



การประมาณค่าพารามิเตอร์จลนศาสตร์ของจุลินทรีย์ในกระบวนการแอททิเวเตดสลัดจ์ด้วยวิธีวัดการหายใจ

ESTIMATION OF MICROORGANISMS KINETIC PARAMETERS IN ACTIVATED SLUDGE PROCESS BY USING RESPIROMETRY METHOD

ปิยะรัตน์ ปริย์มานิช¹ และปฏิกรณ์ แสนสิง²

¹ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง จ.กรุงเทพมหานคร

²ผู้จัดการฝ่ายวิศวกรรม บริษัทออริจิน อินสตรูเมนต์ จำกัด จ.นครราชสีมา

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประมาณค่าพารามิเตอร์จลนศาสตร์ของเฮเทอโรโทรฟิคแบคทีเรียด้วยวิธีการวัดการหายใจโดยใช้เครื่องวัดการหายใจแบบไฮบริด ตัวอย่างสลัดจ์นำมาจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียชนิดคลองวนเวียน (Oxidation Ditch) โรงพยาบาลมหาราช จ. นครราชสีมา มีความเข้มข้นเฉลี่ย 8,016 มิลลิกรัม/ลิตร เติบโตในสภาวะที่ให้ออกซิเจนอย่างต่อเนื่อง 24 ชม. เพื่อไม่ให้มีสารอาหารตกค้างในน้ำและเพื่อปรับสภาพจุลินทรีย์ให้อยู่ในสภาวะการหายใจแบบเอนโดจีนัส การทดลองวัดอัตราการใช้ออกซิเจนแบบกะกับตัวอย่างสลัดจ์ปริมาตร 4.89 ลิตร เติบโตด้วยสารอาหารที่ย่อยสลายง่ายซึ่งเตรียมจากสารละลายโซเดียมอะซิเตท ความเข้มข้นซีโอดี (COD) อยู่ระหว่าง 6.7 – 474.7 มิลลิกรัม/ลิตร เติบโตให้กับตัวอย่างสลัดจ์ต่อเนื่องจำนวน 4 - 6 ครั้ง ควบคุม pH ของการทดลองเท่ากับ 7.8 ± 0.1 และอุณหภูมิเท่ากับ 28 ± 0.5 °C ผลการทดลองพบว่าค่าสัมประสิทธิ์พารามิเตอร์จลนศาสตร์ Y_{lr} , K_s , b_H และ μ_{maxH} มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.69 มิลลิกรัม/มิลลิกรัม 3.44 มิลลิกรัม/ลิตร 0.52 วัน⁻¹ และ 2.62 วัน⁻¹ ตามลำดับ และพบว่าผลการทดลองที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับค่าอ้างอิงในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กระบวนการแอททิเวเตดสลัดจ์ที่ 1 (ASM1) และนักวิจัยคนอื่น ๆ ที่ใช้เทคนิคการวิเคราะห์คล้ายกัน แสดงให้เห็นว่าเทคนิคการทดลองและการแปลผลข้อมูลการวัดอัตราการใช้ออกซิเจนมีความรวดเร็ว ถูกต้องและเชื่อถือได้ ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงสำหรับการวิเคราะห์ระบบและการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียภายในประเทศได้ถูกต้องมากยิ่งขึ้น

คำสำคัญ: แอททิเวเตดสลัดจ์ จลนศาสตร์ เฮเทอโรโทรฟิคแบคทีเรีย อัตราการใช้ออกซิเจน

ABSTRACT

This research was to investigate the Activated Sludge kinetic parameters of microorganism by using the respirometric measurement. The microorganism was taken from an aeration tank in Oxidation ditch process of Maharaj Hospital, Nakornrachasima Province, Thailand. The MLSS concentration in aeration tank was 8,016 mg/l. Sludge samples were filtered and aerated overnight in the preparing chamber until reaching the endogenous respiration phase. Sodium acetate was used as a readily biodegradable COD substrate (rbCOD) and dosed to the sludge sample which COD concentration was varied from 6.7 to 474.7 mg/L. Temperature and pH were controlled throughout the experiment at 7.8 ± 0.1 and 28 ± 0.5 °C, respectively. The

Piyarat Premanoch¹ and Patikorn Saensing²

¹Assistant Professor, Department of Environmental Engineering, Faculty of Engineering, Ramkhamhaeng University, Bangkok.

²Engineering Department Manager, Origin Instruments Co.,Ltd. Nakornratcasima.

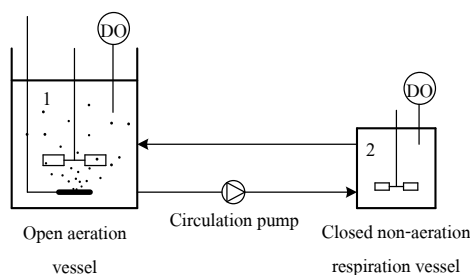
results showed that the kinetic coefficient parameters namely; Y_H , K_S , b_H and μ_{maxH} were 0.69 mg/mg, 3.41 mg/L, 0.52 d⁻¹ and 2.62 d⁻¹ respectively. It was found that the experimental results were resemble as were found in Activated sludge mathematical model no.1 (ASM1) and also similar to that found in other researches which used the same experimental technique. Moreover, this Respirometric measurement technique using Oxygen uptake rate is a reliable technique and capable used as reference for wastewater treatment process analysis and design.

