ผลของความเข้มข้นตัวอย่างสลัดจ์ต่อการประมาณค่ายีลด์ของเฮเทอโรทรอฟิกแบคทีเรียด้วยวิธีการวัดอัตราการใช้ออกซิเจน

Influence of Sludge Sample Concentration on Heterotrophic Bacteria Yield Estimation by Using Oxygen Uptake Rate Measurement Method

ปิยะรัตน์ ปรีย์มาโนช
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของความเข้มข้นตัวอย่างสลัดจ์ต่อการประมาณค่ายีลด์ของเฮเทอโรทรอฟิกแบคทีเรียด้วยวิธีการวัดอัตราการใช้ออกซิเจนโดยใช้เครื่องวัดการหายใจอัลติเมทไฮบริด ตัวอย่างสลัดจ์นำมาจากระบบบำบัดน้ำเสียชนิดคลองวนเวียน (Oxidation Ditch) โรงพยาบาลมหาราช จ. นครราชสีมา จำนวน 2 ครั้ง ระยะเวลาห่างกัน 1 สัปดาห์ ครั้งแรกนำมาจากถังเติมอากาศความเข้มข้นเฉลี่ย 4,370 มิลลิกรัม/ลิตร และครั้งที่ 2 นำมาจากปลายท่อระบบหมุนเวียนความเข้มข้นเฉลี่ย 5,487 มิลลิกรัม/ลิตร เติมอากาศตัวอย่างสลัดจ์ทิ้งไว้อย่างน้อย 24 ชม. เพื่อไม่ให้มีสารอาหารตกค้างในน้ำและเพื่อปรับสภาพจุลินทรีย์ให้อยู่ในสภาวะการหายใจแบบเอ็นโดจีนัส การทดลองวัดอัตราการใช้ออกซิเจนแบบกะกับตัวอย่างสลัดจ์ปริมาตร 4.5 ลิตร ความเข้มข้น 880 – 5,297 มิลลิกรัม/ลิตร ด้วยสารอาหารที่ย่อยสลายง่ายซึ่งเตรียมจากสารละลายโซเดียมอะซิเตทความเข้มข้นซีโอดี (COD) อยู่ระหว่าง 7.21 - 57.05 มิลลิกรัม/ลิตร เติมให้กับตัวอย่างสลัดจ์ต่อเนื่องกันจำนวน 4 ครั้ง ควบคุม pH การทดลองเท่ากับ 7.8 ± 0.1 และอุณหภูมิ 28 ± 0.5 ^{o}C

ผลการทดลองพบว่า ความเข้มข้นของตัวอย่างสลัดจ์ไม่มีผลต่อการประมาณค่ายีลด์โดยใช้หลักการสมดุลมวลและสมการเชิงเส้นตรงบนพื้นฐานของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กระบวนการแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ที่ 1 (ASM no.1) ตัวอย่างสลัดจ์จากปลายท่อระบบหมุนเวียนเจือจางมีความเข้มข้นเฉลี่ย 880, 2,186 และ 5,297 มิลลิกรัม/ลิตร มีค่ายีลด์เท่ากับ 0.63 ± 0.00 มิลลิกรัมเซลล์ (ซีโอดี)/มิลลิกรัมซีโอดี (r^2 = 0.9934) ตัวอย่างสลัดจ์ที่นำมาจากถังเติมอากาศ (ความเข้มข้นเฉลี่ย 3,002 และ 4,081 มิลลิกรัม/ลิตร มีค่ายีลด์เท่ากับ 0.56 ± 0.03 มิลลิกรัมเซลล์ (ซีโอดี)/มิลลิกรัมซีโอดี (r^2 = 0.9802) สลัดจ์ความเข้มข้น 880 และ 5,297 มิลลิกรัม/ลิตร ใช้เวลาวัดอัตราการใช้ออกซิเจนที่ค่าซีโอดีสูงสุด 57.05 มิลลิกรัม/ลิตร ประมาณ 80 และ 23 นาที ทั้งนี้ ค่ายีลด์ที่ได้มีค่าต่างกันเนื่องจากเปลี่ยนตำแหน่งเก็บตัวอย่างสลัดจ์และเวลาห่างกัน 1 สัปดาห์ ซึ่งถือเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญที่ต้องนำมาพิจารณาในการแปลผลจากการทดลอง ตามที่ได้อธิบายไว้โดย Spanjers *et al*. [1] โดยเฉพาะน้ำเสียจากโรงพยาบาลมีการปนเปื้อนจากยาหรือสารเคมีอื่นๆ ที่อาจจะส่งผลต่อจุลินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสียในแต่ละวันได้

