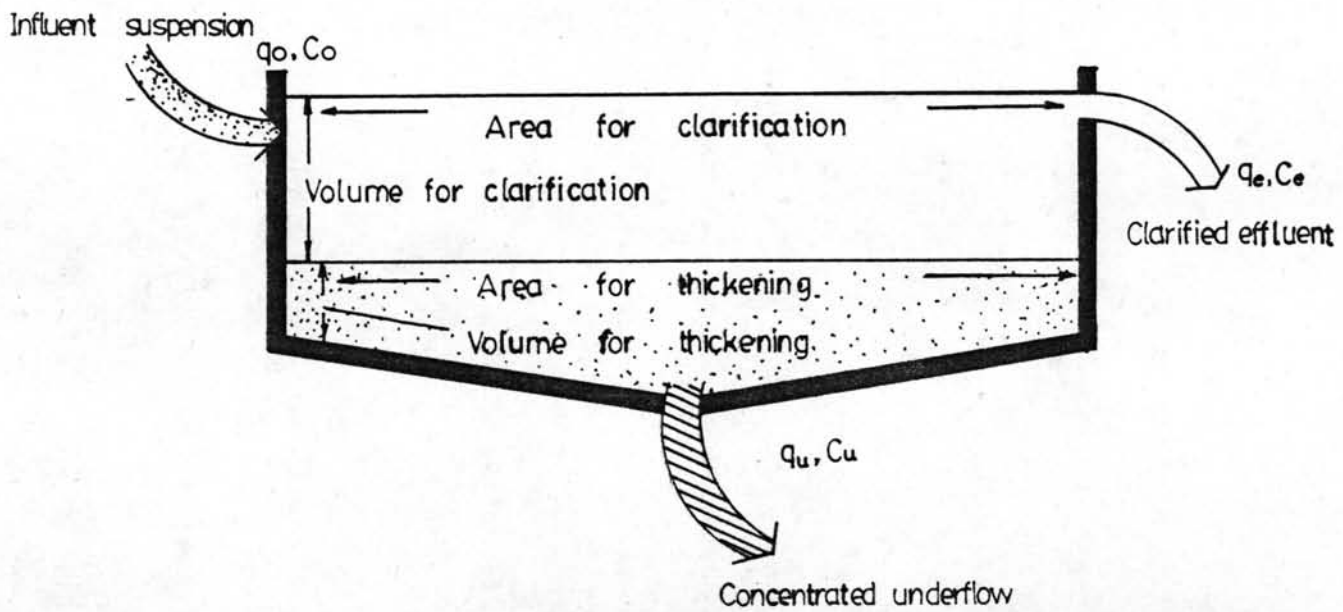
ลงมาด้านล่าง พร้อมกันอย่างช้า ๆ ้วยความเร็วคงที่ ความเร็วในการเคลื่อนของชั้น ตะกอน B ขึ้นกับความเข้มข้นของอนุภาคแขวนลอยในชั้น B เมื่อเกิดขึ้นน้ำใสด้านบน (A) ก็จะมีชั้นตะกอน C และชั้น D ในส่วนล่างของถัง ความเร็วในการตกตะกอนช่วงนี้จะ น้อยมาก

ชั้น C เป็นเขตการเปลี่ยนสภาพ (transition zone) ชั้นอนุภาคแขวนลอย B เมื่อเปลี่ยนสภาพมาเป็นชั้น D จะต้องผ่านสภาพชั้น C ก่อน ความเร็วการตกตะกอน จะลดน้อยลง เมื่อผ่านชั้นตะกอน C ความหนาชั้นตะกอนของช่วง C จะคงที่โดยู่กระทั่ง ความเข้มข้นของอนุภาคแขวนลอยเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนตะกอนในชั้น C สลายตัวเข้าสู่การ อัดตัวของตะกอนในชั้น D ความสัมพันธ์ระหว่างการจมตัวของตะกอนใน batch column กับระยะเวลาได้แสดงไว้ในรูปที่ 9

3.2 การจมตัวของตะกอนในถังตกตะกอนที่มีของเหลวไหลผ่านแผ่นใส่ลม (รูปที่ 10) ดังตกตะกอนแบบนี้จะทำหน้าที่ 2 อย่าง เกี่ยวกับการตกตะกอนของอนุภาคแขวนลอยแบบที่ 2 คือส่วนที่ : ทำให้เกิดน้ำใสไหลผ่านด้านบนของถัง และส่วนที่ทำให้เกิดตะกอน ในช่วงล่าง ของถังโดยอนุภาคแขวนลอยที่ไหลเข้าถึงด้วยความเข้ม C_0 และถูกเพิ่มความเข้มข้นของ ตะกอนช่วงจะออกจากถังขึ้นเป็น C_u พื้นที่ของถังตกตะกอนจะต้องมีเพียงพอสำหรับการจมตัว ตะกอน หากพื้นที่สำหรับรับน้ำใสน้อยเกินไป เรียกว่า limited by clarification และหากพื้นที่สำหรับทำให้ตะกอนผ่านน้อยเกินไป เรียกว่า limited in thickening จะทำให้ถังดังกล่าวไม่สามารถแยกตะกอนได้ ส่วนที่เป็นน้ำใส ภายในถังตกตะกอนจะ เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว และความเข้มข้นของตะกอนในช่วงนี้ต่ำมาก ภายในถังจะเกิด ความแตกต่างระหว่างชั้นน้ำใสและชั้นตะกอน เมื่อช่วงตะกอนส่วนล่างถึงเริ่มกอดตัวชั้นตะกอนจะ- หนาขึ้นเรื่อย ๆ ้วยความเข้มข้นคงที่ ตามหลักการ สมดุลย์ของมวลสาร มวลอนุภาคแขวนลอย ไหลผ่านถังต่อพื้นที่ถังต่อเวลามีค่าคงที่ ซึ่งเรียกว่า solid flux ซึ่งเป็นผลคูณของค่าความ เข้มข้น C และความเร็ว



