



ผลกระทบของการเติมอากาศในน้ำชะมูลฝอยที่หมุนเวียน ต่อสภาวะการย่อยสลายภายในหลุมฝังกลบ

Effect of Aerated Leachate Recirculation on Decomposition Condition in Municipal Solid Waste (MSW) Landfill

Pisit Traitaned* and Jareerat Sakulrat

พิสิษฐ์ ไตรธเนศ* และ จรีรัตน์ สกุลรัตน์

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สงขลา 90112

*E-mail : mr.pisit.t@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาวิธีการเพิ่มสภาวะภายในหลุมฝังกลบมูลฝอยให้เป็นแบบมีอากาศ โดยวิธีการเติมอากาศลงในน้ำชะมูลฝอยที่หมุนเวียนกลับเข้าสู่หลุมฝังกลบ โดยทำการศึกษาในแบบจำลองการฝังกลบมูลฝอยขนาด กว้าง 0.40 เมตร ยาว 0.40 เมตร และสูง 1.20 เมตร ซึ่งบรรจุมูลฝอยที่ประกอบไปด้วย มูลฝอยอินทรีย์พลาสติก และกระดาษมีความหนาแน่น 250 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ทำการเปรียบเทียบปริมาณออกซิเจนละลาย และค่า COD ที่ลดลงของน้ำชะมูลฝอยที่ออกจากระบบ ระหว่างวันที่ 1 เติมอากาศลงในน้ำชะมูลฝอยที่หมุนเวียน เมื่อมีค่า COD ลดต่ำกว่า 2,500 มิลลิกรัมต่อลิตร (ตัวแทนหลุมฝังกลบเก่า) และวันที่ 2 เติมอากาศลงในน้ำชะมูลฝอย ตั้งแต่เริ่มหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยเข้าสู่ระบบ(ตัวแทนหลุมฝังกลบใหม่) จากการศึกษาพบว่า การเติมอากาศลงในน้ำชะมูลฝอย ตั้งแต่เริ่มหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยเข้าสู่ระบบสามารถเพิ่มสภาวะภายในระบบให้เป็นแบบมีอากาศ ซึ่งเห็นได้จากปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำชะมูลฝอยที่เพิ่มขึ้น รวมถึงผลต่างของปริมาณออกซิเจนละลายระหว่างน้ำเข้าและน้ำออกระบบ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการใช้ออกซิเจนของจุลินทรีย์ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในระบบและสัมพันธ์กับปริมาณไนเตรดที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ การเติมอากาศลงในน้ำชะมูลฝอย ตั้งแต่เริ่มหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยเข้าสู่ระบบยังส่งผลให้ประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ของน้ำชะมูลฝอยในรูปของ COD สูงกว่า ระบบที่เติมอากาศลงในน้ำชะมูลฝอยที่หมุนเวียน เมื่อมีค่า COD ลดต่ำกว่า 2,500 มิลลิกรัมต่อลิตร คือ ร้อยละ 94 และ 71 ตามลำดับ เมื่อสิ้นสุดการทดลอง

คำสำคัญ : มูลฝอยชุมชน; การเติมอากาศ; น้ำชะมูลฝอย; การหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอย; สภาวะภายในหลุมฝังกลบ

Abstract

The aim of this research is to study a method to enhance aerobic condition in MSW landfill by aerating leachate recirculated. Two reactors with a length of 0.40 m width of 0.40 m and height 1.20 m were used. Synthesis MSW consisted of food waste, plastic and paper with 250 kg/m^3 density were used in the two reactors. Dissolved oxygen and COD reduced of effluent leachate were measured and compared. Leachate of the first reactor was recirculated and aerated when COD dropped below 2500 mg/L (as in old landfill) while leachate of the second reactor was recirculated and aerated from the beginning (as in new landfill). The result showed that the aeration of recirculated leachate from the beginning can increase aerobic condition in the system as dissolved oxygen in recirculated leachate was increased and the difference between dissolved oxygen of influent and effluent recirculated leachate was clearly observed. These demonstrated the activity of aerobic microbial and related to the increase of nitrate in the system. In addition, it can be seen that organic (in terms of COD) treatment efficiency when recirculated leachate was aerated from the beginning was higher than aerated when COD dropped below 2500 mg/L (94% and 71% respectively)

