

การบำบัดกากตะกอนเร่งของอุตสาหกรรมปิโตรเคมี โดยวิธีการหมักทำปุ๋ยร่วม

Treatment of Activated Sludge from Petrochemical Industry by using Co-composting Process

คำนำ

ปัจจุบันประเทศไทยมีการพัฒนาอุตสาหกรรมปิโตรเคมีอย่างต่อเนื่อง ทั้งในแง่การเพิ่มขีดความสามารถในการผลิต และการสร้างสารเคมีตัวใหม่ การพัฒนาอุตสาหกรรมปิโตรเคมีทำให้กากตะกอนที่เกิดจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียเพิ่มขึ้นอย่างมาก กากตะกอนดังกล่าวส่วนใหญ่ประกอบด้วยสารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ และได้ถูกทิ้งไปอย่างไร้ประโยชน์โดยการฝังกลบ ในการฝังกลบต้องใช้พื้นที่ขนาดใหญ่ และอาจเป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมหากทำการฝังกลบที่ไม่ถูกหลักวิชาการ อีกทั้งยังมีข้อจำกัดเรื่องอื่น เช่น ราคาที่ดินที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างมากทำให้ยากต่อการหาพื้นที่ฝังกลบ การต่อต้านจากประชาชนที่อาศัยในบริเวณใกล้เคียงอันเนื่องมาจากผลกระทบในเรื่องน้ำชะมูลฝอยและกลิ่น และการขนส่งกากตะกอนที่ต้องเสียค่าใช้จ่ายสูง ดังนั้นทางเลือกหนึ่งในการลดปริมาณกากตะกอนที่ต้องนำไปกำจัด ณ สถานที่กำจัด คือการหมักทำปุ๋ย

การหมักทำปุ๋ยถือเป็นกระบวนการทางชีวภาพที่ช่วยในการแก้ปัญหาสิ่งแวดล้อมได้เป็นอย่างดี โดยช่วยลดปริมาณของกากตะกอนปิโตรเคมีที่ต้องนำไปฝังกลบ ลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดกากตะกอน และนำไปสู่ผลผลิตผลิตภัณฑ์ที่เป็นประโยชน์ เช่น ปุ๋ยหมัก ซึ่งสามารถใช้ในการปรับปรุงคุณภาพดินเพื่อใช้ในการเกษตร อย่างไรก็ตามการหมักทำปุ๋ยเพื่อใช้ในการกำจัดกากตะกอนปิโตรเคมีต้องคำนึงถึงอัตราส่วนที่เหมาะสมของปริมาณกากตะกอนปิโตรเคมีกับปริมาณมูลฝอยสังเคราะห์ที่เติม ทั้งนี้เนื่องจากการเติมกากตะกอนปิโตรเคมีอาจมีผลต่อคุณภาพของปุ๋ยหมัก ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จึงจำเป็นต้องหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของปริมาณกากตะกอนปิโตรเคมีต่อปริมาณมูลฝอยสังเคราะห์ที่เหมาะสม และหาสภาวะที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการหมักทำปุ๋ย

วิธีการหมักทำปุ๋ยที่ใช้สำหรับกากตะกอนปิโตรเคมีในการทดลองนี้ คือการหมักกากตะกอนปิโตรเคมีในถังปิดแบบเดิมอากาศ ซึ่งมีข้อดี คือ ประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารอินทรีย์สูง สามารถควบคุมกลิ่นได้ ใช้พื้นที่น้อย ควบคุมการหมักง่ายและใช้แรงงานน้อย ในการศึกษา

วิจัยครั้งนี้เป็นการหมักทำปุ๋ยหมักของกากตะกอนปีโตรเคมีที่ผสมกับมูลฝอยสังเคราะห์เพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของกากตะกอนปีโตรเคมีต่อมูลฝอยสังเคราะห์ อัตราการเติมอากาศที่เหมาะสม และประเมินคุณภาพของปุ๋ยหมัก โดยใช้วิธีการทดสอบการงอกของเมล็ด

วัตถุประสงค์

1. เพื่อหาอัตราการเติมอากาศและปริมาณกากตะกอนปีโตรเคมีที่เหมาะสมต่อการหมักทำปุ๋ย
2. เพื่อศึกษาคุณภาพของปุ๋ยหมักก่อนการนำไปใช้ประโยชน์

สมมติฐาน

การหมักทำปุ๋ยเป็นกระบวนการที่สามารถใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์จากกากตะกอนเร่งของระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงงานปีโตรเคมี และให้ผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เมื่อมีการปรับอัตราการเติมอากาศและสัดส่วนปริมาณกากตะกอนปีโตรเคมีที่เหมาะสม

ขอบเขตการศึกษา

1. วัสดุที่ใช้หมักได้แก่

- 1.1 กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง ที่ได้จากโรงงานระยองโอเลฟินส์
- 1.2 มูลฝอยสังเคราะห์ที่ได้จากเศษผัก
- 1.3 แกลบ ใช้เป็น bulking agent ในการหมักทำปุ๋ย

2. ในการศึกษาประสิทธิภาพการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายในถังหมัก จะพิจารณาการลดลงของปริมาณของวัสดุหมักและปริมาณสารอินทรีย์ที่ถูกย่อยสลายระหว่างการหมักโดยพิจารณาในรูปของปริมาณของแข็งระเหย และปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ผลิตได้

3. ปัจจัยควบคุมที่สำคัญของการหมักทำปุ๋ย ได้แก่ การควบคุมให้อยู่ในสภาวะที่ต้องการอากาศตลอดการทดลอง โดยการเติมอากาศด้วยปริมาณอากาศ เท่ากับ 0.2 , 0.4 และ 0.6 ลูกบาศก์เมตร ต่อกลีโกรัมของแข็งระเหยได้ ต่อวัน และมีปริมาณกากตะกอนปีโตรเคมีเป็นวัสดุรวมหมักร้อยละ 5 , 10 และ 15 โดยปริมาตร

การตรวจเอกสาร

1. อุตสาหกรรมปิโตรเคมี

1.1 คำนิยามปิโตรเคมี

ปิโตรเคมี หมายถึง สารอินทรีย์เคมี ประเภทไฮโดรคาร์บอนที่ผลิตขึ้นโดยใช้ผลิตภัณฑ์จากปิโตรเลียมเป็นวัตถุดิบ ส่วนปิโตรเลียม หมายถึง น้ำมันดิบ ก๊าซธรรมชาติ สารพลอยได้ และสารประกอบไฮโดรคาร์บอนอื่นๆที่เกิดขึ้นโดยธรรมชาติและอยู่ในสภาพอิสระไม่ว่าจะมีลักษณะเป็นของแข็ง ของหนืด ของเหลวหรือก๊าซ และให้หมายรวมถึงบรรดาไฮโดรคาร์บอนหนักที่อาจนำขึ้นมาจากแหล่งโดยตรงโดยใช้ความร้อนหรือกรรมวิธีทางเคมี แต่ไม่หมายความรวมถึงถ่านหิน หินน้ำมัน หรือหินอื่นที่สามารถนำมากลั่นเพื่อแยกเอาน้ำมันด้วยการใช้ความร้อนหรือกรรมวิธีทางเคมี (พ.ร.บ.ปิโตรเลียม 2514)

1.2 ประเภทของอุตสาหกรรมปิโตรเคมี

ส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมที่สำคัญ ได้แก่สารประกอบไฮโดรคาร์บอนประเภทต่างๆ โดยผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมเหล่านี้ส่วนใหญ่จะสามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบเพื่อผลิตปิโตรเคมีประเภทต่างๆ ดังนั้นวัตถุดิบของปิโตรเคมีจึงมีทั้งที่อยู่ในรูปของก๊าซ และน้ำมัน ซึ่งได้แก่ ก๊าซมีเทน ก๊าซอีเทน ก๊าซโพรเพน ก๊าซบิวเทน แนฟทา ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์น้ำมันชนิดหนึ่งที่ได้จากโรงกลั่นน้ำมัน และก๊าซธรรมชาติเหลว หรือก๊าซโซลีนธรรมชาติ ซึ่งหมายถึงก๊าซที่มีองค์ประกอบของก๊าซเพนเทน เฮกเซน เฮปเทน และออกเทน ที่มีสภาพเป็นก๊าซเมื่ออยู่ในแหล่งกักเก็บ แต่มีสภาพเป็นของเหลวเมื่อผลิตขึ้นมาถึงปากบ่อนแท่งผลิต และสามารถแยกออกจากก๊าซธรรมชาติได้บนแท่นผลิต

ผลผลิตที่ได้จากการนำวัตถุดิบเหล่านี้ไปผ่านกระบวนการกลั่นแยก หรือทำให้แตกตัว เรียกว่า ผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีขั้นต้น เมื่อนำผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีขั้นต้นไปผ่านกระบวนการต่างๆต่อไปอีกจะได้ออกมาเป็นผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีขั้นกลาง และเมื่อนำผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีขั้นกลางไปผ่านกระบวนการต่างๆต่อไปก็จะได้ผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีขั้นปลาย แต่อย่างไรก็ตามผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมี

ชั้นปลายบางชนิดสามารถผลิตขึ้นจากวัตถุดิบผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีขั้นต้นได้โดยไม่ผ่านกระบวนการของปิโตรเคมีขั้นกลาง ดังนั้นอุตสาหกรรมปิโตรเคมีสามารถแบ่งออกเป็น 3 ส่วนใหญ่ๆ คือ

1. อุตสาหกรรมปิโตรเคมีขั้นต้น
2. อุตสาหกรรมปิโตรเคมีขั้นกลาง
3. อุตสาหกรรมปิโตรเคมีขั้นปลาย

โดยขอบเขตของอุตสาหกรรมแต่ละส่วนมีดังนี้

2. อุตสาหกรรมปิโตรเคมีขั้นต้น

ผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมที่สามารถนำมาเป็นวัตถุดิบของอุตสาหกรรมปิโตรเคมี ได้แก่

- ก๊าซธรรมชาติ
- ก๊าซธรรมชาติเหลว
- แนฟทา

โดยเมื่อนำวัตถุดิบเหล่านี้ไปผ่านกระบวนการแตกตัว กระบวนการเปลี่ยนรูป หรือดึงไฮโดรเจนออก จะได้สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่เป็นผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีขั้นต้น ได้แก่ เอทิลีน โพรพิลีน บิวทาไดอีน เบนซีน โทลูอีน ไซลีน เป็นต้น ผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีขั้นต้นเหล่านี้สามารถจำแนกออกเป็น 2 สายหลัก คือ สายโอเลฟินส์ และสายอะโรมาติกส์

ผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีขั้นต้นสายโอเลฟินส์ หมายถึง เอทิลีน โพรพิลีน บิวทาไดอีน ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการใช้อีเทน โพรเพน และบิวเทน อันเป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากโรงแยกก๊าซธรรมชาติอันเป็นวัตถุดิบหลัก ส่วนผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีขั้นต้นสายอะโรมาติกส์ หมายถึง เบนซีน โทลูอีน ไซลีน ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการใช้แนฟทาอันเป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้ของโรงกลั่นน้ำมันเป็นวัตถุดิบ อย่างไรก็ตามการนำแนฟตามาผ่านกระบวนการแยกสลายด้วยความร้อนก็จะทำให้ได้สารปิโตรเคมีขั้นต้นสายโอเลฟินส์เป็นผลิตภัณฑ์ด้วยเช่นกัน

ทั้งนี้หลังจากผ่านกระบวนการเปลี่ยนไม่ว่าจะเป็นการแตกตัว การเปลี่ยนรูปและการดึงไฮโดรเจนออกแล้ว จะต้องมีการนำมาแยกให้เป็นผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีขั้นต้นที่บริสุทธิ์ตรงตามมาตรฐานที่กระบวนการผลิตภัณฑ์ขั้นกลางและขั้นปลายต้องการ

3. อุตสาหกรรมปิโตรเคมีขั้นกลาง

อุตสาหกรรมปิโตรเคมีขั้นกลาง เป็นการนำผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีขั้นต้นมาผ่านกระบวนการทางเคมีต่างๆ เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์เป็นสารที่ใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีขั้นปลายต่อไป ตัวอย่างเช่น นำเอทิลีนมาทำปฏิกิริยากับคลอรีน จากนั้นนำสารที่ได้ไปผ่านกระบวนการแยกสลายด้วยความร้อนได้เป็นไวนิลคลอไรด์โมโนเมอร์ ซึ่งจะใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตโพลิไวนิลคลอไรด์ต่อไป

4. อุตสาหกรรมปิโตรเคมีขั้นปลาย

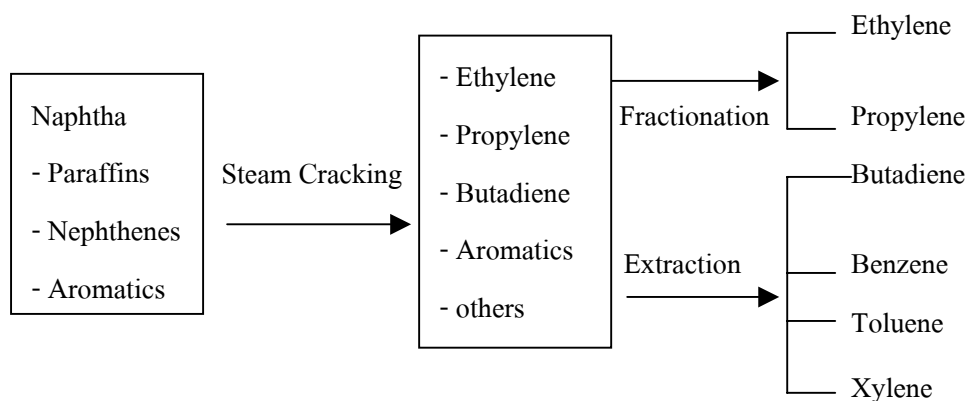
อุตสาหกรรมปิโตรเคมีขั้นปลาย เป็นอุตสาหกรรมที่นำผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีขั้นกลางและขั้นต้นที่ได้ผ่านกระบวนการโพลิเมอร์ไรเซชัน ซึ่งเป็นกระบวนการที่นำสารตั้งต้นโมเลกุลเล็กมาเชื่อมต่อกัน เป็นสายโมเลกุลใหญ่โซ่ยาว ที่เรียกว่า โพลิเมอร์ ผลิตภัณฑ์โพลิเมอร์ที่ได้จะมีคุณสมบัติเฉพาะที่เหมาะสมกับการใช้งานในลักษณะต่างๆ กัน ได้แก่ เม็ดพลาสติก ยางสังเคราะห์ ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้เหล่านี้สามารถนำไปดัดแปลงขึ้นเป็นรูปเป็นชิ้นส่วนและผลิตภัณฑ์ใช้งานด้านต่างๆ อย่างกว้างขวาง นอกจากนี้ยังอาจนำผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีขั้นกลางและขั้นต้นไปผ่านกระบวนการเคมีอื่นๆ ได้เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีประโยชน์ชนิดต่างๆ เช่น ผงซักฟอก เป็นต้น

สำหรับอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับปิโตรเคมี หมายถึงอุตสาหกรรมที่นำเอาผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีขั้นปลาย เช่น เม็ดพลาสติก ไปขึ้นรูปเป็นชิ้นงานต่างๆต่อไป อุตสาหกรรมเหล่านี้ได้แก่ อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์พลาสติก อุตสาหกรรมเคมีภัณฑ์ เป็นต้น รวมทั้งอุตสาหกรรมปิโตรเลียมซึ่งมีการผลิตผลิตภัณฑ์ที่เป็นวัตถุดิบของอุตสาหกรรมปิโตรเคมีด้วย

1.4 กระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมปิโตรเคมี

1.4.1 อุตสาหกรรมปิโตรเคมีขั้นต้น โดยอุตสาหกรรมนี้นำวัตถุดิบตั้งต้นซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากอุตสาหกรรมกลั่นน้ำมัน หรือโรงแยกก๊าซธรรมชาติมาผ่านกระบวนการที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์สารปิโตรเคมีขั้นต้น อันได้แก่โอเลฟินส์และอะโรมาติกส์ ซึ่งในส่วนของกระบวนการผลิตอุตสาหกรรมปิโตรเคมีในประเทศไทยจะเป็นการนำสารเหลือของก๊าซธรรมชาติและเนฟทา มาผลิตเป็นสารอะโรมาติกส์พื้นฐาน โดยเฉพาะเบนซีน โทลูอิน และไอโซเมอร์ต่างๆ ของไซลีน และมีการนำ NGL และเนฟทาบางส่วนไปผลิตสารโอเลฟินส์ขั้นพื้นฐาน เช่น เอทิลีน โพรพิลีน และบิวทาไดอินในโรงโอเลฟินส์ ดังนี้

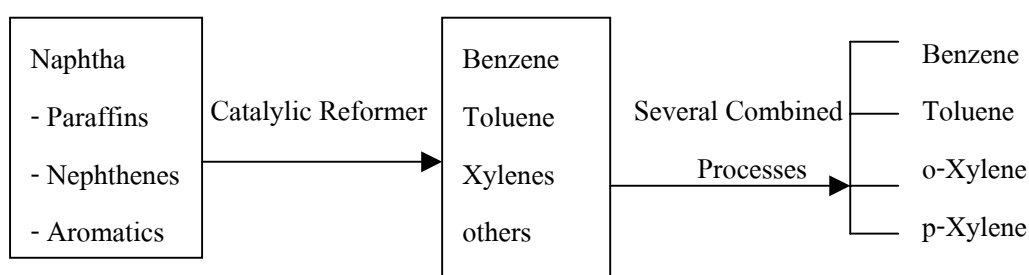
- โรงโอเลฟินส์ เป็นหน่วยที่ทำให้เนฟทาแตกตัว เป็นไฮโดรคาร์บอนที่มีโมเลกุลเล็กลง โดยกระบวนการ Steam Cracking Furnace ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการนี้จะมีลักษณะเป็นของผสม ซึ่งต้องใช้กระบวนการอื่นๆ ประกอบ เพื่อแยกเป็นผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดที่มีความบริสุทธิ์ตามความต้องการ โดยแผนภาพกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีขั้นต้นของโอเลฟินส์แสดงดัง ภาพที่ 1



ภาพที่ 1 กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีขั้นต้นของโอเลฟินส์