รูปที่ ๑ แสดงความสัมพันธ์การจมตะกอนกับเวลา



รูปที่ 10 แลตงส่วนประกอบภายในถังตกตะกอนที่มีการไหลลมน้ำเฉื่อย

$$G = C \cdot u \quad (29)$$

$$G = \text{Solid flux}$$

$$C = \text{ความเข้มข้นของของเหลว}$$

$$u = \text{ความเร็วในการตกตะกอนอนุภาคแข็ง}$$

เมื่ออนุภาคแข็งภายในถังเริ่มเคลื่อนที่ลงสู่ก้นถัง ความเข้มข้นของเหลวในช่วงล่างของถังที่มีมวลอนุภาคแขวนลอยปะปนอยู่จะเริ่มสูงขึ้นและความเร็วในการตกตะกอนจะช้าลง

เพื่อว่าส่วนล่างของถังมีแนวโน้มที่จะเป็นส่วนหนึ่งของของอนุภาคแข็งซึ่งค่า Flux มีค่าเท่ากับอนุภาคแข็งที่เข้าถึงต่อพื้นที่ถัง หากปริมาณอนุภาคแข็งเข้าถังเปลี่ยนแปลง ความเข้มข้นของตะกอนภายในถังและตำแหน่งชั้นตะกอนจะมีการเปลี่ยนแปลงเช่นกัน ค่า limiting Flux สามารถกำหนดโดยประเภทของอนุภาคแขวนลอย และอัตราการการนำตะกอนออกจากถังส่วนล่าง หากอนุภาคแข็งไหลเข้าถังอัตราเร็วเกินไปจากที่กำหนดจะทำให้อนุภาคแข็งภายในถังมีจำนวนมากและไหลขึ้นสู่ส่วนบนของถังซึ่งทำให้ถังตกตะกอนไม่สามารถทำงานได้

3.2.1 การออกแบบถังตกตะกอนจะต้องออกแบบพื้นที่ที่รับน้ำในและพื้นที่สำหรับชั้นตะกอนให้เพียงพอ

การหาพื้นที่ถังสำหรับรับน้ำใส สามารถหาได้จากสูตร

$$A_c = \frac{q_1}{U_s} \quad (30)$$

$$q_1 = \text{อัตราการนำใสออกจากถังตกตะกอน}$$

$$U_s = \text{ความเร็วการตกตะกอนเมื่อค่าความเข้มข้น } C = C_0$$

$$A_c = \text{พื้นที่สำหรับรับน้ำใสถึง}$$

3.2.2 การออกแบบถังสำหรับส่วนที่ทำให้เกิดตะกอน

การออกแบบพื้นที่ส่วนนี้ของถังจะต้องควบคุมปริมาณความเข้มข้นสูงสุดของ-

อนุภาคแขวนลอย ภายในถังที่ทำให้ถังสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ หากได้โดยใช้สูตร ดังนี้

$$A_T = \frac{C_o q_o}{G_L} \quad (31)$$

เมื่อ A_T = พื้นที่ถังสำหรับการ เกิดตะกอน
 C_o = ความเข้มข้นของของเหลวช่วงไหลเข้าถัง
 q_o = อัตราของเหลวที่ไหลเข้าถัง
 G_L = ค่า limiting solid flux. หากได้โดยวิธีการเขียนกราฟของ Yoshioka

พื้นที่ถังตกตะกอนทั้งหมดต้องมากกว่าผลรวมของพื้นที่สำหรับรับน้ำได้ และพื้นที่สำหรับรับชั้นตะกอน

4. การจมตะกอนแบบที่ 4 (Compression Settling)

การจมตะกอนแบบนี้เกิดขึ้นเมื่อความเข้มข้นของอนุภาคแขวนลอยสูงมาก จมตะกอนเกาะตัวกันแน่นรวมตัวกันอยู่ส่วนล่างของถัง การอัดตัวตะกอน เกิดขึ้นเนื่องจากน้ำหนักของตะกอนเหล่านั้น

Culson และ Richardson (1955) ได้แสดงค่าอัตราการยุบตัวของตะกอน ในการจมตะกอนแบบที่ 4 ดังนี้

$$\frac{-dh_z}{dt} = K (h_z - h_{z\alpha}) \quad (32)$$

$$\int_{h_{z0}}^{h_z} \frac{dh_z}{h_z - h_{z\alpha}} = \int_0^t -k dt \quad (33)$$

$$\ln \left[\frac{h_z - h_{z\alpha}}{h_{z0} - h_{z\alpha}} \right] = -kt \quad (34)$$

- เมื่อ h_z = ความสูงของมวลตะกอน
 h_{z0} = ความสูงของมวลตะกอนตอนเริ่มต้น
 $h_z - \alpha$ = ความสูงของมวลตะกอน เมื่อเวลา $t = \alpha$
 K = ค่าอัตราคงที่ของการยุบตัว วินาที⁻¹

การแบ่งประเภทถังตกตะกอน (Classification of Clarifier)

ถังตกตะกอนอาจแบ่งตามลักษณะการไหลของน้ำเข้าดังได้ 2 ประเภท คือ

1. ถังตกตะกอนที่มีการไหลของน้ำเข้าดังเป็นจังหวะ (Intermittent Flow)
2. ถังตกตะกอนแบบที่น้ำไหลเข้าดังติดต่อกันสม่ำเสมอ (Continuous Flow)

