

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การกำจัดมูลฝอยด้วยวิธีฝังกลบอย่างถูกหลักสุขาภิบาล

การกำจัดมูลฝอยแบบฝังกลบอย่างถูกหลักสุขาภิบาล คือ การกำจัดมูลฝอยโดยการฝังกลบที่ทำให้มีผลกระทบต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด ในการดำเนินการฝังกลบมูลฝอยอย่างถูกหลักสุขาภิบาล สถานที่ฝังกลบมูลฝอยที่สมบูรณ์เต็มรูปแบบจะประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้ (แสดงในรูปที่ 2.1)

- พื้นที่ฝังกลบมูลฝอย
- ระบบบำบัดน้ำชะมูลฝอย
- ระบบระบายก๊าซหรือนำก๊าซไปใช้เป็นพลังงาน
- ระบบตรวจสอบผลกระทบต่อน้ำใต้ดินและอากาศ

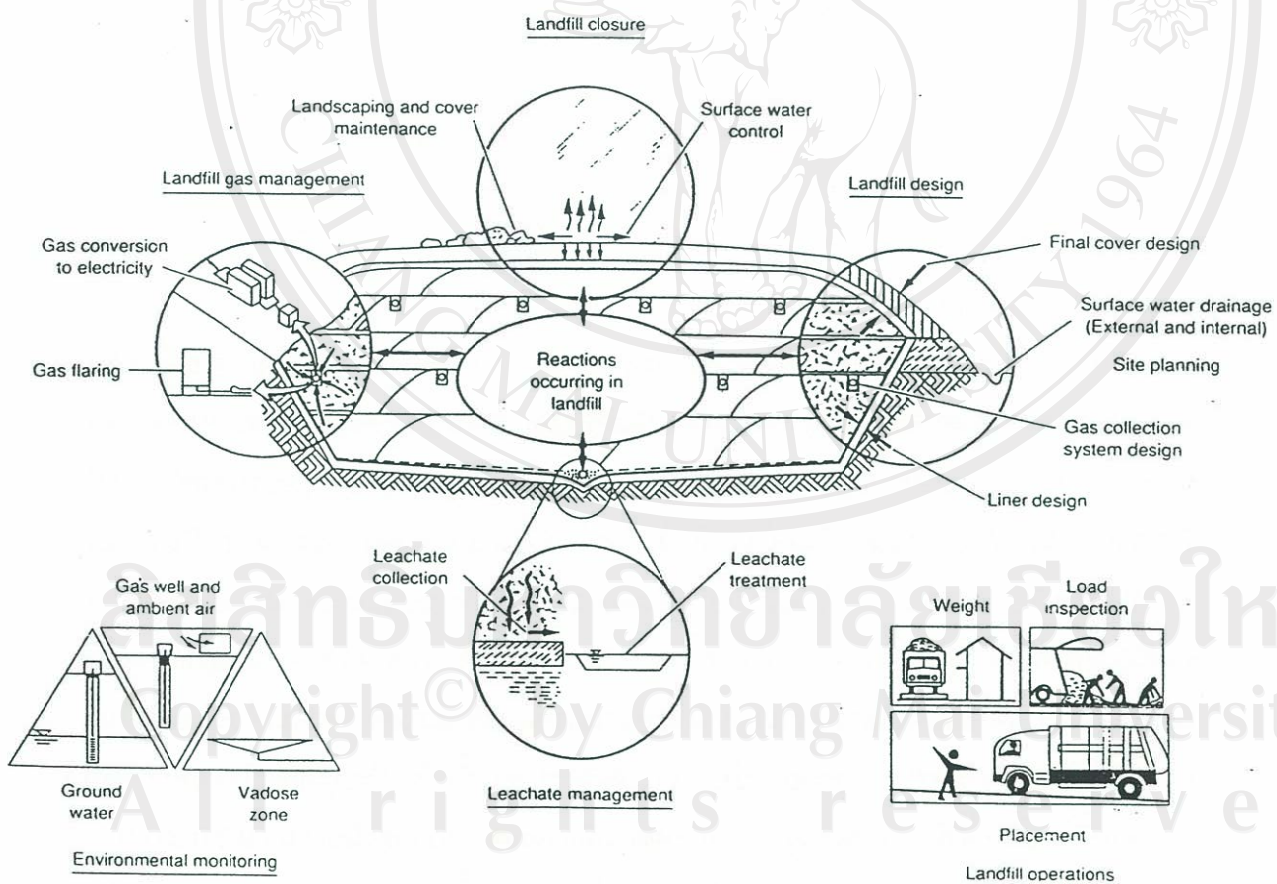
พื้นที่ฝังกลบมูลฝอยอาจจะเป็นแบบอยู่เหนือระดับผิวดิน ขุดลึกลงไปต่ำกว่าระดับผิวดิน หรือฝังอยู่ต่ำกว่าระดับผิวดินบางส่วนและอยู่เหนือระดับผิวดินบางส่วน ดังแสดงในรูปที่ 2.2 ความเหมาะสมของแต่ละรูปแบบขึ้นอยู่กับลักษณะภูมิประเทศ ลักษณะชั้นดิน และน้ำใต้ดินในบริเวณที่ตั้งพื้นที่ฝังกลบมูลฝอย

ปัจจุบันมีหลักในการออกแบบและปฏิบัติงานในพื้นที่ฝังกลบมูลฝอยดังนี้คือ เริ่มปูพื้นด้านล่างและด้านข้างของพื้นที่ฝังกลบด้วยวัสดุกันน้ำซึมผ่าน เช่น ดินเหนียวที่อัดแน่นหรือแผ่นพลาสติก พร้อมทั้งวางระบบท่อรับน้ำชะมูลฝอย ซึ่งทำหน้าที่รวบรวมน้ำชะมูลฝอยไปยังจุดบำบัดต่อไปดังรูปที่ 2.3 (ก) หลังจากเตรียมพื้นที่แล้วต่อไปก็เป็นกระบวนการฝังกลบมูลฝอย โดยมูลฝอยที่นำมาฝังกลบในแต่ละวันจะเท่ากับ 1 ห้องมูลฝอย มูลฝอยจะถูกโปรยจากรถขนถ่ายลงมาบนผิวหน้าของพื้นที่ที่ปฏิบัติงานให้สูง 45-60 ซม. ดังรูปที่ 2.3 (ข) แล้วทำการบดอัดให้มีความหนาแน่นด้วยเครื่องจักรกล โดยบดอัดไปตามความกว้างและความยาวของห้องมูลฝอย ความกว้างของห้องมูลฝอยจะอยู่ในช่วง 3.0-9.0 ม. ความยาวประมาณ 30-40 ม. จากนั้นเริ่มโปรยมูลฝอยใหม่และบดทับอีกหลายชั้นจนกระทั่งมีความสูงของห้องมูลฝอยตามที่กำหนดไว้ ความสูงนี้ประมาณ 2.0-3.6 ม.

ความกว้าง ความยาว และความสูงของห้องมูลฝอยขึ้นอยู่กับการออกแบบและปริมาณของมูลฝอยที่จะทำการฝังกลบในแต่ละวัน จากนั้นทำการปิดทับส่วนผิวหน้าทั้งหมดของห้องมูลฝอยด้วยวัสดุถมกลบ

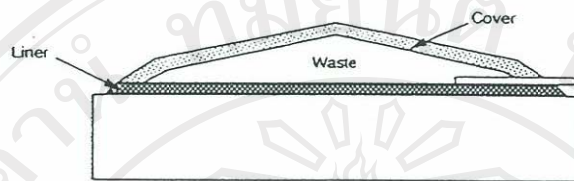
ความหนาของชั้นดินที่ปิดทับมูลฝอยเป็นชั้นบางๆ จะมีความหนาประมาณ 15 ซม. จุดประสงค์ที่ต้องมีการปิดผิวหน้ามูลฝอยก็เพื่อควบคุมการปลิวของมูลฝอย การป้องกันหนูและแมลง ป้องกันการแพร่เชื้อโรคจากพื้นที่ฝังกลบมูลฝอย และควบคุมไม่ให้น้ำไหลเข้าพื้นที่ฝังกลบขณะปฏิบัติงาน เมื่อทำการฝังกลบมูลฝอยเป็นห้องๆ ตามแนวราบจนเต็มพื้นที่ฝังกลบแล้วจะเกิดเป็นชั้นมูลฝอยอัด 1 ชั้น ดังรูปที่ 2.4

หลังจากฝังกลบมูลฝอยได้ 1 ชั้นแล้วก็เริ่มฝังกลบและบดอัดมูลฝอยเป็นห้องๆ ทับลงไปบนมูลฝอยที่บดอัดแล้วชั้นที่ 1 ในแนวราบจนเต็มพื้นที่จะได้มูลฝอยอัดชั้นที่ 2 ชั้นที่ 3 และชั้นที่ 4 ตามลำดับ จำนวนชั้นของมูลฝอยจะมีทั้งหมดกี่ชั้นในพื้นที่ฝังกลบขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมของพื้นที่แต่ละแห่ง ทั้งนี้วัสดุถมกลบหรือดินที่ใช้ปิดทับมูลฝอยชั้นสุดท้ายนี้ จะได้รับการออกแบบให้มีการรับน้ำดูดซึมน้ำได้ และสามารถปลูกพืชคลุมได้ รูปที่ 2.3 (ค) แสดงการฝังกลบมูลฝอยที่สมบูรณ์

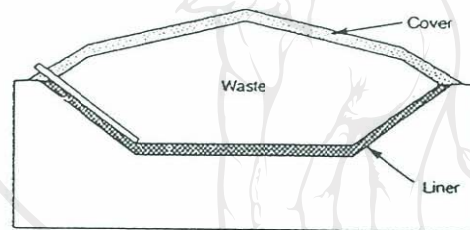


รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบของพื้นที่ฝังกลบมูลฝอยอย่างถูกหลักสุขาภิบาล

