

## T-VER-TOOL-WASTE-01

การคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากหลุมฝังกลบขยะมูลฝอยชุมชน

(Calculation for Emissions from Solid Waste Disposal Sites)

ฉบับที่ 05

## 1. บทนำ

เอกสารฉบับนี้เป็นเครื่องมือสำหรับการประเมินปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการย่อยสลายของสารอินทรีย์ในขยะมูลฝอยชุมชนในหลุมฝังกลบภายใต้สภาวะไร้อากาศ เครื่องมือนี้สามารถนำไปใช้กับโครงการที่ต้องการประเมินปริมาณการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการลดการฝังกลบขยะมูลฝอยชุมชน

## 2. คำนิยามที่เกี่ยวข้อง

### ขยะมูลฝอยชุมชน (Municipal solid waste)

หมายถึง เศษวัสดุที่ไม่มีผู้ใดต้องการ เช่น เศษกระดาษ เศษผ้า เศษอาหาร เศษพลาสติก เครื่องใช้ชำรุด เศษวัสดุจากการเกษตร การก่อสร้าง ตลอดจนกิ่งไม้ใบหญ้า หรือซากสัตว์ ที่เก็บรวบรวมและขนส่งมายังหลุมฝังกลบ

### หลุมฝังกลบขยะมูลฝอยชุมชน (Solid waste disposal site)

สถานที่กำจัดขยะมูลฝอยชุมชนโดยการฝังกลบและมีการบดอัดและกลบทับขยะมูลฝอยชุมชน โดยมีความลึกของหลุมตั้งแต่ 1.5 เมตร ขึ้นไปและภายในหลุมฝังกลบมีสภาวะไร้อากาศ

## 3. ลักษณะของกิจกรรมที่เข้าข่าย และเงื่อนไขการนำไปใช้

เครื่องมือนี้เหมาะสำหรับกิจกรรมที่ช่วยลดการนำขยะอินทรีย์ไปกำจัดโดยการฝังกลบ โดยสามารถใช้ในการคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการย่อยสลายของสารอินทรีย์ในขยะมูลฝอยชุมชนในหลุมฝังกลบภายใต้สภาวะไร้อากาศ

## 4. การคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากหลุมฝังกลบขยะมูลฝอยชุมชน

การจัดการขยะมูลฝอยชุมชนโดยการฝังกลบจะทำให้เกิดการปล่อยก๊าซมีเทน ( $CH_4$ ) ออกสู่บรรยากาศ ก๊าซมีเทนภายในหลุมฝังกลบเกิดจากการย่อยสลายของขยะอินทรีย์ อาทิ อาหาร (เศษผักผลไม้) กิ่งไม้/ใบไม้ภายใต้สภาวะไร้อากาศ ปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดภายในหลุมฝังกลบขึ้นอยู่กับลักษณะของหลุมฝังกลบ หลุมฝังกลบที่มีระบบกันซึม มีการกลบทับและบดอัดจะทำให้เกิดสภาวะไร้อากาศมากกว่าการเทกอง อย่างไรก็ตาม ก๊าซมีเทนบางส่วนอาจเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับอากาศภายในชั้นวัสดุกลบทับกลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ( $CO_2$ ) ก่อนออกสู่บรรยากาศ การคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากหลุมฝังกลบขยะมูลฝอยชุมชนมีรายละเอียด ดังนี้

### 4.1 ที่มาของการคำนวณ

ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากหลุมฝังกลบขยะมูลฝอยชุมชนสามารถคำนวณได้จากสมการ First Order Decay (FOD) เมื่อทราบปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนที่สามารถย่อยสลายได้ที่สะสม