คำสำคัญ: แอกทิเวเต็ดสลัดจ์ ยีลด์ เฮเทอโรทรอฟิกแบคทีเรีย อัตราการใช้ออกซิเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Abstract

The objective of this research is to study the effect of sludge concentration on heterotrophic bacteria yield (Y_H) by using oxygen uptake rate (OUR) with ultimate hybrid respirometer. The microorganisms for oxidation ditch process were collected from Maharaj Hospital, Nakhon Ratchasima Province, Thailand. We sampled the mixed liquor suspended solids (MLSS) from two difference sampling points; aeration tank at 4,370 mg/l, and return sludge pipe at 5,487 mg/l. Sludge samples were aerated overnight in the preparing chamber until reaching the endogenous respiration phase. MLSS sample concentrations were diluted to 880- 5,297 mg/L. Sodium acetate was used as a readily biodegradable COD substrate (rbCOD) and dosed to the MLSS sample. Final COD concentration was varied into 4 dilutions, at which they are between 7.21 -57.70 mg/L. The temperature, pH and dissolved oxygen (DO) were controlled throughout the experiment at 28±0.5 C, 7.8±0.1 and 6-7 mg/L, respectively.

Based on a simulation model of Activated sludge model 1 (ASM no.1) using liner regression and mass balance basic, the results showed that the MLSS concentrations from different sources have not performed any significant effects on heterotrophic bacteria yield (Y_H). i.e., the yield from (a) the returning sludge pipe and (b) the aerobic tank are 0.63 ± 0.00 mg/mg (r^2 = 0.9934) and 0.56± 0.03 mg/mg (r^2 = 0.9802), respectively. Time spending for OUR measurement for MLSS concentration of 880 and 5,297 mg/l to decompose COD concentration at 57.05 mg/l were 80 and 23 min. The difference of yield results due to the different time and sampling points, in which is a significant parameter, Spanjers et al. [1]. We also have found that the wastewater from hospitals were contaminated by drugs or other chemicals, possibly affect the microorganisms that are in the wastewater treatment plant.

Key words: Activated sludge, Yield; Heterotrophic, Respirometer, OUR

1. บทนำ

พารามิเตอร์จลนศาสตร์ของจุลินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ ถือว่าเป็นข้อมูลสำคัญที่จะนำมาใช้ในการออกแบบก่อสร้าง การควบคุม และการติดตามการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสีย [1] ทั้งนี้พารามิเตอร์จลนศาสตร์ของจุลินทรีย์จะเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพสิ่งแวดล้อม เช่นลักษณะน้ำเสีย และรูปแบบการเดินระบบบำบัดน้ำเสีย [2][3] พารามิเตอร์จลนศาสตร์ที่สำคัญ ได้แก่ ค่ายีลด์ (Yield, *Y*) ค่าคงที่อิ่มตัวสำหรับสารอาหาร (Saturation constant for substrate, *K*) อัตราการเน่าเปื่อย (Decay rate, *b*) และอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุด (Maximum specific growth rate, μ_{max})