KEYWORDS: Activated sludge process, Kinetic, Heterotrophic bacteria, Oxygen uptake rate

1. บทนำ

การบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการแยกชีวเคมีที่อาศัยจุลินทรีย์ที่หลาหลายทำงานร่วมกัน กลุ่มจุลินทรีย์ที่มีบทบาทมากที่สุดได้แก่ เซพโทโรโทรฟิแบคทีเรียซึ่งทำหน้าที่ย่อยสลายสารประกอบคาร์บอนและออกซิเจนแบคทีเรียซึ่งทำหน้าที่ย่อยสลายสารประกอบไนโตรเจน จุลินทรีย์แต่ละกลุ่มมีลักษณะทางจุลชีววิทยาจำเพาะแตกต่างกันและเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพสิ่งแวดล้อม เช่น ลักษณะน้ำเสีย และรูปแบบการเดินระบบบำบัดน้ำเสีย [1][2] พารามิเตอร์จลนศาสตร์ที่สำคัญ ได้แก่ ค่า Yield, Y ค่าคงที่อิ่มตัวสำหรับสารอาหาร (Saturation constant for substrate, K) อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุด (Maximum specific growth rate, μ_{max}) และอัตราการเน่าเปื่อย (Decay rate, b) ซึ่งเป็นข้อมูลสำคัญที่จะนำมาใช้ในการออกแบบก่อสร้าง ควบคุม และ ติดตามการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสีย [3]

อัตราการใช้ออกซิเจน (Oxygen uptake rate, OUR) ของสลัดจ์ตัวอย่างหมายถึง ปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ในสลัดจ์ตัวอย่างนำไปใช้ต่อหน่วยปริมาตรและเวลา สามารถจำแนกหลักการวัดที่สำคัญได้ 2 ลักษณะ ได้แก่ การวัดออกซิเจนเฉพาะในวัฏภาคของเหลวหรือแก๊สและการวัดทั้งสองวัฏภาคที่เคลื่อนตัวหรือหยุดนิ่ง [3] หลักการวัดอัตราการใช้ออกซิเจนโดยใช้เครื่องวัดการหายใจแบบไฮบริดได้เสนอไว้โดย Vanrolleghem and Spanjers [4] เป็นการรวมหลักการเครื่องวัดการหายใจแบบแก๊สไหลผ่านของเหลวสถิตย์ (Flowing gas-static liquid, LFS) และหลักการเครื่องวัดการหายใจแบบแก๊สสถิตย์-ของเหลวไหลผ่าน (Static gas-flowing liquid, LSF) เข้าไว้ด้วยกัน (รูปที่ 1) ระบบเครื่องวัดการหายใจชนิดนี้ประกอบด้วยภาชนะเปิดสำหรับการเติมอากาศ (Aeration vessel) และภาชนะปิดสำหรับวัดการหายใจ (Respiration vessel) โดยติดตั้งหัววัดออกซิเจน (DO probe) ที่ภาชนะทั้งสองและหมุนเวียนสลัดจ์อย่างต่อเนื่องระหว่างภาชนะเติมอากาศและภาชนะวัดการหายใจ โดยสามารถคำนวณอัตราการใช้ออกซิเจนได้ในสมการที่ (1) การรวมข้อดีของเครื่องวัดการหายใจ 2 ชนิดเข้าด้วยกันนั้นจะทำให้เครื่องวัดการหายใจแบบไฮบริดมีข้อดีและข้อด้อยมากกว่าระบบเครื่องวัดการหายใจชนิดอื่นดังแสดงไว้ในตารางที่ 1 เทคนิควัดอัตราการใช้ออกซิเจนนี้มีความแม่นยำสูงเมื่อเทียบกับการวัดด้วยเครื่องมือวิเคราะห์ราคาแพง [5] ภายใน 1 - 1.5 ชม. ก็สามารถจำแนกค่าพารามิเตอร์จลนศาสตร์ของสลัดจ์ได้ ทั้งนี้ความถูกต้องขึ้นอยู่กับชนิดของเครื่องมือวัดและการออกแบบการทดลองที่เหมาะสม ได้แก่ ความซับซ้อนของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่นำมาใช้ประมวลผล ขั้นตอนการเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล [6] แหล่งที่มาของจุลินทรีย์ ชนิดของสารอาหารที่ใช้และเวลาในการทดลอง [3]



รูปที่ 1 เครื่องวัดการหายใจแบบไฮบริด [4]

$$OUR = - \frac{dS_{O_2}}{dt} + \frac{Q}{V_2} (S_{O_1} - S_{O_2}) \quad (1)$$

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบข้อดีและข้อด้อยของเครื่องวัดการหายใจ [7]

ชนิดเครื่องวัดการหายใจ	ข้อดี	ข้อด้อย
Static gas-static liquid (LSS)	ใช้งานง่าย	มีปริมาณออกซิเจนจำกัด ความถี่การวัด OUR ต่ำ
Flowing gas-static liquid (LFS)	ความถี่การวัด OUR สูง	ต้องการค่า $K_L a$ เพื่อคำนวณ OUR
Static gas-flowing liquid (LSF)	ไม่ต้องการค่า $K_L a$ เพื่อคำนวณ OUR	ความถี่การวัด OUR ต่ำ
Hybrid respirometer (LFS + LSF)	ไม่ต้องการค่า $K_L a$ เพื่อคำนวณ OUR ความถี่การวัด OUR สูง	ใช้หัววัดออกซิเจน 2 หัว