ถังตกตะกอนแบบน้ำไหลเข้าดังเป็นจังหวะ การทำงานเป็นจังหวะ โดยปล่อยน้ำเข้าดังจนเต็มถังไว้ให้ตกตะกอนแล้วแยกน้ำส่วนใสออก น้ำตะกอนทิ้ง หลังจากนั้นจึงปล่อยน้ำเข้าดังใหม่อีก ถังตกตะกอนแบบนี้ไม่นิยมใช้ในัจจุบันเพราะไม่ประหยัด และไม่สะดวกในการใช้งาน ส่วนถังตกตะกอนที่ปล่อยน้ำเข้าดังตลอดเวลา โดยการนำน้ำส่วนใสออกไปใช้ จะหยุดบ้างก็ช่วงที่มีการซ่อมแซมถังหรือในกรณีที่ต้องการทำความสะอาดถัง จึงเป็นที่นิยมใช้กันมากในัจจุบัน

หลักการเคลื่อนที่ของของเหลวภายในถังตกตะกอนแบบไฮดรอลิคคอนแทค (Hydrodynamic Principle of Sludge Blanket Clarifier)

ของเหลวในชั้น fluidized จะประกอบด้วยอนุภาคแขวนลอย จำนวนมาก สภาพของเหลวในช่วงนี้จะมีคามเข้มข้นสูง อนุภาคแข็งจะลอยตัวเคลื่อนที่ไปมาอยู่ใ้ก่วย ความเร็วพุงของเหลวที่ไหลขึ้นแนวกิ่งภายในถัง ลักษณะการเกิด fluidised ภายในถังครั้งแรกจะมีสภาพเช่นเกี่ยวกับการเกิดการจมตะกอนแบบที่ 2 (Hindered settling) การตกตะกอนแบบนี้ขึ้นกับจำนวนอนุภาคแขวนลอยที่มีอยู่ในของเหลวนั้นด้วย เพราะว่าขนาด

ของ floe ขณะเคลื่อนที่ตกตะกอนลงมาจะจับตัวกันกับ floc ตัวอื่นที่ลอยตัวอยู่ในของเหลว มีขนาดโตขึ้น ซึ่งทำให้ความเร็วในการตกตะกอนสูงขึ้น ตรงตำแหน่งที่ความเร็วของเหลวในแนวตั้งน้อยกว่าความเร็วในการตกตะกอนของอนุภาคแขวนลอย อนุภาคแข็งเหล่านั้นจะตกตะกอนลงมาเรื่อย ๆ และจะมาลอยตัวในตำแหน่งที่ความเร็วของเหลวในแนวตั้งกับความเร็วการตกตะกอนของอนุภาคแขวนลอยสมดุลกัน ความเข้มข้นของเหลวในช่วงนี้จะสูงขึ้นเนื่องจาก การสะสมตัวของอนุภาคแขวนลอย ที่เคลื่อนที่ตกลงมาจากส่วนบนของถัง เมื่อความเข้มข้นของอนุภาคแข็งภายในส่วนกลางของถังมีมากพอ ก็จะทำให้เกิดการแบ่งแยกอย่างเห็นได้ชัดระหว่างส่วนของน้ำใสและส่วนของเหลวที่มีอนุภาคแขวนลอยปะปนอยู่ด้วยความเข้มข้นสูง ซึ่งมีสภาพเป็น fluidized

การรักษาสถานะ fluidised ของของเหลวในช่วงกลางของถังตกตะกอน จะทำได้โดยให้ความเร็วของของเหลวที่ไหลขึ้นในแนวตั้งให้สูงเพียงพอที่จะสมดุลกับความเร็วในการตกตะกอนของอนุภาคแขวนลอยเหล่านั้น เพราะว่าเมื่อความเข้มข้นของเหลวในสภาพ fluidised เพิ่มขึ้น ความเร็วในแนวตั้งจะลดน้อยลง (ซึ่งแก้ไขได้โดยเพิ่มความเร็วของเหลวที่ไหลเข้าถัง ความเร็วของเหลวที่มีการไหลแบบปั่นป่วน (turbulent flow) ซึ่งไหลเข้าถังด้วยความเร็วสูงจะลดน้อยลงเมื่อไหลผ่านช่องว่างระหว่างอนุภาคแขวนลอยในของเหลวที่มีความเข้มข้นสูง เพราะว่าของเหลวที่มีอนุภาคแขวนลอยปะปนอยู่จำนวนมากเท่าใด ช่องว่างระหว่างอนุภาคแขวนลอยก็จะลดน้อยลงเช่นกัน ซึ่งมีผลในการลดความเร็วของของเหลวที่ไหลผ่าน

ลักษณะการไหลของเหลวผ่านชั้น fluidised เปรียบเทียบได้กับการไหลของเหลวผ่านช่องว่างระหว่างเม็ดกรวด ความเร็วของเหลวที่ไหลผ่านตัวกลางจะกระจายสม่ำเสมอ ลักษณะการไหลแบบนี้สามารถลดความเร็วของเหลวที่ไหลแบบปั่นป่วน (turbulent flow) ซึ่งไหลมาอย่างแรงให้ลดน้อยลง ในบางครั้งสามารถลดความเร็วของเหลวให้ต่ำลงจนเกิดลักษณะการไหลแบบเรียบ (laminar flow)