ปัจจุบันเทคนิคการวัดอัตราการหายใจหรืออัตราการใช้ออกซิเจน (Oxygen uptake rate, OUR) ได้ถูกนำมาใช้สำหรับการประมาณค่าพารามิเตอร์จลนศาสตร์ของจุลินทรีย์ในกระบวนการแอกทิเวเต็ดสลัดจ์อย่างแพร่หลาย ทั้งในด้านงานวิจัยและการควบคุมระบบ โดยเฉพาะการสอบเทียบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กระบวนการแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เฉพาะเจาะจงกับระบบบำบัดน้ำเสียนั้นๆ [1], [4]-[12] เทคนิคการวัดนี้มีความแม่นยำสูงเมื่อเปรียบเทียบกับการวัดโดยใช้เครื่องมือวิเคราะห์ราคาแพง [13] ให้ผลการทดลองที่รวดเร็วภายใน 1-1.5 ชม. ก็สามารถจำแนกค่าพารามิเตอร์จลนศาสตร์ของสลัดจ์ได้โดยที่ไม่ต้องวิเคราะห์ความเข้มข้นสารอาหารในห้องปฏิบัติการ [7] [10] ทั้งนี้ความถูกต้องก็ขึ้นอยู่กับชนิดเครื่องมือวัดและการออกแบบการทดลองที่เหมาะสม ได้แก่ ระดับความซับซ้อนของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่นำมาใช้ประมวลผล ขั้นตอนการเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลการทดลอง [5] แหล่งที่มาของจุลินทรีย์ ชนิดของสารอาหารที่ใช้และเวลาในการทดลอง [1] ดังนั้น ความข้มเข้นของตัวอย่างสลัดจ์จึงเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการทดลอง โดยทั่วไปความเข้มข้นของสลัดจ์ในระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ชนิดธรรมดาจะมีค่าอยู่ระหว่าง 1,500 - 4,000 มิลลิกรัม/ลิตร และในระบบหมุนเวียนจะมีค่าอยู่ระหว่าง 8,000 - 12,000 มิลลิกรัม/ลิตร [14] ขึ้นอยู่กับการออกแบบการเดินระบบและปัจจัยภายนอกอื่นๆ

ปัจจุบันยังไม่มีรายงานการวิจัยที่แสดงถึงผลของความเข้มข้นตัวอย่างสลัดจ์ต่อการประมาณค่ายีลด์ของจุลินทรีย์ในระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์โดยใช้เทคนิควัดอัตราการใช้ออกซิเจน เพราะความเข้มข้นของสลัดจ์ในระบบบำบัดน้ำเสียแต่ละแห่งมีความแตกต่างกัน ดังนั้นการเตรียมความเข้มข้นตัวอย่างสลัดจ์ที่เหมาะสมสำหรับการวัดอัตราการใช้ออกซิเจนจึงเป็นขั้นตอนแรกที่ส่งผลให้ได้ข้อมูลการทดลองที่สมบูรณ์และนำไปสู่การแปลผลที่ถูกต้อง ครอบคลุมความเข้มข้นของสลัดจ์ในทุกรูปแบบกระบวนแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบัน

2. การประมาณค่ายีลด์ของเฮเทอโรทรอฟิกแบคทีเรีย (Y_H)

ยีลด์ (Y) หมายถึง ปริมาณของจุลินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นจากเดิมต่อหน่วยของอินทรีย์คาร์บอนที่ถูกใช้ไปสำหรับการเจริญเติบโต อัตราการใช้ออกซิเจนของเฮเทอโรทรอฟิกแบคทีเรียและอัตราการกำจัดสารอาหารในรูปของซีโอดี (Chemical oxygen demand, COD) สามารถแสดงด้วยสมการที่ (1) และ (2) และเมื่อหารสมการที่ (1) ด้วยสมการที่ (2) จะได้ความสัมพันธ์ดังสมการที่ (3) แสดงให้เห็นว่าพื้นที่ใต้กราฟอัตราการใช้ออกซิเจนภายใต้สภาวะการหายใจแบบเอกโซจีนัส (OUR_{ex}) มีความสัมพันธ์กันกับปริมาณสารอาหาร (S_S) ที่เติมลงไป ดังนั้นค่าความชัน (Slope) ของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณออกซิเจนที่ถูกใช้ไป (Oxygen consumed, OC_{ex}) กับปริมาณสารอาหารที่เติมมีค่าเท่ากับ ($1 - Y_H$) ดังสมการที่ (4)