หมายเหตุ : $K_L a$ = Mass transfer coefficient

ตามที่กล่าวไว้ในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของกระบวนการแยกชีวเคมีที่ 1 (Activated Sludge Model no.1, ASM1) [2] โดยกระบวนการเจริญเติบโตและการใช้สารอาหารของจุลินทรีย์มีรูปแบบตามสมการโมโนด (Monod) ซึ่งพบว่ามีผลเกี่ยวข้องกับการใช้ออกซิเจนทั้งอัตราการเจริญเติบโตและอัตราการนำป้อน ดังที่แสดงไว้ในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 กระบวนการเจริญเติบโต การใช้สารอาหารและการนำป้อนในแบบจำลอง ASM1

Component		$i \rightarrow$	1	2	3	4	Process rate, ρ_j
j	Process ↓		S_s	X_{BH}	S_o	S_{NH}	
1	Aerobic growth of heterotrophs	$-\frac{1}{Y_H}$		1	$-\frac{1 - Y_H}{Y_H}$	$-i_{XB}$	$\mu_{maxH} \frac{S_s}{K_s + S_s} \frac{S_o}{K_{OH} + S_o} X_{BH}$
2	Decay of heterotrophs			-1	1		$b_H X_{BH}$

ยี่สิบของเฮเทอโรทรอปิกแบคทีเรีย (Y_H) หมายถึงปริมาณของจุลินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นจากเดิมต่อหน่วยของอินทรีย์คาร์บอนที่ถูกใช้ไปสำหรับการเจริญเติบโต (มิลลิกรัมเซลล์(ซีไอดี)/มิลลิกรัมซีไอดี) โดยสมการที่ (2) แสดงให้เห็นว่าพื้นที่ใต้กราฟของ OUR_{ex} (Oxygen consumed, OC_{ex}) มีความสัมพันธ์กับปริมาณสารอาหารอินทรีย์คาร์บอน (S_S) ที่เติมลงไปและค่าความชัน (Slope) ที่ได้มีค่าเท่ากับ $(1 - Y_H)$ ตามสมการที่ (3)

$$\int OUR_{ex} dt = - (1 - Y_H) \int dS_S \quad (2)$$

$$OC_{ex} = (1 - Y_H) S_S \quad (3)$$

การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์สามารถอธิบายได้ด้วยสมการ Monod ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุด (μ_{maxH}) ความเข้มข้นสารอาหารอินทรีย์คาร์บอน (S_S) และค่าคงที่อิ่มตัวสำหรับสารอาหาร (K_S) ดังนั้นสามารถประมาณค่าพารามิเตอร์ K_S ได้ตามสมการที่ (4)

$$\mu_H = \mu_{maxH} \frac{S_S}{(K_S + S_S)} \quad (4)$$

อัตราการเน่าเปื่อยของจุลินทรีย์ (b_H) หมายถึงการลดลงของปริมาณจุลินทรีย์ซึ่งมีความสัมพันธ์กับการใช้ออกซิเจน ดังนั้นการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln OUR$ กับเวลาจะได้กราฟเส้นตรงดังสมการที่ (5) และค่าความชันที่ได้คือค่าสัมประสิทธิ์อัตราการเน่าเปื่อยแบบเชิงเส้นตรง ($b_H^{Linear-death}$) ทั้งนี้ค่าคงที่ดังกล่าวต้องปรับเปลี่ยนไปเป็นค่าคงที่อัตราการเน่าเปื่อยในแบบจำลอง Death-regeneration โดยใช้สมการที่ (6) [8] โดยที่ f_p คือค่าสัดส่วนของสารเนื้อแขวนลอยของจุลินทรีย์มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.08

$$\ln OUR_{end} = \ln(b_H X_{BH}^0) - b_H t \quad (5)$$

$$b_H^{Death-regeneration} = \frac{b_H^{Linear-death}}{(1 - Y_H (1 - f_p))} \quad (6)$$

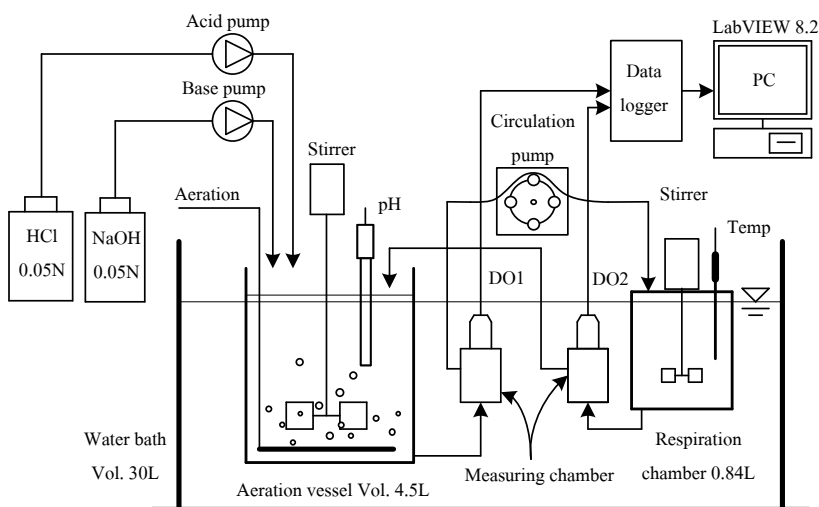
อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุดของเฮเทอโรทรอปิกแบคทีเรีย (μ_{maxH}) เป็นค่าจลนศาสตร์ที่มากับค่าคงที่อิ่มตัวสำหรับสารอาหาร (K_S) ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2 โดยการเจริญเติบโตและการเปลี่ยนแปลงปริมาณของเฮเทอโรทรอปิกแบคทีเรียจะมีความสัมพันธ์กับการใช้ออกซิเจน ซึ่งแสดงไว้สมการที่ (7) ทั้งนี้ในสภาวะที่มีสารอาหารและออกซิเจนมากเกินพอสามารถปรับลดพารามิเตอร์และหาความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงได้ตามสมการที่ (8) และสามารถประมาณค่า ($\mu_{maxH} - b_H$) ได้จากความชันของกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln OUR$ และเวลา