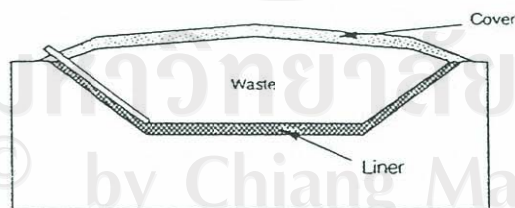
ที่มา : Tchobanoglous et al., 1993



(ก) หนึ่ระดับดิน



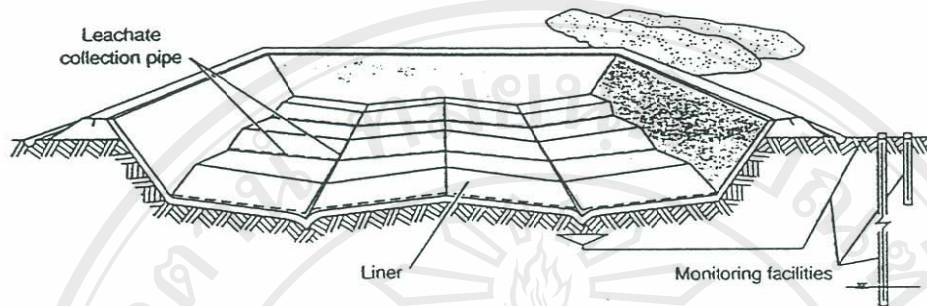
(ข) กึ่งฝังถึงหนึ่ระดับดิน



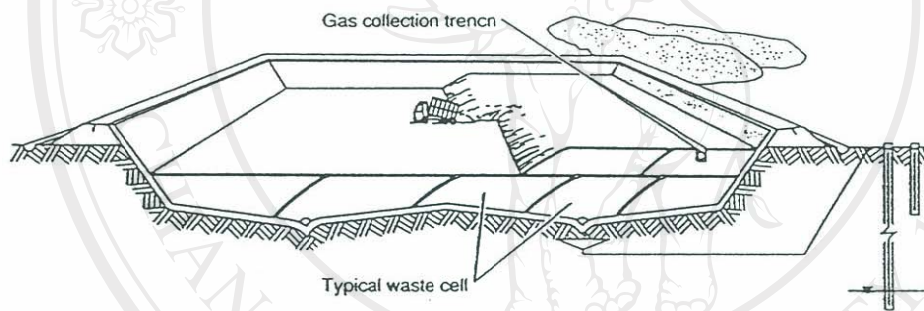
(ค) ฝังอยู่ต่ำกว่าระดับดิน

รูปที่ 2.2 พื้นที่ฝังกลบมูลฝอยแบบต่างๆ

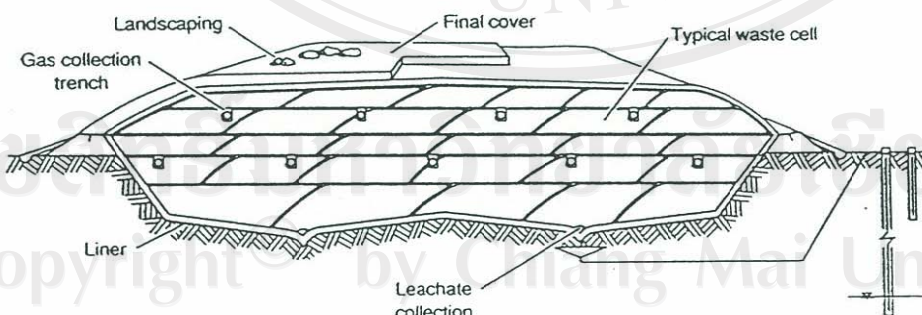
ที่มา : Daniel, 1993



(ก) การปูพื้นที่ฝังกลบด้วยวัสดุกันน้ำซึมผ่านและการวางท่อรวบรวมน้ำชะมูลฝอย



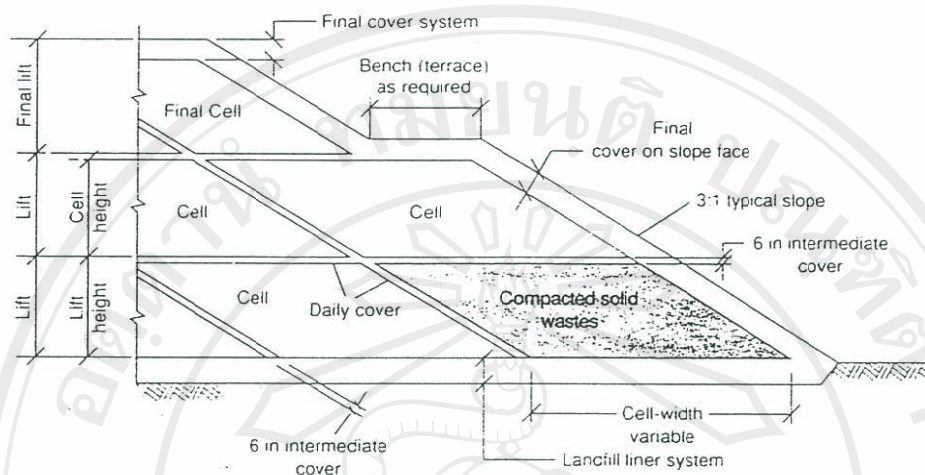
(ข) การเทมูลฝอยลงบนพื้นที่ฝังกลบ



(ค) การวางท่อรวบรวมก๊าซและลักษณะของพื้นที่ฝังกลบเมื่อเต็มแล้ว

รูปที่ 2.3 ขั้นตอนการสร้างพื้นที่ฝังกลบมูลฝอย

ที่มา : Tchobanoglous et al., 1993



รูปที่ 2.4 ภาพตัดแสดงการฝังกลบมูลฝอย

ที่มา : Tchobanoglous et al., 1993

มูลฝอยที่ทำการบดอัดและปิดทับด้วยวัสดุถมกลบแล้วนั้นจะเกิดการย่อยสลายตามกาลเวลา โดยเฉพาะมูลฝอยที่เป็นอินทรีย์วัตถุ เช่น มูลฝอยจากตลาดสดจำพวกพืชผัก ผลไม้ อัตราการย่อยสลายของมูลฝอยจะไม่เท่ากันในแต่ละประเทศ ทั้งนี้ประเทศที่อยู่ในเขตร้อนจะเกิดการย่อยสลายได้ดีกว่าและเร็วกว่าประเทศในเขตหนาว ในการย่อยสลายจะทำให้เกิดก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์เป็นส่วนใหญ่ นอกจากนี้ยังเกิดก๊าซอื่นๆ ทั้งที่มีพิษและไม่มีพิษ ก๊าซมีเทนนั้นสามารถติดไฟได้ ดังนั้นหากเกิดการรั่วซึมของก๊าซมีเทนและก๊าซมีพิษจากพื้นที่ฝังกลบสู่บรรยากาศภายนอก จะทำให้มีผลกระทบต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม ดังนั้นจึงต้องมีการวางท่อนำก๊าซหลังจากที่บดอัดมูลฝอยไปแล้ว 1 ชั้น โดยใช้ท่อพลาสติกเจาะรูแล้วกรูรอบๆ ด้วยกรวด ท่อนี้จะวางต่อเนื่องกันไปในแต่ละชั้น จนถึงชั้นมูลฝอยบดอัดชั้นสุดท้ายแล้วต่อท่อเข้ากับบ่อเก็บก๊าซ ซึ่งก๊าซที่ได้นี้จะถูกเผาทิ้งหรือนำไปใช้เป็นแหล่งพลังงานอื่นตามแต่ความเหมาะสม

หลังจากการฝังกลบเสร็จสิ้นสมบูรณ์แล้ว จะต้องมีการติดตามตรวจสอบ และบำรุงรักษาพื้นที่ฝังกลบที่หมดอายุการใช้งานแล้วเป็นครั้งคราวต่อเนื่องกันเป็นเวลา 30-50 ปี โดยสิ่งสำคัญคือการดูแลรักษาและซ่อมแซมบริเวณผิวหน้าพื้นที่ฝังกลบ ควบคุมและดูแลรักษางานระบบก๊าซและน้ำระมูลฝอย

วิธีการฝังกลบมูลฝอยที่มาจากชุมชนมีวิธีหลักๆ 3 วิธีคือ

ก. วิธีแบบกลบในร่อง

เป็นวิธีการที่เหมาะสมกับพื้นที่ที่จะนำเอาดินในพื้นที่ฝังกลบมาทำเป็นวัสดุถมกลบมูลฝอย และระดับน้ำใต้ดินบริเวณนั้นจะต้องอยู่ต่ำกว่าผิวน้ำดินมาก ทั้งนี้กันหลุมควรอยู่สูงกว่าระดับน้ำใต้ดินในหน้าฝนอย่างน้อย 1 ม. หลักการคือมูลฝอยจะถูกบดอัดในร่องที่ขุดแล้วนำดินที่ขุดในตอนแรกมาใช้ปิดคลุมมูลฝอยดังแสดงในรูปที่ 2.5 (ก) ร่องที่ขุดนี้จะปูพื้นด้วยแผ่นยางสังเคราะห์ หรือใช้ดินเหนียวที่มีค่าการซึมผ่านของน้ำต่ำหรืออาจใช้ทั้ง 2 อย่างร่วมกันเพื่อจำกัดการเคลื่อนที่ของก๊าซและน้ำชะมูลฝอยในพื้นที่ฝังกลบ การขุดร่องนี้ส่วนใหญ่จะทำเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีความกว้าง-ยาวมากถึง 300 ม. ความลาดเอียงทางด้านข้างใช้ 1.5:1.0 ถึง 2.0:1.0 ตัวคันร่องอาจมีความยาวตั้งแต่ 60-300 ม. ลึก 0.9-3.0 ม. และกว้าง 4.5-15.0 ม.

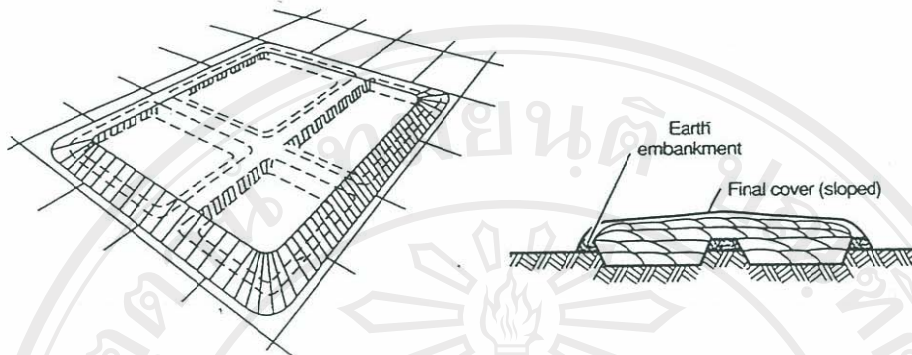
ในบางที่อาจอนุญาตให้มีการฝังกลบในบริเวณที่มีระดับน้ำใต้ดินสูงกว่ากันร่องได้ ถ้ามีการจัดหาวิธีการพิเศษเพื่อป้องกันไม่ให้น้ำใต้ดินไหลซึมเข้ามาได้ และมีการป้องกันก๊าซและน้ำชะมูลฝอยไม่ให้ไหลซึมออกมาปนเปื้อนกับน้ำใต้ดินได้

