

T-VER-TOOL-WASTE-01

การคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากหลุมฝังกลบขยะมูลฝอยชุมชน

(Calculation for Emissions from Solid Waste Disposal Sites)

ฉบับที่ 04

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 (CH₄) ซึ่งเกิดจากการย่อยสลายของขยะอินทรีย์ในหลุมฝังกลบภายใต้สภาวะไร้อากาศ เฉพาะส่วนที่ไม่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับอากาศภายในชั้นวัสดุกลบทับ ขยะอินทรีย์ ประกอบด้วย ไม้ กระดาษ อาหาร สิ่งทอ กิ่งไม้/ใบไม้

การปล่อยก๊าซมีเทน(CH₄) จากหลุมฝังกลบขยะมูลฝอยชุมชน สามารถคำนวณได้โดยใช้สมการที่ 1 ดังนี้

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

โดยที่

- BE_{CH₄,SWDS,y} = ปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทน(CH₄) จากหลุมฝังกลบขยะมูลฝอยชุมชนในปี y (tCO₂e)
- y = ปีที่คำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก
- x = ปีที่ทำการคำนวณ นับจากปีแรกที่ทำการฝังกลบขยะมูลฝอยชุมชน(x = 1) ถึงปีที่ทำการคำนวณ (x = y)
- j = ประเภทขององค์ประกอบของขยะมูลฝอยชุมชน
- φ_y = ค่าปรับแก้ความไม่แน่นอนของสมการคำนวณ (Model correction factor) ในปี y (Default 0.85)
- f_y = สัดส่วนของก๊าซมีเทนที่ถูกบังคับให้รวบรวมจากหลุมฝังกลบและนำไปเผาหึ่งผลิตพลังงานไฟฟ้า หรือใช้ประโยชน์อื่น ๆ ในปี y (กรณีที่ไม่มีกรรวบรวม ค่าจะเท่ากับ 0)
- GWP_{CH₄} = ศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อนของก๊าซมีเทน(Default 25tCO₂e/tCH₄)
- OX = ค่า Oxidation Factor(สัดส่วนของก๊าซมีเทนที่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับอากาศภายในชั้นวัสดุกลบทับ) (Default 0.1)
- 16/12 = ปรับค่าคาร์บอนให้เป็นมีเทน
- F = สัดส่วนของก๊าซมีเทนในก๊าซทั้งหมดที่เกิดจากการฝังกลบขยะมูลฝอยชุมชน (สัดส่วนเชิงปริมาณ) (Default 0.5)
- DOC_{f,y} = 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

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

โดยที่

- $BE_{CH_4,SWDS,y}$ = ปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทน(CH_4) จากหลุมฝังกลบขยะมูลฝอยชุมชนในปี y (tCO_2e)
- 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 | ทางเลือกที่ 1 ตรวจวัดน้ำหนักขยะมูลฝอยชุมชนที่ถูกกำจัดด้วยวิธีการอื่นแทนการฝังกลบตลอดช่วงของการติดตามผล โดยรายงานข้อมูลที่มีความละเอียดเป็นรายเดือน ทางเลือกที่ 2 ประเมินจากปริมาตรบรรทุกของรถที่ใช้ในการขนส่งขยะมูลฝอยชุมชน หรือปริมาตรบรรจุของภาชนะ ความหนาแน่นและจำนวนเที่ยวรถ/ภาชนะบรรจุโดยรายงานข้อมูลที่มีความละเอียดเป็นรายเดือน |

| | |
|--|---|
| | ทางเลือกที่ 3 ใช้ค่าคงที่เพื่อประเมินปริมาณขยะอินทรีย์ ซึ่งรายงานข้อมูลที่มีความละเอียดเป็นรายเดือน โดยค่าคงที่ที่นำมาใช้ประเมินต้องได้รับความเห็นชอบจาก อบก. |
|--|---|