$$OUR = - \frac{dS_o}{dt} = \frac{(1 - Y_H)}{Y_H} \mu_{\max H} \frac{S_s}{K_s + S_s} \frac{S_o}{K_{OH} + S_o} X_{BH} + b_H X_{BH} \quad (7)$$

$$OUR = \frac{(1 - Y_H)}{Y_H} (\mu_{\max H} + b_H) X_{BH}^0 e^{(\mu_{\max H} - b_H)t} \quad (8)$$

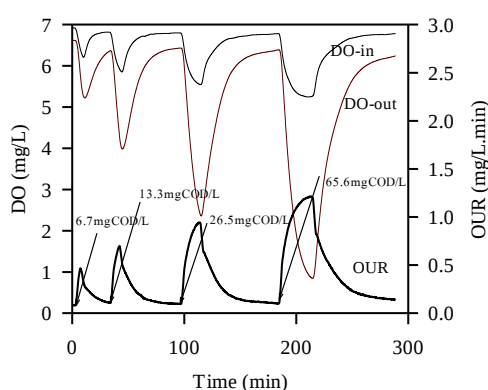
2. วิธีการทดลอง

ตัวอย่างสลัดจ์นำมาจากถังเติมอากาศระบบบำบัดน้ำเสียชนิดคลองวนเวียน (Oxidation Ditch) โรงพยาบาลมหาราช จ. นครราชสีมา ซึ่งมีความเข้มข้นเฉลี่ยเริ่มต้นเท่ากับ 8,106 มิลลิกรัม/ลิตร ทำการกรองตัวอย่างสลัดจ์ด้วยตะแกรงละเอียดเพื่อแยกของแข็งและเศษวัสดุอื่นๆ ที่มีขนาดใหญ่ออกไป จากนั้นเติมอากาศให้กับตัวอย่างสลัดจ์อย่างน้อย 24 ชม. เพื่อให้สารอาหารที่ตกค้างอยู่ในน้ำถูกนำไปใช้จนหมดและเป็นการปรับสภาพจุลินทรีย์ให้อยู่ในสภาวะการหายใจแบบแอโรบิกเนื่องจากตัวอย่างสลัดจ์ด้วยน้ำสะอาดที่ผ่านการกรองด้วยเมมเบรนให้ได้ปริมาตร 4.89 ลิตร เติมสารละลายโซเดียมอะซิเตตซึ่งใช้เป็นสารอาหาร โดยค่าซีโอดีที่ได้จากการคำนวณมีค่าอยู่ระหว่าง 6.7 - 474.7 มิลลิกรัม/ลิตร ทำการวัดอัตราการใช้ออกซิเจนต่อเนื่องจำนวน 4-6 ครั้งด้วยเครื่องวัดอัตราการหายใจแบบไฮบริด [9] ซึ่งประกอบด้วยภาชนะเติมอากาศและภาชนะวัดการหายใจ ปริมาตร 4.5 และ 0.84 ลิตร (รูปที่ 2) ภาชนะวัดการหายใจจะปิดสนิทเพื่อป้องกันการกั้นซึมผ่านของอากาศจากภายนอก ทำการควบคุมอุณหภูมิและ pH ของการทดลองเท่ากับ 28 ± 0.2 °C และ 7.8 ± 0.1 นำตัวอย่างสลัดจ์ไปวิเคราะห์หาค่าของแข็งแขวนลอย (Mixed liquor suspended solids, MLSS) ด้วยวิธีมาตรฐาน [10] เมื่อสิ้นสุดการทดลอง

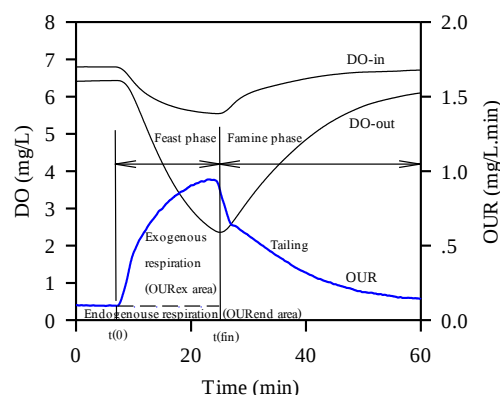


รูปที่ 2 ระบบเครื่องวัดการหายใจแบบไฮบริด [9]