$$OUR_{ex} = -\frac{dS_O}{dt} = \frac{(1-Y_H)}{Y_H}\mu_{masH}\frac{S_S}{K_S+S_S}\frac{S_O}{K_{OH}+S_O}X_{BH} \quad (1)$$

$$\frac{dS_S}{dt} = -\frac{1}{Y_H}\mu_{\max H}\frac{S_S}{K_S+S_S}\frac{S_O}{K_{OH}+S_O}X_{BH} \quad (2)$$

$$\int OUR_{ex}dt = -(1-Y_H)\int dS_S \quad (3)$$

$$OC_{ex} = (1-Y_H)S_S \quad (4)$$

3. วิธีการทดลอง

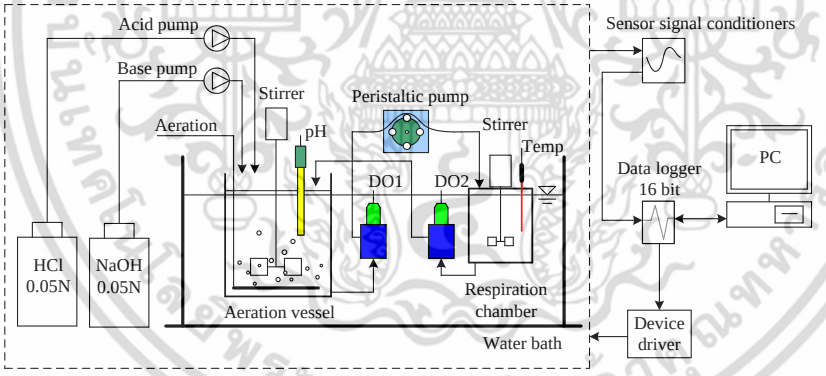
ตัวอย่างสลัดจ์ที่ใช้ในการทดลองนำมาจากระบบบำบัดน้ำเสียชนิดคลองวนเวียน (Oxidation Ditch) โรงพยาบาลมหาราช จ. นครราชสีมา เก็บตัวอย่างสลัดจ์จำนวน 2 ครั้ง ระยะเวลาห่างกัน 1 สัปดาห์ โดยครั้งแรกนำตัวอย่างสลัดจ์มาจากถังเติมอากาศ และครั้งที่ 2 นำมาจากปลายท่อระบบหมุนเวียนสลัดจ์ ทำการกรองสลัดจ์ด้วยตะแกรงละเอียดเพื่อแยกของแข็งและเศษวัสดุอื่นๆ ที่มีขนาดใหญ่ออกไป จากนั้นเติมอากาศให้กับตัวอย่างสลัดจ์เพื่อให้สารอาหารที่ตกค้างอยู่ได้ถูกนำไปใช้จนหมดและปรับสภาพจุลินทรีย์ให้อยู่ในสภาวะการหายใจแบบเอ็นโดจีนัสอย่างน้อย 24 ชม. เจือจางตัวอย่างสลัดจ์ด้วยน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สะอาดที่ผ่านการกรองด้วยเมมเบรนให้ได้ปริมาตร 4.5 ลิตร จำนวน 5 ระดับความเข้มข้นระหว่าง 880 - 5,297 มิลลิกรัม/ลิตร ตามรายละเอียดในตารางที่ 1 ในแต่ละความเข้มข้นทำการวัดอัตราการใช้ออกซิเจนจำนวน 4 ครั้งต่อเนื่องกัน โดยใช้สารละลายโซเดียมอะซิเตทเป็นสารอาหาร โดยค่าซีโอดีที่ได้จากการคำนวณอยู่ระหว่าง 7.21 – 57.05 มิลลิกรัม/ลิตร ทำการตรวจวัดอัตราการใช้ออกซิเจน (OUR) ของตัวอย่างสลัดจ์ด้วยเครื่องวัดอัตราการหายใจแบบอัลติเมทไฮบริด [11] ซึ่ง ประกอบด้วยภาชนะเติมอากาศและภาชนะวัดการหายใจปริมาตร 4.5 และ 0.84 ลิตร (รูปที่ 1) โดยภาชนะวัดการหายใจจะปิดสนิทเพื่อป้องการกันซึมผ่านของอากาศจากภายนอก ทำการควบคุมอุณหภูมิและ pH ในการทดลองเท่ากับ 28 ± 0.5 °C และ 7.8 ± 0.1 นำตัวอย่างสลัดจ์ไปวิเคราะห์หาค่าของแข็งแขวนลอย (Mixed liquor suspended solids, MLSS) ด้วยวิธีมาตรฐาน [15] เมื่อสิ้นสุดการทดลองในแต่ละความเข้มข้น

