

การกำจัดก๊าซมีเทนทางชีวภาพที่หน้าดินกลบหลุมฝังกลบขยะ

Biological Methane Removal in Landfill Cover Soil

วารังค์ลักษณ์ ช่อนกลิ่น

Department of Civil Engineering, Naresuan University, Phitsanulok 65000, E-mail: waranglucks@nu.ac.th

บทคัดย่อ – การฝังกลบขยะก่อให้เกิดก๊าซมีเทนซึ่งนับวันจะถูกปลดปล่อยออกมาจากหลุมฝังกลบมากขึ้น ก๊าซมีเทนนั้นเป็นก๊าซเรือนกระจกที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อน โดยมีศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อน 25 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ดังนั้นการกำจัดก๊าซมีเทนจึงเป็นสิ่งที่ควรกระทำ โดยอาศัยกระบวนการตามธรรมชาติที่เรียกว่ามีเทนออกซิเดชัน ซึ่งแบคทีเรียเมทาโนโทรฟจะเปลี่ยนมีเทนให้กลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ที่หน้าดินกลบหลุมฝังกลบ จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าที่หน้าดินหลุมฝังกลบเกิดมีเทนออกซิเดชันระหว่าง 4.45-306 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน โดยปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดมีเทนออกซิเดชันมีอยู่ 9 ประการ คือ ชนิดดิน พีเอช ความชื้น อุณหภูมิ ความเข้มข้นมีเทน ความเข้มข้นออกซิเจน สัดส่วนออกซิเจนต่อมีเทน สารยับยั้ง และชนิดพืชที่ใช้ปลูกคลุมหลุมฝังกลบ ซึ่งหากการออกแบบหลุมฝังกลบขยะคำนึงถึงการส่งเสริมให้เกิดมีเทนออกซิเดชันที่ชั้นดินกลบหลุมฝังกลบแล้วจะก่อให้เกิดการลดการปลดปล่อยก๊าซมีเทนออกสู่บรรยากาศเป็นผลให้ลดการเกิดภาวะโลกร้อนได้ระดับหนึ่ง

คำสำคัญ – การกำจัด ก๊าซมีเทน หลุมฝังกลบขยะ

Abstract—Landfill generates a higher yearly rate of methane gas which is a potent greenhouse gas that contributes global warming. Methane's global warming potential is greater than carbondioxide 25 times. Then, it is necessary to eliminate methane by biological process called methane oxidation; which methanotroph bacteria could convert

methane to carbondioxide at landfill cover soil. Several studies found that methane oxidation rate in landfill cover soil were 4.45-306 g/m².d. 9 Factors such as soil type, pH, moisture, temperature, CH₄ concentration, O₂ concentration, O₂/CH₄, inhibitor and plant type influenced methane oxidation. If designing landfill considered promoting methane oxidation in landfill cover soil, it may decrease methane emission to atmosphere and reduce global warming.

Keywords -- Removal, Methane Landfill.

1. บทนำ

การกำจัดขยะเป็นปัญหาที่สำคัญมากสำหรับทุกประเทศในปัจจุบันเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของประชากรทำให้เกิดขยะปริมาณมากตามไปด้วย หากไม่ได้รับการจัดการที่ดีจะส่งผลต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์และทำให้สิ่งแวดล้อมเสื่อมโทรมลง การกำจัดขยะที่ถูกต้องตามหลักการทางวิศวกรรมและสิ่งแวดล้อมได้แก่ การเผาด้วยเตาเผาขยะ การหมักทำปุ๋ย และการฝังกลบแบบถูกหลักสุขาภิบาล ซึ่งการฝังกลบแบบถูกหลักสุขาภิบาลเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมมากเนื่องจากเหตุผลทางเศรษฐศาสตร์ที่มีค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานที่ต่ำและมีวิธีการดำเนินงานที่ไม่ซับซ้อน โดยเฉพาะประเทศไทยนิยมกำจัดขยะด้วยการฝังกลบมากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 36 [1] ในการฝังกลบขยะก่อให้เกิดก๊าซเนื่องจากการย่อยสลายของสารอินทรีย์จากขยะภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนในปริมาณมาก [2] องค์ประกอบหลักของก๊าซที่เกิดขึ้นได้แก่คาร์บอนไดออกไซด์และมีเทนซึ่งเป็นก๊าซที่ก่อให้เกิดภาวะเรือนกระจก โดยเมื่อเทียบต่อ

โมเลกุลก๊าซมีเทนสามารถเก็บกักความร้อนมากกว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ประมาณ 25 เท่า [3] จากการสำรวจแหล่งกำเนิดก๊าซมีเทนจากกิจกรรมของมนุษย์พบว่าหลุมฝังกลบปลดปล่อยก๊าซมีเทนเป็นลำดับที่ 3 สำหรับทั่วโลกและประเทศไทย [4,5] นอกจากนี้ก๊าซมีเทนยังเป็นก๊าซอันตรายสามารถติดไฟได้ในหลุมฝังกลบขนาดใหญ่นิยมวางท่อเพื่อรวบรวมก๊าซที่เกิดขึ้นแล้วนำไปใช้หรือกำจัดโดยการเผาทั้งนี้ แต่จากการสำรวจพบว่าสามารถรวบรวมก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นได้ประมาณร้อยละ 40-60 [6] ในขณะที่หลุมฝังกลบขนาดเล็กหรือหลุมฝังกลบเก่าไม่มีระบบท่อเก็บก๊าซจึงยากต่อการควบคุมการระบายของก๊าซมีเทนจากหลุมฝังกลบสู่บรรยากาศ

