บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 มูลฝอย

2.1.1 ความหมายของขยะ

พระราชบัญญัติสาธารณสุข ปีพุทธศักราช 2535 เรื่องการกำจัดขยะมูลฝอย สิ่งปฏิกูล และสิ่งปนเปื้อน ระบุว่า มูลฝอยหมายความว่า เศษกระดาษ เศษผ้า เศษอาหาร เศษสินค้า เถ้า มูลสัตว์และซากสัตว์ รวมตลอดถึงวัสดุอื่นซึ่งเก็บกวาดจากถนน ตลาด ที่เลี้ยงสัตว์ หรือที่อื่นๆ (สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ, 2524)

สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติระบุว่า มูลฝอยหมายถึง บรรดาสิ่งต่างๆที่คนไม่ต้องการ และทิ้งไปทั้งนี้รวมถึงเศษผ้า เศษอาหาร มูลสัตว์ ซากสัตว์ เถ้า ฝุ่นละออง และเศษวัสดุสิ่งของที่เก็บกวาดจากเคหสถาน อาคาร ถนน ตลาด ที่เลี้ยงสัตว์ โรงงานอุตสาหกรรม และอื่นๆ

พิชัย(พิชัย สกุลพราหมณ์, 2535) กล่าวว่า ขยะหมายถึง สิ่งปฏิกูลที่เป็นของแข็ง อาจมีทั้งอินทรีย์วัตถุและอนินทรีย์วัตถุ โดยปกติเกิดจากการปฏิบัติภาระกิจและกิจกรรมต่างๆของคนในชุมชน จึงมีปริมาณและลักษณะแตกต่างกันไปตามที่ตั้งของท้องถิ่น ฤดูกาลและอุปนิสัยของคนในชุมชน

อุษา (อุษา วิเศษสุมน, 2537) กล่าวว่า ขยะสดหมายถึง เศษอาหารที่ได้จากห้องครัว การประกอบอาหาร รวมถึงพวกเศษใบตอง เศษผลไม้ อาหารที่เหลือทิ้ง ขยะประเภทนี้มีสารอินทรีย์ซึ่งเป็นอาหารของพวกแบคทีเรีย ทำให้เกิดการย่อยสลายบูดเน่าส่งกลิ่นเหม็น มีความชื้นสูงเป็นปัญหาในการเก็บรวบรวมรอการขนถ่าย และก่อให้เกิดเหตุรำคาญในเรื่องกลิ่นรวมถึงการคุ้ยเขี่ยของสัตว์

ตลาดสด หมายถึง สถานที่จัดการให้พ่อค้า แม่ค้า นำอาหารประเภทเนื้อ ผัก ผลไม้และอาหารที่เน่าเสียง่ายมาขายในที่ที่จัดไว้ให้ โดยทั่วไปตลาดมี 3 ประเภทคือ ตลาดสาธารณะ ตลาดเอกชน และตลาดนัด

2.1.2 ปัจจัยที่มีผลต่อองค์ประกอบของขยะ (สมพจน์ เตชะมีนา, 2543)

1. ที่ตั้งทางภูมิศาสตร์

2. ลักษณะชุมชน เช่น ชุมชนที่เป็นย่านการค้าจะมีปริมาณของมูลฝอยมากกว่าชุมชนที่เป็นย่านพักอาศัย

3. ฤดูกาล เช่น ในฤดูที่ผลไม้ออกจะทำให้ปริมาณขยะมูลฝอยเพิ่มขึ้น และองค์ประกอบของขยะมูลฝอยจะเปลี่ยนแปลงด้วย

4. สภาวะเศรษฐกิจและสังคม ในชุมชนที่มีรายได้สูงจะมีปริมาณมูลฝอยมากเนื่องจากมีกำลังซื้อมากกว่า

5. ความหนาแน่นของชุมชน ในชุมชนที่มีความหนาแน่นสูงจะมีปริมาณมูลฝอยมาก

2.1.3 การคาดคะเนปริมาณขยะในอนาคต

การวางแผนการจัดการขยะจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องคำนึงถึงปริมาณขยะในอนาคตเป็นอย่างมาก ซึ่งต้องอาศัยข้อมูลเกี่ยวกับขยะในอดีตและปัจจุบันเป็นแนวทางในการคาดคะเนปริมาณขยะในอนาคต จากการศึกษาของ JICA แสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ **2.1** การคาดคะเนปริมาณขยะจากตลาดในกรุงเทพมหานคร (JICA, 1982)

รายการ	ปี พ.ศ.	
	2523	**2543**
1. ปริมาณของขยะทั้งหมดจากแหล่งกำเนิดใน กทม. (ตันต่อวัน)	2380	5710
2. ปริมาณของขยะที่เป็นเศษอาหารและพืชผักจากขยะรวม (ตันต่อวัน)	1260	2680
3. ปริมาณของขยะที่เป็นเศษอาหารและพืชผักจากขยะรวม (%)	53.1	47
4. อัตราการเพิ่มเทียบกับปี พ.ศ.2523 (เท่า)	1	2.12

2.1.4 องค์ประกอบของขยะ

การศึกษาองค์ประกอบขยะนั้นจำเป็นในการเลือกวางแผนจัดการขยะให้เหมาะสมและมีประสิทธิภาพ โดยองค์ประกอบขยะจะแตกต่างกันไปตามแหล่งกำเนิดและฤดูกาล จากการศึกษาของสำนักรักษาความสะอาดกรุงเทพมหานครพบว่า องค์ประกอบขยะจำพวกเศษอาหารและผักผลไม้มีมากที่สุดร้อยละ 50.09 ขององค์ประกอบน้ำหนักเปียกดังแสดงในตารางที่ 2.2

1. องค์ประกอบขยะมูลฝอยจากบ้านเรือน ส่วนใหญ่ประกอบด้วยเศษอาหาร ผักผลไม้และใบไม้ถึงร้อยละ 56.7 ขององค์ประกอบน้ำหนักเปียกดังแสดงในตารางที่ 2.3

2. องค์ประกอบขยะมูลฝอยจากตลาดสด ส่วนใหญ่ประกอบด้วยเศษอาหาร และผักผลไม้ ตารางที่ 2.4 และ 2.5 เป็นตัวอย่างองค์ประกอบขยะมูลฝอยจากตลาดสด 2 แห่ง

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบขยะมูลฝอยในกรุงเทพมหานคร (กรุงเทพมหานคร, 2547)

องค์ประกอบ	ร้อยละขององค์ประกอบ (น้ำหนักเปียก)		
	สถานีขนถ่ายมูลฝอยอ่อนนุช	สถานีขนถ่ายมูลฝอยหนองแขม	เฉลี่ย
1. เศษอาหาร ผักผลไม้ ใบไม้	49.97	50.2	50.09
2. กระดาษ	11.61	11.52	11.57
3. พลาสติกและโฟม	23.52	12.36	17.94
4. ยางและหนัง	0.00	2.47	1.24
5. ผ้าและสิ่งทอ	2.28	8.58	5.43
6. แก้ว	3.18	5.17	4.18
7. โลหะ	2.60	0.82	1.71
8. ประเภทอื่นๆ	6.84	8.88	7.86
รวม	**100.00**	**100.00**	**100.00**
ความหนาแน่น (ตันต่อลูกบาศก์เมตร)	**0.48**	**0.30**	**0.39**

ตารางที่ 2.3 องค์ประกอบขยะมูลฝอยจากบ้านเรือนในกรุงเทพมหานคร (ธันวดี ศรีธาวิรัตน์, 2543)

องค์ประกอบ	ร้อยละขององค์ประกอบ (น้ำหนักเปียก)
1. เศษอาหาร ผักผลไม้ ใบไม้	56.7
2. กระดาษ	8.7
3. พลาสติก	17.7
4. ยาง	0.5
5. ผ้า	2.1
6. ไม้	1.3
7. แก้ว	6.9
8. โลหะ	3.2
9. หินและกระเบื้อง	0.8
10. สารพิษหรือสารอันตราย	2.1
รวม	**100.0**
ความหนาแน่น (ตันต่อลูกบาศก์เมตร)	**0.217**

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.4 องค์ประกอบขยะมูลฝอยจากตลาดสี่มุมเมือง (Patummart Chewha, 2003)

องค์ประกอบ	ร้อยละขององค์ประกอบ (น้ำหนักเปียก)
1. ผักกาดขาว	12.5
2. ผักบุ้ง	11.5
3. มะเขือยาว	31.5
4. ผักคะน้า	10.0
5. ถั่วฝักยาว	12.5
6. ผักกระเฉด	3.0
7. กะหล่ำปลี	3.0
8. ผักกาด	2.0
9. แตงกวา	2.5
10. กล้วย	5.0
11. ส้ม	6.5
รวม	**100.0**
ความหนาแน่น (ตันต่อลูกบาศก์เมตร)	**0.29**

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.5 องค์ประกอบขยะมูลฝอยจากตลาดกลางรังสิต (ธันวดี ศรีธาวิรัตน์, 2543)

องค์ประกอบ	ร้อยละขององค์ประกอบ(น้ำหนักเปียก)
1. เศษอาหาร ผักผลไม้ ใบไม้	77.48
2. กระดาษ	8.97
3. พลาสติก	7.68
4. ยาง	0.19
5. ไม้	0.77
6. แก้ว	0.23
7. โลหะ	3.46
9. กระดูกและเปลือกหอย	1.22
รวม	**100**
ความหนาแน่น (ตันต่อลูกบาศก์เมตร)	**0.301**

2.2 วิธีฝังกลบตามหลักการสุขาภิบาล (Sanitary Landfill) (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2539)

วิธีนี้เป็นวิธีที่นิยมเลือกใช้กันมากที่สุดสำหรับชุมชนขนาดใหญ่เช่น เขตสุขาภิบาล เขตเทศบาล วิธีนี้มีหลักการในการกำจัดคล้ายๆ กับวิธีฝังกลบขยะมูลฝอยในหลุม เพียงแต่ว่าวิธีนี้จะมีขนาดใหญ่กว่ามาก ๆ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการควบคุมดูแลอย่างดี ต้องมีระบบการจัดการขยะมูลฝอยที่ดีและต้องมีผู้ร่วมงานที่เข้าใจการทำงานของระบบอย่างดี ที่ผ่านมาพบว่าแม้ว่าจะมีการออกแบบระบบกำจัดขยะมูลฝอยแบบวิธีนี้เป็นอย่างดีแล้ว แต่การดำเนินการขาดการเอาใจใส่ ไม่มีความเข้าใจในการทำงานของระบบ ทำให้ระบบกำจัดขยะมูลฝอยแบบนี้กลายเป็นระบบถมบนที่ลุ่ม ก่อให้เกิดปัญหาต่าง ๆ มากมาย วิธีกำจัดขยะมูลฝอยแบบฝังกลบตามหลักการสุขาภิบาลคือการนำขยะมูลฝอยที่เก็บขนได้นำมาทิ้งบนพื้นที่ที่จัดรอไว้ให้แล้ว และต้องมีการเทดินปกคลุมทับถมหนาพอสมควรในแต่ละวัน และต้องแน่ใจว่าไม่มีน้ำชะขยะมูลฝอย (Leachate) ไหลผสมกับน้ำใต้ดินเป็นอันขาด

2.2.1 การเลือกสถานที่

การเลือกสถานที่กำจัดขยะมูลฝอยด้วยวิธีนี้เป็นขั้นตอนที่ยาก เพราะต้องได้ขนาดพื้นที่ที่เหมาะสมคือ น่าจะได้นานถึง 5- 10 ปีเป็นอย่างน้อย ปัจจัยที่ควรนำมาพิจารณาเลือกสถานที่กำจัดขยะมูลฝอยด้วยวีธีฝังกลบแบบถูกหลักการสุขาภิบาลมีดังต่อไปนี้คือ

1. เป็นที่ยอมรับได้ของชุมชนในบริเวณนั้น
2. มีถนนตัดผ่านซึ่งมีขนาดที่เหมาะสมแข็งแรง และความเร็วของรถที่วิ่งบนถนน
3. ปัญหาจราจร
4. ระยะเวลาในการขนส่งขยะมูลฝอยไปพื้นที่กำจัด
5. ระดับน้ำใต้ดินของพื้นที่
6. ลักษณะทางธรณีวิทยา
7. ความยากง่ายในการหาดินปกคลุมกองขยะมูลฝอย
8. สภาพภูมิอากาศทั่วไป
9. ปัญหาน้ำท่วมขัง
10. ลักษณะบริเวณรอบๆ พื้นที่เช่น มีต้นไม้รอบ ๆ บริเวณ ไม่มีอาคารพักอาศัยของชุมชน
11. เป็นพื้นที่สำคัญเกี่ยวกับทางโบราณคดีหรือประวัติศาสตร์หรือไม่

สถานที่กำจัดขยะมูลฝอยมีข้อกำหนดเพิ่มเติมที่ควรทราบดังนี้

1. ควรห่างจากแหล่งน้ำ ลำธาร คลอง แม่น้ำ ประมาณอย่างน้อย 30 เมตร
2. ควรห่างจากบ่อน้ำบาดาลอย่างน้อย 160 เมตร
3. ควรห่างจากบ้านพักอาศัย โรงเรียน สวนสาธารณะ อย่างน้อย 6 เมตร
4. ควรห่างจากสนามบินอย่างน้อย 3 กิโลเมตร

2.2.2 ขนาดของพื้นที่ฝังกลบ

ในการคำนวณหาปริมาตรของพื้นที่ฝังกลบขยะ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2-1)

$$V_{LF} = \frac{PEC}{D_C} \qquad (2\text{-}1)$$

เมื่อ V_{LF} = ปริมาตรของพื้นที่ฝังกลบในรอบปี, ลูกบาศก์เมตร/ปี

P = จำนวนประชากร, คน

C = ปริมาณขยะมูลฝอยที่เก็บขนได้, กิโลกรัม/คน/ปี

D_C = ความหนาแน่นของขยะมูลฝอยที่บดอัดแล้วในพื้นที่, กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร

E = $(V_{SW} + V_C) / V_{SW}$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

V_C = ปริมาตรของดินฝังกลบ, ลูกบาศก์เมตร

V_{SW} = ปริมาตรของขยะมูลฝอย, ลูกบาศก์เมตร

พบว่าถ้าพื้นที่ฝังกลบมีทั้งหมด 3 ชั้นใหญ่ โดยมีความหนาแต่ละชั้นที่ฝังกลบขยะมูลฝอยประมาณ 2.5 เมตร จะสามารถรับขยะมูลฝอยได้ปริมาณ 780 ตันต่อปี ในระยะเวลา 20 ปี จะต้องการขนาดพื้นที่ฝังกลบประมาณ 10,000 ตารางเมตร หรือ 6.25 ไร่

2.2.3 การจัดเตรียมพื้นที่ฝังกลบ

ในการจัดเตรียมพื้นที่ฝังกลบควรมีข้อควรพิจารณาในการดำเนินการดังนี้

1. ถนนต้องเป็นแบบรถบรรทุกวิ่งสวนทางได้ คือต้องมีขนาดกว้างอย่างน้อย 8.0 เมตร
2. ความลาดขึ้นของถนนน่าจะมีน้อยกว่า 7% และความลาดลงของถนนน่าจะมีน้อยกว่า 10%
3. ในพื้นที่นี้ควรมีระบบไฟฟ้า ประปา และโทรศัพท์
4. ควรมีระบบป้องกันอัคคีภัย
5. ควรมีระบบควบคุมฝุ่นละอองในพื้นที่
6. ควรมีห้องนอน ห้องอาบน้ำ และอาคารสำนักงานที่ถูกสุขลักษณะ
7. ควรมีโรงจอดรถสำหรับรถทุกประเภท
8. มีระบบควบคุมและป้องกันความปลอดภัยสำหรับการทำงานในพื้นที่
9. มีตู้ยาประจำพื้นที่อย่างเพียงพอ
10. มีเครื่องชั่งน้ำหนักรถเก็บขนขยะมูลฝอย

