หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

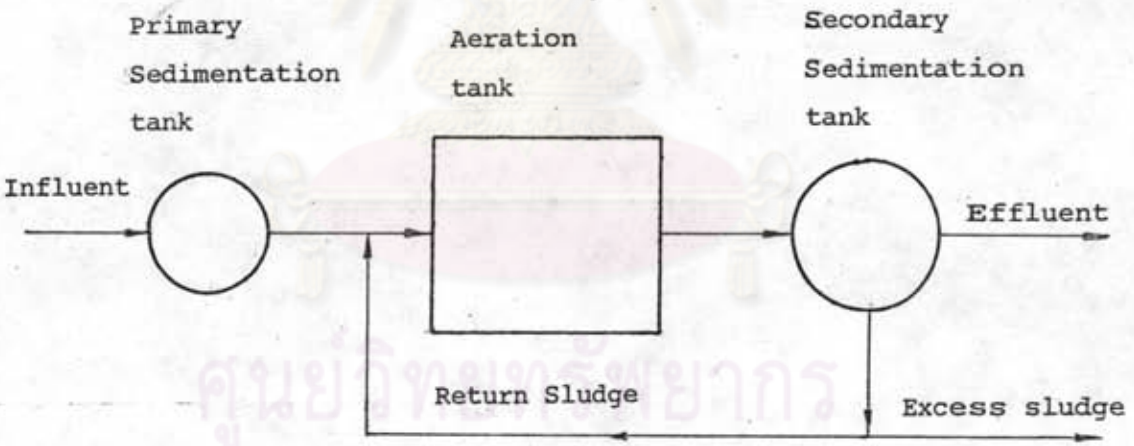
บทที่ ๒

หลักการ ทฤษฎีและรายงานการวิจัยที่เกี่ยวข้อง

๒.๑ ระบบแอคทีเวทเตดสลัดจ์ แบบธรรมดา (conventional activated sludge)

"ขบวนการแอคทีเวทเตดสลัดจ์ คือ วิธีการย่อยสลายสารอินทรีย์ต่าง ๆ ในน้ำทิ้งอย่างต่อเนื่องด้วย วิธีทางชีววิทยาแบบเติมออกซิเจน, โดยประชากรจุลชีพชนิดต่าง ๆ ที่ประกอบด้วยแบคทีเรีย โปรโตซัว และสัตว์ชั้นกลาง."

"The activated sludge process is a continuous oxidative biodegradation method for the various organic matter in wastewater, using the heterogeneous microbial population composed of bacteria, protozoa and metazoa.(5)



รูปที่ ๒.๑ แบบแสดงระบบแอคทีเวทเตดสลัดจ์ แบบธรรมดา(6)

เนื่องจากระบบแอคทีเวทเตดสลัดจ์ เป็นระบบที่ใช้จุลชีพในการย่อยสลายสารอินทรีย์ จึงถือว่าถังเติมอากาศเป็นถังปฏิกิริยาชีวเคมีได้ด้วย. เมื่อเปรียบเทียบกับการแบ่งชนิดของถังปฏิกิริยาในแขนงวิชาวิศวกรรมชีวเคมี (biochemical engineering) และเทคโนโลยีการ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หมัก (fermentation technology) จึงพออนุมานได้เป็นถังหมักกวน (continuous stirred tank fermenter, CSTF) ที่มีการเติมเชื้อตลอดเวลา (continuous inoculation) ซึ่งทำได้โดยการเวียนตะกอนกลับ.[7,8,9]

๒.๒ องค์ประกอบและลักษณะการทำงานโดยสังเขป ของระบบแอคทิเวทเตด สลัดจ์

ระบบแอคทิเวทเตด สลัดจ์ โดยทั่วไปมีองค์ประกอบที่สำคัญ ๒ ส่วน คือ

๒.๒.๑ ถังเติมอากาศ (aeration tank) หรือถังปฏิกิริยา (reactor)

เป็นส่วนที่ปฏิกิริยาย่อยสลายสารอาหารในน้ำทิ้ง เกิดขึ้น มีการควบคุมสภาวะให้เหมาะสมกับการทำงาน (Activity) และการเจริญเติบโตของบรรดาจุลชีพที่ใช้ในการย่อยสลายสารอาหาร เงื่อนไขสำคัญที่จะต้องควบคุมได้แก่ อุณหภูมิ, ความเป็นกรดเป็นด่าง หรือ พีเอช, สัดส่วนของธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของจุลชีพ ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปแตสเซียม, สัดส่วนปริมาณอาหาร หรือปริมาณแหล่งธาตุคาร์บอน ต่อปริมาณจุลชีพ, ปริมาณออกซิเจนในน้ำ, เวลากักตะกอน ระดับความแรงของการผสม เป็นต้น.[10,11,12,13,14]

เนื่องจากถังเติมอากาศ เป็นถังปฏิกิริยาแบบชีววิทยา การเปลี่ยนแปลงสภาวะใด ๆ จะมีผลต่อการทำงานปฏิกิริยามาก การควบคุมเงื่อนไขให้ถูกต้องจึงเป็นเรื่องยาก และต้องอาศัยความละเอียดอ่อนมาก ปัญหาต่าง ๆ จึงมักจะเกิดขึ้นเมื่อสภาวะของระบบเกิดผิดปกติไป ได้แก่ การเกิดการไม่รวมเป็นก้อนของจุลชีพ (deflocculation) การเกิดก้อนปุยจิ๋ว (pinpoint floc) การเกิดตะกอนเบา (bulking) เหล่านี้จะเป็นข้อบกพร่องของระบบแอคทิเวทเตด สลัดจ์ ซึ่งจะต้องแก้ไขปรับปรุง.

๒.๒.๒ ถังตกตะกอน (sedimentation tank)

เป็นส่วนที่ใช้แยกมวลจุลชีพออกจากน้ำทิ้งที่ได้รับการบำบัดแล้ว เพื่อให้น้ำที่ออกจากระบบบำบัดมีคุณภาพได้มาตรฐานเก็บกักมวลจุลชีพไว้ในระบบให้มีปริมาณพอเพียง และทำให้ตะกอนเลนที่ออกจากระบบมีความเข้มข้นสูง พอที่จะรับการบำบัดขั้นต่อไปได้ง่าย. ในการทำให้ถังตกตะกอนทำงานได้ตามวัตถุประสงค์ จะต้องมีการควบคุมเงื่อนไขต่าง ๆ เช่น อัตราน้ำล้น (overflow rate) อัตราการรับมวลสารแข็ง (solid loading) อัตราการดูด (underflow rate) หรืออัตราการเวียนตะกอนกลับ (recycle rate), ความสูงของชั้นตะกอนเลน (sludge blanket height) เป็นต้น.[15,16]

การออกแบบถังตกตะกอนมีหลายวิธี และวิธีที่มีพื้นฐานทางทฤษฎีสนับสนุนมากที่สุดได้แก่ ทฤษฎีสัดส่วนอัตรารับมวลแข็ง (solid flux theory) จึงได้นำมาใช้เป็นหลักอ้างอิงในการค้นคว้าวิจัยครั้งนี้.

๒.๓ ข้อมูลเกี่ยวกับจุลชีพบางอย่างที่พบในระบบแอคทิเวทเตดสลัดจ์

๒.๓.๑ แบคทีเรีย[17,18,19]

๒.๓.๑.๑ Pseudomonas ใช้สารอินทรีย์เป็นอาหาร เป็นแบคทีเรียที่เป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ของมวลจุลชีพ[19] จัดอยู่ในจำพวก gram-negative bacteria กลุ่ม aerobic chemoheterotrophs.