ที่มา : กรมโรงงานอุตสาหกรรม (2545)

- โรงอะโรมาติกส์ เป็นหน่วยนำเนฟทาเข้าไปทำปฏิกิริยาใน Reformer ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ช่วยเปลี่ยนเนฟทีนส์และพาราฟินส์ ให้กลายเป็นสารอะโรมาติกส์ ซึ่งหลังจากผ่านกระบวนการนี้แล้ว ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีลักษณะเป็นของผสมซึ่งต้องใช้กระบวนการอื่นๆประกอบเพื่อแยกเป็นผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดที่มีความบริสุทธิ์ตามความต้องการ และในบางกรณีอาจต้องใช้กระบวนการอื่นๆในการทำให้สารเหล่านี้มีการเปลี่ยนแปลงทางเคมี หรือทำปฏิกิริยาเคมีกันเองเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ต่างๆที่มีสัดส่วนเหมาะสมตามต้องการ โดยแผนภาพกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีขั้นต้นของโรงอะโรมาติกส์ แสดงดัง ภาพที่ 2



ภาพที่ 2 กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีขั้นต้นของโรงอะโรมาติกส์

ที่มา : กรมโรงงานอุตสาหกรรม (2545)

1.4.2 อุตสาหกรรมปิโตรเคมีขั้นกลาง เป็นอุตสาหกรรมที่นำผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีขั้นต้น ได้แก่ สารเคมีกลุ่มโอเลฟินส์ และกลุ่มอะโรมาติกส์ มาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตสารเคมีอื่นๆ โดยผ่านกระบวนการทางเคมี เช่น Oxidation Alkylation Purification โดยผลิตภัณฑ์ที่สำคัญของอุตสาหกรรมปิโตรเคมีขั้นกลางและวัตถุดิบที่ใช้แสดงดัง ตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลิตรภัณฑ์ที่สำคัญของอุตสาหกรรมปิโตรเคมีขั้นกลางและวัตถุดิบที่ใช้

วัตถุดิบ (จากอุตสาหกรรมปิโตรเคมีขั้นต้น)	กระบวนการผลิต	ผลิตรภัณฑ์
Ethylene Benzene	Alkylation & Dehydration	Styrene Monomer
Ethylene	- Cracking	- Vinyl chloride monomer
	- Oxidation & Hydration	- Ethylene glycol
p-xylene	Oxidation & Purification	Purified terephthalic acid
Benzene	Alkylation	Linear alkyl benzene

ที่มา : กรมโรงงานอุตสาหกรรม (2545)

1.4.3 อุตสาหกรรมปิโตรเคมีขั้นปลาย กระบวนการผลิตรวมทั้งวัตถุดิบที่ใช้ แสดงดัง

ตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลิตรภัณฑ์ที่สำคัญของอุตสาหกรรมปิโตรเคมีขั้นปลายและวัตถุดิบที่ใช้

วัตถุดิบ (จากอุตสาหกรรมปิโตรเคมีขั้นต้น/ กลาง)	กระบวนการผลิต	ผลิตรภัณฑ์
Ethylene	Polymerization	Polyethylene
Propylene	Polymerization	Polyethylene
Vinyl chloride monomer	Polymerization	Polyvinyl Chloride
Styrene Monomer	Polymerization	Polystyrene
Linear alkyl benzene	Sulfonation & Eutralization	Detergent
Styrene Monomer ,Butadiene	Copolymerization	Styrene butadiene rubber
Ethylene glycol	Polymerization	Polyester

ที่มา : กรมโรงงานอุตสาหกรรม (2545)

โดยอุตสาหกรรมปิโตรเคมีชั้นปลายเป็นอุตสาหกรรมที่นำผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีขั้นต้น หรือชั้นกลางมาผลิตเป็นเคมีภัณฑ์หรือโพลิเมอร์หลายชนิดซึ่งพร้อมที่จะนำไปใช้งานต่อไป ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่สำคัญของอุตสาหกรรมปิโตรเคมีชั้นปลาย

2. กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียของอุตสาหกรรมปิโตรเคมี

2.1 แหล่งกำเนิดกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย

กากตะกอนจากการบำบัดน้ำเสียของอุตสาหกรรมปิโตรเคมี ได้มาจากการบำบัดน้ำเสียโดยใช้ระบบตะกอนเร่ง (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2545) กระบวนการบำบัดน้ำเสียสามารถแบ่งตามขั้นตอนได้ดังต่อไปนี้

1. ขั้นเตรียมการก่อนบำบัด เป็นขั้นตอนที่ต้องตัดแปลง หรือปรับปรุงสภาพน้ำเสียให้เหมาะสมกับการบำบัดในลำดับต่อไป อาศัยกระบวนการทางกายภาพเป็นส่วนใหญ่ คือ แยกสิ่งแขวนลอยขนาดใหญ่ โดยอาศัยตะแกรงกักเอาไว้ คู่อัตราการไหลให้มีอัตราค่อนข้างสม่ำเสมอ และแยกน้ำมันหรือไขมันออกจากน้ำ สำหรับในขั้นแรกนี้ยังไม่มีตะกอนเกิดขึ้น จะมีเพียงสิ่งแขวนลอยขนาดใหญ่ที่ถูกแยกออกมา

2. การบำบัดขั้นต้น เป็นการทำให้ของแข็งส่วนที่ตกตะกอนได้ให้แยกตัวออกจากน้ำโดยอาศัยการตกตะกอน โดยแรงโน้มถ่วงให้ตกตะกอนในถังตกตะกอน และการบำบัดขั้นต้นนี้มุ่งให้สารส่วนที่จุลชีพย่อยสลายได้ตกตะกอนในถังตกตะกอนขั้นต้น โดยการบำบัดในขั้นนี้อาศัยกระบวนการทางเคมี เช่น การทำให้เป็นกลาง การสังเคราะห์กากตะกอนและการรวมตะกอน ซึ่งเป็นกระบวนการที่เปลี่ยนสารซึ่งละลายอยู่ในน้ำขนาดเล็กมาก และไม่สามารถตกตะกอนได้ถูกทำให้มีสภาพเป็นกลางจนเกิดตะกอนเบาเล็กๆ ซึ่งสามารถรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนจนสามารถตกตะกอนได้โดยน้ำหนักของตัวเอง

3. การบำบัดขั้นที่สอง น้ำเสียที่ผ่านกระบวนการบำบัดขั้นต้นยังมีความสกปรกในสภาพของสารอินทรีย์ จึงต้องเปลี่ยนสารละลายอินทรีย์ให้กลายเป็นเซลล์ของจุลชีพ และนำเซลล์เหล่านี้ไปแยกออกจากน้ำโดยการตกตะกอนในถังตกตะกอนขั้นที่สอง การบำบัดขั้นที่สองจึงอาศัยกระบวนการทางชีวภาพเป็นหลัก

4. การบำบัดขั้นสุดท้าย โดยทั่วไปถือว่าน้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการบำบัดขั้นที่สองแล้วมีความสกปรกต่ำ สามารถปล่อยทิ้งลงแม่น้ำได้ การบำบัดในขั้นนี้ส่วนใหญ่จะเป็นการกำจัดสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายทางชีวภาพไม่ได้ เช่น ฟีนอล ดีเทอร์เจนต์ สารเร่งการเจริญเติบโตของพืชน้ำ เช่น ไนเตรต ฟอสเฟต คลอโรเจนิกกลิน โลหะต่างๆ ของแข็งแขวนลอย ซึ่งก่อให้เกิดความขุ่น

ตะกอนจากการบำบัดน้ำเสียชุมชน มักเกิดจากขั้นตอนการบำบัดขั้นต้น และการบำบัดขั้นที่สอง สำหรับการบำบัดขั้นสุดท้ายมักใช้บำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมที่มีสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายทางชีวภาพไม่ได้ หรือสารอนินทรีย์เคมี เพราะยังถือว่าเป็นตัวการสำคัญที่ก่อให้เกิดมลภาวะ ถ้าไม่ผ่านการบำบัดก่อนทิ้ง เพราะตะกอนเหล่านี้ส่วนใหญ่เป็นตะกอนอินทรีย์ที่ได้จากถังตกตะกอนขั้นต้น และขั้นที่สอง ซึ่งยังมีสภาพไม่คงตัว

การบำบัดตะกอนมีขั้นตอนหลักอยู่ 2 ขั้นตอน คือ

1. ลดส่วนที่เป็นน้ำ ที่มีอยู่ในกากตะกอน เพื่อให้ตะกอนมีความแน่นตัวขึ้น การลดส่วนที่เป็นน้ำกระทำได้ในขั้นก่อนนำตะกอนเข้าสู่กระบวนการบำบัด โดยวิธี Thickening และหลังจากผ่านกระบวนการบำบัดแล้ว โดยวิธี Dewatering

2. การเปลี่ยนสภาพสารอินทรีย์ของตะกอนให้อยู่ในสภาพคงตัว คือ ไม่มีการย่อยสลายอีกต่อไป โดยอาศัยการย่อยสลายแบบไร้อากาศ ซึ่งใช้กันเป็นส่วนใหญ่ และการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจน

เมื่อผ่านกระบวนการบำบัดน้ำเสียและบำบัดตะกอนแล้ว ก็จะได้กากตะกอนซึ่งมีลักษณะคงตัวและถูกรีดน้ำออกแล้ว เพื่อความสะดวกต่อการนำไปทิ้งหรือใช้ประโยชน์ต่อไป โดยในองค์ประกอบทางเคมีของกากตะกอนส่วนใหญ่จะมีธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับการเจริญของพืช คือ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส ไนโตรเจน นอกจากนี้ยังประกอบด้วยจุลธาตุอาหาร คือ แมงกานีส เหล็ก ทองแดง และสังกะสี และโลหะหนักอีกด้วย สำหรับปริมาณของโลหะหนักในกากตะกอนจะมีความผันแปรขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ชนิดของระบบบำบัดน้ำเสีย ลักษณะและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำเสีย เป็นต้น

2.2 การบำบัดและกำจัดกากตะกอนปิโตรเคมี

การกำจัดกากตะกอนปิโตรเคมีทำได้ 2 ทางคือ การนำไปฝัง และการนำไปเผา ซึ่งการกำจัดด้วยวิธีเหล่านี้มักก่อให้เกิดปัญหามลพิษขึ้นมา ดังนั้นจึงมีการนำเอากากตะกอนปิโตรเคมีที่สามารถย่อยสลายได้มาใช้ประโยชน์โดยการนำไปหมักเป็นสารบำรุงดิน และโรงงานบางแห่งนำกากตะกอนเหล่านี้ไปถมที่ (กรมโรงงานอุตสาหกรรม , 2545)

3. หลักการหมักทำปุ๋ย

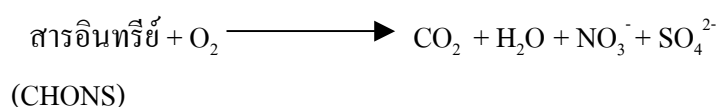
การหมักทำปุ๋ยเป็นกระบวนการทางชีวภาพที่อาศัยจุลินทรีย์ ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ซึ่งอาจเกิดจากกระบวนการใช้ออกซิเจนหรือไม่ใช้ออกซิเจน ภายใต้ภาวะที่เหมาะสม ซึ่งประกอบด้วย ความชื้น อุณหภูมิ รวมทั้งสัดส่วนของคาร์บอน และไนโตรเจน ผลผลิตที่ได้จากการหมักจะเป็นวัสดุสีน้ำตาลดำที่มีเนื้อร่วนซุย เรียกว่า ปุ๋ยหมัก ซึ่งมีสารประกอบที่เป็นประโยชน์ต่อพืช เช่น พวกไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม สามารถนำไปปรับปรุงสภาพดินและเป็นอาหารของพืชได้ (อุษณีย์ , 2545)

3.1 ปฏิบัติการหมักทำปุ๋ย

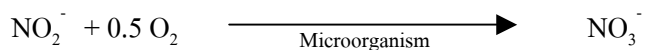
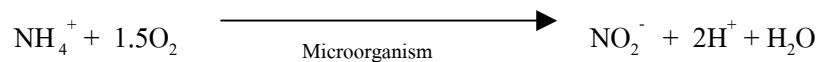
การทำปุ๋ยหมักอาศัยกระบวนการทางชีวภาพของจุลินทรีย์ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ โดยกระบวนการหมักสามารถแบ่งออกได้ 2 ลักษณะ ดังนี้

3.1.1. การหมักแบบใช้ออกซิเจน

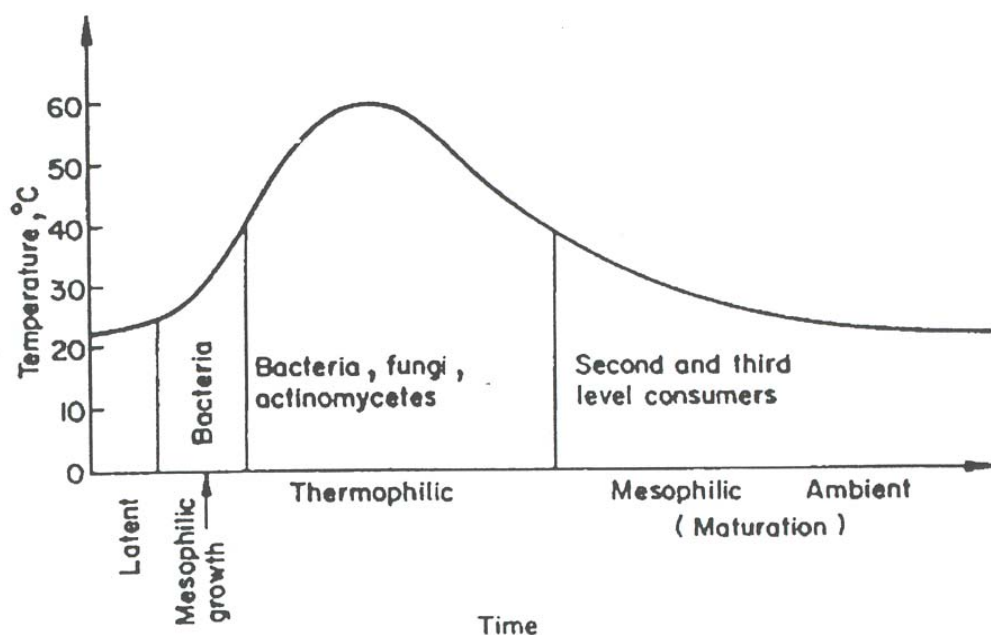
การย่อยสลายสารอินทรีย์ซึ่งเป็นวัสดุที่ย่อยสลายทางชีวภาพ ในสภาวะที่ใช้ ออกซิเจนของจุลินทรีย์ จะให้ผลผลิตของปฏิกิริยาต่างจากการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน โดยให้ผลผลิตครั้งสุดท้ายที่เสถียร ตามปฏิกิริยา ดังนี้ (Metcalf and Eddy , 1991)



ในหลายๆกรณีแอมโมเนีย(NH_3) ถูกออกซิไดซ์ไปเป็นไนเตรต (NO_3^-) หรือที่เรียกว่าปฏิกิริยานitrification ปริมาณออกซิเจนที่ต้องการในการออกซิไดซ์แอมโมเนียไปเป็นไนเตรตสามารถประมาณได้จากปฏิกิริยา ดังนี้ (Metcalf and Eddy , 1991)



กระบวนการย่อยสลายก่อให้เกิดพลังงาน ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งที่แสดงออกมาในรูปของความร้อน สามารถสังเกตได้จากกระบวนการหมัก ซึ่งแบ่งช่วงอุณหภูมิได้อย่างชัดเจน ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิระหว่างการหมัก และการแบ่งช่วงของอุณหภูมิ (Haug, 1980)

1. Latent phase เป็นช่วงที่จุลินทรีย์ใช้เวลาในการปรับตัวกับสภาพแวดล้อมใหม่ในการหมัก
2. Growth phase เป็นช่วงที่มีลักษณะการเพิ่มขึ้นทางชีววิทยาส่งผลให้อุณหภูมิสูงขึ้นอยู่ในช่วง mesophilic
3. Thermophilic phase เป็นช่วงที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นจนถึงระดับสูงสุด และช่วงนี้เกิดการย่อยสลาย และทำลายเชื้อโรคอย่างมีประสิทธิภาพ

4. Maturation phase เป็นช่วงที่อุณหภูมิลดลงจนอยู่ในระดับ mesophilic แล้วลดลงเรื่อยๆ จนอยู่ในระดับอุณหภูมิบรรยากาศเป็นการหมักขั้นที่สอง ซึ่งช้าและเกิดอิวมัส นั่นคือ การเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างที่ซับซ้อนบางประเภทของสารอินทรีย์ให้เป็นสารคอลลอยด์ อิวมิก ซึ่งเป็นแร่เหล็ก แคลเซียม ไนโตรเจน และในตอนสุดท้ายก็กลายเป็นอิวมัส

Haug (1980) ได้ให้หลักการในการอธิบายถึงปรากฏการณ์ ที่สามารถเกิดขึ้นได้หลายรูปแบบ ซึ่งเป็นตัวควบคุมอัตราการเกิดปฏิกิริยาระหว่างการหมักแบบใช้ออกซิเจนดังนี้

1. เซลล์สิ่งมีชีวิตจะปล่อยเอนไซม์ไปยังผิวของสารอินทรีย์
2. เกิดปฏิกิริยา Hydrolysis แยกสลายสารอินทรีย์ด้วยน้ำเป็นโมเลกุลที่มีน้ำหนักเล็กลง และส่วนที่เป็นสารละลาย
3. เกิดการแพร่ผ่านของโมเลกุลของสารอินทรีย์ที่อยู่ในรูปสารละลายไปที่เซลล์
4. เกิดการแพร่ผ่านของสารอินทรีย์เข้าไปในเซลล์ของจุลินทรีย์ ฟลอก และไมซีเลีย
5. เกิดการเคลื่อนที่ของออกซิเจน ซึ่งอยู่ในรูปของการไหลเวียนของอากาศผ่านช่องว่างระหว่างอนุภาค
6. ออกซิเจนเคลื่อนที่ผ่านสัมผัสชั้นที่อยู่ระหว่างการไหลของอากาศและของเหลว
7. เกิดการแพร่ผ่านของออกซิเจนผ่านเข้าไปถึงชั้นที่เป็นของเหลว
8. เกิดการแพร่ผ่านของออกซิเจนเข้าไปในเซลล์ของจุลินทรีย์ฟลอก และไมซีเลีย แล้วเกิดปฏิกิริยา Aerobic Oxidation ของสารอินทรีย์โดยปฏิกิริยาชีวเคมีในเซลล์

