บทที่ 7

วิเคราะห์ผลการทดลอง

ประสิทธิภาพในการกำจัด (Treatment Efficiency)

จากรูปที่ 16 และ 17 กราฟทั้งสองรูปจะมีความสัมพันธ์กัน กล่าวคือ กราฟที่ 16 จะแสดงประสิทธิภาพในการลดความสกปรก (COD) ของน้ำโสโครก ส่วนกราฟที่ 17 จะแสดงค่าความสกปรกของน้ำทิ้ง (Effluent COD) ที่ F/M Ratio และ SRT ต่างๆกันของระบบกำจัดน้ำโสโครกขนาดย่อแบบ Activated Sludge ในการใช้กำจัดน้ำโสโครกจางแป้งมันสำปะหลัง รูปที่16 จะแสดงประสิทธิภาพของระบบกำจัดที่ทุกๆ F/M Ratio และSRT ที่ทดลอง ซึ่งจะไม่ลดลงต่ำกว่า 96 % ถ้าหากว่าระบบกำจัดน้ำโสโครกออกแบบโดยใช้ F/M Ratio ระหว่าง 0.1 - 1.0 หรือใช้ SRT ระหว่าง 0.9 - 1.6 วันแล้ว ประสิทธิภาพในการกำจัดจะไม่ตกลง และน้ำทิ้งที่ผ่านการกำจัดแล้วจะมีค่าความสกปรก (COD)อยู่ในมาตรฐานที่กระทรวงอุตสาหกรรมกำหนดไว้คือมีค่าประมาณ 20 - 30 ม.ก./ลิตร แต่ถ้าหากว่าออกแบบโดยใช้ค่า F/M Ratio เกินกว่า 1.0 หรือ SRT ต่ำกว่า 1.6 วันแล้ว น้ำทิ้งจะมีค่าความสกปรกเกินกว่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ แต่อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพของระบบกำจัดจะไม่ตกลงมาเลย (96 %)

ระบบกำจัดแบบ Activated Sludge นี้ถ้าสามารถออกแบบให้สามารถ Operate ได้ที่ F/M Ratio สูงๆหรือให้ค่า SRT ต่ำๆได้แล้ว จะช่วยให้สามารถประหยัดในการออกแบบ ก่อสร้างได้อย่างมาก เช่นใช้ F/M Ratio สูงๆ ขนาดของถังเติมอากาศจะมีขนาดเล็กลงไปได้ ดูจากสมการที่ 1

$$F/M = \frac{Q\ S_o}{X\ V}$$

$$V = \frac{Q\ S_o}{X\ (F/M)}$$

แต่การออกแบบระบบกำจัดให้สามารถทำงานได้ที่ F/M Ratio สูงๆได้นั้นจะต้องพิจารณาสิ่งอื่นเข้ามาประกอบด้วย เช่น

ค่า COD ของน้ำทิ้งถ้าหากว่ากฎหมายควบคุมไม่ให้ค่าของน้ำทิ้งมี COD เกินกว่า 20 ม.ก./ลิตร แล้ว ระบบกำจัดก็ไม่สามารถจะออกแบบให้ค่า F/M Ratio เกินกว่า 1.0 หรือ SRT ต่ำกว่า 1.6 วันได้ เพราะค่า F/M Ratio หรือ SRT เกินหรือต่ำกว่านี้ค่าความสกปรกของน้ำทิ้งที่ปล่อยออกมาจะเกินกว่ามาตรฐานที่กำหนด จากที่กฎหมายได้กำหนดค่าของน้ำทิ้งนี้เอง ทำให้ค่าก่อสร้างโรงงานกำจัดน้ำโสโครกต้องมีราคาแพงมาก เพราะจำเป็นที่จะต้องสร้างระบบกำจัดให้มีประสิทธิภาพในการกำจัดสูง บางโรงงานอาจจะต้องกำจัดประมาณเกือบ 100 % จึงจะทำให้ค่าความสกปรกของน้ำทิ้งลดมาอยู่ในมาตรฐาน ซึ่งการสร้างระบบกำจัดให้มีประสิทธิภาพในการกำจัดสูงขนาดนี้จะต้องสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง ค่าบำรุงรักษา ค่าเนื้อที่ดิน และระบบกำจัดจะต้องมีความซับซ้อนมาก การที่กฎหมายกำหนดมาตรฐานออกมาเช่นนี้อาจจะไม่เป็นการยุติธรรมสำหรับโรงงานที่มีค่าความสกปรกของน้ำโสโครกสูงๆ และเนื่องจากการที่โรงงานอุตสาหกรรมมีน้ำโสโครกที่จะปล่อยทิ้งแตกต่างกันมาก ความยากง่ายในการกำจัดต่างกัน บางโรงงานกำจัดเพียง 70 - 80 % ค่าของน้ำทิ้งก็จะลดลงมาอยู่ในมาตรฐานที่กำหนดแล้ว แต่บางโรงงานจะต้องกำจัดเกือบ 100 % จึงจะสามารถทำให้น้ำทิ้งลดลงมาอยู่ในมาตรฐาน ถ้าหากจะมีการเปลี่ยนแปลงมาตรฐานในการกำจัดน้ำโสโครกที่จะต้องให้น้ำทิ้งอยู่ในมาตรฐานค่าใดค่าหนึ่ง อาจจะเปลี่ยนมาเป็นกำหนดให้ค่าน้ำทิ้งลดลงมาเป็นเปอร์เซ็นต์ในการกำจัด ซึ่งอาจจะยุติธรรมสำหรับโรงงานทั่วไป หรืออาจจะกำหนดค่าความสกปรก และปริมาณน้ำโสโครก ของน้ำทิ้งจากโรงงานเป็นหน่วยต่อวันแทนความเข้มข้นก็จะดี