ในหลุมฝังกลบและปริมาณของปีล่าสุดจะสามารถคำนวณปริมาณการเกิดก๊าซมีเทนได้โดยคิดว่าปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนที่สามารถย่อยสลายได้ของแต่ละปีเป็นปีที่ 1 ในการคำนวณแบบอนุกรมเวลา (time series) โดยกำหนดสมมติฐานว่าจะเริ่มเกิดก๊าซมีเทนจากขยะมูลฝอยชุมชนที่นำมาฝังกลบในวันแรกของปีถัดไป เนื่องจากในช่วงแรกการย่อยสลายจะเป็นแบบใช้อากาศ อย่างไรก็ตาม หากต้องการคิดปริมาณการเกิดก๊าซมีเทนจากการย่อยสลายแบบไร้อากาศก่อนครบ 1 ปี จะต้องแยกการคำนวณค่าสำหรับปีแรกออกต่างหาก โดยค่า default ที่ใช้ในการคำนวณได้จากข้อมูลเฉพาะขององค์ประกอบของขยะมูลฝอยชุมชน ลักษณะของหลุมฝังกลบ และสภาพภูมิอากาศ

การคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการฝังกลบขยะมูลฝอยชุมชนคิดเฉพาะการปล่อยก๊าซมีเทน (CH<sub>4</sub>) ซึ่งเกิดจากการย่อยสลายของขยะอินทรีย์ในหลุมฝังกลบภายใต้สภาวะไร้อากาศ เฉพาะส่วนที่ไม่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับอากาศภายในชั้นวัสดุกลบทับ ขยะอินทรีย์ ประกอบด้วย ไม้ กระดาษ อาหาร สิ่งทอ กิ่งไม้/ใบไม้

การปล่อยก๊าซมีเทน(CH<sub>4</sub>) จากหลุมฝังกลบขยะมูลฝอยชุมชน สามารถคำนวณได้โดยใช้สมการที่ 1 ดังนี้

$$BE_{CH_4,SWDS,y} = \phi_y \times (1-f_y) \times GWP_{CH_4} \times (1-OX) \times 16/12 \times F \times DOC_{f,y} \times MCF_y \times \sum_{x=1}^y \cdot \sum_j W_{x,p_j} \times DOC_j \times e^{-kj(y-x)} \times (1-e^{-kj}) \quad \text{-- (สมการที่ 1)}$$

โดยที่

- BE<sub>CH<sub>4</sub>,SWDS,y</sub> = ปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทน(CH<sub>4</sub>) จากหลุมฝังกลบขยะมูลฝอยชุมชนในปี y (tCO<sub>2</sub>e)
- y = ปีที่คำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก
- x = ปีที่ทำการคำนวณ นับจากปีแรกที่ทำการฝังกลบขยะมูลฝอยชุมชน(x = 1) ถึงปีที่ทำการคำนวณ (x = y)
- j = ประเภทขององค์ประกอบของขยะมูลฝอยชุมชน
- φ<sub>y</sub> = ค่าปรับแก้ความไม่แน่นอนของสมการคำนวณ (Model correction factor) ในปี y (Default 0.85)
- f<sub>y</sub> = สัดส่วนของก๊าซมีเทนที่ถูกบังคับให้รวบรวมจากหลุมฝังกลบและนำไปเผาหึ่งผลิตพลังงานไฟฟ้า หรือใช้ประโยชน์อื่น ๆ ในปี y (กรณีที่ไม่มีกรรวบรวม ค่าจะเท่ากับ 0)
- GWP<sub>CH<sub>4</sub></sub> = ศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อนของก๊าซมีเทน(Default 25tCO<sub>2</sub>e/tCH<sub>4</sub>)
- OX = ค่า Oxidation Factor(สัดส่วนของก๊าซมีเทนที่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับอากาศภายในชั้นวัสดุกลบทับ) (Default 0.1)
- 16/12 = ปรับค่าคาร์บอนให้เป็นมีเทน
- F = สัดส่วนของก๊าซมีเทนในก๊าซทั้งหมดที่เกิดจากการฝังกลบขยะมูลฝอยชุมชน (สัดส่วนเชิงปริมาณ) (Default 0.5)
- DOC<sub>f,y</sub> = สัดส่วนของสารอินทรีย์คาร์บอนที่สามารถย่อยสลายได้ ในปี y(Default 0.5)