ในกรณีที่สารอินทรีย์มีธาตุฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบ จะให้ฟอสเฟตออกมาจากปฏิกิริยา ดังนั้นเมื่อสารอินทรีย์สารถูกย่อยสลายแล้ว จะให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำออกมาพร้อมกับแร่ธาตุ ซึ่งเป็นอาหารหลักสำหรับพืช

ในกรณีที่เกิดการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจนได้นั้น จะต้องมีสภาวะที่เหมาะสม เช่นมีออกซิเจนเพียงพอ อุณหภูมิพอเหมาะ การย่อยสลาย หรือการหมักโดยวิธีนี้จะเป็นไปได้เร็ว และใช้มากในอุตสาหกรรมปุ๋ยหมักจากมูลฝอยชุมชนทั่วไป ซึ่งจะใช้เวลาในขั้นนี้ไม่นานนัก (ประมาณ 5 – 30 วัน) และไม่ส่งกลิ่นเหม็นรุนแรง

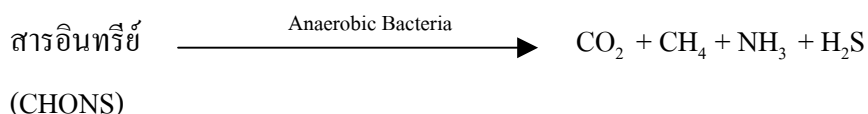
การทำให้เกิดกระบวนการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจนทำได้ 2 วิธี คือ

1. การหมักโดยอาศัยออกซิเจนตามธรรมชาติ มีชื่อเรียกโดยทั่วไปว่า Windrow Composting โดยนำมูลฝอยที่มีอินทรีย์วัตถุที่ย่อยสลายได้ไปกองรวมกัน โดยให้แต่ละกองมีขนาดเล็ก เพื่อให้มูลฝอยสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศให้มากที่สุด แต่ถ้ากองรวมกันให้มีขนาดใหญ่เกินไป มูลฝอยที่อยู่ข้างในอาจได้รับออกซิเจนไม่เพียงพอ ทำให้เกิดสภาพการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนขึ้นได้ วิธีการนี้จึงต้องใช้พื้นที่มากและใช้เวลาประมาณ 30 วัน

2. การหมักโดยการเร่งอัตราการย่อยสลายโดยใช้เครื่องจักรกลเข้าช่วย วิธีนี้เรียกกันโดยทั่วไปว่า High Rate Composting มีการใช้เครื่องมือช่วยให้ออกซิเจนให้อากาศสัมผัสกับมูลฝอยได้มากที่สุด อาจใช้พัดลม หรือใบพัดให้อากาศหมุนเวียน หรืออาจทำเป็นกระแทะเจาะรูมีการพลิกกลับ เป็นต้น นอกจากนี้ใช้เครื่องจักรกลเติมอากาศให้มูลฝอยแล้ว ในการหมักจำเป็นต้องทำให้มูลฝอยเป็นชั้นเล็ก และแยกเอาส่วนที่ไม่ย่อยสลายออกไป จะช่วยให้มูลฝอยสัมผัสกับออกซิเจนมากขึ้น การย่อยสลายก็จะเร็วขึ้นด้วยโดยใช้เวลาประมาณ 5 – 7 วัน

3.1.2 การหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน

เป็นการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุของจุลินทรีย์ชนิดที่ไม่ต้องใช้ออกซิเจน ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นจะให้ผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้ายตามปฏิกริยา ดังนี้ (Metcalf and Eddy , 1991)



ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นในส่วนที่เป็นก๊าซจะหายไป และอาจส่งกลิ่นเหม็นฟุ้งกระจาย หากไม่มีการจัดการที่ดี หรือนำไปใช้ประโยชน์ กระบวนการนี้เกิดขึ้นช้ากว่าการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจนมาก โดยอาจใช้เวลาตั้งแต่ 2 เดือน ถึง 1 ปี (มัลลิกา , 2544) ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ดังกล่าว

ในการหมักทั้งสองแบบนี้ให้ปุ๋ยที่มีคุณภาพต่างกัน ถ้านำมูลฝอยสดมาหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจนเลย อาจเกิดก๊าซผลผลิตที่เป็นอันตรายหากไม่มีการจัดการที่ดี อีกทั้งการเปลี่ยนเป็นสารอาหารของพืช จะมีน้อยกว่ากระบวนการหมักแบบใช้ออกซิเจน

1.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการหมักทำปุ๋ย

ในกระบวนการหมักถ้าต้องการให้เกิดผลดี คือ ใช้เวลาในการหมักน้อยแต่มีการสลายตัวของสารอินทรีย์สารมาก จะต้องหมักที่สภาวะที่เหมาะสม ซึ่งมีปัจจัยต่างๆที่ต้องคำนึงถึงดังนี้

1. ชนิดของมูลฝอย

ควรมีองค์ประกอบของมูลฝอยชนิดที่ย่อยสลายได้ง่ายปนอยู่มากโดยองค์ประกอบของวัสดุที่ไม่เหมาะสมต่อการหมักทำปุ๋ยไม่ควรมีเกินร้อยละ 30 ของน้ำหนักแห้งของมูลฝอยทั้งหมด (Jica , 1982)

2. ความชื้น

ความชื้นที่เหมาะสมต่อการหมักอยู่ในช่วงร้อยละ 55-65 (Golueke , 1982) ถ้าความชื้นมากเกินไป จะทำให้สัดส่วนของช่องว่างอากาศต่อเนื้อมูลฝอยน้อยลง การย่อยสลายจะเกิดขึ้นช้า และอาจเกิดกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน ซึ่งมีผลต่ออัตราการย่อยสลายมูลฝอย และยังส่งกลิ่นเหม็นกว่ากระบวนการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจนมาก แต่หากมีความชื้นน้อยเกินไป จะมีน้ำไม่เพียงพอต่อการใช้ในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ เพราะฉะนั้นเป็นตัวทำละลายที่ดี ดังนั้นถ้าความชื้นในวัสดุหมักมีปริมาณต่ำกว่าร้อยละ 30 กระบวนการย่อยสลายจะหยุดหรือเกิดขึ้นช้ามาก

3. ขนาดของวัสดุที่ใช้หมัก

ขนาดของวัสดุที่ใช้หมักที่มีขนาดเล็กจะมีพื้นที่ในการสัมผัสออกซิเจนมากกว่า ทำให้เกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายทางชีวภาพได้มากขึ้น อย่างไรก็ตามขนาดของวัสดุที่ใช้หมักที่เล็กเกินไป จะทำให้ช่องว่างภายในกองหมักเล็กลงไปด้วย ซึ่งจะขัดขวางการแพร่ของอากาศภายในกอง

หมัก เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้การย่อยสลายต้องใช้เวลาเพิ่มขึ้น (Rabbani , 1983) และหากใช้วัสดุหมักที่มีขนาดใหญ่เกินไป ภายในกองหมักจะมีช่องว่างมาก ทำให้กองหมักแห้งได้ง่าย และความร้อนที่เกิดขึ้นในกองหมักจะกระจายหายไปอย่างรวดเร็ว ทำให้กองหมักไม่ร้อนเท่าที่ควร (ธงชัย , 2535) ดังนั้นควรบด หรือสับวัสดุหมักให้มีขนาดที่เหมาะสม คือ 2.3 – 5.0 เซนติเมตร ถึง 0.5-1.5 นิ้ว (Gray , 1971) จะทำให้จุลินทรีย์เจริญเติบโตในวัสดุหมักได้ทั่วถึงและแพร่กระจายได้อย่างรวดเร็ว ดังนั้นภายในกองหมักควรมีวัสดุที่ใช้หมักขนาดชิ้นใหญ่บ้างเล็กบ้าง เพราะจะช่วยทำให้เกิดที่ว่างของอากาศในกองหมักได้ (Gataas , 1976)

4. อุณหภูมิ

อุณหภูมิเป็นปัจจัยที่สำคัญในการเกิดปฏิกิริยาเคมี และเป็นปัจจัยที่ควบคุมอัตราเร็วของปฏิกิริยาทางชีวเคมี สภาพของภูมิอากาศที่มีอิทธิพลต่อการย่อยสลาย ในฤดูร้อนอุณหภูมิสูงการย่อยสลายสารอินทรีย์เป็นไปอย่างรวดเร็ว และสามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ในมูลฝอยได้ลึกจากผิวที่สัมผัสกับอากาศถึง 20 เซนติเมตร (Jica , 1982)

อุณหภูมิในการหมักแบ่งเป็น 2 ระยะ โดยระยะแรกอยู่ในช่วง 10-40 °C หรือ 45 °C เป็นช่วงการย่อยสลายของแบคทีเรียชนิด Mesophilic และระยะที่ 2 เป็นการย่อยของ Thermophilic Bacteria อุณหภูมิระหว่าง 40 °C หรือ 45 – 70 °C (Golueke , 1987) ซึ่งกระบวนการย่อยสลายของสารอินทรีย์ส่วนใหญ่ จะเกิดในระหว่างการย่อยสลายแบบ Thermophilic นอกจากนี้ยังมีการทำลายเชื้อโรคในช่วงอุณหภูมิดังกล่าวด้วย (Polprasert , 1996)

5. อัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนของมูลฝอย (C/N Ratio)

คาร์บอนในสารอินทรีย์เป็นแหล่งพลังงานของจุลินทรีย์ เมื่อเกิดปฏิกิริยาย่อยสลายจะให้พลังงานออกมา ซึ่งจุลินทรีย์จะมีการเจริญเติบโตโดยเพิ่มจำนวนมากขึ้น ซึ่งการเพิ่มจำนวนนี้ จะมีการสร้างเซลล์ใหม่ ส่วนไนโตรเจนเป็นสิ่งจำเป็นโดยใช้ในการสังเคราะห์โปรตีน ถ้ามูลฝอยมีธาตุไนโตรเจนน้อยเกินไปจุลินทรีย์จะเพิ่มจำนวนได้น้อย โดยทั่วไปอัตราส่วนระหว่างธาตุคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N Ratio) เป็นปัจจัยที่มีความสำคัญในการควบคุมการทำงานของระบบการหมักมูลฝอย ถ้าไนโตรเจนมีมากเกินไปจะถูกเปลี่ยนเป็นแอมโมเนียกระจายสู่บรรยากาศ เกิดการสูญเสียธาตุอาหารที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช นอกจากนี้หากมีปริมาณแอมโมเนียสูงเกินไป ยังอาจ

เป็นพิษต่อกระบวนการทำงานของจุลินทรีย์อีกด้วย ฉะนั้นอัตราส่วนระหว่างธาตุคาร์บอนต่อไนโตรเจน(C/N Ratio) ที่เหมาะสมควรอยู่ระหว่าง 20-30 (Haug, 1993)

6. ปริมาณอากาศ

การระบายอากาศ หรือการให้อากาศแก่กองหมัก เป็นสิ่งจำเป็นในการหมักทำปุ๋ยแบบใช้อากาศ ซึ่งเป็นการให้ออกซิเจนแก่จุลินทรีย์ และเป็นการถ่ายเทของเสียออกจากกองหมัก นั่นก็คือ คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ การถ่ายเทอากาศที่ไม่ดี หรือมีการถ่ายเทน้อย จะก่อให้เกิดสภาพไร้อากาศ แต่ในทางตรงกันข้ามการให้อากาศถ่ายเทมากเกินไป จะทำให้กองหมักแห้งเกินไป ปริมาณอากาศที่กองหมักต้องการเท่าใดนั้น ขึ้นอยู่กับลักษณะทางกายภาพและเคมีของวัสดุที่นำมาหมัก

1.3 ขั้นตอนการหมักทำปุ๋ย

การหมักทำปุ๋ย ประกอบด้วยขั้นตอนหลักๆดังนี้ (กรมควบคุมมลพิษ , 2536)

1. การเตรียมการ เป็นขั้นตอนของการคัดแยกมูลฝอย ซึ่งไม่สามารถย่อยสลายได้ออกก่อนนำไปหมัก เช่น พลาสติก ขาง แก้ว โลหะต่างๆรวมทั้งการบดย่อยมูลฝอยให้มีขนาดเล็กลง นอกจากนี้อาจนำสารประกอบอื่นๆมาผสมในการหมัก เพื่อเพิ่มแร่ธาตุในผลผลิตได้ และเสริมสร้างให้กระบวนการหมักได้ผลดีและรวดเร็วขึ้น อาจใช้เครื่องจักรกล หรือแรงงานคนดังนี้

- แยกด้วยมือ คัดแยกวัตถุขนาดใหญ่ ออกโดยใช้คนงาน
- เครื่องบดย่อย เพื่อให้มูลฝอยมีขนาดเล็กตามที่ต้องการ
- เครื่องแยกโลหะ โดยใช้แม่เหล็กไฟฟ้า
- เครื่องอัดเป็นแท่ง
- เครื่องร่อนมูลฝอย

2. การหมัก ประกอบด้วยกลไกที่สำคัญ 2 ขั้นตอน คือ

2.1 การย่อยสลายอย่างเข้มข้น จะเกิดขึ้นในช่วง 24 ชั่วโมงแรกของการหมัก อุณหภูมิจะสูงถึง 45°C ซึ่งจะทำให้เกิดการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ประเภท Mesophilic หลังจาก 24 ชั่วโมงแรกแล้ว อุณหภูมิของสารหมักจะสูงจนถึงประมาณ 75°C สารอินทรีย์ในช่วงนี้จะถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ อุณหภูมิที่สูงระดับนี้ทำให้เชื้อโรคที่อยู่ในวัสดุหมักส่วนใหญ่ตายได้ ระยะเวลาของการเกิดกลไกนี้ขึ้นกับวิธีการหมักและองค์ประกอบของมูลฝอย โดยจะใช้ระยะเวลาประมาณ 1-5 วัน

2.2 การย่อยสลายขั้นสุดท้าย จะเกิดหลังจากกลไกการย่อยสลายอย่างเข้มข้นเสร็จสิ้นแล้ว อุณหภูมิของสารหมักจะค่อยๆ ลดลงเหลือประมาณ 30°C ซึ่งอินทรีย์สารที่ย่อยสลายได้ยาก เช่น เซลลูโลส ลิกนิน จะถูกย่อยสลายในขั้นนี้ กลไกนี้โดยปุ๋ยตะกอนจะมีลักษณะเกาะตัวค่อนข้างแน่น ทำให้การบ่มโดยอากาศธรรมชาติอาจไม่สมบูรณ์ ดังนั้นจึงต้องมีการเติมอากาศช่วย โดยต้องรักษาความชื้นในช่วงการบ่มให้ได้ร้อยละ 40

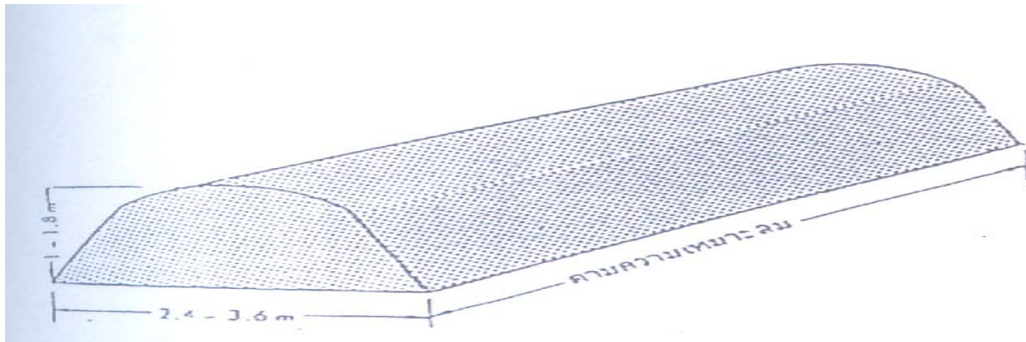
3. ขั้นสุดท้าย นำมูลฝอยที่ได้จากการหมัก ซึ่งอาจจะต้องทำ การร่อน หรือบดย่อยให้ได้ขนาดตามต้องการ ก่อนทำการรวบรวมและบรรจุลงถุง เพื่อรอการนำกลับไปใช้งาน ต่อไป

3.4 ชนิดของการหมักทำปุ๋ย

ปัจจุบันนี้มีการพัฒนาการหมัก โดยนำเทคโนโลยีและเครื่องจักรเข้าช่วย เพื่อเร่งการทำงานของจุลินทรีย์ เป็นผลให้วัตถุดิบในการหมักทำปุ๋ยเกิดการย่อยสลายอย่างรวดเร็ว โดยสามารถแบ่งชนิดของการหมักทำปุ๋ย ได้ดังนี้

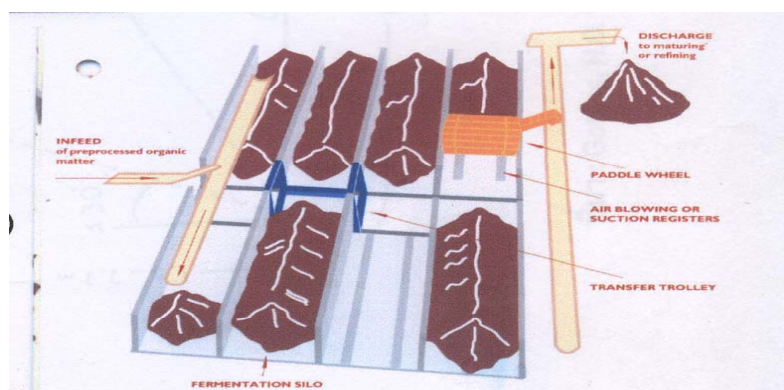
1. Windrow System

วิธีการนี้ เป็นการนำเอาวัสดุหมักมากองให้ได้ความสูงพอสมควร ที่จะทำให้การระบายอากาศได้ดี เพื่อให้การย่อยสลายสารอินทรีย์เกิดได้ดี จะต้องมีการกลับกองเพื่อให้อากาศเข้าได้ทั่วถึง เป็นการเร่งปฏิกิริยาและป้องกันสภาวะการย่อยแบบไม่ใช้ออกซิเจนด้วย ดังแสดงในภาพที่ 4