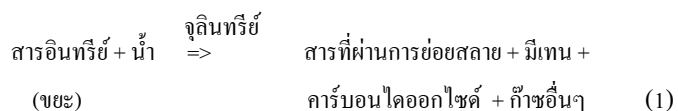
จากการสำรวจการปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากพื้นที่ฝังกลบขยะพบว่าก๊าซมีเทนบางส่วนถูกกำจัด [7] โดยสามารถเปลี่ยนไปเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำโดยจุลินทรีย์ชนิดเมทาโนโทรฟ (Methanotroph) ในชั้นดินกลบหน้าของหลุมฝังกลบเมื่อมีออกซิเจนอย่างเพียงพอซึ่งกระบวนการนี้เรียกว่ามีเทนออกซิเดชัน (methane oxidation) [8] ดังนั้นการลดปริมาณก๊าซมีเทนที่แพร่ออกจากหลุมฝังกลบโดยอาศัยกระบวนการมีเทนออกซิเดชันจึงเป็นวิธีการที่มีความเป็นไปได้ในการนำไปใช้สำหรับหลุมฝังกลบขยะโดยทั่วไปเนื่องจากเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นอยู่แล้วตามธรรมชาติ ดังนั้นการทราบถึงปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเกิดมีเทนออกซิเดชันจะช่วยให้การนำกระบวนการดังกล่าวไปใช้ประโยชน์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

บทความนี้จะกล่าวถึงการเกิดของก๊าซมีเทนในหลุมฝังกลบขยะศักยภาพการทำให้เกิดภาวะโลกร้อนของก๊าซมีเทน ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดมีเทนออกซิเดชันและอัตราการเกิดมีเทนออกซิเดชันในหน้าดินกลบหลุมฝังกลบ เพื่อใช้เป็นข้อมูลสำหรับการพิจารณาออกแบบหน้าดินกลบหลุมฝังกลบที่เหมาะสมต่อการเกิดมีเทนออกซิเดชัน

2. ก๊าซมีเทนในหลุมฝังกลบ

การฝังกลบขยะก่อให้เกิดการย่อยสลายของสารอินทรีย์ที่อยู่ในขยะโดยจุลินทรีย์ภายใต้สภาวะที่ไม่มีออกซิเจนได้ผลผลิตที่สำคัญคือก๊าซชนิดต่างๆ ดังสมการที่ (1) โดยก๊าซที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่คือก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ ทั้งนี้ก๊าซที่เกิดขึ้นบางชนิด เช่น ก๊าซมีเทนมีอันตรายสามารถระเบิดหรือติดไฟได้และบางชนิดเป็น

ก๊าซพิษ ดังนั้นจึงควรมีระบบรวบรวมก๊าซออกจากพื้นที่ฝังกลบ ในบางประเทศได้นำก๊าซจากหลุมฝังกลบมาใช้เป็นพลังงานผลิตความร้อนหรือกระแสไฟฟ้า



2.1 องค์ประกอบของก๊าซในหลุมฝังกลบ

องค์ประกอบของก๊าซในหลุมฝังกลบโดยทั่วไปแสดงดังตารางที่ 1 พบมีเทน 45-60% และคาร์บอนไดออกไซด์ 40-60% ในประเทศไทยพบว่าหลุมฝังกลบที่ อ.กำแพงแสน จ.นครปฐม มีค่าใกล้เคียงกับหลุมฝังกลบทั่วไปคือมีเทน 43.2-57.6% และคาร์บอนไดออกไซด์ 43-56% ในขณะที่หลุมฝังกลบทั่วไปพบก๊าซอื่นๆ เป็นปริมาณน้อย เช่นออกซิเจน ไนโตรเจน ไฮโดรเจนและแอมโมเนีย เป็นต้น

2.2 ปริมาณก๊าซมีเทนที่ปลดปล่อยออกจากหลุมฝังกลบ

จากการประเมินปริมาณการปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากพื้นที่ฝังกลบขยะของประเทศไทยแสดงดังตารางที่ 2 พบว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจาก 115.4 พันตันต่อปี ในปีพ.ศ. 2547 เป็น 338.6 พันตันต่อปี ในปี พ.ศ. 2563 ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณขยะอันเนื่องมาจากการเพิ่มของจำนวนประชากร [10] ซึ่งการปลดปล่อยก๊าซมีเทนขึ้นสู่บรรยากาศของโลกเพิ่มขึ้นจะส่งเสริมการเกิดภาวะโลกร้อน และส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตบนโลก

2.3 ศักยภาพและสัดส่วนการเกิดภาวะโลกร้อนของมีเทน

ก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญในปัจจุบันได้แก่คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) มีเทน (CH₄) ไนตรัสออกไซด์ (N₂O) และคลอโรฟลูออโรคาร์บอน (CFCs) ความเข้มข้นของก๊าซเรือนกระจกในบรรยากาศ

ตารางที่ 1 ปริมาณองค์ประกอบของก๊าซในหลุมฝังกลบ

ชนิดของก๊าซ	ทั่วไป (%) ^a	หลุมฝังกลบ อ.กำแพงแสน (%)
มีเทน	45-60	43.2-57.6
คาร์บอนไดออกไซด์	40-60	43-56
ไนโตรเจน	2-5	ไม่มีข้อมูล
ออกซิเจน	0.1-1.0	0.4-0.7
ซัลไฟด์ ไฮโดรเจน ฯลฯ	0-1.0	ไม่มีข้อมูล
แอมโมเนีย	0-0.2	ไม่มีข้อมูล
คาร์บอนมอนอกไซด์	0-0.2	ไม่มีข้อมูล
ก๊าซอื่นๆ	0.01-0.6	ไม่มีข้อมูล

หมายเหตุ ^aแปรผันตามอายุของหลุมฝังกลบ

ที่มา: [2] และ [9]

และศักยภาพการทำให้โลกร้อน(Global Warming Potential, GWP) แสดงดังตารางที่ 3 จากการที่ CFC-11 และ CFC-12 ที่ใช้ในอุตสาหกรรมอย่างแพร่หลายในอดีตมีศักยภาพในการทำให้โลกร้อนสูงกว่าก๊าซชนิดอื่นจึงทำให้มีการร่วมมือกันทั่วโลกภายใต้สนธิสัญญา Montreal Protocol ซึ่งควบคุมการใช้สารเคมีในกลุ่มคลอรีนและโบรมีน เพื่อลดการทำลายโอโซนในชั้นสตราโทสเฟียร์ [3] ดังนั้นภายหลังปฏิบัติตามสนธิสัญญาแล้วปริมาณ CFCs จะลดน้อยลง โดยปี พ.ศ. 2541 ก๊าซเรือนกระจกยังคงมีอัตราการเพิ่มขึ้นแต่ไม่มากเท่าเดิมยกเว้น CFC-11 ที่มีอัตราลดลงจึงมีการเสนอให้ลดการ