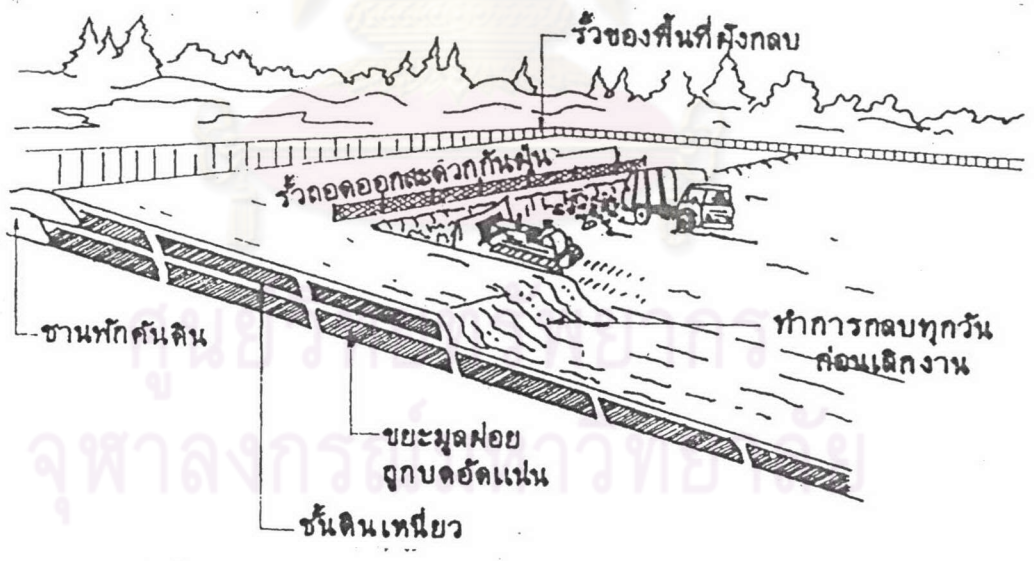
2.2.4 วิธีฝังกลบ

วิธีฝังกลบมีอยู่ด้วยกัน 3 วิธีใหญ่ๆ คือ 1. วิธีพื้นที่ (Area Method) 2. วิธีร่อง (Trench Method) และ 3. วิธีบ่อ (Depression Method) แต่ละวิธีจะมีความเหมาะสมกับการกำจัดขยะมูลฝอยที่แตกต่างกันไป ซึ่งแล้วแต่สภาพพื้นที่ที่ทำการฝังกลบเป็นหลัก แต่พบว่าบางพื้นที่อาจเลือกใช้ทั้งสองหรือสามวิธีก็ได้ ต่อไปนี้จะได้แสดงวิธีการกำจัดขยะมูลฝอยทั้งสามวิธีดังนี้

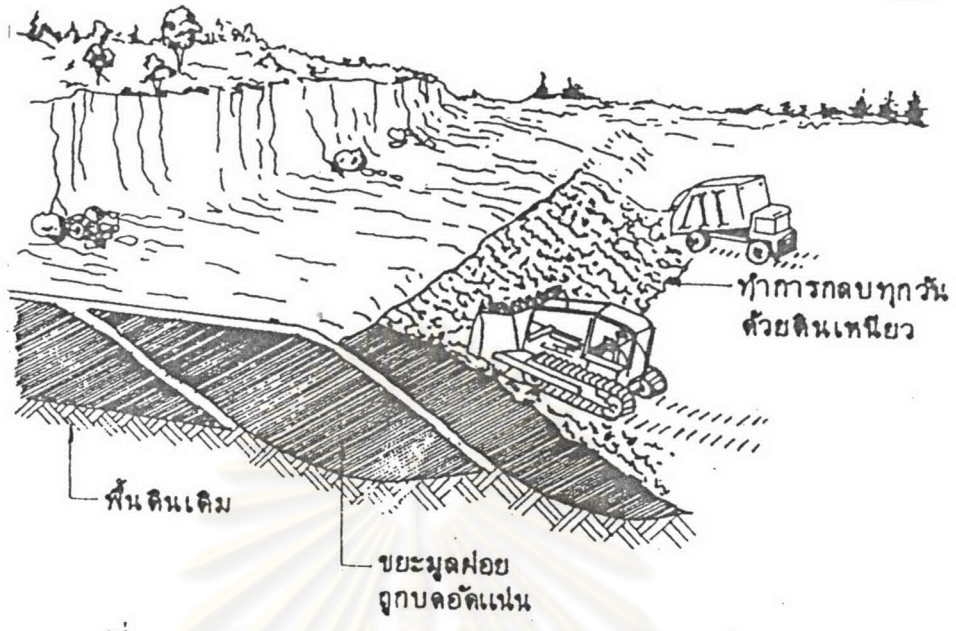
1. วิธีพื้นที่ (Area Method) วิธีนี้ใช้สำหรับการทิ้งขยะมูลฝอยและเกลี่ยเป็นแนวยาวที่มีขนาดกว้างประมาณ 5 เมตร แต่ละชั้นขยะมูลฝอยจะมีความหนาประมาณ 0.50 เมตร แล้วทำการบดอัดก่อนที่จะทิ้งขยะมูลฝอยทับลงไปอีก ทำแบบนี้จนกระทั่งได้ความหนาประมาณ 2-3 เมตร จากนั้นทำการถมดินกลบหนาประมาณ 0.30 เมตร ก่อนที่จะเลิกงานในวันนั้น ขยะมูลฝอยได้ถูก

บดอัดพร้อมกับมีดินกลบเรียบร้อยแล้วเป็นชุด ซึ่งมักนิยมเรียกว่าเซล (Cell) สำหรับบางพื้นที่ที่ไม่มีดินกลบมากนักอาจเลือกใช้วิธีลาดเอียง (Ramp method) ซึ่งยังเป็นวิธีพื้นที่ เพียงแต่ว่าดินที่ใช้กลบขยะมูลฝอยจะใช้วิธีกวาดดินจากพื้นดินบริเวณที่จะกลบขยะมูลฝอย มาทำการกลบขยะมูลฝอย และถ้ามีดินไม่เพียงพอสามารถนำดินจากแหล่งอื่นมากลบได้ รูปที่ 2.1 และ 2.2 ได้แสดงวิธีพื้นที่และวิธีลาดเอียง

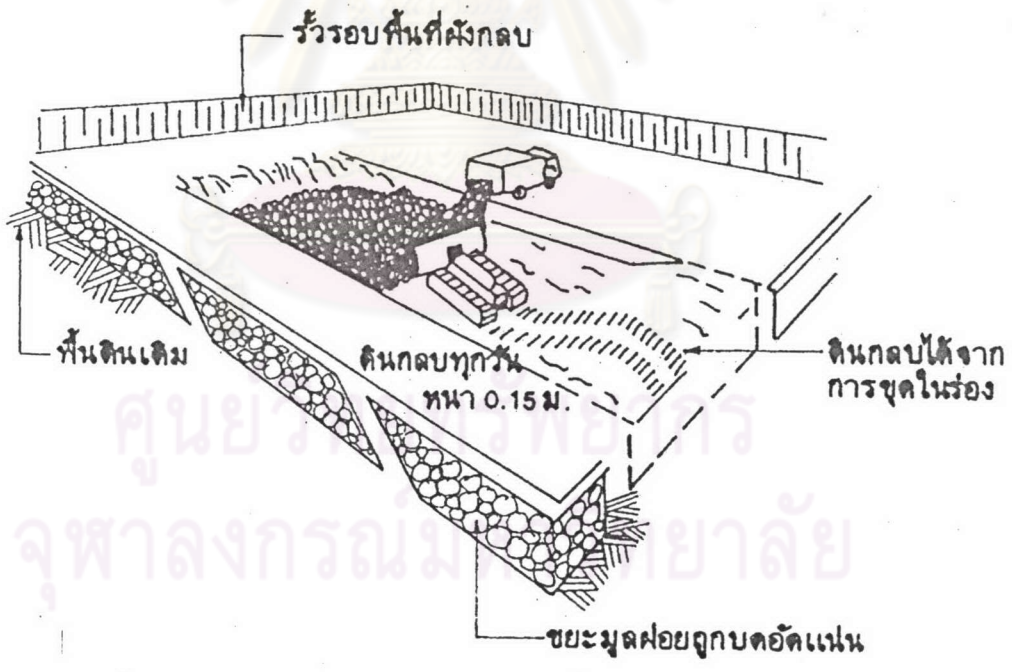
2. วิธีร่อง (Trench Method) วิธีนี้เป็นวิธีฝังกลบแบบร่องคือ พื้นที่ที่ฝังกลบมีดินที่สามารถใช้เป็นดินกลบมากพอสมควร ขั้นตอนในการดำเนินการคือ ใช้รถขุดพื้นดินเป็นร่องยาวประมาณ 30-100 เมตร กว้างประมาณ 5-8 เมตร และลึกประมาณ 2 เมตร ดินที่ขุดขึ้นมาจะกองไว้ด้านข้างของร่อง จนได้ขนาดร่องตามความต้องการ แล้วจึงทิ้งขยะมูลฝอยลงในร่อง เกลี่ยขยะเป็นชั้นบาง ๆ ประมาณ 0.60 เมตร แล้วทำการบดอัดอย่างดีก่อนที่จะทิ้งขยะมูลฝอยลงไปแล้วทำการบดอัดอีก ทำแบบนี้เรื่อยๆจนได้ขนาดความสูงของชั้นขยะมูลฝอยตามต้องการ ก่อนที่จะเลิกงานในแต่ละวันจะต้องทำการกลบขยะมูลฝอยด้วยดินที่ขุดมาจากด้านข้าง เพื่อทำเป็นร่องถัดไป หรืออาจขุดดินจากบริเวณถัดไปในร่องเดียวกันนี้เพื่อเตรียมเป็นร่องไว้สำหรับทิ้งขยะมูลฝอยในวันรุ่งขึ้น รูปที่ 2.3 ได้แสดงการฝังกลบขยะมูลฝอยแบบวิธีร่อง



รูปที่ 2.1 การฝังกลบขยะมูลฝอยแบบวิธีพื้นที่ (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2539)

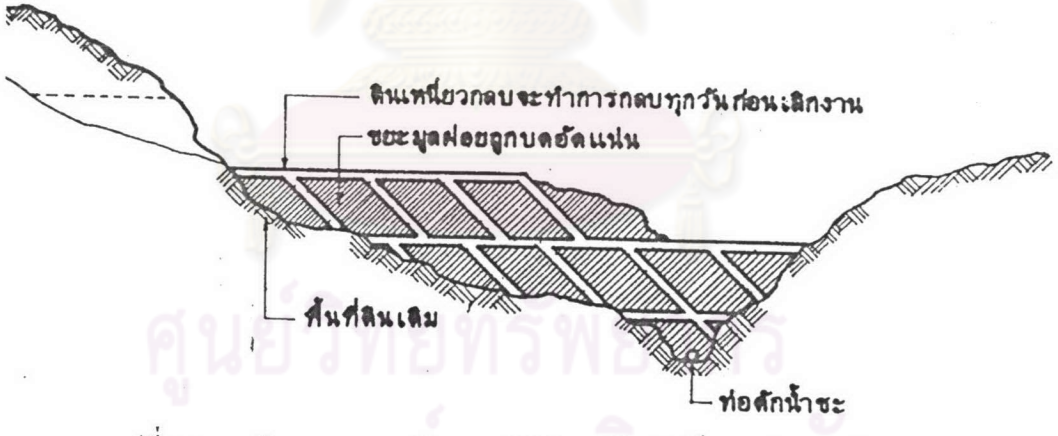


รูปที่ 2.2 การฝังกลบขยะมูลฝอยแบบวิธีลาดเอียง (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2539)



รูปที่ 2.3 การฝังกลบขยะมูลฝอยแบบวิธีร่อง (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2539)

3. วิธีบ่อ (Depression Method) วิธีนี้เหมาะสำหรับพื้นที่ที่มีลักษณะเป็นบ่อหรือหุบเขา ดังได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.4 ขั้นตอนในการฝังกลบก็มีหลักการคล้ายๆ กับทั้งสองวิธีดังที่ได้แสดงไว้แล้วข้างต้น เพียงแต่ลักษณะภูมิประเทศของพื้นที่แตกต่างกันคือ จะมีความลาดชันของสันบ่อมากๆเช่น มีสันบ่อที่มีความลาดเอียง 2:1 โดยปกติวิธีฝังกลบแบบนี้จะได้ความหนาแน่นของขยะที่ฝังกลบอยู่สูงถึง 780 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในบางแห่งการฝังกลบขยะมูลฝอยอาจทำได้โดยไม่ต้องมีการกลบดินทุกวัน เพียงแต่ต้องมีการบดขยะมูลฝอยก่อนที่จะทิ้งขยะมูลฝอยลงในพื้นที่ฝังกลบ จากนั้นจะทำการเกลี่ยขยะมูลฝอยและทำการบดอัดในแต่ละวันให้ดี โดยไม่ต้องมีการกลบดิน ในวันถัดมาก็จะนำขยะมูลฝอยที่ถูกบดแล้วมาทิ้งและบดอัดขยะมูลฝอยทับถมลงไปอีก ทำเช่นนี้เรื่อยๆ ทุกๆวันจนได้ขนาดความสูงของชั้นขยะมูลฝอยตามที่ต้องการ จากนั้นจึงทำการกลบดินที่ผิวบนและทำการบดอัดพื้นดินให้แน่นดีที่สุด เพื่อสำหรับการใช้ประโยชน์ของที่ดินต่อไป พบว่าจะไม่มีปัญหาเกี่ยวกับกลิ่นเหม็นในแต่ละวันที่ไม่ได้ใช้ดินกลบขยะมูลฝอย และยังพบอีกว่าหนูไม่สามารถอาศัยอยู่ในขยะมูลฝอยที่มีเศษอาหารปนอยู่ต่ำกว่า 20% เมื่อมีการบดอัดแล้วได้ และพบว่าขยะมูลฝอยที่ถูกบดแล้วมาทำการบดอัด จะมีความแน่นกว่าแบบวิธีที่นำขยะมูลฝอยมาทำการบดอัดในพื้นที่โดยตรงถึง 35% วิธีนี้เหมาะกับการฝังกลบขยะมูลฝอยที่ไม่มีดินเพียงพอในการฝังกลบ แต่ต้องมีเครื่องบดอัดขยะมูลฝอยไว้ที่พื้นที่ และอาจมีปัญหาเกี่ยวกับน้ำชะขยะมูลฝอยเพิ่มขึ้น



รูปที่ 2.4 การฝังกลบขยะมูลฝอยแบบวิธีบ่อ (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2539)

2.2.5 การควบคุมน้ำชะขยะมูลฝอยในบริเวณพื้นที่ฝังกลบ

น้ำชะขยะมูลฝอย (Leachate) คือน้ำที่ไหลซึมผ่านชั้นขยะมูลฝอยและได้ละลายหรือชะเอาสารต่างๆ จากขยะมูลฝอยไปด้วย และจะไหลซึมลงชั้นล่างของพื้นที่ฝังกลบจนถึงระดับน้ำใต้ดินได้ถ้าไม่มีการควบคุมและป้องกันไว้น้ำชะขยะมูลฝอยมีคุณภาพน้ำที่สกปรกมาก ถ้าจะเปรียบเทียบ

คุณภาพน้ำทิ้งจากชุมชนทั่วไปตามท่อระบายน้ำทิ้งรวม จะมีค่าบีโอดีมากกว่าถึง 10-150 เท่า และยังเป็นน้ำเสียที่มีสารพิษปนเปื้อนมากมายอีกด้วย ดังจะได้แสดงคุณภาพของน้ำชะขยะมูลฝอย (Leachate) จากบริเวณพื้นที่ฝังกลบไว้ในตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 คุณภาพน้ำชะขยะมูลฝอยจากพื้นที่ฝังกลบทั่วไป (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2539)

ค่าต่าง ๆ	ช่วงค่าทั่วไป (มิลลิกรัมต่อลิตร)
บีโอดี	2,000 – 30,000
ซีโอดี	3,000 – 45,000
สภาพความเป็นด่าง	1,000 – 10,000
แคลเซียม (Ca)	200 – 3,000
โซเดียม (Na)	200 – 2,000
ซัลเฟต (SO_4)	100 – 1,500
คลอไรด์ (Cl^-)	100 – 1,500
ความกระด้าง (ของ $CaCO_3$)	300 – 10,000
แอมโมเนีย (ของ N)	10 - 800
สารอินทรีย์ (ของ N)	10 - 600
ไนเตรท (ของ N)	5 - 40
ออร์โทฟอสเฟต (ของ P)	1 - 50
ฟอสฟอรัสทั้งหมด (ของ P)	1 - 70
สารตะกอนแขวนลอยทั้งหมด	200 – 1,000
พีเอช	5.3 - 8.5