๒.๓.๑.๒ Sphaerotilus เป็นแบคทีเรียแบบเส้นใย ที่เป็นสาเหตุส่วนใหญ่ของการเกิดตะกอนเบา มักพบในนามของ iron bacteria[20] เพราะมีส่วนในปฏิกิริยาตกตะกอนของเหล็กในน้ำ มีลักษณะพิเศษคือจะอยู่รวมกันเป็นหมู่ (colony) แบบต่อกันเป็นสายยาว (filament) จัดอยู่ในจำพวก gram-negative bacteria กลุ่ม aggregate-forming bacteria.

๒.๓.๑.๓ Zoogloea จัดอยู่ในจำพวก gram-negative bacteria กลุ่ม aggregate-forming bacteria เช่นเดียวกับ Sphaerotilus แต่ลักษณะของหมู่คล้ายปะการัง เชื่อกันว่าเป็นแบคทีเรียที่ผลิตเมือกช่วยให้เกิดก้อนปุยในการตกตะกอน.

๒.๓.๑.๔ Nitrifying bacteria จัดอยู่ในจำพวก gram-negative bacteria กลุ่ม chemolitho trophic bacteria ทำให้เกิดการเปลี่ยนสารประกอบไนโตรเจนเป็นไนเตรท (nitrification).

๒.๓.๒ โปรโตซัว[21]

๒.๓.๒.๑ โปรโตซัวแบบกิ่งก้าน (stalk ciliate) กินแบคทีเรียที่พบได้แก่ Vorticella, Carchesium, Epistylis, Opercularia.

๒.๓.๒.๒ โปรโตซัวแบบมีขน (ciliate) ที่พบได้แก่

ก. Litonotus Fasciala กิน ciliates, flagellates

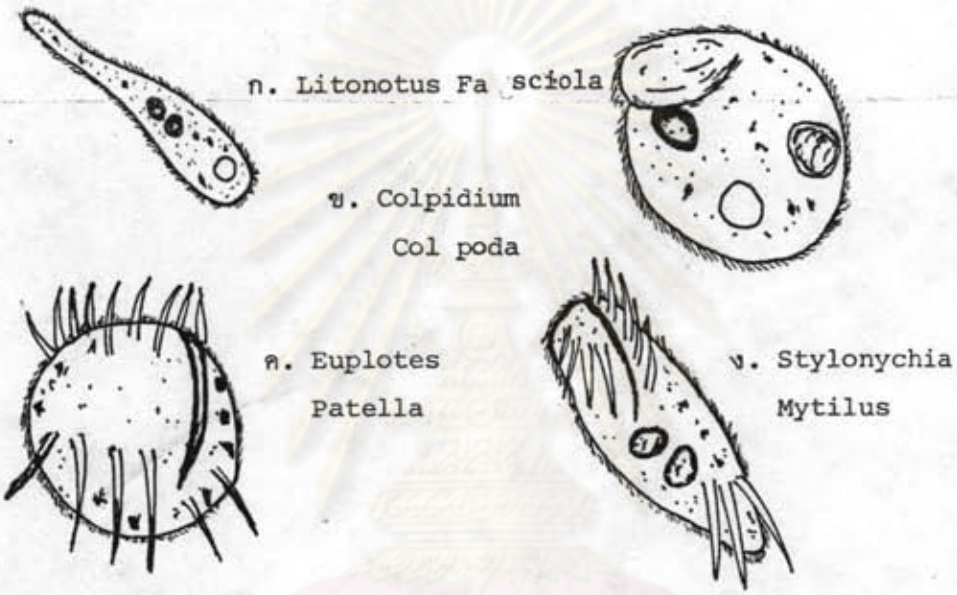
ข. Colpidium Colpoda กิน flagellates เล็ก ๆ,แบคทีเรีย

ค. Euplotes Patella กิน flagellates เล็ก ๆ,ciliates

แบคทีเรียที่อยู่เป็นหมู่ (bacterial colonies)

ง. Stylonychia Mytilus กิน แอลจี,flagellates, ciliates

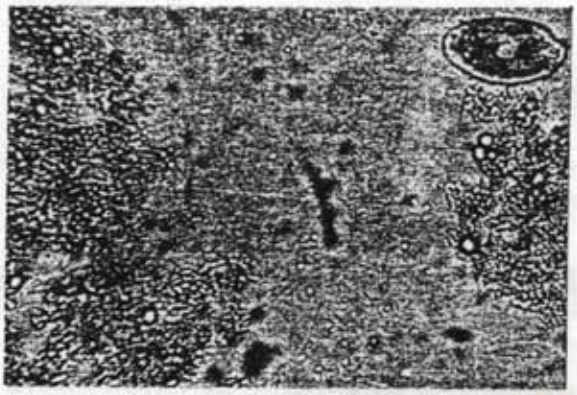
จ. Oxytricha Fallax Stein กินแบคทีเรีย แอลจี flagellates



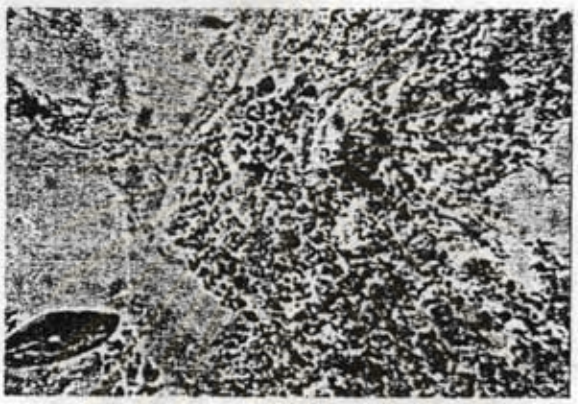
รูปที่ ๒.๒ แสดงภาพวาดของโปรโตซัวชนิดมีขนบางตัว

๒.๔ การเกิดตะกอนเบา (bulking)

การเกิดตะกอนเบา หมายถึง สภาพที่ตะกอนเลนมีความสามารถในการอัดตัวต่ำและจมตัวลงได้ช้า[3] ลักษณะของก้อนปุยจะฟูโปร่ง, ทั้งนี้มีสาเหตุใหญ่ที่มีผู้ศึกษาวิจัยจำนวนมากเห็นพ้องต้องกันคือ การที่ก้อนปุยของตะกอนเลนประกอบด้วยประชากรจุลชีพแบบเส้นใยเป็นอัตราส่วนมากกว่าขอบเขตที่จำกัดอันหนึ่ง.[1,2,22] นอกจากนี้ยังมีผู้วิจัยบางคนได้ศึกษาในห้องทดลองพบว่าตะกอนเบาอาจเกิดจากจุลชีพที่ไม่ใช่เส้นใย จำพวกซูเกลีย (Zoogloea) ได้อีกด้วย,[23] แต่การเกิดตะกอนเบาแบบนี้ยังไม่พบรายงานจากโรงบำบัดน้ำทิ้งจริง ๆ. ดังนั้นการกล่าวถึงการเกิดตะกอนเบาโดยทั่วไปจะหมายถึงการเกิดตะกอนเบาโดยจุลชีพแบบเส้นใยเท่านั้น.