ตารางที่ 2 การประเมินการปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากหลุมฝังกลบในประเทศไทย ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2547-2563

ปี พ.ศ.	มีเทน (ตันตันปี)
2547	115.4
2548	120.6
2553	194.2
2558	268.7
2563	338.6

ที่มา: [10]

ตารางที่ 3 ความเข้มข้นในบรรยากาศและศักยภาพการทำให้โลกร้อนของก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญ

ชนิดก๊าซ	ความเข้มข้น พ.ศ. 2541	GWP
CO ₂	367 ppmv	1
CH ₄	1.75 ppmv	25
CFC-11	268 pptv	4,600
CFC-12	533 pptv	10,600
N ₂ O	314 ppbv	296

หมายเหตุ ppmv : parts per million by volume

ppbv : parts per billion by volume

pptv : parts per trillion by volume

ที่มา: [3]

เกิดก๊าซเรือนกระจกอันประกอบด้วย คาร์บอนไดออกไซด์ มีเทน ไนตรัสออกไซด์และสารประกอบไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน เป็นต้น ภายใต้สนธิสัญญา Kyoto Protocol [3] มีเทนจึงกลายเป็นก๊าซที่สมควรนำมาพิจารณาเนื่องจากมีความเข้มข้นในบรรยากาศรองลงมาจากคาร์บอนไดออกไซด์และสามารถทำให้โลกร้อนขึ้นมากกว่าคาร์บอนไดออกไซด์ถึง 25 เท่า

สัดส่วนของก๊าซเรือนกระจกต่อภาวะโลกร้อนแสดงดังตารางที่ 4 โดยในภาพรวมทั่วโลกปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนมากที่สุดถึง 77% รองลงมาได้แก่ มีเทน 14% เช่นเดียวกันก๊าซที่ก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนที่ปลดปล่อยจากประเทศไทยมากที่สุดได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์และรองลงมาได้แก่มีเทน แต่มีสัดส่วนที่แตกต่างไปคือ 66% และ 26% ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าก๊าซมีเทนนั้นถูกปล่อยออกมาน้อยกว่าคาร์บอนไดออกไซด์ก็จริงแต่ก๊าซมีเทนมีศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อนได้มากกว่าคาร์บอนไดออกไซด์ และนับวันก็จะมีการปล่อยก๊าซมีเทนออกมาในอัตราเพิ่มขึ้นดังได้กล่าวมาแล้ว

ดังนั้นหากสามารถลดก๊าซมีเทนที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากหลุมฝังกลบได้จะช่วยทำให้ลดการเกิดภาวะโลกร้อนเช่นกัน

ตารางที่ 4 สัดส่วนของก๊าซเรือนกระจกต่อภาวะโลกร้อนทั่วโลก
และประเทศไทย ปี พ.ศ. 2548

ลำดับที่	ทั่วโลก	(%)	ประเทศไทย	(%)
1	CO ₂	77	CO ₂	66
2	CH ₄	14	CH ₄	26
3	N ₂ O	8	N ₂ O	7
4	CFCs	1	-	
อ้างอิง	[11]		[12]	

3. ประเมินการกักเก็บก๊าซมีเทนที่หน้าดินกลบหลุมฝังกลบขยะ

ภายหลังการฝังกลบขยะจนครบตามจำนวนที่กำหนดไว้จะมีการปิดหลุมฝังกลบ โดยด้านบนจะคลุมด้วยชั้นวัสดุเพื่อไม่ให้เกิดการแพร่ของก๊าซจากหลุมฝังกลบสู่บรรยากาศแต่ในการสำรวจหลุมฝังกลบจริงพบว่ายังคงมีก๊าซแพร่ออกมาจากหลุมฝังกลบทั่วโลก สาเหตุส่วนใหญ่มาจากการขาดแคลนงบประมาณ ดังนั้นหลุมฝังกลบส่วนใหญ่จึงมักคลุมหน้าหลุมฝังกลบด้วยดินชนิดต่างๆ เช่น ดินเหนียว ดินร่วน ดินร่วนผสมทรายและดินเหนียวผสมตะกอน เป็นต้น แม้จะแก้ไขด้วยการวางท่อเก็บก๊าซในแต่ละชั้นของขยะก็ยังไม่สามารถเก็บก๊าซจากหลุมฝังกลบได้ทั้งหมด [13,14] ดังนั้นก๊าซจากการฝังกลบจึงได้แพร่ผ่านชั้นดินเหล่านั้นออกสู่บรรยากาศซึ่งส่วนใหญ่ประกอบไปด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และมีเทน ในสถานะที่มีออกซิเจน ก๊าซมีเทนจะถูกเปลี่ยนไปเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีผลกระทบต่อภาวะเรือนกระจกน้อยกว่าก๊าซมีเทนซึ่งแสดงได้ดังสมการที่ 2 [15]



ซึ่งอัตราการเกิดมีเทนออกซิเดชันโดยแบคทีเรียนี้จะขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการเจริญของเมทาโนโทรฟ เช่น อุณหภูมิและความชื้นที่เหมาะสมเป็นต้น [15] สำหรับรายละเอียดเกี่ยวกับการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดมีเทนออกซิเดชันและการเกิดมีเทนออกซิเดชันในหน้าดินกลบทับหลุมฝังกลบจริงจะได้กล่าวในลำดับต่อไปดังนี้

3.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดมีเทนออกซิเดชันในหน้าดินหลุมฝังกลบ