4. ผลการทดลอง

การทดลองวัดอัตราการใช้ออกซิเจนของตัวอย่างสลัดจ์ที่นำมาจากถังเติมอากาศเจือจางได้ความเข้มข้นเฉลี่ย 3,002 ± 84 และ 4,081± 71 มิลลิกรัม/ลิตร และจากปลายท่อระบบหมุนเวียนสลัดจ์เจือจางได้ความเข้มข้นเฉลี่ย 880± 112, 2,186± 27 และ 5,297± 61 มิลลิกรัม/ลิตร สารอาหารที่ใช้เติมให้กับตัวอย่างสลัดจ์ จำนวน 4 ครั้งมีค่าซีโอดีที่ได้จากการคำนวณเท่ากับ 7.21, 14.40, 28.71 และ 57.05 มิลลิกรัม/ลิตร ตัวอย่างกราฟแนวโน้มค่าออกซิเจนและอัตราการใช้ออกซิเจนแสดงในรูปที่ 2 กราฟความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงแต่ละความเข้มข้นตัวอย่างสลัดจ์แสดงในรูปที่ 3 – 7 และสรุปผลการทดลองทั้งหมดแสดงในตารางที่ 2

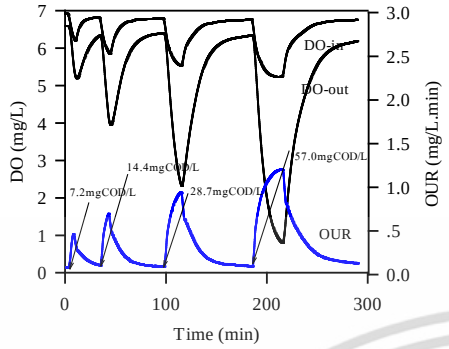


รูปที่ 1 เครื่องวัดการหายใจแบบอัลติเมทไฮบริด [11]

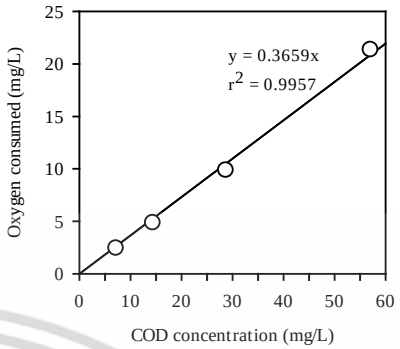
ตารางที่ 1 การเตรียมความเข้มข้นตัวอย่างสลัดจ์

ครั้งที่	ตำแหน่งเก็บสลัดจ์	ความเข้มข้นเริ่มต้น (มิลลิกรัม/ลิตร)	ความเข้มข้นตัวอย่างสลัดจ์เจือจาง (มิลลิกรัม/ลิตร)
1	ถังเติมอากาศ	4,370 ± 35	3,002 ± 84
			4,081 ± 71
2	ปลายท่อหมุนเวียนสลัดจ์	5,487 ± 101	880 ± 112
			2,186 ± 27
			5,297 ± 61