แต่การกำหนดค่าน้ำทิ้งเป็นเปอร์เซ็นต์ในการกำจัด อาจจะมีปัญหาและผลเสียติดตามมาคือ ระบบกำจัดอาจจะกำจัดได้สูงถึง 95 - 99 % แต่ค่าของความสกปรกของน้ำทิ้งอาจจะยังสูงมากประมาณ 100 - 200 ม.ก./ลิตร ซึ่งถ้ามีแหล่งรับน้ำโสโครกมีอัตราไหลไม่พอเจือจาง (Dilute) น้ำทิ้งจะก่อให้เกิดปัญหาได้ แต่อาจจะแก้ไขได้โดยหาน้ำมาช่วยเจือจาง เช่นอาจจะใช้น้ำบาดาลมาช่วยได้

<u>การใช้ออกซิเจน</u> (Oxygen Uptake)

จากรูปที่ 18 แสดงการใช้ออกซิเจนของระบบกำจัดน้ำโสโครกที่ทดลอง ระบบกำจัดต้องการออกซิเจนไปในขบวนการลดความสกปรกของน้ำโสโครก คือลดสารอินทรีย์ต่างๆในน้ำโสโครก จากการทดลองได้วัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำ (D.O.) ในถังทั้งหมดตลอดเวลา พบว่าถ้ามีการเพิ่ม Loading ให้กับระบบกำจัดแล้วค่า D.O. ในถังเติมอากาศจะลดลง เนื่องจากระบบกำจัดต้องการเอาออกซิเจนไปใช้ในขบวนการกำจัดมากยิ่งขึ้น จากที่ค่า F/M Ratio ประมาณ 1.2 นั้นค่าความสกปรกจะมีมาก D.O. ในถังเติมอากาศลดลงจนถึงศูนย์ คือไม่มีออกซิเจนละลายอยู่ในน้ำเลย การที่ระบบกำจัดขาดออกซิเจนนี้แสดงว่าอัตราการใช้ออกซิเจน (Uptake Rate) เท่ากับอัตราการเติมออกซิเจน (Aeration Rate) พอดี ถ้าระบบกำจัดทำงานโดย F/M Ratio สูงๆกว่านี้จะเกิดสภาพการขาดอากาศ (Anerobic) ขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพของระบบกำจัดเปลี่ยนแปลงอย่างรุนแรง ปกติแล้วค่าของในถังเติมอากาศไม่ควรจะต่ำกว่า 2.0 ม.ก./ลิตรจะทำให้ระบบกำจัดมีสภาพเป็น Aerobic ตลอดเวลา และจะเป็นการประหยัดการเติมอากาศให้กับระบบกำจัด ถ้ามีการเติมมาก อัตราการเติม (Aeration Rate)จะยิ่งสูงมาก