จากการศึกษาการเกิดมีเทนออกซิเดชันในหน้าดินกลบหลุมฝังกลบจริงและในแบบจำลองที่ห้องปฏิบัติการสามารถสรุปปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดมีเทนออกซิเดชันได้ดังนี้

3.1.1 ชนิดของดิน

ชนิดของดินส่งผลต่อการเกิดมีเทนออกซิเดชันมากเนื่องจากดินแต่ละชนิดจะมีความละเอียดของเม็ดดินไม่เท่ากัน เมื่อมาอยู่รวมกันดินที่มีเม็ดดินละเอียดเช่น ดินเหนียวซึ่งมีความหนาแน่นสูงและมีความพรุนต่ำทำให้น้ำและออกซิเจนซึมผ่านได้ยาก จากการทดลองที่ประเทศอังกฤษและเบลเยียมดังตารางที่ 5 พบว่าที่สภาวะเดียวกันทรายหยาบหรือดินที่มีส่วนผสมของทราย เช่น ดินร่วนปนทรายจะมีการอัตราการเกิดมีเทนออกซิเดชันสูง [16,17] เนื่องจากดินดังกล่าวมีความพรุนทำให้ออกซิเจนสามารถแพร่เข้าสู่ดินได้ดีกว่าดินชนิดอื่น

3.1.2 พีเอช

พีเอชมีความสำคัญมากต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตทุกชนิด จากการทดลองเลี้ยงเชื้อเมทาโนโทรฟในห้องปฏิบัติการพบว่าทั้งหมดสามารถเจริญได้ดีที่พีเอช 6.6-6.8 [18] และเมทาโนโทรฟบางชนิดเช่น *Methylocystis parves* OBBP สามารถเจริญได้ที่พีเอชช่วงกว้างคือ 7-9 จากการศึกษาของ Saari et al. [19] พบว่ามีเทนออกซิเดชันสามารถเกิดได้ในดินที่มีพีเอชตั้งแต่ 3-7.5 ในขณะที่ไม่พบการเกิดมีเทนออกซิเดชันที่พีเอช 8.5 ซึ่งพีเอชที่เหมาะสมต่อการเกิดมีเทนออกซิเดชันมีช่วงกว้างระหว่าง 4-7.5

ตารางที่ 5 อัตราการเกิดมีเทนออกซิเดชันสูงสุดในแบบจำลองที่บรรจุดินชนิดต่างๆ

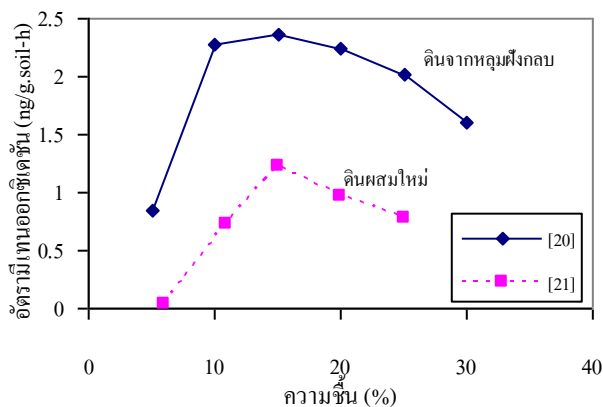
ลำดับ	อังกฤษ	g/m ² .d	เบลเยียม	g/m ² .d
1	ทรายหยาบ	166.4	ดินร่วนปนทราย	289.6
2	ทรายละเอียด	110.4	ดินร่วน	171.2
3	ดินเหนียว	108.8		
อ้างอิง	[16]		[17]	

3.1.3 ความชื้น

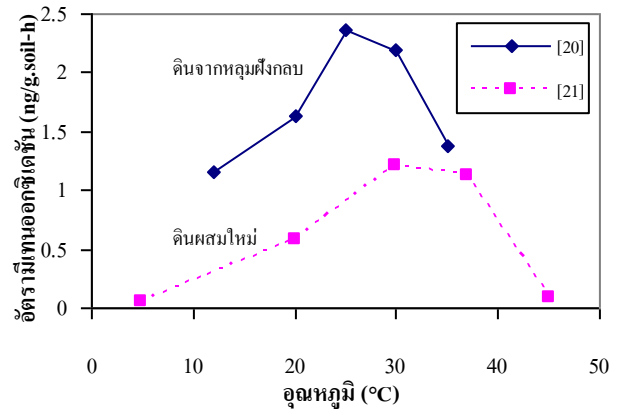
ความชื้นมีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของเมทาโนโทรฟมากเช่นกัน จากการทดลองในห้องปฏิบัติการด้วยการนำดินร่วนปนทรายมาหาอัตราการเกิดมีเทนออกซิเดชันในแบบจำลองแบบชั่วคราว (Batch experiments) ดังแสดงในรูปที่ 1 พบว่าดินที่นำมาจากหลุมฝังกลบจริงอายุ 5 ปี [20] มีแนวโน้มอัตราการเกิดมีเทนออกซิเดชันคล้ายคลึงกันกับดินใหม่ที่ผสมเองในห้องทดลอง [21] คืออัตราการเกิดมีเทนออกซิเดชันเพิ่มขึ้นตามความชื้นจนมีค่าสูงสุดที่ความชื้นเท่ากับ 15% ในดินทั้งสอง จากนั้นอัตราการเกิดมีเทนออกซิเดชันจะลดลงเรื่อยๆตามความชื้นที่เพิ่มขึ้น จากผลการทดลองในแบบจำลองที่ประเทศไทยพบว่าที่ผิวหน้าดินซึ่งความชื้นประมาณ 1.5% ไม่มีการเกิดมีเทนออกซิเดชัน [21] นั่นคือความชื้นส่งผลต่ออัตราการเกิดมีเทนออกซิเดชัน มีรายงานจากผู้ทำการทดลองเกี่ยวกับความชื้นที่เหมาะสมต่อการเกิดมีเทนออกซิเดชันในดินหลายท่าน โดยเสนอความชื้นที่เหมาะสมคือ 11% [22] 10-20% [20] และ 15-20% [21] ซึ่งขึ้นอยู่กับเนื้อดิน

