**T-VER-TOOL-WASTE-01**

**การคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากหลุมฝังกลบขยะมูลฝอยชุมชน**

**(Calculation for Emissions from Solid Waste Disposal Sites)**

**ฉบับที่ 05**

**1. บทนำ**

เอกสารฉบับนี้เป็นเครื่องมือสำหรับการประเมินปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการย่อยสลายของสารอินทรีย์ในขยะมูลฝอยชุมชนในหลุมฝังกลบภายใต้สภาวะไร้อากาศเครื่องมือนี้สามารถนำไปใช้กับโครงการที่ต้องการประเมินปริมาณการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการลดการฝังกลบขยะมูลฝอยชุมชน

**2. คำนิยามที่เกี่ยวข้อง**

**ขยะมูลฝอยชุมชน (Municipal solid waste)**

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

**หลุมฝังกลบขยะมูลฝอยชุมชน (Solid waste disposal site)**

สถานที่กำจัดขยะมูลฝอยชุมชนโดยการฝังกลบและมีการบดอัดและกลบทับขยะมูลฝอยชุมชนโดยมีความลึกของหลุมตั้งแต่ 1.5 เมตร ขึ้นไปและภายในหลุมฝังกลบมีสภาวะไร้อากาศ

**3. ลักษณะของกิจกรรมที่เข้าข่าย และเงื่อนไขการนำไปใช้**

เครื่องมือนี้เหมาะสำหรับกิจกรรมที่ช่วยลดการนำขยะอินทรีย์ไปกำจัดโดยการฝังกลบโดยสามารถใช้ในการคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการย่อยสลายของสารอินทรีย์ในขยะ  
มูลฝอยชุมชนในหลุมฝังกลบภายใต้สภาวะไร้อากาศ

**4. การคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากหลุมฝังกลบขยะมูลฝอยชุมชน**

การจัดการขยะมูลฝอยชุมชนโดยการฝังกลบจะทำให้เกิดการปล่อยก๊าซมีเทน (CH4) ออกสู่บรรยากาศ ก๊าซมีเทนภายในหลุมฝังกลบเกิดจากการย่อยสลายของขยะอินทรีย์อาทิ อาหาร (เศษผัก ผลไม้) กิ่งไม้/ใบไม้ภายใต้สภาวะไร้อากาศปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดภายในหลุมฝังกลบขึ้นอยู่กับลักษณะของหลุมฝังกลบ หลุมฝังกลบที่มีระบบกันซึม มีการกลบทับและบดอัดจะทำให้เกิดสภาวะไร้อากาศมากกว่าการเทกอง อย่างไรก็ตาม ก๊าซมีเทนบางส่วนอาจเกิดปฏิกิริยาอ๊อกซิเดชั่นกับอากาศภายในชั้นวัสดุกลบทับกลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2) ก่อนออกสู่บรรยากาศ การคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากหลุมฝังกลบขยะมูลฝอยชุมชนมีรายละเอียด ดังนี้

**4.1 ที่มาของการคำนวณ**

ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากหลุมฝังกลบขยะมูลฝอยชุมชนสามารถคำนวณได้จากสมการ First Order Decay (FOD) เมื่อทราบปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนที่สามารถย่อยสลายได้ที่สะสมในหลุมฝังกลบและปริมาณของปีล่าสุดจะสามารถคำนวณปริมาณการเกิดก๊าซมีเทนได้โดยคิดว่าปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนที่สามารถย่อยสลายได้ของแต่ละปีเป็นปีที่ 1 ในการคำนวณแบบอนุกรมเวลา (time series) โดยกำหนดสมมติฐานว่าจะเริ่มเกิดก๊าซมีเทนจากขยะมูลฝอยชุมชนที่นำมาฝังกลบในวันแรกของปีถัดไป เนื่องจากในช่วงแรกการย่อยสลายจะเป็นแบบใช้อากาศ อย่างไรก็ตาม หากต้องการคิดปริมาณการเกิดก๊าซมีเทนจากการย่อยสลายแบบไร้อากาศก่อนครบ 1 ปี จะต้องแยกการคำนวณค่าสำหรับปีแรกออกต่างหาก โดยค่า default ที่ใช้ในการคำนวณได้จากข้อมูลเฉพาะขององค์ประกอบของขยะมูลฝอยชุมชน ลักษณะของหลุมฝังกลบ และสภาพภูมิอากาศ

การคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการฝังกลบขยะมูลฝอยชุมชนคิดเฉพาะการปล่อยก๊าซมีเทน (CH4) ซึ่งเกิดจากการย่อยสลายของขยะอินทรีย์ในหลุมฝังกลบภายใต้สภาวะไร้อากาศเฉพาะส่วนที่ไม่เกิดปฏิกิริยาอ๊อกซิเดชั่นกับอากาศภายในชั้นวัสดุกลบทับ ขยะอินทรีย์ ประกอบด้วย ไม้ กระดาษ อาหาร สิ่งทอ กิ่งไม้/ใบไม้

การปล่อยก๊าซมีเทน(CH4) จากหลุมฝังกลบขยะมูลฝอยชุมชน สามารถคำนวณได้โดยใช้สมการที่ 1 ดังนี้

BECH4,SWDS,y=ϕyx (1-fy) x GWPCH4 x (1-OX) x 16/12 x F x DOCf,y x MCFy x

xxpjxDOCj x e-kj(y-x) x(1-e-kj) -- (สมการที่ 1)

โดยที่

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| BECH4,SWDS,y | = | ปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทน(CH4) จากหลุมฝังกลบขยะมูลฝอยชุมชนในปี y (tCO2e) |
| y | = | ปีที่คำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก |
| x | = | ปีที่ทำการคำนวณ นับจากปีแรกที่ทำการฝังกลบขยะมูลฝอยชุมชน(x = 1) ถึงปีที่ทำการคำนวณ (x = y) |
| j | = | ประเภทขององค์ประกอบของขยะมูลฝอยชุมชน |
| ϕy | = | ค่าปรับแก้ความไม่แน่นอนของสมการคำนวณ (Model correction factor)ในปี y (Default 0.85) |
| fy | = | สัดส่วนของก๊าซมีเทนที่ถูกบังคับให้รวบรวมจากหลุมฝังกลบและนำไปเผาทิ้ง ผลิตพลังงานไฟฟ้า หรือใช้ประโยชน์อื่น ๆ ในปี y(กรณีที่ไม่มีการรวบรวม ค่าจะเท่ากับ 0) |
| GWPCH4 | = | ศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อนของก๊าซมีเทน(Default 25tCO2e/tCH4) |
| OX | = | ค่า Oxidation Factor(สัดส่วนของก๊าซมีเทนที่เกิดปฏิกิริยาอ๊อกซิเดชั่นกับอากาศภายในชั้นวัสดุกลบทับ) (Default 0.1) |
| 16/12 | = | ปรับค่าคาร์บอนให้เป็นมีเทน |
| F | = | สัดส่วนของก๊าซมีเทนในก๊าซทั้งหมดที่เกิดจากการฝังกลบขยะมูลฝอยชุมชน(สัดส่วนเชิงปริมาณ) (Default 0.5) |
| DOCf,y | = | สัดส่วนของสารอินทรีย์คาร์บอนที่สามารถย่อยสลายได้ ในปี y(Default 0.5) |
| MCFy | = | 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 |
| Wx | = | ปริมาณขยะมูลฝอยชุมชน ในปีx (t น้ำหนักเปียก) |
| pj | = | สัดส่วนโดยน้ำหนักของขยะมูลฝอยชุมชนประเภท j |
| DOCj | = | สัดส่วนของสารอินทรีย์คาร์บอนที่ย่อยสลายได้ (โดยน้ำหนักเปียก) ของขยะอินทรีย์ประเภท j (Default 0.15-0.43) |
| kj | = | 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)

**4.2การคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากหลุมฝังกลบขยะมูลฝอยชุมชน**

ในกรณีที่กิจกรรมของโครงการนำขยะมูลฝอยชุมชนไปกำจัดโดยวิธีการอื่นแทนวิธีการฝังกลบเช่น การนำไปเผาเพื่อผลิตพลังงาน การทำปุ๋ยหมัก การหมักแบบไร้อากาศเพื่อนำก๊าซมีเทนที่ได้มาใช้ประโยชน์ในด้านพลังงาน ซึ่งไม่ทำให้สารอินทรีย์ในขยะมูลฝอยชุมชนเกิดการย่อยสลายภายใต้สภาวะไร้อากาศและเกิดการปล่อยก๊าซมีเทนออกสู่บรรยากาศอีกดังเช่นที่เกิดในหลุมฝังกลบ ให้คำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนจากหลุมฝังกลบซึ่งโครงการสามารถหลีกเลี่ยงได้โดยคิดระยะเวลาการย่อยสลายของสารอินทรีย์ในหลุมฝังกลบเป็นเวลา100 ปีโดยใช้สมการที่ 2 ซึ่งเป็นสมการอย่างง่ายที่ได้จากสมการที่ 1 ในการคำนวณดังนี้