Keywords : MSW; aeration; leachate; leachate recirculation; condition in landfill

บทนำ

ประเทศไทยมีมูลฝอยเกิดขึ้น 71,778 ตันต่อวัน หรือ 26.19 ล้านตันต่อปี [1] การจัดการมูลฝอยส่วนใหญ่ กำจัดโดยการกองทิ้งและเผากลางแจ้งร้อยละ 64 ฝังกลบ ร้อยละ 35 และเตาเผาร้อยละ 1 [2] ซึ่งหลุมฝังกลบที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบันมีอยู่อย่างจำกัดและอาจไม่เพียงพอเพื่อใช้ในการกำจัดมูลฝอยที่เกิดขึ้นหลายพื้นที่จึงจำเป็นต้องนำหลุมฝังกลบเก่ามาใช้ใหม่แต่การย่อยสลายภายในหลุมฝังกลบมูลฝอยเกิดขึ้นภายใต้สภาวะไร้อากาศ ทำให้ใช้เวลาในการย่อยสลายมูลฝอยนาน [3, 4] โดยปัจจุบันพบว่าสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยสลายภายในหลุมฝังกลบได้ โดยการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยกลับสู่หลุมฝังกลบ เพื่อเพิ่มปริมาณจุลินทรีย์และโอกาสในการย่อยสลายสารอินทรีย์ [4] ซึ่งช่วยทำให้เกิดก๊าซมีเทนได้สูงขึ้น และไม่เกิดไนไตรท์ (NO_2^-) และไนเตรต (NO_3^-) [5] แต่สภาวะการย่อยสลายที่เกิดขึ้นยังคงเป็นการย่อยสลายแบบไร้อากาศ ซึ่งเป็นการย่อยสลายที่ใช้ระยะเวลา

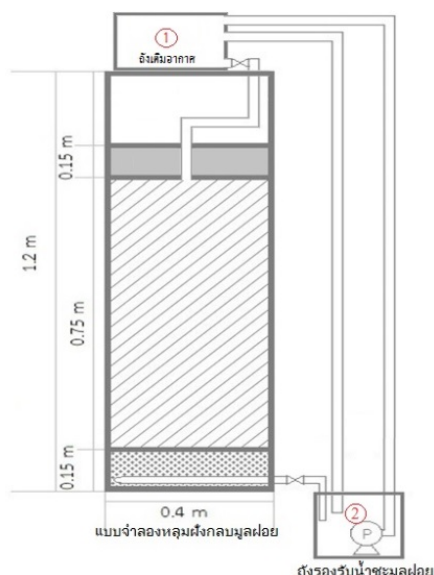
นาน [6] หรือโดยการอัดอากาศเข้าสู่หลุมฝังกลบโดยตรง (Active Landfill) เพื่อให้เกิดการย่อยสลายแบบใช้อากาศ [7] สามารถบำบัดสารอินทรีย์ได้เร็วกว่า แบบไร้อากาศ ส่งผลให้น้ำหลุมฝังกลบกลับมาใช้งานได้เร็วกว่า แม้จะเหลือไนไตรท์ (NO_2^-) และไนเตรต (NO_3^-) ในน้ำชะมูลฝอยมากกว่า แต่การอัดอากาศเข้าสู่หลุมฝังกลบมีค่าใช้จ่ายและพลังงานสูง [8] และหลุมฝังกลบในปัจจุบันไม่ได้ติดตั้งระบบอัดอากาศเข้าสู่หลุมฝังกลบตั้งแต่ต้น จึงไม่สามารถประยุกต์ใช้จริงในหลุมฝังกลบที่ใช้อยู่ในปัจจุบันได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้ซึ่งเน้นการหาแนวทางในการนำหลุมฝังกลบกลับมาใช้งานใหม่ได้เร็ว จึงมีแนวคิดที่จะประยุกต์ 2 ระบบนี้เข้าด้วยกัน เพื่อลดค่าใช้จ่ายและเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยสลายภายในหลุมฝังกลบ โดยการเติมอากาศลงในน้ำชะมูลฝอยที่หมุนเวียน เพื่อเพิ่มสภาวะใช้อากาศให้เกิดขึ้นภายในหลุมฝังกลบ บทความนี้นำเสนอผลกระทบของการเติมอากาศลงในน้ำชะมูลฝอยที่หมุนเวียนต่อสภาวะการย่อยสลายภายในหลุมฝังกลบมูลฝอย

อุปกรณ์และวิธีการ

สร้างแบบจำลองหลุมฝังกลบมูลฝอยด้วยอะคริลิกใสหนา 10 มิลลิเมตร ขนาด กว้าง 0.40 เมตร ยาว 0.40 เมตร และสูง 1.20 เมตร และมีระบบรวบรวมและระบายน้ำชะมูลฝอย โดยใช้ท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร และชั้นกรวดหนา 0.15 เมตร เพื่อไม่ให้เกิดการอุดตัน ดังแสดงในรูปที่ 1 จำนวน 2 ถัง เพื่อทำการเปรียบเทียบสภาวะภายในระบบระหว่างถังที่ 1 เติมน้ำชะมูลฝอยในน้ำชะมูลฝอยที่หมุนเวียนเมื่อมีค่า COD ลดต่ำกว่า 2,500 มิลลิกรัมต่อลิตร (จำลองสภาวะหลุมฝังกลบเก่า) และถังที่ 2 เติมน้ำชะมูลฝอยในน้ำชะมูลฝอยตั้งแต่เริ่มหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยเข้าสู่ระบบ (จำลองสภาวะหลุมฝังกลบใหม่) โดยใช้หัวทราย (แบบใช้ในตู้ปลา) เติมน้ำชะมูลฝอยก่อนหมุนกลับเข้าสู่แบบจำลอง (ตำแหน่ง 1)

โดยการสร้างน้ำชะเริ่มด้วยการเติมน้ำประปาปริมาตร 30 ลิตร ลงในถังจำลองหลุมฝังกลบมูลฝอยทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง แล้วจึงเปิดวาล์วน้ำโดยเริ่มเติมน้ำชะอย่างต่อเนื่องในถังพักน้ำชะมูลฝอยสำหรับหมุนเวียนในถังที่ 2 ตั้งแต่เริ่มต้น ให้มีค่าออกซิเจนละลาย (DO) มากกว่า 2 มิลลิกรัมต่อลิตร ตลอดเวลา ด้วยเครื่องเติมอากาศสำหรับตู้ปลาและกระจายอากาศด้วยหัวทราย ด้วยอัตรา 1.5 ลิตรต่อนาที ตลอดการทดลองเพื่อเพิ่มโอกาส

การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในกลุ่มใช้อากาศในขณะเริ่มเติมน้ำชะมูลฝอยในถังพักน้ำชะมูลฝอยสำหรับหมุนเวียนในถังที่ 1 เมื่อค่า COD ของน้ำชะมูลฝอยต่ำกว่า 2,500 มิลลิกรัมต่อลิตร ด้วยเครื่องเติมอากาศสำหรับตู้ปลาและกระจายอากาศด้วยหัวทรายเช่นต้น โดยเติมน้ำชะมูลฝอยเป็นระยะเวลา 45 นาที จากนั้นปิดเครื่องเติมอากาศ 15 นาที และเติมน้ำชะต่อ 45 นาที เป็นรอบๆ ไปจนสิ้นสุดการทดลอง โดยมูลฝอยชุมชนที่ใช้ประกอบด้วยมูลฝอยอินทรีย์ร้อยละ 70 พลาสติกร้อยละ 21 และกระดาษร้อยละ 9 รวมหนัก 30 กิโลกรัม บรรจุให้มีความหนาแน่น 250 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร มีความสูง 75 เซนติเมตร แล้วจึงปิดทับหน้ามูลฝอยด้วยดินหนา 0.15 เมตร และสอดท่อเพื่อใช้ในการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยเข้าสู่ระบบ โดยเก็บตัวอย่างน้ำชะมูลฝอยที่ออกจากท่อน้ำออกจากระบบ (ตำแหน่ง 2) เพื่อวิเคราะห์ค่า DO เพื่อเปรียบเทียบปริมาณการใช้ออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำชะมูลฝอยค่า NO_3^- เพื่อตรวจสอบการเกิดสภาวะใช้อากาศภายในระบบ และค่า COD เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ออกกระบวนทั้งหมดพักไว้ในถังรองรับน้ำชะมูลฝอย จากนั้นเติมน้ำประปาลงในถังจำลองอีก 30 ลิตร ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง จึงเปิดวาล์วน้ำออกอีกครั้ง เพื่อให้เกิดเป็นน้ำชะมูลฝอยปริมาณ 60 ลิตร คุณสมบัติของน้ำชะมูลฝอยดังแสดงในตารางที่ 1



รูปที่ 1 แบบจำลองการฝังกลบมูลฝอย

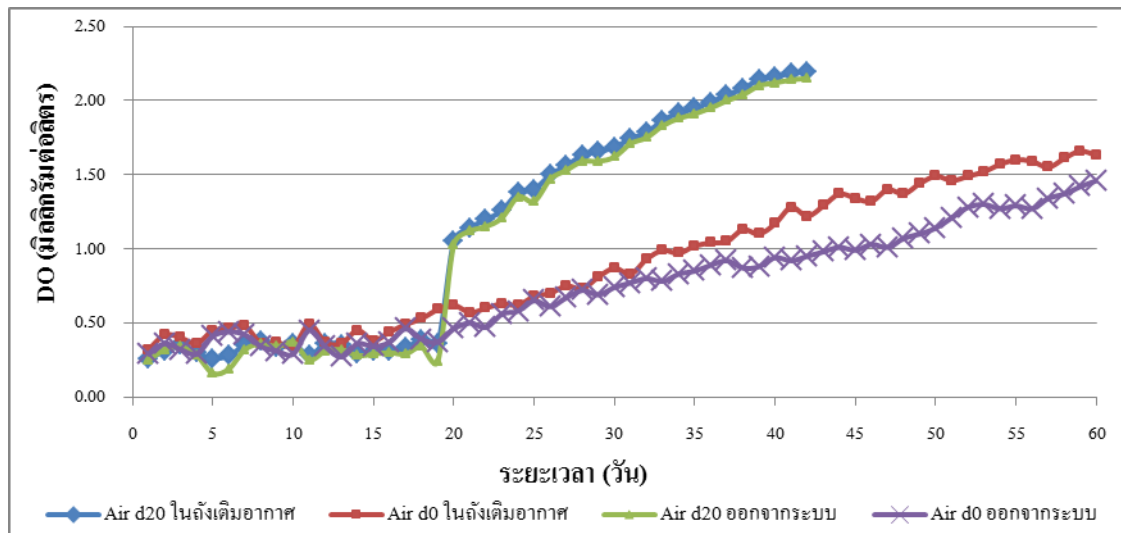
ตารางที่ 1 คุณสมบัติของน้ำชะมูลฝอยและวิธีวิเคราะห์

พารามิเตอร์	น้ำชะมูลฝอยก่อนการทดลอง	วิธีวิเคราะห์
pH	3.59 – 3.94	pH Meter
EC (mS/cm)	10.59 – 11.48	Electrical Conductivity Meter
VFA (mg/L)	1,850 – 2,360	Titration Method
Alkalinity (mg/L)	846 – 937	Titration Method
DO (mg/L)	0.29 – 0.40	DO Meter
COD (mg/L)	7,066 – 7,124	Dichromate Closed Reflux Method
NO ₃ ⁻ (mg/L)	–	Spectrophotometer

ผลการทดลองและวิจารณ์

หลังจากบรรจุมูลฝอยในแบบจำลองและเติมน้ำประปา 60 ลิตร ทิ้งไว้ 2 วัน เพื่อสร้างเป็นน้ำชะมูลฝอย พบว่า ค่า DO เริ่มต้นของน้ำชะมูลฝอยที่เกิดขึ้นจากทั้ง 2 ถัง มีค่า 0.25 และ 0.29 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ จากนั้นจึงเริ่มหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยอย่างต่อเนื่องโดยเติมอากาศในน้ำชะมูลฝอยของถังใบที่ 1 ในวันที่ 20 ของ

การทดลอง เมื่อค่า COD ต่ำกว่า 2,500 มิลลิกรัมต่อลิตร (Aird20) และถังใบที่ 2 เติมน้ำตั้งแต่เริ่มหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยเข้าสู่ระบบ (Aird0) ดังแสดงในรูปที่ 2 โดยในช่วงวันที่ 1-19 พบว่า Aird0 มีค่าสูงกว่า Aird20 เนื่องจากมีการเติมอากาศลงในน้ำชะมูลฝอยตั้งแต่เริ่มต้นการทดลองและมีการลดลงของค่า DO เมื่อออกจากแบบจำลอง แสดงให้เห็นว่ามีการใช้ออกซิเจนภายในแบบจำลอง แต่หลังจากวันที่ 20 พบว่าค่า DO ของ Aird20

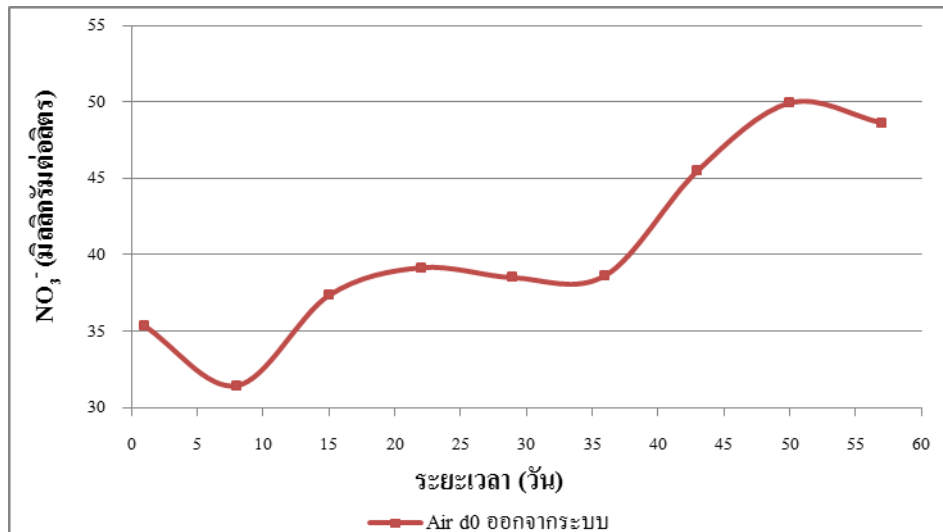


รูปที่ 2 การเปลี่ยนแปลงค่าออกซิเจนละลาย

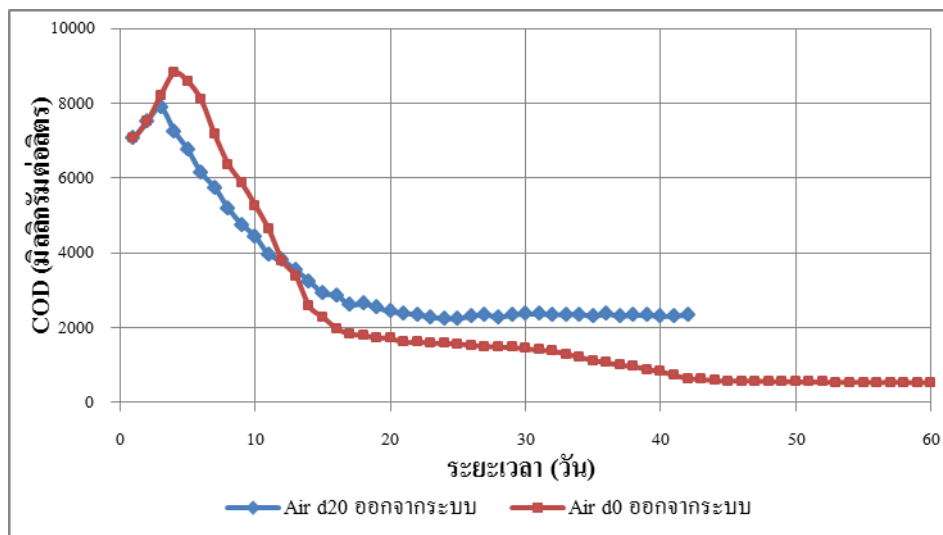
มีค่าเพิ่มสูงขึ้นมาก แต่ค่า DO ของน้ำชะที่เข้าและออกจากแบบจำลองไม่แตกต่างกัน ในขณะที่ Aird0 ยังคงมีอัตราการเพิ่มขึ้นของค่า DO เช่นเดียวกับช่วงวันที่ 1-19 แต่ค่า DO ของน้ำชะที่ออกจากแบบจำลอง ลดลงอย่างเห็นได้ชัดเจนมากกว่า แสดงให้เห็นว่า ใน Aird0 มีการใช้ออกซิเจนมากขึ้นและมากกว่า ในขณะที่ Aird20 ที่ไม่มีการใช้ออกซิเจนในแบบจำลอง

ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณไนเตรด (NO_3^-) ที่วิเคราะห์ได้จากน้ำชะมูลฝอยจาก Aird0 ดังแสดงในรูปที่ 3 พบว่าค่าไนเตรดเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องโดยเฉพาะช่วงหลังจากวันที่ 30 ของการทดลอง แสดงให้เห็นถึงสภาวะแบบมีอากาศเกิดขึ้นในถังที่ 2 ในขณะที่ไม่สามารถตรวจพบไนเตรดได้ใน Aird20 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Wu, et al. (2014) [9] และ Jun, et al. (2007) [10] ที่ทำการเติมอากาศเข้าสู่ระบบโดยตรง แบ่งเป็นช่วงๆ พบว่าในน้ำชะมูลฝอยมีปริมาณ NO_3^- เกิดขึ้นเฉพาะในช่วง

ที่เติมอากาศเท่านั้น และไม่พบ NO_3^- ในช่วงที่ไม่เติมอากาศและสัมพันธ์กับค่า COD ของน้ำชะมูลฝอยดังแสดงในรูปที่ 4 โดยในช่วงวันที่ 1-19 พบว่าค่า COD ของถังที่ 2 สูงกว่าถังที่ 1 เนื่องจากสภาวะแบบมีอากาศเกิดการย่อยสลายได้มากกว่าสภาวะแบบไร้อากาศ สารอินทรีย์จึงถูกย่อยสลายและชะปนออกมากับน้ำชะมูลฝอยได้มากกว่า ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Jun, et al. (2007) [10] ที่ทำการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยร่วมกับการอัดอากาศเข้าสู่ระบบโดยตรง พบว่าปริมาณความเข้มข้นของ COD ในน้ำชะมูลฝอยจากระบบที่เติมอากาศมีค่าสูงกว่าระบบที่ไม่เติมอากาศ และยังสอดคล้องกับค่า TOC จากงานวิจัยของ Wu, et al. (2014) [9] ด้วย แต่เมื่อเริ่มเติมอากาศลงในน้ำชะมูลฝอยในถังที่ 1 เห็นได้ว่าค่า COD ไม่มีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งอาจเกิดจากจุลินทรีย์แบบไม่ใช้อากาศไม่สามารถดำรงชีพได้ และสภาวะไม่เหมาะสมให้จุลินทรีย์แบบใช้อากาศดำรงชีพได้เช่นกัน



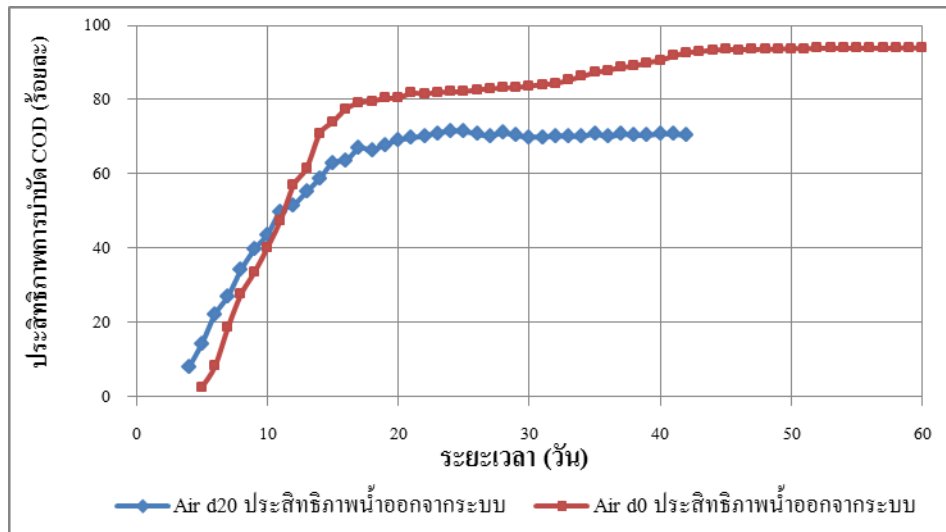
รูปที่ 3 การเปลี่ยนแปลงค่าไนเตรต



รูปที่ 4 การเปลี่ยนแปลงค่าซีโอดี

และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัด COD ดังแสดงในรูปที่ 5 พบว่า ถังที่ 2 มีประสิทธิภาพการบำบัด COD ได้สูงกว่า Aird20 เนื่องจากการเติมอากาศลงในน้ำชะมูลฝอย ตั้งแต่เริ่มการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอย อาจเพิ่มโอกาสในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในกลุ่มใช้อากาศทำให้เกิดการย่อยสลายอย่างรวดเร็วแต่ใน Aird20 พบว่าเมื่อเติมอากาศลงในน้ำชะ

มูลฝอยประสิทธิภาพของการบำบัด COD ไม่ลดลง อาจเนื่องจากเมื่อหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยเพื่อลดความสกปรกของน้ำชะมูลฝอยทำให้สภาวะภายในระบบเป็นแบบไร้อากาศ จุลินทรีย์ที่เจริญเติบโตในระบบเป็นแบบไม่ใช้อากาศในการหายใจ เมื่อเติมอากาศเข้าสู่ระบบทำให้สภาวะภายในระบบไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ทั้งในกลุ่มไม่ใช้อากาศและใช้อากาศด้วย



รูปที่ 5 ประสิทธิภาพการบำบัดชีโอดี

สรุป

การเติมอากาศลงในน้ำชะมูลฝอย ตั้งแต่เริ่มหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยเข้าสู่ระบบสามารถเพิ่มสภาวะภายในระบบให้เป็นแบบมีอากาศ ซึ่งเห็นได้จากค่าออกซิเจนละลายที่เพิ่มขึ้น รวมถึงผลต่างของออกซิเจนละลายระหว่างน้ำเข้าและน้ำออกระบบ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการใช้ออกซิเจนของจุลินทรีย์ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในระบบ สัมพันธ์กับปริมาณไนเตรดที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ การเติมอากาศลงในน้ำชะมูลฝอยตั้งแต่เริ่มหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยเข้าสู่ระบบยัง ทำให้ค่าความสกปรกของน้ำชะมูลฝอยในรูปของ COD ลดลงต่ำกว่า 2,500 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้เร็วกว่าการเติมอากาศลงในน้ำชะมูลฝอยที่หมุนเวียน เมื่อมีค่า COD ลดต่ำกว่า 2,500 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งใช้เวลา 15 และ 20 วัน ตามลำดับ และสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยสลายมูลฝอยภายในหลุมฝังกลบ รวมไปถึงการเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดน้ำชะมูลฝอยในระบบได้ โดยประสิทธิภาพการบำบัดค่า COD ของถึงที่เติมอากาศลงในน้ำชะมูลฝอยตั้งแต่เริ่มหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยเข้าสู่ระบบมี

ประสิทธิภาพการบำบัดสูงกว่าถึงที่เติมอากาศลงในน้ำชะมูลฝอยที่หมุนเวียน เมื่อมีค่า COD ลดต่ำกว่า 2,500 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งบำบัดได้ร้อยละ 94 และ 71 ตามลำดับ เนื่องจากการเติมอากาศลงในน้ำชะมูลฝอยตั้งแต่เริ่มหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยเข้าสู่ระบบสามารถเพิ่มโอกาสในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในกลุ่มใช้อากาศทำให้เกิดการย่อยสลายได้เร็วขึ้น และการเติมอากาศในระบบที่มีสภาวะเป็นแบบไร้อากาศ ยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในกลุ่มไม่ใช้อากาศที่มีอยู่ในระบบ ดังนั้นการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยรวมกับการเติมอากาศลงในน้ำชะมูลฝอย ควรทำในหลุมฝังกลบใหม่ จะทำให้สภาวะภายในระบบเป็นแบบมีอากาศและเกิดการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ในกลุ่มใช้อากาศตั้งแต่ต้น ซึ่งสามารถเพิ่มประสิทธิภาพบำบัดน้ำชะมูลฝอยได้อีกด้วย

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากทุนบัณฑิตศึกษา คณะวิศวกรรมศาสตร์ ปีการศึกษา 2555 ทุนอุดหนุนการวิจัย คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม ประจำปีงบประมาณ

2555 ทุนอุดหนุนการวิจัยเพื่อวิทยานิพนธ์ ประจำปี
งบประมาณ 2556

เอกสารอ้างอิง

- [1] PCD: Pollution Control Department 2014. Thailand State of Pollution Control Report. (in Thai).
- [2] PCD: Pollution Control Department 2012. Manual for Local Authorities: Municipal solid waste management. (in Thai).
- [3] Pohland, F.G. 1980. Leachate recycle as landfill management option. J. Envi. Eng. Div. 106: 1057-1069.
- [4] Tittlebaum, M.E. 1982. Organic carbon content stabilization through landfill Leachate recirculation. J. WPCF. 54: 428-433.
- [5] Nguyen Nhu Sang, Satoshi Soda, Tomonori Ishigaki and Michihiko Ike. 2012. Microorganisms in landfill bioreactors for accelerated stabilization of solid wastes. J. Biosci. Bioeng. 114: 243-250.
- [6] M. Sinan Bilgili, Ahmet Demir and Bestamin Ozkaya. 2007. Influence of Leachate recirculation on aerobic and anaerobic decomposition of solid wastes. J. Hazard. Mater. 143: 177-183.
- [7] A. Suna Erses, Turgut T. Onay and Orhan Yenigun. 2008. Comparison of aerobic and anaerobic degradation of municipal solid waste in bioreactor landfills. Bioresource Technol. 99: 5418-5426.
- [8] Sawangpanyangkura, T. 2002. How Sanitary Landfill should be?: Part 2. Maejo Vision. 2: 19.
- [9] Chuanfu Wu, Takayuki Shimaoka, Hirofumi Nakayama, Teppei Komiya, Xiaoli Chai and Yongxia Hao. 2014. Influence of aeration modes on leachate characteristic of landfills that adopt the aerobic-anaerobic landfill method. Waste Manage. 34 : 101-111.
- [10] Dong Jun, Zhao Yongsheng, Rotich K. Henry and Hong Mei. 2007. Impacts of aeration and active sludge addition on leachate recirculation bioreactor. J. Hazard. Mater. 147: 240-248.