3.1.4 อุณหภูมิ

อุณหภูมิมีส่วนสำคัญในการกระตุ้นการทำงานของแบคทีเรีย จากการทดลองในห้องปฏิบัติการด้วยการนำดินร่วนปนทรายมาหาอัตราการเกิดมีเทนออกซิเดชันในแบบจำลองแบบชั่วคราว ดังแสดงในรูปที่ 2 พบว่าดินที่นำมาจากหลุมฝังกลบจริงอายุ 5 ปี [20] มีแนวโน้มอัตราการเกิดมีเทนออกซิเดชันคล้ายคลึงกันกับดินใหม่ที่ผสมเองในห้องทดลอง [21] คืออัตราการเกิดมีเทนออกซิเดชัน



รูปที่ 1 ผลของความชื้นต่ออัตราการเกิดมีเทนออกซิเดชัน



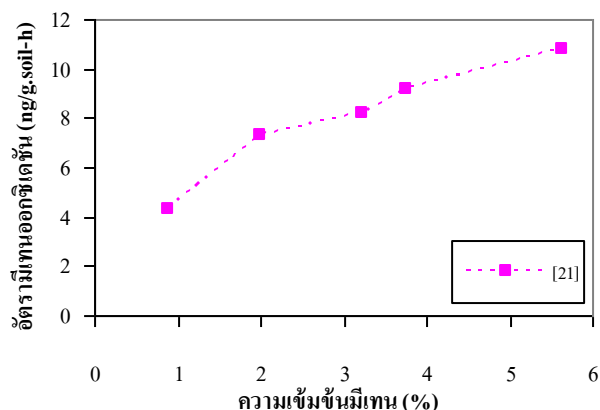
รูปที่ 2 ผลของอุณหภูมิต่ออัตราการเกิดมีเทนออกซิเดชัน

เพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิจนมีค่าสูงสุดที่อุณหภูมิเท่ากับ 25 °ซ และ 30 °ซ ตามลำดับ จากนั้นอัตราการเกิดมีเทนออกซิเดชันจะลดลงเรื่อยๆตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น มีรายงานว่าที่อุณหภูมิ 1°ซ สามารถเกิดมีเทนออกซิเดชันได้ [23] แต่ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 0°ซ เมทาโนโทรฟจะไม่สามารถออกซิไดส์มีเทนได้จึงไม่พบการเกิดมีเทนออกซิเดชันในหลุมฝังกลบ [24] เช่นเดียวกับที่อุณหภูมิ 45°ซ แทบจะไม่เกิดมีเทนออกซิเดชัน [21] แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิส่งผลต่อการเกิดมีเทนออกซิเดชันมาก สำหรับอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเกิดมีเทนออกซิเดชันจากการทดลองเสนอโดยผู้ที่ศึกษาหลายท่านดังนี้คือ 25-35°ซ [22] 25-30°ซ [20] และ 30-36°ซ [21]

3.1.5 ความเข้มข้นมีเทน

มีเทนเป็นอาหารหลักที่สำคัญที่สุดต่อการเจริญของเมทาโนโทรฟ จากการทดลองในห้องปฏิบัติการพบว่าเกิดมีเทนออกซิเดชันในดินได้ที่มีความเข้มข้นของมีเทนมากกว่า 0.01% [25] และมีรายงานว่า มีเทนออกซิเดชันสามารถเกิดขึ้นได้เมื่อมีความเข้มข้นของมีเทนสูงถึง 70% [26] จากการทดลองในห้องปฏิบัติการด้วยการนำดินมาหาอัตราการเกิดมีเทนออกซิเดชันในแบบจำลองแบบชั่วคราวที่ความเข้มข้นมีเทนช่วง 0.9% ถึง 5.6% [21] ดังแสดงในรูปที่ 3 พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นมีเทนจะทำให้เพิ่มการเกิดมีเทนออกซิเดชันจึงทำให้ทราบว่าความเข้มข้นมีเทนส่งผลต่อการเกิดมีเทนออกซิเดชันจากการศึกษาในแบบจำลองต่อเนื่องที่มีอัตราการไหลของมีเทนเข้า

สู่ระบบ 35.3 ถึง 84.7 กรัม/ตร.ม.-วัน [27] พบว่าเมื่อเพิ่มอัตราการใช้
ไหล



รูปที่ 3 ผลของความเข้มข้นมีเทนต่ออัตราการเกิดมีเทนออกซิเดชัน

ส่งผลให้อัตราการเกิดมีเทนออกซิเดชันลดลง ดังนั้นปริมาณของ
มีเทนหรืออัตราการไหลของมีเทนจึงมีผลต่อการเกิดมีเทน
ออกซิเดชัน

3.1.6 ความเข้มข้นออกซิเจน

ออกซิเจนมีความสำคัญอย่างมากต่อกระบวนการเกิดมีเทน
ออกซิเดชันเนื่องจากเป็นผู้ให้อิเล็กตรอน มีรายงานการวิจัยพบว่า
มีเทนออกซิเดชันสามารถเกิดขึ้นได้เมื่อมีความเข้มข้นของออกซิเจน
10-40% [26] จากการทดลองในห้องปฏิบัติการพบว่ามีเทน
ออกซิเดชันเกิดได้น้อยที่ความเข้มข้นต่ำกว่า 3% [25] และมีรายงานว่า
ที่ความเข้มข้นของออกซิเจนมากกว่า 20% มีเทนออกซิเดชันเกิด
ได้น้อยเช่นกัน [28] ดังนั้นความเข้มข้นของออกซิเจนจึงส่งผลต่อ
การเกิดมีเทนออกซิเดชัน