(ก)



(ข)

(ค)

รูปที่ ๒.๓ (ก) ก้อนปุยปกติ

(ข) ตะกอนเบาเนื่องจากจุลชีพ จำพวก Zoogloea

(ค) ตะกอนเบาเนื่องจากจุลชีพ จำพวก เส้นใย

จุลชีพแบบเส้นใยที่ทำให้เกิดตะกอนเบา ได้แก่ Sphaerotilus natans ซึ่งพบมากที่สุด ส่วนชนิดอื่น ๆ ได้แก่ Thiothrix, Toxothrix,Vitreoscilla, Beggiatoa,lactic acid bacteria, และพวกราในกลุ่ม Actinomycetes.[3]

๒.๔.๑ ลักษณะโครงสร้างภายในของตะกอนเบา

การที่จุลชีพแบบเส้นใยทำให้เกิดตะกอนเบาได้นั้น มีผู้ตั้งสมมุติฐานไว้[23] ได้แก่

๒.๔.๑.๑ การที่เส้นใยของจุลชีพระโยงระยางออกมาจากก้อนปุย เมื่อจับกับก้อนปุยอื่นก็ไม่สามารถจัดให้แน่นได้ จึงเกิดตะกอนเลนที่ฟูพอง มีความหนาแน่นต่ำ ทำให้จมลงได้ช้า.

๒.๔.๑.๒ ก้อนปุยของตะกอนเบาจะหยาบกว่า เมื่อเทียบกับก้อนปุยของตะกอนเลนปกติ ดังนั้นจะทำให้เกิดแรงต้านของน้ำ (drag force) สูง ทำให้เกิดจมลงได้ช้า เมื่อตะกอนเลนจมถึงก้นถังตกตะกอน การอัดตัวจะทำให้น้ำแทรกผ่านช่องแคบ ๆ ของชั้นตะกอนขึ้นมา ซึ่งความหยาบของผิวจะลดความเร็วของการอัดตัวด้วย.

๒.๔.๒ สาเหตุของการเกิดตะกอนเบาในระบบแอคทิเวทเตดสลัดจ์

เป็นที่เชื่อกันว่าตะกอนเบาเกิดจากการที่สภาวะในระบบเอื้ออำนวยให้แบคทีเรีย Sphaerotilus และจุลชีพเส้นใยอื่น ๆ แพร่พันธุ์ได้รวดเร็วกว่าจุลชีพประเภท Zooglea ที่ทำให้เกิดก้อนปุยที่แน่น.[2,22]

สภาวะที่เอื้ออำนวยต้องการเติบโตของจุลชีพประเภทเส้นใยที่มีผู้ศึกษาไว้ได้แก่

ก. ออกซิเจนที่ละลายในน้ำมีปริมาณน้อย(ต่ำกว่า ๑.๐ มก./ล.) ออกซิเจนที่ละลายในน้ำควรจะไม่ต่ำกว่า ๒.๐ มก./ล. จึงจะเพียงพอ.[22,23]

ข. การขาดแคลนสารอาหารที่จำเป็นบางอย่าง เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส เหล็ก เป็นต้น[7]

ค. พีเอชที่ต่ำกว่า ๖.๐[2,26]

ง. การส่งสารอาหารปริมาณมากเข้าสู่ระบบทันทีทันใด (shock loads)[3,26]

จ. สารอาหารจำพวกคาร์โบไฮเดรทมีสัดส่วนในอัตราสูง[1,26]

ฉ. สัดส่วนอาหารต่อมวลจุลชีพ สูงกว่า ๐.๓-๐.๔ กก. บีโอดี/กก. จุลชีพ-วัน[1,26]

ช. การทำงานของระบบที่มีเวลากักตะกอนต่ำกว่า ๒.๐ วัน[1,23]

อย่างไรก็ตาม ความรู้เรื่องการเกิดตะกอนเบา และการเติบโตของแบคทีเรียแบบเส้นใยนั้น ยังค่อนข้างคลุมเครือและไม่อาจที่จะระบุชัดลงไปถึงสาเหตุของการเกิดตะกอนเบา เพราะสาเหตุที่เกิดขึ้นจริงนั้นเป็นสาเหตุเชิงซ้อน ที่เกิดจากการรวมกันของหลายสภาวะ มิใช่เกิดขึ้นเพราะเหตุใดเดี่ยว ๆ ดังนั้นบางสภาวะที่มีแนวโน้มว่าจะเกิดตะกอนเบา อาจจะไม่เกิดก็ได้

เพราะมีสาเหตุอื่นมาทดแทนหรือขดเชยไว้ เช่น การทำงานของโรงบำบัดน้ำทิ้งที่อัตราส่วนอาหารต่อมวลจุลชีพสูง ๆ อาจจะไม่เกิดตะกอนเบา ถ้ามีออกซิเจนละลายในน้ำมากพอเป็นต้น[22] และนอกจากนี้การที่ผลสรุปของผู้ทำการศึกษาออกมาไม่เหมือนกันนั้น อาจจะเป็นเพราะวิธีการศึกษาที่ใช้ รวมทั้งมีภาวะในการทดลองบางอย่างที่มีผลต่อผลการทดลองไม่เหมือนกันที่เดียว เช่นมีผู้ศึกษาการเกิดตะกอนเบา โดยใช้ค่าดรรชนีปริมาตรตะกอนเลน (SVI) ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน อาจจะได้ผลสรุปที่แตกต่างกันเพราะค่า SVI จะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของมวลสารแขวนลอยด้วย เป็นต้น.[3]

๒.๔.๓ การแก้ไขการเกิดตะกอนเบา

๒.๔.๓.๑ การใช้ยาฆ่าเชื้อ จุลชีพแบบเส้นใยจะอ่อนแอต่อยาฆ่าเชื้อกว่าจุลชีพธรรมดา เพราะมีอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตรสูง. ยาฆ่าเชื้อที่มีผู้ใช้ได้แก่ คลอรีน โดยเติมที่ตะกอนเวียนกลับด้วยความเข้มข้น ๑๐-๒๐ มก./ล.[1] ; ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ โดยเติมที่ตะกอนเวียนกลับด้วยความเข้มข้น ๑๐๐ มก./ล.[27]

๒.๔.๓.๒ การใช้ตัวช่วยให้ตกตะกอน ตัวช่วยให้ตกตะกอนจะลดดรรชนี ปริมาตรตะกอนเลน ลดความหยาบของผิวก้อนปุย ทำให้ตกตะกอนได้เร็วขึ้น[23] ตัวช่วยตกตะกอนที่มักใช้กันได้แก่ โพลีเมอร์อินทรีย์ชนิดประจุบวก (cationic organic polymer) ; เกลือของเหล็กและอลูมิเนียม.