$MCF_y$  = ค่าMethane Correction Factorมีค่าแตกต่างกันตามลักษณะของหลุมฝังกลบ ในปี y (Default 0.4 - 1.0)

ประเภทของหลุมฝังกลบ	ค่า MCF
มีระบบจัดการ การกลบทับ และระบบกันซึม	1.0
ไม่มีระบบจัดการ (ลึกมากกว่า 5 เมตร)	0.8
แบบกึ่งใช้ออกซิเจน (semi-aerobic)*	0.5
ไม่มีระบบจัดการ (ลึกน้อยกว่า 5 เมตร)	0.4

ที่มา: ตารางที่ 3.1 หน้า 3.14 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Volume 5: Waste

\* ลักษณะสำคัญของหลุมฝังกลบแบบกึ่งใช้ออกซิเจน ได้แก่ อากาศสามารถซึมผ่านวัสดุกลบทับได้ มีระบบระบายน้ำชะขยะมูลฝอยชุมชน มีการรักษาความจุของหลุมฝังกลบ มีระบบระบายก๊าซจากหลุมฝังกลบ

$W_x$  = ปริมาณขยะมูลฝอยชุมชน ในปีx (t น้ำหนักเปียก)

$p_j$  = สัดส่วนโดยน้ำหนักของขยะมูลฝอยชุมชนประเภท j

$DOC_j$  = สัดส่วนของสารอินทรีย์คาร์บอนที่ย่อยสลายได้ (โดยน้ำหนักเปียก) ของขยะอินทรีย์ประเภท j (Default 0.15-0.43)

$k_j$  = อัตราการย่อยสลายของขยะอินทรีย์ประเภท j (1/ปี) (Default 0.035-0.40)

ประเภทของขยะมูลฝอยชุมชน	ค่า DOC*	ค่า k
ไม้	0.43	0.035
กระดาษ	0.40	0.07
อาหาร	0.15	0.40
สิ่งทอ	0.24	0.07
กิ่งไม้/ใบไม้	0.20	0.17

ที่มา: 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Volume 5: Waste ตารางที่ 2.4 หน้า 2.14 และ ตารางที่ 3.3 หน้า 3.17

\* ค่าสัดส่วนในขยะสด (น้ำหนักเปียก)

#### 4.2 การคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากหลุมฝังกลบขยะมูลฝอยชุมชน

ในกรณีที่กิจกรรมของโครงการนำขยะมูลฝอยชุมชนไปกำจัดโดยวิธีการอื่นแทนวิธีการฝังกลบ เช่น การนำไปเผาเพื่อผลิตพลังงาน การทำปุ๋ยหมัก การหมักแบบไร้อากาศเพื่อนำก๊าซมีเทนที่ได้มาใช้ประโยชน์ในด้านพลังงาน ซึ่งไม่ทำให้สารอินทรีย์ในขยะมูลฝอยชุมชนเกิดการย่อยสลายภายใต้สภาวะไร้อากาศและเกิดการปล่อยก๊าซมีเทนออกสู่บรรยากาศอีกดังเช่นที่เกิดในหลุมฝังกลบ ให้คำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนจากหลุมฝังกลบซึ่งโครงการสามารถหลีกเลี่ยงได้โดยคิดระยะเวลาการย่อยสลาย

ของสารอินทรีย์ในหลุมฝังกลบเป็นเวลา 100 ปีโดยใช้สมการที่ 2 ซึ่งเป็นสมการอย่างง่ายที่ได้จากสมการที่ 1 ในการคำนวณดังนี้

$$BE_{CH_4,SWDS,y} = W_y \times (p_{ไม้,y} \times 4.02 + p_{กระดาษ,y} \times 3.72 + p_{อาหาร,y} \times 1.00 + p_{สิ่งทอ,y} \times 2.23 + p_{กิ่งไม้และใบไม้,y} \times 1.68) \times CF \times 0.1 \text{ -- (สมการที่ 2)}$$