3.1.7 สัดส่วนออกซิเจน/มีเทน

สัดส่วนของออกซิเจนต่อมีเทนนั้นมีความสำคัญต่อการเจริญ
ของ เมทาโนโทรฟมาก เนื่องจากมีเทนนั้นเป็นแหล่งอาหารและ
พลังงานในขณะที่มีเทนออกซิเดชันก็ป็นตัวการสำคัญสำหรับแบคทีเรียใน
การนำมีเทนมาใช้ มีเทนออกซิเดชันสามารถเกิดขึ้นได้เมื่อมีสัดส่วน
ของออกซิเจนต่อมีเทนค่อนข้างกว้างคือ 0.14-13.3:1 โดยปริมาตร
[26] จากการทดลองในแบบจำลองที่ใช้อาหารเลี้ยงเชื้อแบบกึ่งแข็ง

พบว่ามีเทนออกซิเดชันเกิดขึ้นมากในบริเวณที่สัดส่วนของ
ออกซิเจนต่อมีเทนอยู่ระหว่าง 1.57-1.97 [29] ดังนั้นสัดส่วนของ
ออกซิเจนต่อมีเทนจึงมีผลต่อการเกิดมีเทนออกซิเดชัน

3.1.8 สารยับยั้ง

ในสภาพธรรมชาติมีสารต่างๆปะปนกันอย่างมากมาย
โดยเฉพาะในหน้าดินกลบหลุมฝังกลบเนื่องจากสารที่มีอยู่ในดิน
เองหรือสารที่แพร่ออกมาจากหลุมฝังกลบ จากรายงานการทดลอง
เกี่ยวกับสารที่สามารถยับยั้งการเกิดมีเทนออกซิเดชันได้มีทั้ง
สารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ได้แก่ acetylene, ethylene, CH_3F
แอมโมเนียมและไนไตรต์ [30,31,32] เป็นต้น ทั้งนี้ในการฝังกลบ
ขยะนั้นก่อให้เกิดก๊าซหลายชนิดดังได้กล่าวมาแล้วในตารางที่ 1
โดยเฉพาะแอมโมเนียซึ่งอาจส่งผลต่อการเกิดมีเทนออกซิเดชันที่
หน้าดินกลบหลุมฝังกลบ

3.1.9 พืช

พืชที่สามารถขึ้นได้บนดินกลบหลุมฝังกลบต้องทนทานต่อ
ภาวะแห้งแล้งและก๊าซหลักทั้งสองชนิดอื่น ได้แก่
คาร์บอนไดออกไซด์กับมีเทน โดยทั่วไปมักเป็นพืชล้มลุกหรือหญ้า
[24] จากการสำรวจหลุมฝังกลบในประเทศจีนพบว่าพืชสามารถ
เจริญได้ดีหลังการปิดหลุมฝังกลบไม่น้อยกว่า 1 ปี โดยพบทั้งไม้ยืน
ต้นและพืชล้มลุกซึ่งมีทั้งพืชปีเดียวและพืชสองปี [33] Hilger et al.
[34] รายงานว่าการปลูกพืชคลุมหน้าดินจะก่อให้เกิดการ
เปลี่ยนแปลงสภาพทางฟิสิกส์ของดิน โดยรากของพืชจะซอนไชลลง
ไปในดินทำให้อากาศกระจายตัวลงสู่ดินดีขึ้น ซึ่งเหมาะสำหรับการ
เกิดปฏิกิริยามีเทนออกซิเดชัน และพบจากการทดลองใน
แบบจำลองว่าหญ้า Kentucky 31 (*Festuca arundinacea* Shreb) ทำ
ให้เกิดมีเทนออกซิเดชันได้อย่างต่อเนื่อง นอกจากนี้มีรายงานวิจัย
ทดลองปลูกพืชในแบบจำลองต่อเนื่องพบว่าการปลูกพืชตระกูลถั่ว
ร่วมกับหญ้าทำให้ดินเกิดมีเทนออกซิเดชันได้ดีกว่าดินไผ่และพืช
ตระกูลหญ้าเพียงอย่างเดียว [35]

3.2 การเกิดมีเทนออกซิเดชันในหน้าดินกลบหลุมฝังกลบจริง

การศึกษาอัตราการเกิดมีเทนออกซิเดชันในหลุมฝังกลบขยะจริง
ในประเทศต่างๆ แสดงดังตารางที่ 6 พบว่าอัตราการเกิดมีเทน

ออกซิเดชันมีค่าแตกต่างกันตามลักษณะของดิน โดยดินที่มีทรายเป็น

ตารางที่ 6 การศึกษาอัตราการเกิดมีเทนออกซิเดชัน (MOR) ในดินกลบหน้าหลุมฝังกลบจริง

รายละเอียด	[15]	[22]	[36]	[37]	[38]
-ที่ตั้ง	สวีเดน	อเมริกา	อังกฤษ	อเมริกา	ไทย
-ลักษณะดิน	ดินร่วนปนทราย	ทรายปนดินเหนียว	ดินเหนียว	ดินร่วนปนทราย	ดินเหนียว
-MOR ($\text{g/m}^2 \cdot \text{d}$)	46-150	45	7.2	4-306	4.45
-ความลึกที่เกิด MOR สูงสุด (cm)	50-60	3-6	0-35	40-50	50

ส่วนผสมมีอัตราการเกิดมีเทนออกซิเดชันมากกว่าดินเหนียวอย่างเดี่ยวประมาณ 10 เท่าขึ้นไป และความลึกที่เกิดมีเทนออกซิเดชันสูงสุดในดินอยู่ในความลึกไม่เกิน 60 ซม.