| | |
|-----------------|--|
| พารามิเตอร์ | $P_{j,y}$ |
| หน่วย | - |
| ความหมาย | สัดส่วนโดยน้ำหนักของขยะมูลฝอยชุมชนประเภท j ในปี y |
| แหล่งข้อมูล | รายงานผลการสุ่มตัวอย่างขยะมูลฝอยชุมชนที่ถูกกำจัดด้วยวิธีการอื่นแทนการฝังกลบ เพื่อหองค์ประกอบของขยะมูลฝอยชุมชน ปีละ 2 ครั้ง ครอบคลุมทั้งช่วงหน้าแล้งและช่วงหน้าฝน หมายเหตุ: ในขั้นตอนการจัดทำเอกสารข้อเสนอโครงการเพื่อขอขึ้นทะเบียนเป็นโครงการ T-VER สามารถอ้างอิงค่าจากรายงานผลการศึกษาของพื้นที่อื่นในประเทศไทยที่มีลักษณะใกล้เคียงกันที่สามารถระบุแหล่งข้อมูลอ้างอิงได้อย่างชัดเจน |
| วิธีการติดตามผล | สุ่มตัวอย่างขยะมูลฝอยชุมชนที่ถูกกำจัดด้วยวิธีการอื่นแทนการฝังกลบ เพื่อหองค์ประกอบทางกายภาพ การสุ่มเก็บตัวอย่างควรทำ ณ สถานที่กำจัดขยะมูลฝอยชุมชน โดยเก็บตัวอย่างอย่างน้อยวันละ 1 ครั้ง ต่อเนื่องกัน 3 วัน ครอบคลุมทั้งวันธรรมดาและวันหยุด ขั้นตอนการสุ่มตัวอย่าง มีรายละเอียด ดังนี้ 1. สุ่มตัวอย่างโดยตักขยะมูลฝอยชุมชนจากหลาย ๆ กองมาประมาณ 1 ลูกบาศก์เมตร 2. กรณีที่ขยะมูลฝอยชุมชนมีขนาดใหญ่ควรตัดให้มีขนาดเล็กลง 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) 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 5. ชั่งน้ำหนักขยะมูลฝอยชุมชนแต่ละประเภท โดยให้รายงานองค์ประกอบขยะมูลฝอยชุมชนแต่ละประเภทเป็นค่าสัดส่วนโดยน้ำหนัก |

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 |
|---------|---------------|-----------------|--|
| 04 | 3 | - | เพิ่มทางเลือกในการติดตามผลพารามิเตอร์ W_y (ปริมาณขยะอินทรีย์ ในปี y) ทางเลือกที่ 3 ใช้ค่าคงที่เพื่อประเมินปริมาณขยะอินทรีย์ ซึ่งรายงานข้อมูลที่มีความละเอียดเป็นรายเดือน โดยค่าคงที่ที่นำมาใช้ประเมินต้องได้รับความเห็นชอบจาก อบก. |
| 03 | 2 | 4 กันยายน 2560 | <ul style="list-style-type: none"> - ปรับแก้ไขความหมายและวิธีการติดตามผลของพารามิเตอร์ W_y - ปรับแก้ไขแหล่งข้อมูลและวิธีการติดตามผลของพารามิเตอร์ $p_{j,y}$ |
| 02 | 1 | 22 เมษายน 2559 | <ul style="list-style-type: none"> - หน้า 4 ปรับแก้ไขข้อความจาก “โดยไม่ทำให้สารอินทรีย์ในขยะมูลฝอยชุมชนเกิดการย่อยสลายภายใต้สภาวะไร้อากาศและเกิดก๊าซมีเทน” เป็น “โดยไม่ทำให้สารอินทรีย์ในขยะมูลฝอยชุมชนเกิดการย่อยสลายภายใต้สภาวะไร้อากาศและเกิดการปล่อยก๊าซมีเทนออกสู่บรรยากาศอีกด้วย ดังเช่นที่เกิดในหลุมฝังกลบ” - ปรับแก้ไขสัญลักษณ์และความหมายของพารามิเตอร์ที่ใช้ในสมการที่ 2 - ปรับแก้ไขวิธีการตรวจวัดพารามิเตอร์ W_y - ปรับแก้ไขแหล่งข้อมูลและวิธีการตรวจวัดพารามิเตอร์ $p_{j,y}$ |
| 01 | - | 25 มีนาคม 2558 | - |