การควบคุมความเร็วการไหลของเหลวในแนวตั้งให้อยู่ในอัตราที่เหมาะสมและ

ให้การไหลของของเหลวกระจายผ่านตัวกลางสม่ำเสมอ เป็นเงื่อนไขที่สำคัญในการรักษาสภาพ fluidised ในช่วงล่างของถังให้แยกออกจากน้ำใสส่วนบน ความเร็วของของเหลวที่ไหลผ่านชั้นนี้จะลดลงอย่างมาก ดังนั้นอนุภาคแขวนลอยที่ปะปนมากับของเหลวตอนเข้าถังในช่วงแรก บางส่วนที่สามารถเคลื่อนที่ผ่านชั้น fluidised ปะปนไปกับของเหลวชั้นส่วนบนของถัง เมื่อความเร็วของเหลวผ่านชั้น fluidised น้อยลง และไม่เพียงพอที่จะพยุงให้อนุภาคแขวนลอยลอยตัวอยู่ได้ อนุภาคแขวนลอยเหล่านั้นก็จะเคลื่อนที่ตกตะกอนลงมาสู่ส่วนล่างของถังด้วยน้ำหนักตัวเองอีก จากที่กล่าวมาแล้วจะเห็นว่าเมื่อของเหลวไหลผ่านถังเป็นเวลานาน อนุภาคแขวนลอยในชั้น fluidised จะมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ หากปริมาณอนุภาคแขวนลอยในส่วนนี้มีมากเกินไปเกินความต้องการ จะทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของถังต่ำลง เนื่องจากความเร็วในการตกตะกอนและอัตราน้ำเข้าถังจะน้อยลง จึงจำเป็นต้องนำตะกอนส่วนเกินออกไปโดยไหลผ่าน weir ไปสู่ส่วนเก็บตะกอน (ซึ่งได้ออกแบบไว้ให้เป็นส่วนหนึ่งของถังตกตะกอน) ตะกอนส่วนเกินเหล่านั้นจะควบแน่นด้วยน้ำหนักตัวเองให้มีปริมาตรลดน้อยลง ก่อนที่จะนำออกไปทิ้ง

หลักการเคลื่อนที่ของเหลวที่กล่าวมาแล้ว เป็นหลักการที่สำคัญที่นำมาใช้การไหลของเหลวภายในถังตกตะกอนแบบไซคลิกคอนเทค

ลักษณะที่สำคัญของ fluidised ในถังตกตะกอนแบบไซคลิกคอนเทคคืออนุภาคแขวนลอยที่ไหลเข้ามาที่ของเหลวมีลักษณะเป็นฟล็อกขนาดไม่เท่ากัน พร้อมทั้งจะจับตัวรวมกันเพื่อให้มีขนาดโตขึ้น โดยฟล็อกเหล่านี้เกิดจากกระบวนการโคแอกูเลชัน ฟล็อกบางตัวจับตัวรวมกันขนาดโตขึ้น แต่ขณะเดียวกันฟล็อกบางตัวแตกออกขนาดเล็กลง ทั้งนี้ขึ้นกับแรงเค้นที่เกิดขึ้นเนื่องจากของเหลวไหลแบบปั่นป่วน, คุณสมบัติในการรวมตัวของฟล็อก ในช่วง sludge blanket ปกติในช่วงแรกของเหลวที่ผ่านกระบวนการโคแอกูเลชันจะประกอบด้วยฟล็อกขนาดเล็ก เรียกว่า "Micro-flocs" ลักษณะเป็นอนุภาคคอลลอยด์และลอยตัวในของเหลวขนาดของฟล็อกในช่วงนี้ไม่สามารถตกตะกอนได้เอง จนกระทั่งผ่านเข้าไปในช่วงของ sludge blanket เกิดการจับตัวกับอนุภาคตัวอื่น ขนาดโตขึ้นพร้อมที่จะตกตะกอน ดังนั้น

การทำโคแอกูเลชันของเหลวที่ไหลผ่านถังตกตะกอนแบบนี้ต้องการเพียงเปลี่ยนสภาพจากอนุภาคคอลลอยด์ เป็นอนุภาคแขวนลอยโดยไม่จำเป็นต้องทำให้เกิดฟล็อกขนาดใหญ่ครั้งแรก เพราะหากฟล็อกขนาดใหญ่เกินไปก็จะแตกหักเสียก่อน ตอนปะปนมากับของเหลวตรงช่วงเข้าถังเนื่องจากแรงเฉือนที่เกิดจากการไหลแบบปั่นป่วน (turbulent flow) ที่เกิดขึ้นตรงช่วงนี้ การไหลอย่างรวดเร็วมากของของเหลวตอนเข้าถัง จะลดน้อยลงให้อยู่ในอัตราที่เหมาะสมเพื่อทำให้ฟล็อกขนาดเล็กสามารถจับตัวรวมกันขนาดใหญ่ขึ้นเนื่องจากการไหลแบบปั่นป่วนและมีค่าความเร็วเกรเดียนท์ที่เหมาะสมจากที่กล่าวมาแล้ว จะเห็นว่า ความเร็วการไหลของเหลวในแนวตั้งสำหรับการแยกตะกอนในช่วง sludge blanket ขึ้นกับคุณสมบัติและขนาดต่าง ๆ ของฟล็อก (Tesarik, 1967)

การคงตัวของชั้นตะกอน (Stability Condition of the Sludge Blanket)

ประสิทธิภาพในการทำงานของถังตกตะกอน แบบไซคลิกคอนแทค ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้

1. ความเร็วของน้ำในแนวตั้งและความสม่ำเสมอกระจายน้ำผ่านชั้นตะกอน ความเร็วของน้ำในแนวตั้งไหลผ่านชั้นตะกอนจะต้องมีขนาดพอเหมาะ เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด เช่น ความหนา, ความเข้มข้น เป็นต้น ถ้าความเร็วการไหลของเหลวต่ำไป ตะกอนส่วนใหญ่ก็จะตกไปรวมที่พื้นถัง ในทางตรงกันข้าม ถ้าความเร็วสูงไป ตะกอนจะฟุ้งกระจายและหลุดไปกับน้ำออกจากถังได้ ความสม่ำเสมอในการกระจายน้ำผ่านชั้นตะกอนมีความสำคัญเช่นกัน มิฉะนั้นก็จะทำให้เกิดจุดที่มีความเร็วสูง และจุดที่มีความเร็วต่ำทำให้เกิดปัญหาต่างกล่าวมาแล้ว (Bond, 1961)