4. สรุป

จากข้อมูลที่ได้กล่าวมาแล้วในข้อ 2 และข้อ 3 แสดงให้เห็นว่าก๊าซมีเทนซึ่งส่วนหนึ่งเป็นผลผลิตหลักจากการฝังกลบขยะนั้นทำให้เกิดภาวะโลกร้อนเป็นลำดับที่สองรองลงมาจากคาร์บอนไดออกไซด์ และจากศักยภาพการทำให้โลกร้อนได้มากกว่าคาร์บอนไดออกไซด์ 25 เท่า ของมีเทนจึงทำให้มีความน่าสนใจหากต้องการลดภาวะโลกร้อนด้วยการกำจัดก๊าซมีเทนโดยการเปลี่ยนให้เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีศักยภาพการทำให้โลกร้อนที่ต่ำกว่า ซึ่งกระบวนการนี้คือมีเทนออกซิเดชันที่อาศัยแบคทีเรียเมทาโนโทรฟในการเปลี่ยนมีเทนให้กลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์โดยกระบวนการนี้นั้นเกิดขึ้นอยู่แล้วตามธรรมชาติที่หน้าดินกลบหลุมฝัง

กลบ โดยมีปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดมีเทนออกซิเดชันอยู่ 9 ปัจจัยด้วยกันคือชนิดของดิน พีเอช ความชื้น อุณหภูมิ ความเข้มข้นของมีเทน ความเข้มข้นของออกซิเจน สัดส่วนออกซิเจนต่อมีเทน สารยับยั้ง และการปลูกพืชคลุมหน้าดิน

ประเทศไทยมีอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยประมาณ 30°C ซึ่งอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการเกิดมีเทนออกซิเดชัน ดังนั้นเมื่อพิจารณาการ

ออกแบบหลุมฝังกลบที่มีการส่งเสริมให้เกิดมีเทนออกซิเดชันได้ดีที่หน้าดินกลบหลุมฝังกลบอาจทำได้โดยออกแบบให้เพิ่มชั้นดินสำหรับการเกิดมีเทนออกซิเดชันโดยใช้ดินปนทรายเช่น ดินร่วนปนทราย ที่มีพีเอชเป็นกลาง หนาประมาณ 60 เซนติเมตร คลุมชั้นดินหรือชั้นวัสดุกลบหลุมฝังกลบขยะเดิมซึ่งนิยมใช้ดินเหนียวหรือแผ่นพลาสติก HDPE นอกจากนี้ยังต้องปลูกพืชตระกูลหญ้าที่ทนทานต่อก๊าซคลุมหน้าชั้นดินปนทรายนั่น ทั้งนี้ในหน้าร้อนที่ความชื้นในดินลดลงมากเนื่องจากการระเหยของน้ำออกจากดิน อาจต้องรดน้ำเพื่อรักษาความชื้นให้สามารถเกิดมีเทนออกซิเดชันได้อย่างต่อเนื่อง

ดังนั้นการออกแบบที่ส่งเสริมให้หลุมฝังกลบขยะมีการลดปริมาณการปลดปล่อยก๊าซมีเทนจะช่วยให้ชะลอการเกิดสภาวะโลกร้อนได้อีกวิธีหนึ่ง

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมควบคุมมลพิษ, คู่มือสำหรับผู้บริหารองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น การจัดการขยะมูลฝอยชุมชนอย่างครบวงจร. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพมหานคร, 2552, หน้า 5.
- [2] G. Tchobanoglous, H. Theisen and S.A. Vigil, *Integrated Solid Waste Management: Engineering Principles and Management Issues*, International Editions. McGraw-Hill Inc., Singapore, 1993, p. 361-401
- [3] The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*, Cambridge University, [Online]. Available: http://www.ipcc.ch/publications_and_data .html, accessed 10/11/2010
- [4] United States Environmental Protection Agency (US EPA), *Global Mitigation of Non-CO₂ Greenhouse Gases*, Washington, DC, p.1-2, 2006.
- [5] สุณิสา คงนิม, “การปลดปล่อยก๊าซมีเทนในประเทศไทย,” ในการสัมมนาวิชาการเรื่องการเปลี่ยนแปลงของโลก กรณีศึกษา: การปลดปล่อยก๊าซที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบในชั้นบรรยากาศและการควบคุมในประเทศไทย. โครงการสหวิทยาการบัณฑิตศึกษา สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2541. หน้า. 4-1 ถึง 4-35.
- [6] M. Humer and P. Lechner, “Microbial Methane Oxidation for the Reduction of Landfill Gas Emission,” *Journal of Solid Waste Technology and Management*, vol. 27/3&4, p. 146-151, 2001.