พิจารณาจากการที่ค่าของ D.O. ในถังเติมอากาศลดต่ำลงจนถึงศูนย์เมื่อค่า F/M Ratio ประมาณ 1.2 นี้ ปรากฏว่าเกิดขึ้นทั้งๆที่ ปริมาณลมคือค่าของออกซิเจนมากเกินพอตลอดเวลา แม้จะทดลองโดยการเป่าอากาศเข้าไปในระบบให้มาขึ้นอีก ค่าของ D.O. ก็จะไม่มีการเพิ่มขึ้นอีกเลย เนื่องจากว่าการเพิ่ม Load ให้กับระบบกำจัด (F/M Ratio สูงๆ) จุลินทรีย์ (Sludge) จะเกิดมาก มีจำนวนเพิ่มมากขึ้น ทำให้ระบบกำจัดต้องการออกซิเจนมากขึ้น จำเป็นที่จะต้องเพิ่มการเติมอากาศลงไปมากขึ้น เนื่องจากการที่ จุลินทรีย์ใช้ออกซิเจนอย่างรวดเร็วทำให้อัตราการการดูดซึมออกซิเจนเข้าสู่น้ำไม่ทันกับ อัตราการดูดออกซิเจนจากน้ำของจุลินทรีย์ จากสาเหตุนี้เองการออกแบบระบบกำจัดน้ำโสโครกจึงไม่สามารถออกแบบให้ระบบกำจัดมี F/M Ratio สูงเกินกว่า 1.2 ได้ถ้าหากว่าระบบการเติมอากาศเป็น

ชนิดใช้ลม (Atmospheric Oxygen) แต่น่าจะสังเกตดูได้ว่าถึงแม้ F/M Ratio ถึง 1.2 ประสิทธิภาพในการกำจัดความสกปรก จะยังไม่ลดลงมาเลย ดังนั้นในแง่การออกแบบระบบกำจัดน้ำโสโครกแบบ Activated Sludge ถ้าพิจารณาถึงโรงงานที่มีเนื้อที่น้อย ๆ จึงยังสามารถเพิ่มค่า F/M Ratio เพื่อลดขนาดของถังเติมอากาศไปได้อีก โดยเราอาจจะต้องใช้ออกซิเจนบริสุทธิ์ (Pure Oxygen) มาเติมให้กับระบบกำจัด เพื่อที่จะให้มีออกซิเจนพอกับความต้องการ ซึ่งปรากฏว่าการใช้ออกซิเจนบริสุทธิ์กันมาบ้างแล้ว ถึงแม้ว่าจะยังไม่แพร่หลายก็ตาม

<u>ความยากง่ายของการกำจัด</u> (Treatability)

จากรูปที่ 19 แสดงประสิทธิภาพในการกำจัด Solids ของระบบกำจัดแบบ Activated Sludge ที่ทดลอง ในการกำจัด Suspended Solids ระบบกำจัดสามารถกำจัดได้ประมาณ 93 % ส่วนพวก Total Solids ระบบกำจัดกำจัดได้ 79 % ที่ทุกๆ F/M Ratio และ SRT ที่ทำการทดลอง แสดงว่า Solids ของน้ำโสโครกจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังส่วนใหญ่จะเป็นสารอินทรีย์ ซึ่งพวกจุลินทรีย์จะสามารถกำจัดได้อย่างดี เนื่องจากแป้งมันเป็นสารอินทรีย์ประเภทคาโบไฮเดรตจุลินทรีย์จึงสามารถนำไปใช้เป็นประโยชน์ในการดำรงค์ชีพได้ดี จากการวิเคราะห์พบว่า Volatile Solids จะมีค่าประมาณ 0.8 ของ Total Solids

<u>ความสัมพันธ์ของ SRT และ F/M Ratio</u>

จากรูปที่ 20 นั้นจะเห็นว่าถ้ามีการเพิ่ม Loading ให้กับระบบกำจัด คือเพิ่ม F/M Ratio แล้วค่า SRT จะลดลงแต่ไม่เป็นสัดส่วนกัน(กราฟไม่เป็นเส้นตรง) ที่เป็นดังนี้เพราะเวลามีอาหารกินพอ จุลินทรีย์จะกินส่วนที่ย่อยง่ายก่อน อัตราการใช้อาหารจึงไม่เท่ากันที่ทุกๆ F/M Ratio

<u>ประสิทธิภาพการกำจัดที่แน่นอน</u>

(Specific Substrate Utilization Rate)

จากรูปที่ 21 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง F/M Ratio และ U (Specific Substrate Utilization Rate) ค่าทั้งสองจะมีสัดส่วนในการเพิ่มตามกันไป ถ้าเพิ่ม F/M Ratio ค่า U จะเพิ่มขึ้น พบว่าอัตราส่วนที่แท้จริงของ U : F/M Ratio ของการทดลองครั้งนี้มีค่าประมาณ 0.96 คือ (U : (F/M) = 0.96)