สำหรับการควบคุมไม่ให้น้ำชะขยะมูลฝอยไหลซึมลงใต้ดินอาจใช้วิธีการต่างๆดังนี้

1. เดินท่อระบายน้ำชะตามบริเวณต่างๆ ภายในชั้นกลบขยะมูลฝอย (Underdrain Pipe)
2. ปูแผ่นพลาสติกเพื่อป้องกันไม่ให้น้ำชะขยะมูลฝอยไหลซึมลงน้ำใต้ดินได้
3. มีการเดินท่อระบายน้ำชะขยะบริเวณใต้แผ่นพลาสติกที่ปูหรือชั้นดินเหนียว เพื่อการป้องกันชั้นที่สอง
4. มีการปูแผ่นพลาสติกหรือชั้นดินเหนียวอีกชั้นใต้ระบบท่อระบายน้ำชะขยะของข้อ 3 เพื่อการป้องกันชั้นที่สาม
5. ใช้ดินเหนียวมาป้องกันการไหลซึมของน้ำชะขยะมูลฝอยบริเวณผิวบนของการฝังกลบ

การคำนวณหาอัตราการไหลของน้ำชะขยะมูลฝอยผ่านชั้นดิน สามารถคำนวณได้จากกฎของ Darcy ตามสมการที่ (2-2)

$$Q = KA \frac{\Delta h}{\Delta L} \qquad (2\text{-}2)$$

เมื่อ Q = อัตราไหลของน้ำชะขยะมูลฝอย, ลูกบาศก์เมตรต่อวัน

K = ค่าสัมประสิทธิ์การซึมของดิน, เมตรต่อวัน (ใช้ข้อมูลจากตารางที่ 2.7)

A = พื้นที่หน้าตัดที่น้ำชะขยะมูลฝอยไหลผ่าน, ตารางเมตร

$\frac{\Delta h}{\Delta L}$ = ค่า Hydraulic gradient, เมตร/เมตร

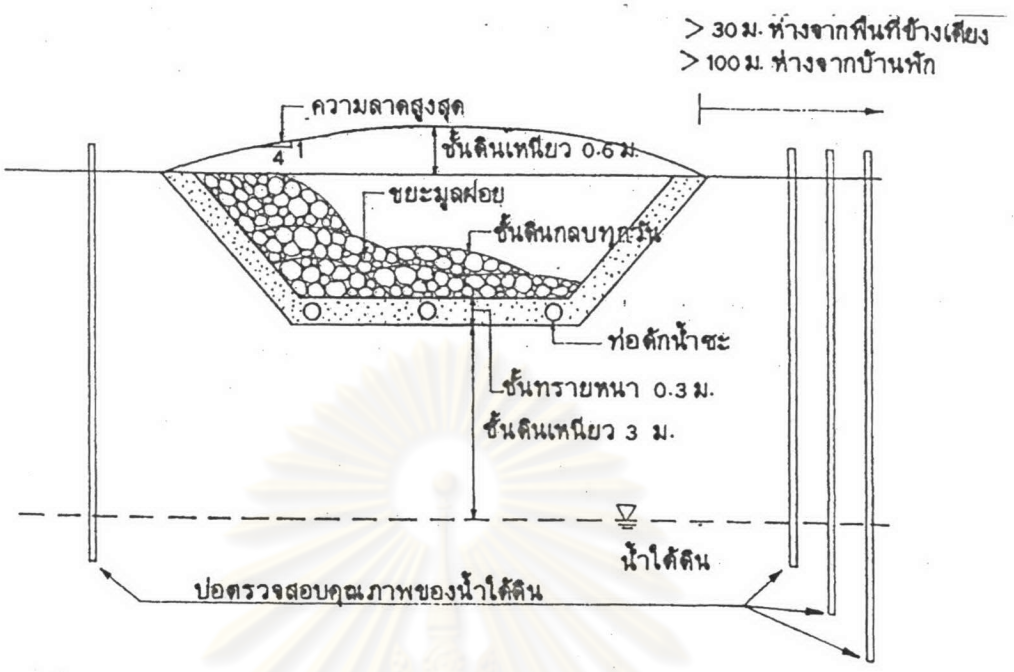
ตารางที่ 2.7 ค่าสัมประสิทธิ์การซึมของดินประเภทต่าง ๆ(เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2539)

ประเภทดิน	ค่าสัมประสิทธิ์การซึม (K) (เมตรต่อวัน)
ทรายหยาบมาก	406
ทรายหยาบ	102
ทรายผสมกรวด	102
ทรายละเอียด	4.1
ทรายปนดินตะกอนและกรวด	0.4
ทรายปนดินตะกอน (Silty sand)	0.1
ดินตะกอน (Uniform silt)	0.05
ดินเหนียวปนทราย (Sandy clay)	0.005
ดินเหนียวปนดินทราย (Silty clay)	0.001
ดินเหนียว	0.0001
ดินเหนียวประเภทคอลลอยด์ (Colloidal clay)	0.000001

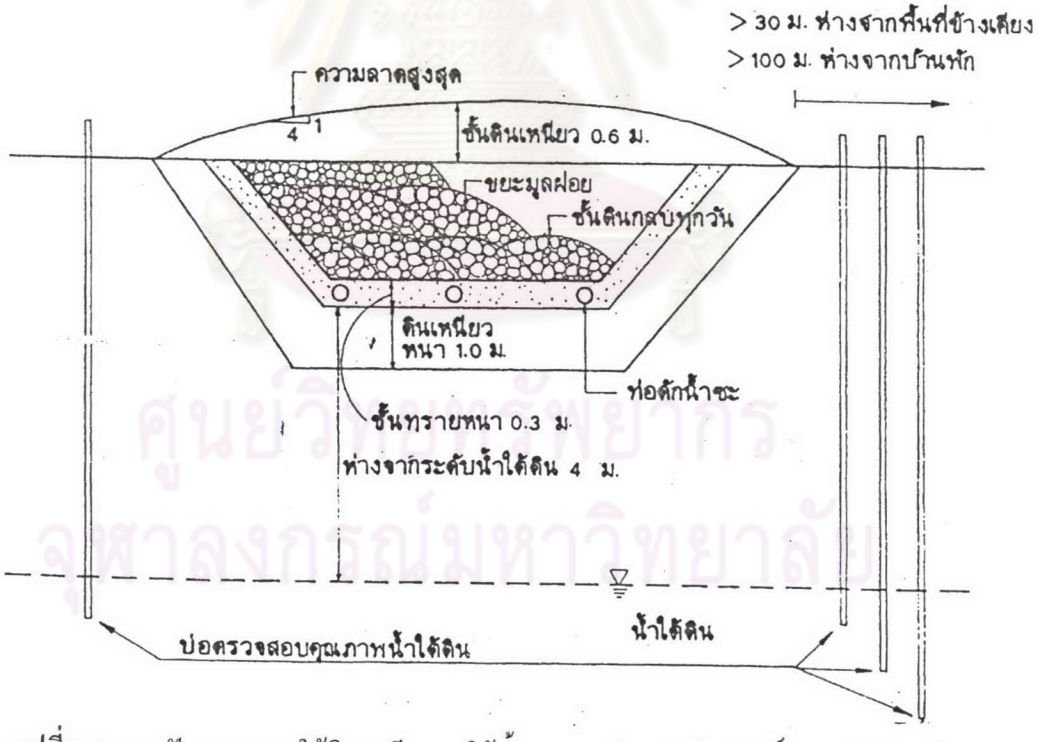
ในการป้องกันไม่ให้น้ำชะขยะมูลฝอยไหลซึมลงน้ำใต้ดิน อาจใช้วัสดุกันซึมประเภทต่างๆ ดังนี้

1. ดินเหนียวอัดแน่น
2. พวกสารเคมีอนินทรีย์ได้แก่ Na_2CO_3, Silicate หรือ Pyrophosphate เป็นต้น
3. พวกสารเคมีสังเคราะห์ได้แก่ โพลีเมอร์, ยางลาเทค เป็นต้น
4. พวกแผ่นเยื่อสังเคราะห์ ได้แก่ PVC, PE, ไนล่อน, ยางต่าง ๆ เป็นต้น
5. ยางมะตอย (Asphalt) ได้แก่ Asphalt Concrete, Rubber Impregnated Asphalt เป็นต้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

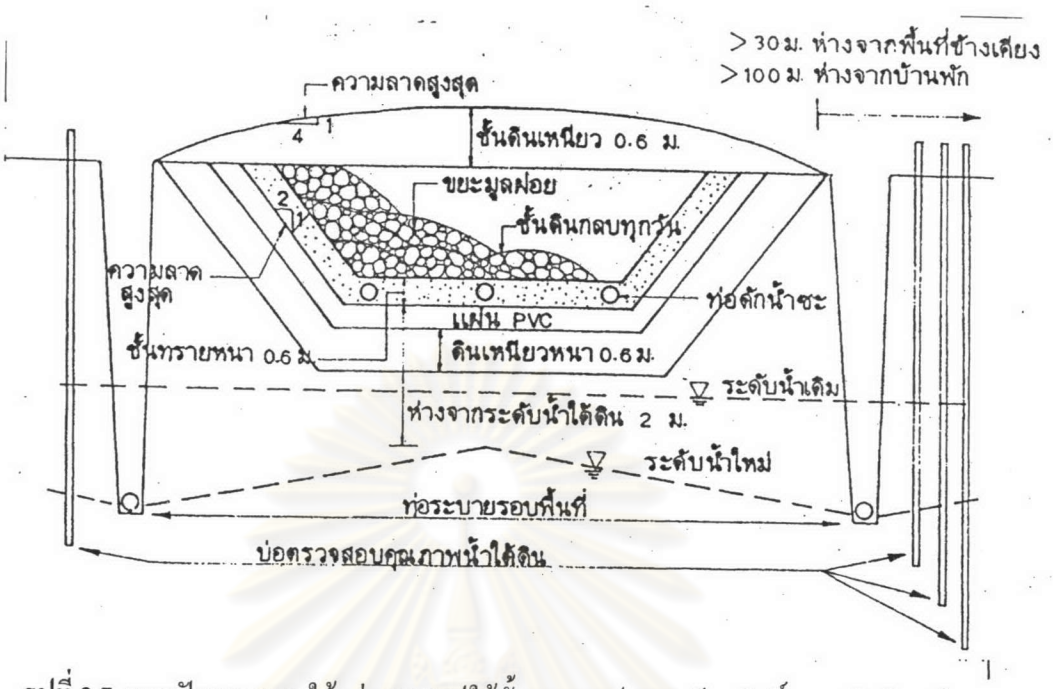


รูปที่ 2.5 หลุมฝังกลบแบบที่มีดินเหนียวธรรมชาติอยู่แล้ว (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2539)



รูปที่ 2.6 หลุมฝังกลบแบบใช้ดินเหนียวถมใต้ชั้นขยะมูลฝอย (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2539)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.7 หลุมฝังกลบแบบใช้แผ่น PVC ปูใต้ชั้นขยะมูลฝอย (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2539)

2.2.6 การใช้ดินกลบขยะมูลฝอยบนพื้นที่ฝังกลบ

ในการใช้ดินกลบขยะมูลฝอยบนพื้นที่ฝังกลบจะมีอยู่ 3 แบบ ดังนี้คือ

1. การกลบขยะมูลฝอยในแต่ละวัน
2. การกลบขยะมูลฝอยบริเวณชั้นกลาง
3. การกลบขยะมูลฝอยบริเวณชั้นบน

โดยปกติการกลบขยะมูลฝอยในแต่ละวันมีอยู่แล้วเป็นประจำวัน ควรหยุดรับขยะมูลฝอยจากรถเก็บขนในเวลาก่อนเลิกงานประมาณ 2 ชั่วโมง เพื่อให้เวลากับพนักงานที่ทำการดำเนินการฝังกลบขยะมูลฝอยในพื้นที่ให้เสร็จก่อนเลิกงาน เพื่อไม่ให้มีเศษขยะมูลฝอยเหลือตกค้างเปิดอยู่บนพื้นที่ ซึ่งอาจเป็นแหล่งเชื้อโรคมีแมลงวันตอมขยะมูลฝอย มีหนูมาคุ้ยเขี่ย เป็นแหล่งเกิดไฟไหม้และส่งกลิ่นเหม็นทั่วบริเวณ ดังนั้นจึงห้ามไม่ให้มีเศษขยะมูลฝอยให้เห็นบนพื้นที่เป็นอันขาด โดยควรมีผู้ตรวจงานทำการตรวจงานเป็นประจำ

1. การกลบขยะมูลฝอยในแต่ละวัน ขั้นตอนนี้มีความสำคัญมากต่อการดำเนินการฝังกลบขยะมูลฝอย โดยทั่วไปควรมีการกลบมูลฝอยด้วยดินหนาอย่างน้อยประมาณ 15 เซนติเมตร ซึ่ง

สามารถทนต่อลมและฝนได้ประมาณไม่เกิน 7 วัน และการกลบขยะมูลฝอยในขั้นตอนนี้ควรไม่ให้มีการเกิดหลุมขึ้นซึ่งอาจก่อให้เกิดน้ำฝนขังได้

2. การกลบขยะมูลฝอยบริเวณชั้นกลาง ขั้นตอนนี้มีความสำคัญมากอีกขั้นตอนหนึ่งคือต้องการควบคุมการระบายก๊าซและอาจเป็นชั้นรองรับถนนของพื้นที่ได้ โดยทั่วไปจะมีความหนาของชั้นกลางประมาณไม่น้อยกว่า 30 เซนติเมตร ซึ่งสามารถทนแดดทนลมและฝนได้ประมาณไม่เกิน 1 ปี และต้องมีการบดอัดดินให้แน่นเป็นอย่างดี ในบางพื้นที่อาจจำเป็นต้องทำการปรับแก้พื้นที่ที่เกิดการยุบตัว การกัดเซาะ เป็นต้น

3. การกลบมูลฝอยบริเวณชั้นบน ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนสุดท้าย ที่จำเป็นต้องทำการฝังกลบขยะมูลฝอยให้เสร็จเรียบร้อยและแข็งแรง โดยทั่วไปจะมีความหนาของชั้นบนประมาณไม่น้อยกวา 60 เซนติเมตร ซึ่งสามารถทนแดดทนลมและฝนได้เกิน 1 ปีเป็นอย่างน้อย และต้องมีการบดอัดดินให้แน่นเป็นอย่างดี ด้วยการบดอัดดินให้แน่นทุกๆ 15 เซนติเมตรในแต่ชั้น แต่บริเวณชั้นผิวบนต้องไม่ให้แน่นจนไม่สามารถปลูกหญ้า ต้นไม้ หรือพืชพันธุ์ต่างๆได้ การปรับความลาดบนพื้นที่ผิวต้องกระทำอย่างถูกต้องตามหลักวิศวกรรม เพื่อไม่ให้เกิดแอ่งน้ำขังเล็กๆได้ โดยปกติควรมีความลาดประมาณไม่เกิน 2 – 4 % เพื่อป้องกันการเซาะหลุดไปได้

2.2.7 การบำรุงรักษา

การฝังกลบแบบถูกหลักสุขาภิบาล จะมีความแตกต่างกับการทิ้งขยะมูลฝอยบนพื้นที่ต่างๆแบบเปิดคือ มีการควบคุมมลพิษต่างๆที่อาจเกิดขึ้นได้เช่น น้ำชะขยะมูลฝอยทำให้เกิดน้ำเสีย ฝุ่นละอองเนื่องจากการขับรถบนพื้นที่ฝังกลบ กลิ่นเหม็น แมลงต่างๆตอมบนพื้นที่ เป็นแหล่งที่อยู่อาศัยของหนู เป็นต้น ดังนั้นการควบคุมตั้งแต่เริ่มการก่อสร้างพื้นที่ฝังกลบ จนกระทั่งเมื่อเสร็จสิ้นโครงการฝังกลบคือหมดอายุของพื้นที่

ในการควบคุมฝุ่นที่จะเกิดขึ้นบริเวณพื้นที่ฝังกลบ อาจกระทำได้โดยการปลูกพืชหรือต้นไม้ต่างๆรอบพื้นที่ เพื่อให้รากพืชช่วยยึดดินให้แน่นหน้าดินไม่หลุดลอกออกมา เป็นการป้องกันฝุ่นฟุ้งกระจายออกและช่วยป้องกันกลิ่นเหม็นออกจากพื้นที่ อีกทั้งยังทำให้มีทัศนียภาพที่ดี วิธีชั่วคราวคือการฉีดพ่นละอองน้ำลงบนพื้นที่ที่รถขับเคลื่อนผ่านอย่างสม่ำเสมอ การควบคุมการทิ้งขยะมูลฝอยเรี่ยราดกระจุยกระจายบนพื้นที่ฝังกลบและพื้นที่อาคารสำนักงาน ควรมีการควบคุมกันอย่างเข้มงวดไม่ให้มีการทิ้งขยะมูลฝอยเรี่ยราด ทำให้ไม่น่าดูต่อผู้คนที่มาเยี่ยมชม ผู้ที่อาศัยอยู่