ภาพที่ 4 วิธีการหมักปุ๋ยแบบ Windrow (Gotaas , 1976)

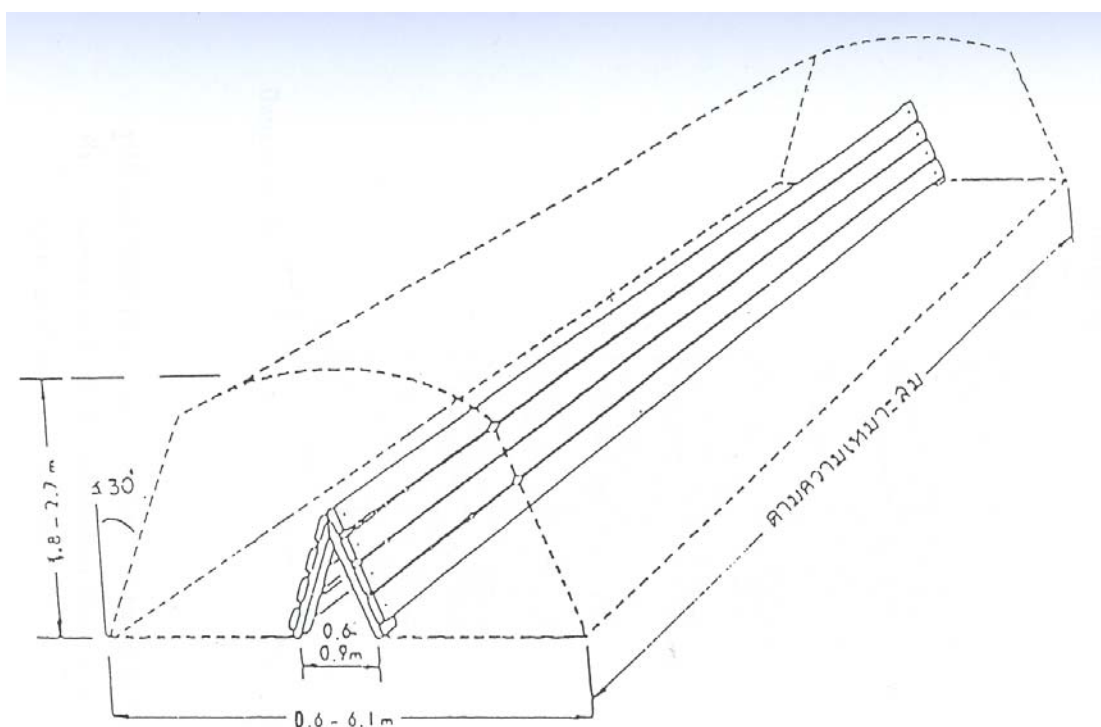
ในบางแห่งมีการใช้เครื่องจักรสำหรับกลับกองวัสดุหมัก เพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งาน เช่นเครื่อง SILODA Paddle Wheel ซึ่งมีลักษณะเป็นวงล้อที่มีใบพัดสำหรับกลับมูลฝอย ขณะล้อหมุนไปตามรางหมัก เครื่องมีดักถ้วยยังออกแบบให้สามารถเคลื่อนย้ายไปกลับกองปุ๋ยในรางอื่นๆได้ ดังแสดงในภาพที่ 5



ภาพที่ 5 เครื่องจักรกลับกองปุ๋ย (ซ้าย) รางหมักปุ๋ย(ขวา) กระบวนการหมักโดยให้เครื่องจักร (ล่าง) (อุษณิษฐ์, 2545)

2. Static Pile Composting System

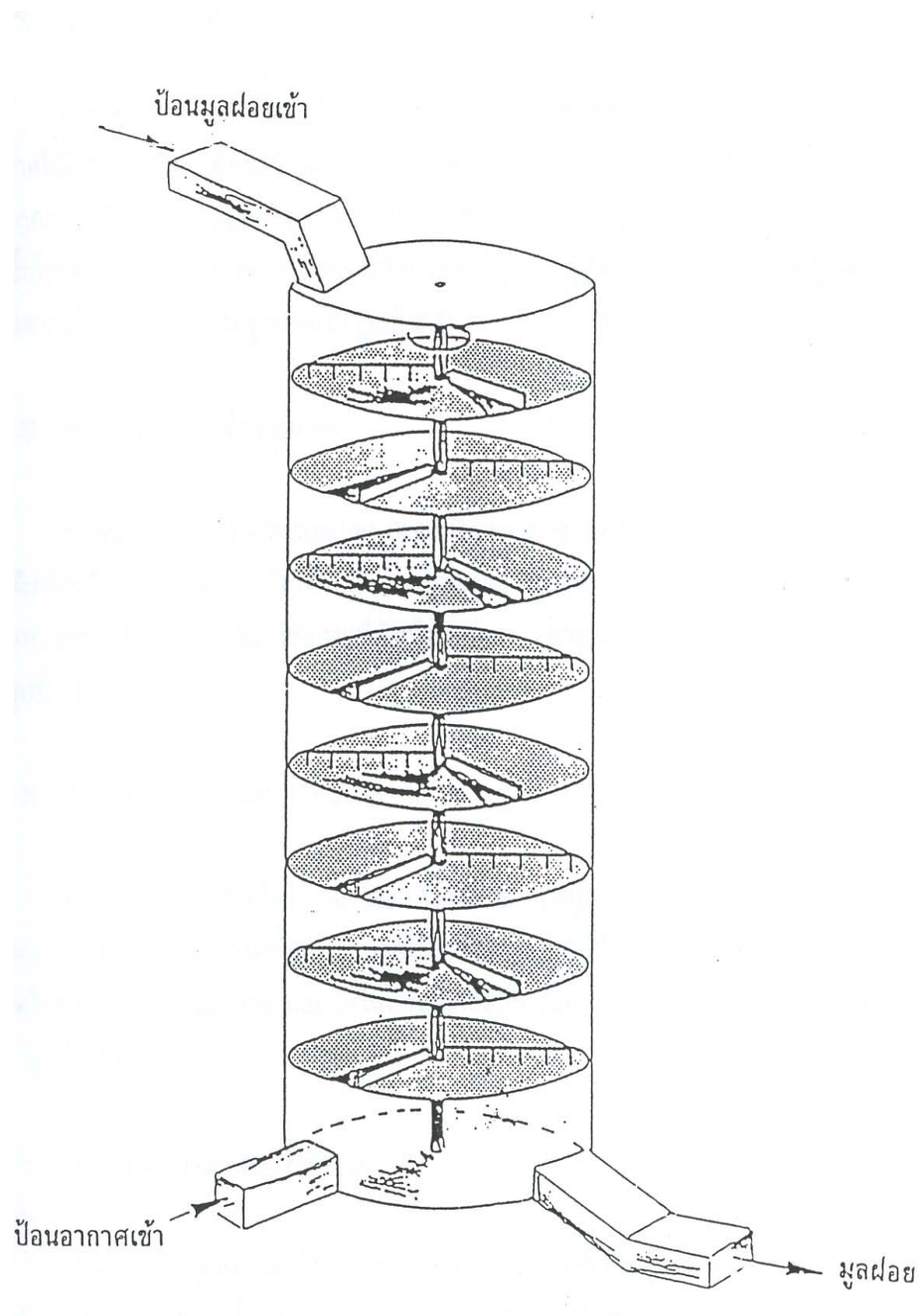
วิธีการหมักทำปุ๋ยแบบนี้คล้ายกับแบบแรก แต่ฐานการหมักจะทำในลักษณะให้มีการระบายอากาศในกองได้ทั่วถึง เช่น การใช้ไม้ไผ่เจาะช่องระบายอากาศเรียงเป็นฐาน หรือการวางท่อเป่าอากาศใต้กองหมัก เป็นต้น ดังแสดงในภาพที่ 6



ภาพที่ 6 วิธีการหมักปุ๋ยแบบ Static Pile Composting (Gotaas , 1976)

3. Round Trip Padding Fermentator

วัสดุหมักจะถูกปล่อยจากเครื่องโปรยสู่ชั้นหมัก แบบลักษณะเคลื่อนกลับไปกลับมา ไหลจากข้างบนลงล่าง มูลฝอยเหล่านี้จะย่อยสลายในขั้นตอนการหมัก โดยรับอากาศตลอดเวลาประมาณ 8 วัน ก็จะนำออกพักที่ลานตาก เพื่อให้เกิดการย่อยสลายที่สมบูรณ์ต่อไปดังแสดงในภาพที่ 7



ภาพที่ 7 วิธีการหมักปุ๋ยแบบ Round Trip Padding Fermentator (อุษณีย์ , 2545)

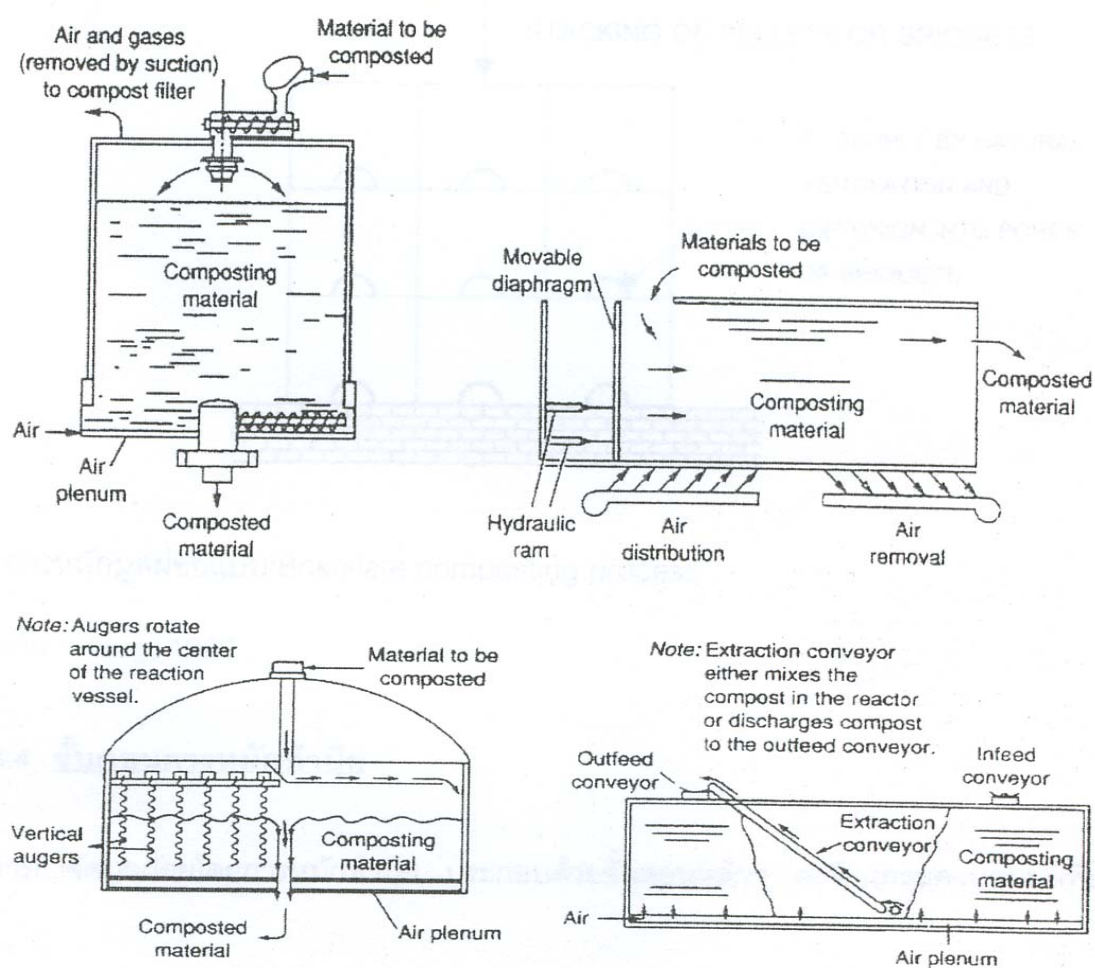
4. Dynamic Composting System

วัสดุหมักที่สามารถย่อยสลายได้จะเคลื่อนตัวช้าๆ ในถังหมักที่หมุนตลอดเวลา และมีการเติมอากาศให้แก่วัสดุหมัก ซึ่งจะใช้เวลาในการหมักขั้นแรก ประมาณ 1-2 วัน

ปฏิกิริยาการย่อยสลายจะถูกเร่ง เนื่องจากการผสมกันอย่างทั่วถึง และการเคลื่อนที่ของวัสดุหมักตลอดเวลา นอกจากนี้พวกเชื้อโรคจะถูกฆ่าตายภายใต้อุณหภูมิการหมักที่สูง โดยวัสดุหมักที่ย่อยสลายแล้วจะถูกนำออกลานตาก เพื่อให้ย่อยสลายสมบูรณ์ต่อไป

5. In vessel Composting System

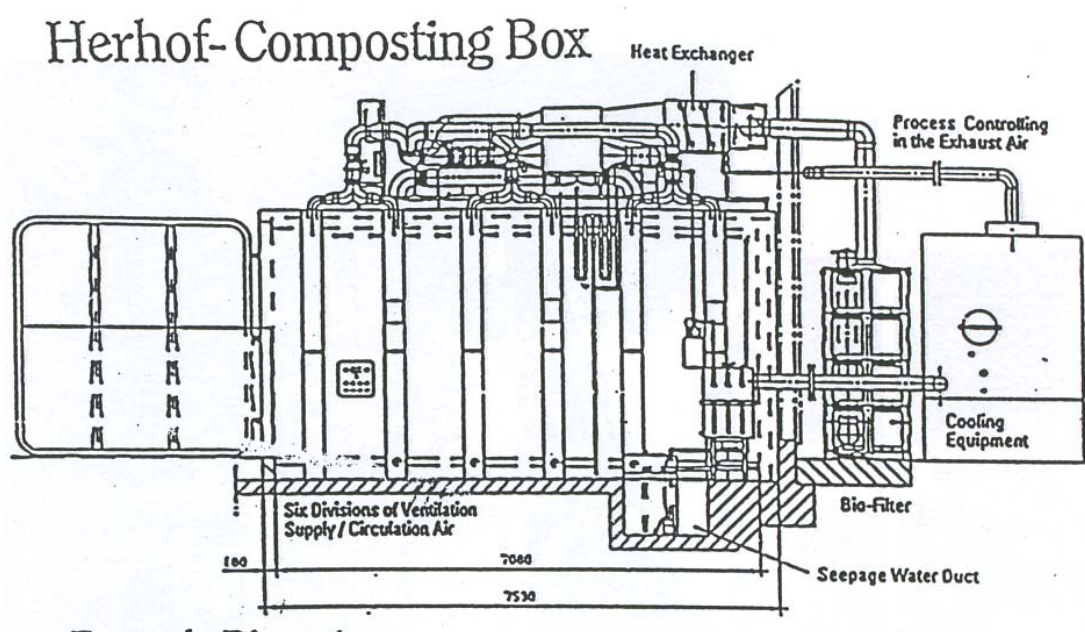
การหมักวิธีนี้คล้าย Windrow และ Static Composting แต่เป็นการหมักในภาชนะปิดที่ถูกทำให้เคลื่อนที่ตลอดเวลาด้วยเครื่องจักร จนกระทั่งสิ้นสุดการย่อยสลาย วิธีนี้ดีกว่า Windrow และ Static Composting เพราะสามารถควบคุมกลิ่น ใช้สถานที่น้อยไม่อุจาดตา ควบคุมการหมักได้ง่าย และใช้แรงงานน้อย ดังแสดงใน ภาพที่ 8



ภาพที่ 8 วิธีการหมักปุ๋ยแบบ In vessel Composting (Tchobanoglous และคณะ , 1993)

6. Tunnel Reactor Composting System

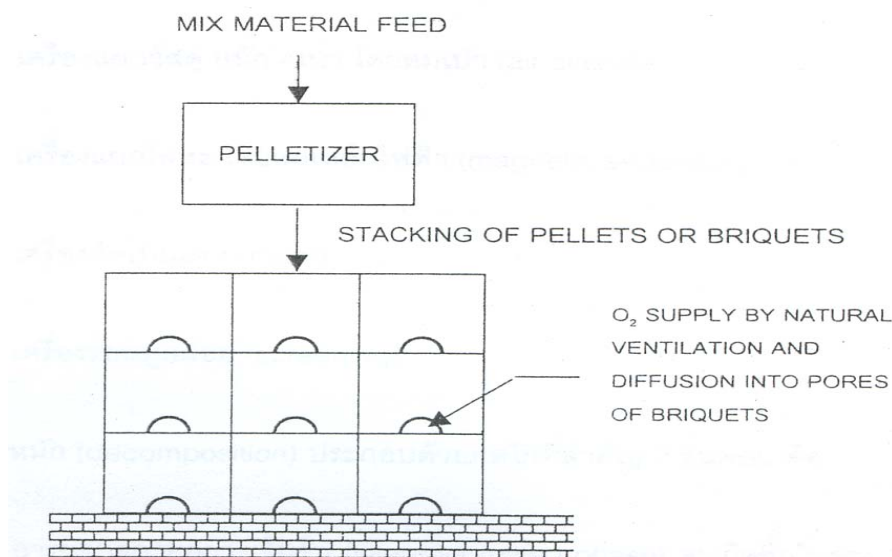
เป็นการหมักในท่อหมัก โดยเครื่องจักรต่างๆ อยู่ภายนอกถังหมัก ทำให้ง่ายต่อการซ่อมแซม การระบายอากาศทั้งเข้า และออกใช้ควบคุมได้ ทำให้การหมักได้ผลดี ดังแสดงในภาพที่ 9



ภาพที่ 9 วิธีการหมักปุ๋ยแบบ Tunnel Reactor Composting (Gotaas ,1976)

7. Brikollare Composting Process

เป็นการผลิตปุ๋ยหมักโดยวิธี Static Composting แบบพิเศษ คือ เป็นการหมักที่ผสมกากตะกอนจากการกำจัดน้ำเสียอัดเป็นก้อนประมาณ 1.6 x 1.6 เมตร แล้วนำไปเรียงเป็นชั้นในห้องหมัก ภายในห้องหมักจะควบคุมปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่สำคัญต่อการหมัก เช่น อุณหภูมิ ภายในก้อนทำให้เกิดช่องระบายอากาศได้ อากาศผ่านเข้าออกได้ช่วยในการย่อย ดังแสดงในภาพที่ 10