เมื่อพิจารณาจากสมการที่ 4 และ 6

$$1/SRT = Y U - b = E (F/M) Y - b$$

$$E = U / (F/M)$$

$$= 0.96$$

E = Fraction or Efficientcy of The System

จากสมการและค่า E ที่ได้จากการทดลอง จะสามารถนำไปยืนยันในรูปที่ 16 ที่ว่าประสิทธิภาพในการกำจัดของระบบกำจัดจะไม่ลดลงมาต่ำกว่า 96 % ถ้าหากว่าออกแบบตามข้อมูลที่ได้มาจากการทดลองนี้

สำหรับการออกแบระบบกำจัดน้ำโสโครกจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังนี้โดยวิธี Activated Sludge จะให้ประสิทธิภาพคงที่มากขึ้น ก็ต้องพิจารณาใช้ค่า Fraction มาประกอบด้วย เช่นจากสมการที่

$$E = (S_o - S) / S_o$$

$$S_o = S / (1 - E)$$

จากการทดลองได้ค่า E ประมาณ 0.96 การออกแบบจะให้สามารถกำจัดน้ำโสโครกได้ 96 % และมีน้ำทิ้งประมาณ 20 ม.ก./ลิตร (COD) ค่าความสกปรกของน้ำโสโครกจากโรงงานจะมีได้เท่าไรหาได้จากสมการข้างบน

$$S_o = 20 / (1 - 0.96) = 500 \text{ mg/l}$$

ดังนั้นถ้าค่าความสกปรก (COD) ของน้ำโสโครกจากโรงงานเข้ามาในระบบกำจัดประมาณ 500 ม.ก./ลิตร แล้วค่าของน้ำทิ้งจะอยู่ในมาตรฐานที่กำหนด ถ้าหากว่าน้ำโสโครกมีค่าความสกปรกสูงกว่านี้จะต้องใช้วิธีเจือจาง

การเพิ่มของตะกอน (Sludge Build-Up)

จากรูปที่ 22 เป็นกราฟแสดงค่า Solid Yield Coeff.(Y) ของระบบกำจัดน้ำโสโครกแบบ Activated Sludge ที่ใช้ในการกำจัดน้ำโสโครกจากแป้งมันสำปะหลัง ทดลองได้จากการเพิ่ม Loading ให้กับระบบกำจัด แล้ววัดปริมาณการเพิ่มของ MLSS ในถังเติมอากาศ

Y = MLSS Produced / COD Removed

ค่านี้เป็นค่าเฉพาะของน้ำโสโครกจากแป้งมันสำปะหลัง ซึ่งมีค่าประมาณ 0.6481 ค่านี้จะมีค่าอยู่ปานกลางถ้าเทียบกับค่าที่ได้จากการกำจัดน้ำโสโครกจากบ้านเรือน (Domestic Sewage) ซึ่งมีค่าประมาณ 0.3 - 0.8 ค่า Y นี้ถ้าหากว่ามีค่ามาก จะทำให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับกากตะกอนที่มากเกินพอ (Excess Sludge) และจะต้องนำเอาออกไปทิ้ง (Waste Sludge) เนื่องจากตะกอนในระบบกำจัดจะเพิ่มปริมาณมากเมื่อมีการเพิ่ม Loading แต่เนื่องจากระบบกำจัดจำเป็นจะต้องควบคุมให้ระดับความเข้มข้นของตะกอน (MLSS) อยู่ในระดับที่ต้องการเท่านั้น เมื่อมีเกินความต้องการก็ต้องระบายเอาออกไปทิ้ง จากเหตุนี้เอง ระบบกำจัดจึงจำเป็นที่จะต้องมีถังหมักตะกอน (Digestor) และลานตากตะกอน (Drying Bed) เพื่อใช้กำจัดส่วนที่มากเกินพอของตะกอน ทำให้ต้องเพิ่มเนื้อที่ และค่าใช้จ่ายมากขึ้น แสดงให้เห็นว่า การรู้ค่า Y นี้ อาจช่วยให้ออกแบบระบบกำจัดที่มีตะกอนเกินน้อย หรือเกือบไม่มีเลย โดยคำนวนให้เกิดความสมดุลย์ระหว่างตะกอนที่เกิดจากค่า Y และ อัตราการทำลายตัวเองของตะกอนที่เกิดจาก Microorganism Decay Coeff. (b) ซึ่งจะกล่าวในหัวข้อต่อไป

อัตราการทำลายตัวเองของตะกอนจุลินทรีย์

(Endogeneous Respilation)