ใกล้เคียงหรือผ่านไปมา ซึ่งอาจก่อให้เกิดปัญหาชุมชนไม่พอใจกับการฝังกลบขยะมูลฝอยเพราะจะเกิดปัญหามลพิษต่างๆดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ดังนั้นควรมีเจ้าหน้าที่รับผิดชอบเกี่ยวกับการควบคุมการทิ้งขยะมูลฝอย และควรมีถังขยะไว้ทั่วบริเวณพื้นที่ฝังกลบด้วย อีกทั้งมีการเก็บขยะมูลฝอยที่ตกหล่นจากรถเก็บขนที่เดินทางตั้งแต่บริเวณประตูทางเข้าจนถึงพื้นที่ที่ทิ้งขยะมูลฝอย เพราะอาจมีขยะมูลฝอยบางชนิดเช่น เศษกระดาษถูกลมพัดกระจัดกระจายเรี่ยราดไปทั่วบริเวณ โดยควรกำหนดให้มีการทำความสะอาดบริเวณพื้นที่ทั้งหมดให้เสร็จสิ้นก่อนเลิกงานทุกวัน

เครื่องมือต่างๆที่ใช้ควรได้รับการทำความสะอาดอย่างสม่ำเสมอตามกำหนด เช่น เครื่องมือบางชนิดอาจต้องทำความสะอาดทุกๆวัน บางชนิดอาจต้องดูแลบำรุงรักษาทุกๆสัปดาห์ หรือทุกๆเดือนเป็นต้น

พวกหนูหรือสัตว์ต่างๆควรมีการกำจัดออกให้หมดไม่ให้มีในพื้นที่แม้แต่น้อย แต่บางครั้งพวกหนูหรือสัตว์อื่นๆอาจติดมากับรถเก็บขน ทำให้เกิดการแพร่พันธุ์มากขึ้นดังนั้นควรมีการกำจัดด้วยยาเบื่อ โดยปกติควรใช้ยาเบื่อทุกๆวัน ในระยะเวลา 3 สัปดาห์ จนกระทั่งแน่ใจว่าไม่มีหลงเหลืออยู่อีกในพื้นที่ แต่อย่างไรก็ตามดังที่ได้กล่าวมาข้างต้นแล้วว่าต้องมีการกลบขยะมูลฝอยเป็นประจำวันเป็นสำคัญ

สำหรับพวกแมลงวันพบว่าอาจมีมากในช่วงฤดูผลไม้และฤดูร้อน ดังนั้นอาจมีการใช้ยาฉีดพ่นฆ่าแมลงบนบริเวณพื้นที่ฝังกลบบ้างถ้าพบว่ามีแมลงวันมากยากที่จะกำจัด แต่วิธีที่ดีที่สุดในการป้องกันการเกิดแมลงวันตอมขยะมูลฝอยคือการกลบขยะมูลฝอยเป็นประจำทุกวัน

นอกจากนั้นแล้วควรมีมาตราฐานการตรวจสอบ ตรวจวัดค่ามลพิษต่างๆ เช่น คุณภาพอากาศ คุณภาพน้ำประปา คุณภาพน้ำทิ้ง คุณภาพดิน เป็นต้น และควรมีบ่อตรวจสอบน้ำใต้ดินรอบบริเวณพื้นที่ฝังกลบ

2.2.8 การใช้ประโยชน์ของพื้นที่หลังการฝังกลบเสร็จสิ้นสมบูรณ์

หลังจากที่ได้ทำการฝังกลบขยะมูลฝอยเสร็จเรียบร้อยแล้ว จำเป็นที่จะต้องปรับพื้นที่ให้ได้ระดับไม่ให้เกิดแอ่งเป็นที่ขังน้ำฝนได้ จึงต้องจัดระบบระบายน้ำฝนให้ดี และความหนาของดินกลบชั้นบนสุดควรมีอย่างน้อย 60 เซนติเมตร เมื่อเสร็จสิ้นขั้นตอนทุกอย่างแล้วอาจดัดแปลงพื้นที่ให้เป็นสวนสาธารณะหรือสนามกีฬา เนื่องจากอาจมีปัญหาในการทรุดตัวของชั้นดินอยู่ จึงไม่ควร

ปลูกสร้างอาคารบนพื้นที่นี้ แต่ในบางแห่งได้มีการก่อสร้างอาคารชั้นเดียวหรือลานบินบนพื้นที่ โดยผู้ออกแบบโครงสร้างจำเป็นต้องพิจารณาอย่างรอบคอบ และควรมีระบบไล่ก๊าซออกจากบริเวณใกล้ที่ก่อสร้างอาคารใดๆ

2.3 ชีวเคมีและจุลชีววิทยาของกระบวนการบำบัดแบบไร้อากาศ (สุพินดา ธุระเจน, 2544)

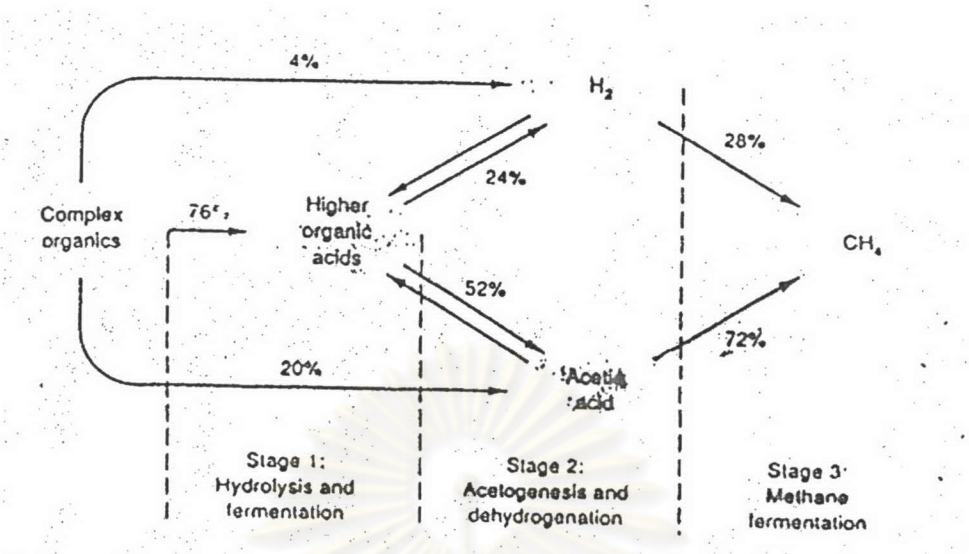
2.3.1 หลักการ

การย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้อากาศ (Anaerobic Process) สามารถใช้เป็นกระบวนการบำบัดทางชีววิทยาโดยไม่ใช้ออกซิเจนอิสระ อาจกล่าวได้ว่าวิธีการนี้เหมาะสำหรับใช้ในเขตที่มีอากาศร้อน เช่น ประเทศไทย เนื่องจากปฏิกิริยาชีวเคมีแบบไร้อากาศเกิดขึ้นได้ดีที่อุณหภูมิสูง ในกระบวนการนี้สารอินทรีย์ที่แบคทีเรียย่อยสลายได้ประมาณร้อยละ 80-90 จะถูกเปลี่ยนไปเป็นก๊าซมีเทน ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นก๊าซเชื้อเพลิงได้ ปัจจุบันกระบวนการนี้ได้รับความสนใจมากขึ้น จึงมีการพัฒนาวิธีการและวัตถุดิบใหม่ๆนอกเหนือจากน้ำเสียชุมชนและอุตสาหกรรม เช่น ของเสียทางด้านการเกษตร ของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมและขยะชุมชน ขั้นตอนการถ่ายทอดพลังงานในกระบวนการย่อยสลายแสดงดังรูปที่ 2.8 และ 2.9

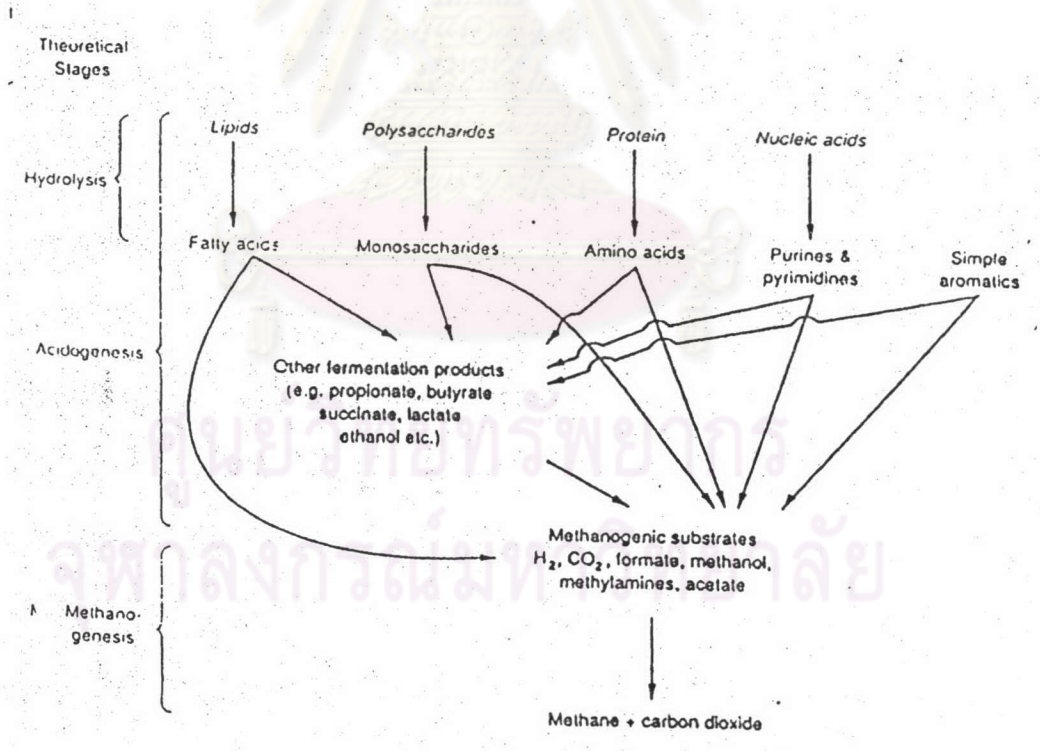
2.3.2 ขั้นตอนในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้อากาศ

จุลินทรีย์ที่ใช้ในการย่อยสลาย ส่วนใหญ่เป็นแบคทีเรียที่ไม่ใช้ออกซิเจนอิสระแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มคือ แบคทีเรียที่ผลิตกรด (Non-Methanogenic Bacteria) และแบคทีเรียที่ผลิตก๊าซมีเทน (Methanogenic Bacteria) ซึ่งแบคทีเรียแต่ละกลุ่มจะทำงานร่วมกันอย่างต่อเนื่อง โดยแบ่งขั้นตอนการย่อยสลายออกเป็น 3 ขั้นตอนคือ

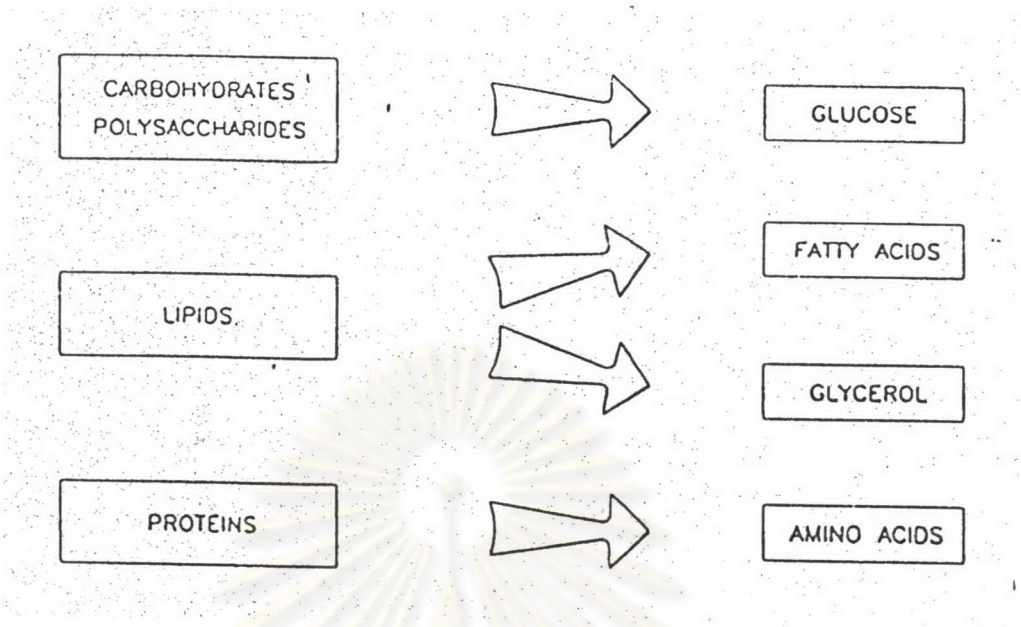
ขั้นที่ 1 การย่อยสลายสารโมเลกุลขนาดใหญ่ (Hydrolysis) การย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างซับซ้อน และอาจอยู่ในรูปโมเลกุลที่ไม่ละลายน้ำ ซึ่งเป็นขั้นตอนแรกในกระบวนการย่อยสลายเพื่อเปลี่ยนขนาดและรูปร่างของโมเลกุล ในขั้นนี้สารอินทรีย์ที่อยู่ในรูปของโมเลกุลใหญ่ เช่น โปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของพวกเซลลูโลสและส่วนประกอบหลักต่างๆของเนื้อเยื่อพืช เช่น เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) และลิกนิน (Lignin) จะถูกย่อยสลายโดยเอ็นไซม์ เช่น Cellulytic, Lipolytic, Proteolytic ให้เป็นสารประกอบอย่างง่าย สารละลาย และสารอินทรีย์ ที่มีโครงสร้างไม่ซับซ้อนและละลายน้ำได้ง่าย เช่น น้ำตาลกลูโคส กรดอะมิโนและกรดไขมันสายยาวดังแสดงในรูปที่ 2.10 ดังนั้นขั้นตอนนี้จึงยังไม่มีการกำจัดซีโอดี



รูปที่ 2.8 ขั้นตอนการถ่ายทอดพลังงานในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้อากาศ (Metcalf and Eddy, 1991 อ้างถึงใน สุพินดา ธุระเจน, 2544: 10)



รูปที่ 2.9 ขั้นตอนในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้อากาศ (Metcalf and Eddy, 1991 อ้างถึงใน สุพินดา ธุระเจน, 2544: 11)

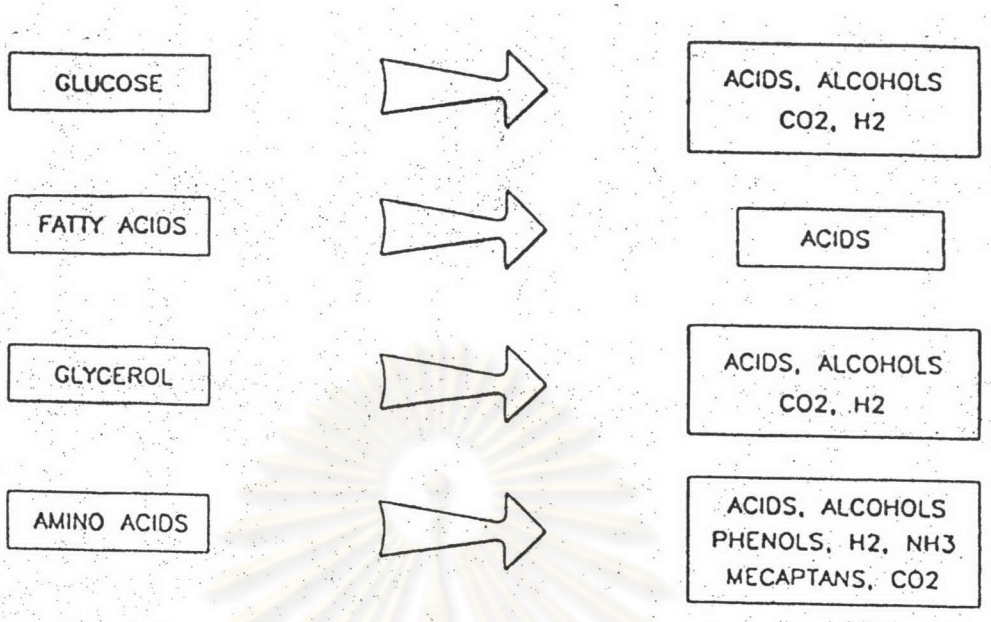


รูปที่ 2.10 ขั้นตอนการย่อยสลายสารโมเลกุลขนาดใหญ่

(Melnerney, 1979 อ้างถึงใน สุพินดา ธุระเจน, 2544: 11)