ระบบการกระจายน้ำเข้าถัง พอจะรวมได้ดังนี้คือ

- 1.1 ระบบใช้แผ่นกระจายน้ำ (Perforated Plates distribution system)
- 1.2 ระบบกระจายน้ำตรงท่อน้ำเข้า (Point Inlet distribution system)

1.3 ระบบท่อกระจายน้ำ (Perforated pipe distribution system)

1.4 ระบบช่องกระจายน้ำ (Slot distribution system)

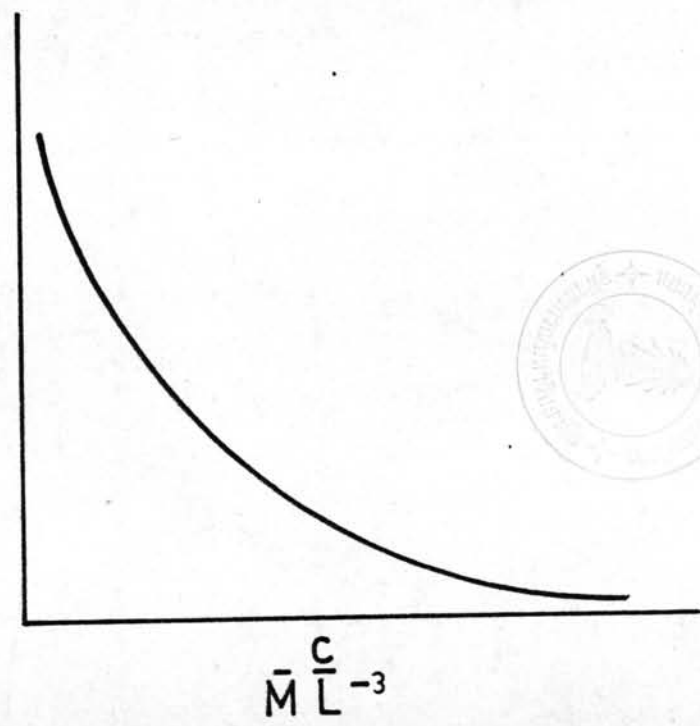
2. ความเข้มข้นของชั้นตะกอนลอยและการทิ้งตะกอนส่วนเกิน

ความเข้มข้นของชั้นตะกอนลอย จะมีอิทธิพลโดยตรงกับความเร็วในการตกตะกอน การตกตะกอนส่วนใหญ่จะเป็นแบบที่ 3 (Zone of Settling) และในขณะเดียวกันก็มีอิทธิพลต่อการแยกอนุภาคคอลลอยด์ที่ไม่ลงตัวออกจากน้ำ ถ้าความเข้มข้นชั้นตะกอนลอยมาก ความเร็วในการตกตะกอนจะลดน้อยลง ตามรูปที่ 11 แสดงผลกระทบความเข้มข้นอนุภาคแข็งต่อความเร็วในการตกตะกอน อัตราน้ำล้นที่ดังตกตะกอนรับได้ก็จะลดลงด้วย แต่ในขณะเดียวกันถ้าความเข้มข้นของชั้นตะกอนลอยมาก จำนวนการสัมผัสระหว่างอนุภาคก็จะมากตามไปด้วย ทำให้ประสิทธิภาพการแยกตัวของคอลลอยด์ที่ขึ้น กิ่งนั้น ต้องการความเข้มข้นที่เหมาะสม (Optimum Concentration) โดยการประณีประนอมระหว่างปัจจัยทั้งสอง เพื่อกำหนดความเข้มข้นที่เหมาะสมก็อาจรักษาความเข้มข้นนั้นไว้ได้ โดยทิ้งตะกอนส่วนเกินออกสม่ำเสมอ การทิ้งตะกอนส่วนเกินนี้อาจทำได้โดยตรงหรือทำ Compartment ภายในถัง สำหรับเก็บโดยให้ตะกอนส่วนเกินไหลลงจากชั้นตะกอนลอยเข้าไปใน Compartment นั้น

3. ระบบการเก็บน้ำใส

ส่วนบนสุดของส่วน sludge blanket จะมีความเข้มข้นตะกอนสูง มีลักษณะเป็นชั้นตะกอน (sludge layer) ทำหน้าที่คล้ายตัวกรอง (filter) มีใต้อนุภาคแขวนลอยส่วนกลางของถัง ซึ่งอยู่ในช่วง sludge blanket zone ไหลผ่านขึ้นไปในส่วนน้ำใส การรักษาระดับชั้นตะกอนคงที่ควรต้องให้น้ำไหลผ่านชั้นตะกอนด้วยอัตราความเร็วที่เหมาะสมและกระจายสม่ำเสมอ หากจุดใดความเร็วแนวตั้งของน้ำสูงเกินไปก็จะนำอนุภาคแขวนลอยส่วนกลางในช่วง sludge blanket ขึ้นไปจำนวนมาก ก็จะเพิ่มการทำงานของชั้นตะกอนซึ่งทำหน้าที่คล้ายตัวกรอง ณ จุดนั้นสูง ซึ่งอาจทำให้ตะกอนตรงจุดนั้นยกตัวลอยขึ้นไปในส่วนน้ำใส

$$L \frac{U}{T^{-1}}$$



รูปที่ 11

ผลกระทบความเข้มข้นของอนุภาคแข็งต่อความเร็วการจมตัวของตะกอน

ในขณะที่เดียวกัน หากความเร็วจุดโคจรต่ำมากเกินไปตะกอนก็จะตกลงมาจากนั้นมาก ทำให้ความเข้มข้นของเหลวในชั้น sludge blanket ไม่สม่ำเสมอ (non homogenous concentration) ซึ่งมีผลทำให้เกิด density current ภายในช่วง sludge blanket มีผลทำให้ลดประสิทธิภาพการทำงานของถัง