รูปที่ 3 แสดงกราฟข้อมูลการหายใจ (Respirogram) เป็นข้อมูลปริมาณออกซิเจนและอัตราการใช้ออกซิเจนต่อเนื่องที่ได้จากเครื่องวัดการหายใจแบบไฮบริดที่ระดับความเข้มข้นสารอินทรีย์คาร์บอนแตกต่างกัน และสำหรับกราฟข้อมูลการหายใจเดี่ยว แสดงไว้ในรูปที่ 4 ซึ่งมีรายละเอียดสำคัญดังนี้คือ พื้นที่ส่วนล่างของกราฟจะแสดงการใช้ออกซิเจนสำหรับการหายใจแบบเอนโดจีนัส (Endogenous OUR, OUR_{end}) ของจุลินทรีย์ในตัวอย่างสลัดจ์ ซึ่งเป็นการหายใจภายใต้สภาวะที่ไม่มีสารอาหารจากภายนอก และหลังจากเติมสารอาหารอินทรีย์คาร์บอนที่ย่อยสลายได้ง่าย เช่น อะซิเตทให้กับตัวอย่างสลัดจ์ อัตราการใช้ออกซิเจนจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึงระดับสูงสุด (Maximum OUR, OUR_{max}) ซึ่งสัมพันธ์กับปริมาณของจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในสลัดจ์ ในช่วงมีสารอาหาร (Feast) ถ้าปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนมากเกินไประดับ OUR_{max} จะคงที่ไปจนกว่าสารอาหารจะถูกใช้ไปจนหมดและหลังจากนั้นค่าอัตราการใช้ออกซิเจนจะลดลงอย่างรวดเร็ว การหายใจของจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นในช่วงนี้เรียกว่าการหายใจแบบเอกโซจีนัส (Exogenous OUR, OUR_{ex}) และหลังจากนั้นจะเป็นช่วงระยะการขาดสารอาหาร (Famine) โดยอัตราการใช้ออกซิเจนจะยังไม่ลดลงเท่ากับค่าอัตราการใช้ออกซิเจนก่อนการเติมสารอาหารให้กับตัวอย่างสลัดจ์ในทันทีแต่อัตราการใช้ออกซิเจนจะค่อย ๆ ลดต่ำลงและเรียกกราฟส่วนนี้ว่าส่วนหาง (Tailing)



รูปที่ 3 Respirogram แบบต่อเนื่อง



รูปที่ 4 Respirogram เดี่ยว

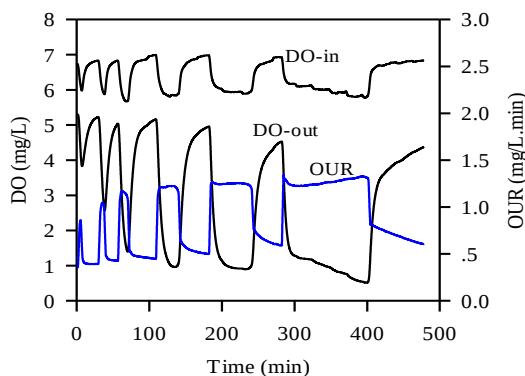
ข้อมูลอัตราการใช้ออกซิเจนภายใต้สภาวะการหายใจแบบเอกโซจีนัส (OUR_{ex}) ที่ได้จากการทดลองจะนำมาประมวลผลทางสถิติโดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel โปรแกรม Origin Pro และโปรแกรม SigmaPlot โดยประมาณค่าพารามิเตอร์จลนศาสตร์ของจุลินทรีย์จากข้อมูลอัตราการใช้ออกซิเจนใช้หลักการสมดุลมวลและสมการเชิงเส้นตรงบนพื้นฐานของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กระบวนการแยกทิวเต็ดสลัดจ์ที่ 1 (ASM1) [2]

3. ผลการทดลอง

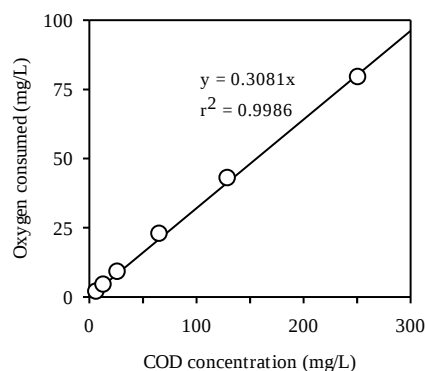
3.1 การประมาณค่าสัมประสิทธิ์ยีสต์ (Y_H)

การประมาณค่าสัมประสิทธิ์ยีสต์ (Y_H) เมื่อทดลองตามวิธีของ Muller *et al.* [11] เมื่อใช้ตัวอย่างสลัดจ์ที่มีความเข้มข้นเฉลี่ย 3,976 มิลลิกรัม/ลิตร และใช้สารละลายอะซิเตทซึ่งเป็นสารอาหารในรูปของซีโอดีที่ย่อยสลายง่าย (Readily biodegradable COD, rbCOD) เติมให้กับตัวอย่างสลัดจ์จำนวน 4 - 6 ครั้งต่อเนื่องกัน (ค่า COD อยู่ระหว่าง 6.7 - 474.7 มิลลิกรัม/ลิตร) ทำการทดลองจำนวน 5 ชุดการทดลอง โดยแนวโน้มค่าปริมาณออกซิเจนและอัตราการใช้ออกซิเจนแสดงไว้ในรูปที่ 5 และ