ขั้นที่ 2 การสร้างกรด(Acid Formation) เป็นการเปลี่ยนโมเลกุลอย่างง่ายในขั้นตอนแรกให้เป็นกรดอินทรีย์ขนาดเล็ก (Acetic Acid) เช่น กรดโพรไพโอนิก กรดบิวทีริก กรดอะซิติก ดังแสดงในรูปที่ 2.11 โดยที่กรดอะซิติกเป็นอาหารที่สำคัญที่สุดของการเกิดมีเทน นอกจากนี้ในขั้นตอนการย่อยสลายพวกโปรตีนและกรดอะมิโน ทำให้มีแอมโมเนียเกิดขึ้นด้วย ซึ่งโดยปกติแล้วจะมีค่าไม่สูงจนเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ แต่ถ้าในของเสียมีไนโตรเจนอยู่มาก การยับยั้งจากแอมโมเนียก็อาจเกิดขึ้นได้ ในขั้นตอนนี้การกำจัดซีโอดีมีค่าน้อยมาก การที่ซีโอดีลดลงนั้นเป็นผลมาจากการสูญเสียประสิทธิภาพของจุลินทรีย์ในระหว่างการเปลี่ยนแปลงรูปของสารอินทรีย์

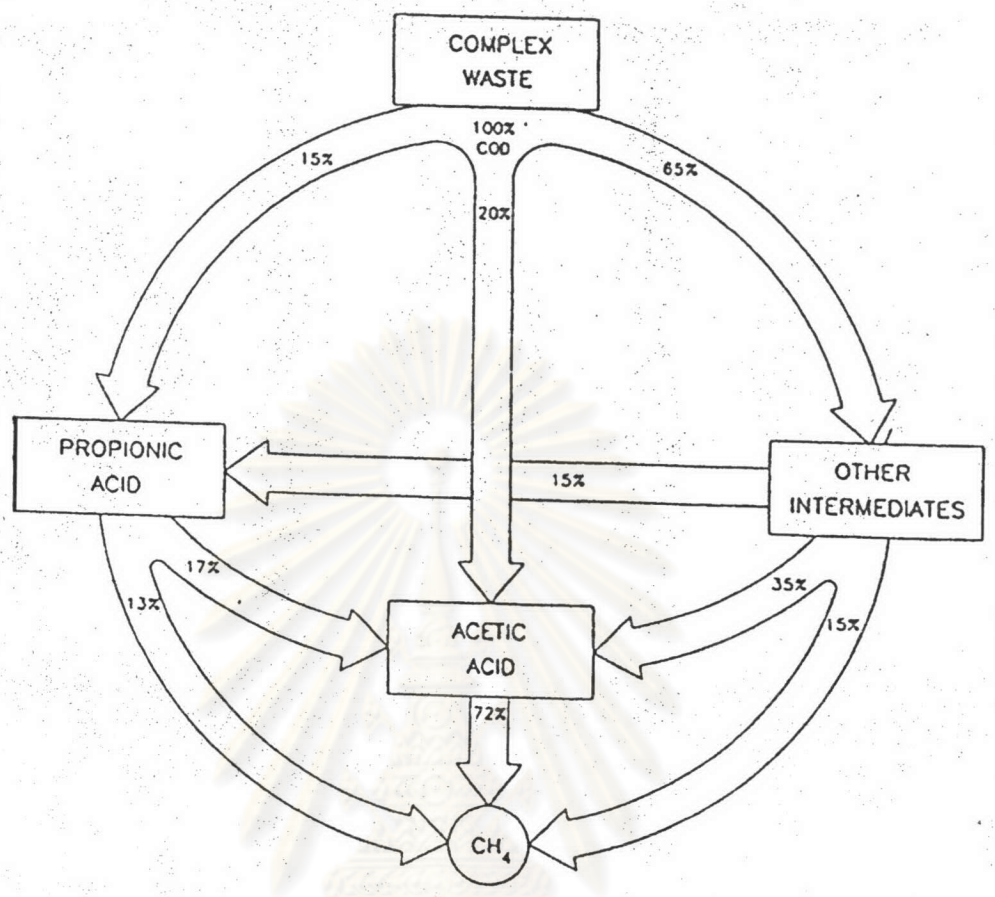
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.11 ขั้นตอนการสร้างกรดอินทรีย์ (Melnerney, 1979 อ้างถึงใน สุพินดา ธุระเจน, 2544: 12)

ขั้นที่ 3 การผลิตก๊าซมีเทน (Methane Formation) กรดอะซิติกที่เกิดจากขั้นตอนที่สองจะเป็นสารอาหารสำหรับกลุ่มแบคทีเรียที่อยู่ในสภาพไร้ออกซิเจนอิสระ ซึ่งเรียกว่า Methanogenic Bacteria โดยจะทำการย่อยสลายกรดอะซิติกให้เป็นก๊าซมีเทน ซึ่งจะอยู่ในรูปที่ไม่ละลายน้ำและสามารถเก็บไปใช้เป็นก๊าซเชื้อเพลิงได้ดังแสดงในรูปที่ 2.12 ส่วนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นบางส่วนจะออกจากระบบในรูปก๊าซ และบางส่วนก็จะละลายน้ำแล้วทำปฏิกิริยากับไฮดรอกไซด์อิออน (OH^-) ในระบบเกิดเป็นด่างไบคาร์บอเนต (HCO^-_3) ผลจากการหมุนเวียนของคาร์บอนไดออกไซด์นี้มีผล ต่อองค์ประกอบต่างๆในระบบ เช่น ความเป็นกรดด่าง ความเข้มข้นไบคาร์บอเนต อุณหภูมิ และความเข้มข้นของสารอาหาร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



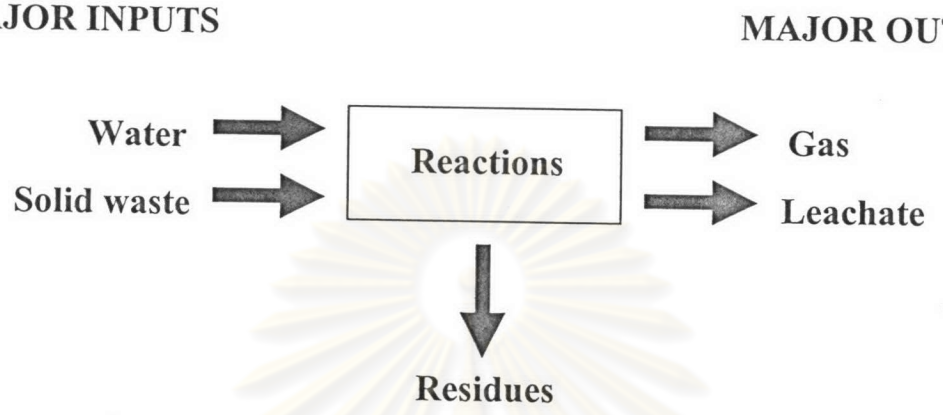
รูปที่ 2.12 ขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงสารอินทรีย์ของกลุ่มแบคทีเรียพวกผลิตก๊าซมีเทน (Jeris and McCarty, 1963 อ้างถึงใน สุพินดา ธุระเจน, 2544: 13)

2.4 กระบวนการปรับเสถียรในหลุมฝังกลบ

2.4.1 หลักการ

กระบวนการที่เกิดขึ้นในหลุมฝังกลบขยะมูลฝอย สามารถอธิบายได้เช่นเดียวกับถังปฏิกรณ์ทางชีวเคมี ที่มีขยะมูลฝอยและน้ำเป็นสารตั้งต้นหลักที่ถูกป้อนเข้าไป ทำให้ได้ก๊าซชีวภาพและน้ำชะขยะเป็นผลิตภัณฑ์ที่ถูกปล่อยออกมาดังแสดงในรูปที่ 2.13 ขยะมูลฝอยที่ถูกหมักอยู่ในหลุมฝังกลบประกอบด้วย ส่วนของสารอินทรีย์ที่ถูกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ และส่วนของสารอนินทรีย์อื่นๆที่มีอยู่เดิมในหลุมฝังกลบ ระบบควบคุมก๊าซที่เกิดขึ้นในหลุมฝังกลบถูกใช้ เพื่อป้องกันการเคลื่อนที่ของก๊าซที่ไม่ต้องการในหลุมฝังกลบ ที่จะออกไปยังชั้นบรรยากาศและเคลื่อนที่ผ่านไปยังดินที่อยู่โดยรอบ ก๊าซที่ได้จากหลุมฝังสามารถนำไปใช้เป็นพลังงานหรือถูกเผา

ไหม้ภายใต้สภาวะที่ถูกควบคุม เพื่อกำจัดส่วนประกอบของก๊าซที่เป็นอันตราย ที่ซึ่งถูกปล่อยออกสู่ชั้นบรรยากาศ



รูปที่ 2.13 ปฏิกิริยาทางชีวเคมีที่เกิดขึ้นในหลุมฝังกลบ (Pichaya Rachdawong, 1994)

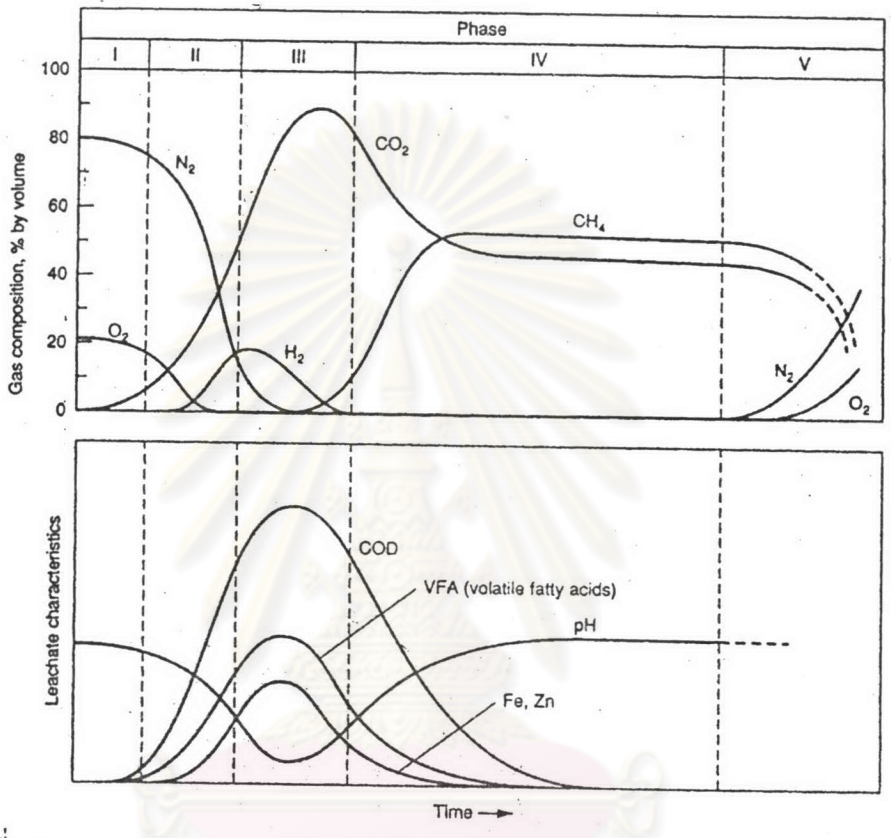
2.4.2 ระยะต่างๆของการปรับเสถียรในหลุมฝังกลบ

การปรับเสถียรในหลุมฝังกลบสามารถแบ่งออกเป็นระยะต่างๆได้ 5 ระยะดังนี้

ระยะที่ 1 (Initial Adjustment Phase) เป็นระยะที่ส่วนประกอบของสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพในขยะมูลฝอย ซึ่งถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ที่มีอยู่แล้วในหลุมฝังกลบ ในระยะที่ 1 นี้ การสลายตัวทางชีวภาพเกิดขึ้นภายใต้สภาวะที่มีการใช้ออกซิเจน เนื่องมาจากอากาศที่ผ่านเข้าในหลุมฝังกลบ แหล่งที่มาหลักๆของจุลินทรีย์ทั้งแบบที่ใช้ออกซิเจนและไม่ใช้ออกซิเจนซึ่งตอบสนองต่อการสลายตัวของขยะมูลฝอยก็คือ จุลินทรีย์ที่มีอยู่ในดินซึ่งถูกใช้ในการฝังกลบขยะมูลฝอย และยังมีตะกอนที่ได้มาจากโรงบำบัดน้ำเสียก็ยังถูกนำมาใช้ในหลุมฝังกลบอีกด้วย นอกจากนั้นแล้วน้ำชะขยะที่ถูกหมุนเวียนกลับมาใช้ ก็ยังเป็นแหล่งที่มาอันหนึ่งของจุลินทรีย์ที่ถูกใช้ในการสลายตัวของขยะมูลฝอยในหลุมฝังกลบ

ระยะที่ 2 (Transition Phase) ในระยะนี้ออกซิเจนถูกใช้จนหมด และสภาวะแบบไม่ใช้ออกซิเจนจะเริ่มเกิดขึ้น เมื่อสภาวะในหลุมฝังกลบกลายมาเป็นแบบไม่ใช้ออกซิเจน ไนเตรตและซัลเฟตซึ่งถูกใช้เป็นตัวรับอิเลกตรอนในปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงทางชีวภาพ จะถูกลดรูปเปลี่ยนเป็นก๊าซไนโตรเจนและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ซึ่งในระยะเริ่มต้นของสภาวะแบบไม่ใช้ออกซิเจน สามารถตรวจสอบการทำปฏิกิริยาได้โดยการวัดค่า ORP (Oxidation/Reduction

Potential) ของขยะมูลฝอยได้ สภาวะที่เหมาะสมในการลดรูปไนเตรตและซัลเฟตจะเกิดขึ้นที่ประมาณ -50 ถึง -100 มิลลิโวลต์ การผลิตก๊าซมีเทนจะเกิดขึ้นในช่วงประมาณ -150 ถึง -300 มิลลิโวลต์ เมื่อค่า ORP (Oxidation/Reduction Potential) ลดลง จำนวนของจุลินทรีย์ที่ตอบสนอง



รูปที่ 2.14 ระยะต่างๆของการปรับเสถียรในหลุมฝังกลบ (I = Initial Adjustment Phase, II = Transition Phase, III = Acid Phase, IV = Methane Fermentation Phase, V = Maturation Phase) (Tchobanoglous, 1993)

ต่อการเปลี่ยนแปลงของสารอินทรีย์ในขยะมูลฝอยไปเป็นก๊าซมีเทน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จะเริ่มกระบวนการแบบ 3 ขั้นตอน ในการเปลี่ยนสารประกอบอินทรีย์ไปเป็นกรดอินทรีย์และตัวอื่นๆดังที่จะกล่าวถึงในระยะที่สาม ในระยะที่สองนี้ค่าพีเอชของน้ำชะขยะจะเริ่มลดลงเนื่องจากการเกิดขึ้นของกรดอินทรีย์ที่เพิ่มมากขึ้น และยังได้รับผลกระทบจากระดับความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นภายในหลุมฝังกลบ

ระยะที่ 3 (Acid Phase) ในระยะนี้กิจกรรมของจุลินทรีย์ที่เริ่มขึ้นตั้งแต่ในระยะที่สองจะเพิ่มขึ้นกับการผลิตกรดอินทรีย์ และการผลิตก๊าซไฮโดรเจนซึ่งมีความสำคัญน้อยกว่า ขั้นตอนแรกในกระบวนการ 3 ขั้นตอนของจุลินทรีย์ จะส่งผลเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงสภาพของเอนไซม์ (Hydrolysis) ในการเปลี่ยนสารประกอบที่มีมวลโมเลกุลใหญ่ (ไลปิด, โพลีแซคคาไรด์, โปรตีน, และกรดนิวคลีอิก) ไปเป็นสารประกอบที่เหมาะสมของจุลินทรีย์ ในการนำไปใช้เป็นแหล่งพลังงานและแหล่งของคาร์บอนสำหรับเซลล์ กระบวนการในขั้นตอนที่สอง (Acidogenesis) จุลินทรีย์จะเปลี่ยนสารประกอบที่เป็นผลมาจากขั้นตอนแรก ให้เป็นสารประกอบที่มีมวลโมเลกุลเล็กลงดังตัวอย่างเช่นกรดอะซิติก(CH_3COOH) กรดฟลิวิกและกรดอินทรีย์อื่นๆที่มีความเข้มข้นต่ำ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นก๊าซหลักที่เกิดขึ้นในระยะที่สามนี้ ก๊าซไฮโดรเจนจำนวนเล็กน้อยก็ถูกผลิตขึ้นด้วยเหมือนกัน ซึ่งจุลินทรีย์เหล่านี้ถูกระบุในงานวิจัยทางวิศวกรรม โดยใช้ชื่อว่า Acidogens หรือ Acid formers