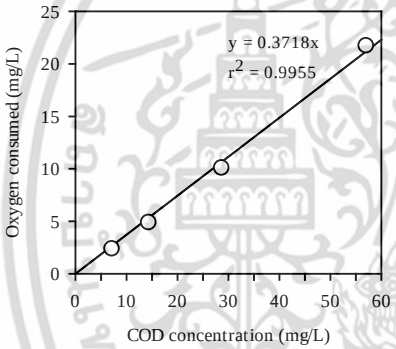
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



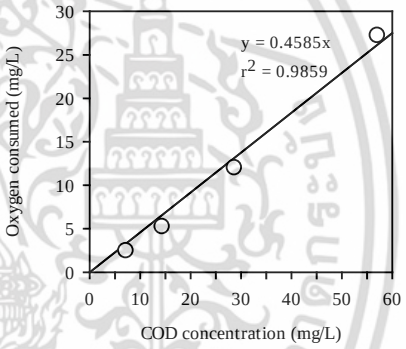
รูปที่ 2 ตัวอย่างกราฟแนวโน้มค่าออกซิเจนและอัตราการใช้ออกซิเจน



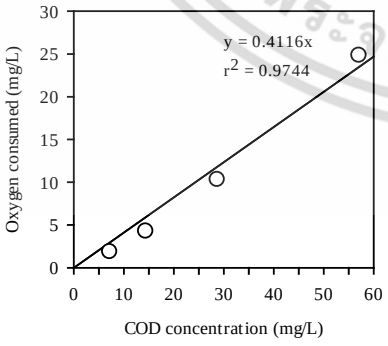
รูปที่ 3 ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงเฉลี่ยความเข้มข้นตัวอย่างสลัดจ์ 880 ± 112 มิลลิกรัม/ลิตร



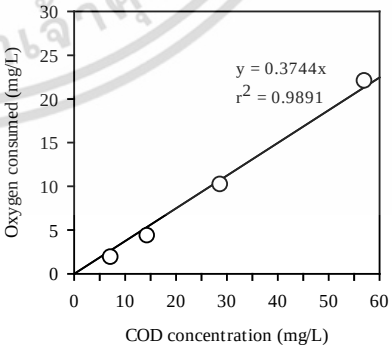
รูปที่ 4 ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงเฉลี่ยความเข้มข้นตัวอย่างสลัดจ์ 2,186 ± 27 มิลลิกรัม/ลิตร



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงเฉลี่ยความเข้มข้นตัวอย่างสลัดจ์ 3,002 ± 84 มิลลิกรัม/ลิตร



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงเฉลี่ยความเข้มข้นตัวอย่างสลัดจ์ 4,081 ± 71 มิลลิกรัม/ลิตร



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงเฉลี่ยความเข้มข้นตัวอย่างสลัดจ์ 5,297 ± 61 มิลลิกรัม/ลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 ค่ายีลด์เฉลี่ยที่ได้จากการทดลองโดยแยกตามจุดเก็บตัวอย่างสลัดจ์

ครั้งที่	จุดเก็บสลัดจ์	ความเข้มข้นเริ่มต้น (มิลลิกรัม/ลิตร)	ความเข้มข้นเจือจาง (มิลลิกรัม/ลิตร)	ความชัน (slope)	ค่ายีลด์ (1-slope)	Coefficient of determination (r^2)
1	ถังเติมอากาศ	4,370 ± 35	3,002 ± 84	0.4585	0.5415	0.9859
			4,081 ± 71	0.4116	0.5884	0.9744
2	ปลายท่อหมุนวียนสลัดจ์	5,487 ± 101	880 ± 112	0.3659	0.6341	0.9957
			2,186 ± 27	0.3718	0.6282	0.9955
			5,297 ± 61	0.3744	0.6256	0.9891