ข้อจำกัดของวิธีนี้คือ อาจมีน้ำขังอยู่ในร่องได้ถ้าฝนตกจึงต้องมีการใช้เครื่องสูบน้ำระบายน้ำออกจากพื้นที่ฝังกลบ และข้อจำกัดอีกข้อหนึ่งคือจะต้องทำทางขึ้นลงให้รถเก็บขนมูลฝอยสามารถวิ่งขึ้นลงได้สะดวก

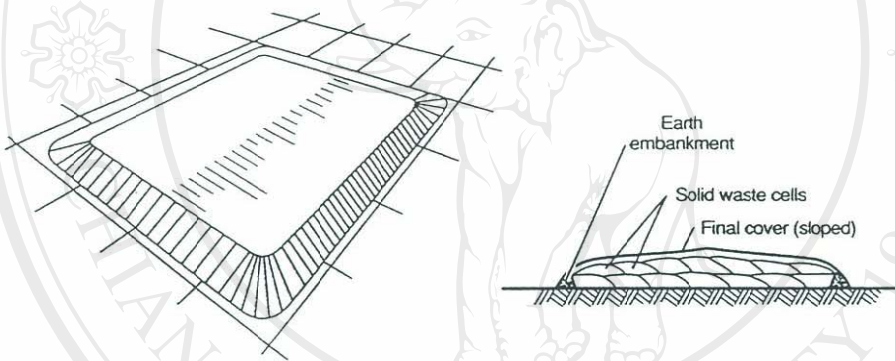
ข. วิธีแบบกลบบนพื้นที่

วิธีนี้จะใช้เมื่อพื้นที่มีลักษณะภูมิประเทศไม่เหมาะสมต่อการขุดให้เป็นร่อง เพื่อฝังกลบมูลฝอย ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากระดับน้ำใต้ดินที่สูงแต่จำเป็นต้องใช้พื้นที่ในการฝังกลบ วิธีนี้จำเป็นต้องทำคันดิน ตามแนวขอบพื้นที่ฝังกลบ เพื่อทำหน้าที่เป็นผนังหรือขอบยันการบดอัดมูลฝอย และกันน้ำชะมูลฝอยไม่ให้ซึมออกด้านนอกดังรูปที่ 2.5 (ข)

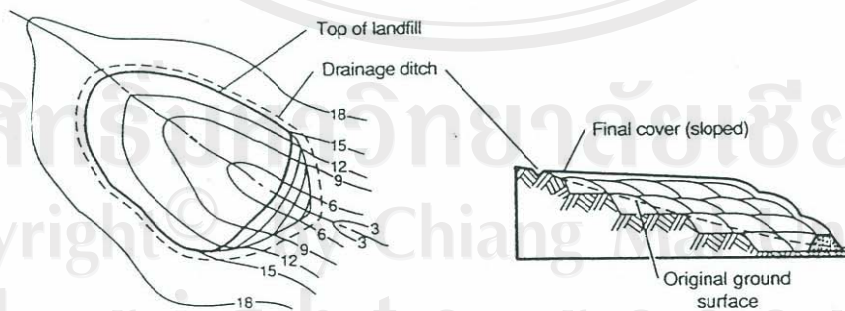
ข้อจำกัดของวิธีนี้คือ วัสดุถมกลบมูลฝอยและคันดินต้องขนมาจากพื้นที่อื่น ทำให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายโดยไม่จำเป็น อาจแก้ไขโดยการนำวัสดุอื่นแทนดินในการถมกลบ เช่นวัสดุที่ผ่านการหมักมานานแล้ว หรือใช้เทคนิคอื่นเช่น ใช้วัสดุปิดคลุมชั่วคราวบนห้องมูลฝอยที่ทำการบดอัดแล้ว และสามารถย่อยได้ก่อนการปฏิบัติงานในวันต่อไป และข้อจำกัดอีกอย่างคือ ถ้าถมมากชั้นจะทำให้สูงเกินไปเท่ากับสร้างภูเขาให้เกิดในบริเวณนั้น ทำให้ทัศนียภาพของพื้นที่เดิมเปลี่ยนแปลงไป ดังนั้นไม่ควรถมให้มีความสูงเกินระดับความสูงของต้นไม้ยืนต้น ซึ่งจะช่วยบังสถานที่ฝังกลบได้



(ก) แบบกลบในร่อง



(ข) แบบกลบบนพื้นที่



(ค) แบบกลบในหุบเขา

รูปที่ 2.5 วิธีการฝังกลบมูลฝอยที่นิยมใช้

ที่มา : Tchobanoglous et al., 1993

ค. วิธีแบบกลบในหุบเขา

วิธีนี้ใช้เมื่อพื้นที่ที่ใช้ฝังกลบมูลฝอยมีลักษณะภูมิประเทศเป็นหุบเขา ร่องเขา บ่อที่ลึกหรือบ่อเหมืองเก่า เทคนิคการทิ้งและบดอัดมูลฝอยในพื้นที่แบบนี้จะแตกต่างกันไปตามสภาพภูมิประเทศ สภาพทางธรณี ลักษณะของวัสดุที่ใช้ถมกลบ รูปแบบที่ใช้ในการควบคุมก๊าซและน้ำชะมูลฝอย และทางเข้าออกของตัวพื้นที่ หลักการฝังกลบมูลฝอยในแต่ละชั้นจะเริ่มจากด้านหน้าของหุบเขาจนถึงปลายสุดอีกด้านหนึ่งของหุบเขาทำให้เสร็จในเดือนเดียวกันดังรูปที่ 2.5 (ค) เพื่อป้องกันการสะสมของน้ำหลังจากทำการฝังกลบ การฝังกลบด้วยวิธีนี้สามารถทำได้หลายชั้นและวิธีการฝังกลบมูลฝอยในแต่ละชั้นก็เหมือนกับวิธีอื่นๆ ถ้าพื้นที่ด้านล่างของหุบเขาเป็นพื้นราบก็สามารถทำการฝังกลบด้วยวิธีการขุดร่องได้

สิ่งสำคัญที่จะทำให้การฝังกลบด้วยวิธีนี้ประสบความสำเร็จคือ ปริมาณของวัสดุที่ใช้ในการถมกลบมูลฝอยต้องมีจำนวนมากพอที่จะใช้ถมกลบผิวหน้ามูลฝอยในแต่ละชั้นจนถึงการกลบชั้นสุดท้าย โดยวัสดุถมกลบนี้อาจได้มาจากการขุดดินจากตัวหุบเขาเอง หรือจากพื้นที่ใกล้เคียง หรือวัสดุที่ผ่านการหมักแล้ว

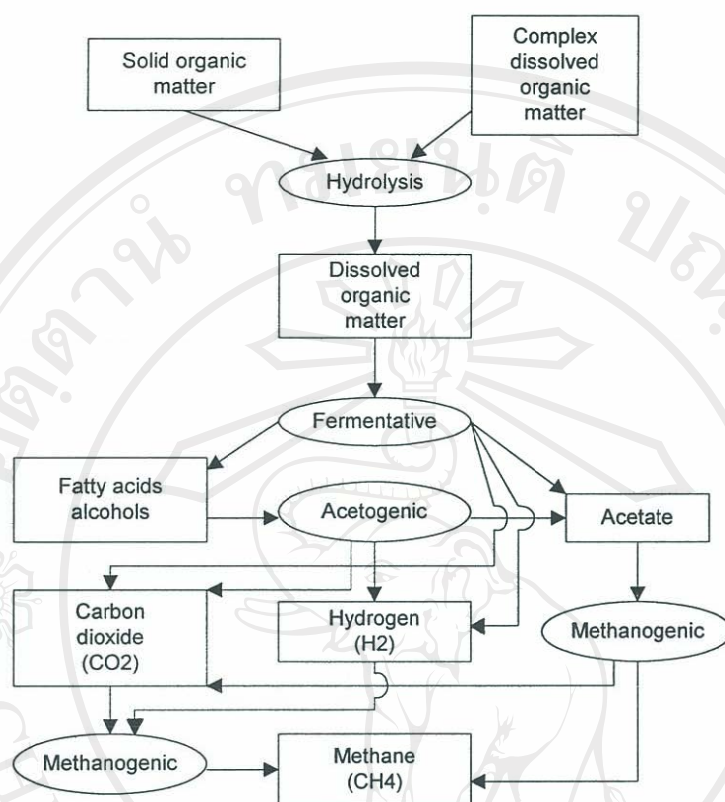
2.2 ปฏิบัติการย่อยสลายของมูลฝอยในบริเวณพื้นที่ฝังกลบ

ในพื้นที่ฝังกลบหลังจากที่มีการฝังกลบมูลฝอยโดยมีชั้นดินปิดทับแล้ว ภายในชั้นมูลฝอยจะเกิดสภาพไร้ออกซิเจน กระบวนการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ก็จะเริ่มย่อยสลายสารอินทรีย์ในมูลฝอย มูลฝอยจากชุมชน เช่น เศษอาหาร กระดาษ ใบไม้ และอื่นๆ จะมีสารอินทรีย์เป็นองค์ประกอบสำคัญ ซึ่งจุลินทรีย์สามารถย่อยสลายได้ถ้าอยู่ในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการทำงานของจุลินทรีย์ เช่น ความชื้น อุณหภูมิ พีเอช ฯลฯ กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์นี้ ผลผลิตที่สำคัญ คือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซมีเทน

ปฏิบัติการการย่อยสลายสารอินทรีย์ในพื้นที่ฝังกลบมูลฝอยแบบไร้ออกซิเจน ดังแสดงในรูปที่ 2.6 สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ระยะ (Christensen et al., 1996)

ระยะแรก ของแข็งและสารอินทรีย์เชิงซ้อนที่ละลายน้ำได้จะถูกไฮโดรไลส์และหมัก โดย Heterogeneous Bacteria ไปเป็น Volatile Fatty Acids แอลกอฮอล์ ไฮโดรเจน และคาร์บอนไดออกไซด์

ระยะสอง Acetogenic Bacteria จะเปลี่ยนผลผลิตที่ได้จากระยะแรกไปเป็น Acetic Acid ไฮโดรเจน และคาร์บอนไดออกไซด์



รูปที่ 2.6 ขั้นตอนการย่อยสลายของมูลฝอยในบริเวณพื้นที่ฝังกลบ

ที่มา : Christensen et al., 1996

ระยะสุดท้าย Methanogenic Bacteria ซึ่งจะแบ่งแบคทีเรียเป็น 2 ประเภท ประเภทแรก Acetophilic Bacteria จะเปลี่ยน Acetic Acid ไปเป็นก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ประเภทที่สอง Hydrogenophilic Bacteria จะเปลี่ยนก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ไปเป็นก๊าซมีเทน