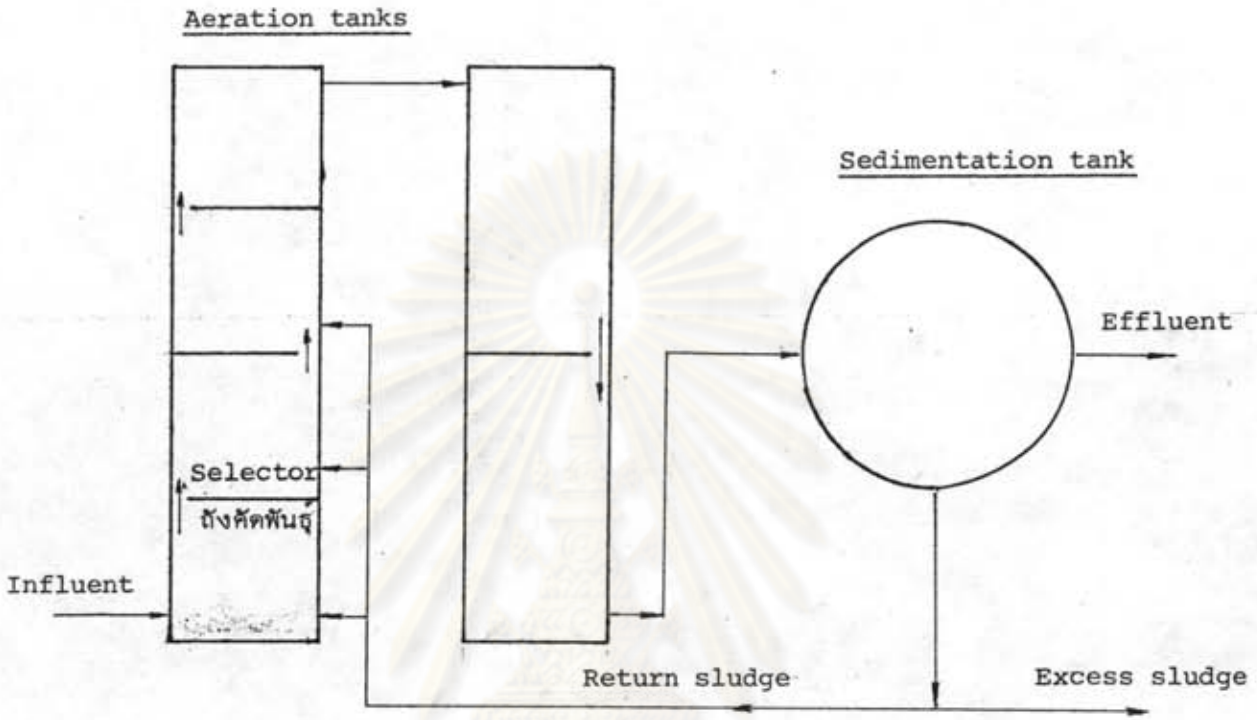
๒.๔.๓.๓ การปรับปรุงระบบบำบัดน้ำทิ้ง ที่มักจะทำได้แก่ การเพิ่มอัตราการเวียนตะกอนกลับ การดึงตะกอนเลนส่วนเกินออกให้มากขึ้น[1] ; การใช้ระบบไหลตรง (plug flow system)[28] ; การใช้ระบบเติมน้ำทิ้งเป็นช่วงเวลา (intermittent feeding)[29] ; เหล่านี้มีผลดีและผลเสียต่างกันไป ซึ่งจะต้องพิจารณาใช้ให้เหมาะสม.

๒.๕ ระบบแอคทิเวทเตดสลัดจ์ แบบบีเอฟพี[4]

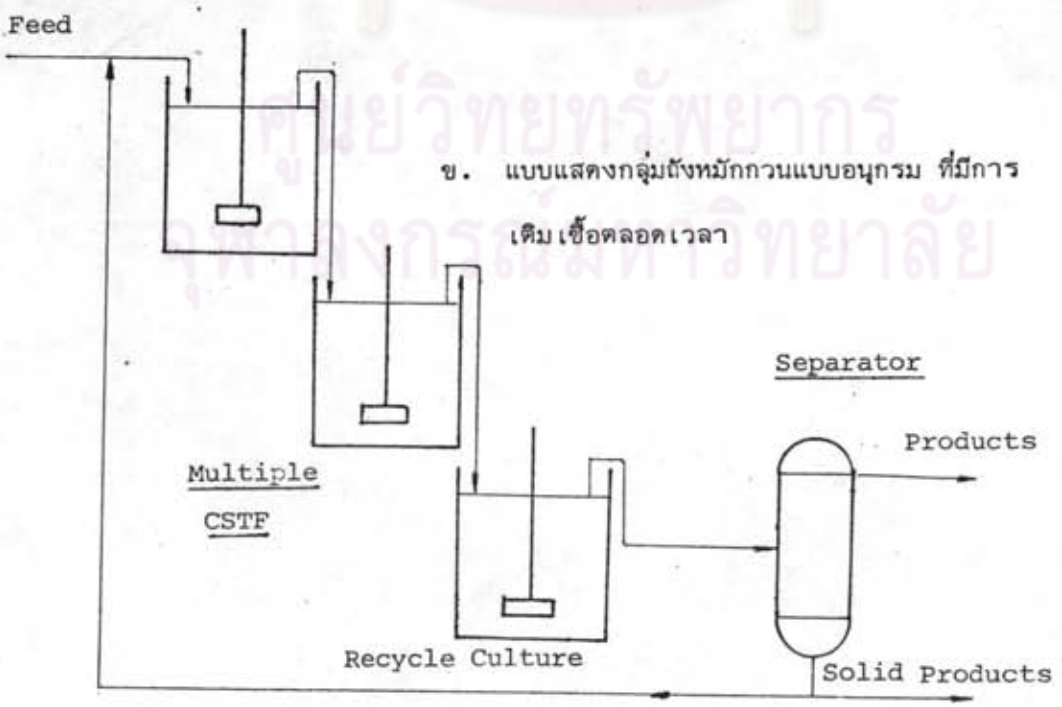
๒.๕.๑ องค์ประกอบของระบบ

ระบบแอคทิเวทเตดสลัดจ์แบบบีเอฟพี มีส่วนประกอบพิเศษจากระบบแอคทิเวทเตดสลัดจ์ แบบธรรมดา คือ มีถังเติมอากาศหลายถังต่อกันแบบอนุกรม พร้อมทั้งมีการเวียนตะกอนกลับแยกเข้าถังเติมอากาศหลายถัง มีลักษณะการทำงานคล้ายคลึงกับระบบ plug flow activated sludge ในทำนองเดียวกันก็พอที่จะจัดถังเติมอากาศของระบบนี้เป็นถังหมักกวนหลายตอน

(Multiple - CSTF) ที่มีการเติมเชื้อตลอดเวลา.



ก. แบบแสดงระบบแอคทิเวทเตดสลัดจ์แบบบีเอฟพี



ข. แบบแสดงกลุ่มถังหมักกวนแบบอนุกรม ที่มีการเติมเชื้อตลอดเวลา

รูปที่ ๒.๔

๒.๔.๒ หลักการทำงานของขบวนการ บีเอฟพี

การเกิดตะกอนเบา (Bulking) ในระบบแอคทิเวทเตดสลัดจ์, หมายถึงการที่มวลสารแขวนลอย (Mix liquor suspended solids) จากถังเติมอากาศ มีความสามารถในการอัดตัวต่ำ, ลักษณะก้อนปุย (Floc) จะโปร่ง เบา, ทำให้จมตัวลงได้ช้า. สาเหตุใหญ่คือการที่จุลชีพที่เป็นส่วนประกอบของมวลสารแขวนลอย, ประกอบไปด้วยแบคทีเรียชนิดที่เป็นเส้นใย (Filamentous Bacteria) เป็นสัดส่วนมากกว่าชีดจำกัดอันหนึ่ง.