ภาพที่ 10 วิธีการหมักปุ๋ยแบบ Brikollare Composting (Haug ,1980)

3.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการหมักทำปุ๋ย

ผู้ศึกษาวิจัยหลายท่านได้กล่าวถึงความสัมพันธ์และความสำคัญ ของ การเติมอากาศ bulking agent และการวิเคราะห์คุณภาพของการหมักปุ๋ย ดังนี้

1. การเติมอากาศ

การเติมอากาศในการหมักเป็นสิ่งจำเป็นมากเนื่องจากจุลินทรีย์ที่ต้องการอากาศจะใช้ออกซิเจนเป็นตัวรับอิเล็กตรอนในระบบการหายใจภายในเซลล์ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการเติมอากาศ เพื่อให้ปริมาณออกซิเจนเพียงพอต่อการเจริญ และการย่อยสลายของเศษวัสดุต่างๆ ซึ่งในระบบหายใจของจุลินทรีย์นั้น ออกซิเจนจะเป็นตัวรับอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นจนได้เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ดังนั้นในสภาพที่มีออกซิเจนเพียงพอ กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในกองหมักจะมีประสิทธิภาพดี ได้พลังงานจำนวนมาก จุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในระบบเมตาโบลิซึม เพื่อสร้างส่วนประกอบของเซลล์ ในการเจริญและดำรงชีพของจุลินทรีย์ โดยจุลินทรีย์ที่ต้องการออกซิเจนประมาณร้อยละ 5-10 และจุลินทรีย์พวก mesophilic ต้องการออกซิเจนเพื่อการเจริญเติบโตประมาณ 5 % การให้ออกซิเจนในกองหมักมีหลายปัจจัย เช่น ระยะเวลาของกระบวนการทำปุ๋ยหมัก อุณหภูมิ จำนวนครั้งที่ให้อากาศ ส่วนประกอบของปุ๋ยหมัก ขนาดของวัสดุ และ

ความชื้น (เสียงแจ้วและคณะ, 2534) โดยในช่วงแรกของกระบวนการหมักความต้องการออกซิเจนมีค่าเท่ากับ 284 มิลลิลิตรต่อกิโลกรัมของแฉักระเหยต่อชั่วโมง ซึ่งวัสดุที่นำมาหมักยังมีลักษณะที่ยังสดอยู่ และความต้องการออกซิเจนมีค่าลดลงเหลือเพียง 9 มิลลิลิตรต่อกิโลกรัมของแฉักระเหยต่อชั่วโมง ในขั้นสุดท้ายของการหมักและกระบวนการหมักเสร็จภายในระยะเวลา 4 สัปดาห์ (Rabbani และคณะ, 1983) โดยที่อัตราการเติมอากาศเท่ากับ 0.03 ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัมของแฉักระเหยต่อชั่วโมง ให้ได้ผลดีที่สุดเมื่อเปิดเครื่องเติมอากาศ 8 ชั่วโมง และปิด 4 ชั่วโมง สำหรับการหมักมูลฝอยชุมชน (Danteravanich, 1989)

แต่การเติมอากาศก็ไม่ควรมีการเติมอากาศที่มากเกินไป เพราะจะทำให้เกิดสภาพที่เย็นเกินไป ซึ่งมีผลทำให้อัตราการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ลดลง หรือในอีกทางหนึ่งการเติมอากาศมากเกินไป จะทำให้ปริมาณความชื้นในกองหมักถูกระเหยมากเกินไป ทำให้กองหมักแห้งเกินไป ส่งผลให้น้ำไม่เพียงพอแก่การทำปฏิกิริยา (ถาวนา, 2528)

ในช่วงต้นของการหมักซึ่งเป็นช่วงการย่อยสลาย ต้องใช้ออกซิเจนปริมาณมาก เพราะจุลินทรีย์เจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว เนื่องจากมีกิจกรรมทางชีวเคมีสูงขึ้น ส่งผลให้อุณหภูมิในระบบสูงขึ้นไปด้วย ในระยะนี้จำเป็นต้องรักษาปริมาณออกซิเจนในระบบให้เพียงพอ เพื่อให้ระบบดำเนินไปในสภาพที่มีอากาศได้ดี ช่องว่างของวัสดุหมักที่เพียงพอในการระบายอากาศประมาณ 30 % ความต้องการออกซิเจนจะลดลงเมื่อเข้าสู่ stabilization state และในช่วง curing state มีปริมาณออกซิเจนมากเกินไปจะทำให้สูญเสียฮิวมัสและส่งเสริมให้เกิดปฏิกิริยา mineralization เร็วขึ้นทำให้สูญเสียธาตุอาหารพืชไปจากปุ๋ย สำหรับการหมักปุ๋ยเศษอาหารร่วมกับตะกอนน้ำทิ้งชุมชน (องอาจ, 2542) โดยการเติมอากาศในอัตรา 0.2 ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัมของแฉักระเหยต่อวัน เมื่อเติมตะกอนน้ำทิ้งร้อยละ 30 ของน้ำหนักกองหมัก และเมื่อสัดส่วนของตะกอนน้ำทิ้งลดลงเป็นร้อยละ 10 ของน้ำหนักกองหมัก หรือไม่มีการเติมตะกอนน้ำทิ้งเลยจะต้องเติมอากาศเพิ่มขึ้นโดยเติมอากาศในอัตรา 0.4 ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัมของแฉักระเหยต่อวัน โดยใช้ระยะเวลาในการหมัก 21-22 วัน และได้ค่าไนโตรเจน : ฟอสฟอรัส : โพแทสเซียม ของผลิตภัณฑ์ปุ๋ยหมักคือ 1.5-1.91 : 0.81-1.45 : 0.96-1.87

8. Bulking agent

Bulking agent คือ วัสดุที่เติมลงไปในการทำปุ๋ยหมัก เพื่อปรับโครงสร้างทางกายภาพ โดยเพิ่มช่องว่างให้กับวัสดุหมัก ช่วยในการระบายอากาศ และปรับองค์ประกอบทาง

เคมีของวัสดุหมักให้เหมาะสมต่อการทำปุ๋ยหมัก โดยทำหน้าที่เป็น organic amendment วัสดุที่จัดเป็น Bulking agent มีทั้งที่เป็นมูลฝอยอินทรีย์และอนินทรีย์ ซึ่งสามารถเติมลงไปในวัสดุรวมหมักกับวัสดุอื่นๆ ในการทำปุ๋ยหมัก แต่วัสดุที่จัดเป็น organic amendment เป็นมูลฝอยอินทรีย์เท่านั้น วัสดุบางชนิดสามารถทำหน้าที่เป็นทั้ง Bulking agent ในการช่วยเพิ่มช่องว่างของวัสดุหมัก และเป็น organic amendment ที่ช่วยเพิ่มปริมาณอินทรีย์คาร์บอนที่ย่อยสลายได้ง่ายให้กับส่วนผสมของวัสดุหมักได้ด้วย

การทำปุ๋ยหมักแบบ co-composting ในถังหมักจำเป็นต้องมีการควบคุมสถานะในการหมักให้เหมาะสม เพื่อให้ได้ปุ๋ยหมักที่มีคุณภาพดีในเวลาอันรวดเร็ว องค์ประกอบที่ต้องควบคุม ได้แก่ ขนาดของวัสดุหมัก ความพรุน ความชื้น ค่าความเป็นกรด-ด่าง และปริมาณคาร์บอนต่อไนโตรเจน ซึ่งในการทำปุ๋ยหมักแบบ co-composting ที่มีการเติมสารอาหารทุกวันในถังหมัก โดย Bulking agent ที่นำมาใช้นอกจากจะทำหน้าที่เป็นตัวเพิ่มอินทรีย์คาร์บอนในระบบแล้วยังทำหน้าที่เป็น Matrix ในการให้อากาศ และการเพิ่มช่องว่างของวัสดุหมัก ดังนั้น Bulking agent ที่ใช้ต้องมีความคงทนไม่เสื่อมสภาพได้ง่ายในระหว่างกระบวนการย่อยสลาย (เซ็นจิต, 2543) ซึ่งการเลือกชนิดของ Bulking agent เพื่อนำมาใช้ในการหมักทำปุ๋ย จะต้องพิจารณาถึงความเหมาะสมในด้านต่างๆ เช่น ปริมาณ C/N ratio , ปริมาณเถ้า, ค่าความเป็นกรด-ด่าง, ความสามารถในการดูดซับ, ปริมาณความชื้นโดยค่า C/N ratio ของ Bulking agent ต้องมีค่าสูงกว่า ค่า C/N ratio ของของเสียที่นำมาหมักรวมกันจะทำให้กระบวนการหมักดำเนินไปได้ด้วยดีและมีประสิทธิภาพ ส่วนปริมาณเถ้า เริ่มต้นใน Bulking agent และในของเสียที่นำมาหมักรวมกันไม่ควรสูงเกินไป เพราะจะทำให้ปุ๋ยหมักที่ได้มีปริมาณเถ้าสูงตามไปด้วย (Matin , 1993) โดยชนิดของ Bulking agent ต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณคาร์บอนในการทำปุ๋ยหมักจากเศษวัสดุในถังหมักขนาด 125 ลิตร ควบคุมความชื้นให้อยู่ในช่วง 50 – 60 % (Ekling , 2000) พบว่า องค์ประกอบทางเคมีของเศษวัสดุเหลือทิ้งต่างๆ ที่นำมาใช้ในการทำปุ๋ยหมักที่แตกต่างกันมีผลต่อกระบวนการย่อยสลาย ปริมาณของคาร์บอนที่ย่อยสลายง่าย คาร์บอนลิกนิน และอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน ในวัสดุเริ่มหมักสามารถทำนายอัตราการย่อยสลายคาร์บอนที่เกิดขึ้นระหว่างการหมักได้ โดยในวัสดุเหลือทิ้งที่มีปริมาณลิกนินเริ่มต้นสูง บ่งบอกถึงปริมาณองค์ประกอบที่ย่อยสลายยาก ซึ่งส่งผลกระทบต่อกรย่อยสลายทางชีวภาพ และทำให้ปุ๋ยหมักที่ได้มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนเหลืออยู่มาก นอกจากนี้ยังพบว่า มีการย่อยสลายของคาร์บอนในระหว่างกระบวนการหมัก เป็นปัจจัยสำคัญที่สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นระหว่างการหมัก และการผสมฟางข้าว ใบไม้ เศษกระดาษ และถ่านเลน ร่วน ลงไปเป็น Bulking agent ในการทำปุ๋ยหมักจากเศษขยะครัวเรือน จะช่วยให้สถานะในการ

หมักดำเนินไปในสภาพที่มีอากาศได้ดี การใช้ใบไม้ และเศษกระดาษ ซึ่งมีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในรูปที่ย่อยสลายง่ายเป็นองค์ประกอบอยู่สูงเป็น Bulking agent มีการย่อยสลายคาร์บอนเกิดขึ้นสูงกว่าการใช้วัสดุอื่นๆ และพบว่าการใช้ถ่านเลนร่วนมีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนหลงเหลืออยู่มากที่สุดเนื่องจากมีปริมาณลิกนินเป็นองค์ประกอบอยู่สูง

3. การวิเคราะห์คุณภาพของปุ๋ยหมัก

ปุ๋ยหมักที่หมักยังไม่เสร็จสมบูรณ์จะมีการสะสมของสารประกอบที่เป็นพิษต่อพืช (phytotoxic compound) เช่น โลหะหนัก สารประกอบฟีนอล เอทิลีน และแอมโมเนีย เกลือ และกรดอินทรีย์ (Tiquia et al., 1996) สารเหล่านี้จะมีผลต่อการงอกของเมล็ด และการเจริญเติบโตของพืช ทำให้ผลผลิตของพืชลดลง การงอกของเมล็ดพันธุ์เป็นหนึ่งในวิธีที่ง่าย สะดวก และรวดเร็วที่ใช้ในการตรวจสอบความสำเร็จสมบูรณ์ของปุ๋ยหมัก โดยการนำเมล็ดมาเพาะและนับจำนวนเมล็ดพันธุ์พืชที่เจริญเติบโต และการวัดความยาวของรากที่งอกค่าที่ได้นำมาคำนวณหาค่า ดัชนีการงอก (germination index , GI) (Wong et al. , 2001)

$$\text{Germination Index (\%)} = \frac{\text{Seed germination(\%)} \times \text{Root length of treatment} \times 100 \%}{\text{Seed germination(\%)} \times \text{Root length of control}}$$

จากการคำนวณค่าได้ค่า GI มากกว่าหรือเท่ากับ 50 % แสดงว่าปุ๋ยหมักนั้นปลอดภัยต่อพืช (Tiquia et al. , 1996) ตรวจสอบความสำเร็จสมบูรณ์ของปุ๋ยขี้หมูผสมขี้เลื่อย โดยใช้ Seed germination พบว่า ผักกาดขาว (*Brassica parachinensis*) และผักโขมจีน (*Amaranthus espinosus*) เป็นเมล็ดพันธุ์ที่มีความไวต่อการทดสอบครั้งนี้ และค่า GI ของพืชมีค่ามากกว่า 80 % ที่ 60 วันของการบ่มปุ๋ยหมักนั้นแสดงว่า ปุ๋ยหมักเสร็จสมบูรณ์ในวันที่ 60 วันของการหมัก

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. อุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการหมัก ประกอบด้วย

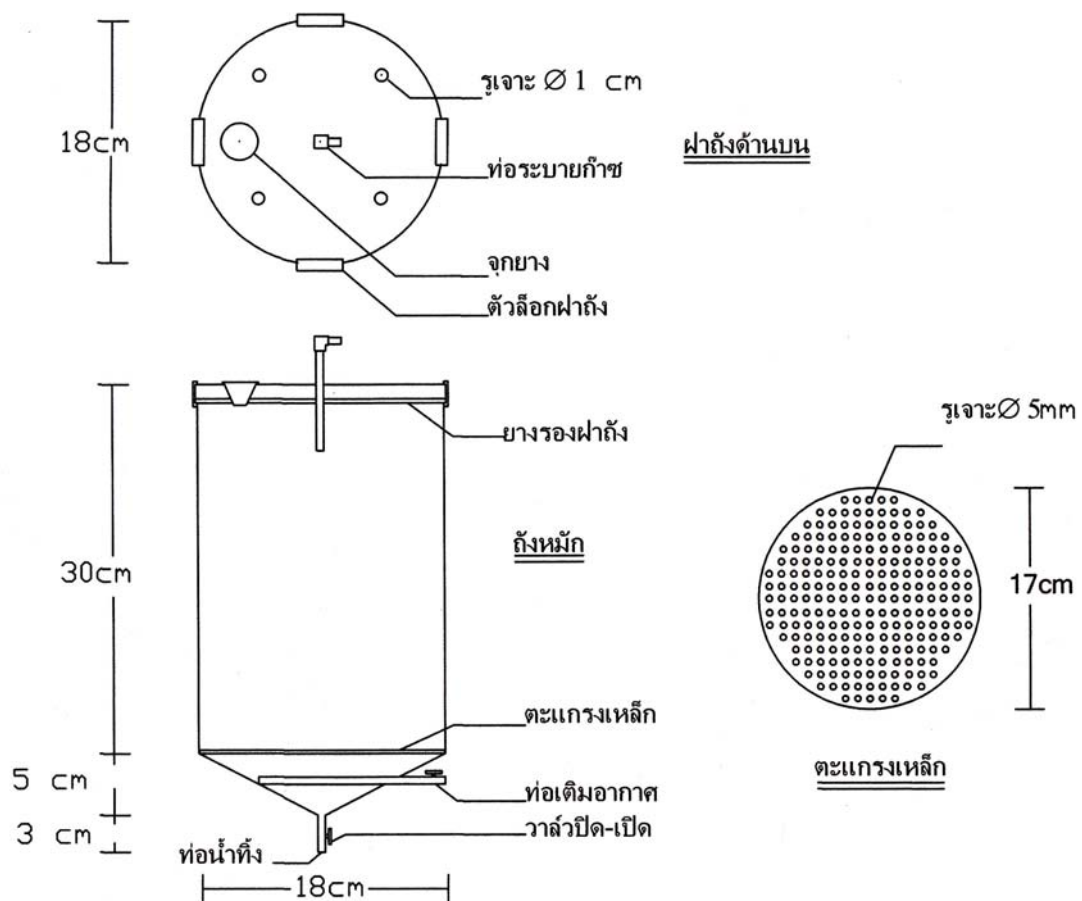
- 1.1) ถังหมักทำปฏิกิริยาขนาด 5 ลิตร ทำด้วยสแตนเลสทรงกระบอกปิดสนิท พร้อมกับฉนวนหุ้มเพื่อรักษาความร้อนรอบถังหมัก
- 1.2) ถากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งในโรงงานระยองโอเลฟินส์
- 1.3) มูลฝอยสังเคราะห์ ที่ประกอบด้วยเศษผัก
- 1.4) แกลบ
- 1.5) เครื่องเติมอากาศ
- 1.6) เทอร์โมมิเตอร์

2. อุปกรณ์ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ ประกอบด้วย

- 2.1) เครื่องมือวัดพีเอช
- 2.2) คู่อบ
- 2.3) เตาเผา
- 2.4) ตู้ดูดความชื้น
- 2.5) เครื่องชั่งน้ำหนักอย่างละเอียด
- 2.6) ถ้วยกระเบื้องทนไฟ
- 2.7) ตู้ควัน
- 2.8) ชุดเครื่องมือในการวิเคราะห์ไนโตรเจน
- 2.9) ชุดเครื่องมือในการวิเคราะห์ฟอสฟอรัส
- 2.10) ชุดเครื่องมือในการวิเคราะห์โพแทสเซียม
- 2.11) สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์พารามิเตอร์ตามที่กำหนด
- 2.12) เครื่องแก้ว และอุปกรณ์อื่นๆ