ค่าพีเอชของน้ำชะขยะจะลดลงถึง 5 หรือต่ำกว่าเนื่องจากการเกิดขึ้นของกรดอินทรีย์ และยังได้รับผลกระทบจากระดับความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นภายในหลุมฝังกลบ ค่าบีโอดี ค่าซีโอดี และค่าสภาพการนำไฟฟ้าของน้ำชะขยะจะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญในระยะที่สาม เนื่องจากการละลายของกรดอินทรีย์ในน้ำชะขยะ อีกสาเหตุเป็นเพราะว่า ค่าพีเอชที่ต่ำในน้ำชะขยะ สารประกอบอนินทรีย์ โลหะหนัก จะเกิดการละลายในระยะที่สามนี้ สารอาหารที่สำคัญหลายๆชนิดจะถูกกำจัดออกจากน้ำชะขยะในระยะนี้ด้วยเหมือนกัน ถ้าไม่มีการหมุนเวียนน้ำชะขยะ สารอาหารที่สำคัญจะสูญเสียไปจากระบบ อีกสิ่งหนึ่งที่ต้องให้ความสำคัญก็คือถ้าน้ำชะขยะไม่เกิดขึ้น ผลผลิตที่เกิดขึ้นในระยะที่สามนี้จะยังคงอยู่ภายในหลุมฝังกลบ

ระยะที่ 4 (Methane Fermentation Phase) ในระยะนี้กลุ่มที่สองของจุลินทรีย์จะทำการเปลี่ยนกรดอะซิติกและก๊าซไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นโดยจุลินทรีย์ (Acidogens หรือ Acid formers)ในระยะที่สอง (Acid Phase) ไปเป็นก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งจะกลายมาเป็นลักษณะเด่น ในบางกรณีจุลินทรีย์เหล่านี้อาจจะเริ่มปรากฏขึ้นในช่วงเกือบสุดท้ายในระยะที่สาม ซึ่งกลุ่มจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเหล่านี้คือกลุ่มจุลินทรีย์ประเภทที่ไม่ใช้ออกซิเจนซึ่งเรียกว่า Methanogenic ซึ่งจุลินทรีย์เหล่านี้ถูกระบุในงานวิจัยโดยใช้ชื่อว่า Methanogens Methane formers ในระยะที่สี่ทั้งการสร้างก๊าซมีเทนและการสร้างกรด จะดำเนินการในเวลาเดียวกัน แม้ว่าอัตราของการสร้างกรดจะลดลงอย่างมาก

เพราะเหตุว่ากรดและก๊าซไฮโดรเจนเกิดขึ้นโดยจุลินทรีย์ที่เรียกว่า Acid formers ซึ่งถูกเปลี่ยนไปเป็นก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในระยะที่สี่ ดังนั้นเป็นผลให้ค่าพีเอชภายในหลุมฝังกลบมีค่าเป็นกลาง โดยอยู่ในช่วงระหว่าง 6.8 – 8 เช่นเดียวกันกับค่าพีเอชของน้ำชะขยะ นอกจากนั้นค่าความเข้มข้นของบีโอดี ค่าซีโอดี และค่าสภาพการนำไฟฟ้าของน้ำชะขยะจะลดลง ที่ค่าพีเอชสูงๆจะมีส่วนประกอบที่เป็นสารอนินทรีย์จำนวนเล็กน้อย สามารถหลงเหลืออยู่ในสารละลาย นอกจากนั้นแล้วค่าความเข้มข้นของโลหะหนักที่มีอยู่ในน้ำชะขยะจะลดลงด้วยเช่นกัน

ระยะที่ 5 (Maturation Phase) เกิดขึ้นหลังจากสารอินทรีย์ที่ถูกย่อยสลายได้ทางชีวภาพที่มีอยู่ในหลุมฝังกลบ ถูกเปลี่ยนไปเป็นก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในระยะที่สี่ การที่มีความชื้นผ่านเข้าไปในขยะมูลฝอยในหลุมฝังกลบ จะทำให้ส่วนที่ไม่ได้ถูกย่อยสลายก่อนหน้านี้ถูกเปลี่ยนรูปเช่นเดียวกันกับส่วนที่ถูกย่อยไปก่อน อัตราของการเกิดก๊าซในหลุมฝังกลบลดลงอย่างมีนัยสำคัญในระยะที่ห้านี้ เพราะว่าสารอาหารที่ได้มาโดยส่วนมากถูกกำจัดไปกับน้ำชะขยะในช่วงเวลาก่อนหน้านี้ และสารตั้งต้นที่ยังคงเหลืออยู่ในหลุมฝังกลบก็มีการสลายตัวอย่างช้าๆ ก๊าซหลักๆที่เกิดขึ้นในหลุมฝังกลบในระยะที่ห้าก็คือก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ อาจพบก๊าซไนโตรเจนและก๊าซออกซิเจนจำนวนเล็กน้อยในหลุมฝังกลบด้วย ทั้งนี้ก็ขึ้นอยู่กับวิธีการในการปิดหลุมฝังกลบ ในช่วงระยะเวลานี้จะมีกรดฮิวมิกและกรดฟัลวิกอยู่ในน้ำชะขยะ ซึ่งเป็นการยากที่จะเกิดปฏิกิริยาทางชีวภาพเพิ่มมากขึ้นไปกว่านี้

2.5 ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการปรับเสถียรในหลุมฝังกลบ

ค่าพีเอช อีกนัยหนึ่งก็คือการวัดความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออน ค่าพีเอชเป็นตัวแปรหนึ่งที่สำคัญในกระบวนการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน ซึ่งปกติจะมีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 6.5 – 7.6 แต่ค่าที่เหมาะสมจะอยู่ในช่วง 7.0 – 7.2 (McCarty, 1964) ค่าพีเอชของกระบวนการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนมีความสัมพันธ์กับกรดอินทรีย์ระเหยและสภาพความเป็นด่างภายในระบบ รวมถึงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการปรับเสถียรในหลุมฝังกลบ (McCarty และ Smith, 1986)

อุณหภูมิ โดยปกติกระบวนการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน จะมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง Mesophilic (30 ถึง 38 °C) หรือ Thermophilic (50 ถึง 60 °C) (Kotze และ Thiel, 1969) Ham, Hartz, และ Klink (1983) ได้ศึกษาถึงอัตราการผลิตก๊าซมีเทนจากกากของเสีย ที่อุณหภูมิอยู่ในช่ว

21 ถึง 48 °C พบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมคือ 41°C อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในหลุมฝังกลบ ก็ยังได้รับอิทธิพลจากอุณหภูมิของสภาวะอากาศภายนอก ที่มีการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล

สารอาหาร กระบวนการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน จะไม่สามารถดำเนินได้อย่างมีประสิทธิภาพ ถ้าปราศจากการได้รับสารอาหารอย่างเพียงพอ สารอาหารหลักได้แก่ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ซึ่งต้องการในปริมาณสูง สารอาหารรองได้แก่ เหล็ก นิกเกิล โคบอลต์ ซัลเฟอร์ แคลเซียม โมลิบดินัม ทังสเตน เซลเลเนียม และสารอินทรีย์บางตัว ต้องการในปริมาณเล็กน้อยสำหรับสังเคราะห์และซ่อมแซมเซลล์แบคทีเรีย (Chian และ DeWalle, 1976) ไนโตรเจนต้องการสำหรับการสร้างโปรตีน เอนไซม์ กรดไรโบนิวคลีอิก (Ribonucleic acid, RNA) และกรดดีออกไซไรโบนิวคลีอิก (Deoxyribonucleic acid, DNA) ฟอสฟอรัสถูกใช้ในการสังเคราะห์พลังงานที่ถูกเก็บภายในเซลล์หรือ ATP (Adenosinetriphosphate) อัตราส่วนมากที่สุดระหว่างค่าซีโอดีในน้ำชะขยะและฟอสฟอรัส หรือ COD:P มีค่าเท่ากับ 4360:1 ในขณะที่อัตราส่วนมากที่สุดระหว่างค่าซีโอดีในน้ำชะขยะและไนโตรเจน หรือ COD:N มีค่าเท่ากับ 39:1 (Chian และ DeWalle, 1977)

แอมโมเนีย เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสลายตัวของยูเรียหรือโปรตีน แอมโมเนียเป็นแหล่งของไนโตรเจนสำหรับแบคทีเรียที่ไม่ใช้ออกซิเจน อย่างไรก็ตาม ความเข้มข้นที่สูงของแอมโมเนียอาจเป็นอันตรายต่อจุลินทรีย์ ก๊าซแอมโมเนียละลายซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักของแอมโมเนียไนโตรเจนที่ค่าพีเอชมากกว่า 7.2 จะเป็นตัวยับยั้งการเกิดปฏิกิริยา ซึ่งจะเกิดผลกระทบที่ความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจนมีค่า 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร และที่ความเข้มข้นสูงกว่า 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตรจะเป็นเหตุให้การผลิตก๊าซชีวภาพสิ้นสุดลง (Pohland และคณะ, 1993)

ซัลไฟด์ ในกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน เกิดจากการลดรูปของซัลเฟตซึ่งเป็นสารประกอบอนินทรีย์ จากรายงานที่ผ่านมาพบว่าซัลไฟด์ซึ่งอยู่ในรูปสารละลายเป็นสาเหตุที่ทำให้การผลิตก๊าซชีวภาพหยุดลง ที่ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ในขณะที่ความเข้มของซัลไฟด์ที่แปรผันอยู่ในช่วง 50 ถึง 100 มิลลิกรัมต่อลิตรสามารถมีได้ในระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน โดยที่ระบบไม่ต้องมีการปรับสภาพหรือมีการปรับสภาพน้อยมาก (Parkin และ Owen, 1982) ซัลไฟด์สามารถตกผลึกกับโลหะหนักได้ ทำให้ง่ายต่อการแยกตัวออกจากสารละลาย ซึ่งการหมุนเวียนน้ำชะขยะจะเป็นการกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยารีดักชัน ทำให้ซัลเฟตลดรูปเป็นซัลไฟด์ ส่งผลให้ความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำชะขยะมีค่าลดลง (Reinhart, 1995) ดังนั้นการก่อตัวของ

โลหะซัลไฟด์ภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน จะทำให้การกำจัดโลหะหนักตัวหลักๆในน้ำชะขยะเกิดขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ

โลหะหนัก โลหะหนักความเข้มข้นน้อยๆมีความจำเป็นต่อระบบเอนไซม์ของแบคทีเรีย แต่ในทางกลับกัน ความเข้มข้นที่มากเกินไปก็จะเกิดความเสียหายต่อเซลล์ โลหะหนักสามารถรวมตัวกับซัลไฟด์ คาร์บอเนต หรือไฮดรอกไซด์โดยการตกผลึก อย่างไรก็ตามการรวมตัวดังกล่าวก็ขึ้นอยู่กับค่าพีเอช พื้นที่ของการดูดซับ การแลกเปลี่ยนไอออน เช่นเดียวกับปฏิกิริยาการรวมตัวกับไอออนของโลหะเป็น Chelate ซึ่งการละลายของโลหะหนักจะเพิ่มขึ้นเมื่อค่าพีเอชลดลง ดังนั้นโลหะหนักจะมีความเข้มข้นสูงสุดที่ระยะที่ 3 (Acid Phase) ซึ่งค่าพีเอชต่ำที่สุด และในการสร้างก๊าซมีเทนซึ่งเกิดขึ้นในระยะที่ 4 (Methane Fermentation Phase) จะมีค่าพีเอชเป็นกลางจึงทำให้โลหะหนักละลายได้น้อยลง (Greedy, 1993 อ้างถึงใน Patummart Chewha, 2003)

ความชื้น มีความสำคัญในกระบวนการปรับเสถียรแบบไม่ใช้ออกซิเจน ทั้งปฏิกิริยาทางฟิสิกส์และชีวเคมี ความชื้นทำให้เกิดการส่งผ่านสารอาหารไปยังเซลล์จุลินทรีย์ และทำให้เกิดโอกาสที่เหมาะสมในการสัมผัสกันระหว่างจุลินทรีย์และสารตั้งต้น ปริมาณความชื้นที่เพียงพอทำให้การปรับเสถียรภายในหลุมฝังกลบเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว และยังส่งผลต่อปริมาณการผลิตก๊าซมีเทน จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าปริมาณการผลิตก๊าซมีเทนสูงสุดแปรผันอยู่ในช่วง 60 ถึง 78% (Dewalle and Chian, 1976) โดยทั่วไปปริมาณความชื้นต่ำสุดที่ต้องการสำหรับเริ่มการสลายตัวคือ 25% แหล่งที่มาหลักๆของความชื้นในหลุมฝังกลบคือน้ำฝนที่ซึมลงไป น้ำที่มาจากของเสีย และน้ำที่อยู่ในวัสดุปกคลุมชนิดต่างๆ ความชื้นส่วนเกินที่ไม่สามารถเก็บได้ในของเสียในหลุมฝังกลบจะกลายมาเป็นน้ำชะขยะ

การกระจายความชื้นอย่างทั่วถึงมีความสำคัญเช่นเดียวกัน ในระบบที่มีการกระจายความชื้นดีทำให้เวลาที่จุลินทรีย์สัมผัสกับสารตั้งต้นยาวนานขึ้น ส่งผลให้การเปลี่ยนรูปของเสียมีประสิทธิภาพสูงขึ้น ซึ่งจะเห็นได้อย่างชัดเจนในหลุมฝังกลบที่มีการหมุนเวียนน้ำชะขยะ

ขนาดของขยะ วิธีการลดขนาดของขยะมูลฝอยโดยเครื่องจักรอันประกอบด้วย การตัดและการบด เป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวทำให้แบคทีเรียสามารถจับกับสารตั้งต้นได้มากขึ้นในกระบวนการย่อยสลาย ขยะมูลฝอยที่มีขนาดใหญ่ทำให้การกระจายความชื้นเกิดขึ้นได้อย่างไม่ทั่วถึง เป็นเหตุให้การสลายตัวเกิดได้ช้าและไม่สมบูรณ์ (Pohland และคณะ, 1985)

2.6 ตัวแปรต่างๆที่วัดจากการปรับเสถียรในหลุมฝังกลบ

มีตัวแปรหลายๆตัวที่วัดได้จากการย่อยสลายขยะมูลฝอยภายในหลุมฝังกลบ ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ถึงระยะต่างๆของกระบวนการปรับเสถียรภายในหลุมฝังกลบ ค่าตัวแปรต่างๆขึ้นอยู่กับลักษณะการจัดการระบบ ความชื้น ระบบบัฟเฟอร์ ตัวยับยั้งปฏิกิริยา ชนิดของขยะมูลฝอย และวิธีการปิดหลุมฝังกลบในตอนสุดท้าย ตัวแปรต่างๆสามารถวัดได้จากก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นและผลการวิเคราะห์น้ำชะขยะ ซึ่งต้องติดตามวัดค่าเป็นระยะๆและทำการวิเคราะห์ค่าที่วัดได้ในภายหลัง (Pohland และคณะ, 1993)

ก๊าซชีวภาพ ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากถังหมักขยะ เป็นตัวแปรหนึ่งที่แสดงถึงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในกระบวนการปรับเสถียรภายในหลุมฝังกลบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งปริมาณของก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่รวมอยู่เป็นก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นทั้งหมด จะเป็นตัวชี้วัดถึงระยะต่างๆของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในกระบวนการปรับเสถียรภายในหลุมฝังกลบ และอัตราการเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์ในขยะมูลฝอย ซึ่งถูกเปลี่ยนไปเป็นก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์นั้นเอง

ค่าพีเอช ค่าพีเอชของน้ำชะขยะเป็นตัวแปรหนึ่ง ที่แสดงถึงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในระยะต่างๆของการปรับเสถียรในหลุมฝังกลบ ค่าพีเอชของน้ำชะขยะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ระเหยที่ละลายอยู่ในน้ำชะขยะ ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้น รวมทั้งสภาพความเป็นด่างของน้ำชะขยะที่แสดงถึงระดับบัฟเฟอร์ของระบบ