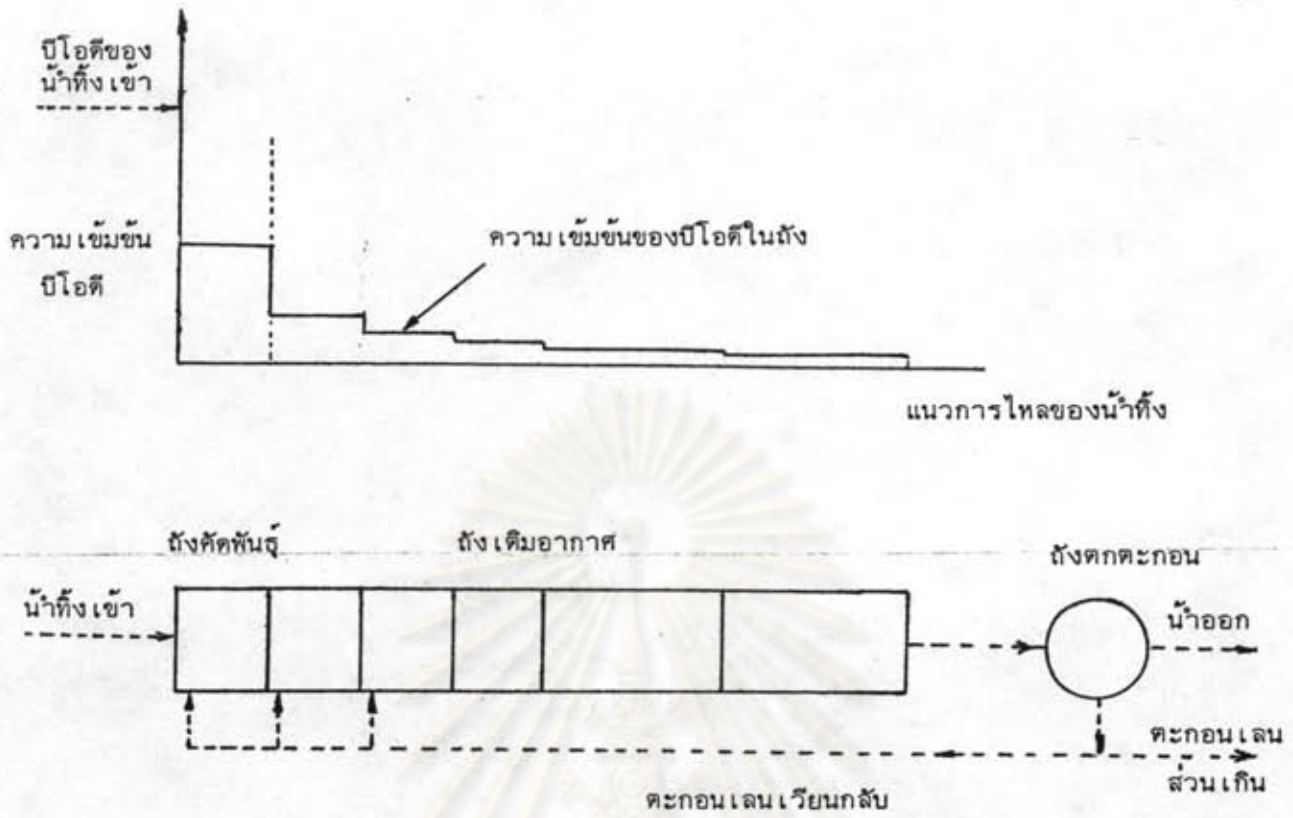
ผลของการเกิดตะกอนเบาจะทำให้ขบวนการตกตะกอนเพื่อแยกมวลสารแขวนลอยออกจากน้ำที่ออกจากระบบมีประสิทธิภาพต่ำลง, จนอาจถึงขั้นล้มเหลว. การเวียนตะกอนกลับซึ่งเป็นหลักการสำคัญในการควบคุมการทำงานของระบบจะถูกกระทบกระเทือนไปด้วย จะทำให้มีผลต่อเนื่องไปยังการทำงานของระบบบำบัดทั้งระบบได้.

สภาวะต่าง ๆ ในการเจริญพันธุ์ของแบคทีเรียที่ทำให้เกิดก้อนปุย (Floc forming bacteria) และแบคทีเรียแบบเส้นใย ได้ถูกศึกษาและตรวจสอบ พบว่า

ก. แบคทีเรียที่ทำให้เกิดก้อนปุยจะเจริญพันธุ์ได้เร็วกว่าแบคทีเรียแบบเส้นใย เมื่อความเข้มข้นของ บีโอดี (BOD) สูง.

ข. แบคทีเรียแบบเส้นใยจะมีปริมาณลดลงเร็วกว่าแบคทีเรียที่ทำให้เกิดก้อนปุย เมื่อช่วงการเติมอากาศเฉย ๆ (Dry aeration) มีระยะเวลานาน.

ขบวนการบีเอฟพีจะลักษณะตามหลักการนี้คือ ในส่วนแรกของถังเติมอากาศจะถูกแยกไว้ต่างหาก, เรียกว่า ถังคัดพันธุ์ (Selector). ตะกอนเลน (Sludge) ส่วนน้อยจะเวียนกลับเข้าสู่ถังคัดพันธุ์. เนื่องจากการบำบัดในถังนี้ทำที่ ปริมาณมาก, บีโอดีที่เหลืออยู่จึงมีความเข้มข้นสูง, แบคทีเรียที่ทำให้เกิดก้อนปุยจะเจริญพันธุ์อย่างรวดเร็ว. ตะกอนเลนส่วนใหญ่จะเวียนกลับสู่ถังเติมอากาศส่วนหลัง, ดังนั้นตะกอนเลนส่วนใหญ่จะอยู่ในช่วงของการเติมอากาศเฉย ๆ, การเจริญพันธุ์ของแบคทีเรียแบบเส้นใยจึงถูกจำกัดไว้ได้.



รูปที่ ๒.๕ แสดงการจัดทางเดิน (Flow) ของน้ำทิ้งในขบวนการบีเอฟพี และการเปลี่ยนแปลงของบีโอดีในถัง

๒.๕.๓ การควบคุมระบบแอคทิเวทเตดสลัดจ์ แบบบีเอฟพี โดยสังเขป

๒.๕.๓.๑ การควบคุมน้ำทิ้งที่เข้าสู่ระบบ

ก. พีเอช (pH) ควรจะอยู่ในช่วง ๖.๐-๘.๐

ข. อุณหภูมิ ระดับอุณหภูมิสูงสุดที่เหมาะสมจะอยู่ในช่วง ๔๐-๔๕ องศาเซลเซียส การทำงาน (Activity) ของแบคทีเรียจะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงกว่าระดับนี้

๒.๕.๓.๒ การควบคุมถังเติมอากาศ

ก. สภาวะในถังคัดพันธุ์

ก.๑ อัตราส่วน บีโอดีต่อมวลสารแขวนลอยให้รักษาอยู่ในช่วง ๔-๑๐ ก.ก. บีโอดี/ก.ก. มวลสารแขวนลอย-วัน

ก.๒ อัตราการลดบีโอดีที่ละลายน้ำ ควรจะประมาณ ๗๐-๘๐% หรือต่ำสุดที่ ๕๐%

009439

ก.๓ ความเข้มข้นของมวลสารแขวนลอย ประมาณ ๒๐๐๐-๕๐๐๐ ม.ก./ล.

ถ้าค่าสารแขวนลอยในน้ำทิ้งเข้าเปลี่ยนแปลงไป, ค่ามวลสารแขวนลอยที่กล่าวไว้นี้ก็ควรจะเปลี่ยนแปลงให้เหมาะสม. โดยปกติจะคุมค่ามวลสารแขวนลอยไว้ที่ ๓,๐๐๐ มก./ล. อัตราส่วนบีโอดีต่อมวลสารแขวนลอย จะคุมไว้ที่ ๐.๗ ก.ก.บีโอดี/ก.ก. มวลสารแขวนลอย-วัน. ถ้าความเข้มข้นของมวลสารแขวนลอยสูงเกินไปก็จะเกิดการขาดออกซิเจนขึ้น. แบคทีเรียแบบเส้นใยมักจะเกิดขึ้นในถังที่สามและถัด ๆ ไป ถ้าความเข้มข้นของบีโอดีที่เหลืออยู่สูงเกินไป.