ดังนั้นการออกแบบระบบการเก็บน้ำใส จะต้องออกแบบให้มีความเหมาะสม โดยให้น้ำใสไหลเข้าที่ริมหน้าใสด้วยความเร็วสม่ำเสมอและเท่ากันตลอดพื้นที่หน้าตัดถัง เพื่อมิให้เกิดปัญหาถังกลาวข้างต้น (MACKRLE, S. 1965)

การทำงานของถังตกตะกอนแบบโซลิดคอนแทคแคริไฟเออร์ที่ใช้แผ่นขนานเอียง ถังตกตะกอนแบบนี้คล้ายกับถังตกตะกอนโซลิดคอนแทคโดยทั่วไป แต่ได้ปรับปรุง โดยเพิ่มแผ่นขนานเอียงในแนวตั้งและบนแผ่นขนานได้ติดตั้งแผ่นตีเฟลคเตอร์ ห่างกันเป็นระยะตามความเหมาะสม จุดประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของถังให้สูงขึ้น แผ่นขนานเอียงภายในถัง จะเพิ่มพื้นที่สัมผัสภายในถังให้มากขึ้น, ลดค่าเรโนลด์นัมเบอร์ของการไหลของน้ำผ่านถัง โดยแผ่นขนานเอียงเหล่านี้จะเพิ่มเส้นรอบรูปเปียกสูงขึ้น นอกจากนี้ยังช่วยกระจายความเร็วของน้ำที่ไหลขึ้นแนวตั้งระหว่างแผ่นขนานให้สม่ำเสมอ ในขณะเดียวกันแผ่นตีเฟลคเตอร์ที่ติดตั้งบนแผ่นขนานเอียง จะทำให้เกิดการหมุนเวียนตะกอนในช่วง Sludge Blanket ระหว่างแผ่นขนานเอียงตามรูปที่ 12 ซึ่งช่วยเพิ่มความเข้มข้นตะกอนในช่วงนี้ โดยทำให้เกิดฟล็อกขนาดเหมาะสมในระยะเวลาอันสั้น มีผลให้เกิดการแยกตัวอนุภาคแขวนลอยออกจากน้ำได้ดียิ่งขึ้น

การทำงานของถังตกตะกอนแบบโซลิดคอนแทคที่ใช้แผ่นขนานเอียง สามารถแยกได้ตามขั้นตอนดังนี้ น้ำคืบที่ผ่านการทำโคเอกูเลชัน จะไหลมาตามท่อนำน้ำคืบเข้าสู่ส่วนล่างของถัง แล้วไหลเข้าที่กระจายน้ำคืบ ออกแบบไว้มีลักษณะเป็นท่อกดลงเจาะรูเล็กๆ ด้านล่าง วางเรียงกันอยู่ส่วนล่างของถัง ระยะห่างพอเหมาะสมควรนำจากท่อนำน้ำคืบ จะไหลออกตามรูเล็กๆ เหล่านี้ด้วยอัตราความเร็วที่สูง ลักษณะการไหลเป็นแบบน้ำป่วน