ค่าการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่น - รีดักชั่น (Oxidation-Reduction Potential, ORP) แสดงถึงสภาวะการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่น (มีค่าเป็นบวก) และปฏิกิริยารีดักชั่น (มีค่าเป็นลบ) ภายในถังหมักขยะ บ่งบอกถึงสภาวะที่เหมาะสม ที่จุลินทรีย์จะทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะแบบไม่ใช้ออกซิเจน ซึ่งควรมีค่าโออาร์พีเป็นลบ และยังทำให้ทราบว่าปฏิกิริยาเข้าสู่ระยะใดในกระบวนการปรับเสถียรภายในหลุมฝังกลบ เช่น ค่าโออาร์พีที่อยู่ระหว่าง -50 ถึง -100 มิลลิโวลต์ เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการลดรูปซัลเฟตและไนเตรต ไปเป็นก๊าซไนโตรเจนและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ซึ่งเกิดขึ้นในระยะที่ 2 และการผลิตก๊าซมีเทนจะเกิดขึ้นที่ค่าโออาร์พีอยู่ระหว่าง -150 ถึง -300 มิลลิโวลต์ ซึ่งค่าโออาร์พีต่ำๆ จะทำให้แบคทีเรียเปลี่ยนสารอินทรีย์ไปเป็นก๊าซ

คาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซมีเทน ในกระบวนการ 3 ขั้นตอนของการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน

ค่าซีโอดี ค่าซีโอดีของน้ำชะขยะ เป็นตัวแปรที่บอกถึงสารอินทรีย์ที่ละลายอยู่ในน้ำชะขยะ ซึ่งแสดงในเทอมของปริมาณออกซิเจนที่สารเคมีใช้ในการออกซิไดซ์ซิงสารอินทรีย์ ที่สำคัญคือ กรดอินทรีย์ระเหย ที่เกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในขยะซึ่งเกิดขึ้นในระยะที่ 3 (Acid Phase) ของกระบวนการปรับเสถียรภายในหลุมฝังกลบ โดยจุลินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจน ค่าซีโอดีเป็นตัวแปรหนึ่งที่มีความสำคัญ ในการบอกถึงจุดยุติที่เหมาะสมของการบำบัดน้ำชะขยะโดยการหมุนเวียนน้ำชะขยะ ในช่วงสุดท้ายของการทำเสถียรในหลุมฝังกลบก่อนปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมภายนอก

ค่าสภาพความเป็นด่างของน้ำชะขยะ ค่าสภาพความเป็นด่างของน้ำชะขยะ แสดงถึงการมีอยู่ของกลุ่มคาร์บอเนตในน้ำชะขยะ เช่น HCO_3^-, CO_3^{-2}, OH^- ซึ่งเป็นตัวชี้วัดระดับบัฟเฟอร์ของระบบ ที่ต้องเพียงพอในการที่จะป้องกันไม่ให้เกิดสภาพความเป็นกรดมากเกินไป โดยการทำลายฤทธิ์กรดของระบบบัฟเฟอร์ เนื่องจากจุลินทรีย์ประเภทที่ไม่ใช้ออกซิเจนซึ่งเรียกว่า Methanogenic ต้องการสภาพที่เป็นกลางในการเปลี่ยนกรดอินทรีย์ระเหยไปเป็นก๊าซมีเทน

กรดอินทรีย์ระเหย กรดอินทรีย์ระเหยของน้ำชะขยะ แสดงถึงปริมาณของกรดอินทรีย์ระเหยที่ละลายอยู่ในน้ำชะขยะ ซึ่งเกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในขยะซึ่งเริ่มเกิดขึ้นในระยะที่ 3 (Acid Phase) ของกระบวนการปรับเสถียรภายในหลุมฝังกลบ โดยจุลินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจน ความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ระเหยที่ละลายอยู่ในน้ำชะขยะ เป็นส่วนประกอบหลักของค่าซีโอดีของน้ำชะขยะ

แอมโมเนียไนโตรเจนและออร์โทฟอสเฟต แสดงถึงสารอาหารหลักที่จำเป็นต่อแบคทีเรียที่ไม่ใช้ออกซิเจนในกระบวนการปรับเสถียรในหลุมฝังกลบ คือ ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส ซึ่งแสดงอยู่ในรูปแอมโมเนียไนโตรเจนและออร์โทฟอสเฟตตามลำดับ (C hian และ DeWalle, 1976) แต่ถ้าเกิดแอมโมเนียไนโตรเจนในปริมาณที่มากเกินไป จากการย่อยสลายพวกโปรตีนและกรดอะมิโน จะเกิดการทำลายจุลินทรีย์ได้ เช่น ที่ความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจนมีค่า 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร และที่ความเข้มข้นสูงกว่า 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตรจะเป็นเหตุให้หยุดการผลิตก๊าซชีวภาพได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

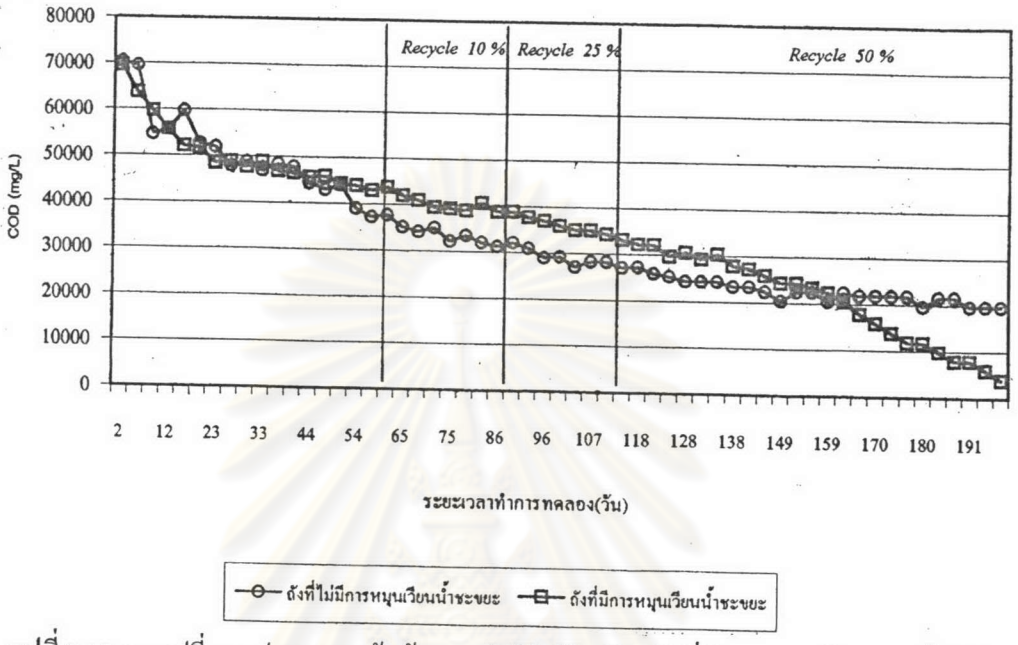
โลหะหนัก ทำให้ทราบถึงปริมาณโลหะหนักที่ถูกชะออกมาโดยน้ำชะขยะ ซึ่งเป็นตัวแปรหนึ่งที่บอกถึงจุดยุติที่เหมาะสมในการหยุดหมุนเวียนน้ำชะขยะ ซึ่งที่จุดนั้นควรมีโลหะหนักถูกชะออกมาโดยน้ำชะขยะในปริมาณที่ต่ำ

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สุพินดา ธุระเจน, 2544 ได้ทำการศึกษาพฤติกรรมการย่อยสลาย และเปรียบเทียบประสิทธิภาพการผลิตก๊าซมีเทนจากการหมักขยะที่มีและไม่มีการหมุนเวียนน้ำชะขยะ มีการออกแบบและจัดสร้างระบบหมักขยะในสภาพไร้อากาศแบบแห้งในระดับห้องปฏิบัติการ จำนวน 2 ชุด แบ่งเป็นระบบหมักที่มีการหมุนเวียนน้ำชะขยะ 1 ชุด เพื่อใช้ศึกษาประสิทธิภาพการผลิตก๊าซมีเทนด้วยอัตราการหมุนเวียนน้ำชะขยะกลับ (Recycle Ratio) ที่แตกต่างกัน และระบบหมักที่ไม่มีการหมุนเวียนน้ำชะขยะ 1 ชุด เพื่อใช้เป็นชุดควบคุม ถังหมักมีขนาด 125 ลิตร สูง 1 เมตร ทำจากท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 นิ้ว หนา 10.3 มิลลิเมตร การทดลองเป็นการหมักแบบ Batch Process โดยควบคุมองค์ประกอบตั้งต้นของทั้งสองระบบให้เหมือนกัน ได้แก่ปริมาณและองค์ประกอบของขยะและเชื้อที่ใช้เริ่มต้นระบบ การทดลองแบ่งเป็น 3 ช่วงตามอัตราการหมุนเวียนน้ำชะขยะกลับ (Recycle Ratio) แตกต่างกันที่ 10% 25% และ 50% ตลอดระยะเวลาทำการทดลอง 200 วัน โดยใช้ขยะประเภทผักและผลไม้เป็นวัตถุดิบ

ผลจากการศึกษาพบว่าในถังหมักที่ไม่มีการหมุนเวียนน้ำชะขยะ ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีมีค่า 72.04% และสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ทั้งหมด 149.60 ลิตร มีก๊าซมีเทนเป็นองค์ประกอบสูงสุด 40.48% หากคิดเป็นแบบการผลิตก๊าซมีเทนเมื่อเปรียบเทียบกับการย่อยสลายสารอินทรีย์ (Methan Yield) รวมของระบบจะมีค่า 0.044 ลิตรต่อกรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด ในถังหมักที่มีการหมุนเวียนน้ำชะขยะมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของระบบ 94.34% และสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ทั้งหมด 338.58 ลิตร มีก๊าซมีเทนเป็นองค์ประกอบสูงสุด 57.55% การผลิตก๊าซมีเทนเมื่อเปรียบเทียบกับการย่อยสลายสารอินทรีย์ (Methane Yield) รวมของระบบจะมีค่า 0.183 ลิตรต่อกรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด ผลของอัตราการหมุนเวียนน้ำชะขยะกลับเข้าระบบที่ 10% 25% และ 50% ต่อการผลิตก๊าซชีวภาพในถังที่มีการหมุนเวียนน้ำชะขยะ พบว่าหากเพิ่มอัตราการหมุนเวียนน้ำชะขยะมากขึ้น การผลิตก๊าซชีวภาพจะมากขึ้นด้วยคือ 25.74 ลิตร 156.2 ลิตร และ 129.14 ลิตร ตามลำดับ และมีองค์ประกอบที่ เป็นก๊าซมีเทนเฉลี่ยในแต่ละช่วงสูงขึ้นตามไปด้วย คือ 40.88% 48.61% และ 52.45% ตามลำดับ ด้วยเหตุนี้จึงอาจสรุปได้ว่าการหมุนเวียนน้ำชะ

ขยะกลับ ทำให้กระบวนการเปลี่ยนสภาพสารอินทรีย์เพื่อให้ได้ผลผลิตเป็นก๊าซมีเทน เกิดขึ้นสมบูรณ์กว่าในระบบที่ไม่มีการหมุนเวียนน้ำชะขยะกลับ

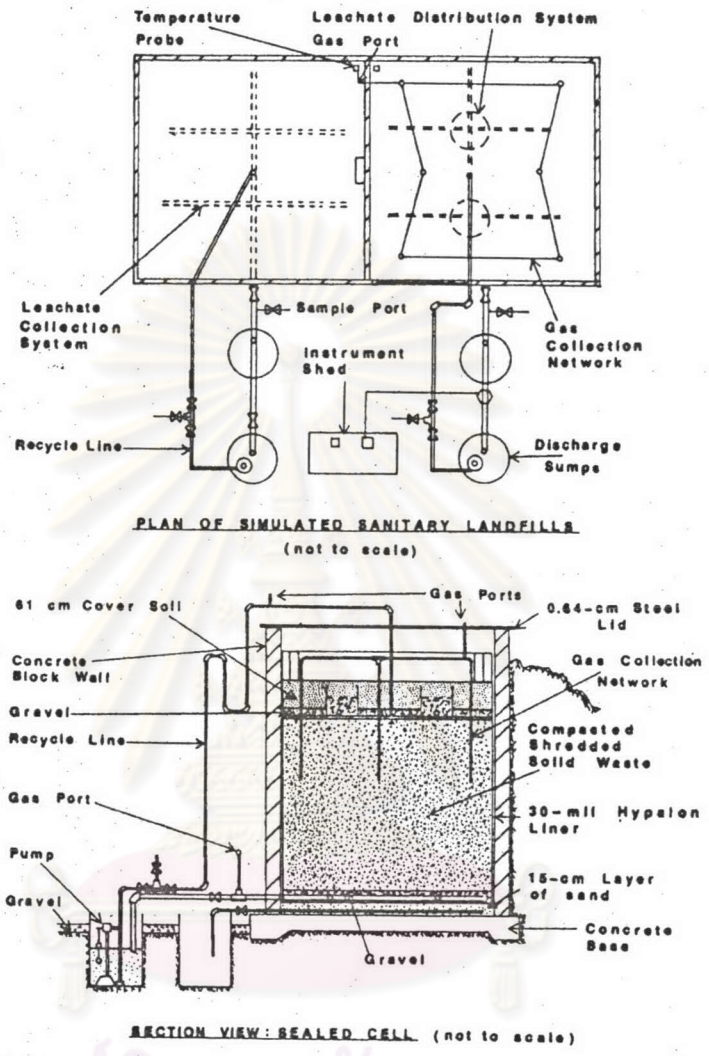


รูปที่ 2.15 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของค่าซีโอดีในถังหมักที่มีการหมุนเวียนและที่ไม่มีการหมุนเวียนน้ำชะขยะ (สุพินดา ธุระเจน, 2544)

เมื่อสิ้นสุดการทดลอง ลักษณะทางกายภาพของขยะเปลี่ยนแปลงไป ในถังหมักที่มีการหมุนเวียนน้ำชะขยะ ขยะมีสีดำสนิทและกลิ่นคล้ายกับกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย ที่ใช้เริ่มต้นระบบ แต่ในถังหมักที่ไม่มีการหมุนเวียนน้ำชะขยะ ขยะมีสีคล้ำแต่ไม่ดำสนิทและมีกลิ่นเหม็นเปรี้ยวเล็กน้อย สภาพเนื้อขยะในถังหมักที่มีการหมุนเวียนน้ำชะขยะ มีลักษณะชุ่มน้ำมากกว่า ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งและของแข็งระเหย ในถังหมักที่มีการหมุนเวียนน้ำชะขยะมีค่า 69.18% และ 67.80% ตามลำดับ ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งและของแข็งระเหย ในถังหมักที่ไม่มีการหมุนเวียนน้ำชะขยะมีค่า 56.98% และ 55.86% ตามลำดับ

Pohland, 1980 ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการหมุนเวียนน้ำชะขยะในหลุมฝังกลบ โดยทำการทดลองในถังหมักคอนกรีต กว้าง 10 ฟุต ยาว 10 ฟุต และสูง 14 ฟุต บรรจุขยะมูลฝอยที่อัดแน่นอยู่ภายใน ซึ่งก่อนหน้านั้นต้องทำการวิเคราะห์หาค่าตัวแปรต่างๆคือ ความหนาแน่น

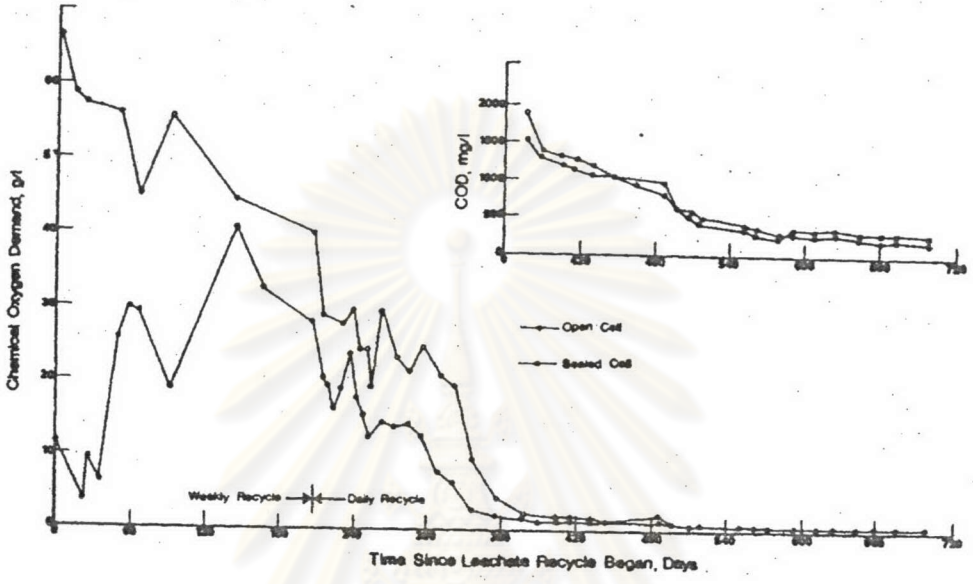
ความชื้น ของแข็งระเหยได้ทั้งหมดและส่วนประกอบทางเคมี มีท่อระบายน้ำชะขยะจากถังหมักนำมาเก็บ