ข. สภาวะในถังเติมอากาศที่เหลือ

ควรจะควบคุมความเข้มข้นของมวลสารแขวนลอยให้อยู่ในช่วง ๔๐๐๐-๗๐๐๐ มก./ล., และไม่ควรเกิน ๑๐,๐๐๐ ม.ก./ล., เพราะจะทำให้อัตราการใช้ออกซิเจนสูงกว่า อัตราการละลายของออกซิเจนในน้ำ

๒.๔.๓.๓ การควบคุมถังตกตะกอน

ก. ควรจะควบคุมชั้นตะกอนเลน (sludge blanket) ในถังตกตะกอนให้อยู่ในระดับ ๐.๒ - ๑.๐ ม. จากพื้นถัง.

ข. ตะกอนเลนส่วนเกิน (Excess sludge) จะมีประมาณเปลี่ยนแปลงตามปริมาณสารแขวนลอยในน้ำทิ้งเข้า (Inflow) และน้ำทิ้งออก (Outflow), จึงควรปรับตามความเหมาะสมโดยใช้ประสบการณ์ช่วย.

๒.๔.๓.๔ การหยุดพักระบบ

ก. หยุดเติมอากาศ ไม่หยุดการเติมอากาศนานกว่า ๔ ช.ม. เพราะจะทำให้จุลชีพตายหรือลดความสามารถในการทำงาน.

ข. หยุดน้ำทิ้งเข้า ให้มีการเวียนตะกอนเลนกลับเพื่อรับออกซิเจนต่อไป ถ้าต้องการลดการใช้พลังงานก็ใช้วิธีเดินเครื่องเติมอากาศ ๒๐ ชม. แล้วหยุด ๔ ชม. สลับกันไป.

๒.๖ ลักษณะการตกตะกอนของมวลแขวนลอยในระบบแอคทิเวทเตดสลัดจ์

๒.๖.๑ การเกิดก้อนปุย (flocculation) ของมวลแขวนลอย

การเกาะกันเป็นก้อนปุย ของจุลชีพ เดิมมีทฤษฎีอธิบายว่า เกิดขึ้นเนื่องจากการทำลายประจุไฟฟ้าที่ผิวของจุลชีพ คือในขณะที่จุลชีพยังแข็งแรงจะมีประจุ ที่ผิวคอยผลักไม่ให้เซลมารวมกันได้ เมื่อเซลขาดแคลนอาหารหรืออยู่ในสภาวะที่ไม่เหมาะสมกับการเจริญพันธุ์ ประจุเหล่านี้ก็จะหมดไป เซลจุลชีพหยุดการเคลื่อนไหว แล้วเกาะกันเป็นก้อนจมลง[30] ปัจจุบันพบว่าเกิดจากการสร้างเมือกเหนียวของแบคทีเรีย เรียกว่า extracellular biopolymer ซึ่งจะมาเกาะเกี่ยวกัน (bridging) ทำให้เกิดก้อนปุย[1] มีแบคทีเรียหลายอย่างที่สามารถตกตะกอนได้ในลักษณะนี้ แต่ที่เชื่อกันว่าเป็นตัวผลิตเมือกเหนียวที่สำคัญคือ ซูเกลีย (Zoogloea ramigera).[31]

๒.๖.๒ แบบของการตกตะกอน

ถังตกตะกอนสุดท้ายจะทำงานที่ความเข้มข้นของมวลแขวนลอยค่อนข้างสูง ลักษณะของการตกตะกอนจะเป็นการตกตะกอนแบบชั้น ซึ่งมีลักษณะในอุดมคติ คือ

ก. ก้อนปุยจะจมลงโดยไม่มีการกดทับก้อนปุยที่อยู่ใต้ลงไป

ข. ก้อนปุยทุกชิ้นจะจมลงด้วยอัตราเร็วที่เท่า ๆ กัน

ค. ความเร็วในการจมจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของมวลแขวนลอยเท่านั้น

การวัดความเร็วในการตกตะกอนแบบชั้น สามารถทำในห้องทดลองโดยใช้กระบอกตกตะกอนที่ความเข้มข้นของมวลแขวนลอยต่าง ๆ กัน ซึ่งข้อมูลของความเร็วที่ได้ จะถูกนำไปใช้ในการออกแบบถังตกตะกอน.[32]

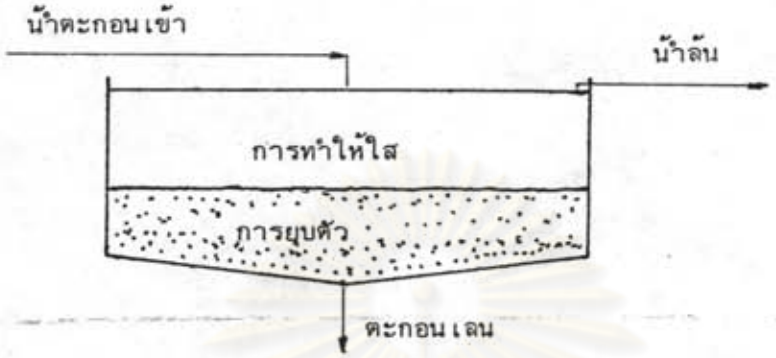
๒.๗ การออกแบบถังตกตะกอนสุดท้ายของระบบแอคทิเวทเตดสลัดจ์

การออกแบบถังตกตะกอนสุดท้าย ของระบบแอคทิเวทเตดสลัดจ์ จะต้องคำนึงถึงการทำงาน ๒ ลักษณะ ของถังตกตะกอน คือ

ก. การทำให้ใส (Clarification) เป็นส่วนที่เกิดการจมของมวลแขวนลอยที่เจือจาง จะเกิดในบริเวณส่วนบนของถังตกตะกอน (รูปที่ ๒.๖)

ข. การยุบตัว (thickening) เป็นส่วนที่เกิดการยุบตัวของตะกอนเลนที่ค่อนข้างเข้มข้น จะเกิดในบริเวณส่วนล่างของถังตกตะกอนที่เป็นชั้นตะกอนเลน

ในการออกแบบจะนำขีดจำกัดของ การทำงานในทั้งสองกรณี นำมาเปรียบเทียบกัน แล้วเลือกส่วนที่ทำงานได้ในขีดจำกัดที่ต่ำกว่าเป็นเกณฑ์ในการออกแบบ.