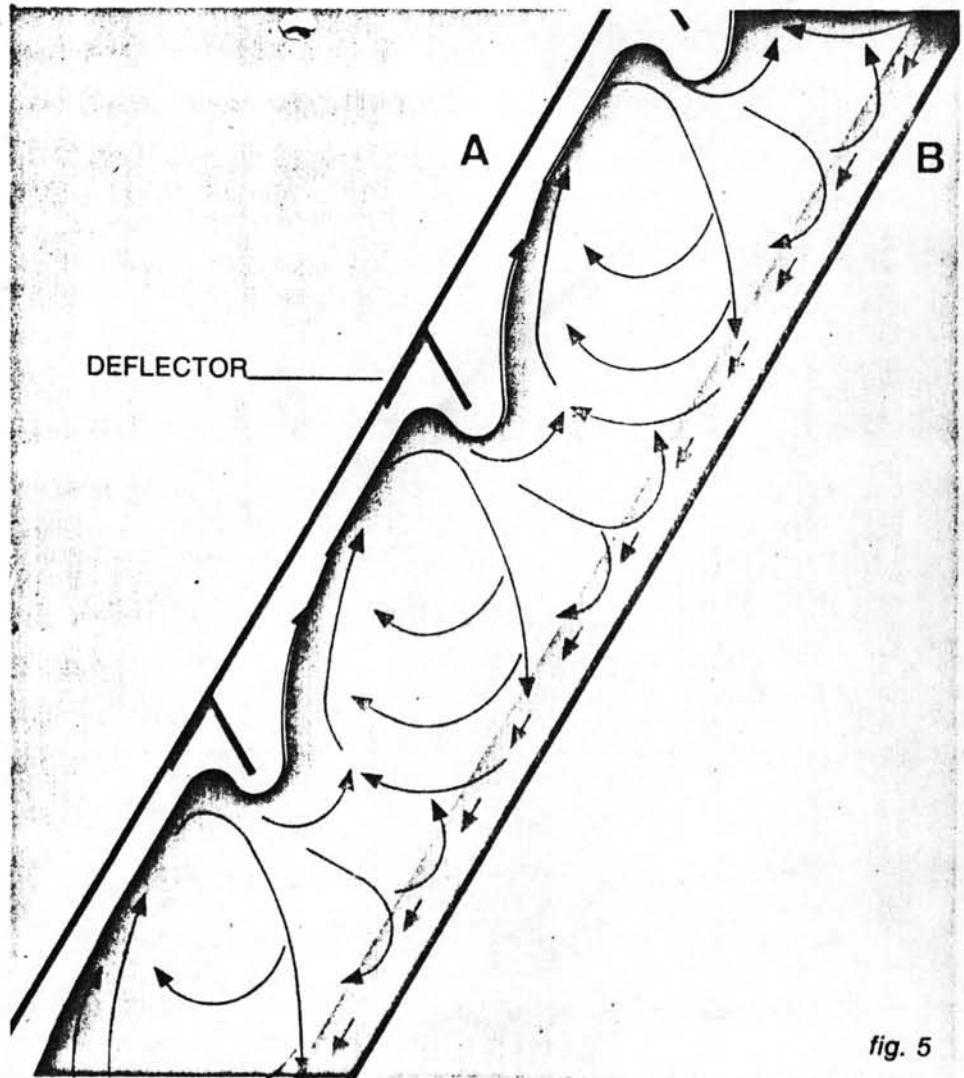
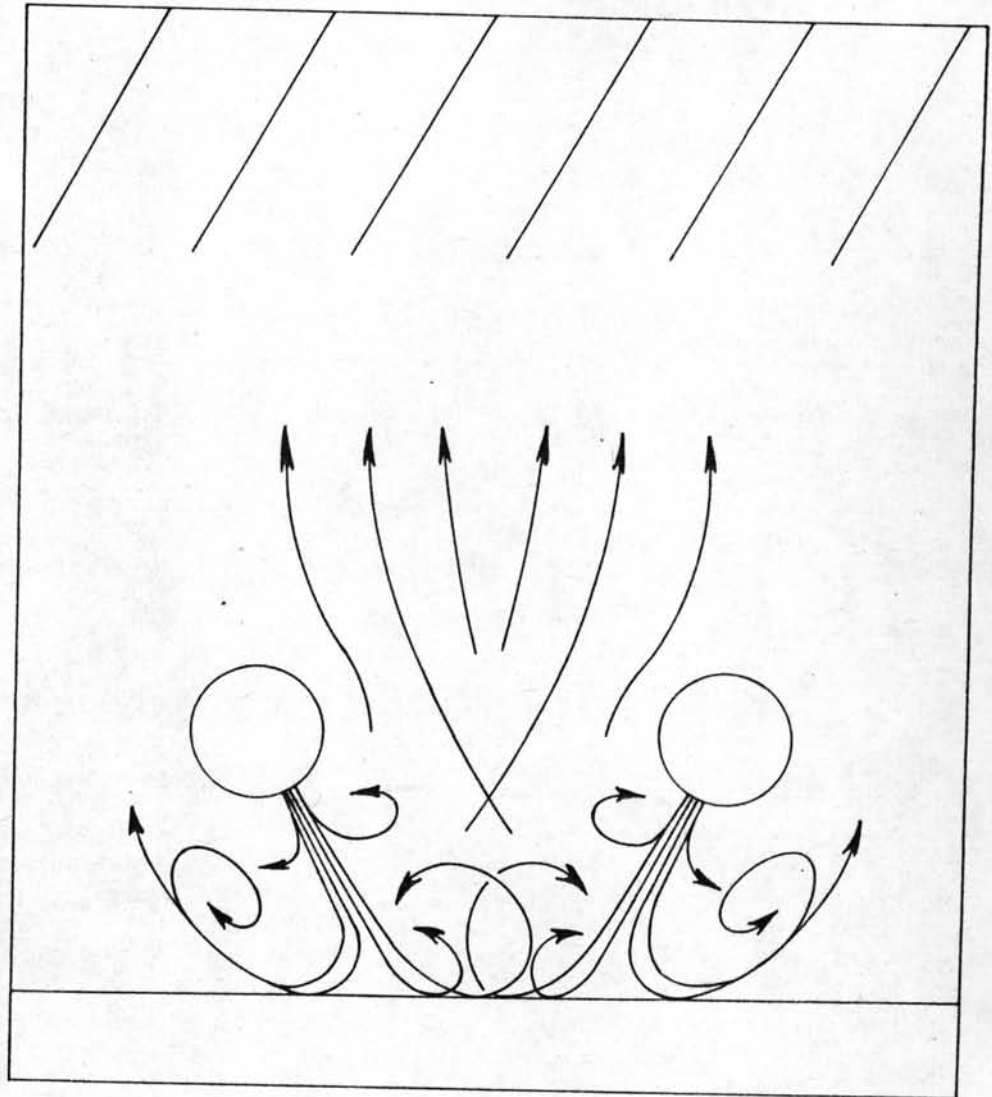