2.3 น้ำชะมูลฝอย

น้ำชะมูลฝอย หมายถึง ของเหลวที่เก็บได้หรือไหลออกมาจากด้านล่างของพื้นที่ฝังกลบ โดยทั่วไปน้ำชะมูลฝอยเป็นผลมาจากการไหลซึมของน้ำฝน น้ำไหลบ่า น้ำที่ใช้รดน้ำพื้นที่ฝังกลบ อาจเกิดจากน้ำที่มีอยู่ในมูลฝอยเริ่มแรก ของเหลวที่เกิดจากปฏิกิริยาการย่อยสลายของมูลฝอย หรือแม้แต่ น้ำใต้ดินเอง โดยน้ำหรือของเหลวนี้จะไหลซึมผ่านชั้นมูลฝอยพร้อมกับชะหรือละลายเอา สารต่างๆ จากมูลฝอยลงสู่ชั้นพื้นที่ฝังกลบ

2.3.1 องค์ประกอบของน้ำชะมูลฝอย

น้ำชะมูลฝอยมีส่วนประกอบที่สำคัญคือ เกลืออนินทรีย์ ซึ่งส่วนใหญ่เกิดจากการย่อยสลายทางชีววิทยาของมูลฝอย เช่น แอมโมเนีย ซัลไฟด์ เพอร์ร็อกซิออนและส่วนหนึ่งจากสารอินทรีย์ที่อยู่ในมูลฝอยเอง สารอินทรีย์ที่ง่ายต่อการย่อยสลายทางชีววิทยา เช่น กรดไขมันที่ระเหยได้ นอกจากนี้ยังมีอิทธิพล ซึ่งเป็นสารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลใหญ่ น้ำชะมูลฝอยมีองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญดังแสดงในตารางที่ 2.1

จากตารางที่ 2.1 เห็นได้ว่าองค์ประกอบทางเคมีของน้ำชะมูลฝอย จะมีค่าแตกต่างกันไปตามอายุของพื้นที่ฝังกลบมูลฝอย หรือแม้แต่วิธีการเก็บตัวอย่าง เช่น ถ้าเก็บตัวอย่างน้ำชะมูลฝอยในช่วงที่การย่อยสลายเป็นแบบ Acid Phase ค่าพีเอชจะต่ำและความเข้มข้นของบีโอดี ทีโอดี ซีโอดี สารอาหารและโลหะหนักจะสูง ในอีกทางหนึ่งถ้าเก็บตัวอย่างในช่วงที่เป็น Methane Fermentation Phase ค่าพีเอชจะอยู่ในช่วง 6.5-7.5 และความเข้มข้นของโลหะจะมีค่าต่ำอันเนื่องมาจากโลหะส่วนมากละลายได้น้อยลงในพีเอชที่เป็นกลาง ค่าพีเอชของน้ำชะมูลฝอยจะไม่ขึ้นกับความเข้มข้นของกรดเท่านั้น แต่ยังขึ้นกับค่าความดันย่อยของคาร์บอนไดออกไซด์ในก๊าซที่อยู่ในพื้นที่ฝังกลบด้วย

จากองค์ประกอบทางเคมีของน้ำชะมูลฝอย จะเห็นได้ว่ามีมลสารออกมากับน้ำชะมูลฝอยมาก ดังนั้นจึงต้องมีการป้องกันไม่ให้น้ำชะมูลฝอยซึมออกนอกพื้นที่ฝังกลบ เช่น การปูพื้นหลุมด้วยวัสดุกันซึม นอกจากนี้ยังต้องมีการวางท่อเพื่อรับน้ำชะมูลฝอยแล้วต่อเข้ากับระบบบำบัดที่สร้างขึ้นก่อนระบายทิ้ง และจากผลของคุณลักษณะที่แตกต่างกันของน้ำชะมูลฝอยน้ำทำให้การออกแบบระบบบำบัดมีความยุ่งยากยิ่งขึ้น ตัวอย่างเช่น ระบบบำบัดที่ออกแบบเพื่อบำบัดน้ำชะมูลฝอยที่มาจากพื้นที่ฝังกลบใหม่ย่อมแตกต่างจากระบบบำบัดที่ออกแบบเพื่อบำบัดน้ำชะมูลฝอยจากพื้นที่ฝังกลบเก่า ปัญหาอีกอย่างหนึ่งที่พบคือน้ำชะมูลฝอยที่เกิดที่จุดใดๆ ในเวลาหนึ่งเป็นส่วนผสมของน้ำชะมูลฝอยที่เกิดจากมูลฝอยที่มีอายุต่างๆ กัน

2.3.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดน้ำชะมูลฝอย

ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณการเกิดน้ำชะมูลฝอยในการฝังกลบมูลฝอยมีดังนี้

ก. ลักษณะและองค์ประกอบของมูลฝอยที่นำมาฝังกลบ เช่น มูลฝอยที่ประกอบด้วยเศษอาหาร ผัก ผลไม้ จะทำให้เกิดปริมาณของน้ำชะมูลฝอยมากกว่ามูลฝอยแห้งเช่น กระดาษ พลาสติก

ข. ความสูงของชั้นมูลฝอย ปริมาณของน้ำชะมูลฝอยเกิดขึ้นแปรผันตามความสูงของชั้นมูลฝอย (Karnchanawong et al., 1992)

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำชะมูลฝอย

องค์ประกอบทางเคมี	หน่วย , มก./ล		
	พื้นที่ฝังหลบใหม่ (อายุน้อยกว่า 2 ปี)		พื้นที่ฝังกลบเก่า (อายุมากกว่า 10 ปี)
	ช่วงค่า	ค่าตัวอย่าง	
บีโอดี	2,000-30,000	10,000	100-200
ทีโอดี	1,500-20,000	6,000	80-160
ซีโอดี	3,000-6,000	18,000	100-500
ของแข็งแขวนลอย	200-2,000	500	100-400
สารอินทรีย์ในโตรเจน	10-800	200	80-120
แอมโมเนียในโตรเจน	10-800	200	20-40
ไนเตรท	5-40	25	5-10
ฟอสฟอรัส	5-100	30	5-10
ออโรฟอสฟอรัส	4-80	20	4-8
ความเป็นด่างรวม	1,000-10,000	3,000	200-1,000
พีเอช	4.5-7.5	6	6.6-7.5
ความกระด้างรวม	300-10,000	3,500	200-500
แคลเซียม	200-3,000	1,000	100-400
แมกนีเซียม	50-1,500	250	50-200
โปตัสเซียม	200-1,000	300	50-400
โซเดียม	200-2,500	500	100-200
คลอไรด์	200-3,000	500	100-400
ซัลเฟต	50-1,000	300	20-50
เหล็ก	50-1,000	60	20-200

ที่มา : Perry et al., 1984

ค. น้ำจากภายนอกไหลเข้าสู่พื้นที่ฝังกลบ น้ำจากภายนอกนี้ได้แก่น้ำฝน น้ำไหลบนผิวดิน น้ำใต้ดิน สามารถซึมผ่านชั้นมูลฝอยลงไปกลายเป็นส่วนหนึ่งของน้ำชะมูลฝอยได้ โดยปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณของน้ำชะมูลฝอยแสดงในตารางที่ 2.2

ง. สภาพพื้นผิวของพื้นที่ฝังกลบ ตัวอย่างเช่นลักษณะของดินอันได้แก่ ขนาด ความชื้น ความหนาแน่น และความสามารถที่ยอมให้น้ำซึมผ่านได้เป็นต้น ซึ่งจะมีผลต่อปริมาณน้ำชะมูลฝอยที่เกิดขึ้น นอกจากนี้ยังขึ้นกับ ความชื้นของผิวดิน พืชคลุมดิน และความลาดเอียงของผิวน้ำพื้นที่ฝังกลบ

ตารางที่ 2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณน้ำชะมูลฝอยที่เกิดขึ้น

ปัจจัย	ผลต่อปริมาณน้ำชะมูลฝอย
น้ำฝนที่ตกสู่พื้นที่ฝังกลบ	เพิ่ม
น้ำไหลล้นที่เข้าสู่พื้นที่ฝังกลบ	เพิ่ม
การระเหยของน้ำและการคายน้ำ	ลดลง
ความสามารถในการดูดซับน้ำของชั้นมูลฝอย	ลดลงหรือคงที่
น้ำฝนที่ตกสู่บริเวณทำงาน	เพิ่ม
ความชื้นของมูลฝอยที่นำมา	อาจจะเพิ่ม
การซึมของน้ำใต้ดินเข้าสู่ชั้นมูลฝอย	เพิ่ม

ที่มา : O'Leary et al., 1986

2.4 ก๊าซที่เกิดจากพื้นที่ฝังกลบ

พื้นที่ฝังกลบมูลฝอยคือถังปฏิริยาการย่อยสลายทางชีววิทยา ซึ่งมีมูลฝอยกับน้ำเป็นวัตถุดิบ และผลที่ได้จากปฏิริยาการย่อยสลายคือก๊าซและน้ำชะมูลฝอย ซึ่งก๊าซที่เกิดจากพื้นที่ฝังกลบมูลฝอยมีมากมายหลายชนิด บางชนิดเป็นอันตรายเมื่อออกสู่อากาศ ควรมีระบบรวบรวมก๊าซที่เกิดขึ้นเพื่อนำไปใช้เป็นพลังงานหรือเผาทิ้ง

2.4.1 องค์ประกอบและลักษณะของก๊าซจากพื้นที่ฝังกลบ

ก๊าซหลักที่เกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ในพื้นที่ฝังกลบมูลฝอย ได้แก่ มีเทน คาร์บอนไดออกไซด์ ไนโตรเจน ออกซิเจน ไฮโดรเจนซัลไฟด์ แอมโมเนีย ไฮโดรเจน และคาร์บอนมอนนอกไซด์ นอกจากนี้ยังพบก๊าซอื่นๆ ได้แก่ Volatile Organic Compounds (VOCs) แต่พบในปริมาณน้อยเมื่อเทียบกับก๊าซหลักข้างต้น ตารางที่ 2.3 แสดงให้เห็นถึงองค์ประกอบและลักษณะของก๊าซที่เกิดจากพื้นที่ฝังกลบ

ลักษณะสมบัติที่สำคัญของก๊าซหลักที่พบในพื้นที่ฝังกลบมูลฝอย ได้แก่

- ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นก๊าซที่ไม่มีพิษ หนักกว่าอากาศ เกิดจากการย่อยสลายทางชีววิทยาในสภาพที่มีและไม่มีออกซิเจน ค่าความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์จากการย่อยสลายมีค่าประมาณ 40% และอาจสูงถึง 70% ในการย่อยสลายแบบมีออกซิเจน มักจะพบคาร์บอนไดออกไซด์ในบริเวณด้านล่างของพื้นที่ฝังกลบเนื่องจากหนักกว่าอากาศ