3. การสร้างถังหมัก

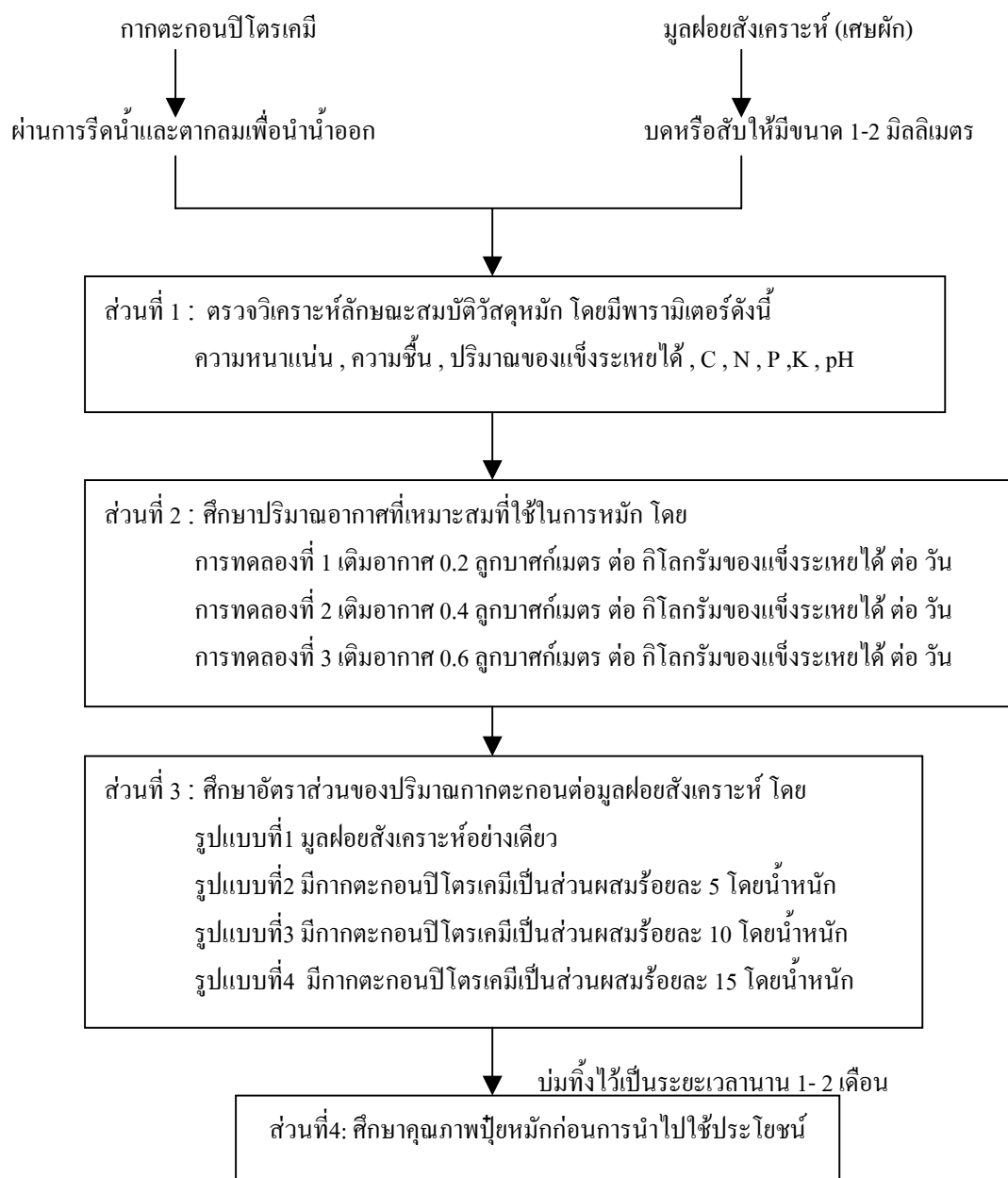
สร้างถังหมัก โดยแสดนเลส เป็นรูปทรงกระบอกปิดสนิท ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 18 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร จำนวน 1 ถัง ติดตั้งเครื่องเติมอากาศ เพื่อเป่าอากาศออกมาผ่านท่อ ซึ่งวางอยู่บนพื้นของถังหมัก เพื่อให้อากาศสามารถระบายออก และห้ามท่อด้วยฉนวนเพื่อป้องกันไม่ให้ความร้อนออกจากถัง ดังแสดงใน ภาพที่ 11



ภาพที่ 11 ถังหมัก

วิธีการ

การศึกษาการบำบัดกากตะกอนปิโตรเคมีผ่านกระบวนการหมักทำปุ๋ยร่วม แสดงดัง
ภาพที่ 12



ภาพที่ 12 แผนภาพการดำเนินการศึกษาวิจัย

1. ขั้นตอนการเตรียมมูลฝอย

ขั้นตอนการเตรียมมูลฝอยเพื่อศึกษาอัตราส่วนของกากตะกอนปีโตรเคมี กับ มูลฝอยสังเคราะห์ โดยการเติมอากาศในถังปิดแบบท่อเติมอากาศ มีดังนี้

1.1 การทำมูลฝอยสังเคราะห์ ซึ่งทำจากส่วนผสมของเศษผัก และเกลบ

1.2 การนำกากตะกอนปีโตรเคมีตามที่ต้องการมาผสมคลุกเคล้าตามสัดส่วนที่กำหนดสูตรตัวอย่างเพื่อทำการวิเคราะห์ทางเคมี และทางกายภาพ

1.3 การตรวจวิเคราะห์ลักษณะสมบัติทางกายภาพและเคมี ของกากตะกอน มูลฝอยสังเคราะห์ และวัสดุผสม โดยมีพารามิเตอร์ดังนี้ความหนาแน่น , ความชื้น , ปริมาณของแข็งระเหยได้, อัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน , ฟอสฟอรัส , โพแทสเซียม , ค่าความเป็นกรดต่าง , ปริมาณที่ฟิเอช และปริมาณโลหะหนัก

2. ขั้นตอนการหมัก (Composting)

ขั้นตอนการหมักนี้ทำในถังหมักขนาด 5 ลิตร โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วนคือ

2.1 การหาอัตราการเติมอากาศภายในถังหมักที่เหมาะสม

โดยกำหนดอัตราการเติมอากาศเป็น 0.2 , 0.4 และ 0.6 ลูกบาศก์เมตร ต่อ กิโลกรัมของแข็งระเหยได้ ต่อ วัน (องอาจ , 2542) กำหนดมูลฝอยสังเคราะห์(เศษผักและเกลบ)ให้มีอัตราส่วนเศษผักต่อเกลบ 10 / 1 โดยควบคุมอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน ให้มีค่า 30 / 1

2.2 การหาอัตราส่วนของกากตะกอนปีโตรเคมีต่อมูลฝอยสังเคราะห์ที่เหมาะสม

ศึกษาอัตราส่วนของกากตะกอนปีโตรเคมีที่เหมาะสมโดยกำหนดจากค่าคาร์บอนต่อไนโตรเจน ที่มีค่า 20-30 (Haug,1993) ซึ่งกำหนดการทดลองดังนี้

แบบที่ 1 มูลฝอยสังเคราะห์อย่างเดียว

แบบที่ 2 มีกากตะกอนปีโตรเคมีเป็นส่วนผสมร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก

แบบที่ 3 มีกากตะกอนปีโตรเคมีเป็นส่วนผสมร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก

แบบที่ 4 มีกากตะกอนปีโตรเคมีเป็นส่วนผสมร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก

3. ขั้นตอนการบ่มปุ๋ยหมัก (Maturation)

บรรจุปุ๋ยหมักที่ผ่านการย่อยสลายในช่วงการหมักลงในภาชนะที่อากาศถ่ายเทได้เพื่อให้เกิดกระบวนการบ่ม โดยควบคุมความชื้นภายในถังหมักให้มีค่ามากกว่าร้อยละ 40 จากนั้นจึงนำปุ๋ยหมักที่ผ่านกระบวนการบ่มแล้วมาการศึกษาคุณภาพของปุ๋ยหมักก่อนการนำไปใช้ประโยชน์โดยทดสอบการงอกของเมล็ดพืช เพื่อตรวจสอบความสมบูรณ์ของปุ๋ยหมัก และเปรียบเทียบกับมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ ของกรมวิชาการเกษตร

4. พารามิเตอร์และความถี่ที่ทำการวิเคราะห์

การเก็บตัวอย่างและพารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์ เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางเคมีและทางกายภาพ ในระหว่างการหมักในถังและการบ่ม แสดงดังในตารางที่ 3 โดยนำปุ๋ยหมักที่ได้หลังจากการหมักแล้วมาเปรียบเทียบวิเคราะห์ เมื่อมีอัตราส่วนของกากตะกอนปีโตรเคมีและมูลฝอยสังเคราะห์ที่แตกต่างกัน

ตารางที่ 3 การเก็บตัวอย่าง หรือวัดค่า เพื่อทำการวิเคราะห์

พารามิเตอร์	ความถี่	
	การหมัก	การบ่ม
ทางกายภาพ		
- ความหนาแน่น	เริ่มต้นและสิ้นสุดการทดลอง	เริ่มต้นและสิ้นสุดการทดลอง
- อุณหภูมิ	ทุกวัน	-
ทางเคมี		
- ฟิเอช	เริ่มต้นและสิ้นสุดการทดลอง	1 ครั้ง ต่อ สัปดาห์
- ของแข็งรวม	เริ่มต้นและสิ้นสุดการทดลอง	1 ครั้ง ต่อ สัปดาห์
- ความชื้น	เริ่มต้นและสิ้นสุดการทดลอง	1 ครั้ง ต่อ สัปดาห์
- ของแข็งระเหยได้	เริ่มต้นและสิ้นสุดการทดลอง	1 ครั้ง ต่อ สัปดาห์
- เถ้า	เริ่มต้นและสิ้นสุดการทดลอง	1 ครั้ง ต่อ สัปดาห์
- คาร์บอน	เริ่มต้นและสิ้นสุดการทดลอง	1 ครั้ง ต่อ สัปดาห์
- ไนโตรเจน	เริ่มต้นและสิ้นสุดการทดลอง	เริ่มต้นและสิ้นสุดการทดลอง
- ฟอสฟอรัส	เริ่มต้นการทดลอง	สิ้นสุดการทดลอง
- โพแทสเซียม	เริ่มต้นการทดลอง	สิ้นสุดการทดลอง
- ค่าการนำไฟฟ้า	เริ่มต้นการทดลอง	1 ครั้ง ต่อ สัปดาห์
- แอมโมเนีย	เริ่มต้นการทดลอง	1 ครั้ง ต่อ สัปดาห์
- ไนเตรท	เริ่มต้นการทดลอง	1 ครั้ง ต่อ สัปดาห์
- ปริมาณทีฟิเอช	เริ่มต้นและสิ้นสุดการทดลอง	สิ้นสุดการทดลอง

หมายเหตุ – หมายถึง ไม่มีการทดลอง

5. การเตรียมตัวอย่างในการวิเคราะห์

ตัวอย่างจะถูกนำไปอบในตู้อบความร้อนด้วยอุณหภูมิ 100-105 ° C จนน้ำหนักคงที่ แล้วนำไปเก็บไว้ใน dessicator ปลอ่ยให้เย็น แล้วชั่งน้ำหนัก นำค่าที่ได้คำนวณหาความชื้น แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 80 ° C นาน 1 ชั่วโมง แล้วปลอ่ยให้เย็นใน dessicator สำหรับวิเคราะห์ทางเคมี

6. วิธีการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ

วิธีการวิเคราะห์ที่ใช้ในการหาคุณสมบัติทางด้านกายภาพและเคมีของตัวอย่างแสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 วิธีการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ

พารามิเตอร์	วิธีการวิเคราะห์
ความหนาแน่น	ชั่งน้ำหนักและวัดปริมาตรของวัสดุห้ก
พีเอช	pH meter
อุณหภูมิ	Thermometer
ความชื้น	Gravimetric Method
เถ้า	การเผาที่อุณหภูมิ 650 ° C นาน 2 ชั่วโมง
ของแข็งระเหยได้	การเผาที่อุณหภูมิ 650 ° C นาน 2 ชั่วโมง
อินทรีย์คาร์บอน	การคำนวณ
ไนโตรเจน	Semi- micro Kjeldahl Medthod
ฟอสฟอรัส	Colorimetric Method
โพแทสเซียม	Atomic Absorption Spectrophotometer
ทีพีเอช	IR Spectrophotometer

สถานที่และระยะเวลาทำการวิจัย

สถานที่ทำการวิจัย ภาควิชากรรมสิ่งแวดล้้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย
เกษตรศาสตร์ บางเขน กรุงเทพฯ 10900

ระยะเวลาทำการวิจัย 1 มิถุนายน 2548 ถึง 31ตุลาคม 2549

ผลและวิจารณ์

การบำบัดกากตะกอนเร่งของอุตสาหกรรมปิโตรเคมีผสมกับมูลฝอยสังเคราะห์ในการหมักทำปุ๋ย ได้แบ่งการทดลองออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้ (1) การวิเคราะห์ลักษณะสมบัติทางกายภาพและเคมีของกากตะกอน มูลฝอยสังเคราะห์ และวัสดุผสม (2) การหาอัตราการเติมอากาศที่เหมาะสมในการหมักทำปุ๋ย โดยควบคุมค่าคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นให้อยู่ที่ 20-30 / 1 (Haug, 1993) โดยกำหนดอัตราการเติมอากาศอยู่ที่ 0.2 , 0.4 และ 0.6 ลูกบาศก์เมตร / กิโลกรัมของของแข็งระเหย / วัน (3) การหาอัตราส่วนของกากตะกอนปิโตรเคมีที่เหมาะสมในการหมักทำปุ๋ย โดยมีการเติมกากตะกอนในอัตราส่วนร้อยละ 0 , 5 , 10 และ 15 โดยปริมาตร (4) การศึกษาคุณภาพปุ๋ยหมักเทียบกับมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตรและการทดสอบความเป็นพิษของปุ๋ยหมัก โดยการทดสอบการงอกของเมล็ดพืช ผลการทดลองสามารถแสดงได้ดังนี้

1. การวิเคราะห์ลักษณะสมบัติทางกายภาพและเคมีของกากตะกอน มูลฝอยสังเคราะห์และวัสดุผสม

1.1 ลักษณะสมบัติของกากตะกอนจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี

จากการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของกากตะกอนปิโตรเคมี พบว่า ปริมาณโลหะหนักไม่เกินมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2548 ของกรมวิชาการเกษตร แสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ปริมาณโลหะหนักของกากตะกอนเทียบกับมาตรฐาน

พารามิเตอร์	ค่าที่วิเคราะห์ได้ (mg/kg)	ค่ามาตรฐาน (mg/kg)
อาร์ซีนิก	น้อยกว่า 0.01	ไม่เกิน 50
แคดเมียม	น้อยกว่า 0.01	ไม่เกิน 5
โครเมียม	น้อยกว่า 0.02	ไม่เกิน 300
ตะกั่ว	น้อยกว่า 0.05	ไม่เกิน 500
ปรอท	น้อยกว่า 0.001	ไม่เกิน 2

หมายเหตุ * มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2548 ของกรมวิชาการเกษตร

ดังนั้นในการทดลองนี้จึงไม่ทดสอบปริมาณโลหะหนัก ส่วนปริมาณปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนทั้งหมด (ทีพีเอช) ซึ่งค่าความเป็นองค์ประกอบหลักของกากตะกอนปิโตรเคมี พบว่ามีค่าความเข้มข้น 118.75 มิลลิกรัม / กิโลกรัม โดยสารปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนทั้งหมดนี้บางส่วนอาจเป็นพิษต่อระบบและอาจเป็นพิษต่อการงอกของเมล็ดพืชและการเจริญเติบโตของพืชได้ เช่น สารเอทิลีน ดังนั้นในการวิเคราะห์จะวัดค่าปริมาณปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนทั้งหมดทั้งในส่วนเริ่มต้นการหมักและหลังจากการหมัก

อัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนของกากตะกอนมีค่า 9.09 ซึ่งอัตราส่วนดังกล่าวเป็นช่วงที่ไม่เหมาะสมต่อการหมักทำปุ๋ย เนื่องจากปริมาณไนโตรเจนที่มีอยู่สูงมากก่อให้เกิดผลกระทบต่อการทำงานของจุลินทรีย์ รวมทั้งกากตะกอนที่นำมาทดลองมีค่าความชื้นร้อยละ 37.22 ซึ่งมีค่าค่อนข้างต่ำ แต่เมื่อพิจารณาปริมาณโลหะหนัก พบว่าปริมาณโลหะหนักไม่เกินมาตรฐาน ดังนั้นกากตะกอนสามารถนำมาหมักทำปุ๋ยได้ แต่ต้องนำมาผสมกับวัสดุอื่นเพื่อเพิ่มปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนทำให้อัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนเหมาะสมในช่วง 20 –30 และปรับความชื้นให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการหมัก

1.2 ลักษณะสมบัติของมูลฝอยสังเคราะห์

เนื่องจากกากตะกอนที่ต้องการทดสอบมีปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนและความชื้นไม่เพียงพอ ดังนั้นการนำมูลฝอยสังเคราะห์ที่ประกอบด้วย เศษผัก และ แกลบ มาผสมจะช่วยทำให้อัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนและความชื้นเหมาะสมซึ่งเมื่อนำวัสดุดังกล่าวมาตรวจวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและเคมี แสดงดังตารางที่ 6 สามารถสรุปได้ดังนี้

1. ความชื้น (Moisture content)

จากการตรวจวิเคราะห์ความชื้นของวัสดุหมักทั้ง 2 ชนิด พบว่า เศษผักมีความชื้นค่อนข้างสูงเฉลี่ยร้อยละ 91.28 ส่วนแกลบมีความชื้นต่ำมากเพียงร้อยละ 6.61 ซึ่งแกลบทำหน้าที่เป็น bulking agent ที่นำมาผสมกับเศษผัก เพื่อปรับโครงสร้างทางกายภาพ โดยเพิ่มช่องว่างให้กับวัสดุหมัก และปรับองค์ประกอบทางเคมีของวัสดุหมัก โดยการศึกษาครั้งนี้ใช้เศษผักซึ่งมีน้ำเป็นองค์ประกอบค่อนข้างมาก เมื่อทำการหมักวัสดุดังกล่าวสามารถทำได้ง่าย และไม่จำเป็นต้องเติมน้ำให้แก่วสดุหมัก

2. อัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio)

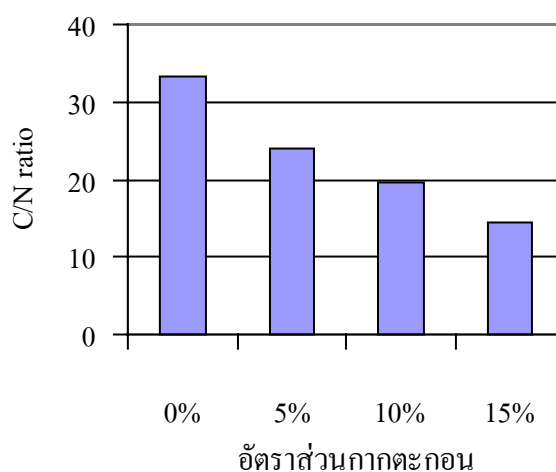
จากการตรวจวิเคราะห์อัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนของวัสดุหมักทั้ง 2 ชนิดพบว่า เศษผักมีอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนเป็น 27.30 ส่วนแกลบมีอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนเป็น 116.90 ซึ่งเป็นค่าค่อนข้างสูง เมื่อใส่วัสดุรวมหมัก ลงในกากตะกอนจะทำให้ค่า อัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน อยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการหมักปุ๋ย คือ 20-30 (Haug, 1993)

ตารางที่ 6 ผลการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติทางกายภาพและเคมีวัสดุหมักชนิดต่างๆที่ใช้ในการทดลอง

วัสดุหมัก พารามิเตอร์	กากตะกอน	ผัก	แกลบ
ความชื้น (%)	37.22	91.28	6.61
ของแข็งรวม (%)	67.78	8.72	93.39
ของแข็งระเหย (mg / kg)	822,600	855,200	841,700
เถ้า (mg / kg)	177,400	144,800	158,300
คาร์บอน (mg / kg)	457,000	475,100	467,600
ไนโตรเจน (mg / kg)	50,300	17,400	4,000
คาร์บอน/ไนโตรเจน	9.09	27.30	116.90
ฟอสฟอรัส (mg / kg)	30,300	4,800	1,500
โพแทสเซียม (mg / kg)	5,300	10,800	7,000
พีเอช	7.70	6.11	6.19
ทีพีเอช (mg / kg)	118.75	-	-

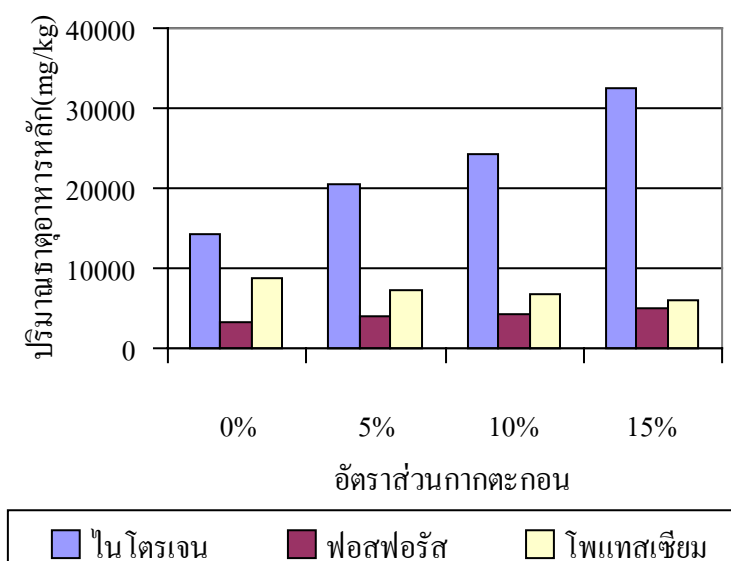
1.3 ลักษณะทางกายภาพและเคมีของวัสดุผสมเริ่มต้น

จากการเก็บตัวอย่างวัสดุผสมไปทำการตรวจวิเคราะห์ พบว่า ลักษณะสมบัติทางกายภาพและเคมีของวัสดุผสมเริ่มต้นเปลี่ยนแปลงตามสัดส่วนของกากตะกอนปิโตรเคมีและมูลฝอยสังเคราะห์ที่เติมลงไป กล่าวคือ วัสดุหมักที่มีการผสมระหว่างเศษผัก แกลบ และกากตะกอน ทำให้ค่าความชื้นของวัสดุผสมลดลงอยู่ในช่วงที่เหมาะสมคือ 40-80 % (Leemaharounguang , 1988) อย่างไรก็ตามการเติมกากตะกอนเพิ่มขึ้นมีผลทำให้อัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนมีค่าลดลง ดังแสดงใน ภาพที่ 13 ซึ่งมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพของการหมักทำปุ๋ย ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการหาอัตราส่วนของกากตะกอนต่อมูลฝอยสังเคราะห์



ภาพที่ 13 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนกับอัตราการเติมกากตะกอน

อัตราส่วนของกากตะกอนปิโตรเคมีและมูลฝอยสังเคราะห์มีผลต่อปริมาณธาตุอาหารหลักของพืช ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมโดยไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่เพิ่มขึ้นจากการเพิ่มปริมาณกากตะกอนมีผลดีต่อการทดลองเนื่องจากมีผลต่อการทำงานของจุลินทรีย์แบบใช้ออกซิเจน ทำให้จุลินทรีย์ทำงานได้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น (Haug, 1993) ส่วนโพแทสเซียมเมื่อเพิ่มกากตะกอนปิโตรเคมีแล้วจะมีปริมาณลดลง ซึ่งไม่มีผลต่อการหมัก แต่มีผลในการนำไปใช้ประโยชน์โดยการเร่งการเจริญเติบโตของรากและลำต้น และการเพิ่มปริมาณกากตะกอนไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชในวัสดุหมักเนื่องจากตะกอนมีพีเอชเป็นกลาง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการหาอัตราส่วนของกากตะกอนและมูลฝอยสังเคราะห์ในการทดลองครั้งนี้ ดังแสดงใน ภาพที่ 14



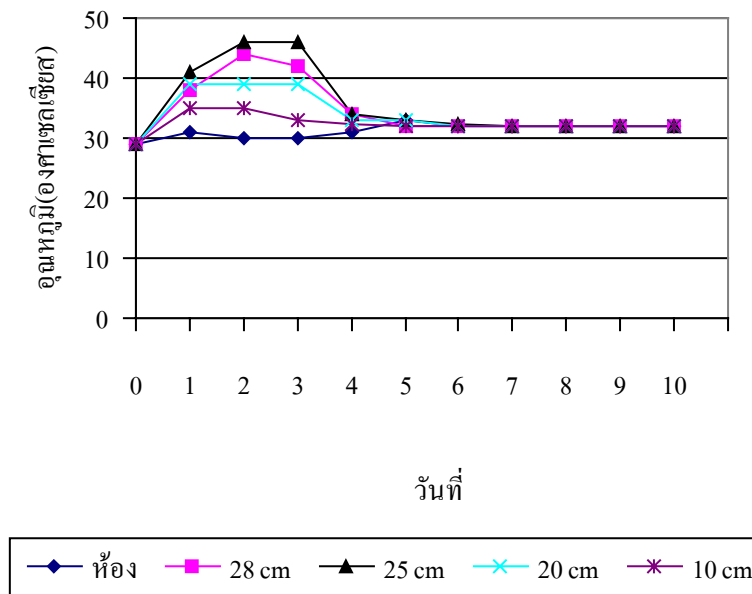
ภาพที่ 14 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณธาตุอาหารหลักของพืชกับอัตราการเติมน้ำ

2. การหาอัตราการเติมน้ำที่เหมาะสมต่อกระบวนการหมัก

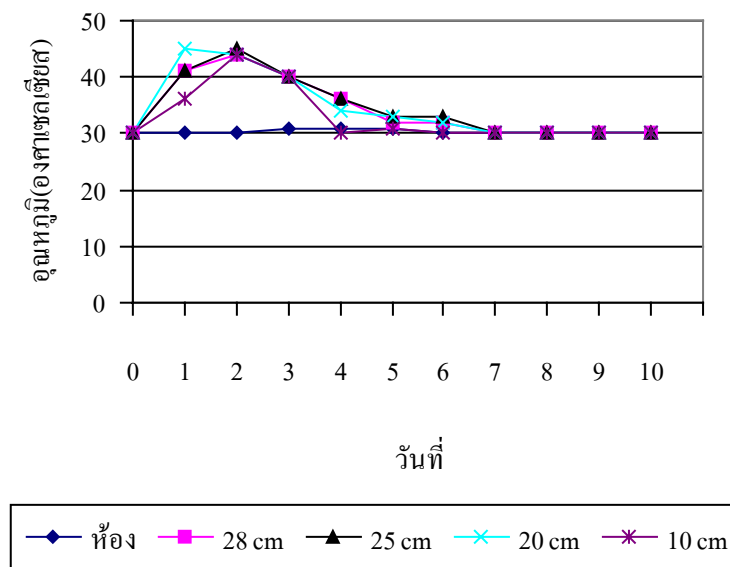
ในศึกษาครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อหาปริมาณน้ำที่เหมาะสมกับถังหมักใบนี้ โดยทำการควบคุมอัตราส่วนของมูลฝอยสังเคราะห์ให้มีสัดส่วนคงที่ให้อัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนมีค่า 30 / 1 โดยมีอัตราส่วนของเศษผักต่อแกลบ 10 / 1 แล้ว ปรับอัตราการเติมน้ำในถังหมักให้มีปริมาณน้ำ 0.2 , 0.4 และ 0.6 ลูกบาศก์เมตร / กิโลกรัมของแฉะระเหยได้ /วัน โดยอัตราการเติมน้ำมีผลต่อพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น อุณหภูมิ,ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ผลิตได้, การเปลี่ยนแปลงความชื้น และของแฉะระเหยได้ ผลการทดลองแสดงได้ดังนี้

1. ผลของการเติมน้ำต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

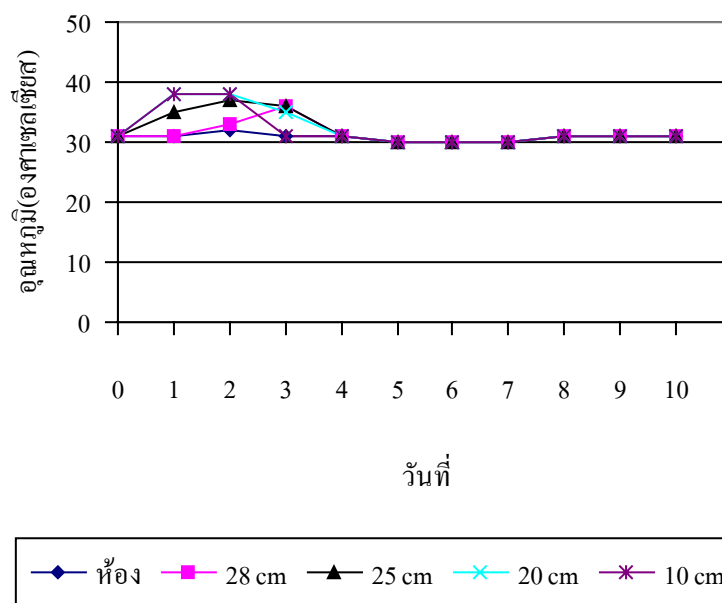
ในการทดลองนี้ อุณหภูมิภายในถังหมักจะถูกวัดที่ระดับความลึกต่างๆ กันคือ ที่ 28 , 25 , 20 และ 10 เซนติเมตรจากด้านบนของถังทุกวัน ผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ แสดงดังภาพที่ 15 ถึง 17



ภาพที่ 15 อุณหภูมิในถังหมัก ที่อัตราการเติมอากาศ $0.2 \text{ m}^3 / \text{kgVS} / \text{d}$



ภาพที่ 16 อุณหภูมิในถังหมัก ที่อัตราการเติมอากาศ $0.4 \text{ m}^3 / \text{kgVS} / \text{d}$



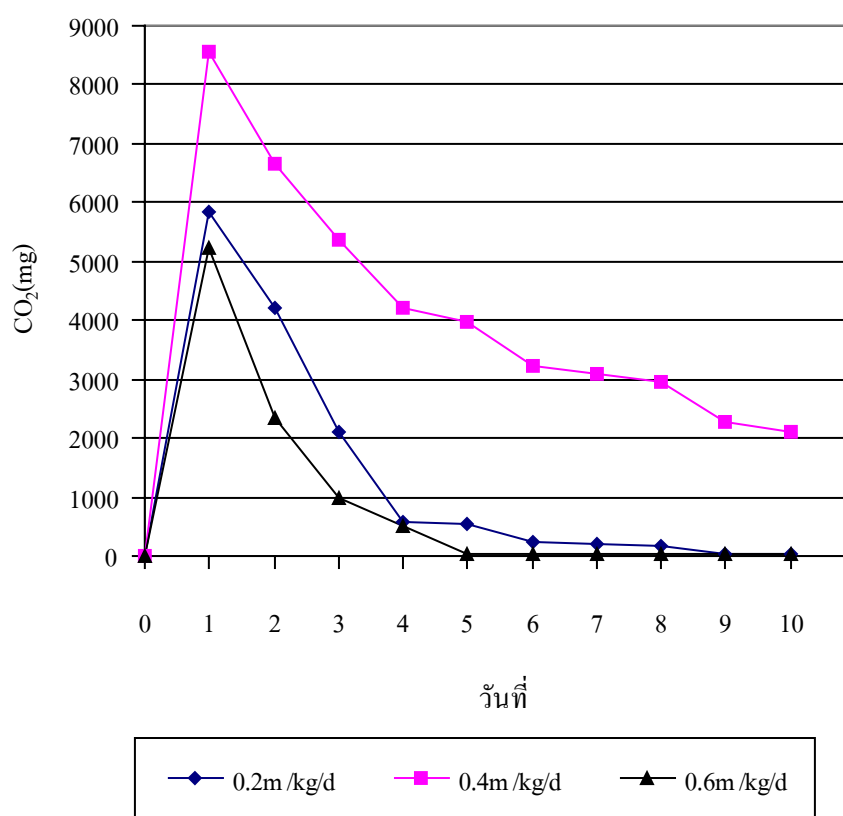
ภาพที่ 17 อุณหภูมิในถังหมักที่อัตราการเติมอากาศ $0.6 \text{ m}^3 / \text{kgVS} / \text{d}$

โดยผลการทดลองพบว่าที่ระดับความลึกต่างกันอุณหภูมิภายในถังหมักมีค่าใกล้เคียงกัน ในทุกจุดแสดงว่า การใส่ฉนวนกันความร้อนสามารถรักษาอุณหภูมิภายในถังหมักให้เหมาะสมต่อการหมักทำปุ๋ย

อุณหภูมิเกิดขึ้นจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ โดยจุลินทรีย์ โดยจากการทดลอง พบว่าที่อัตราการเติมอากาศ 0.4 ลูกบาศก์เมตร / กิโลกรัมของของแข็งระเหย / วัน อุณหภูมิเพิ่มสูงถึงอุณหภูมิที่กำหนด คือ $30 - 50$ องศาเซลเซียส ส่วนที่อัตราการเติมอากาศ 0.2 ลูกบาศก์เมตร / กิโลกรัมของของแข็งระเหย / วัน ทำให้เกิดสภาพไร้อากาศขึ้นบริเวณด้านบนของถังหมัก ทำให้การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิไม่สูง และเมื่อเทปุ๋ยหมักออกจากถังหมัก พบว่าวัสดุหมักมีลักษณะชื้นแฉะและมีกลิ่นเหม็น ส่วนที่อัตราการเติมอากาศ 0.6 ลูกบาศก์เมตร / กิโลกรัมของของแข็งระเหย / วัน เป็นการให้อากาศที่มากเกินไปทำให้ปุ๋ยหมักแห้ง รวมทั้งเป็นการสิ้นเปลืองและก่อให้เกิดการสูญเสียความร้อนขึ้นได้ ซึ่งสังเกตได้จากอุณหภูมิในถังหมักไม่สูง อีกทั้งเมื่อเทวัสดุหมักออกมาพบว่าบริเวณส่วนล่างที่มีการเติมอากาศมีลักษณะแห้ง โดยเกิดจากการระเหยของน้ำออกจากถังหมักมากเกินไป

2. ผลของการเติมอากาศต่อปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ผลิตได้

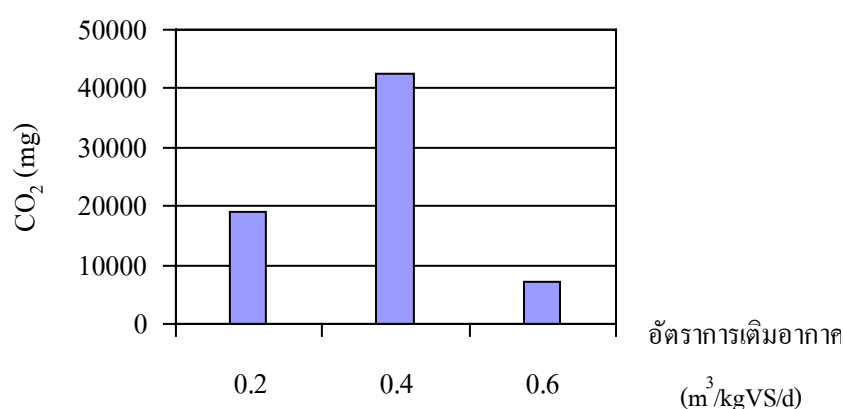
การหมักแบบใช้ออกซิเจนเป็นการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์ที่ต้องการออกซิเจน ผลผลิตที่ได้ คือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และพลังงานในรูปของความร้อน โดยเมื่อพิจารณาปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นใน แต่ละวันของการหมัก ดังภาพที่ 18 พบว่า อัตราการเติมอากาศ ที่ 0.2 และ 0.6 ลูกบาศก์เมตร / กิโลกรัมของของแข็งระเหย / วัน มีแนวโน้มในการเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์น้อยกว่าอัตราการเติมอากาศที่ 0.4 ลูกบาศก์เมตร / กิโลกรัมของของแข็งระเหย / วัน โดยสอดคล้องกับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น (ภาคผนวก ค)



ภาพที่ 18 ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นในแต่ละวันของการหมักทำปุ๋ย

อีกทั้งเมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าที่อัตราการเติมอากาศ 0.4 ลูกบาศก์เมตร / กิโลกรัมของของแข็งระเหย / วัน มีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกิดขึ้นมากที่สุด รองลงมาคือ อัตราการเติมอากาศที่ 0.2 และ 0.6 ลูกบาศก์เมตร / กิโลกรัมของของแข็งระเหย / วัน ตามลำดับ ซึ่งแสดงดังภาพที่ 19 นั้นแสดงว่าการเติมอากาศด้วยอัตรา 0.4 ลูกบาศก์เมตร / กิโลกรัมของของแข็งระเหย /