จากรูปที่23 แสดงการหาค่า Microorganism Decay Coeff. (b) ซึ่งมีความสัมพันธ์กับรูปที่ 22 ค่า b ที่หาได้นี้เป็นค่าเฉพาะของน้ำโสโครกจากแป้งมันสำปะหลัง มีค่าประมาณ 0.0223 day^{-1} เมื่อเปรียบเทียบกับของ Sewage โดยทั่วไปแล้ว (มีค่าประมาณ 0.03 - 0.2) นับว่าต่ำมาก การที่อัตราการสลายตัวของจุลินทรีย์ในระบบกำจัดนี้ ทำให้เห็นว่า การกำจัดกากตะกอนจากระบบกำจัดจะยุ่งยากกว่าเมื่อเทียบกับ Sewage และถ้าออกแบบระบบเพื่อให้เกิดความสมดุลย์ ระหว่างการเกิดตะกอน และการทำลายตะกอนแล้ว จะต้องใช้ถังเติมอากาศขนาดใหญ่มากด้วย

ลักษณะการตกตะกอนของตะกอนจุลินทรีย์

(Sludge Settling Charateristics)

จากรูปที่ 24 แสดงความเร็วในการตกตะกอนของตะกอนจุลินทรีย์ (MLSS) ที่เวลาและความเข้มข้นต่างๆกัน ที่ทดลองคือใช้ความเข้มข้นของ MLSS ประมาณ 2000 , 3000 , 4000 และ 5000 ม.ก./ลิตร เมื่อจับเวลาในการตกตะกอนดูแล้ว พบว่าความเข้นข้นต่ำจะตกตะกอนได้อย่างรวดเร็วกว่าความเข้มข้นสูง ๆ จากการตกตะกอนที่ 1 - 2 ชม. ตะกอนจะตกมาแค่เป็น Clearifier เท่านั้น หลังจาก 2 ชม. ผ่านไปแล้ว ตะกอน (Sludge) ก็จะค่อยๆอัดแน่น (Compact) ซึ่งการทดลองนี้จะช่วยในการตัดสินใจออกแบบถังตกตะกอนขั้นสุดท้าย รวมทั้งเลือกขนาดของสูบที่จะใช้ในการสูบตะกอนกลับมาใช้ในระบบอีก (Sludge Recycle Pump)

การเลือกใช้ความเข้มข้นของ MLSS ในระบบกำจัดนั้น จะต้องพิจารณาว่าจะต้องการประหยัดในการสร้างส่วนใดของระบบกำจัด เช่นถ้าใช้ความเข้มข้นของ MLSS ที่จะคงไว้ในระบบประมาณ 2000 - 3000 ม.ก./ลิตร ขนาดของถังเติมอากาศก็จะมีขนาดใหญ่ แต่ถังตกตะกอนขั้นสุดท้ายจะมีขนาดไม่โตนักเพราะตะ

กอนที่ความเข้มข้นขนาดนี้จะตกได้เร็ว ใช้ระยะเวลาในการตกตะกอนน้อย ขนาดถังจึงเล็ก แต่ถ้าเลือกใช้ความเข้มข้นประมาณ 4000 - 5000 ม.ก./ลิตร นั้นเวลในการตกตะกอนจะมาก คือตกได้ 20 - 30 % ต้องใช้เวลาถึง 6 - 7 ชม. ทำให้ตะกอนในถังตกตะกอนขั้นสุดท้ายจะมีอยู่มาก จำเป็นที่จะต้องสูบเอาออกไปไม่ให้คั่งค้างเกินกว่า 6 - 8 ชม. เพราะจะทำให้ตะกอนเกิดการเน่าขึ้นได้ เครื่องสูบตะกอนจึงต้องมีขนาดใหญ่พอที่จะสูบได้ทัน

อย่างไรก็ตามถ้าหากจะมีการเพิ่มปริมาณตะกอนที่จะคงไว้ในระบบกำจัดให้มากยิ่งขึ้นแล้ว ขนาดของถังเติมอากาศก็จะเล็กลงได้อีก ถังตกตะกอนขั้นสุดท้ายจะโตขึ้น ขนาดของเครื่องสูบตะกอนจะใหญ่ขึ้น และการเติมออกซิเจนก็ต้องมีมากขึ้น อาจจะใช้ออกซิเจนบริสุทธิ์มาเติมก็ได้ จากเหตุ นี้เองวิศวกรผู้ออกแบบจึงจำเป็นที่จะต้องตัดสินใจเลือกการออกแบบเอง โดยต้องมีการพิจารณาถึงผลดีผลเสียเอาเอง