- ก๊าซมีเทน เป็นก๊าซที่ไม่มีพิษ เบากว่าอากาศ ในการย่อยสลายทางชีววิทยาในสภาพมีออกซิเจนพบก๊าซมีเทนในปริมาณน้อยมาก สำหรับการย่อยสลายในสภาพไร้ออกซิเจนจะพบก๊าซมีเทนในช่วงหลัง ในปริมาณที่อาจสูงถึง 80% แต่ส่วนใหญ่มักจะพบอยู่ในช่วง 40-60% ก๊าซมีเทนสามารถติดไฟได้เมื่อมีความเข้มข้นในอากาศ 5-15% และอาจเกิดระเบิดได้เมื่อถูกกักไว้ในที่อับ

ตารางที่ 2.3 องค์ประกอบและลักษณะของก๊าซที่พบจากพื้นที่ฝังกลบ

องค์ประกอบของก๊าซ	ร้อยละ ^a
มีเทน	45-60
คาร์บอนไดออกไซด์	4-60
ไนโตรเจน	2-5
ออกซิเจน	0.1-1.0
ซัลไฟด์, ไดซัลไฟด์ ฯลฯ	0-1.0
แอมโมเนีย	0.1-1.0
ไฮโดรเจน	0-0.2
คาร์บอนมอนนอกไซด์	0-0.2
ก๊าซอื่นๆ	0.01-0.60
ลักษณะของก๊าซ	ค่า
อุณหภูมิ, °F	100-120
ความถ่วงจำเพาะ	1.02-1.06
ความชื้น	อิ่มตัว
ค่าความร้อนสูง, Btu/sft ³	400-550

^a แปรผันตามอายุของพื้นที่ฝังกลบ

ที่มา : Tchobanoglous et al., 1993

- ก๊าซไฮโดรเจน เป็นก๊าซที่ไม่มีพิษ เบากว่าอากาศ เกิดจากการย่อยสลายในพื้นที่ฝังกลบช่วงแรกๆ อาจมีปริมาณสูงถึง 20 % ของก๊าซที่เกิดจากการฝังกลบได้

- ก๊าซไนโตรเจน เป็นก๊าซที่ไม่มีพิษและเฉื่อยต่อการเกิดปฏิกิริยา พบในพื้นที่ฝังกลบเนื่องจากการผสมตัวของอากาศจากบรรยากาศ และอาจเกิดจากปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันของการย่อยสลาย

- ก๊าซออกซิเจน เป็นก๊าซที่ไม่มีพิษ พบในพื้นที่ฝังกลบช่วงแรก เนื่องมาจากการผสมตัวของอากาศจากบรรยากาศ

นอกจากก๊าซหลักข้างต้นแล้ว ยังมีก๊าซอื่นๆ อีกมากมายที่พบในพื้นที่ฝังกลบ ก๊าซบางตัวเป็นพิษ บางตัวติดไฟได้และบางตัวก่อให้เกิดกลิ่น ตัวอย่างก๊าซอื่นๆ ที่พบในพื้นที่ฝังกลบนอกจากก๊าซหลักแสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ตัวอย่างก๊าซอื่นๆ ที่พบในพื้นที่ฝังกลบ 66 แห่งในแคลิฟอร์เนีย สหรัฐอเมริกา

ชนิดของก๊าซ	ความเข้มข้นเฉลี่ย , ppbV ^a
Acetone	6,838
Benzene	2,057
Chlorobenzene	82
Chloroform	245
Dichloromethane	25,694
Ethylene dichloride	59
Ethylene benzene	7,334
Methyl ethyl ketone	3,092
Toluene	34,907
Vinyl chloride	3,508
Styrene	1,517
Xylenes	2,651

^a ppbA = parts per billion by volume.

ที่มา : Tchobanoglous et al., 1993

การเกิดก๊าซหลักจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ในพื้นที่ฝังกลบ จะขึ้นกับระยะเวลาของการฝังกลบ ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 5 ระยะ ดังแสดงในรูปที่ 2.7 มีรายละเอียดดังนี้

ระยะที่ 1 ระยะปรับตัวแรกเริ่ม สารอินทรีย์ในมูลฝอยถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ในสภาพที่มีออกซิเจน เนื่องจากอากาศที่แทรกเข้ามาในพื้นที่ฝังกลบมูลฝอย ก๊าซหลักที่พบในระยะนี้จึงได้แก่ออกซิเจนและก๊าซไนโตรเจนซึ่งเป็นองค์ประกอบของก๊าซที่มีอยู่ในบรรยากาศ มีไนโตรเจนประมาณ 79% และมีออกซิเจนประมาณ 21% และยังมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกิดขึ้นเล็กน้อยจากปฏิกิริยาการย่อยสลายทางชีววิทยาของสารอินทรีย์ แหล่งใหญ่ของจุลินทรีย์ทั้งที่ใช้และไม่ใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้มาจากดินที่ใช้เป็นวัสดุถมกลบมูลฝอย กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย น้ำชะมูลฝอยที่ใช้ในการหมุนเวียน และแหล่งอื่นๆ

ระยะที่ 2 ระยะเปลี่ยนแปลง เป็นระยะที่ก๊าซออกซิเจนลดลงและหมดไป การย่อยสลายในพื้นที่ฝังกลบเข้าสู่สภาวะไร้ออกซิเจน NO_3^- และ SO_4^{2-} จะทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอนในปฏิกิริยาและถูกรีดิวซ์เป็นก๊าซไนโตรเจนและก๊าซไฮโดรเจน ฟิเอชของน้ำชะมูลฝอยเริ่มลดลง เนื่องจากกรดอินทรีย์ที่เกิดขึ้นและการเพิ่มขึ้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ สภาพไร้ออกซิเจนนี้สามารถตรวจสอบโดยการวัดค่า ORP (Oxidation/Reduction Potential) ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง -50 ถึง -100 มิลลิโวลท์

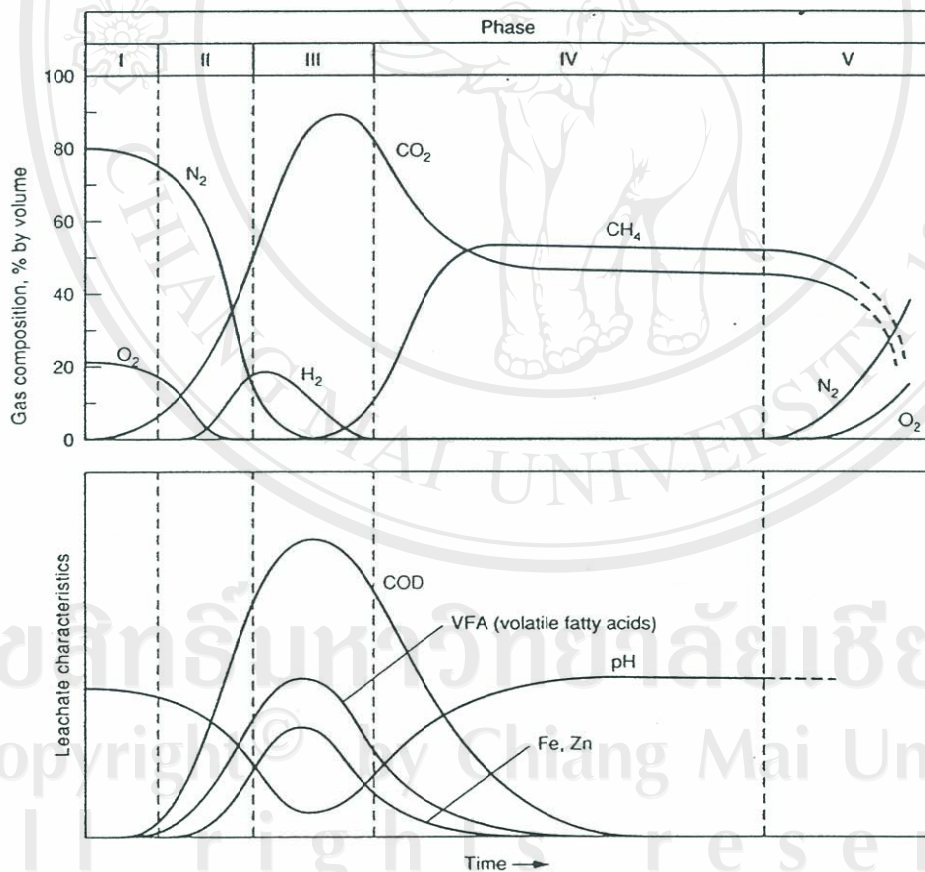
ระยะที่ 3 ระยะการเกิดกรด การย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ในระยะที่ 2 เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ก่อให้เกิดกรดอินทรีย์จำนวนมากและก๊าซไฮโดรเจน โดยในขั้นแรกจุลินทรีย์จะปล่อยเอนไซม์ออกมาย่อยสลายประกอบโมเลกุลใหญ่ เช่น ไขมัน โพลีแซคคาไรด์ โปรตีน และกรดนิวคลีอิก ไปเป็นสารประกอบที่เหมาะสมสำหรับให้จุลินทรีย์นำไปใช้เป็นแหล่งพลังงานและสร้างเซลล์ ในขั้นต่อมาจุลินทรีย์จำพวก Acidogens หรือ Acid Formers จะเปลี่ยนสารประกอบที่ได้จากขั้นตอนแรกให้เป็นสารประกอบที่มีโมเลกุลเล็กลงซึ่งได้แก่ กรดอะซิติก (CH_3COOH) ฟอร์มิก และกรดอินทรีย์อื่นๆ ในระยะนี้มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกิดขึ้นจำนวนมาก และมีก๊าซไฮโดรเจนเกิดขึ้นเล็กน้อย ฟิเอชของน้ำชะมูลฝอยจะลดลงอยู่ที่ 5 หรือน้อยกว่า เนื่องจากกรดอินทรีย์และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้น ค่าบีโอดี ซีโอดีและสภาพการนำไฟฟ้าของน้ำชะมูลฝอยจะเพิ่มขึ้น เนื่องจากการละลายของกรดอินทรีย์ในน้ำชะมูลฝอย และจากค่าฟิเอชที่ลดลงนี้ทำให้สารอินทรีย์โดยเฉพาะโลหะหนักสามารถละลายน้ำได้ สารอาหารที่จำเป็นต่อการดำรงชีพของจุลินทรีย์จะถูกกำจัดไปในระยะนี้ ถ้าไม่มีการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยสารอาหารนี้ก็สูญหายไปจากระบบ

ระยะที่ 4 ระยะเกิดมีเทน จุลินทรีย์จำพวก Methanogens หรือ Methane Formers จะเปลี่ยนกรดอะซิติกและก๊าซไฮโดรเจนเป็นก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้ฟิเอชเพิ่มขึ้นเข้า