รูปที่ ๒.๖ แสดงการทำงานของถังตกตะกอนสุดท้าย

๒.๗.๑ การออกแบบถังตกตะกอนสุดท้ายโดยการหาพื้นที่ในการทำให้ใส

ทำได้โดยการวัดความเร็วในการจมที่ความเข้มข้นของมวลแขวนลอยที่เข้าสู่ถังตกตะกอน และนำมาคำนวณจากความสัมพันธ์

$$A_c = \frac{q_c}{u_s}$$

โดยที่

A_c = พื้นที่สำหรับการทำให้ใส

q_c = อัตราน้ำออกจากส่วนบนของถังตกตะกอน

u_s = ความเร็วในการจมที่ความเข้มข้นของมวลแขวนลอยที่เข้าสู่ถังตกตะกอน (32)

๒.๗.๒ การออกแบบถังตกตะกอนสุดท้ายโดยการหาพื้นที่ในการยุบตัว

การออกแบบจะอ้างอิงทฤษฎีสัดส่วนอัตราการรับมวลแข็ง (Solid flux theory) ซึ่งมีหลักดังนี้

สำหรับความเข้มข้นของมวลแขวนลอยค่าหนึ่ง จะมีความสามารถในการยุบตัวอยู่ในระดับหนึ่งที่แน่นอน. ในการทำงานของถังตกตะกอนสุดท้าย สัดส่วนอัตราการจมทั้งหมดจะเท่ากับผลรวมของสัดส่วน อัตราการยุบตัวกับสัดส่วนอัตราการจมเนื่องจากการดูดตะกอนเลน

ข้างใต้ และจะมีความเข้มข้นของตะกอนเลนชั้นหนึ่งซึ่งมีสัดส่วนอัตราการจมทั้งหมดต่ำสุด. สัดส่วนอัตราการจมต่ำสุดนี้จะเป็นสัดส่วนอัตราการรับมวลแข็งจำกัด (limiting flux) ของถังตกตะกอน ที่จะรับมวลแข็งได้ไม่เกินกว่านี้ [๓๓,๓๔]

การหาสัดส่วนอัตราการรับมวลแข็งจำกัดมีหลายแบบ แต่แบบที่ง่ายและรวดเร็วที่สุดเป็นวิธีของโยชิโอกา (Yoshioka) ซึ่งจะยกตัวอย่างไว้ในที่นี้ตามลำดับ [๓๕]

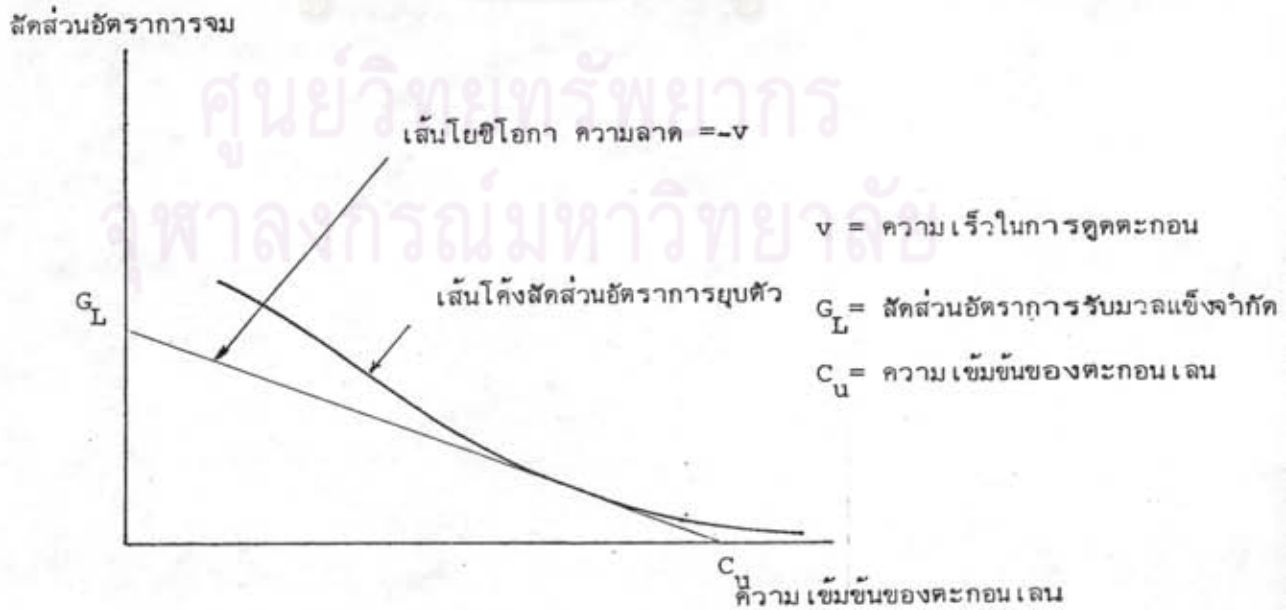
ก. หาค่าความสามารถในการยุบตัวของตะกอนเลน ทำได้โดยการวัดความเร็วในการตกตะกอนแบบชั้น ของมวลแขวนลอยที่ความเข้มข้นระดับต่าง ๆ

สัดส่วนอัตราการยุบตัว = ความเร็วในการตกตะกอนแบบชั้น x ความเข้มข้นของมวลแขวนลอย

ข. เขียนกราฟระหว่างสัดส่วนอัตราการยุบตัวกับความเข้มข้นของมวลแขวนลอย ดังรูปที่

ค. ลากเส้นสัมผัสกับเส้นโค้ง ให้มีความลาดกลับเท่ากับความเร็วในการดูดตะกอนเลนข้างใต้ จะได้จุดตัดบนแกนตั้ง (y - intercept) คือ ค่าสัดส่วนอัตราการรับมวลแข็งจำกัดและจุดตัดบนแกนนอน (X-intercept) คือ ค่าความเข้มข้นของตะกอนเลนที่ถูกดูดจากก้นถัง.

$$\text{ความเร็วในการดูดตะกอน} = \frac{\text{อัตราการดูดตะกอน}}{\text{พื้นที่ของถังตกตะกอน}}$$



รูปที่ ๒.๗ แสดงการหาสัดส่วนอัตราการจมต่ำสุดโดยวิธีกราฟ

จากค่าสัดส่วนอัตราการรับมวลแข็งต่ำสุด เราจะสามารถหา พื้นที่ผิวที่ต้องการได้จากความสัมพันธ์

$$\text{พื้นที่ผิวของถังตกตะกอน , ม}^2 = \frac{\text{อัตราการรับมวลแข็ง , กก./ชม.}}{\text{สัดส่วนอัตราการรับมวลแข็งต่ำสุด, ก.ก./ม}^2\text{-ชม.}}$$

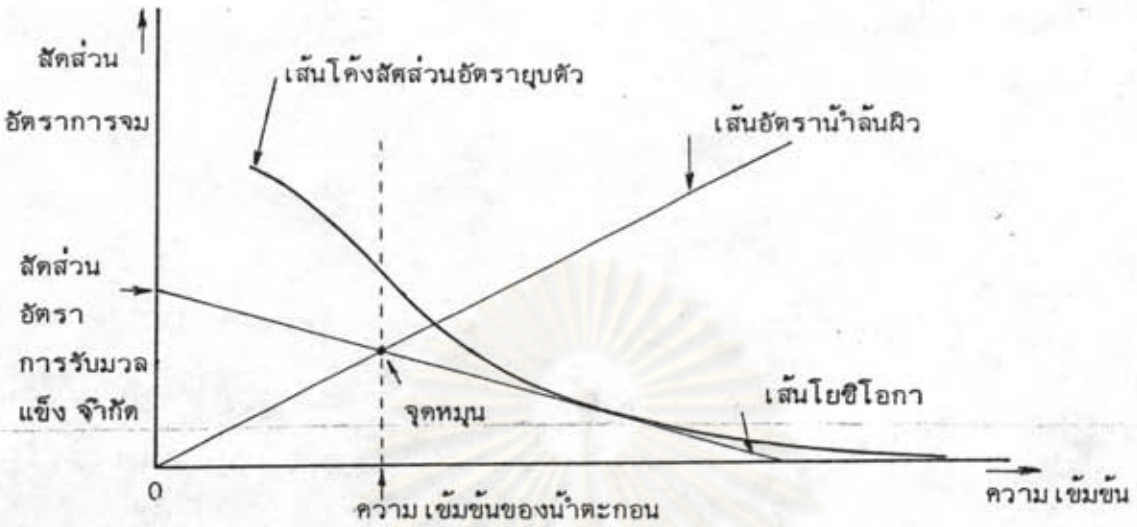
สัดส่วนอัตราการรับมวลแข็งนี้ นอกจากจะใช้ในการออกแบบถังตกตะกอนแล้ว ยังมีการพัฒนาไปในการใช้ควบคุม และทำนายการทำงานของถังตกตะกอนร่วมกับการทำงานของระบบแอคทิเวทเตดสลัดจ์ ทั้งระบบ อย่างมากมาย.[34,37,38,39] แต่ขณะเดียวกัน ก็ยังมีการตรวจสอบความถูกต้องแน่นอนของทฤษฎีนี้อยู่[41] เพราะยังมีองค์ประกอบหลายอย่างที่มีอิทธิพลต่อการทำงานของถังตกตะกอน ทำให้สภาวะบางอย่างเบี่ยงเบนจากสมมติฐานอันเป็นอุดมคติที่ได้ตั้งเอาไว้ เช่น การเกิดความปั่นป่วนในถังตกตะกอน[42] ลักษณะการจมของอนุภาคของชั้นความเข้มข้น[43] เป็นต้น. การนำทฤษฎี อัตราการรับมวลแข็งไปใช้อ้างอิง จึงควรที่จะศึกษาถึงขอบเขตไว้ว่างใจได้ของทฤษฎีให้ชัดเจนด้วย