BECH4,SWDS,y= Wy x (pไม้,y× 4.02 +pกระดาษ,y × 3.72 + pอาหาร,y× 1.00 +   
 pสิ่งทอ,y× 2.23 + pกิ่งไม้และใบไม้,y× 1.68) x CF x 0.1 -- (สมการที่ 2)

โดยที่

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| BECH4,SWDS,y | = | ปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทน(CH4) จากหลุมฝังกลบขยะมูลฝอยชุมชนในปี y (tCO2e) |
| Wy | = | ปริมาณขยะมูลฝอยชุมชนที่นำไปกำจัดโดยวิธีการอื่นแทนวิธีการฝังกลบในปี y (t น้ำหนักเปียก) |
| pไม้,y | = | สัดส่วนโดยน้ำหนักของขยะมูลฝอยชุมชนประเภทไม้ในปี y |
| pกระดาษ,y | = | สัดส่วนโดยน้ำหนักของขยะมูลฝอยชุมชนประเภทกระดาษในปี y |
| pอาหาร,y | = | สัดส่วนโดยน้ำหนักของขยะมูลฝอยชุมชนประเภทอาหารในปี y |
| Pสิ่งทอ,y | = | สัดส่วนโดยน้ำหนักของขยะมูลฝอยชุมชนประเภทสิ่งทอในปี y |
| pกิ่งไม้และใบไม้,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 | Wy |
| หน่วย | t (น้ำหนักเปียก) |
| ความหมาย | ปริมาณขยะมูลฝอยชุมชนที่นำไปกำจัดโดยวิธีการอื่นแทนวิธีการฝังกลบในปี y(t น้ำหนักเปียก) |
| แหล่งข้อมูล | รายงานการตรวจวัด |
| วิธีการติดตามผล | ทางเลือกที่ 1 ตรวจวัดน้ำหนักขยะมูลฝอยชุมชนที่ถูกกำจัดด้วยวิธีการอื่นแทนการฝังกลบตลอดช่วงของการติดตามผล โดยรายงานข้อมูลที่มีความละเอียดเป็นรายเดือน  ทางเลือกที่ 2 ประเมินจากปริมาตรบรรทุกของรถที่ใช้ในการขนส่งขยะมูลฝอยชุมชน หรือปริมาตรบรรจุของภาชนะ ความหนาแน่น และจำนวนเที่ยวรถ/ภาชนะบรรจุโดยรายงานข้อมูลที่มีความละเอียดเป็นรายเดือน  ทางเลือกที่ 3 ใช้ค่าคงที่ที่ได้รับความเห็นชอบจาก อบก. ในการคำนวณหาปริมาณขยะอินทรีย์ โดยต้องมีการติดตามพารามิเตอร์ (เช่น จำนวนคน จำนวนวันที่ดำเนินกิจกรรม เป็นต้น) ที่นำมาคำนวณร่วมกับค่าคงที่และรายงานข้อมูลพารามิเตอร์นั้นความละเอียดเป็นรายเดือน  ยกตัวอย่าง เช่น ปริมาณขยะเศษอาหารในครัวเรือน สามารถคำนวณได้จาก ค่าคงที่อัตราการเกิดขยะเศษอาหารของครัวเรือน (กิโลกรัมต่อคนต่อวัน) คูณพารามิเตอร์ จำนวนคน และจำนวนวันที่ดำเนินกิจกรรม |