สู่ความเป็นกลางในช่วง 6.8 ถึง 8 จากค่าพีเอชที่สูงขึ้นนี้ ทำให้สารอินทรีย์ละลายน้ำได้ลดลง ความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำชะมูลฝอยจึงลดลงด้วย

ระยะที่ 5 ระยะสุดท้าย เกิดขึ้นหลังจากการย่อยสลายทางชีววิทยาของสารอินทรีย์ไปเป็น ก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ในระยะที่ 4 แล้ว แม้ว่าความชื้นในมูลฝอยจะยังคงอยู่ แต่การย่อยสลายจะเกิดขึ้นน้อยมาก อัตราการเกิดก๊าซลดลง อาจพบก๊าซไนโตรเจนและออกซิเจนบ้างขึ้นอยู่กับ การปิดพื้นที่ฝังกลบ น้ำชะมูลฝอยประกอบด้วยอิทธิพลและฟลักซ์ซึ่งเป็นส่วนที่ย่อยสลายยาก

ช่วงเวลาของแต่ละระยะเปลี่ยนแปลงได้ ขึ้นอยู่กับส่วนประกอบของสารอินทรีย์ในพื้นที่ฝังกลบ สารอาหาร ความชื้นในมูลฝอย ความหนาแน่นในการฝังกลบ อุณหภูมิ เป็นต้น องค์ประกอบของก๊าซที่พบในพื้นที่ฝังกลบใหม่ในประเทศเขตอบอุ่นแสดงในตารางที่ 2.5



รูปที่ 2.7 ระยะเวลาของการเกิดก๊าซและปริมาณมลสารภายในพื้นที่ฝังกลบ

ที่มา : Tchobanoglous et al., 1993

ตารางที่ 2.5 องค์ประกอบของก๊าซจากพื้นที่ฝังกลบที่ระยะเวลาต่างๆ

ช่วงเวลาหลังเสร็จสิ้น การฝังกลบ , เดือน	เปอร์เซ็นต์เฉลี่ยโดยปริมาตร		
	ไนโตรเจน	คาร์บอนไดออกไซด์	มีเทน
0-3	5.2	88	5
3-6	3.8	76	21
6-12	0.4	65	29
12-18	1.1	52	40
18-24	0.4	53	47
24-30	0.2	52	48
30-36	1.3	46	51
36-42	0.9	50	47
42-48	0.4	51	48

ที่มา : Merz and Stone, 1970

2.4.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดก๊าซในพื้นที่ฝังกลบ

ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดก๊าซในพื้นที่ฝังกลบมีดังต่อไปนี้

ก. องค์ประกอบของมูลฝอย ถ้ามูลฝอยมีส่วนประกอบที่เป็นสารอินทรีย์ที่ถูกย่อยสลายได้ง่ายสูงก็จะทำให้เกิดก๊าซได้มาก

ข. อุณหภูมิ อัตราการเกิดก๊าซมีเทนจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น (DeWalle and Chian, 1978)

ค. ความชื้น การเพิ่มความชื้นในมูลฝอยจะทำให้อัตราการเกิดก๊าซเพิ่มขึ้นด้วย (DeWalle and Chian, 1978)

ง. พีเอช การเกิดก๊าซแต่ละชนิดในพื้นที่ฝังกลบขึ้นอยู่กับช่วงค่าพีเอช เช่น ก๊าซมีเทนจะเกิดได้ดีเมื่อพีเอชมีค่าเป็นกลางอยู่ในช่วง 6.5-8.0

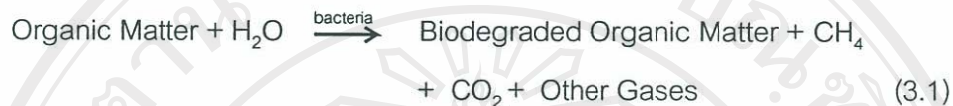
จ. ขนาดของมูลฝอย การลดขนาดของมูลฝอยลงจะช่วยเพิ่มอัตราการเกิดก๊าซ (DeWalle and Chian, 1978)

ฉ. ความหนาแน่นในการฝังกลบ การเพิ่มความหนาแน่นในพื้นที่ฝังกลบมีแนวโน้มจะทำให้อัตราการผลิตก๊าซลดลง (DeWalle and Chian, 1978 ; Kinman et al., 1987)

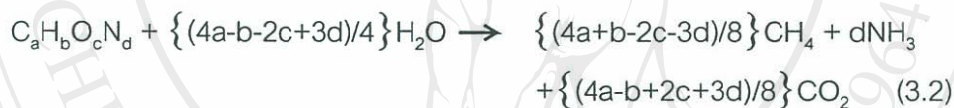
2.4.3 ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นจากพื้นที่ฝังกลบ

วิธีการประมาณหาปริมาณก๊าซที่เกิดจากการฝังกลบมูลฝอยมีหลายวิธี เช่น

ก. การประมาณจาก Balanced Stoichiometric Equation. (Tchobanoglous et al., 1993) ปฏิริยาเคมีของการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนของมูลฝอย แสดงดังสมการที่ 3.1



ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นประมาณได้หลายวิธี เช่น ให้มูลฝอยจากชุมชน (ยกเว้นพลาสติก) มีส่วนประกอบอินทรีย์อย่างเดียวกัน แทนด้วย $\text{C}_a\text{H}_b\text{O}_c\text{N}_d$ ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นทั้งหมดประมาณได้จากสมการที่ 3.2 โดยมีการตั้งสมมุติฐานว่า สารอินทรีย์ย่อยสลายได้เปลี่ยนไปเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซมีเทนอย่างสมบูรณ์



โดยทั่วไปสารอินทรีย์ในมูลฝอยแยกได้เป็น 2 กรณีคือ สารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้อย่างรวดเร็ว (3 เดือน - 5 ปี) และสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ช้า (สูงถึง 50 ปีหรือมากกว่า) การย่อยสลายสารอินทรีย์ในมูลฝอยชุมชนแสดงในตารางที่ 2.6 ถ้าตั้งสมมุติฐานว่ามูลฝอยมีสูตรโมเลกุล $\text{C}_{75}\text{H}_{122}\text{O}_{55}\text{N}$ ให้แทนมูลฝอยที่ย่อยสลายได้เร็ว จากการคำนวณตามสมการที่ 3.2 พบว่าปริมาณก๊าซสูงสุดที่เกิดขึ้นภายใต้สภาพแวดล้อมที่เหมาะสม คือ 870 ลิตร/กิโลกรัมของมูลฝอยอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ในมูลฝอยชุมชนทั่วไปจากการคำนวณพบว่าปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นอยู่ในช่วง 620-1,060 ลิตร/กิโลกรัมของมูลฝอยอินทรีย์ย่อยสลายได้ อนึ่งปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นจริงจะต่ำกว่าที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎี เพราะว่าสารอินทรีย์ไม่สามารถย่อยสลายได้หมด

ข. การประมาณจากประสิทธิภาพการย่อยสลายของมูลฝอย (Towprayoon and Sukpinij, 1995) ได้ทำการประมาณปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นจากการฝังกลบมูลฝอยในประเทศไทย การคำนวณมีขั้นตอนดังนี้ ให้มูลฝอยที่เกิดขึ้น 0.925 กก./ (คน-วัน) มีการนำมูลฝอยไปยังสถานที่ฝังกลบมูลฝอย 60% มูลฝอยมีสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้เป็นองค์ประกอบ 43% ส่วนของสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้จริงนี้จะกลายเป็นก๊าซมีเทน 55% จากการคำนวณมูลฝอยในกรุงเทพ

มหานคร พบว่าเกิดก๊าซมีเทน 0.319 Tg/ปี ($1\text{Tg} = 10^{15}\text{gram}$) และทั้งประเทศไทยจากการคำนวณเกิดก๊าซมีเทน 2.921 Tg/ปี

ค. การประมาณจากข้อมูลที่ได้จากการทดลองฝังกลบมูลฝอยในถังจำลองหรือพื้นที่ฝังกลบจริง

อัตราการเกิดก๊าซจากการย่อยสลายของมูลฝอยชุมชนทั้งที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎีที่ได้จากการวิจัยในถังจำลองการฝังกลบมูลฝอย และในพื้นที่ฝังกลบมูลฝอยจริง สรุปไว้ในตารางที่

2.7

ตารางที่ 2.6 การย่อยสลายสารอินทรีย์ในมูลฝอยชุมชน

มูลฝอย	ย่อยสลายได้อย่างรวดเร็ว	ย่อยสลายได้ช้า
เศษอาหาร	/	
กระดาษหนังสือพิมพ์	/	
กระดาษสำนักงาน	/	
กระดาษแข็ง	/	
พลาสติก ^a		
สิ่งทอ		/
ยาง		/
หนัง		/
เศษหญ้าและใบไม้	/	/
ไม้		/
สารอินทรีย์อื่นๆ		/

^a พลาสติกโดยทั่วไปไม่สามารถย่อยสลายได้

ที่มา : Tchobanoglous et al., 1993

ตารางที่ 2.7 อัตราการเกิดก๊าซจากการฝังกลบมูลฝอยชุมชน

สภาพ	ฐานการ คำนวณ	อัตราการเกิดก๊าซ ลิตร/(กก.มูลฝอย-ปี)
พื้นที่ฝังกลบหลังจาก 5 ปี	ทางทฤษฎี	16
แหล่งข้อมูลจากงานวิจัยที่ตีพิมพ์และอื่นๆ	การประมาณ	3.7-14
ก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้น 300 วัน คำนวณจากถังจำลองพื้นที่ฝังกลบ	การทดลอง	4.9
ค่าเฉลี่ยของมีเทนที่เกิดจากถังจำลองพื้นที่ฝังกลบ	การทดลอง	4.9-6.1
ก๊าซที่เกิดขึ้นจากถังจำลองการฝังกลบมากกว่า 300 วัน	การทดลอง	0.21
อัตราการเกิดก๊าซสูงสุดที่สังเกตจากถังจำลองพื้นที่ฝังกลบ	การทดลอง	8.1
ค่าสูงสุดที่เกิดจากถังจำลองพื้นที่ฝังกลบที่มีอุณหภูมิและ ความชื้นที่เหมาะสม	การทดลอง	32
ถังจำลองพื้นที่ฝังกลบที่มีมูลฝอยจำพวกเศษอาหารสูง	การทดลอง	400
ถังจำลองพื้นที่ฝังกลบที่มีความชื้นต่ำ	การทดลอง	32-62
ค่าสูงสุดและต่ำสุดที่สังเกตจากถังจำลองพื้นที่ฝังกลบ กว่า 3 ปี	การทดลอง	16-41
การทดลองการฝังกลบในฤดูกาลที่แตกต่างกัน	การทดลอง	3.9-39
การทดลองการฝังกลบ	การทดลอง	21-29
ข้อมูลการฝังกลบในระยะสั้น	การทดลอง	11
	/ทางทฤษฎี	
การทดลองการฝังกลบที่คำนวณสำหรับมีเทน 53 %	การทดลอง	2.2