- [7] C. Maurice and A. Lagerkvist, "LFG Emission Measurements in Cold Climatic Conditions: Seasonal Variations and Methane Emissions Mitigation." *Cold Regions Science and Technology*, vol. 36, p. 37-46, 2003.
- [8] C. Anthony, *The Biochemistry of Methylophs*. Academic press Inc, London, Great Britain, 1982, p. 2-3.
- [9] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, "การศึกษาและสถิติการผลิตพลังงานไฟฟ้า/ความร้อนจากขยะชุมชน," 2548. หน้า 3-64 ถึง 3-66.
- [10] C. Chiemchaisri, J. P. Juanga and C. Visvanathan, "Municipal solid waste management in Thailand and disposal emission inventory," *Environ Monit Assess*, vol. 135, p. 13-20, 2007.
- [11] J. Anderson, M. Fergusson and C. Valsecchi, *An Overview of Global Greenhouse Gas Emissions and Emissions Reduction Scenarios for The Future*, European Parliament, 2007, p.1-28.
- [12] World Resources Institute, *Earth Trends: The Environmental Information Portal*, [Online]. Available: http://earthtrends.wri.org/searchable_db/index, accessed 10/11/2010
- [13] B.W. Mosher, P.C. Czepiel, J. Shorter, E. Allwine, R.C. Harriss, C. Kolb and B. Lamb, "Mitigation of Methane Emission at Landfill Sites in New England, USA," *Energy Convers.Mgmt*, vol. 37(6-8), p. 1093-1098, 1996.
- [14] J.W. Park, and H.C. Shin, "Surface Emission of Landfill Gas from Solid Waste Landfill," *Atmospheric Environment*, vol. 35, p. 3445-3451, 2001.
- [15] G. Borjesson, "Methane Oxidation in Landfill Cover Soils," Doctoral thesis, Dept. Microbiology Uppsala., Swedish Univ. of Agricultural Sciences, 1997. p. 10-12.
- [16] D. Kightley, D.B. Nedwell and M. Cooper, "Capacity for Methane Oxidation in Landfill Cover Soils Measured in Laboratory-Scale Soil Microcosms," *Applied and Environmental Microbiology*, vol. 61, p. 592-601, 1995.
- [17] A.D. Visscher, D.Thomas, P. Boeckx and O. Van Cleemput, "Methane Oxidation in Simulated Landfill Cover Soil Environments," *Environ. Sci. Technology*, vol. 33, p. 1854-1859, 1999.
- [18] R. Whittenbury, K.C. Phillips and J.F. Wilkinson, "Enrichment, Isolation and Some Properties of Methane-utilizing Bacteria," *Journal of General Microbiology*, vol. 61(3), p. 205-218, 1970.
- [19] A. Saari and R. Rinnan, "Methane oxidation in boreal forest soils: kinetics and sensitivity to pH and ammonium," *Soil Biology & Biochemistry*, vol. 36, p. 1037-1046, 2004.
- [20] P. Boeckx and O. Van Cleemput, "Methane Oxidation in a Natural Landfill Cover Soil: Influen of Moisture Content, Temperature, and Nitrogen-Turnover," *J. Environ. Qual*, vol. 25(1), p.178-183, 1996.
- [21] C. Visvanathan, D. Pokhrel, W. Cheimchaisri, J.P.A. Hettiaratchi and J.S. Wu, "Methanotrophic Activities in Tropical Landfill Cover Soils: Effects of Temperature, Moisture Content and Methane Concentration," *Waste Management & Research*, vol. 17, p. 313-323, 1999.
- [22] S.C. Whalen, W.S. Reeburg and K.A. Sandbeck, "Rapid Methane Oxidation Rate in Landfill Cover Soil," *Appli. Environ. And Microbiol*, vol. 56(11), p. 3405-3411, 1990.
- [23] J.M. Einola, R.H. Kettunen and J. A. Rintala, "Responses of Methane Oxidation to Temperature and Water Content in Cover Soil of a Boreal Landfill," *Soil Biology & Biochemistry*, vol. 39, p.1156-1164, 2007.
- [24] C. Maurice, "Landfill Gas Emission and Landfill Vegetation," M.S. thesis, Dept. Environment. Eng, Lulea University of Technology, 1998. p. 15-16.
- [25] M. Bender and R. Conrad, "Effect of methane concentrations and soil condition on the induction of methane oxidation activity," *Soil Biology & Biochemistry*, vol. 27 (12), p. 1517-1527, 1995.
- [26] H.W. Doelle, "Bacterial Metabolism," Academic Press, Inc., New York. USA., 1969, p. 100-140
- [27] J. Gebert, A. Groengroeft and E. Pfeiffer, "Relevance of soil physical properties for the microbial oxidation of methane in landfill covers," *Soil Biology & Biochemistry*, vol. xx, p. xxx-xxx, 2010. In Press, Corrected proof, [Online]. Available <http://www.elsevier.com/locate/soilbio>., accessed 12/11/2010
- [28] R.S. Hanson and T.E. Hanson, "Methanotrophic Bacteria," *Microbiological Reviews*, vol. 60 (2), p. 439-471, 1996.
- [29] J. A. Amaral and R. Knowles, "Growth of methanotrophs in methane and oxygen counter gradients," *FEMS Microbiology Letters*, vol. 126, p. 215-220, 1995.
- [30] A.S.K. Chan and T.B. Parkin, "Evaluation of Potential Inhibitors of Methanogenesis and Methane Oxidation in a Landfill Cover Soil," *Soil Biology & Biochemistry*, vol. 32, p. 1581-1590, 2000.
- [31] G.M. King and S. Schnell, "Ammonium and Nitrite Inhibition of Methane Oxidation by *Methylobacter albus* BG8 and *Methylosinus trichosporium* OB3b at Low Methane Concentrations," *Applied and Environmental Microbiology*, vol. 60(10), p. 3508-3513, 1994.
- [32] K.E. Gomez, G. Gonzalez-gil, A. Lazzaro and M.H. Schroth, "Quantifying methane oxidation in a landfill-cover soil by gas push-pull tests," *Waste Management*, vol. 29, p. 2518-2526, 2009.

- [33] C. Xiaoli, L. Ziyang, T. Shimaoka, H. Nakayama, Z. Ying, C. Xiaoyan, T. Komiya, T. Ishizaki and Z. Youcai, "Characteristics of Environmental Factors and Their Effects on CH₄ and CO₂ Emissions from a Closed Landfill: An Ecological Case Study of Shanghai," *Waste Management*, vol. 30, p. 446-451, 2010.
- [34] A.H. Hilger, D.F. Cranford. and M. A. Barlaz, "Methane Oxidation and Microbial Exopolymer Production in Landfill Cover Soil," *Soil Biology & Biochemistry*, vol. 32, p. 457-467, 2000.
- [35] T.G. Reichenauer, A. Watzinger, J. Riesing and M.H. Gerzabek, "Impact of Different Plants on the Gas Profile of a Landfill Cover," *Waste Management*, vol. xx, p. xxx-xxx, 2010. In Press, Corrected proof, [Online]. Available [http:// www.elsevier.com/locate/wasman](http://www.elsevier.com/locate/wasman)., accessed 15/11/2010
- [36] H.A. Jones and D.B. Nedwell, "Methane Emission and Methane Oxidation in Landfill Cover Soil," *FEMS Microbiology Ecology*, vol. 102, p. 185-195, 1993.
- [37] K.A. Spokas and J.E. Bogner, "Limits and dynamics of methane oxidation in landfill cover soils", *Waste Management*, vol. xx, p. xxx-xxx, 2010. In Press, Corrected proof, [Online]. Available [http:// www.elsevier.com/locate/wasman](http://www.elsevier.com/locate/wasman)., accessed 10/11/2010
- [38] C. Chomsurin, "Evaluation of Gas Migration and Methane Oxidation in a Domestic Solid Waste Landfill," M.S. Thesis, Asian Institute of Technology, 1997. p. 40-42.