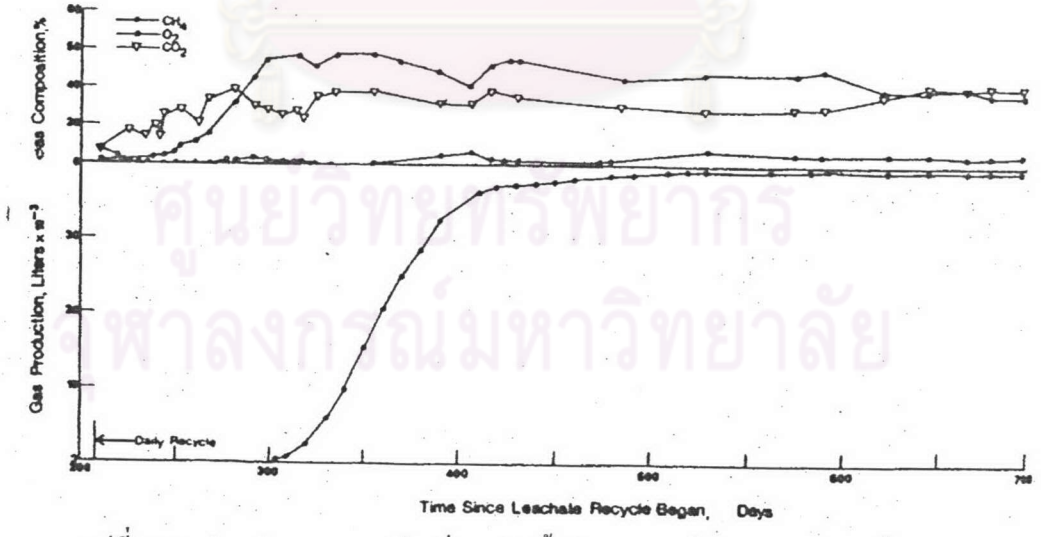
รูปที่ 2.16 ถังหมักจำลองหลุมฝังกลบที่มีการหมุนเวียนน้ำชะขยะที่ใช้ในการทดลอง (Pohland, 1980)

ไว้ในถังเก็บน้ำชะขยะ และมีปั๊มสูบกลับเข้าสู่ถังหมัก ในระหว่างทำการทดลองได้วัดค่าตัวแปรต่างๆในน้ำชะขยะคือ อุณหภูมิ ค่าพีเอช ค่าบีโอดี ค่าซีโอดี ค่าสภาพความเป็นด่าง Oxidation-Reduction Potential TSS TVS และส่วนประกอบของก๊าซคือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซออกซิเจน ก๊าซไนโตรเจน ก๊าซมีเทน และก๊าซไฮโดรเจน จากการศึกษาพบว่าการหมุนเวียนน้ำชะขยะในหลุมฝังกลบจะทำให้มีการเพิ่มอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ และยังลดเวลาในการทำเสถียร

ขยะมูลฝอยในหลุมฝังกลบจากที่ต้องใช้เวลาเป็นปีเหลือเพียงไม่กี่เดือน นอกจากนั้นแล้วน้ำชะขยะยังถูกบำบัดให้มีความเข้มข้นน้อยลงจากการหมุนเวียนในหลุมฝังกลบ



รูปที่ 2.17 ค่าซีโอดีของน้ำชะขยะที่ได้จากการทดลองในถังหมักที่มีการหมุนเวียนน้ำชะขยะ (Pohland, 1980)



รูปที่ 2.18 ส่วนประกอบของก๊าซที่ถูกผลิตขึ้นในถังหมักที่มีการหมุนเวียนน้ำชะขยะ (Pohland, 1980)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Pichaya Rachdawong, 1994 ได้ทำการศึกษาถึงการนำพรมเก่าที่ไม่ใช้แล้วมาทำเป็นส่วนหนึ่งของวัสดุที่ปิดคลุมและชั้นบุรองข้างในของหลุมฝังกลบขยะมูลฝอยชุมชน ได้ทำการออกแบบและจัดสร้างถังปฏิกรณ์ซึ่งจำลองสภาพการทำงาน และปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในหลุมฝังกลบ เพื่อทดลองในระดับห้องปฏิบัติการจำนวน 2 ชุด ชุดแรกเป็นระบบถังหมักที่มีการหมุนเวียนน้ำชะขยะ ชุดที่สองเป็นระบบถังหมักที่ไม่มีการหมุนเวียนน้ำชะขยะ ถังปฏิกรณ์ทั้งคู่ถูกเติมด้วยขยะมูลฝอยจำพวกอาหาร ผลการศึกษาพบว่าการหมุนเวียนน้ำชะขยะสามารถเพิ่มกระบวนการปรับเสถียรของขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นในถังปฏิกรณ์จำลองหลุมฝังกลบ ซึ่งการหมุนเวียนน้ำชะขยะนั้น ส่งผลให้การสัมผัสกันระหว่างจุลินทรีย์ สารตั้งต้น สารอาหาร และความชื้นเกิดได้ดีขึ้น สิ่งเหล่านี้สามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโตของเซลล์ ซึ่งส่งผลดีกว่าการที่น้ำชะขยะถูกระบายทิ้งจากถังปฏิกรณ์อย่างต่อเนื่อง

Reinhart, 1995 ได้ทำการศึกษาการหมักขยะในสภาพไร้อากาศแบบเปียก ที่ทำให้การจัดการและบำบัดขยะมูลฝอยชุมชนมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ซึ่งประกอบด้วยการเร่งอัตราการปรับเสถียร การเพิ่มการผลิตก๊าซ การจัดการน้ำชะขยะที่ได้ผลดีขึ้น ปริมาณของขยะมูลฝอยที่ลดลง และแนวโน้มการส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในระยะยาว ซึ่งการศึกษาในครั้งนี้ได้ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการ

พบว่าปัจจัยสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อการย่อยสลายสารอินทรีย์ทางชีวภาพในหลุมฝังกลบประกอบด้วย ค่าพีเอช อุณหภูมิ สารอาหาร สารพิษ ความชื้น ขนาดของอนุภาค และศักยภาพในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน – รีดักชัน แต่ปัจจัยที่สำคัญมากที่สุดก็คือ ปริมาณความชื้นที่มีอยู่ในระบบ เนื่องจากว่าปัญหาหลักที่เกิดขึ้นคือ หลุมฝังกลบที่ดำเนินการในปัจจุบันจะทำการฝังกลบอย่างรวดเร็ว เนื่องจากการรับขยะในปริมาณมาก จึงต้องทำการฝังกลบที่ความลึกพอสมควร อีกทั้งยังปิดทับด้วยวัสดุที่ของเหลวไม่สามารถซึมผ่านได้ สิ่งเหล่านี้ทำให้ปริมาณความชื้นซึ่งมีความจำเป็นต่อการย่อยสลายสารอินทรีย์ในขยะมูลฝอยถูกจำกัด ซึ่งจะทำให้การย่อยสลายสารอินทรีย์ถูกจำกัดด้วย ดังนั้นการออกแบบระบบการหมุนเวียนน้ำชะขยะจึงมีความสำคัญ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการกระจายความชื้นเข้าภายในหลุมฝังกลบ ทำให้เกิดสภาวะที่เหมาะสมขึ้นภายในหลุมฝังกลบ ส่งผลให้การย่อยสลายสารอินทรีย์ในขยะมูลฝอยภายในหลุมฝังกลบเกิดขึ้นได้ดีและยังเป็นการเพิ่มการปรับเสถียรภายในหลุมฝังกลบ

เนื่องจากการบำบัดน้ำชะขยะเป็นสิ่งที่ทำได้ยากและมีค่าใช้จ่ายสูง โดยเฉพาะหลุมฝังกลบที่ตั้งอยู่ในพื้นที่ที่มีสภาพอากาศเปียกชื้นและอยู่ห่างจากโรงบำบัดน้ำเสียชุมชน มักจะประสบปัญหาอย่างมาก พบว่าการหมุนเวียนน้ำชะขยะทำให้สารอินทรีย์ที่ละลายอยู่ในน้ำชะขยะลดลงอย่างมีนัยสำคัญ และยังมีความสำคัญต่อการปนเปื้อนของโลหะหนักในน้ำชะขยะ ซึ่งโดยปกติที่ค่าพีเอชเป็นกลาง โลหะหนักจะละลายในน้ำชะขยะน้อยลงอันเนื่องมาจากเกิดการตกผลึกของซัลไฟด์และไฮดรอกไซด์ภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน ซึ่งการหมุนเวียนน้ำชะขยะจะไปกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยารีดักชันซึ่งทำให้การเกิดซัลไฟด์และไฮดรอกไซด์มากขึ้น ทำให้ค่าความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำชะขยะมีค่าต่ำ นอกจากนั้นแล้วยังพบว่า กรดฮิวมิกที่เกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ จะจับกับโลหะหนักเพื่อรวมตัวเป็นสารประกอบที่แข็งแรง ส่งผลให้โลหะหนักละลายในน้ำชะขยะได้มากขึ้น

Krispol Jaijongrak, 2003 ได้ทำการศึกษาแนวทางในการหมุนเวียนน้ำชะจากขยะอินทรีย์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการย่อยสลายของระบบ มีการสร้างระบบถังย่อยสลายขยะจำลองขึ้นมาจำนวนสามระบบโดยมีแนวทางในการหมุนเวียนน้ำชะขยะที่แตกต่างกัน เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแต่ละระบบ โดยแบ่งออกเป็น 1. การหมุนเวียนโดยมีการกำหนดปริมาณของน้ำชะขยะที่แน่นอน 2. การหมุนเวียนโดยปรับไปตามปริมาณของก๊าซมีเทนและมวลของซีโอดี และ 3. การหมุนเวียนแบบน้ำชะขยะผ่านระบบเพียงครั้งเดียว

จากการทดลองพบว่า การย่อยสลายขยะโดยมีการหมุนเวียนน้ำชะขยะนั้นให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าระบบที่ไม่มีการหมุนเวียนน้ำชะขยะ โดยสามารถดูได้จาก ปริมาณการผลิตก๊าซชีวภาพ ปริมาณการผลิตก๊าซมีเทน และค่าตัวแปรของน้ำชะขยะต่างๆ เช่น ค่าโออาร์พี, ค่าพีเอช, และค่าซีโอดี และในการเปรียบเทียบผลระหว่างระบบที่มีการหมุนเวียนน้ำชะขยะด้วยกันนั้นปรากฏว่าระบบที่มีการหมุนเวียนโดยการกำหนดค่ามวลของซีโอดี และปริมาณการผลิตก๊าซมีเทนนั้นมีร้อยละของก๊าซมีเทนที่ต่ำกว่าในช่วงของการหมุนเวียนช่วงสุดท้าย อย่างไรก็ตามร้อยละที่ต่ำของระบบนี้ไม่ได้บ่งถึงการรบกวนการผลิตก๊าซมีเทน โดยดูได้จากปริมาณและอัตราการผลิตก๊าซมีเทนสะสมของระบบนี้ซึ่งมีค่าสูงสุด เมื่อเทียบกับอีกสองระบบที่เหลือ

จากผลของการผลิตก๊าซมีเทนที่สูงสุด ระบบการหมุนเวียนน้ำชะขยะ ที่ยึดหลักของปริมาณมวลซีโอดี และปริมาณการผลิตก๊าซมีเทน เป็นระบบที่แนะนำที่ควรนำไปทดสอบในหลุมฝังกลบขนาดเล็ก และหลุมฝังกลบที่มีวัตถุประสงค์เพื่อการผลิตก๊าซชีวภาพ เนื่องจากระบบ

หมุนเวียนน้ำชะขยะที่ยึดหลักการนี้ มีความจำเป็นต้องหาค่าปริมาณการผลิตก๊าซ ร้อยละของก๊าซมีเทนและซีโอดีอย่างสม่ำเสมอ จึงทำให้ระบบนี้ไม่เหมาะสมในการนำไปใช้กับหลุมฝังกลบขนาดใหญ่ แต่ในส่วนของการลดค่าซีโอดีของน้ำชะขยะนั้นพบว่า ทั้งสองระบบให้ผลใกล้เคียงกัน จึงแนะนำระบบที่มีการหมุนเวียนน้ำชะขยะโดยการกำหนดปริมาณของน้ำชะขยะที่แน่นอน เป็นระบบที่ควรนำไปทดสอบในหลุมฝังกลบที่มีวัตถุประสงค์เพื่อการบำบัดน้ำชะขยะ เนื่องจากระบบนี้มีความสะดวกในการดำเนินการมากกว่า

Patummart Chewha, 2003 ได้ทำการศึกษาผลกระทบของนิกเกิลและสังกะสี ต่อการย่อยสลายของขยะในหลุมฝังกลบ ในการศึกษานี้ได้มีการจัดสร้างถังหมักขยะแบบไร้อากาศในระดับห้องปฏิบัติการ เป็นระบบหมักที่มีการหมุนเวียนน้ำชะขยะ จำนวน 2 ชุด ซึ่งจำลองสภาพเช่นเดียวกับหลุมฝังกลบจริง การทดลองเป็นการหมักไร้อากาศแบบ Batch Process ตลอดระยะเวลาทำการทดลอง 195 วัน โดยควบคุมองค์ประกอบตั้งต้นของทั้งสองระบบให้เหมือนกัน ได้แก่ ปริมาณและองค์ประกอบของขยะและเชื้อที่ใช้เริ่มต้นระบบ ขยะวัตถุดิบที่ใช้เป็นขยะสดประเภทผักและผลไม้

หลังจากเกิดสภาวะของการสร้างกรด (Acidogenic Formation) และสภาวะการผลิตก๊าซมีเทน (Methane Formation) ในถังหมักขยะถังที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ได้มีการใส่นิกเกิลและสังกะสีในถังหมักขยะ โดยใช้ปริมาณของโลหะหนักตามเกณฑ์มาตรฐานการควบคุมของเสียอันตรายของประเทศตุรกี นอกจากนี้ได้มีการหมุนเวียนน้ำชะขยะโดยแบ่งอัตราหมุนเวียนน้ำชะขยะออกเป็น 5 ช่วง ตามอัตราการหมุนเวียนน้ำชะขยะที่แตกต่างกันคือ 0%,5% ,7%,15% และ 25% ของความชื้นในขยะตามลำดับ ผลการศึกษาพบว่า นิกเกิลและสังกะสีที่ใส่ในถังหมักขยะในระยะของการสร้างกรด จะมีผลต่อการย่อยสลายของขยะในหลุมฝังกลบ โดยการวิเคราะห์น้ำชะขยะทั้ง ค่าพีเอช ค่าซีโอดี ค่าโออาร์พี รวมถึงปริมาณการผลิตก๊าซมีเทนเป็นตัวบ่งชี้ นอกจากนี้ยังพบว่าเวลาเฉลี่ยที่นิกเกิลและสังกะสีปรากฏในรูปสารละลาย ในถังหมักขยะที่ได้ใส่ไว้ในระยะของการสร้างกรด มีความยาวนานมากกว่าในถังหมักขยะที่ใส่นิกเกิลและสังกะสีในระยะของการผลิตก๊าซมีเทน คือ นิเกิล 179 ชั่วโมง สังกะสี 140 ชั่วโมง และนิเกิล 71 ชั่วโมง สังกะสี 57 ชั่วโมง ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการใส่ขยะที่ปนเปื้อนโลหะหนักในระยะของการสร้างกรด โลหะหนักจะสามารถละลายอยู่ในน้ำชะขยะได้ดีและก่อให้เกิดความเป็นพิษได้มากกว่า การใส่ขยะที่ปนเปื้อนโลหะหนักในระยะของการผลิตก๊าซมีเทน