ที่มา : Robinson, 1986

2.5 สรุปสาระสำคัญจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง

ปริทัศน์ ชมเชย (2537) ได้ศึกษาเปรียบเทียบลักษณะของน้ำชะมูลฝอยจากการฝังกลบมูลฝอย ด้วยวิธีไร้ออกซิเจนและกึ่งออกซิเจน ทำการทดลองตั้งแต่เดือนมีนาคมถึงตุลาคม 2536 โดยใช้ถังจำลองทรงกระบอก 2 ใบทำด้วยเหล็กหนา 1/8 นิ้ว มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.2 ม. สูง 3.4 ม. บรรจุมูลฝอยชุมชนจากเขตเทศบาลนครเชียงใหม่ 2,246 กก./ถัง มีความหนาแน่น 662 กก./ลบ.ม. ถังที่ทำการฝังกลบแบบไร้ออกซิเจน ท่อบรับน้ำชะมูลฝอยมีขนาดเล็กและปิดวาล์วทางออกยกเว้นเวลาวัดปริมาณน้ำชะมูลฝอยเพื่อป้องกันไม่ให้อากาศเข้าสู่ถัง ส่วนถังที่ทำการฝังกลบแบบกึ่งออกซิเจนนั้น ท่อบรับน้ำชะมูลฝอยมีขนาดใหญ่และปลายท่อเปิดอยู่เสมอเพื่อให้อากาศสามารถแทรกผ่านเข้ามาในถังได้ จากการศึกษพบว่า ถังที่ทำการฝังกลบแบบไร้ออกซิเจนก่อให้เกิดมลสาร

ในพารามิเตอร์ ความเป็นกรด ความเป็นด่าง สภาพการนำไฟฟ้า ของแข็งทั้งหมด ของแข็งที่เป็นสารอินทรีย์ ไนโตรเจนในรูปสารอินทรีย์ ความเป็นกรดระเหย ซีไอดี บีไอดี และทีไอซี มีความเข้มข้นมากกว่าถึงที่ฝังกลบแบบกึ่งออกซิเจนอย่างเห็นได้ชัด

Karnchanawong et al. (1995) ทำการศึกษาเรื่องก๊าซและน้ำชะมูลฝอยจากการฝังกลบมูลฝอยในประเทศเขตร้อนเป็นระยะเวลา 853 วัน ใช้ถังจำลองทรงกระบอกจำนวน 4 ใบ ทำด้วยเหล็กเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.9 ม. บรรจุมูลฝอยสูง 0.61, 2.37, 3.87 และ 5.39 ม. ทำการฝังกลบแบบไร้ออกซิเจน มูลฝอยที่นำมาบรรจุเป็นมูลฝอยชุมชนจากเขตเทศบาลนครเชียงใหม่ให้มีความหนาแน่นประมาณ 0.854-0.856 ตัน/ลบ.ม. จากการศึกษาพบว่า ความเข้มข้นของมลสารในน้ำชะมูลฝอยที่เกิดขึ้นแปรผันตามความสูงของชั้นมูลฝอย ความเข้มข้นของมลสารในน้ำชะมูลฝอยในพารามิเตอร์ ความเป็นกรดระเหย ค่าการนำไฟฟ้า ซีไอดี บีไอดี ทีไอซี ของแข็งทั้งหมด และของแข็งที่ระเหยได้ มีค่าสูงในช่วงหน้าฝนแรกและหน้าแล้งแรก ลดลงอย่างรวดเร็วในหน้าฝนที่สอง และค่อยๆ ลดลงจนสิ้นสุดการทดลอง ส่วนค่าความเป็นกรด ความเป็นด่าง ของแข็งแขวนลอยและไนโตรเจน มีค่าสูงในหน้าฝนแรกและค่อยๆ ลดลงจนสิ้นสุดการทดลอง

Lee et al. (1994) ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงรูปของมลสารในชั้นมูลฝอย ทำการทดลองเป็นเวลา 800 วัน ถึงจำลองที่ใช้มีจำนวน 4 ใบ เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.8 ม. บรรจุมูลฝอยสูง 2, 4, 6 และ 8 ม. ทำการฝังกลบแบบกึ่งออกซิเจนโดยให้อากาศผ่านเข้าทางท่อระบายน้ำชะมูลฝอยมูลฝอยที่นำมาฝังกลบนั้นเลียนแบบมูลฝอยที่ฝังกลบจริงในพื้นที่ฝังกลบในประเทศญี่ปุ่น คือให้ที่เก่าที่มาจากการเผามูลฝอย ที่ผ่านการบด และปุ๋ยที่เกิดจากการหมักมูลฝอยที่มาจากชุมชน ผสมในอัตราส่วน 65:15:20 ของน้ำหนักแห้ง บรรจุให้มีความหนาแน่นประมาณ 1 ตัน/ลบ.ม. จากการศึกษาพบว่า เมื่อความหนาของชั้นมูลฝอยเพิ่มขึ้นอัตราการเกิดน้ำชะมูลฝอยน้อยลง ความเข้มข้นของทีไอซีและไนโตรเจนทั้งหมดในน้ำชะมูลฝอยมีค่าสูงมากในช่วงเริ่มต้นหลังจากนั้นจะลดลงจนเกือบคงที่ มีแนวโน้มว่าค่าความเข้มข้นจะเพิ่มขึ้นตามความหนาของชั้นมูลฝอยแต่จะไม่เป็นสัดส่วนกัน อัตราการเกิดทีไอซีและไนโตรเจนทั้งหมดจะลดลงเมื่อความหนาเพิ่มขึ้นถึงประมาณ 6 ม. หลังจากนั้นความหนาจะไม่มีผลต่ออัตราดังกล่าว ไนโตรเจนที่ถูกชะออกมากับน้ำชะมูลฝอยอยู่ในรูปของไนเตรท ซึ่งเป็นผลมาจากการเกิดไนตริฟิเคชันที่ส่วนล่างของถัง อุณหภูมิและพีเอชในชั้นมูลฝอยนอกจากจะมีผลต่อการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์แล้วยังมีผลต่อการละลายของสารอินทรีย์และไนโตรเจนอีกด้วย

Fletcher (1988) ทำการวิจัยในภาคสนามเพื่อศึกษาเทคนิคต่างๆ ที่จะทำให้อัตราการเกิดก๊าซที่เกิดขึ้นจากการฝังกลบมีค่าสูงสุด และปริมาณก๊าซที่ผลิตได้มากที่สุด เทคนิคที่ใช้ได้แก่ การเพิ่มความชื้น การลดความหนาแน่นชั้นมูลฝอย การเพิ่มอุณหภูมิ การเติมกากตะกอน การผสมมูลฝอยต่างชนิดกัน (อาหาร กระดาษ เศษไม้ ฯลฯ) โดยการสร้างเซลล์ทดสอบขนาดใหญ่ กว้าง 24 ม. ยาว 40 ม. ลึก 10 ม. (แบ่งเป็น 5 ชั้นๆ ละ 2 ม.) จำนวน 6 เซลล์ แต่ละเซลล์บรรจุมูลฝอยจากชุมชน 7,000-10,000 ตัน/เซลล์ จากผลการวิจัยพบว่า ในช่วงปีแรกเมื่อมีการฝังกลบมูลฝอยได้ประมาณ 240 วัน ในเซลล์ที่มีการเติมกากตะกอนจะพบก๊าซมีเทนเป็นองค์ประกอบประมาณ 40-50% ในเซลล์ที่มีการผสมมูลฝอยต่างชนิดกันจะพบก๊าซมีเทนเป็นองค์ประกอบประมาณ 30% ในเซลล์ที่มีการเพิ่มความชื้น การเพิ่มอุณหภูมิ การลดความหนาแน่นของชั้นมูลฝอยจะพบก๊าซมีเทนเป็นองค์ประกอบประมาณ 5-20%

Kinman et al. (1987) ทำการศึกษาเทคนิคในการเร่งการเกิดก๊าซมีเทนในถังจำลองการฝังกลบมูลฝอย เทคนิคที่ใช้ได้แก่ การเพิ่มปริมาณน้ำที่ซึมผ่านชั้นมูลฝอย การเพิ่มความชื้นในมูลฝอย การหมუნเวียนน้ำชะมูลฝอย การเติมสารบัฟเฟอร์ (CaCO_3) การเติมสารอาหาร $[(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4]$ การเพิ่มอุณหภูมิ และการเติมกากตะกอน โดยใช้ถังจำลองที่ทำด้วยเหล็กเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.90 ม. สูง 1.80 ม. จำนวน 16 ใบ แต่ละถังบรรจุมูลฝอยจากชุมชนที่ผ่านการบดให้มีขนาดเล็กลงประมาณ 380 กิโลกรัม ระยะเวลาการทดลอง 5 ปี ดัชนีที่แสดงถึงการเร่งการเกิดก๊าซมีเทนได้แก่ องค์ประกอบของก๊าซที่เป็นก๊าซมีเทนและอัตราการเกิดก๊าซที่เพิ่มขึ้น จากการศึกษาพบว่าในช่วง 2 ปีแรก อัตราการเกิดก๊าซไม่เกิน 7.5 ลิตร/กก.-ปีในทุกๆ ถัง การเติมกากตะกอนจาก Anaerobic Digestion การเติมบัฟเฟอร์และสารอาหาร ทำให้อัตราการเกิดก๊าซเพิ่มสูงถึง 30-92 ลิตร/กก.-ปี (ในปีที่ 5) ในขณะที่การหมუნเวียนน้ำชะมูลฝอยซึ่งเชื่อว่าจะนำจุลินทรีย์ สารอาหาร และความชื้นกลับสู่ชั้นมูลฝอยจะช่วยเร่งการเกิดก๊าซมีเทน แต่ผลการศึกษาของ Kinman ที่ได้กลับเป็นไปในทางตรงกันข้าม ซึ่งผู้วิจัยได้ตั้งสมมุติฐานว่า อาจเกิดเนื่องจากความเป็นพิษของน้ำชะมูลฝอยที่ส่งผลกระทบต่อจุลินทรีย์ ซึ่งสามารถลดผลนี้ได้โดยการเติมกากตะกอนเข้าไปในชั้นมูลฝอย