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณออกซิเจนที่ถูกใช้ไปต่อปริมาณสารอาหารที่เติมแสดงไว้ในรูปที่ 6 พบว่ามีค่าความชันเฉลี่ยเท่ากับ 0.31 และจากความสัมพันธ์ในสมการที่ (3) ซึ่งมีค่าความชันเท่ากับ $(1 - Y_H)$ สามารถคำนวณได้ค่า yield เฉลี่ยเท่ากับ 0.69 เมื่อเปรียบเทียบกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กระบวนการแอกทิเวตเต็ดสลัดจ์ที่ 1 (ASM1) ที่อุณหภูมิมาตรฐาน 20°C ระบุค่า yield ไว้เท่ากับ 0.67 [2] นอกจากนั้นผลการทดลองที่ศึกษาโดย Muller *et al.* [11] พบว่าได้ค่า yield เท่ากับ 0.69 และจากรายงานที่ศึกษาโดย Dricks, Pind, Mosbaek, and Henze [12] ได้ค่า yield เท่ากับ 0.71



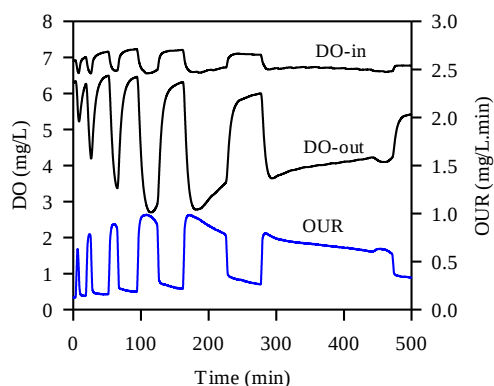
รูปที่ 5 แนวโน้ม OUR สำหรับประมาณค่า Y_H



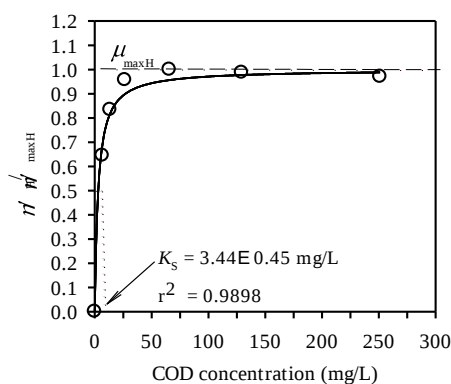
รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่าง OC และ COD

3.2 การประมาณค่าคงที่อิ่มตัวสำหรับสารอาหาร (K_S)

การประมาณค่าคงที่อิ่มตัวสำหรับสารอาหาร (K_S) ตามวิธีที่เสนอไว้โดย Cech *et al.* [13] เมื่อทำการทดลองโดยใช้ชุดทดลอง 5 ชุดข้อมูลเดียวกันกับการทดลองประมาณค่า yield แนวโน้มค่าปริมาณออกซิเจนและอัตราการใช้ออกซิเจนแสดงไว้ในรูปที่ 7 และผลจากการจำลองสถานการณ์แบบไม่เชิงเส้นตรง (Nonlinear) โดยใช้ความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ตามสมการที่ (4) จะได้ค่าคงที่อิ่มตัวสำหรับสารอาหารเฉลี่ยเท่ากับ 3.44 มิลลิกรัม/ลิตร (รูปที่ 8) เมื่อเปรียบเทียบกับ ASM1 ซึ่งได้ระบุค่า K_S ที่อุณหภูมิมาตรฐาน 20°C เท่ากับ 20 มิลลิกรัม/ลิตร [2] นอกจากนั้นจากรายงานที่ศึกษาโดย Penya-Roja, Seco, Ferrer, and Serralta [14] ที่อุณหภูมิ 20°C ได้ค่า K_S เท่ากับ 20.4 มิลลิกรัม/ลิตร และจากรายงานการศึกษาที่อุณหภูมิ 30°C โดย Dosta [15] ได้ค่า K_S เท่ากับ 15 มิลลิกรัม/ลิตร



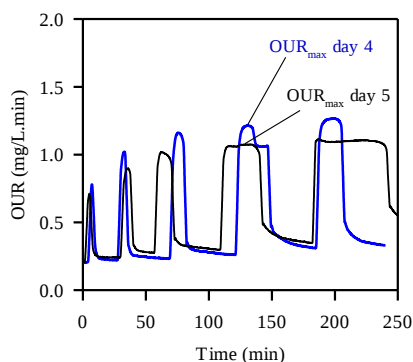
รูปที่ 7 แนวโน้ม OUR สำหรับประมาณค่า K_S



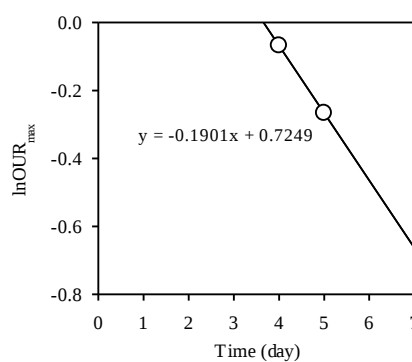
รูปที่ 8 ผลการจำลองค่า K_S

3.3 การประมาณค่าสัมประสิทธิ์อัตราการเน่าเปื่อย (b_H)