ค่ายีลด์ที่ได้จากการทดลองทั้งหมดมีค่าเฉลี่ย 0.60 มิลลิกรัมเซลล์ (ซีโอดี)/มิลลิกรัมซีโอดี ใกล้เคียงกับงานวิจัยที่เคยศึกษาไว้โดย Premanoch [12] เท่ากับ 0.69 มิลลิกรัมเซลล์ (ซีโอดี)/มิลลิกรัมซีโอดี ซึ่งนำตัวอย่างสลัดจ์มาจากระบบบำบัดน้ำเสียและเงื่อนไขการวิเคราะห์ตัวอย่างเหมือนกัน และใกล้เคียงกับค่ายีลด์ที่อ้างอิงไว้ในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กระบวนการแอกทิเต็ดสลัดจ์ที่ 1 (ASM no.1) เท่ากับ 0.67 มิลลิกรัมเซลล์ (ซีโอดี)/มิลลิกรัมซีโอดี ที่อุณหภูมิมาตรฐาน 20°C [3] จากรายงานที่ศึกษาโดย Muller *et al.* [16] ใช้ตัวอย่างสลัดจ์จากระบบบำบัดน้ำเสียนำร่องสำหรับกำจัดไนโตรเจนได้ค่ายีลด์เท่ากับ 0.69 มิลลิกรัมเซลล์ (ซีโอดี)/มิลลิกรัม ซีโอดี และจากรายงานที่ศึกษาโดย Dricks *et al.* [17] ได้ค่ายีลด์เท่ากับ 0.71 มิลลิกรัมเซลล์ (ซีโอดี)/มิลลิกรัมซีโอดี โดยทั่วไปยีลด์น้ำเสียชุมชนมีค่าอยู่ระหว่าง 0.38 – 0.75 มิลลิกรัมเซลล์ (ซีโอดี)/มิลลิกรัมซีโอดี [18]

5. สรุปผลการทดลอง

ผลจากการทดลองพบว่า ตัวอย่างสลัดจ์ที่นำมาจากปลายท่อระบบหมุนเวียนความชันของกราฟความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างปริมาณออกซิเจนที่ใช้ไปกับความเข้มข้นตัวอย่างสลัดจ์มีค่าเท่ากัน (ค่า slope = 0.37) และ r^2 เฉลี่ยเท่ากับ 0.9934 แสดงให้เห็นว่า ความเข้มข้นของตัวอย่างสลัดจ์ไม่มีผลต่อการประมาณค่ายีลด์ โดยใช้หลักการสมดุลมวลและสมการเชิงเส้นตรงบนพื้นฐานของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กระบวนการแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ที่ 1 ตัวอย่างสลัดจ์ที่นำมาจากปลายท่อระบบหมุนเวียนมีความเข้มข้นอยู่ระหว่าง 880 - 5,297 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งครอบคลุมตัวอย่างสลัดจ์ที่นำมาจากถังเติมอากาศ (3,002 – 4,189 มิลลิกรัม/ลิตร) ปัจจัยที่ทำให้ค่ายีลด์ของตัวอย่างสลัดจ์มีค่าต่างกัน เนื่องจากความแตกต่างของเวลาและตำแหน่งในการเก็บตัวอย่าง โดยเฉพาะน้ำเสียจากโรงพยาบาลมีการปนเปื้อนจากยาหรือสารเคมีอื่นๆ ที่อาจจะส่งผลต่อจุลินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสียในแต่ละวันได้ ซึ่งถือเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญที่ต้องนำมาพิจารณาในการแปลผลจากการทดลอง ตามที่ได้อธิบายไว้โดย Spanjers *et al.* [1] เมื่อความเข้มข้นของตัวอย่างสลัดจ์สูงขึ้นจะใช้เวลาในการทดลองสั้นลง ดังนั้นเราสามารถนำตัวอย่างสลัดจ์จากระบบบำบัดน้ำเสียมาวัดอัตราการใช้ออกซิเจนได้โดยตรงและไม่จำเป็นต้องเจือจางก่อนทำการทดลองซึ่งจะช่วยประหยัดเวลาในการวิเคราะห์ข้อมูลโดยทั่วไปความเข้มข้นของสลัดจ์ในถังเติมอากาศระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์มีค่าอยู่ระหว่าง 1,500 - 4,000 มิลลิกรัม/ลิตร และในระบบหมุนเวียนจะมีค่าอยู่ระหว่าง 8,000 - 12,000 มิลลิกรัม/ลิตร ตัวอย่างสลัดจ์ความเข้มข้น 880 และ 5,297 มิลลิกรัม/ลิตร ใช้เวลาวัดอัตราการใช้ออกซิเจนที่ค่าซีโอดีสูงสุด 57.05 มิลลิกรัม/ลิตร ประมาณ 80 และ 23 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. เอกสารอ้างอิง

[1] 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.

