บทที่ 2
ทฤษฎี

คณะผู้วิจัยได้จัดทำการวิเคราะห์ปริมาณตะกั่วในปุ๋ยหมักจากขยะมูลฝอยที่ผ่านการฝังกลบอย่างถูกหลักสุขาภิบาล สำนักงานเทศบาลนครสงขลา จ.สงขลา มีข้อมูลและเอกสารที่เกี่ยวข้องดังนี้

2.1 ตะกั่ว

ตะกั่ว เป็นโลหะสีเทาเงิน หรือแกมน้ำเงินเกิดขึ้นตามธรรมชาติ ในเปลือกโลกตะกั่วในพื้นดิน อาจเกิดตามธรรมชาติหรืออาจเกิดจาก ภาวะมลพิษดินที่มีสภาพเป็นกรด จะมีสารตะกั่วน้อยกว่าดินที่เป็นด่าง เนื่องจากอินทรีย์สารในดินอาจทำปฏิกิริยา กับสารตะกั่ว ที่มีอยู่ สารตะกั่วที่อยู่ในรูปสารประกอบอนินทรีย์ เช่นไนเตรด คลอเรท และสารประกอบอินทรีย์ซึ่งใช้เป็นสารเติมในน้ำมันเชื้อเพลิง เช่น เบนซิน สารตะกั่วในบรรยากาศมาจากตะกั่วที่ใช้ผสม ในน้ำมันเบนซินเพื่อใช้ในการจุดระเบิดของน้ำมัน เมื่อน้ำมันเผาไหม้ในรถยนต์สารตะกั่วจะออกมากับไอเสีย สารประกอบตะกั่วในน้ำมัน สามารถแพร่กระจายไปได้ไกลหลายกิโลเมตร และอาจทำให้สิ่งแวดล้อมในบริเวณที่อยู่ห่างไกลความเจริญเกิดการปนเปื้อนได้ นอกจากนี้สารตะกั่วสามารถถูกชะล้างออกจากบรรยากาศได้โดยฝน สารตะกั่วเข้าสู่ร่างกายมนุษย์ได้ด้วยการบริโภคอาหาร น้ำ หรือหายใจ เอาอากาศที่มีสารตะกั่วเจือปนเข้าไป ในบางกรณีร่างกาย อาจดูดซึมตะกั่วอินทรีย์ที่ไม่ใช่สารตะกั่ว ในบรรยากาศเข้าทางผิวหนังได้สารตะกั่วมีพิษมาก โดยเฉพาะในเด็ก ซึ่งอาจมีผลทำให้สมองพิการส่วนในผู้ใหญ่อาจมีผลต่อระบบทางเดินอาหาร และระบบประสาท สำหรับอันตรายโดยทั่วไปนั้นทำให้เม็ดเลือดแดงอายุ สั้นลง ทำให้เป็นโรคโลหิตจาง ซึ่งเป็นอันตรายต่อเด็กในครรภ์ และเป็นอันตรายต่อระบบประสาท ไต ทางเดินอาหาร ตับ และหัวใจ (กองอนามัยสิ่งแวดล้อม สำนักอนามัย ,2535)

2.1.1 แหล่งกำเนิดของตะกั่ว

ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา (2540 : 237 – 238) และวงศ์พันธ์ ลิมปเสนีย์ และคณะ (2540 : 49) ได้อธิบายว่า ตะกั่วเป็นธาตุที่มีการกระจายทั่วไปในธรรมชาติ ที่เปลือกโลกมีตะกั่วโดยเฉลี่ยประมาณ 10 ถึง 15 ppm และพบตะกั่วรวมอยู่กับโลหะอื่น ๆ เช่น ทองแดง สังกะสี เงินและแคดเมียม ตะกั่วในธรรมชาติมีแหล่งกำเนิดมาจากหินประเภทต่าง ๆ เช่น หินอัคนี (Igneous) และหินแปร (Metamorphic) ซึ่งมีตะกั่ว 10-20 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม นอกจากนี้ยังพบตะกั่วในดิน พืช น้ำ อากาศ โดยในดินมีปริมาณตะกั่วตั้งแต่ 1.5 ถึง 189 ppm โดยเฉลี่ยสูงสุดไม่ควรเกิน 70 ppm และค่าเฉลี่ยของตะกั่วในดินชนิดต่าง ๆ มีค่าระหว่าง 22 ถึง 29 ppm สำหรับปริมาณตะกั่วในพืชปกติมีค่าระหว่าง 0.5 ถึง 3 ppm สำหรับปริมาณตะกั่วที่เป็นพิษต่อพืชนั้นมีค่าอยู่ระหว่าง 50 ถึง 500 ppmในน้ำประมาณ 13.1 ppmในอากาศประมาณ 36 ppb.

การผลิตสารตะกั่วจำแนกออกได้เป็นสองประเภทใหญ่ ๆคือ ตะกั่วปฐมภูมิ (Primary lead) และตะกั่วทุติยภูมิ (secondary lead) ตะกั่วปฐมภูมินั้นเป็นการผลิตตะกั่วจากการถลุงแร่ ซึ่งส่วนใหญ่ เป็นกาลีนา

(PbS) แล้วหลอมให้บริสุทธิ์ ส่วนตะกั่วทุติยภูมิ เป็นการหลอมเศษตะกั่ว ส่วนใหญ่ได้แก่แบตเตอรี่ แล้วนำกลับมาใช้อีก ในการผลิตทั้งสองประเภทนั้นทำให้เกิดปัญหาการปนเปื้อนสารตะกั่วในสภาวะแวดล้อม

2.1.2 การนำมาใช้ประโยชน์

ตะกั่วถูกนำมาใช้ประโยชน์ใน 2 รูปแบบ คือ ในรูปของโลหะ โดยใช้ทำขั้วไฟฟ้าในแบตเตอรี่ หุ้มสายเคเบิล สายไฟฟ้า สายโทรศัพท์ ชุบเคลือบโลหะอื่นเพื่อป้องกันสนิม เชื่อมบัดกรีฉนวนกันกัมมันตรังสี และในรูปสารประกอบทางเคมี เช่น เป็นสารผสมเพื่อเพิ่มค่าออกเทนใน น้ำมันเบนซิน ทำเม็ดสี ทำพลาสติก เป็นต้น นอกจากนี้ตะกั่วยังถูกนามาใช้ในปุ๋ยและสารเคมีที่ใช้ในการเพิ่มผลผลิตและปราบศัตรูพืชและนำมาเป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมทั่ว ๆไป เช่นทำโลหะผสมทองเหลือง ทองบรอนซ์ ฟิวส์ ลูกปืน หมึกพิมพ์ เครื่องเคลือบ สีทาบ้าน เป็นต้น (พรพิมล ห่อสุวรรณชัย 2542 : 1 1)

ตัวอย่างของสารตะกั่วที่พบบ่อย ๆ ได้แก่

- ตะกั่วโมโนออกไซด์ (Lead monooxide, PbO) หรือ Litharge ใช้เป็นสารสีเหลืองผสมสีทาบ้าน
- ตะกั่วไดออกไซด์ (Lead dioxide, PbO_2) ใช้ทำเป็นขั้วอีเลคโตรดของแบตเตอรี่รถยนต์และเครื่องจักร
- ตะกั่วคาร์บอเนต (Lead Cabonate, $PbCP_3$) ผสมกับ Lead hydoxide,$Pb(OH)_2$ รวมกันเรียกว่า “white lead ; หรือตะกั่วขาว ผสมในฝุ่นสีขาว สีน้ำมัน หมึกพิมพ์ สีพลาสติก ฯลฯ
- ตะกั่วออกไซด์ (Lead Oxide, Pb_3O_4) หรือ “Red lead” หรือตะกั่วแดงใช้เป็นสีทำโลหะเพื่อกันสนิม หรือที่ชาวบ้านเรียกว่าสีสำหรับโป่รถยนต์
- ตะกั่วโครเมต (Lead chromate, $Pb\ CrO_4$) หรือ “Chrome yellow” ใช้ทำสีเหลืองสำหรับผสมในสีน้ำมัน สีพิมพ์ ผงฝุ่นสีเหลือง หมึกพิมพ์ ฯลฯ
- ตะกั่วอาร์เซเนต (Lead arsenate, $Pb\ (AsO_4)_2$) ใช้เป็นยาฆ่าแมลงและปราบศัตรูพืช
- ตะกั่วซิลิเกต (Lead silicate, $PbSiO_3$) ใช้ผสมในกระเบื้อง เครื่องเคลือบหรือเซรามิกเพื่อให้เกิดความเป็นเงางามและมีผิวเรียบตะกั่วเตตระเอธิล และตะกั่วเตตระเมธิล เป็นการติดเครื่องยนต์เวลาทำงานทำให้ค่าออกเทนของน้ำมันสูงขึ้น (ไมตรี สุทธจิตต์, 2531 : 76 – 7)