Barlaz et al. (1987) ทำการศึกษาย่อยที่มีผลต่อการเกิดก๊าซในถังจำลองการฝังกลบมูลฝอย อัตราการเกิดก๊าซที่เกิดขึ้นจากการย่อยสลายของมูลฝอยในถังจำลอง ปัจจัยที่ใช้ในการศึกษาคือ การใช้มูลฝอยเก่าที่ถูกย่อยสลายแล้วมาผสมกับมูลฝอยใหม่ การเติมกากตะกอน การเติม Acetate การเติมสารบัฟเฟอร์ (Na_2CO_3) ถังจำลองทำด้วยเหล็กมีขนาด 208 ลิตร จำนวน 19 ใบ

แต่จะถึงบรรลุผลฝอยจากชุมชนที่ผ่านการบดให้มีขนาดเล็กลง ระยะเวลาในการทดลอง 2 ปี จากการศึกษาพบว่า การใช้มูลฝอยเก่าที่ถูกย่อยสลายแล้วมาผสมกับมูลฝอยใหม่ และการเติมสารบัฟเฟอร์ จะช่วยเร่งการเกิดก๊าซมีเทน ปริมาณก๊าซมีเทนที่ผลิตได้ใน 2 ปีอยู่ในช่วง 50-90 ลิตร/กก. อัตราการเกิดก๊าซอยู่ในช่วง 0.10-0.20 ลิตร/กก.-วัน ในขณะที่การเติมกากตะกอนและการเติม Acetate จะช่วยเร่งการเกิดก๊าซมีเทนน้อยมากเมื่อเทียบกับการใช้มูลฝอยเก่าที่ถูกย่อยสลายแล้วมาผสมกับมูลฝอยใหม่ และการเติมสารบัฟเฟอร์

Myers et al. (1979) ได้ทำการศึกษาปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้น และองค์ประกอบของก๊าซในถังจำลองการฝังกลบมูลฝอยที่ทำด้วยเหล็ก ใช้ถังขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 1.83 ม. จำนวน 2 ใบ แต่ละถังบรรจุมูลฝอยจากชุมชนมีความหนาแน่นประมาณ 400 กก./ลบ.ม. ระยะเวลาในการทดลอง 100 วัน จากการศึกษาพบว่า อัตราการเกิดก๊าซเฉลี่ย 61.8 มล./กก.-วัน อัตราการเกิดก๊าซสูงสุด 69.5 มล./กก.-วัน ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นในช่วงแรกมีค่าสูงมาก หลังจากนั้นจะมีค่าขึ้นๆ ลงๆ จนกระทั่งลดลงค่อนข้างมากในช่วงท้ายการทดลอง ในส่วนขององค์ประกอบของก๊าซนั้น ก๊าซออกซิเจนจะลดลงอย่างรวดเร็ว หลังจากที่ตั้งถังจำลองถูกปิดสนิทแล้ว 24 ชั่วโมง พบก๊าซออกซิเจนน้อยกว่าร้อยละ 1 ก๊าซไนโตรเจนจะลดลงมากในทุกถัง ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะเพิ่มขึ้นจนกระทั่งค่อนข้างคงที่ คิดเป็นร้อยละ 70-80 ไม่พบก๊าซไฮโดรเจน และก๊าซมีเทนในช่วง 100 วันแรกของการทดลอง

Shafer et al. (1981) ทำการศึกษาต่อจาก Myers et al. (1979) ช่วงเวลาที่ทดลองนับจากวันที่ 101 ถึงวันที่ 636 หลังจากมีการปิดถังจำลองฝังกลบมูลฝอยโดยมีวัตถุประสงค์ในการศึกษาเช่นเดียวกัน จากผลการศึกษาพบว่า อัตราการเกิดก๊าซเฉลี่ยในช่วง 636 วัน มีค่า 18.32 มล./กก.-วัน ซึ่งเทียบเท่ากับร้อยละ 30 ของอัตราการเกิดก๊าซเฉลี่ยในช่วง 100 วันแรก ในส่วนขององค์ประกอบของก๊าซนั้น พบก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซมีเทนในทุกๆ ถังจำลองโดยจะพบก๊าซไฮโดรเจนก่อน หลังจากนั้นจะพบก๊าซมีเทน ซึ่งก๊าซมีเทนมีค่าสูงสุดร้อยละ 8.6 และก๊าซไฮโดรเจนมีค่าสูงสุดร้อยละ 5.8

DeWalle and Chian (1978) ทำการศึกษาอัตราการเกิดก๊าซที่เกิดขึ้นจากการย่อยสลายของมูลฝอยในถังจำลอง ปริมาณก๊าซทั้งหมดที่สามารถผลิตได้ รวมทั้งศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่ออัตราการเกิดก๊าซ เช่น ความหนาแน่นในมูลฝอย ปริมาณความชื้น อุณหภูมิ และขนาดของมูลฝอย

ใช้ถังจำลองที่ทำด้วยเหล็ก ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.57 ม. สูง 0.80 ม. ปริมาตร 208 ลิตร จำนวน 18 ใบ แต่ละถังบรรจุมูลฝอยชุมชนที่ผ่านการบดให้มีขนาดเล็กลงประมาณ 55-80 กิโลกรัม ระยะเวลาการทดลอง 300 วัน จากการศึกษาพบว่า อัตราการเกิดก๊าซอยู่ในช่วง 0.29-18.1 มล./กก.-วัน โดยที่ปริมาณก๊าซที่ผลิตได้ 300 วันอยู่ในช่วง 0.08-5.40 ลิตร/กก. ซึ่งมีก๊าซมีเทนอยู่ในช่วงร้อยละ 5-50 การเพิ่มความชื้น อุณหภูมิ และการลดขนาดของมูลฝอยทำให้อัตราการเกิดก๊าซเพิ่มขึ้น และการเพิ่มความหนาแน่นในชั้นมูลฝอยจะลดอัตราการเกิดก๊าซ

ศศิธร แกลงการณ์ (2541) ได้ทำการศึกษาอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพและการย่อยสลายสารอินทรีย์ของมูลฝอยชุมชนในการฝังกลบแบบเดิมครั้งเดียว ในสภาพไร้ออกซิเจน โดยใช้ถังจำลองทรงกระบอกทำด้วยเหล็ก จำนวน 6 ใบ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.0 ม. สูง 3.0 ม. ใช้มูลฝอยชุมชนจากเขตเทศบาลนครเชียงใหม่ เก็บข้อมูลก๊าซและน้ำชะมูลฝอยตลอดระยะเวลาที่ทำการฝังกลบ เมื่อครบตามระยะเวลาที่ทำการฝังกลบ 4, 8 และ 13 เดือน นำมูลฝอยออกจากถังจำลองที่ละใบตามลำดับ เพื่อทำการเก็บข้อมูลลักษณะมูลฝอยหลังจากการฝังกลบ จากการศึกษาพบว่า ที่ระยะเวลาการฝังกลบ 4, 8 และ 13 เดือน มวลมูลฝอยแห้งมีค่าลดลงคือ 334.3, 299.2 และ 261.9 กิโลกรัมตามลำดับ สารอินทรีย์คาร์บอนมีค่าลดลงคือ 26.3, 24.1 และ 23.4% โดยน้ำหนักแห้งตามลำดับ และค่าความเป็นกรดระเหยมีค่าลดลงเช่นเดียวกันคือ 57.3, 55.1 และ 52.6% โดยน้ำหนักแห้งตามลำดับ อัตราการย่อยสลายของสารอินทรีย์ในมูลฝอยและปริมาณการเกิดก๊าซมีเทนเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่ทำการฝังกลบ คือมีก๊าซมีเทนร้อยละ 12, 38 และ 47 เมื่อทำการฝังกลบเป็นระยะเวลา 4, 8 และ 13 เดือน

วรารค์ลักษณ์ ช่อนกลิ่น (2541) ทำการศึกษาเรื่องปริมาณและลักษณะของก๊าซและน้ำชะมูลฝอยจากแบบจำลองที่มีการฝังกลบ 2 ชั้น ในสภาพไร้ออกซิเจน โดยใช้แบบจำลองทรงกระบอกทำด้วยเหล็กขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.9 ม. สูง 5.2 ม. ทำการฝังกลบมูลฝอยชั้นแรก เก็บข้อมูลก๊าซและน้ำชะมูลฝอยเป็นระยะเวลา 6 เดือน จึงทำการฝังกลบมูลฝอยชั้นที่ 2 และทำการเก็บข้อมูลก๊าซและลักษณะน้ำชะมูลฝอยเป็นเวลา 6 เดือนเช่นเดียวกับการฝังกลบชั้นแรก โดยใช้มูลฝอยจากเขตเทศบาลนครเชียงใหม่ ซึ่งทำการวิเคราะห์ลักษณะมูลฝอยก่อนทำการฝังกลบทั้ง 2 ชั้น มีการเติมน้ำฝนในวันที่มีฝนตก จากการศึกษาพบว่า ปริมาณน้ำชะมูลฝอยแปรผันตามปริมาณน้ำฝน ยกเว้นช่วงแรกของการฝังกลบครั้งที่ 2 ซึ่งน้ำชะมูลฝอยมีปริมาณสูงเนื่องจากความชื้นจากมูลฝอยที่นำมาทำการฝังกลบ ก๊าซที่เกิดขึ้นในแต่ละวันมีปริมาณสูงในช่วงแรกของการฝังกลบทั้ง 2

ครั้ง ปริมาณก๊าซลดลงค่อนข้างเร็วหลังการฝังกลบ และเพิ่มขึ้นเมื่อมีฝนตก ในช่วงทำการทดลอง ปริมาณก๊าซค่อนข้างคงที่ พบก๊าซมีเทนในวันที่ 10 หลังจากทำการฝังกลบชั้นแรก และมีค่าสูงสุด ร้อยละ 62.6 ในวันที่ 179 ของการทดลอง เมื่อทำการฝังกลบชั้นที่ 2 ไม่พบก๊าซมีเทนในวันแรกหลัง การฝังกลบ แต่พบในปริมาณที่สูงขึ้นอย่างรวดเร็วประมาณร้อยละ 40-50 ในวันที่ 198-271 ของ การทดลอง พีเอชอยู่ในช่วง 6.94-8.47 ความเป็นด่างมีแนวโน้มลดลงแต่ไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก ค่าความเป็นกรดลดลงอย่างเห็นได้ชัด เพิ่มขึ้นเมื่อทำการฝังกลบชั้นที่ 2 และเมื่อมีฝนตก ในขณะที่ ความเป็นกรดระเหย ซีไอดี บีไอดี ทีไอซี และสารแขวนลอยมีแนวโน้มที่เหมือนกันคือ ลดลง อย่างเร็วในช่วงแรก เพิ่มขึ้นเมื่อมีฝนตกและมีการฝังกลบชั้นที่ 2 หลังจากนั้นลดลงอย่างรวดเร็วจน เกือบคงที่