fig. 5

รูปที่ 12 แสดงการไหลของน้ำระหว่างแผ่นขนานเอียงภายในถังตกตะกอน

(ตามรูปที่ 13) ไหลขึ้นในแนวตั้งตามช่องว่างระหว่างแผ่นขนานเอียง เข้าสู่ส่วนกลางของถัง ขว้างที่เป็น sludge blanket ในช่วงนี้น้ำที่ผ่านการทำโคเอกูเลชัน เริ่มจะรวมตัวกันเป็นฟล็อก ขนาดเล็กปะปนขึ้นไปกับน้ำ แผ่นตะกอนที่ติดกับบนแผ่นขนานเอียงเหล่านั้น จะทำให้ตะกอนที่ปะปนกับน้ำเกิดการไหลหมุนเวียนซึ่งช่วยเพิ่มความเข้มข้นตะกอนในช่วง sludge blanket โดยการไหลหมุนเวียนตะกอนดังกล่าวจะทำให้เกิดฟล็อกขนาดเหมาะสม ในระยะเวลาอันสั้น (นอกจากนี้การทำให้เกิดฟล็อกโดยวิธีนี้จะลดการแตกสลายของฟล็อกได้อย่างมาก เมื่อเทียบกับวิธีการใช้เครื่องจักร) เพราะว่าการหมุนเวียนตะกอนในช่วงนี้จะช่วยเพิ่มจำนวนสัมผัสของฟล็อกที่มีขนาดเล็ก ให้เกาะรวมตัวกันเป็นฟล็อกขนาดใหญ่ที่มีความเหมาะสมที่จะตกตะกอน ซึ่งเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการแยกตัวของอนุภาคแขวนลอยออกจากของเหลว นอกจากนี้การไหลเวียนของน้ำระหว่างแผ่นขนานจะนำเอาตะกอนบางส่วนที่ตกค้างอยู่บนแผ่นขนานดังกล่าวกลับมาใช้ใหม่อีก จะเป็นการเพิ่มความเข้มข้นตะกอนให้สูงขึ้น ตะกอนในช่วงของ sludge blanket จะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ตามระยะเวลาของน้ำไหลผ่านถัง (เพราะอนุภาคแขวนลอยที่ปะปนมากับน้ำจะแยกตัวออกมารวมกันอยู่ในช่วง sludge blanket เป็นส่วนมาก) ดังนั้นความเข้มข้นตะกอนช่วงนี้จะสูงขึ้นเรื่อย ๆ การออกแบบจำเป็นต้องให้ความเข้มข้นตะกอนช่วงนี้มีปริมาณเหมาะสม โดยให้ตะกอนส่วนเกินไหลผ่าน weir ซึ่งติดอยู่ช่วงกลางภายในถัง ไหลไปรวมกับในส่วนที่เก็บตะกอน เมื่อตะกอนเหล่านั้นไปรวมตัวกันเป็นจำนวนมาก ปริมาตรตะกอนจะลดลงโดยการควบแน่นเนื่องจากน้ำหนักของตัวเอง พร้อมทั้งจะนำออกจากถัง ส่วนของน้ำใสที่ไหลผ่านขึ้นมาจากชั้นตะกอน (sludge blanket) ก็ไหลเข้าท่อน้ำใส ซึ่งออกแบบไว้เป็นท่อกลม เจาะรูขนาดเล็ก ๆ โดยรอบ และวางห่างกับระยะตามความเหมาะสม ที่ส่วนบนของถังเพื่อรับน้ำใส (โดยให้น้ำใสไหลสู่รางรับน้ำใสด้วยความเร็วสม่ำเสมอตลอดหน้าตัดถัง ป้องกันมิให้จุดหนึ่งจุดใดน้ำไหลเร็วเกินไป เพราะจะมีผลกระทบกับชั้นตะกอนในช่วงของ (sludge blanket) ซึ่งอยู่ส่วนล่างของถัง), น้ำใสจากรางรับน้ำใส ก็จะไปยังถังกรอง ตามระบบการผลิตน้ำประปา ช่วงของน้ำใสที่ไหลผ่านชั้นตะกอนของช่วง sludge blanket บางทีอาจจะมีอนุภาคแขวนลอยปะปนมาบ้าง ซึ่งในช่วงนี้ยังมีแผ่นขนาน-



รูปที่ 13 แสดงการไหลของน้ำดินออกนอกจากที่ตักและไหลเข้าในถังตกตะกอน

เอียงและแผ่นคิเฟลคเตอร์ ช่วยให้อนุภาคเหล่านั้นกลับตกตะกอนลงไปสู่ส่วนล่างของ
ถังอีก

ข้อดีของถังตกตะกอนแบบโรลลิกคอนแทคที่ใช้แผ่นขนานเอียง

1. การกระจายน้ำคืบเข้าถังและการเก็บน้ำใสออกจากถังกระทำโดย
สม่ำเสมอตลอดพื้นที่หน้าตัดถัง
2. ลักษณะการไหลของน้ำเข้าถังชนิดนี้เป็นการไหลตามแนวตั้งจากด้านล่าง
ถึงส่วนบนของถัง สามารถใช้พื้นที่ถังได้เต็มที่ โดยพื้นที่หน้าตัดถังทั้งหมด มีผลต่ออัตรา
ความเร็วปริมาณน้ำเข้าถัง และปริมาณความจุของถังมีผลต่อระยะเวลาการไหลน้ำผ่านถัง
3. การทำให้อนุภาคแขวนลอยรวมตัวกันมีขนาดโตขึ้น สามารถทำได้โดย
ปราศจากการใช้เครื่องจักร
4. สามารถกำจัดอนุภาคแขวนลอยและสารละลายในน้ำได้มากกว่าถังตะกอน
แบบธรรมดา เนื่องจากในช่วงของ sludge blanket จะมีความเข้มข้นของตะกอนสูง
5. แผ่นขนานเอียง และแผ่นคิเฟลคเตอร์ที่ตั้งอยู่บนแผ่นขนานเอียงภายในถัง
สามารถเพิ่มพื้นที่สัมผัสของถังมากกว่าถังตกตะกอนธรรมดาที่มีขนาดเท่ากัน
6. ถังตกตะกอนแบบนี้เมื่อคิดถึงปริมาณน้ำที่สามารถกำจัดได้เท่ากับถัง
ตกตะกอนแบบทั่วไปแล้ว สามารถลดต้นทุนในการก่อสร้างของถังได้มากกว่า
7. ตะกอนที่เก็บได้ในส่วนที่เก็บตะกอนของถังจะความแน่นด้วยน้ำหนักตัวเอง
ซึ่งเพิ่มความเข้มข้นให้สูง และลดการสูญเสียของน้ำคืบ
8. คุณภาพน้ำใสที่ได้คุณภาพเกือบคงที่แม้คุณภาพน้ำคืบจะมีการเปลี่ยนแปลง
เนื่องจากปริมาณตะกอนจำนวนมากในช่วง sludge blanket จะทำหน้าที่เป็น buffer

(Walton, 1975)