การประมาณค่าสัมประสิทธิ์อัตราการเน่าเปื่อย (b_H) ด้วยวิธีของ Spanjers and Vanrolleghem [16] โดยทำการวัดค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (OUR_{max}) ของตัวอย่างสลัดจ์หลังจากเติมสารอาหารอินทรีย์คาร์บอน (COD อยู่ระหว่าง 6.7 – 129.3 มิลลิกรัม/ลิตร) จำนวน 5 ชุดการทดลอง หลังจากที่ได้ปรับสภาพตัวอย่างสลัดจ์มาแล้ว 4 และ 5 วัน ซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 9 และหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุดกับเวลาพบว่ามีค่าความชัน ($b_H^{Linear-death}$) เฉลี่ยเท่ากับ 0.19 วัน⁻¹ (รูปที่ 10) และเมื่อแทนค่าความชันที่ได้ลงในสมการที่ (8) โดยใช้ค่า $Y_H = 0.69$ จะได้ค่า $b_H^{Death-regeneration}$ เท่ากับ 0.52 วัน⁻¹ เมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่อ้างอิงไว้ใน ASM1 ซึ่งได้ระบุค่าสัมประสิทธิ์อัตราการเน่าเปื่อยที่อุณหภูมิมาตรฐาน 20°C มีค่าเท่ากับ 0.62 วัน⁻¹ [2] จากรายงานผลการศึกษาโดย Manser, Gujer, and Siegrist [17] ค่า $b_H^{Death-regeneration}$ ที่อุณหภูมิ 20°C มีค่าเท่ากับ 0.28 วัน⁻¹ และจากงานการศึกษาที่อุณหภูมิ 30°C โดย Dosta [15] พบว่าค่า $b_H^{Death-regeneration}$ มีค่าเท่ากับ 0.04 วัน⁻¹



รูปที่ 9 แนวโน้ม OUR วิเคราะห์ b_H

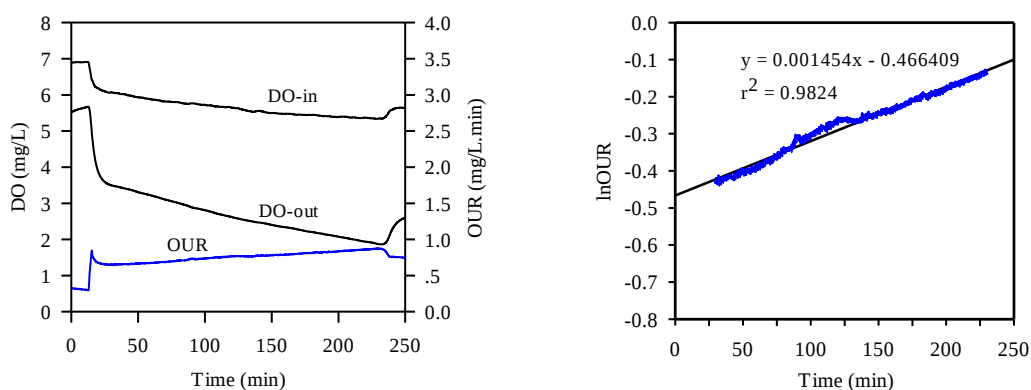


รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln OUR_{max}$ และเวลา

3.4 การประมาณค่าสัมประสิทธิ์อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุด (μ_{maxH})

การประมาณค่าสัมประสิทธิ์อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุด (μ_{maxH}) โดยทำการทดลองตามวิธีของ Kappeler and Gujer [18] จำนวน 5 ชุดการทดลอง ตัวอย่างสลัดจ์มีความเข้มข้นเฉลี่ย 1,467 มิลลิกรัม/ลิตร หลังจากเติมสารอาหารอินทรีย์คาร์บอนความเข้มข้นซีโอดีเฉลี่ย 1,281 มิลลิกรัม/ลิตร ผลแนวโน้มค่าปริมาณออกซิเจนและอัตราการใช้ออกซิเจนแสดงไว้ในรูปที่ 11 และการแปลผลข้อมูลเฉพาะช่วงข้อมูลที่อัตราการใช้ออกซิเจนเพิ่มขึ้นเป็นเชิงเส้นตรง (รูปที่ 12) โดยค่าความชันเฉลี่ยของ 5 ชุดการทดลองมีค่าเท่ากับ 0.00145 นาที่⁻¹ คำนวณหาอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุดโดยแทนค่า $b_H = 0.52$ วัน⁻¹ ลงในสมการที่ 8 จะได้ค่าเฉลี่ยของ μ_{maxH} เท่ากับ 2.62 วัน⁻¹ เมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่อ้างอิงไว้ใน ASM1 ซึ่งได้ระบุค่า μ_{maxH} ที่อุณหภูมิ 20°C ไว้เท่ากับ 6 วัน⁻¹ [2] และผลการศึกษาที่รายงานไว้โดย Guisasola [19] ที่อุณหภูมิ 25°C มีค่า μ_{maxH} เท่ากับ 1.68 วัน⁻¹

1



รูปที่ 11 แนวโน้ม OUR สำหรับประมาณค่า $\mu_{\max H}$

รูปที่ 12 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln OUR$ และเวลา

4. สรุป

ค่าสัมประสิทธิ์พารามิเตอร์จลนศาสตร์ของเฮเทอโรโทรฟิคแบคทีเรียด้วยวิธีวัดการหายใจที่แปลผลได้จากการทดลองมีค่าอยู่ในช่วงค่าอ้างอิงและใกล้เคียงกับค่าที่แปลผลได้ของนักวิจัยอื่น ๆ ที่ใช้เทคนิคการวัดและแปลผลด้วยวิธีวัดการหายใจเหมือนกัน แสดงให้เห็นว่า การแปลผลข้อมูลโดยใช้อัตราการใช้ออกซิเจนสามารถให้ข้อมูลที่รวดเร็ว เที่ยงตรง และน่าเชื่อถือ โดยผลการทดลองสรุปในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าสัมประสิทธิ์พารามิเตอร์จลนศาสตร์ของจุลินทรีย์