2.1.3 การแพร่กระจายสู่สิ่งแวดล้อม

ตะกั่วสามารถแพร่กระจายสู่สิ่งแวดล้อมได้จากสภาพเหตุการณ์ธรรมชาติโดยการพังทลายของเปลือกโลก และการเกิดภูเขาไฟและจากการกระทำของมนุษย์ เช่น จากการถลุงแร่ จากควัน น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม และการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงรถยนต์ทำให้เกิดไอที่มีสารประกอบตะกั่วสู่บรรยากาศแล้วเกิดการตกค้างในดินและในน้ำ การทิ้งกากตะกอนของน้ำเสีย มูลสัตว์ การใช้ปุ๋ย สารกำจัดศัตรูพืช แบตเตอรีที่เสื่อมสภาพและขยะมูลฝอยลงสู่ดินทำให้เกิดการแพร่กระจายของตะกั่วลงสู่ดินและแหล่งน้ำ

นอกจากนี้การใช้ตะกั่วในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น การทำเหมืองแร่และการถลุงแร่ การทำแบตเตอรี่ การทำให้เกิดฝุ่น ควัน และน้ำเสียที่มีตะกั่วปะปนอยู่ สิ่งเหล่านี้เมื่อปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมย่อมทำให้เกิดการปนเปื้อน และสะสมอยู่ในสิ่งแวดล้อมได้ โดยเฉพาะในบริเวณที่มีการทำการเกษตรในเมืองและชุมชนที่การจราจรหนาแน่นและบริเวณใกล้เคียงโรงงานอุตสาหกรรม (ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา, 2540 : 238)

2.1.4 การกระจายตัวและการสะสมของตะกั่ว

การกระจายตัวของตะกั่วในร่างกายมีความสำคัญต่อความเป็นพิษของตะกั่วมาก หลังจากที่ถูกดูดซึมจากลำไส้แล้วตะกั่วจะถูกส่งผ่านทางเส้นเลือดดำ เข้าสู่ตับถ้าพากเข้าในปอดตะกั่วจะเข้าสู่กระแสเลือดโดยตรงได้เลย กระแสไหลเวียนของเลือดจะนำพาตะกั่ววนเวียนไปมาทั่วร่างกาย ใช้เวลาประมาณ 14 วินาที ตะกั่วจะถูกเนื้อเยื่อต่าง ๆ เก็บไว้ ซึ่งตับและไตเป็นอวัยวะที่เก็บตะกั่วไว้มากที่สุด ต่อจากนั้นระดับของตะกั่วในเนื้อเยื่อชนิดอ่อนนิ่ม (Soft tissu) ทั้งหลาย เช่น ตับ ไต และเนื้อเยื่อประสาท เป็นต้น จะค่อย ๆ ลดลง แล้วเคลื่อนที่ตามกระแสเลือดไปเกาะสะสมที่กระดูก และปริมาณตะกั่วในกระดูกนี้จะเพิ่มตามอายุขัยของคน แต่ระดับตะกั่วในเนื้อเยื่ออ่อนนิ่มนั้นคงที่เสมอ

2.1.5 การขับออกจากร่างกาย

ตะกั่วประมาณ 76% จะถูกขับออกทางปัสสาวะ อีก 16% ถูกขับออกทางอุจจาระ และ 8% ถูกขับออกทางผิวหนัง ทางเหงื่อและเส้นขน หรือเส้นผม ในวันหนึ่ง ๆ ร่างกายสามารถขับตะกั่วออกได้เต็มที่ประมาณ 2 มิลลิกรัมเท่านั้น (ไมตรี สุทธจิตต์ , 2531 : 80)

2.1.6 ผลของตะกั่วต่อสภาพแวดล้อม

ละอองผลตะกั่วจากไอเสียรถยนต์ ทำให้ดินบริเวณสองฟากถนนมีปริมาณตะกั่วเพิ่มขึ้นในดินข้างทางที่มีการจราจรแออัดอาจพบตะกั่วในดินบนในปริมาณที่สูงมาก หญ้าที่ขึ้นในบริเวณดังกล่าวอาจมีตะกั่วสะสมได้มากถึงจำนวน 100 mg/kg ในประเทศสวีเดน ดินในระยะ 20 เมตร สองข้างทางหลวงสายยุโรปหมายเลข E 18 มีปริมาณตะกั่วบริเวณผิวดินมากกว่าที่ระยะ 200 เมตร และปริมาณตะกั่วในรากฝอยของต้นนอร์เวย์พรูซ (Norway spruce) ที่ขึ้นบนดินในระยะ 20 เมตร ก็มีมากกว่าที่ขึ้นบนดินที่ระยะ 200 เมตร (Majdi and Person, 1989)

อย่างไรก็ตามปริมาณตะกั่วที่ปนเปื้อนต่อดินโดยวิธีนี้พบว่ามีรายงานจำนวนน้อยมากที่ระบุว่าพืชดูดกลืนตะกั่วถึงระดับเป็นพิษจนผลผลิตลดลง พืชจะดูดกลืนตะกั่วได้มากน้อยเพียงใดจากดินขึ้นอยู่กับสภาพละลายได้ของตะกั่วในดินที่มีค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนต่ำมีปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินน้อยและมีสภาพเป็นกรดมาก เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ตะกั่วละลายได้มาก

ละอองตะกั่วในอากาศเป็นแหล่งใหญ่ของสารมลพิษชนิดนี้ ปริมาณตะกั่วบนใบพืชที่จะมาจากผงละอองตะกั่วเททระเอทิลเลด (tetra – ethyl lead) จากไอเสียรถยนต์ที่ฉาบบนผิวใบอาจถูกดูดซึม โดยเซลล์ของใบ และเคลื่อนย้ายเข้าสู่เนื้อเยื่อของพืชได้ การดูดกลืนตะกั่วของพืชโดยวิธีนี้มีปริมาณไม่มากนักเพราะ

ตะกั่วส่วนนี้จะซึมเข้าสู่พืช ผ่านชั้น Cuticle ของใบได้ยาก และจะถูกชะลงดินได้เมื่อฝนตก รากพืชสามารถดูดกินตะกั่วเหล่านี้ได้แหล่งที่มีตะกั่วมากที่สำคัญอีกแหล่งคือเหมืองหรือโรงถลุงที่ทำให้ดินมีตะกั่วได้ในปริมาณสูง และพืชดูดดินได้มากจนอาจเป็นพิษต่อคนและสัตว์

ตะกั่วเข้าสู่พืช 2 ทาง คือทางรากและทางใบ เมื่อเข้าสู่พืชแล้วจะสะสมอยู่ที่เยื่อหุ้มเซลล์ (Cell membrane) ไมโตคอนเดรีย (mitochondria) และคลอโรพลาสซึม พิษของตะกั่วในพืชเกิดขึ้นโดยการยับยั้งการเปลี่ยนแปลงของพลาสติก ยับยั้งการออกซิไดส์ซัคซิเนต ในกระบวนการหายใจที่ไมโตคอนเดรีย (Keeppe and Miller, 1970) มีผลต่อกระบวนการสังเคราะห์แสง ยับยั้งการเจริญของรากและใบ และยืดเวลาการงอกจากเมล็ด

ตะกั่วในดินบนแทบทั้งหมดอยู่ในรูปที่พืชดูดกลืนไม่ได้ ตะกั่วในปริมาณเพียง 0.003 ถึง 0.005% ของปริมาณตะกั่วทั้งหมดในดินเท่านั้นที่พืชดูดกลืนได้ นอกนั้นการย้ายตำแหน่ง (translocation) ของตะกั่วจากรากไปยังส่วนบนของพืชก็เกิดขึ้นได้น้อยมาก คือ ย้ายตำแหน่งได้เพียงประมาณ 3 % เท่านั้น