โดยที่

- $BE_{CH_4,SWDS,y}$  = ปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทน(CH<sub>4</sub>) จากหลุมฝังกลบขยะมูลฝอยชุมชนในปี y (tCO<sub>2</sub>e)
- $W_y$  = ปริมาณขยะมูลฝอยชุมชนที่นำไปกำจัดโดยวิธีการอื่นแทนวิธีการฝังกลบในปี y (t น้ำหนักเปียก)
- $p_{ไม้,y}$  = สัดส่วนโดยน้ำหนักของขยะมูลฝอยชุมชนประเภทไม้ในปี y
- $p_{กระดาษ,y}$  = สัดส่วนโดยน้ำหนักของขยะมูลฝอยชุมชนประเภทกระดาษในปี y
- $p_{อาหาร,y}$  = สัดส่วนโดยน้ำหนักของขยะมูลฝอยชุมชนประเภทอาหารในปี y
- $p_{สิ่งทอ,y}$  = สัดส่วนโดยน้ำหนักของขยะมูลฝอยชุมชนประเภทสิ่งทอในปี y
- $p_{กิ่งไม้และใบไม้,y}$  = สัดส่วนโดยน้ำหนักของขยะมูลฝอยชุมชนประเภทกิ่งไม้และใบไม้ในปี y
- CF = แฟคเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณ ซึ่งมีค่าต่างกันตามค่า MCF ดังนี้

ประเภทของหลุมฝังกลบ	ค่าMCF	CF
มีระบบจัดการ การกลบทับ และระบบกันซึม	1	6.38
ไม่มีระบบจัดการ (ลึกมากกว่า 5 เมตร)	0.8	5.10
แบบกึ่งใช้ออกซิเจน (semi-aerobic)	0.5	3.19
ไม่มีระบบจัดการ (ลึกน้อยกว่า 5 เมตร)	0.4	2.55

## 5. พารามิเตอร์ที่ต้องติดตามผล

พารามิเตอร์	$W_y$
หน่วย	t (น้ำหนักเปียก)
ความหมาย	ปริมาณขยะมูลฝอยชุมชนที่นำไปกำจัดโดยวิธีการอื่นแทนวิธีการฝังกลบในปี y (t น้ำหนักเปียก)
แหล่งข้อมูล	รายงานการตรวจวัด
วิธีการติดตามผล	<p>ทางเลือกที่ 1 ตรวจวัดน้ำหนักขยะมูลฝอยชุมชนที่ถูกกำจัดด้วยวิธีการอื่นแทนการฝังกลบตลอดช่วงของการติดตามผล โดยรายงานข้อมูลที่มีความละเอียดเป็นรายเดือน</p> <p>ทางเลือกที่ 2 ประเมินจากปริมาตรบรรทุกของรถที่ใช้ในการขนส่งขยะมูลฝอยชุมชน หรือปริมาตรบรรจุของภาชนะ ความหนาแน่นและจำนวนเที่ยวรถ/ภาชนะบรรจุโดยรายงานข้อมูลที่มีความละเอียดเป็นรายเดือน</p>

	<p>ทางเลือกที่ 3 ใช้ค่าคงที่ที่ได้รับความเห็นชอบจาก อบก. ในการคำนวณหาปริมาณขยะอินทรีย์ โดยต้องมีการติดตามพารามิเตอร์ (เช่น จำนวนคน จำนวนวันที่ดำเนินกิจกรรม เป็นต้น) ที่นำมาคำนวณร่วมกับค่าคงที่และรายงานข้อมูลพารามิเตอร์นั้นความละเอียดเป็นรายเดือน</p> <p>ยกตัวอย่าง เช่น ปริมาณขยะเศษอาหารในครัวเรือน สามารถคำนวณได้จาก ค่าคงที่อัตราการเกิดขยะเศษอาหารของครัวเรือน (กิโลกรัมต่อคนต่อวัน) คูณพารามิเตอร์ จำนวนคน และจำนวนวันที่ดำเนินกิจกรรม</p>
--	--