|  |  |
| --- | --- |
| พารามิเตอร์ | pj,y |
| หน่วย | - |
| ความหมาย | สัดส่วนโดยน้ำหนักของขยะมูลฝอยชุมชนประเภท j ในปี y |
| แหล่งข้อมูล | รายงานผลการสุ่มตัวอย่างขยะมูลฝอยชุมชนที่ถูกกำจัดด้วยวิธีการอื่นแทนการฝังกลบ เพื่อหาองค์ประกอบของขยะมูลฝอยชุมชน ปีละ 2 ครั้ง ครอบคลุมทั้งช่วงหน้าแล้งและช่วงหน้าฝน  หมายเหตุ: ในขั้นตอนการจัดทำเอกสารข้อเสนอโครงการเพื่อขอขึ้นทะเบียนเป็นโครงการ T-VER สามารถอ้างอิงค่าจากรายงานผลการศึกษาของพื้นที่อื่นในประเทศไทยที่มีลักษณะใกล้เคียงกันที่สามารถระบุแหล่งข้อมูลอ้างอิงได้อย่างชัดเจน |
| วิธีการติดตามผล | สุ่มตัวอย่างขยะมูลฝอยชุมชนที่ถูกกำจัดด้วยวิธีการอื่นแทนการฝังกลบ เพื่อหาองค์ประกอบทางกายภาพ  การสุ่มเก็บตัวอย่างควรทำ ณ สถานที่กำจัดขยะมูลฝอยชุมชน โดยเก็บตัวอย่างอย่างน้อยวันละ 1 ครั้ง ต่อเนื่องกัน3วัน 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** |
| 05 | 4 | 24 มิถุนายน 2562 | ปรับแก้ไขข้อความสำหรับทางเลือกในการติดตามผลพารามิเตอร์ Wy (ปริมาณขยะอินทรีย์ ในปี y)  ทางเลือกที่ 3  “ใช้ค่าคงที่ที่ได้รับความเห็นชอบจาก อบก. ในการคำนวณหาปริมาณขยะอินทรีย์ โดยต้องมีการติดตามพารามิเตอร์ (เช่น จำนวนคน จำนวนวันที่ดำเนินกิจกรรม เป็นต้น) ที่นำมาคำนวณร่วมกับค่าคงที่และรายงานข้อมูลพารามิเตอร์นั้นความละเอียดเป็นรายเดือน  ยกตัวอย่าง เช่น ปริมาณขยะเศษอาหารในครัวเรือน สามารถคำนวณได้จาก ค่าคงที่อัตราการเกิดขยะเศษอาหารของครัวเรือน (กิโลกรัมต่อคนต่อวัน) คูณพารามิเตอร์ จำนวนคน และจำนวนวันที่ดำเนินกิจกรรม” |
| 04 | 3 | 2 เมษายน 2562 | เพิ่มทางเลือกในการติดตามผลพารามิเตอร์ Wy  (ปริมาณขยะอินทรีย์ ในปี y)  ทางเลือกที่ 3 ใช้ค่าคงที่เพื่อประเมินปริมาณขยะอินทรีย์ ซึ่งรายงานข้อมูลที่มีความละเอียดเป็นรายเดือน โดยค่าคงที่ที่นำมาใช้ประเมินต้องได้รับความเห็นชอบจาก อบก. |
| 03 | 2 | 4 กันยายน 2560 | * ปรับแก้ไขความหมายและวิธีการติดตามผลของพารามิเตอร์Wy * ปรับแก้ไขแหล่งข้อมูลและวิธีการติดตามผลของพารามิเตอร์ pj,y |
| 02 | 1 | 22 เมษายน 2559 | * หน้า 4 ปรับแก้ไขข้อความจาก “โดยไม่ทำให้สารอินทรีย์ในขยะมูลฝอยชุมชนเกิดการย่อยสลายภายใต้สภาวะไร้อากาศและเกิดก๊าซมีเทน” เป็น “โดยไม่ทำให้สารอินทรีย์ในขยะมูลฝอยชุมชนเกิดการย่อยสลายภายใต้สภาวะไร้อากาศและเกิดการปล่อยก๊าซมีเทนออกสู่บรรยากาศอีกดังเช่นที่เกิดในหลุมฝังกลบ” * ปรับแก้ไขสัญลักษณ์และความหมายของพารามิเตอร์ที่ใช้ในสมการที่ 2 * ปรับแก้ไขวิธีการตรวจวัดพารามิเตอร์ Wy * ปรับแก้ไขแหล่งข้อมูลและวิธีการตรวจวัดพารามิเตอร์ pj,y |
| 01 | - | 25 มีนาคม 2558 | - |