พารามิเตอร์จลนศาสตร์	สัญลักษณ์	ค่าสัมประสิทธิ์ (28°C)	ASM1 (20°C)	ช่วงค่าอ้างอิง [20]
Yield coefficient (mg/mg)	Y_H	0.69	0.67	0.38 - 0.75
Saturation constant for COD (mg/L)	K_S	3.44	20	5 - 30
Decay rate (day ⁻¹)	b_H	0.52	0.62	0.05 - 1.6
Max. spec. growth rate (day ⁻¹)	$\mu_{\max H}$	2.62	6	0.6 - 13.2

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยรามคำแหงที่ได้สนับสนุนเงินทุนวิจัยและขอขอบคุณ บริษัท ออริจิน อินสทรูเมนต์ จำกัด ที่สนับสนุนเครื่องมือการทำวิจัย ให้งานวิจัยนี้สำเร็จลงไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] Henze, M., Harremoës, P., Jansen, J. C. and Arvin, E. Wastewater treatment: Biological and chemical processes. (3th ed.). Berlin: Springer, 2002.

-
- [2] Henze, M., Grady, C.P.L., Gujer, W., Marais, G.V.R., and Matsuo, T. Activated Sludge Model: ASM1, ASM2 and ASM3. IWA Scientific and Technical Reports No.9 London: TJ International, 2000.
- [3] Spanjers, H., Vanrolleghem, P.A., Olsson, G. and Dold, P.L. Respirometry in Control of the Activated Sludge Process: Principles. IAWQ Scientific and Technical Report No. 7. London: UK, 1998.
- [4] Vanrolleghem, P. A. and Spanjers, H. A hybrid respirometric method for more reliable assessment of activated sludge model parameters. Water Sci. Technol, 1998, 37(12), pp 237-246.
- [5] Gapes, D. and Keller, J. Analysis of biological wastewater treatment processes using multicomponent gas phase mass balancing. Biotech. Bioeng, 2001, 76, pp.361-375.
- [6] De Pauw, D. J. W. and Vanrolleghem, P. A. Designing and performing experiments for model calibration using an automated iterative procedure. Wat. Sci. Technol, 2006, 53(1), pp.117-127.
- [7] Premanoch, P. Estimation of Heterotrophic bacteria coefficient yield by using oxygen uptake rate measurement. Ramkamhaeng University journal. No.1. January-June 2015, pp.48-59.
- [8] Orhon, D. and Artan, N. Modelling of activated sludge systems. Pennsylvania: Technomic, 1994.
- [9] Saensing, P. and Kanchanatawee, S. Development of combined ultimate hybrid respirometer-Titrate meter to estimate kinetic parameters of activated sludge. Suranaree J. Sci. Technol, 2009, 16(3), pp.221-233.
- [10] American Public Health Association (APHA). Standard Methods for the examination of water and wastewater. (18th ed). APHa-AWWA-WEF. Washington D.C, 1995.
- [11] Muller, A. W., Wentzel, M. C. and Ekama, G. A. Experimental determination of the heterotroph anoxic yield in anoxic-aerobic activated sludge systems treating municipal wastewater. Water SA, 2004. 30(5), pp.7-12.
- [12] Dicks, K, Pind, P.f., Mosbaek, H. and Henze, M. Yield determination by respirometry – The possible influence of storage under aerobic condition in activated sludge. Water SA, 1999, 25(1), pp 69-74.
- [13] Cech, J. S., Chudoba, J. and Grau, P. Determination of kinetic constants of activated sludge microorganisms. Water Sci. Technol, 1984, 17, pp.259-272.
- [14] Penya Roja, J. M., Seco, A., Ferrer, J., and Serralta, J. Calibration and validation of activated sludge model no. 2d for Spanish municipal wastewater. Environmental Technology, 2002, 23, pp.849–862.
- [15] Dosta, J. Operation and model description of advanced biological nitrogen removal treatments of highly ammonium loaded wastewater. Ph.D. Thesis, Department d'Enginyeria Quimica, Universitat Autònoma de Barcelona, Spain, 2007.
- [16] Spanjers, H. and Vanrolleghem. Respirometry as a tool for rapid characterization of wastewater and activated sludge. Water Sci. Technol, 1995. 31 (2) pp.105-114.
- [17] Manser, R., Gujer, W., and Siegrist. HDecay processes of nitrifying bacteria in Biological wastewater treatment system. Wat. Res, 2006, 40, pp.2416-2426.
- [18] Kappeler, J. and Gujer, W. Estimation of kinetic parameters of heterotrophic biomass under aerobic conditions and characterization of wastewater for activated sludge modelling. Water Sci. Technol, 1992, 25(6), pp.125-139.
- [19] Guisasola, A., Sin, G., Baeza, J.A., Carrera, J. and Vanrolleghem, P. A. Limitations of ASM1 and ASM3: A comparison based on batch oxygen uptake rate profiles from different full-scale wastewater treatment plants. Water Sci. Technol, 2005, 52(10-11) pp.69-77.
- [20] Jeppsson, U. Modelling aspects of wastewater treatment process. Ph. D. Thesis. Department of Industrial Electrical Engineering and Automation. Lund Institute of Technology. Sweden [On-line]. Available: <http://www.iea.lth.se/~ielulf/publications/phd-thesis/PhD-thesis.pdf>, 1996.