2.2 การจัดการมูลฝอยแบบฝังกลบอย่างถูกหลักสุขาภิบาล

ระบบการจัดการมูลฝอยแบบฝังกลบอย่างถูกหลักสุขาภิบาล คือ วิธีการทางวิศวกรรมที่ใช้กำจัด มูลฝอยโดยไม่ก่อให้เกิดเหตุรำคาญ และเป็นอันตรายต่อสุขภาพของประชาชน รวมทั้งไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสภาพแวดล้อม ด้วยวิธีการถ่ายเทมูลฝอยลงในพื้นที่ที่จัดเตรียมไว้ แล้วเกลี่ยมูลฝอยกระจายเป็นชั้นบางๆ บดอัดด้วยเครื่องจักรกลให้เหลือปริมาตรที่น้อยที่สุด จากนั้นกลบทับหน้าด้วยดินหรือวัสดุอื่นที่เหมาะสมเมื่อสิ้นสุดการทำงานในแต่ละวัน

กิจกรรมในการจัดการมูลฝอยจะเริ่มตั้งแต่การทิ้งมูลฝอยจนกระทั่งถึงการกำจัดมูลฝอยในขั้นสุดท้าย อาจจำแนกออกได้เป็น 6 ส่วน สำหรับการจัดการมูลฝอยสำหรับชุมชนทั่วไปจะประกอบด้วย 4 ส่วน คือ การทิ้งมูลฝอย การจัดการมูลฝอย ณ แหล่งกำเนิด การเก็บรวบรวมและขนส่งและการกำจัดขั้นสุดท้าย ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้

1. การทิ้งมูลฝอย เป็นกิจกรรมที่เกิดขึ้นเมื่อบุคคลใดบุคคลหนึ่งเห็นว่าไม่สามารถนำสิ่งของนั้นมาใช้เป็นประโยชน์ต่อไปได้อีกในปัจจุบันถึงแม้จะมีพระราชบัญญัติรักษาความสะอาดและความเป็นระเบียบเรียบร้อยของบ้านเมือง พ.ศ.2535 ออกมาบังคับใช้ เพื่อห้ามมิให้ทิ้งสิ่งปฏิกูลมูลฝอยลงบนที่สาธารณะ แต่ก็จัดทำได้ในบางพื้นที่เท่านั้นเพราะยังไม่มีการควบคุมการทิ้งมูลฝอยที่เหมาะสม ผู้รับผิดชอบการจัดการมูลฝอยจะต้องประชาสัมพันธ์ให้ประชาชนได้เห็นประโยชน์ของการนำวัสดุที่ใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการมูลฝอย การแนะนำให้ชุมชนทำการแยกประเภทของวัสดุที่จะนำไปทิ้งตั้งแต่ภายในบ้าน เช่น การแยกหนังสือพิมพ์ กล่องกระดาษแข็ง พลาสติก กระป๋องต่าง ๆ ขวดแก้ว และของเสียอันตราย เช่น หลอดนีออน ถ่านไฟฉาย ภาชนะใส่สารเคมีต่างๆ ออกจากกัน ซึ่งในอนาคตแต่ละเทศบาลอาจออกกฎควบคุมการทิ้งมูลฝอยที่เคร่งครัดขึ้นเนื่องจากจะมีผลต่อปริมาณมูลฝอยที่จะต้องกำจัด ซึ่งจะหมายถึงการประหยัดค่าใช้จ่ายในการดำเนินการจัดการมูลฝอยซึ่งนับวันจะมีจำนวนมากขึ้น

2. การจัดการ ณ แหล่งกำเนิด หมายถึง การจัดเตรียมภาชนะรองรับมูลฝอยให้เพียงพอต่อปริมาณมูลฝอยที่เกิดขึ้นของชุมชนแต่ละแห่ง เป็นเรื่องจำเป็นอย่างยิ่ง มูลฝอยที่เกิดขึ้นจะต้องถูกเก็บทิ้งลงภายในภาชนะที่มีปริมาตรเพียงพอก่อนที่จะมีการขนย้ายหรือกำจัดไปในเวลาที่เหมาะสมและก่อนที่จะเกิดการเน่าเหม็น ภาชนะที่ใช้ควรจะมีขนาดและรูปแบบที่เหมาะสมและสะดวกต่อการดำเนินการเก็บขน

3. การเก็บรวบรวมและขนส่ง คือการขนถ่ายมูลฝอยจากถังไปสู่รถเก็บขนมูลฝอยจนไปถึงจุดหมายปลายทาง ซึ่งจุดหมายปลายทางนี้อาจจะเป็นสถานีขนถ่ายมูลฝอย โรงงานแยกมูลฝอยหรือพื้นที่ฝังกลบมูลฝอยก็ได้ การจัดระบบการเก็บรวบรวมมูลฝอยสำหรับเมืองที่มีขนาดใหญ่อาจมีความยุ่งยากและซับซ้อนมาก ได้แก่ การพิจารณาจัดทำและจัดตั้งมูลฝอย การจัดเส้นทางเดินรถ การจัดตั้งสถานีขนถ่ายมูลฝอย เป็นต้น

4. การขนถ่ายและขนส่ง ขั้นตอนนี้ประกอบด้วยการขนถ่ายมูลฝอยออกจากรถ มูลฝอยขนาดเล็กสู่รถขนส่งขนาดใหญ่และการขนส่งมูลฝอยด้วยรถขนส่งขนาดใหญ่ไปยังจุดหมายปลายทาง สำหรับเมืองที่มีประชาชนอยู่อย่างหนาแน่นนั้นจะมีสถานที่กำจัดมูลฝอยที่อยู่ห่างไกลจากชุมชนมากทำให้ในเรื่องการพิจารณาการจัดการขนส่งมีความสำคัญ เนื่องจากรถขนมูลฝอยขนาดเล็กมีความเหมาะสมต่อการวิ่งรวบรวมเก็บขนมูลฝอยภายในเมืองที่มีถนนและตรอกซอยขนาดเล็กเท่านั้นไม่เหมาะที่จะวิ่งขนส่งมูลฝอยเป็นระยะทางไกลเพราะจะทำให้มีค่าใช้จ่ายสูง เพราะจะต้องใช้รถเก็บขนมูลฝอยทุกคันวิ่งไปยังสถานที่กำจัด ทำให้สิ้นเปลืองเวลาค่าใช้จ่ายในเรื่องน้ำมันและอื่น ๆ ดังนั้นในการขนส่งระยะทางไกลนั้นควรใช้รถบรรทุกขนาดใหญ่ซึ่งจะเสียค่าใช้จ่ายต่ำกว่า ในกรณีเช่นนี้อาจจำเป็นที่จะต้องจัดสร้างสถานีขนถ่ายมูลฝอยขึ้น ซึ่งระยะทางขนส่งมูลฝอยจากเทศบาลไปยังสถานที่กำจัดมูลฝอยเกินกว่า 15 กิโลเมตร เทศบาลควรพิจารณาสถานที่ก่อสร้างที่ขนถ่ายมูลฝอย

การแปลงรูปและการนำกลับมาใช้ใหม่ เป็นขั้นตอนที่จะต้องใช้เครื่องมือและอุปกรณ์จำนวนมากเพื่อทำการแยกวัตถุที่ใช้ประโยชน์ได้กลับมาใช้ใหม่ เช่น กระดาษ แก้ว โลหะ พลาสติก หรือแปลงรูปมูลฝอยให้ได้สิ่งที่เป็นประโยชน์ เช่น ปุ๋ย หรือพลังงานความร้อน การแยกวัสดุที่มีประโยชน์ออกจากมูลฝอยหรือที่โรงงานแปลงรูปมูลฝอยวิธีการที่นิยมใช้ คือ การย่อยขนาดของมูลฝอยให้เล็กลงก่อนแล้วแยกส่วนที่หนักซึ่งประกอบด้วย เหล็ก อลูมิเนียม แก้ว และส่วนเบาซึ่งประกอบด้วย สารอินทรีย์ กระดาษ พลาสติก เป็นต้น

5. การกำจัดขั้นสุดท้าย เป็นองค์ประกอบสุดท้ายของการจัดการมูลฝอย กำจัดได้ทั้งทูลฝอยกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียจากชุมชนและกากขี้เถ้าจากการเผามูลฝอย วิธีการกำจัดขั้นสุดท้ายที่จัดทำได้ง่าย ประหยัดคือ การฝังกลบที่จะต้องคำนึงถึงผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมในบริเวณนั้นด้วยการฝังกลบแบบถูกหลักสุขาภิบาลจะต้องทำการบดอัดมูลฝอยให้ยุบตัวและมีปริมาตรเล็กลง เพื่อประหยัดพื้นที่ฝังกลบและจะต้องกลบทับมูลฝอยที่อัดแล้วด้วยดินทุกวัน เพื่อป้องกันกลิ่นและพาหะนำโรค

มูลฝอยในเมืองหรือชุมชนหนาแน่นส่วนใหญ่จะเป็นสารอินทรีย์ เมื่อถูกฝังอยู่ใต้ดินจะเกิดการถูกย่อยสลายในสภาพไร้อากาศ และเกิดก๊าซมีเทนที่เป็นก๊าซที่ติดไฟ ดังนั้นในการฝังกลบจึงต้องมีระบบระบายก๊าซออกจากพื้นที่เพื่อไม่ให้เกิดอันตราย นอกจากนี้ ในการฝังกลบจะเกิดน้ำชะมูลฝอยที่ลงไปปนเปื้อนน้ำชะ

มูลฝอยจะถูกป้องกันไม่ให้ซึมลงสู่ชั้นน้ำใต้ดินด้วยชั้นกันการซึมน้ำที่ปูไว้ที่ก้นบ่อฝังกลบ และน้ำชะมูลฝอยจะถูกนำออกจากบ่อฝังกลบ โดยผ่านท่อรวบรวมน้ำชะมูลฝอยไปสู่บ่อสูบน้ำเสียเพื่อนำมาบำบัด ข้างนอก ณ บ่อบำบัดน้ำเสีย

การกำจัดของเสียอันตราย ของเสียอันตรายประเภทสารเคมี เช่น ถ่านไฟฉาย แบตเตอรี่รถยนต์ รถมอเตอร์ไซด์ หลอดไฟฟ้าฟลูออเรสเซนต์ กระป๋องยาฆ่าแมลง แม้จะมีอยู่ในเขตชุมชนในปริมาณน้อยเมื่อเทียบกับมูลฝอยชุมชนทั่วไป แต่ก็เป็นของเสียอันตรายที่ก่อให้เกิดอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อมในระดับที่มีความรุนแรงมากกว่าหากไม่ได้รับการจัดการที่ถูกต้อง

2.3 การปฏิบัติงานฝังกลบมูลฝอย

การปฏิบัติงานฝังกลบมูลฝอยจะต้องบริหารโดยหัวหน้างานกำจัดมูลฝอยซึ่งจะต้องเป็นผู้วางแผนการขนมูลฝอยลงพื้นที่ฝังกลบ และกำหนดพื้นที่ฝังกลบในแต่ละวัน หัวหน้างานกำจัดมูลฝอยจะต้องชี้แจงลักษณะของงานที่จะต้องทำและหน้าที่ความรับผิดชอบของแต่ละบุคคล

1. การขนมูลฝอยเข้าสู่พื้นที่ดำเนินการฝังกลบ เมื่อรถขนมูลฝอยรวบรวมและเก็บขนมูลฝอยจากถังมูลฝอยในที่สาธารณะ โรงเรียน ฯลฯ เสร็จสิ้นในแต่ละเที่ยวแล้ว จะนำมูลฝอยเข้ามายังพื้นที่ฝังกลบจะต้องมีการบันทึกน้ำหนักมูลฝอยที่เข้าสู่พื้นที่โดยมีการชั่งน้ำหนักที่อาคารเครื่องชั่งทุกครั้ง และมีพนักงานจดบันทึกน้ำหนักรถพร้อมมูลฝอยที่ขนมาแล้วนำไปหักจากน้ำหนักรถขนมูลฝอยเปล่าที่ชั่งน้ำหนักในเที่ยวขาออกเพื่อทำให้ทราบปริมาณมูลฝอยที่เข้าสู่พื้นที่ฝังกลบแต่ละเที่ยวว่ามีจำนวนเท่าไร

2. การสร้างทางขึ้นลง ภายในพื้นที่ฝังกลบมูลฝอยซึ่งมีคันดินล้อมรอบจะต้องกำหนดตำแหน่งทางขึ้นลงของรถขนมูลฝอยและรถแทรกเตอร์ และสร้างทางขึ้นลงบ่อฝังกลบโดยอาจใช้ดินทำเป็นทางขึ้นลงเพื่อให้รถขนมูลฝอย รถแทรกเตอร์ ลงไปปฏิบัติงานได้สะดวก และยังเป็นการป้องกันการฉีกขาดของแผ่นพลาสติก HDPE ที่ปูไว้อันเนื่องมาจากการทับของล้อเหล็กตีนตะขาบด้วย

3. การกำหนดบริเวณพื้นที่ฝังกลบ รถขนมูลฝอยที่ผ่านการช่างน้ำหนักแล้วจะนำมูลฝอยลงสู่พื้นที่ฝังกลบ และเทกองไว้ใกล้บริเวณพื้นที่ที่กำหนดให้ฝังกลบในแต่ละวัน เมื่อรถขนมูลฝอยเทกองเสร็จสิ้นแล้วรถขนมูลฝอยจะกลับออกไปเพื่อดำเนินการเก็บขนมูลฝอยเที่ยวต่อไป ส่วนในพื้นที่ฝังกลบรถแทรกเตอร์จะเริ่มการเกลี่ยและบดอัดมูลฝอยลงบนพื้นที่ที่กำหนดและมีขนาดพื้นที่ตามปริมาณมูลฝอยที่เก็บขนได้ในแต่ละวัน

4. การปฏิบัติการฝังกลบบนพื้นที่ฝังกลบของรถแทรกเตอร์ การปฏิบัติงานอาจแบ่งออกเป็นขั้นตอนย่อยได้ 7 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 เมื่อรถขนมูลฝอยเทกองมูลฝอยลงสู่พื้นที่ฝังกลบแล้ว รถแทรกเตอร์จะทำการเกลี่ยมูลฝอยให้เป็นชั้นบาง ๆ ประมาณ 50 เซนติเมตร ให้ทั่วพื้นที่ที่ฝังกลบในแต่ละวัน แล้วทำการย่ำให้มูลฝอยที่มีขนาดใหญ่ เช่น ลังไม้ พลาสติก (ถ้ามี) ให้แตกหักยุบตัวลง แล้วทำการบดอัดโดยใช้รถแทรกเตอร์วิ่งทับมูลฝอยไปมาอย่างน้อย 5 เที่ยวจนทั่ว มูลฝอยจะมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นตามจำนวนเที่ยวที่วิ่งทับบดอัดไป

มา การบดอัดประมาณ 5 เที่ยวอาจทำให้ได้ความหนาแน่นมูลฝอยประมาณ 500 กิโลเมตรต่อลูกบาศก์เมตร (จากความหนาแน่นของมูลฝอยที่ขนส่งจากรถขนมูลฝอย ประมาณ 200 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

ขั้นตอนที่ 2 นำมูลฝอยที่เทกองไว้แต่ยังไม่ได้เกลี่ยเป็นชั้นบาง ๆ เหนือชั้นมูลฝอยที่บดอัดไปแล้วให้ทั่วพื้นที่และทำการบดอัดในลักษณะเดียวกัน จะได้มูลฝอยบดอัดชั้นที่ 2 จากนั้นทำการบดอัดในลักษณะเดียวกันทีละชั้นตามขั้นตอนเดิม จนได้ชั้นมูลฝอยบดอัดที่มีความสูงในแนวดิ่งประมาณ 2-3 เมตร (ตามที่กำหนด) และควรแต่งผิวหน้าบดอัดให้มีความลาดเอียงทำมุม 30 องศา ซึ่งปริมาณมูลฝอยที่บดอัดลงพื้นที่ที่กำหนดและบดอัดได้ตามความสูงที่ต้องการในแต่ละวันจะเท่ากับปริมาณมูลฝอยที่เก็บขนได้ต่อวัน มูลฝอยที่บดอัดได้ในหนึ่งวันจะเรียกว่า 1 เซล (Cell)

ขั้นตอนที่ 3 เมื่อทำการเกลี่ยและทำการบดอัดมูลฝอยกองสุดท้ายเสร็จสิ้นในแต่ละวันแล้ว ให้ทำการกลบทับมูลฝอยด้วยดินที่จัดเตรียมไว้ โดยใช้ดินกลบทับมูลฝอยที่บดอัดแล้วทั้งด้านบนและด้านข้าง แล้วบดอัดให้แน่นอีกครั้ง หนาประมาณ 15 เซนติเมตร เพื่อป้องกันกลิ่นและพาหะของโรค ดินที่จัดเตรียมไว้จะต้องขนย้ายดินที่ใช้ในการกลบทับมากองไว้ในบริเวณใกล้พื้นที่ทำการฝังกลบหรือในตำแหน่งที่รถแทรกเตอร์สามารถนำไปใช้ได้อย่างสะดวก

ขั้นตอนที่ 4 ในวัดถัดมาให้ทำการเกลี่ยและบดอัดมูลฝอยในลักษณะเดียวกันตามขั้นตอนที่ 1-3 ขนาดพื้นที่กำหนดต่อจากเซลล์ที่ฝังกลบไปแล้ว

ขั้นตอนที่ 5 ให้ดำเนินการฝังกลบตามขั้นตอนที่ 1-4 ทำเช่นเดียวกันนี้ทุกวัน จนกระทั่งมูลฝอยบดอัดเต็มบ่อ ซึ่งเป็นการเสร็จสิ้นการฝังกลบชั้นที่หนึ่ง ซึ่งเรียกการฝังกลบในแต่ละชั้นว่า Lift จากนั้นให้ทำการกลบทับชั้นมูลฝอยบดอัดด้วยดินหนา 30 เมตร สำหรับโครงการกำจัดมูลฝอยแบบฝังกลบตามหลักสุขาภิบาลที่มีการฝังกลบชั้นที่ 2 หรือ 3 สูงขึ้นไป ผู้ควบคุมงานจะต้องดำเนินการก่อสร้างคันดินสำหรับการฝังกลบในชั้นที่สองล่วงหน้า ก่อนที่การฝังกลบในชั้นที่ 1 จะเต็ม และควรก่อสร้างตามแบบที่ได้กำหนดไว้ และควรก่อสร้างรางระบายน้ำผิวดินควบคู่กันไปด้วย เพื่อใช้ในการระบายน้ำที่ไหลจากผิวถนนชั้นบนลงมาตามคันดิน หรือชั้นมูลฝอยที่กลบทับหน้าดินด้วยดินแล้ว เพื่อระบายออกสู่พื้นที่ข้างเคียง โดยตรง และควรปลูกหญ้าที่ทางลาดด้านนอกของดินเพื่อเป็นการลดการกัดกร่อนดินของ

5. การต่อท่อระบายก๊าซ หลังจากทำการฝังกลบมูลฝอยเสร็จสิ้นในแต่ละชั้น จะต้องทำการต่อท่อระบายก๊าซในชั้นต่อไป โดยก่อสร้างขึ้นมาในแนวดิ่งในลักษณะเดียวกันกับการก่อสร้างในชั้นที่ 1 (ถ้ามี)

6. การปิดทับชั้นฝังกลบชั้นสุดท้าย เมื่อดำเนินการฝังกลบมูลฝอยขั้นที่ 1-7 จนถึงชั้นฝังกลบสุดท้าย ให้ทำการกลบทับด้วยชั้นดินเหนียวที่มีอัตราการซึมน้ำต่ำหนา 45 เซนติเมตร และกลบทับด้วยชั้นดินกลบทับหนา 45 เซนติเมตร หรืออาจใช้แผ่นพลาสติก HDPE แทนการใช้ชั้นดินเหนียวแล้วกลบทับด้วยชั้นดินหนา 60 เซนติเมตร กลบให้ชั้นดินมีความลาดชันประมาณ 5% เพื่อเป็นการระบายน้ำออกจากพื้นที่ ส่วนชั้นดินเหนียวหรือพลาสติกใช้ป้องกันน้ำฝนที่ตกลงบนพื้นที่ฝังกลบไม่ให้ซึมลงสู่มูลฝอยด้านล่างลงไปแล้วกลายเป็นน้ำชะมูลฝอย

7. การต่อท่อระบายก๊าซหลังจากการฝังกลบแล้วเสร็จ การดำเนินการในหัวข้อที่ 8 เป็นการปิดพื้นที่ฝังกลบ ในช่วงของการกลบทับด้วยดินทุกขั้นตอนจะต้องทำการเชื่อมต่อท่อระบายก๊าซ ให้ปลายท่อออกไปอยู่เหนือชั้นดินกลบทับชั้นสุดท้าย เพื่อระบายก๊าซที่เกิดขึ้นในหลุมฝังกลบออกสู่บรรยากาศ บนชั้นดินกลบทับสุดท้ายให้ทำการปลูกต้นไม้ และพิจารณาเรื่องการนำพื้นที่มาใช้ประโยชน์ต่อไป

2.4 วิธีการหมักที่ใช้ในปัจจุบัน

วุทธินันท์ ศิริพงศ์ (2540) ได้กล่าวถึงวิธีการหมักไว้ดังนี้

1. Windrow

เป็นวิธีการที่ใช้มาเป็นเวลานานไม่ยุ่งยากซับซ้อน ซึ่งทำได้โดยการนำขยะมากองไว้ และพลิกในเวลาที่เหมาะสมเพื่อเติมอากาศให้ปฏิกิริยาเป็นแบบแอโรบิคอย่างสมบูรณ์ ขนาดของกองขยะขึ้นอยู่กับชนิดของอุปกรณ์ที่ใช้ในกาพลิกกองขยะ เช่น อาจทำกองขยะให้ในกรณีใช้เครื่องจักรขนาดใหญ่ในการเติมอากาศ แต่ในกรณีที่ใช้แรงคนก็ต้องทำขนาดเล็ก เพื่อเติมอากาศโดยการพลิกให้ทั่วถึงเนื่องจากการพลิกกองปุ๋ยหมักต้องมีการย้ายวัสดุทำให้วิธีนี้ต้องใช้พื้นที่มาก และกองปุ๋ยหมักต้องไม่สูงเกินไป เพราะวัสดุที่อยู่ลึกมาก ๆ อาจเกิดสภาพแอนโรบิคได้ และยังเป็นการไม่สะดวกต่อการพลิกกองปุ๋ยหมัก

การทำปุ๋ยหมักแบบนี้อาจทำได้หลายอย่าง คือ ขึ้นอยู่กับการใช้วัสดุที่จะนำมาทำการหมัก ซึ่งอาจเป็นขยะจากพืชไร่ จากขยะครัวเรือนหรืออาจจะเป็นวัชพืชต่าง ๆ ทั้งบนบกและในน้ำ และบางที่ก็มีการเติมสารตัวเร่งในการหมักด้วย เช่น มูลสัตว์, ปุ๋ยเคมี หรือสารเคมีอื่นๆ การทำปุ๋ยหมักโดยทั่วไปที่นิยมทำกัน

แบบใช้เศษพืชเพียงอย่างเดียว : นำเศษพืชมากองบนดินธรรมดาหรือพื้นซีเมนต์ ก็ได้ โดยกองเศษพืชให้เป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาดความกว้างประมาณ 2-3 เมตร ความยาวของกองนั้น แล้วแต่ความต้องการ หลังจากเอาเศษพืชมากองแล้ว ขึ้นย้ำให้แน่นขณะเดียวกันก็รดน้ำให้ชุ่มเพื่อให้น้ำได้แทรกซึมไปทั่วทุกส่วนของเศษพืช เมื่อทำการกองปุ๋ยจนได้ความสูงประมาณ 1 เมตร แล้วใช้ดินทับข้างบน ให้หนาประมาณ 1 นิ้ว

แบบผสมสารตัวเร่งประเภทมูลสัตว์ : นำเศษพืชมากองเป็นชั้น ๆ โดยใช้อัตราส่วนระหว่างพืชและมูลสัตว์ในอัตรา 100 ต่อ 10 โดยน้ำหนัก ขนาดกองกว้างประมาณ 2-3 เมตร ความยาว ประมาณ 3-7 เมตร ย่ำให้แน่นพร้อมรดน้ำให้ชุ่ม เมื่อกองเศษพืชสูงประมาณ 300 เซนติเมตร จากนั้นให้นำมูลสัตว์ที่เตรียมไว้มาโรยข้างบนกองให้ทั่วหนาประมาณ 5-10 เซนติเมตร แล้วจึงนำเศษพืชมากองทับทำเป็นชั้นต่อ ๆ ไปเช่นเดียวกับการกองชั้นแรก จนได้กองปุ๋ยหนาประมาณ 1 เมตร ชั้นบนสุดใส่หน้าดิน หรือดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ทับลงไปให้หนาประมาณ 2-3 เซนติเมตร เพื่อป้องกันมิให้ความชื้นระเหยออกจากกองปุ๋ยเร็วเกินไป

แบบผสมสารตัวเร่งประเภทปุ๋ยเคมี : อัตราส่วนผสมการทำปุ๋ยหมักแบบนี้ จะใช้เศษพืชมูลสัตว์และปุ๋ยเคมีในอัตราสวน 100:10:1 โดยน้ำหนัก กองเศษพืชสูงประมาณ 1.5 เมตร หรือมีขนาดเท่ากับกองฟางขนาดย่อม ๆ เกลี่ยให้เศษพืชเป็นกองคล้ายแปลงผักให้มีขนาดกว้าง 2-3 เมตร ยาวไม่น้อยกว่า 3 เมตร

และสูงประมาณ 30 เซนติเมตร รดน้ำให้ชุ่มพร้อมกับเหยียบย่ำให้แน่น นำมูลสัตว์ที่เตรียมไว้มาโรยลงกองเศษพืชให้ทั่วหนาประมาณ 5-10 เซนติเมตร จากนั้นใช้ปุ๋ยยูเรีย หรือปุ๋ยนาข้าวหว่านทับลงบนมูลสัตว์ ต่อไปจึงขนเศษพืชมากองทับชั้นต่อไป ทำเช่นเดียวกับการกองชั้นแรกทุกประการ กองอีกชั้นจนได้ขนาดกองปุ๋ยประมาณ 1.0-1.5 เมตร ชั้นบนสุดเอาหน้าดินมาใส่ทับลงไปให้ทั่วหนาประมาณ 2-5 เซนติเมตร

แบบใช้เชื้อจุลินทรีย์เป็นตัวเร่ง : อัตราส่วนผสมของวัสดุต่าง ๆ ที่ใช้ทำปุ๋ยหมักแบบใช้เชื้อจุลินทรีย์เป็นตัวเร่ง

เศษซากพืช	1000	กิโลกรัม (1 ตัน)
มูลสัตว์	200	กิโลกรัม
ปุ๋ยยูเรีย	2	กิโลกรัม
สารเร่งเชื้อจุลินทรีย์	150	กรัม

กองเศษพืชเป็นชั้น ย่ำให้แน่นพอสมควรพร้อมกับรดน้ำให้ชุ่ม ในขณะที่ย่ำกองปุ๋ยให้มีความกว้าง 2 เมตร ความยาวแล้วแต่ปริมาณของเศษพืชแต่ไม่ควรน้อยกว่า 3 เมตร ความสูงของแต่ละชั้นประมาณ 30-40 เซนติเมตร จากนั้นแบ่งมูลสัตว์โรยทับและแบ่งปุ๋ยยูเรียหว่านทับชั้นบนของมูลสัตว์อีกที่หนึ่ง นำสารเร่งมาละลายในน้ำคนให้เข้ากัน นำสารละลายของสารเร่งมาราดลงบนกองเศษพืชหลังจากนั้น จึงนำเศษพืชมากองทับเป็นชั้นที่สองต่อไป ทำเช่นนี้ทุกครั้งจนกระทั้งได้กองปุ๋ยหมักประมาณ 1.0-1.5 เมตร ชั้นบนสุดควรใช้หน้าดินที่มีความสมบูรณ์ปิดทับให้หนาประมาณ 1 นิ้ว ทั้งนี้เพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อน และเป็นแหล่งของจุลินทรีย์ตามธรรมชาติ

แบบต่อเชื้อ : คือ การหมักโดยใช้ปุ๋ยหมักที่ย่อยสลายแล้วมาเป็นต้นตอของเชื้อจุลินทรีย์หรือสารตัวเร่ง สำหรับการหมักทำปุ๋ยครั้งต่อไป โดยไม่จำเป็นต้องใช้สารเร่งประเภทจุลินทรีย์ ทุกครั้งที่ทำปุ๋ยหมักแต่ต้องมีการเก็บรักษาปุ๋ยหมักที่จะนำไปต่อเชื้อนี้ให้อยู่ในสภาพที่ดี คือ จะต้องไม่ทิ้งตากแดดตากฝนควรให้มีความชื้นอยู่ในระดับที่เหมาะสมสำหรับการเจริญ การอยู่รอดของจุลินทรีย์ในกองปุ๋ยหมักแบบต่อเชื้อนี้ทำได้สองวิธี คือ

1. แบบต่อเชื้อโดยใช้ปุ๋ยหมักช่วงอายุ 10 – 15 วัน เป็นต้นเชื้อ มีอัตราส่วนในการทำคือเศษพืช 1000 กิโลกรัม ปุ๋ยหมักอายุ 10 – 15 วัน 200 กิโลกรัม และปุ๋ยเคมีที่มีธาตุไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ 2 กิโลกรัม โดยนำวัสดุที่จะใช้กองปุ๋ยหมักมาแบ่งเป็น 4 ส่วนเท่า ๆ กัน และเมื่อกองปุ๋ยหมักเสร็จแล้วควรมีขนาดกว้าง 2 – 3 เมตร สูงประมาณ 1.5 – 2.0 เมตร โดยมีขั้นตอนดังนี้

1.1 นำเศษวัสดุที่จะใช้ทำปุ๋ยหมักมากองเป็นชั้นให้มีความกว้าง 2 – 3 เมตร ความยาวไม่จำกัด สูงประมาณ 30 – 40 เซนติเมตร ย่ำให้แน่นรดน้ำให้ชุ่ม

1.2 นำปุ๋ยหมักที่หมักได้ 10 – 15 วัน ส่วนบนมาโรยที่ผิวบนเศษวัสดุที่กองไว้ชั้นละ 50 กิโลกรัม แล้วรดน้ำให้ชุ่มแต่อย่าให้ถึงกลับแฉะมากเกินไป

1.3 นำปุ๋ยยูเรียหรือปุ๋ยเคมีอื่น ๆ ที่มีธาตุไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ 0.5 กิโลกรัม หรือถ้าจะใช้ปัสสาวะละลายน้ำโรย หรือราดให้ทั่วผิวบนเศษวัสดุ

1.4 ทำการกองปุ๋ยหมักชั้นต่อไปโดยให้ปฏิบัติเช่นเดียวกับที่กองในชั้นแรกจนครบทั้ง 4 ชั้น สำหรับชั้นบนสุด ให้ใช้หน้าดินที่มีความสมบูรณ์ทับหน้าประมาณ 1 นิ้ว เพื่อเป็นการรักษาความชื้นภายในกองปุ๋ย

2. แบบต่อเชื้อโดยใช้ปุ๋ยที่ใช้ได้แล้วเป็นต้นเชื้อ มีส่วนประกอบ คือ เศษพืช 1,000 กิโลกรัม ปุ๋ยหมักที่ใช้แล้ว 200 กิโลกรัม โดยวิธีการกองปุ๋ยหมักสามารถปฏิบัติได้ เช่นเดียวกับวิธีที่หนึ่ง

2. Aerated Static Pile

เป็นวิธีการที่ใช้ในการหมักกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย แต่สามารถใช้กับวัสดุประเภทอื่นได้ เช่น ขยะ เป็นการกองขยะโดยผ่านท่อเติมอากาศเข้าไปในกองขยะ ซึ่งได้ถูกเตรียมโดยสารย่อยชิ้นเล็ก ๆ ปรับความชื้นแฉะและค่า C:N ratio เรียบร้อยแล้ว การกองขยะแต่ละกองจะมีเครื่องเติมอากาศ โดยปกติใช้ท่อพลาสติกผ่านเข้าไปในกองขยะโดยต่อกับเครื่องเป่าลม อากาศที่เติมเข้าไปทำให้มีการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจนแล้วเป็นการควบคุมอุณหภูมิในกองปุ๋ยด้วย โดยทั่วไปใช้เวลา 3 – 4 สัปดาห์ หลังจากนั้นจะถูกย่อยเป็นชิ้นเล็ก ๆ อีกครั้ง ในบางครั้งควรเติมขยะชิ้นใหญ่ ๆ ลงไปด้วยเพื่อให้การเติมอากาศทั่วถึง

3. In-Vessel Composting System

เป็นการนำขยะมาใส่ในคอนเทนเนอร์อาจเป็นท่อขนาดใหญ่ แล้วให้อากาศผ่านทางท่อ แบ่งย่อยเป็น vertical และ horizontal system อาจเป็นถังขนาดใหญ่วางในแนวตั้งแนวนอนแบ่งได้ 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ plug flow และไดนามิก

- Plug flow : ขยะจะถูกใส่ในท่อและเคลื่อนที่ไปในท่อ โดยมีการเติมอากาศระหว่างนั้น เมื่อขยะเคลื่อนไปปลายท่อจะใช้เวลาเท่ากับเวลาที่จะใช้หมัก โดยการหมักจะเกิดแบบสมบูรณ์

- ไดนามิค : ภายในท่อมีอุปกรณ์ที่ทำให้ขยะผสมกันอย่างทั่วถึงไปพร้อม ๆ กับการเติมอากาศ ทำให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นทั่วถึงยิ่งขึ้น

2.5 คุณสมบัติ และลักษณะของปุ๋ยหมักที่ดี

วุทธินันท์ ศิริพงศ์ (2540) ได้กล่าวถึงลักษณะที่ดีของปุ๋ยหมัก โดยทั่วไปจะมีโครงสร้างหยาบปานกลางไม้อัดแน่นเกินไปหรือเป็นก้อน แต่จะมีลักษณะเป็นผงร่วนซุยอ่อนนุ่ม เมื่อใช้นิ้วบี้ปุ๋ยหมักยุ่ย และขาดออกจากกันได้ง่าย มีสีน้ำตาลปนดำ แต่ถ้ามีสีดำสนิทแสดงการหมักปุ๋ยไม่ดี เนื่องจากมีความชื้นมากเกินไปและขาดอากาศ และหากปุ๋ยหมักมีสีเทา หรือสีเหลือง จะชี้ให้เห็นว่าเป็นลักษณะปุ๋ยหมักที่ไม่ดี ลักษณะของปุ๋ยหมักที่ดี ได้แก่

- มีโครงสร้างหยาบปานกลาง ไม่อัดแน่นเกินไปหรือเป็นก้อน แต่จะมีลักษณะเป็นผงร่วนซุยอ่อนนุ่ม
- มีสีน้ำตาลปนดำ ไม่มีสีดำสนิท ก็แสดงว่ามีความชื้นมากเกินไป และขาดอากาศไม่เป็นสีเทาหรือสีเหลือง เพราะชี้ให้เห็นถึงลักษณะของปุ๋ยหมักที่ไม่ดี มีธาตุอาหารน้อย
- ต้องไม่มีกลิ่นหรือกลิ่นเหมือนดินธรรมชาติ

- มีสภาพเป็นกลาง คือ pH อยู่ในช่วง 5 – 7
- จะต้องมีอินทรีย์วัตถุระหว่าง 30 – 60%
- ควรมีปริมาณธาตุอาหารเหล็ก คือ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม ดังนี้
  - ธาตุไนโตรเจน ประมาณ 1 – 3% ของน้ำหนักแห้ง
  - ธาตุฟอสฟอรัส ประมาณ 0.5 – 1.0% ของน้ำหนักแห้ง
  - ธาตุโพแทสเซียม ประมาณ 0.5-2% ของน้ำหนักแห้ง

www.doae.go.th ได้กล่าวถึง มาตรฐานของปุ๋ยหมัก ดังนี้

1.	อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C:N ratio)	ไม่มากกว่า 20/1
2.	ไนโตรเจน, ฟอสฟอรัส, โพแทสเซียม (% NPK)	1:1:0.5
3.	ความชื้น	35-40%
4.	ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH)	6.0-7.5
5.	ต้องมีปริมาณอินทรีย์วัตถุอยู่ระหว่าง	25-50%

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วุทธินันท์ ศิริพงศ์ (2540) ได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ของการนำขยะอินทรีย์และใบไม้แห้งมาทำปุ๋ยหมักตามกระบวนการหมักแบบ Aerobic compost โดยวิธีการหมักแบบต่อเชื้อ ซึ่งขยะอินทรีย์ที่นำมาหมักเป็นพวกเศษผักและเศษอาหารในบริเวณมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และตลาดต้นพยอม ส่วนใบไม้แห้งที่ใช้ได้มาจากบริเวณต่าง ๆ ของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ แบ่งการหมักเป็น 2 ชุดคือชุดที่ 1 ผสมใบไม้แห้งไม่สับและปุ๋ยหมักที่ใช้เป็นต้นเชื้อ ชุดที่ 2 ขยะผสมใบไม้แห้งและปุ๋ยหมักโดยทำการวิเคราะห์ผลการหมักที่ระยะเวลาการหมัก 120 วันและ 150 วัน ทั้ง 2 ชุด ซึ่งแต่ละชุดจะทำการผลิกกลับทุก ๆ 7 วัน, 15 วัน และไม่ผลิกกลับในระหว่างการหมักจะทำการวัดอุณหภูมิ, ออกซิเจน, pH และความชื้น

จากการศึกษาพบว่าอุณหภูมิในถังหมักอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์คืออยู่ในช่วง25-45 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นของออกซิเจนในถังหมักมีค่าสูงเพียงพอต่อการเจริญเติบโตและเมตาบอลิซึมของจุลินทรีย์ ความเป็นกรดเป็นด่างอยู่ในช่วง 6-8 เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของจุลินทรีย์ ความชื้นถูกควบคุมไว้ที่ระดับ 50-60% ซึ่งเหมาะต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ เปอร์เซ็นต์ NPK ของปุ๋ยหมักอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้มีค่าดังนี้ หมัก 120 วัน ชุดที่1 ในถังหมักพลิกทุกๆ 7 วัน มีค่า1.68:0.24:2.02 ในถังหมัก พลิกทุก15วันมีค่า1.60:0.24:2.25และในถังที่ไม่พลิกมีค่า1.50:0.23:2.10 ชุดที่2 ในถังหมักพลิกทุก 7 วันมีค่า 1.74:0.24:1.80 ในถังหมักพลิกทุก 15 วันมีค่า1.75:0.24:1.75 และไม่พลิกมีค่า 1.59:0.23:1.95 หมัก 150 วัน ชุดที่1 ในถังหมักพลิกทุกๆ 7 วัน มีค่า 1.67:0.27:1.83 ในถังหมัก พลิกทุก15วันมีค่า1.62:0.23:2.03 และในถังที่ไม่พลิกมีค่า 1.63:0.27:2.15 ชุดที่2 ในถังหมักพลิกทุก 7วันมีค่า 1.64:0.19:1.73 ในถังหมักพลิกทุก 15 วันมีค่า 1.68:0.24:1.15 และในถังที่ไม่พลิกมีค่า 1.75:0.23:1.95 และการลดลงของมวลขยะสามารถลดลงได้ถึง 50-60 เปอร์เซ็นต์

เจนณรงค์ สันสน และสุดารัตน์ คมขำ (2545) ได้ทำการวิจัยเรื่อง การศึกษาศักยภาพความเป็นปุ๋ยของกากตะกอนจุลินทรีย์ จากระบบตะกอนเร่ง ในโรงงานแปรรูปอาหารทะเล โดยการนำมาทำปุ๋ยหมัก ซึ่งวิธีการหมักใช้วิธีการหมักที่เรียกว่า การหมักแบบ Aerobic Composting ซึ่งเป็นการหมักแบบใช้เชื้อจุลินทรีย์เป็นสารเร่ง

จากผลการศึกษาพบว่า ในการหมักอุณหภูมิอยู่ในช่วง 29-35 องศาเซลเซียส ซึ่งอยู่ในช่วงอุณหภูมิที่ไม่สูงเกินไป เหมาะแก่การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ทำให้การย่อยสลายสารอินทรีย์เป็นไปด้วยดี ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) อยู่ในช่วง 5-7 ซึ่งเป็นกรดเล็กน้อย มีความเหมาะสมในการดำรงชีวิตของจุลินทรีย์ ความชื้นในช่วงของการหมัก ความชื้นมีค่าระหว่าง 60-70% ซึ่งใกล้เคียงกับค่าที่เหมาะสมไม่เปียกหรือแห้งจนเกินไป ทำให้การย่อยสลายของจุลินทรีย์ดำเนินไปด้วยดี อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ค่า C/N ratio ในการหมักครั้งนี้มีค่าลดลงเรื่อย ๆ เมื่อเริ่มต้นการหมัก ค่า C/N ratio มีค่าเท่ากับ 44.34 และในช่วงของการหมักค่า C/N ratio มีค่าเท่ากับ 18.43 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสม สามารถนำไปใช้เป็นปุ๋ยได้ และแร่ธาตุอาหารที่มีความจำเป็นต่อพืชได้แก่ ไนโตรเจน (N), ฟอสฟอรัส (P) และโพแทสเซียม (K) สามารถตรวจสอบค่าไนโตรเจน (N) , ฟอสฟอรัส (P) และโพแทสเซียม (K) ตามเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.6 : 1.2 : 0.6 อยู่ในช่วงที่เหมาะสมและพืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้

ดังนั้นจากการศึกษาลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของกากตะกอนจุลินทรีย์ ทำให้ทราบได้ว่าค่าต่าง ๆ อยู่ในช่วงที่สามารถนำมาทำเป็นปุ๋ยได้

นรารัตน์ ไวยเจริญ (2544) ได้ทำการวิจัยเรื่อง การทำปุ๋ยหมักของมูลฝอยจากตลาดสดในเขตเทศบาลนครหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

การศึกษาครั้งนี้แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 เป็นการศึกษาสภาพการเกิดมูลฝอยและการจัดการมูลฝอยในตลาดของเทศบาลนครหาดใหญ่ ส่วนที่ 2 เป็นการทดลองทำปุ๋ยหมักระดับห้องปฏิบัติการโดยใช้หลักการแบบ windrow composting ภายใต้เงื่อนไขการทดลองต่าง ๆ เป็นระยะเวลา 2 เดือน

จากการทดลองทำปุ๋ยหมัก พบย่า ชุดการทดลองที่มีการใช้มูลฝอยร่วมกับกากขี้แป้งภายหลังสิ้นสุดการทดลองมีปริมาณธาตุอาหารหลักได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม และธาตุอาหารรองได้แก่ แมกนีเซียม สูงกว่าชุดการทดลองที่มีเฉพาะมูลฝอยจากตลาดสดเพียงอย่างเดียว มีค่าอยู่ในช่วง 2.44-3.12% dry wt 8.54-15.94% dry wt 2.04-3.70% dry wt และ 2.01-4.42% dry wt ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานเกรดปุ๋ยของกรมพัฒนาที่ดินพบว่ามีค่าสูงกว่า (1,1,0.5 และ 0.35% ของ N,P,K และMg ตามลำดับ) และทุกชุดการทดลองมีปริมารโลหะหนักอยู่ในระดับต่ำกว่าปริมาณการปนเปื้อนที่ยอมให้มีได้สูงสุดในการนำไปใช้ทางการเกษตรและประยุกต์ใช้กับดิน ซึ่งกำหนดโดยหน่วยงานพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งอเมริกา (U.S.EPA, n.d.) โดยมีปริมาณ สังกะสี แมงกานีส และทองแดง เฉลี่ยอยู่ในช่วง 169.59-1465.70 mg/kg. 315.59-760.38 mg/kg และ 45.54-748.04 mg/kg dry wt. ตามลำดับ ดังนั้น ปุ๋ยหมักที่ได้จากการทดลองครั้งนี้สามารถนำไปใช้เป็นปุ๋ยและสารปรับปรุงดินได้เป็นอย่างดี

การทดลองหมักทำปุ๋ยมีการติดตามการเปลี่ยนแปลงปฏิกิริยาจากอุณหภูมิ ปริมาณของแข็งระเหย ปริมาณเถ้า และอัตราส่วน C : N พบว่า ทั้งชุดการทดลองที่มีการเติมกากขี้แป้งและไม่มีการเติมการขี้แป้งซึ่งมีการพลิกกลับกอง มีระยะเวลาการเปลี่ยนแปลงของปฏิกิริยาใกล้เคียงกัน (ประมาณ 11-28 วัน) แต่ชุดการทดลองที่ 6 มีอัตราส่วนผสมกากขี้แป้งและปุ๋ยหมัก เท่ากับ 0.5 :1 มีแนวโน้มการเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายเข้าสู่ภาวะเสถียรเร็วกว่ากองปุ๋ยชุดอื่น ๆ (ประมาณ 21 วัน) และเมื่อสิ้นสุดการทดลองมีอัตราส่วน C : N เท่ากับ 8 : 1 ดังนั้น จึงเป็นชุดการทดลองที่เหมาะสมต่อการนำมาหมักทำปุ๋ยมากที่สุด

แก้วทิพย์ อัครเดชเรืองศรี (2537) ทดลองนำโพลิสไตรีนโฟมมาเป็นตัวเร่งในขบวนการผลิตปุ๋ยหมักจากผักตบชวา ซึ่งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงไนโตรเจน ฟอสฟอรัส รวมทั้งอินทรีย์คาร์บอน เร็วกว่ากองปุ๋ยที่ไม่ใส่โฟมและหากเปรียบเทียบอัตราส่วน C : N ที่ 20 : 1 การหมักผักตบชวาจะใช้เวลาเพียง 14 วัน

พัชรี วีระนนท์ (2539) มีการใช้กรดไฮโดรคลอลิกที่มีความเข้มข้น 30% ย่อยสลายเศษปลาเพื่อการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ซึ่งที่ระดับความเข้มข้น 30% จะให้ธาตุอาหารพืชรวมมากกว่าหากกล่าวถึงปริมาณธาตุอาหารหลักในเศษวัสดุเหลือทิ้ง ทั้งทางด้านอุตสาหกรรม เกษตรกรรมและชุมชน พบว่าอยู่ในระดับต่ำ

สาคร เขิมขันธ์ (2543) ศึกษาความเป็นไปได้ในการจัดการขยะสดผลิตปุ๋ยชีวภาพโดยกระบวนการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจนและใช้กากน้ำตาลเป็นตัวเร่งให้จุลินทรีย์ย่อยสลายอินทรีย์วัตถุได้เร็วขึ้น ภายใน 7 วัน พบว่าการปลูกดาวเรืองโดยใช้น้ำสกัดชีวภาพจากเศษอาหารและเศษผักมีการเจริญเติบดตและให้ผลผลิตดี แสดงว่าน้ำสกัดชีวภาพเป็นทางเลือกหนึ่งที่ใช้ทดแทนปุ๋ยเคมีได้

Danteravanich, S. (1989) ศึกษาพฤติกรรมของกระบวนหมักทำปุ๋ยมูลฝอยชุมชนของกรุงเทพมหานครด้วยวิธีเติมอากาศ พบว่า อัตราส่วน C : N ที่ 25-30 จะทำให้ปฏิกิริยาการหมักเร็วที่สุด และการให้อากาศที่ 8 ชั่วโมงหยุด 4 ชั่วโมง ทำให้ระยะเวลาการหมักทำปุ๋ยสั้นที่สุด ซึ่งจะสัมพันธ์กับความเสถียรของปริมาณ TOC ซึ่งสะกัดได้จากมูลฝอยที่หมักได้