พารามิเตอร์	$P_{j,y}$
หน่วย	-
ความหมาย	สัดส่วนโดยน้ำหนักของขยะมูลฝอยชุมชนประเภท $j$ ในปี $y$
แหล่งข้อมูล	<p>รายงานผลการสุ่มตัวอย่างขยะมูลฝอยชุมชนที่ถูกกำจัดด้วยวิธีการอื่นแทนการฝังกลบ เพื่อหองค์ประกอบของขยะมูลฝอยชุมชน ปีละ 2 ครั้ง ครอบคลุมทั้งช่วงหน้าแล้งและช่วงหน้าฝน</p> <p>หมายเหตุ: ในขั้นตอนการจัดทำเอกสารข้อเสนอโครงการเพื่อขอขึ้นทะเบียนเป็นโครงการ T-VER สามารถอ้างอิงค่าจากรายงานผลการศึกษาของพื้นที่อื่นในประเทศไทยที่มีลักษณะใกล้เคียงกันที่สามารถระบุแหล่งข้อมูลอ้างอิงได้อย่างชัดเจน</p>
วิธีการติดตามผล	<p>สุ่มตัวอย่างขยะมูลฝอยชุมชนที่ถูกกำจัดด้วยวิธีการอื่นแทนการฝังกลบ เพื่อหองค์ประกอบทางกายภาพ</p> <p>การสุ่มเก็บตัวอย่างควรทำ ณ สถานที่กำจัดขยะมูลฝอยชุมชน โดยเก็บตัวอย่างอย่างน้อยวันละ 1 ครั้ง ต่อเนื่องกัน 3 วัน ครอบคลุมทั้งวันธรรมดาและวันหยุด</p> <p>ขั้นตอนการสุ่มตัวอย่าง มีรายละเอียด ดังนี้</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. สุ่มตัวอย่างโดยตักขยะมูลฝอยชุมชนจากหลาย ๆ กองมาประมาณ 1 ลูกบาศก์เมตร</li> <li>2. กรณีที่ขยะมูลฝอยชุมชนมีขนาดใหญ่ควรตัดให้มีขนาดเล็กลง</li> <li>3. คลุกขยะมูลฝอยชุมชนให้เข้ากัน และแบ่งออกเป็น 4 ส่วน (quartering) และเลือกสุ่ม 2 กอง ที่อยู่ด้านตรงข้ามมารวมกัน แล้วคลุกให้เข้ากัน แบ่งออกเป็น 4 ส่วน และเลือกสุ่ม 2 กอง ที่อยู่ด้านตรงข้ามมารวมกัน ทำซ้ำไปเรื่อย ๆ จนเหลือขยะมูลฝอยชุมชนประมาณ 0.05 ลูกบาศก์เมตร (50 ลิตร)</li> </ol>

	<p>4. คัดแยกองค์ประกอบของขยะมูลฝอยชุมชน ได้แก่ (1) ไม้ (2) กระดาษ (3) อาหาร (4) สิ่งทอ (5) กิ่งไม้/ใบไม้ (6) ยาง/หนัง (7) พลาสติก/โฟม (8) ผ้าอ้อม/ผ้าอนามัย (9) อื่นๆ เช่น แก้ว โลหะ หิน กระเบื้อง</p> <p>5. ชั่งน้ำหนักขยะมูลฝอยชุมชนแต่ละประเภท โดยให้รายงานองค์ประกอบขยะมูลฝอยชุมชนแต่ละประเภทเป็นค่าสัดส่วนโดยน้ำหนัก</p>
--	---