[2] Henze, M., Harremoes, P., Jansen, J. C. and Arvin, E, "Wastewater treatment: Biological and chemical processes," (3 thed.). Berlin: Springer, 2002.

[3] Henze.M.,Grady, C.P.L.,Gujer, W., Marais, G.V.R., and Matsuo, T, "Activated Sludge model: ASM1, ASM2 andASM3" IWA Scientific and Technical Reports No.9 London: TJ International, 2000.

[4] Marsili-Libelli, S., Ratini, P., Spagni, A. and Bortone, G, "Implementation, study and calibration of a modified ASM2d for the simulation of SBR processes," Water Sci. Technol. Vol. 43 (3), pp. 69-76, 2001.

[5] De Pauw, D. J. W. and Vanrolleghem, P. A, "Designing and performing experiments for model calibration using an automated iterative procedure," Wat. Sci. Technol, vol. 53(1), pp. 117-127. 2006.

[6] Sin, G. and Vanrolleghem, P.A, "A nitrate biosensor-based methodology for monitoring anoxic activated sludge activity," Water Sci Technol, vol. 50 (11), pp. 125-133, 2004.

[7] Spanjers, H. and Vanrolleghem, "Respirometry as a tool for rapid characterization of wastewater and activated sludge," Water Sci. Technol, vol. 31 (2), pp.105-114, 1995.

[8] Vanrolleghem, P. A. and Spanjers, H, "A hybrid respirometric method for more reliable assessment of activated sludge model parameters," Water Sci. Technol, vol. 37(12), pp. 237-246, 1998.

[9] Vanrolleghem, P. A., Spanjers, H., Petersen, B., Ginestet, P. and Takacs I, "Estimating (combinations of) Activated Sludge Model No. 1 parameters and components by respirometry," Wat. Sci. Technol, vol. 39 (1), pp. 195-214, 1999.

[10] Ficara, E., Musumeci, A. and Rozzi, A, "Comparison and combination of titrimetric and respirometric techniques to estimate nitrification kinetics parameters," Water SA., vol. 26 (2), pp. 217-224, 2000.

[11] Saensing, P. and Kanchanatawee, S, "Development of combined ultimate hybrid respirometer-Titrate meter to estimate kinetic parameters of activated sludge," Suranaree J. Sci. Technol, vol. 16 (3), pp. 221-233, 2009.

[12] 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, 2015.

[13] Gapes, D. and Keller, J, "Analysis of biological wastewater treatment processes using multicomponent gas phase mass balancing," Biotech. Bioeng, vol. 76, pp. 361-375, 2001.

[14] Metcalf and Eddy, "Wastewater Engineering: Treatment and Reuse," (4th ed.). Botton: McGraw-Hill, 2003.

[15] American Public Health Association (APHA), "Standard Methods for the examination of water and wastewater," (18th ed). APHa-AWWA-WEF. Washington D.C., 1995.

[16] 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, vol. 30(5), pp. 7-12. 2004.

[17] Dicks, K, Pind, P.f., Mosbaek, H. and Henze, M, "Yield determination by respirometry – The possible influence of storage under aerobic

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

condition in activated sludge," Water SA, vol. 25(1), pp. 69-74, 1999.

[18] Jeppsson, U, "Modeling aspects of wastewater treatment process. Ph. D. Thesis. Department of Industrial Electrical Engineering and Automation," Lund Institute of Technology. Sweden [Online], Avaible:http://www.iea.lth.se/~ielulf/publications/phd-thesis/PhD-thesis.pdf,1996.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้