๒.๗.๓ การคำนวณโดยใช้จุดหมุน (pivot point method)

เป็นวิธีการที่พัฒนาขึ้น โดยอาศัยทฤษฎีสัดส่วนอัตราการรับมวลแข็ง เป็นการโยงรวมเอาสภาวะการทำงานทางด้านถังตกตะกอน และทางด้านถังเติมอากาศเข้าด้วยกัน เพื่อให้การทำนายสภาพของถังตกตะกอนมีความสมบูรณ์ ทั้งนี้เพราะการเปลี่ยนแปลงใด ๆ ของทั้งถังตกตะกอนและถังเติมอากาศย่อมมีผลกระทบซึ่งกันและกัน ผลจากความเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ จะสามารถแสดงได้โดยการใช้จุดหมุน

หลักการต่าง ๆ ของจุดหมุนก็คือ เมื่อลากเส้นโยชิโอกาซึ่งมีความลาดกลับเท่ากับความเร็วในการดูดตะกอน ตัดกับเส้นอัตราน้ำล้นผิว ที่ลากจากจุดกำเนิด (๐,๐) โดยมีความชัน เท่ากับอัตราน้ำล้นผิว พิกัดบนแกน x ของจุดตัด ของทั้งสองเส้นนี้ จะเป็นความเข้มข้นของน้ำตะกอนจากถังเติมอากาศ และจุดตัดของเส้นโยชิโอกาบนแกน y จะเป็นสัดส่วนอัตราการรับมวลแข็งจำกัดของถังตกตะกอน

ดังนั้นในทางกลับกัน เมื่อเราต้องการหาอัตราเวียนตะกอนที่พอดีกับอัตราน้ำล้นผิว (หรืออัตราการไหลของน้ำทิ้งเข้าสู่ระบบบำบัด) และความเข้มข้นของมวลแขวนลอยในถังเติมอากาศค่าหนึ่ง ก็สามารถหาได้โดยลากเส้นโยชิโอกา ผ่านจุดตัดของเส้นอัตราน้ำล้นกับความเข้มข้นของเส้นสัมผัสนั้น คือ อัตราเวียนตะกอนที่ต้องการ อัตราเวียนตะกอนต่ำสุดที่เป็นไปได้คือความชันของเส้นโยชิโอกาที่ลากสัมผัสกับเส้นโค้งสัดส่วนอัตราการยุบตัว.



รูปที่ ๒.๔ แสดงการใช้จุดหมุน

๒.๔ <u>การเลือกตัวแปรควบคุมเพื่อใช้ในการตรวจสอบและควบคุมระบบแอคทิเวทเตดสลัดจ์แบบบีเอฟพี</u>

ระบบแอคทิเวทเตดสลัดจ์ แบบบีเอฟพี มีการทำงานที่ซับซ้อนกว่าแบบธรรมดาหลายประการ การนำตัวแปรควบคุมที่ใช้กับระบบแอคทิเวทเตดสลัดจ์ แบบธรรมดามาใช้จึงต้องตรวจดูความเหมาะสมและขอบเขตในการใช้ด้วย หรืออาจจะต้องหาตัวแปรควบคุมใหม่ สำหรับนำมาใช้กับระบบแอคทิเวทเตดสลัดจ์ แบบบีเอฟพีโดยเฉพาะก็เป็นได้ แต่เนื่องจากระยะเวลาที่จำกัดจึงต้องยอมรับใช้ตัวแปรควบคุมของแบบธรรมดาที่มีอยู่ไปก่อน ซึ่งจะพิจารณาใช้ดังนี้

ระบบแอคทิเวทเตดสลัดจ์ แบบธรรมดามีตัวแปรควบคุมที่นิยมใช้กันมาก ๒ ตัว คือ สัดส่วนประมาณอาหารต่อปริมาณจุลชีพ (F/M) และเวลากักตะกอน (solid retention time, SRT) ซึ่งทั้งสองตัวมีความสัมพันธ์กัน ดังสมการ[6]

$$\frac{1}{SRT} = a(F/M)\ r - b \qquad \text{.....(1)}$$

โดยที่ SRT = $\frac{\text{ปริมาณแขวนลอยในถังเติมอากาศ}}{\text{ปริมาณตะกอนเลนที่ดึงออกจากระบบต่อวัน}}$ วัน

F/M = $\frac{\text{ปริมาณบีโอดีที่เข้าสู่ระบบต่อวัน}}{\text{ปริมาณมวลแขวนลอยในถังเติมอากาศ}}$ $\frac{\text{กก.บีโอดี}}{\text{กก.มวลแขวนลอย-วัน}}$

r = ประสิทธิภาพการกำจัดสารอาหารของระบบ

a = สัมประสิทธิ์การสังเคราะห์มวลจุลชีพ, $\frac{\text{ก.ก.มวลจุลชีพ}}{\text{ก.ก.บีโอดี}}$

b = สัมประสิทธิ์การสลายมวลจุลชีพ, วัน^{-1}

โดยลักษณะการไหลของน้ำทิ้งที่รับช่วงกันมาตามลำดับของถังเติมอากาศของระบบบีเอฟพี เราอาจวิเคราะห์ในแบบเดียวกับ กลุ่มถังปฏิกิริยาที่ต่อกันแบบอนุกรม[44] โดยที่น้ำออกจากถังหนึ่งก็เป็นน้ำเข้าของถังถัดไป ซึ่งก็สามารถคำนวณค่า สัดส่วนปริมาณอาหารต่อปริมาตรจุลชีพ หรือเวลากักตะกอนและใช้เป็นตัวแปรควบคุมของถังเติมอากาศแต่ละถังได้.

อีกวิธีหนึ่ง อาจถือว่าถังเติมอากาศที่ต่อกันทั้งหมด ทำหน้าที่เสมือนถังเติมอากาศถังเดียว ซึ่งก็สามารถใช้ค่าสัดส่วนปริมาณอาหารต่อปริมาณจุลชีพ หรือเวลากักตะกอน เป็นตัวแปรควบคุมได้เช่นกัน.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย