



## บทบาทของปริมาณเหล็กที่ว่องไวที่มีต่อประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์คาร์บอน จากน้ำชะขยะชุมชน

### The Role of Active Fe(III) Contents on Treatment Efficiency of Organic Carbon from Landfill Leachate

อรรถัย เชื้อวงศ์<sup>1\*</sup> ไพบุลย์ ประพตติธรรม<sup>1</sup> และอรอนงค์ ผิวนิล<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

\*Corresponding Author, E-mail: chueawong2923@gmail.com

#### บทคัดย่อ

การศึกษบทบาทของปริมาณเหล็กที่ว่องไว (Active Fe(III)) ต่อการบำบัดสารอินทรีย์คาร์บอนจากน้ำชะขยะชุมชนในระบบฝังกลบในดิน (Landfill Leachate Organic Carbon Treatment Efficiency, LFLOCTE) จึงได้ทำการทดลองแบบ Split Plot Design ที่มีแหล่งที่มาของน้ำเป็น Main Plot 2 แหล่ง คือ น้ำชะขยะ (LFL,  $W_1$ ) และน้ำประปา (Blank,  $W_2$ ) และ Sub Plot 4 ชนิด คือ ชุดดินราชบุรี ( $S_1$ ) และดินเทียมที่ทำการเจือจางดินนี้ด้วยทรายหยาบด้วยสัดส่วน ดิน: ทราย 3: 1 ( $S_2$ ), 2: 2 ( $S_3$ ) และ 1: 3 ( $S_4$ ) ปรับให้ดินทั้ง 4 ชนิดนี้มีปริมาณเหล็กที่ว่องไว 5,200 3,900 2,600 และ 1,300 ppm Fe ตามลำดับ ทำการทดลอง 4 ซ้ำ โดยใส่น้ำให้อยู่ในระดับอิ่มตัวด้วยปริมาตร 5 4 3 และ 2 มล. ใน  $S_1$ - $S_4$  และบ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 1 2 4 8 และ 16 สัปดาห์ ตามลำดับ ผลการศึกษาพบว่า (ก) Active Fe(III) ทั้ง 4 ระดับสามารถบำบัด LFL ในระบบอิ่มตัวด้วยน้ำที่มีภาระ สารอินทรีย์คาร์บอน 192 ppm OC ( $S_1$ ) 153.6 ppm OC ( $S_2$ ) 115.2 ppm OC ( $S_3$ ) และ 76.8 ppm OC ( $S_4$ ) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ คือ ร้อยละ 82.5 78.8 72.5 และ 60.0 ตั้งแต่สัปดาห์แรกด้วยอัตราเพิ่มเฉลี่ยร้อยละ  $0.743 \pm 0.158$  ต่อสัปดาห์ ในวิธีการคำนวณปกติ (ข) เมื่อประเมินโดยเทคนิคการหักค่าแปลงค้อออก (BST) พบว่า LFLOCTE เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนเต็ม 100% ภายใน 4 สัปดาห์ ถึงแม้มี Active Fe(III) เพียง 1,300 ppm Fe ( $S_4$ ) และ (ค) Active Fe(III) ในดินที่มากขึ้นจะทำให้ LFLOCTE (%) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งในทุกระยะเวลาที่บ่มดินที่จุดอิ่มตัวด้วยน้ำ จากผลการศึกษาทำให้สามารถแนะนำได้ว่า ความสัมพันธ์ของปริมาณเหล็กที่ว่องไวต่อการบำบัดสารอินทรีย์คาร์บอนที่สัปดาห์แรกมีคุณค่าต่อการนำมาใช้พัฒนาระบบบำบัดในอนาคตเพราะให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูงสุด ( $r = 0.965^{**}$ ) และให้ค่าอัตราการเพิ่มของ TE (%) สูงที่สุด คือ  $b = 5.7 \times 10^{-3}$  % ต่อ ppm Fe Active Fe(III)

#### ABSTRACT

The study of role of Active Fe(III) on landfill leachate organic carbon treatment efficiency, (LFLOCTE), in 4 replications, has been carried out a split plot experiment having 2 Main plots; Landfill leachate (LFL,  $W_1$ ) and Tap water (Blank,  $W_2$ ) and 4 Subplots. The 4 subplots were; Ratchaburi soil series ( $S_1$ ) and 3 artificial soils by coarse sand dilution at the ratio soil: sand; 3: 1 ( $S_2$ ), 2: 2 ( $S_3$ ) and 1: 3 ( $S_4$ ) so that the 4 soils would have 5,200 ppm Fe ( $S_1$ ), 3,900 ppm Fe ( $S_2$ ), 2,600 ppm Fe ( $S_3$ ) and 1,300 ppm Fe ( $S_4$ ) Active Fe(III) respectively. This was a saturation system of the water and soils incubated at room temperature for 1, 2, 4, 8 and 16 weeks. The results of this

study found that: (a) The 4 Active Fe(III) could efficiency treated the LFL in this saturation system having 192 ppm OC ( $S_1$ ), 153.6 ppm OC ( $S_2$ ), 115.2 ppm OC ( $S_3$ ) and 76.8 ppm OC ( $S_4$ ) which were 82.5%, 78.8%, 72.5% and 60.0% since the first week at in average increase rate  $0.743 \pm 0.158$  %/wk in the normal treatment efficiency technique ; (b) Treatment efficiency (TE) evaluated by Blank Subtraction Technique the LFLOCTE rapidly increased to 100% within 4 weeks aging, with exception in the least Active Fe(III) soil ( $S_4$ ) and (c) The increase in soil Active Fe(III) increased LFLOCTE (%) highly significantly in all periods of saturation time. It could be recommended that the 1<sup>st</sup> week TE relationship was worth information for future LFL treatment system development because of its highest r value (0.965\*\*) and the highest slope value which was  $5.7 \times 10^{-3}$  TE (%)/ppm Fe Active Fe(III).

**คำสำคัญ:** เหล็กที่ว่องไว การบำบัดสารอินทรีย์คาร์บอนจากน้ำชะขยะ การย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน

**Keywords:** Active Fe(III), Landfill Leachate Organic Carbon Treatment, Anaerobic Decomposition

## บทนำ

การกำจัดขยะในประเทศไทยนิยมใช้วิธีการฝังกลบ ปี พ.ศ. 2556 ประเทศไทยมีสถานที่กำจัดขยะมูลฝอยทั้งสิ้น 2,490 แห่ง โดยส่วนใหญ่เป็นการกำจัดด้วยวิธีการฝังกลบอย่างถูกสุขาภิบาล (Sanitary Landfill) และกองเทเปิด (Open Dumping Sites) อยู่สูงถึง 2,419 แห่ง (กรมควบคุมมลพิษ, 2556) ผลกระทบที่ได้จากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์คาร์บอน (Organic Carbon, OC) ในหลุมฝังกลบ คือ แก๊สมีเทน และน้ำชะขยะ ซึ่งก่อให้เกิดปัญหามลพิษสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะอย่างยิ่ง น้ำชะขยะที่มักมีความเข้มข้นของสารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์สูง ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของขยะและระยะเวลาของการหมักในหลุมฝังกลบ (Huo et al., 2008; อรทัยและคณะ, 2557) การบำบัดน้ำชะขยะมีค่าใช้จ่ายสูง และต้องใช้กระบวนการบำบัดหลายประเภท เช่น การบำบัดโดยใช้วิธีทางชีวภาพ วิธีทางเคมี และรูปแบบผสมผสาน วิไลและคณะ (2550) พบว่า การบำบัดน้ำชะขยะในประเทศไทยมักนิยมบำบัดโดยใช้บ่อเติมอากาศ (Aerate Lagoon) หรือการเก็บกักน้ำชะขยะในบ่อพักไว้ก่อน เนื่องจากมีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการต่ำกว่าวิธีอื่นๆ โดยให้มีการย่อยสลายเองตามธรรมชาติซึ่งมีประสิทธิภาพการบำบัดต่ำและใช้เวลานานในการบำบัด อีกทั้งต้องสูญเสียพื้นที่ขนาดใหญ่ในการกักเก็บน้ำเสียไว้โดยไม่จำเป็น เกิดปัญหากลิ่นเหม็น เป็นแหล่งเพาะพันธุ์ยุงและเชื้อโรคตามมา ดังนั้นการวิจัยหาวิธีการบำบัดน้ำชะขยะที่มีค่าใช้จ่ายต่ำและมีประสิทธิภาพสูงจึงจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับการแก้ไขปัญหาี้ ระบบบำบัด น้ำเสียชุมชนซึ่งมีค่าบีโอดีสูงไม่เกิน 100 mg O<sub>2</sub>/L ด้วยดินแห้งสลับเปือก ด้วย Facultative Aerobes ร่วมกับพืชซึ่ง

ใช้ได้ดีมากที่โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ (สิทธิชัย, 2538; สุกัญญา, 2548; อรทัย, 2550; ศิวาพร, 2551 และนาวิ, 2552) โดยส่งเสริมการบำบัดสารอินทรีย์โดยใช้เหล็กที่ว่องไวในรูปสารประกอบเฟอร์ริก (Active Fe(III)) เป็นตัวรับอิเล็กตรอน (Electron Acceptor, EA) ในกระบวนการหายใจแบบไร้ออกซิเจน (Anaerobic Respiration, AAR) ในขณะที่ดินเปียก 5 วันและมีการหายใจโดยใช้ออกซิเจนเป็น EA (Aerobic Respiration, AR) เมื่อมีการระบายน้ำออกให้แห้ง 2 วัน การกักเก็บน้ำชะขยะ (Landfill Leachate; LFL) ไว้ในดินในระบบบำบัดที่จะพัฒนาขึ้นมาให้อยู่ในสภาพอิมมัวตลอดเวลา แล้วให้ Active Fe(III) ในดินที่มีมากพอจนเกิดเป็น AAR ได้ตลอดเวลาที่ยังมี OC เป็นตัวให้อิเล็กตรอน (Electron Donor, ED) เพื่อให้ได้องค์ความรู้ที่ถูกต้องเหมาะสมและเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาระบบบำบัดใหม่นี้โดยตรงจึงได้วางแผนวิจัยขึ้น

## อุปกรณ์และวิธีการ

### 1. การวางแผนการทดลอง

การวิจัยนี้ได้วางแผนการทดลองแบบ Split Plot Design มีแหล่งที่มาของน้ำเป็น Main Plot 2 แหล่ง คือ LFL ( $W_1$ ) และน้ำประปา (Blank,  $W_2$ ) และ Sub Plot 4 ชนิด คือ ชุดดินราชบุรี ( $S_1$ ) และดินเทียมที่ทำการเจือจางดินนี้ด้วยทรายหยาบด้วยสัดส่วน ดิน: ทราย 3: 1 ( $S_2$ ) 2: 2 ( $S_3$ ) และ 1: 3 ( $S_4$ ) การทดลองทำ 4 ซ้ำ จำนวน 32 ยูนิททดลอง

## 2. การดำเนินการทดลอง

การทดลองนี้เป็นแบบระบบปิด โดยใช้ดินที่แห้งสนิท ด้วยการตากแดดเพื่อให้แน่ใจว่ามี Active Fe(III) เต็มที่ 10 กรัม ใส่ในขวด PE ขนาด 120 มิลลิลิตร ใส่ LFL และน้ำประปาใน ปริมาณดินอิมมัวด้วยน้ำ คือ 5 4 3 และ 2 มิลลิลิตร ใน S<sub>1</sub> S<sub>2</sub> S<sub>3</sub> และ S<sub>4</sub> ตามลำดับ บ่มตัวอย่างที่อุณหภูมิห้อง และทำการเก็บ ตัวอย่างที่ระยะเวลาการบ่ม 1 2 4 8 และ 16 สัปดาห์ ตามลำดับ

## 3. การวิเคราะห์ข้อมูล

ก่อนจะรายงานประสิทธิภาพในการบำบัด (Treatment Efficiency, TE(%)) จะต้องทราบปริมาณของ คาร์บอนที่ไม่ถูกบำบัด (Untreated C, UT-C) ที่วัดได้โดยตรง เสียก่อน ค่า UT-C คำนวณมาจากปริมาณซีโอดี (COD) ที่วัดได้ หลังจากสกัดดินที่อิมมัวด้วยน้ำที่ระยะเวลาบ่มต่างๆ ด้วยน้ำ 30 มิลลิลิตร ตามคำแนะนำของ Intaravichit et al. (2013) ด้วยวิธี มาตรฐานของ APHA (2005) โดยคำนวณจากทฤษฎีทางเคมีว่าที่ ระดับสมดุลทางเคมี สมมูลของธาตุที่เป็นองค์ประกอบของ สารประกอบที่เกี่ยวข้องกับการทำปฏิกิริยาทางเคมีกันจะต้อง เท่ากัน (Ewing et al., 1962) เนื่องจากน้ำหนักสมมูลของแก๊ส ออกซิเจน (O<sub>2</sub>) และของ OC เท่ากับ 8 และ 3 ตามลำดับ ดังนั้น สมมูลของ O<sub>2</sub> ใน COD จะเท่ากับ mg O<sub>2</sub>/L หารด้วย 8 ซึ่งจะ เท่ากับสมมูลของ OC ด้วย ดังนั้นความเข้มข้นของ OC ซึ่ง เท่ากับ (mg O<sub>2</sub>/L x3)/8 คือความเข้มข้น mgC/L นั่นเอง สำหรับ ประสิทธิภาพของการบำบัด OC (Treatment Efficiency of OC, TEOC) นั้นจะเปรียบเทียบ 2 วิธีดังนี้ ก. แบบปกติ คือ LFLOCTE (%) = 100(LFLOC Input Load - Soil UT-C)/ LFLOC Input Load และ ข. แบบใช้ Blank Subtraction Technique (BST) ซึ่งนักเคมีวิเคราะห์ใช้วัดปริมาณที่ถูกต้องของ ธาตุในสารละลายที่ถูกต้อง (Daniel, 2007) โดยหักปริมาณของ สิ่งที่ต้องการวิเคราะห์ด้วยปริมาณที่มีอยู่ในน้ำโดยใช้สมการ

LFLOCTE(%) = 100(LFLOC Input Load - LFLOC Output - Blank)/LFLOC Input Load การเปลี่ยนแปลงของปริมาณ UT-C ตลอดระยะเวลา 16 สัปดาห์ในแต่ละดินจะได้อธิบายโดย สมการทางคณิตศาสตร์ เมื่อพบว่าได้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) สูงเท่ากับระดับความเชื่อมั่นระดับนัยสำคัญ (95%) และระดับ นัยสำคัญยิ่ง (99%) ซึ่งใช้เครื่องหมาย \* และ \*\* ตามลำดับ ด้วย สมการ  $y = a + bx$  โดยให้  $x$  เป็นตัวแปรอิสระและ  $y$  เป็นตัว แปรตาม  $a$  เป็นค่าจุดตัดแกนตั้ง ( $y$ ) และ  $b$  เป็นค่า slope ของ การเปลี่ยนแปลง แต่ถ้าความสัมพันธ์ไม่สูงถึงระดับนัยสำคัญ (น้อยกว่า 95%) ก็จะนำเสนออันดับค่าเฉลี่ย ( $\bar{X}$ ) และค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน (SD) ตามคำแนะนำทางสถิติของ Gomez and Gomez (1984)

## ผลและวิจารณ์

### 1. สมบัติของดินและน้ำชะขยะที่ใช้ในการทดลอง

สมบัติของชุดดินราซบุรี (Tropaquepts) และน้ำชะ ขยะจากสถานที่ฝังกลบขยะเทศบาลตำบลบ้านแหลม อำเภอบ้าน แหลม จังหวัดเพชรบุรี ดังตารางที่ 1 ดิน S<sub>1</sub> นี้ก่อนการทดลอง เป็นดินเหนียวที่มีความเป็นกรดรุนแรง แต่มีปริมาณธาตุอาหาร มากพอสำหรับกิจกรรมของจุลินทรีย์ ส่วน LFL พบว่า มีปริมาณ OC สูงมีศักยภาพในการเป็น ED แก่จุลินทรีย์ แต่มีปริมาณคลอไรด์ (Cl<sup>-</sup>) ความเป็นเบส และความเค็มสูงจนอาจขัดขวางการทำงานของ จุลินทรีย์ แต่ความเป็นกรดรุนแรงของดินอาจจัดปัญหา ความเป็นเบสของน้ำชะขยะได้ ทั้งปริมาณโซเดียมและคลอไรด์ก็ อาจถูกดูดซับโดยอนุภาคดินเหนียวซึ่งมีประจุลบและพื้นที่ผิว จำเพาะสูงได้หมดก็ได้ ปริมาณ Cl<sup>-</sup> นี้ทำปฏิกิริยากับโปแตสเซียม ไดโครเมทในน้ำยวิเคราะห์ค่า COD และทำให้ค่าวิเคราะห์สูง ผิดปกติได้ ดังนั้นก่อนวิเคราะห์หาค่า COD ทุกครั้งจึงได้กำจัด Cl<sup>-</sup> ก่อนโดยใช้ซิลเวอร์ไนเตรทผงแล้วกรองออกก่อนเสมอ

**ตารางที่ 1** สมบัติของดินและน้ำชะขยะที่ใช้ในการทดลอง

สมบัติของดินชุดดินราชบุรี		สมบัติของน้ำชะขยะ	
พารามิเตอร์	ปริมาณ	พารามิเตอร์	ปริมาณ
Clay (%)	66	BOD (mg O <sub>2</sub> /L)	180
Silt (%)	20	COD (mg O <sub>2</sub> /L)	1,024
Sand (%)	14	OC (mg C/L)	384
pH	5.2	Fe (II) (mg/L)	0.02
EC (mS/cm)	0.47	pH	8.9
OM (%)	1.74	Temp. (°C)	25.3
OC (ppm)	10,093	DO (mg O <sub>2</sub> /L)	3.51
Active OC (ASOC, ppm)	7,771	TDS (mg/L)	>1,999
Soil CEC (me/100 g)	29.1	EC (mS/cm)	16.8
Clay CEC (me/100 g)	38.8	Salinity (ppt)	9.9
Free Fe(III)-Fe (ppm)	18,637	Cl <sup>-</sup> (mg/L)	4,490
Active Fe(III)-Fe (ppm)	5,200		

จากตารางที่ 1 พบว่า ปริมาณ BOD และ COD ใน LFL นี้สูงกว่าในน้ำเสียชุมชนเมืองเพชรบุรีที่ศึกษาโดยสิทธิชัย (2538); สุกัญญา (2548); อรทัย (2550); ศิวาพร (2551) และ นาวี (2552) ซึ่งพบว่ามีค่าอยู่ในพิสัย 31.2-69.7 mg/L และ 50.0-182.0 mg/L ตามลำดับ ซึ่งสามารถบำบัดได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยใช้ระบบดินเปียกสลับแห้งร่วมกับพืช โดยใช้กิจกรรมของ Facultative Aerobes แต่งานวิจัยนี้ศึกษาองค์ความรู้ของการเปลี่ยนแปลง OC โดยใช้กิจกรรมของ Anaerobes ซึ่งใช้ Active Fe(III) เป็น EA หลัก

จากตารางที่ 1 สามารถคำนวณปริมาณ Active Fe(III) OC และ clay contents ในดินทั้ง 4 ชนิดก่อนทดลองสรุปได้ ดังนี้ ก. มี Active Fe(III) 5,200 3,900 2,600 และ 1,300 mg Fe/kg soil ข. มี OC 10,093 7,569.75 5,046.50 และ

2,523.25 mg C/kg soil และ ค. มีปริมาณอนุภาคดินเหนียวอยู่ 66.0 49.5 33.0 และ 16.5% ในดิน S<sub>1</sub> S<sub>2</sub> S<sub>3</sub> และ S<sub>4</sub> ตามลำดับ ในหน่วยทดลองที่มีการใส่ LFL เพื่อให้มีปริมาณน้ำโดยใส่ลงไป 5 4 3 และ 2 mL/10 g soil สำหรับดิน S<sub>1</sub> S<sub>2</sub> S<sub>3</sub> และ S<sub>4</sub> ดังนั้นภาระ (Load) ของ LFLOC ของดินทั้ง 4 ชนิดนี้จึงเป็น 192.0 153.6 115.2 และ 76.8 µg C/g soil ตามลำดับ

## 2. การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอน

การศึกษาปริมาณ UT-C ในระบบดินทั้ง 4 ชนิด ภายหลังจากบ่มในร่มที่ระยะเวลา 1 2 4 8 และ 16 สัปดาห์ ได้ แสดงไว้ในตารางที่ 2 โดย ตารางที่ 2(a) นำเสนอการเปลี่ยนแปลงในชุดทดลอง (Treatment Set, TS) และ ตารางที่ 2(b) นำเสนอการเปลี่ยนแปลงในชุดควบคุม (Blank Set, BS)

**ตารางที่ 2** การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนในการทดลอง

ชนิดดิน	ระยะเวลาการบ่ม (wks)					r	a	b
	1	2	4	8	16			
(a) From soil + LFL (µg C/g soil)								
S <sub>1</sub>	33.6	33.6	16.8	16.8	16.8	-0.703**	30.1	-1.061
S <sub>2</sub>	32.6	32.4	16.6	15.6	11.9	-0.817**	30.0	-1.327
S <sub>3</sub>	31.7	22.7	17.0	15.9	15.7	-0.691**	25.4	-0.774
S <sub>4</sub>	30.7	20.4	15.4	15.4	15.4	-0.620*	23.6	-0.676

ตารางที่ 2 การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนในการทดลอง (ต่อ)

ชนิดดิน	ระยะเวลาการบ่ม (wks)					r	a	b
	1	2	4	8	16			
(b) From soil only ( $\mu\text{g C/g soil}$ )								
S <sub>1</sub>	0	16.8	32.6	17.1	16.6	0.169 <sup>ns</sup>	$\bar{X} = 16.6$	SD = 11.5
S <sub>2</sub>	0	16.2	32.6	15.7	16.2	0.169 <sup>ns</sup>	$\bar{X} = 16.1$	SD = 11.5
S <sub>3</sub>	0	15.6	31.7	15.7	15.7	0.170 <sup>ns</sup>	$\bar{X} = 15.7$	SD = 11.2
S <sub>4</sub>	0	15.4	30.7	15.4	15.2	0.168 <sup>ns</sup>	$\bar{X} = 15.3$	SD = 10.9

หมายเหตุ: r = ค่า correlation coefficient a = ค่าจุดตัดแกนตั้ง (y) และ b = ค่า slope ของการเปลี่ยนแปลง

\* = ความแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ \*\* = ความแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

ns = ความไม่แตกต่างกันทางสถิติ  $\bar{X}$  = ค่าเฉลี่ย และ SD = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

จากตารางที่ 2 จะเห็นว่าแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลง UT-C ใน 2 ตารางย่อยนี้แตกต่างกันอย่างเด่นชัด กล่าวคือ ในตารางที่ 2(a) ปริมาณ UT-C จะลดลงอย่างมีนัยสำคัญโดยให้ค่า r -0.703\*\* -0.817\*\* -0.691\*\* และ -0.620\* ทำให้สามารถพยากรณ์ค่า UT-C (y) ที่ระยะเวลาของการบ่มดิน (x) ได้ด้วยสมการที่ (1)-(4)

$$S_1 y_{\text{ppm}} = 30.1 - 1.061wks \dots\dots(1)$$

$$S_2 y_{\text{ppm}} = 30.0 - 1.327wks \dots\dots(2)$$

$$S_3 y_{\text{ppm}} = 25.4 - 0.774wks \dots\dots(3)$$

$$S_4 y_{\text{ppm}} = 23.6 - 0.676wks \dots\dots(4)$$

แต่ในตารางที่ 2(b) พบว่า ตลอดระยะเวลา 16 สัปดาห์ การเปลี่ยนแปลงมีแนวโน้มไปในทางบวกแต่สูงไม่ถึงระดับนัยสำคัญโดยให้ค่าเฉลี่ยในดินทั้ง 4 ชนิด อยู่ในพิสัยแคบๆ คือ 15.3-16.6  $\mu\text{g C/g soil}$  การลดลงของ UT-C ในตารางที่ 2(a) หรือ TS แสดงว่า OC load จาก LFL นั้นถูกบำบัดแล้ว (จะได้กล่าวถึงประสิทธิภาพต่อไป) ด้วยอย่างน้อย 2 กลไก คือ (ก) ทางฟิสิกส์ จากการดูดซับไอน้ำ ช่องขนาดเล็กในดิน (Micropores) ด้วยแรงแคปิลลารี (Capillary Force) (Brady, 1990) และ (ข)

ด้วยกลไกทางชีวเคมีจาก Anaerobic Decomposition ของ Anaerobes โดยใช้ Active Fe(III) ในดินเป็น EA และมี Carbohydrate C เป็น ED กลายเป็น CO<sub>2</sub> หายไป การตรวจไม่พบ UT-C (ตารางที่ 2(b)) ใน BS ในสัปดาห์แรกนั้นน่าจะเนื่องจากสิ่งแวดล้อมของระบบยังไม่เอื้ออำนวยให้มีการเพิ่มปริมาณของ Decomposers เนื่องจากความเป็นกรดรุนแรงของดิน แต่เมื่อเวลาผ่านไป 1 สัปดาห์บางส่วนของสารประกอบที่มีโซอิวมัส (non humus) อาจมีการเปลี่ยนแปลงทำให้เกิด Soil Reduction ได้ H<sup>+</sup> ก็จะลดลงและทำให้กิจกรรมของ Decomposers เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วตลอดระยะเวลา 4 สัปดาห์แรก แล้วจึงเข้าสู่ระบบของการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของดิน กลายเป็น OC ที่เสถียรขึ้นต่อไปทำนองเดียวกับใน TS

### 3. การเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์คาร์บอนจากน้ำชะขยะ

ตารางที่ 3 แสดงการเปลี่ยนแปลง LFLOCTE (%) โดย 2 เทคนิค คือ แบบปกติ (Normal Technique) และแบบใช้ Blank Subtraction Technique (BST)

ตารางที่ 3 การเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์คาร์บอนในการทดลอง

ชนิดดิน	ระยะเวลาการบ่ม (wks)					r	a	b
	1	2	4	8	16			
(a) By Normal Technique								
S <sub>1</sub>	82.5	82.5	91.2	91.2	91.2	0.703**	84.3	0.553
S <sub>2</sub>	78.8	78.9	89.2	89.8	92.3	0.818**	80.4	0.866
S <sub>3</sub>	72.5	80.3	85.2	86.2	86.4	0.692**	78.0	0.673
S <sub>4</sub>	60.0	73.4	79.9	79.9	79.9	0.620*	69.2	0.879

**ตารางที่ 3** การเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์คาร์บอนในการทดลอง (ต่อ)

ชนิดดิน	ระยะเวลาการบ่ม (wks)					r	a	b
	1	2	4	8	16			
(b) By Blank Subtraction Technique								
S <sub>1</sub>	82.5	91.3	108.2	100.2	99.9	0.454 <sup>ns</sup>	$\bar{X}$ = 96.4	SD = 9.8
S <sub>2</sub>	78.8	89.5	110.4	100.1	102.8	0.529 <sup>ns</sup>	$\bar{X}$ = 96.3	SD = 12.3
S <sub>3</sub>	72.5	93.8	112.8	99.8	100.0	0.391 <sup>ns</sup>	$\bar{X}$ = 95.8	SD = 14.7
S <sub>4</sub>	60.0	93.5	119.9	100.0	99.7	0.356 <sup>ns</sup>	$\bar{X}$ = 94.6	SD = 21.8

**หมายเหตุ:** r = ค่า correlation coefficient a = ค่าจุดตัดแกนตั้ง (y) และ b = ค่า slope ของการเปลี่ยนแปลง  
 \* = ความแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ \*\* = ความแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 99%  
 ns = ความไม่แตกต่างกันทางสถิติ  $\bar{X}$  = ค่าเฉลี่ย และ SD = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

จากตารางที่ 3(a) พบว่าประสิทธิภาพในการบำบัด OC จาก LFL (y) ที่ได้คำนวณโดยวิธีปกติจะเพิ่มขึ้นเมื่อเวลา (x) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งในทุกดินยกเว้นดิน S<sub>4</sub> เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ จะสามารถอธิบายประสิทธิภาพได้โดยสมการที่ (5)-(8)

$$S_1Y(\%) = 84.3 + 0.553x \dots\dots\dots(5)$$

$$S_2Y(\%) = 80.4 + 0.866x \dots\dots\dots(6)$$

$$S_3Y(\%) = 78.0 + 0.673x \dots\dots\dots(7)$$

$$S_4Y(\%) = 69.2 + 0.879x \dots\dots\dots(8)$$

และสามารถคำนวณได้ว่า การบำบัดจะครบ 100% ในเวลาประมาณ 29 23 33 และ 36 สัปดาห์ ในดิน S<sub>1</sub> S<sub>2</sub> S<sub>3</sub> และ S<sub>4</sub> ตามลำดับ

จากสมการที่ (5)-(8) จะเห็นได้ว่า เมื่อเริ่มทำการทดลอง (เมื่อ LFL ทำให้ดินอึดตัว) ก็มีการกักเก็บ LFLOC แล้วประมาณร้อยละ 84 80 78 และ 69 ของ LFLOC load กลไกที่ควบคุมการบำบัด OC ในระยะแรกนี้น่าจะเป็นการดูดซับอยู่ในช่องว่างขนาดเล็กในดินโดยแรงแคปิลลารี เมื่อใช้สมการที่พัฒนามาจากข้อมูลดินของ Motomura et al. (1979) ภายใต้สมมติฐานที่ว่า Maximum Water Holding Capacity (WHC) ของดินน้ำคือ ร้อยละของน้ำที่มีอยู่ในดินจนเต็มทั้งช่องว่างขนาดใหญ่และช่องว่างขนาดเล็ก และ Moisture Equivalent (ME) ก็คือ ร้อยละน้ำที่มีอยู่เต็มช่องว่างขนาดเล็ก ซึ่งมีสมการที่ (9) และ (10)

$$WHC(\%) = 32.3 + 0.520\text{clay}(\%) \dots\dots(9)$$

$$r = 0.833^{**}, n = 129$$

$$ME(\%) = 14.5 + 0.459\text{clay}(\%) \dots\dots(10)$$

$$r = 0.869^{**}, n = 128$$

ดังนั้นในดิน S<sub>1</sub> S<sub>2</sub> S<sub>3</sub> และ S<sub>4</sub> ซึ่งมีปริมาณอนุภาคดินเหนียวอยู่ 66.0 49.5 33.0 และ 16.5% ควรจะมีช่องว่างทั้งหมด

66.6 58.0 49.5 และ 40.9% และช่องว่างขนาดเล็กซึ่งมีแรงแคปิลลารี อยู่ 44.8 37.2 29.6 และ 22.1% ตามลำดับ และเมื่อมีการเติม LFLOC Load ลงไป 192.0 153.6 115.2 และ 76.8 µg OC/g soil จึงควรจะมีค่าความเข้มข้นของ LFLOC ในสารละลายดินของดิน S<sub>1</sub> S<sub>2</sub> S<sub>3</sub> และ S<sub>4</sub> อยู่ 192/0.666 153.6/0.580 115.2/0.495 และ 76.8/0.409 หรือ 288 265 232 และ 188 µg OC/g soil และจะถูกแรงแคปิลลารีดูดยึดไว้ได้ 288x0.448 265x0.372 232x0.296 และ 188x0.221 หรือ 129.0 98.6 68.7 และ 41.5 µg OC/g soil ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 67.2 64.1 59.6 และ 54.0 ของ Load ที่ใส่ลงไป ดังนั้นค่า Intercept (a) ในสมการที่ (5)-(8) ซึ่งสูงกว่าการกักเก็บ LFLOC ไว้ในเฉพาะช่องว่างขนาดเล็กในดินโดยใช้แรงแคปิลลารีจึงน่าจะมาจาก การบำบัด OC ด้วยกลไกทางชีวเคมีโดยใช้ Active Fe(III) เป็น EA ซึ่งควรจะเริ่มตั้งแต่วันแรก

จากตารางที่ 3(b) จะเห็นได้ชัดเจนว่า BST มีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงกว่าการคำนวณแบบปกติตั้งแต่ สัปดาห์ที่ 2 ของการบ่มระบบเป็นต้นไป และสามารถสรุปได้ว่า ภาระ LFLOC หรือ LFLOC load จะถูกบำบัดโดยสิ้นเชิงตั้งแต่ สัปดาห์ที่ 4 เป็นต้นไป ผลดีของการประเมิน LFLOCTE (%) นี้ แสดงว่า UT-C ใน BS ที่ถูกปลดปล่อยออกมาจะถูก Anaerobes เอาไปใช้เป็นอาหารได้เกือบจะทันทีที่ใส่ LFL ลงไป ความเป็นต่างของ LFL (pH 8.9) ที่ใส่ลงไป 5 4 3 และ 2 mL/10 g soil สำหรับ S<sub>1</sub>-S<sub>4</sub> คงจะปรับระดับความเป็นกรดของดิน (pH 5.2) ให้ใกล้เคียงกับกลาง ปริมาณอนุภาคดินเหนียวซึ่งมีอยู่ 66.0 49.5 33.0 และ 16.5% ใน S<sub>1</sub> S<sub>2</sub> S<sub>3</sub> และ S<sub>4</sub> น่าจะดูดซับทั้ง Na<sup>+</sup> (โดยประจุลบของอนุภาคดินเหนียว) และ Cl<sup>-</sup> (โดยแรงแคปิลลารี) ไว้ได้มาก จนไม่เป็นอันตรายต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์แต่อย่างใด ปริมาณ

ของ UT-C จาก TS จึงน้อยกว่าใน BS ตลอดช่วง 4 สัปดาห์แรก ซึ่งมีการบำบัดโดยสิ้นเชิงแล้ว UT-C หรือปริมาณ OC ที่สกัดได้ด้วยน้ำกลั่นซึ่งควรจะเป็นปริมาณ OC ที่เหลืออยู่และถูกระบายออกจากดินได้ในระบบเปิด อาจเปลี่ยนรูปไปจาก LFLOC load แล้วก็ได้โดยอาจเปลี่ยนรูปเป็นสารอินทรีย์คาร์บอนที่มีโครงสร้างซับซ้อน ส่วนใหญ่เป็นกรดอินทรีย์ ได้แก่ กรดฮิวมิก และกรด

ฟุลวิก (Artiola and Fuller, 1982) ซึ่งจุลินทรีย์ไม่สามารถย่อยสลายได้อีกต่อไป

**4. อิทธิพลของเหล็กที่ว่องไวต่อประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์คาร์บอน**

เพื่อให้ทราบถึงอิทธิพลของ Active Fe(III) ต่อ LFLOCTE (%) จึงได้สรุปไว้ในตารางที่ 4

**ตารางที่ 4** อิทธิพลของเหล็กที่ว่องไวต่อประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์คาร์บอน

ดัชนี	ระยะเวลาการบ่ม (wks)				
	1	2	4	8	16
(a) By Normal Technique					
r	0.965**	0.862**	0.930**	0.908**	0.884**
a	55.0	72.3	70.4	70.9	71.0
b	$5.7 \times 10^{-3}$	$2.0 \times 10^{-3}$	$4.4 \times 10^{-3}$	$4.4 \times 10^{-3}$	$4.6 \times 10^{-3}$
(b) By Blank Subtraction Technique					
r	0.965**	-0.697**	-0.954**	0.680*	0.298 <sup>ns</sup>
a	55.0	94.8	122.2	99.8	$\bar{X} = 100.6$
b	$5.7 \times 10^{-3}$	$-8.4 \times 10^{-4}$	$-2.9 \times 10^{-3}$	$6.9 \times 10^{-5}$	SD = 1.5

หมายเหตุ: r = ค่า correlation coefficient a = ค่าจุดตัดแกนตั้ง (y) และ b = ค่า slope ของการเปลี่ยนแปลง  
 \* = ความแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ \*\* = ความแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 99%  
 ns = ความไม่แตกต่างกันทางสถิติ  $\bar{X}$  = ค่าเฉลี่ย และ SD = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

จากตารางที่ 4(a) จะเห็นได้ชัดเจนว่าพบความสัมพันธ์ทางบวกระหว่างปริมาณ Active Fe(III) (x) และ LFLOCTE (y) เมื่อคำนวณโดยวิธีปกติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งตั้งแต่สัปดาห์แรกและในทุกๆระยะเวลาของการศึกษาซึ่งสามารถอธิบายได้โดยสมการที่ (11)-(15)

$$1wk \ y = 55.0 + 5.7 \times 10^{-3} x \dots\dots\dots (11)$$

$$2wk \ y = 72.3 + 2.0 \times 10^{-3} x \dots\dots\dots (12)$$

$$4wk \ y = 70.4 + 4.4 \times 10^{-3} x \dots\dots\dots (13)$$

$$8wk \ y = 70.9 + 4.4 \times 10^{-3} x \dots\dots\dots (14)$$

$$16wk \ y = 71.0 + 4.6 \times 10^{-3} x \dots\dots\dots (15)$$

และเมื่อนำเอาค่าจุดตัดแกน y ของประสิทธิภาพในการบำบัด LFL ในดิน S<sub>1</sub>-S<sub>4</sub> ในสมการที่ (5)-(8) (y) มาหาสหสัมพันธ์กับปริมาณ Active Fe(III) (x) จะพบความสัมพันธ์ที่สูงมาก (r = 0.962\*\*) และสามารถคาดการณ์ได้โดยสมการที่ 16

$$y (\%) = 66.05 + 3.67 \times 10^{-3} x \dots\dots\dots (16)$$

การเพิ่มขึ้นของ Active Fe(III) ทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัด LFL นี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Intaravicha et al (2013) ทั้งนี้เป็นเพราะเมื่อปริมาณ Active Fe(III) เพิ่มขึ้นก็จะ

เกิด AAR เพิ่มขึ้นเพราะ Active Fe(III) ทำหน้าที่เป็น EA โดยใช้ OC ทั้งจากดินและจาก LFL เป็น ED ได้พลังงานเอามาใช้ย่อยสลาย OC ทำให้เกิด AAR แล้วปลดปล่อย CO<sub>2</sub> ออกมา UT-C จึงลดลงอย่างรวดเร็วหรือมีการบำบัดโดยวิธีการทางชีวเคมีเพิ่มเติมมาจากการดูดซับ OC ไว้ในช่องว่างขนาดเล็กในดินด้วยแรงแคปิลารี

เมื่อมีการประเมินประสิทธิภาพโดย BST ความสัมพันธ์ทางบวกลักษณะที่นำเชื่อถือเฉพาะที่สัปดาห์แรกเพราะ UT-C ใน BS (ตารางที่ 2(b)) ยังไม่สามารถตรวจพบได้ ประสิทธิภาพของการบำบัดที่คำนวณได้ทั้งสองเทคนิคจึงเหมือนกัน ส่วนหลังจากนั้นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นกับ UT-C ใน TS (ตารางที่ 2(a)) และ BS (ตารางที่ 2(b)) นั้นไม่เหมือนกัน บทบาทของ Active Fe(III) ต่อ AAR จึงอาจไม่เด่นชัดเหมือนกับใน ตารางที่ 2a อนึ่งจาก ตารางที่ 3(b) จะเห็นประโยชน์ของการใช้ BST ประเมิน LFLOCTE (%) ได้ชัดเจน กล่าวคือพบว่ามีการบำบัดของ LFLOC สมบูรณ์แล้วตั้งแต่ 4 สัปดาห์เป็นต้นไป กล่าวคือค่า Active Fe(III) ในพิสัย 5,200-1,300 ppm Fe(III) สามารถบำบัด OC 192.0-76.8 ppm OC ได้ 100% ภายใน 4 สัปดาห์

การคำนวณหาประสิทธิภาพในการบำบัด OC จาก LFL โดยสองเทคนิคนี้ควบคู่กันจึงเป็นองค์ความรู้ที่มีประโยชน์ต่อการพัฒนาระบบบำบัด LFL ต่อไป

### สรุปผล

การศึกษาบบาทของ Active Fe(III) ที่มีต่อประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์คาร์บอนจากน้ำชะขยะชุมชนในระบบฝังกลบในดิน 4 ชนิดที่มี Active Fe(III) 5,200 ppm Fe (S<sub>1</sub>) 3,900 ppm Fe (S<sub>2</sub>) 2,600 ppm Fe (S<sub>3</sub>) และ 1,300 ppm Fe (S<sub>4</sub>) พบว่าสามารถบำบัดน้ำชะขยะในระบบอ้อมด้วยน้ำที่มีภาระ 192.0 ppm C (S<sub>1</sub>) 153.6 ppm C (S<sub>2</sub>) 115.2 ppm C (S<sub>3</sub>) และ 76.8 ppm C (S<sub>4</sub>) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ คือ 82.5 % 78.8 % 72.5% และ 60.0% ตั้งแต่สัปดาห์แรกและมีประสิทธิภาพ (TE) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ยกเว้นใน S<sub>4</sub> ซึ่งอยู่เพียงระดับนัยสำคัญตลอดช่วง 16 สัปดาห์ที่ศึกษาแต่เมื่อประเมินโดย BST พบว่า TE เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนเต็ม 100% ใน 4 สัปดาห์แรกแม้แต่ในดินที่มี Active Fe(III) น้อยสุด (S<sub>4</sub>; 1,300 ppm Fe) Active Fe(III) มีความสัมพันธ์ทางบวกอย่างมีนัยสำคัญยิ่งในทุกช่วงของการศึกษา จึงสามารถสรุปได้ว่า (ก) อิทธิพลทางบวกของ Active Fe(III) ต่อ LFLOCTE ที่สัปดาห์แรกของการคำนวณโดยวิธีทั้งปกติและโดย BST มีคุณค่าต่อการพัฒนาเป็นระบบบำบัดน้ำชะขยะในอนาคตเพราะให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูงสุดที่  $r = 0.965^{**}$  และค่าอัตราเพิ่มของประสิทธิภาพ  $(b = 5.7 \times 10^{-3})$  สูงสุดสำหรับการคำนวณโดยปกติและ (ข) การคำนวณโดยวิธี BST จะใช้ได้ผลดีเมื่อ Active Fe(III) ของดินไม่น้อยกว่า 1,300 ppm

### กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ และภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

### เอกสารอ้างอิง

กรมควบคุมมลพิษ. (2556). สถานการณ์ขยะของไทย วิกฤติขยะ 26 ล้านตัน กำจัดได้อย่างถูกต้องแค่ 7.2 ล้านตัน, แหล่งที่มา: <http://thai-publica.org/2014/09/thailands-garbage-crisis>, 2 กันยายน 2557.

นาวิ จันทรวงษ์. (2552). การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรีโดยระบบดินสภาพเปียกสลับแห้งร่วมกับ

หญ้าอาหารสัตว์ 3 ชนิด. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

วิล เจียมไชยศรี นัจริยา ศรีน้อย และอเนกประชา แก้วมณี. (2550). การบำบัดน้ำชะมูลฝอยโดยระบบบำบัดด้วยดินประดิษฐ์. โครงการวิจัยทุนอุดหนุนวิจัย มก. ปีงบประมาณ 2550. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ศิวาพร ตั้งวานิชกพงษ์. (2551). ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรีจังหวัดเพชรบุรี ด้วยระบบดินน้ำขังสลับแห้งร่วมกับโสน. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สิทธิชัย ต้นธนะสถิตย์. (2538). การใช้ดินตะกอนภาคพื้นสมุทรในสภาพน้ำขังสลับแห้งร่วมกับพืชเป็นต้นแบบ ในการบำบัดน้ำเสียชุมชน. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สุกัญญา สารณาคมนกุล. (2548). การศึกษาคุณสมบัติบางประการของน้ำเสียชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรีและประสิทธิภาพการบำบัดน้ำทิ้งชุมชนของพุทธรักษา ธรรมรักษา และชิงแดงในสภาพน้ำขังสลับแห้งของดินร่วมกับพืช. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

อรทัย เชื้อวงษ์. (2550). การศึกษาการบำบัดน้ำเสียชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรี จังหวัดเพชรบุรี ด้วยพุทธรักษา 3 พันธุ์ ในระบบดินน้ำขังสลับแห้งร่วมกับพืช. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

อรทัย เชื้อวงษ์, ไพบุลย์ ประพศิตธรรม และอรอนงค์ ผิวนิล. (2557). ประสิทธิภาพของระบบบ่อฝังในการบำบัดน้ำชะขยะจากหลุมฝังกลบขยะเทศบาลตำบลบ้านแหลม อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี. การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์ครั้งที่ 52, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 449 น.

APHA. (2005). Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water. twenty first ed. Washington, DC: American Public Health Association.

Artiola, F.J. and Fuller, W.H. (1982). Humic substances in landfill leachates. Journal of Environmental Quality 11(4): 663-669.

Brady, N.C. (1990). The Nature and Properties of Soils. 10<sup>th</sup> ed. New York: Macmillan.

Daniel C. H. (2007). Quantitative Chemical Analysis. 7<sup>th</sup> ed. W.H. United States of America: Freeman and Company.

Ewing, C. S. and Frank, A. K. (1962). The Nature of Atoms and Molecules. A general chemistry 138: 506.

Gomez, K.A. and Gomez, A.A. (1984). Statistical procedure for agricultural research. 2<sup>nd</sup> ed. USA: John Wiley & Sons.



- Hassink, J. (1997). The capacity of soils to preserve organic C and N by their association with clay and silt particles. *Plant and soil* 191: 77-87.
- Huo, S., Xi, B., Yu, H., He, L., Fan, S. and Liu, H. (2008). Characteristics of dissolved organic matter (DOM) in leachate with different landfill ages. *Environmental Science* 20(4): 492-498.
- Intaravicha, N., Prabuddham, P. and Popan, A. (2013). Potential of Thai Soil on the Anaerobic Treatment of Urban Wastewater in the Alternate Flooding and Drying of the Soil with Plant System. *Modern Applied Science* 7(5): 1-10.
- Jastrow, J.D., Amonette, J.E. and Bailey, V.L. (2007). Mechanisms controlling soil carbon turnover and their potential application for enhancing carbon sequestration. *Climate Change* 80: 5-23.
- Motomura, S., Seiraysosakol, A., Piyapongse P. and Cholitkul, W. (1979). Field observations and laboratory analysis of paddy soils in Thailand. *Tropical Agriculture Research Center, Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries, Japan*. 363 p.
- Vogel, C., Mueller, C.W., Hoschen, C., Buegger, F., Heister, K., Schulz, S., Schloter, M. and Kogel-Knabner, I. (2014). Submicron structures provide preferential spots for carbon and nitrogen sequestration in soils. *Nat. Commun.* 5: 2947.
- Wiesmeier, M., Hubner, R., Sporlein, P., Geuß, U., Hangen, E., Reischl, A., Schilling, B., von Lutzow, M. and Kogel-Knabner, I. (2014). Carbon sequestration potential of soils in southeast Germany derived from stable soil organic carbon saturation. *Glob Chang Biol.* 20: 653-665.