เอกสารอ้างอิง

1. CDM Methodological tool: Emissions from solid waste disposal sites
2. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Volume 5 Waste
3. คู่มือการกรอกแบบสำรวจข้อมูลการจัดการขยะมูลฝอยชุมชนขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น/  
สำนักจัดการกากของเสียและสารอันตราย กรมควบคุมมลพิษ



## บันทึกการแก้ไข T-VER-TOOL-WASTE-01

ฉบับที่	แก้ไขครั้งที่	วันที่บังคับใช้	รายการแก้ไข
05	4	24 มิถุนายน 2562	<p>ปรับแก้ไขข้อความสำหรับทางเลือกในการติดตามผลพารามิเตอร์ <math>W_y</math> (ปริมาณขยะอินทรีย์ ในปี <math>y</math>) ทางเลือกที่ 3</p> <p>“ใช้ค่าคงที่ที่ได้รับความเห็นชอบจาก อบก. ในการคำนวณหาปริมาณขยะอินทรีย์ โดยต้องมีการติดตามพารามิเตอร์ (เช่น จำนวนคน จำนวนวันที่ดำเนินกิจกรรม เป็นต้น) ที่นำมาคำนวณร่วมกับค่าคงที่และรายงานข้อมูลพารามิเตอร์นั้นความละเอียดเป็นรายเดือน</p> <p>ยกตัวอย่าง เช่น ปริมาณขยะเศษอาหารในครัวเรือนสามารถคำนวณได้จาก ค่าคงที่อัตราการเกิดขยะเศษอาหารของครัวเรือน (กิโลกรัมต่อคนต่อวัน) คูณพารามิเตอร์ จำนวนคน และจำนวนวันที่ดำเนินกิจกรรม”</p>
04	3	2 เมษายน 2562	<p>เพิ่มทางเลือกในการติดตามผลพารามิเตอร์ <math>W_y</math> (ปริมาณขยะอินทรีย์ ในปี <math>y</math>) ทางเลือกที่ 3 ใช้ค่าคงที่เพื่อประเมินปริมาณขยะอินทรีย์ ซึ่งรายงานข้อมูลที่มีความละเอียดเป็นรายเดือน โดยค่าคงที่ที่นำมาใช้ประเมินต้องได้รับความเห็นชอบจาก อบก.</p>
03	2	4 กันยายน 2560	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ปรับแก้ไขความหมายและวิธีการติดตามผลของพารามิเตอร์ <math>W_y</math></li> <li>- ปรับแก้ไขแหล่งข้อมูลและวิธีการติดตามผลของพารามิเตอร์ <math>p_{i,y}</math></li> </ul>
02	1	22 เมษายน 2559	<ul style="list-style-type: none"> <li>- หน้า 4 ปรับแก้ไขข้อความจาก “โดยไม่ทำให้สารอินทรีย์ในขยะมูลฝอยชุมชนเกิดการย่อยสลายภายใต้สภาวะไร้อากาศและเกิดก๊าซมีเทน” เป็น “โดยไม่ทำให้สารอินทรีย์ในขยะมูลฝอยชุมชนเกิดการย่อยสลายภายใต้สภาวะไร้อากาศและเกิดการปล่อยก๊าซมีเทนออกสู่บรรยากาศอีกด้วยดังเช่นที่เกิดในหลุมฝังกลบ”</li> </ul>

			<ul style="list-style-type: none"><li>- ปรับแก้ไขสัญลักษณ์และความหมายของพารามิเตอร์ที่ใช้ในสมการที่ 2</li><li>- ปรับแก้ไขวิธีการตรวจวัดพารามิเตอร์ <math>W_y</math></li><li>- ปรับแก้ไขแหล่งข้อมูลและวิธีการตรวจวัดพารามิเตอร์ <math>p_{j,y}</math></li></ul>
01	-	25 มีนาคม 2558	-