วัน วัสดุหมักเกิดการย่อยสลายได้ดีกว่า เมื่อทดสอบทางสถิติ (ภาคผนวก จ) พบว่าอัตราการเติมอากาศที่แตกต่างกันมีผลทำให้เกิดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยอัตราการเติมอากาศที่ 0.4 ลูกบาศก์เมตร / กิโลกรัมของของแข็งระเหย / วัน มีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกิดขึ้นมากกว่ากลุ่มที่มีการเติมอากาศ 0.2 และ 0.6 ลูกบาศก์เมตร / กิโลกรัมของของแข็งระเหย / วัน และการเติมอากาศที่ 0.2 ลูกบาศก์เมตร / กิโลกรัมของของแข็งระเหย / วัน ทำให้ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกิดขึ้นมากกว่า 0.6 ลูกบาศก์เมตร / กิโลกรัมของของแข็งระเหย / วัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

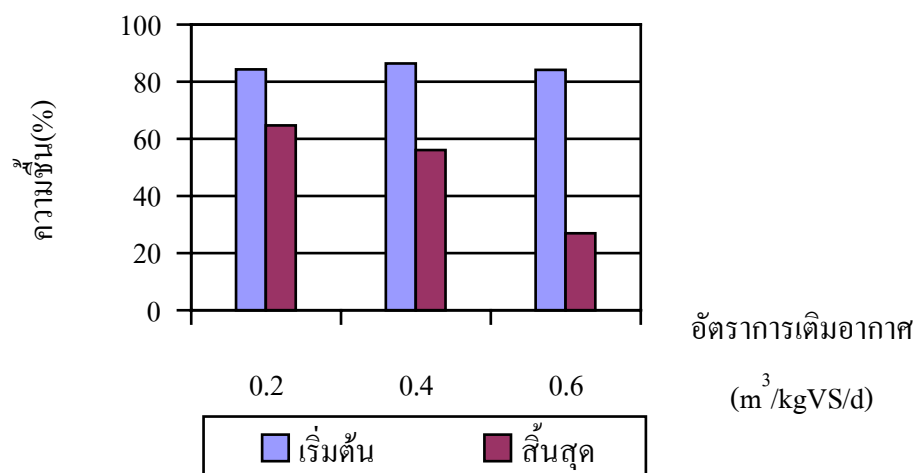


ภาพที่ 19 อัตราการเติมอากาศกับปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นทั้งหมด

3. ผลของการเติมอากาศต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้น

การเติมอากาศด้วยอัตรา 0.2 ลูกบาศก์เมตร / กิโลกรัมของของแข็งระเหย / วัน ปริมาณความชื้นภายในถังหมักลดลงเฉลี่ยร้อยละ 15.05 ซึ่งลดลงน้อยกว่าการเติมอากาศด้วยอัตรา 0.4 ลูกบาศก์เมตร / กิโลกรัมของของแข็งระเหย / วัน ที่ความชื้นเฉลี่ยลดลงร้อยละ 21.95 และการเติมอากาศด้วยอัตรา 0.6 ลูกบาศก์เมตร / กิโลกรัมของของแข็งระเหย / วัน ที่ความชื้นเฉลี่ยลดลงร้อยละ 46.82 โดยเมื่อทดสอบทางสถิติ (ภาคผนวก จ) พบว่าอัตราการเติมอากาศที่แตกต่างกันมีผลทำให้ความชื้นลดลงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการเติมอากาศด้วยอัตรา 0.6 ลูกบาศก์เมตร / กิโลกรัมของของแข็งระเหย / วัน มีการลดลงของความชื้นมากกว่าการเติมอากาศที่ 0.2 และ 0.4 ลูกบาศก์เมตร / กิโลกรัมของของแข็งระเหย / วัน และการเติมอากาศที่ 0.4 ลูกบาศก์เมตร / กิโลกรัมของของแข็งระเหย / วัน มีปริมาณความชื้นลดลงมากกว่าการเติมอากาศที่ 0.2 ลูกบาศก์เมตร / กิโลกรัมของของแข็งระเหย / วัน อีกด้วย โดยการเติมอากาศที่ 0.6 ลูกบาศก์เมตร / กิโลกรัมของของแข็งระเหย / วัน พบว่าปริมาณความชื้นในวัสดุหมักลดลงอย่างมาก จนระบบไม่สามารถทำงาน

ต่อได้ เพราะการทำงานของจุลินทรีย์จำเป็นต้องใช้น้ำในการส่งผ่านอาหาร และก๊าซออกซิเจน อีกทั้งเป็นตัวกลางในการส่งผ่านเอนไซม์เข้าไปย่อยสลายวัสดุหมักด้วย



ภาพที่ 20 ปริมาณความชื้นของวัสดุหมักที่เริ่มใส่ในถังหมัก เปรียบเทียบกับวัสดุที่นำออกมาจากถังหมัก

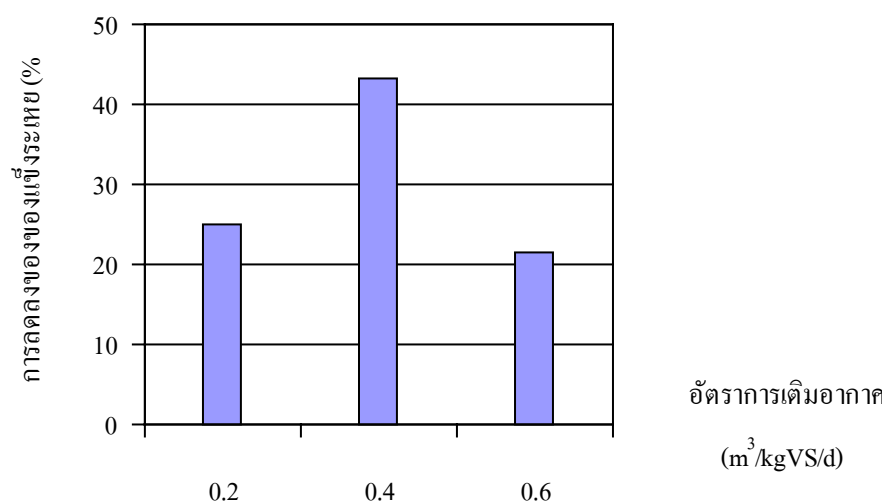
ในช่วงการบ่มปุ๋ยนี้ควบคุมความชื้นของวัสดุหมักให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมคือ ร้อยละ 50-60 (กรมควบคุมมลพิษ , 2547) เพื่อให้การบ่มปุ๋ยมีประสิทธิภาพมากที่สุด

4. ผลของการเติมอากาศต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแอมโมเนียได้

เมื่อนำวัสดุหมักออกจากถังหมัก เพื่อวิเคราะห์ปริมาณของแอมโมเนียได้ พบว่าปริมาณของแอมโมเนียได้ลดลง และมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแอมโมเนีย ดังแสดงใน ภาพที่ 21

จากตาราง พบว่า ปริมาณของแอมโมเนียทุกการทดลองมีปริมาณลดลง โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การเติมอากาศที่ 0.4 ลูกบาศก์เมตร / กิโลกรัมของของแอมโมเนีย / วัน มีปริมาณของของแอมโมเนียลดลงได้มากที่สุด รองลงมาคือ อัตราการเติมอากาศที่ 0.2 และ 0.6 ลูกบาศก์เมตร / กิโลกรัมของของแอมโมเนีย / วัน ตามลำดับ นั้นแสดงว่า อัตราการเติมอากาศที่เหมาะสมคือ อัตราการเติมอากาศที่ 0.4 ลูกบาศก์เมตร / กิโลกรัมของของแอมโมเนีย / วัน เนื่องจากปริมาณของแอมโมเนียภายในถังหมักที่ลดลงในระหว่างการหมักนั้น เกิดจากการสลายตัวของสารอินทรีย์ในกองหมัก โดย

ปฏิกิริยาของจุลินทรีย์ เพื่อนำสารอินทรีย์เหล่านั้นมาใช้เป็นแหล่งอาหาร และพลังงานในการเจริญเติบโต จำเป็นต้องอาศัยปริมาณอากาศที่เหมาะสมในการย่อยสลายสารอินทรีย์ เมื่อทดสอบทางสถิติ(ภาคผนวก จ) พบว่า อัตราการเติมอากาศที่แตกต่างกันมีผลทำให้ปริมาณของของแข็งระเหยได้ลดลงแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยการเติมอากาศที่ 0.4 ลูกบาศก์เมตร / กิโลกรัมของของแข็งระเหย / วัน มีการลดลงของปริมาณของแข็งระเหยได้มากกว่ากลุ่มที่เติมอากาศ 0.2 และ 0.6 ลูกบาศก์เมตร / กิโลกรัมของของแข็งระเหย / วัน ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับการหมักมูลฝอยตลาดสดกับเศษพืช และปริมาณที่เหมาะสมในการทำปุ๋ยหมักจากถังหมักแบบปิด คือ 0.4 ลูกบาศก์เมตร / กิโลกรัมของของแข็งระเหย / วัน (พิกุลทอง , 2544)



ภาพที่ 21 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งระเหยได้ในอัตราการเติมอากาศต่างๆกัน

ดังนั้นในการหาอัตราการเติมอากาศที่เหมาะสมต่อการหมักทำปุ๋ยนี้พบว่า อัตราการเติมอากาศที่ 0.4 ลูกบาศก์เมตร / กิโลกรัมของของแข็งระเหย / วัน เป็นปริมาณที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากมีปริมาณการลดลงของของแข็งระเหยได้และเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากที่สุด

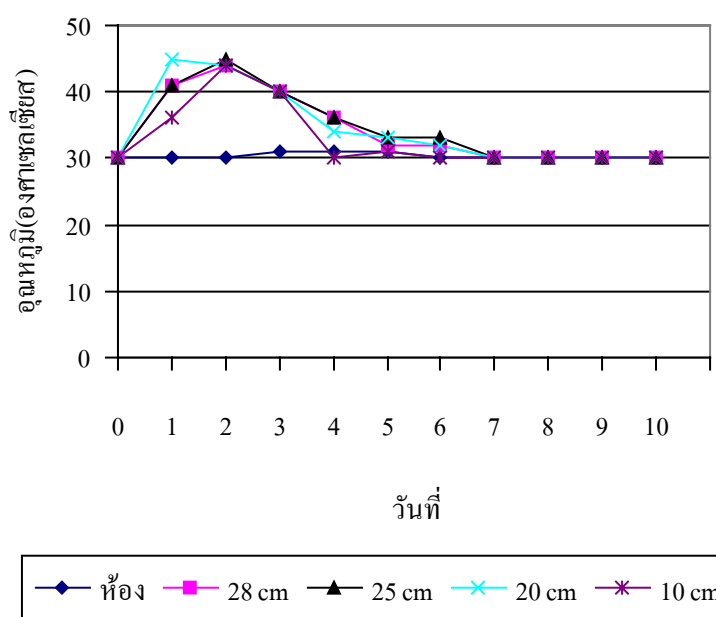
3. การหาอัตราส่วนของกากตะกอนปีโตรเคมีที่เหมาะสม

การศึกษาในส่วนนี้เป็นแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ

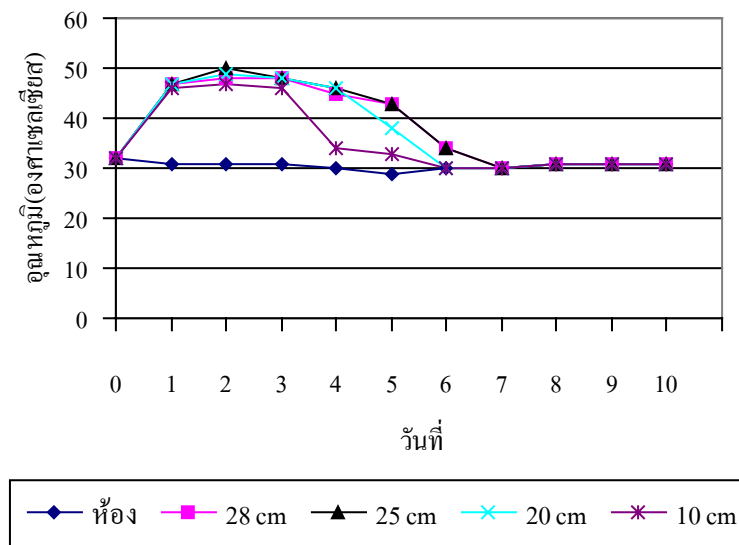
3.1 ขั้นตอนการหมัก เป็นการศึกษาถึงอัตราส่วนของกากตะกอนปีโตรเคมีที่เหมาะสมภายในถังหมัก โดยการควบคุมอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน ให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม เพื่อลดปริมาณของกากตะกอนปีโตรเคมีให้ได้มากที่สุด โดยไม่ส่งผลต่อการหมักทำปุ๋ยซึ่งมีผลการทดลองดังนี้

1. ผลของกากตะกอนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

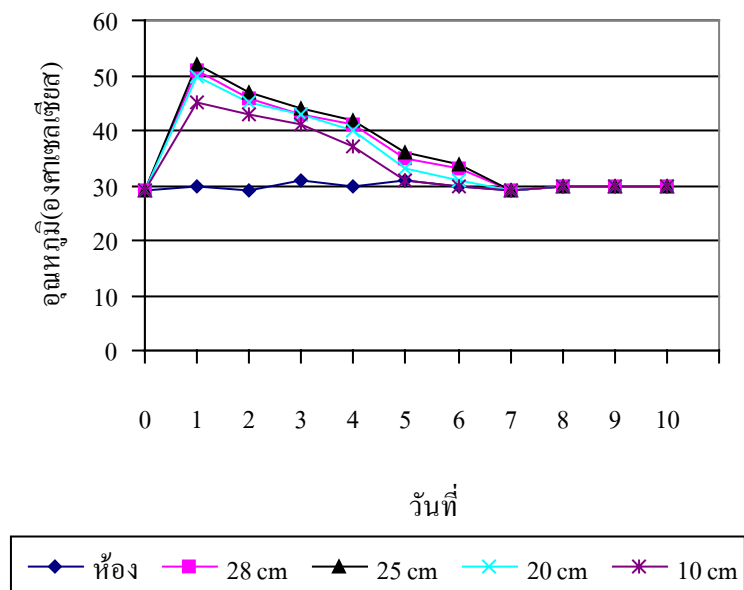
การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในถังหมักนี้ขึ้นกับสภาพแวดล้อมในการหมัก ดังแสดงในภาพที่ 2 ถึง 5



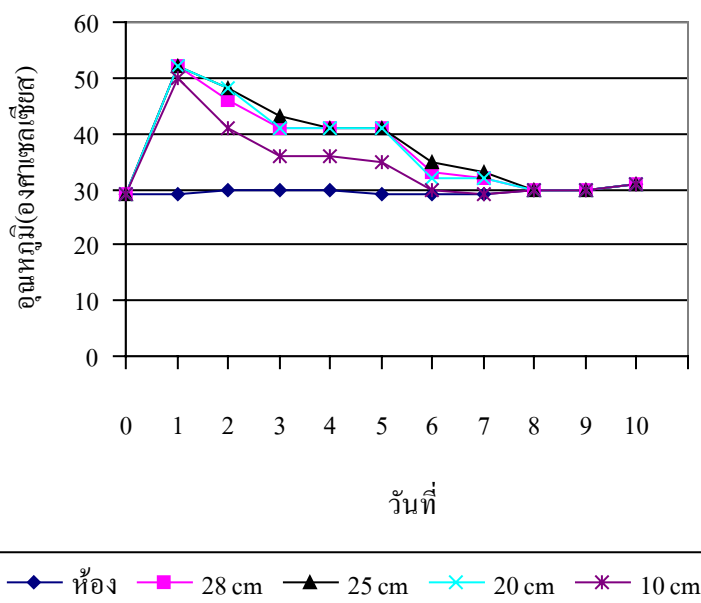
ภาพที่ 22 อุณหภูมิในถังหมักของมูลฝอยสังเคราะห์อย่างเดียว



ภาพที่ 23 อุณหภูมิในถังหมักที่มีกากตะกอน 5 % เป็นส่วนผสม



ภาพที่ 24 อุณหภูมิในถังหมักที่มีกากตะกอน 10 % เป็นส่วนผสม

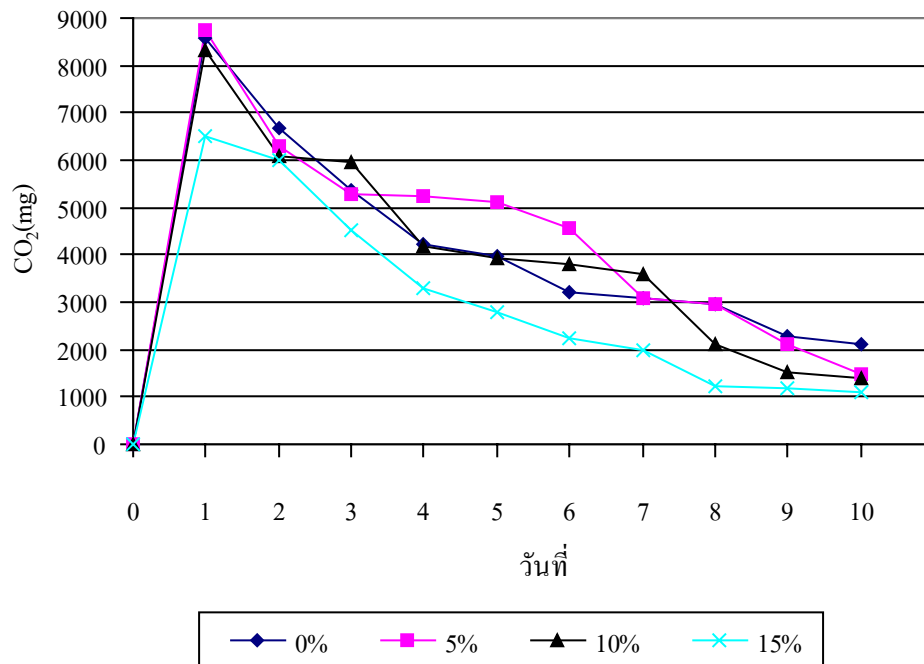


ภาพที่ 25 อุณหภูมิในถังหมักที่มีกากตะกอน 15 % เป็นส่วนผสม

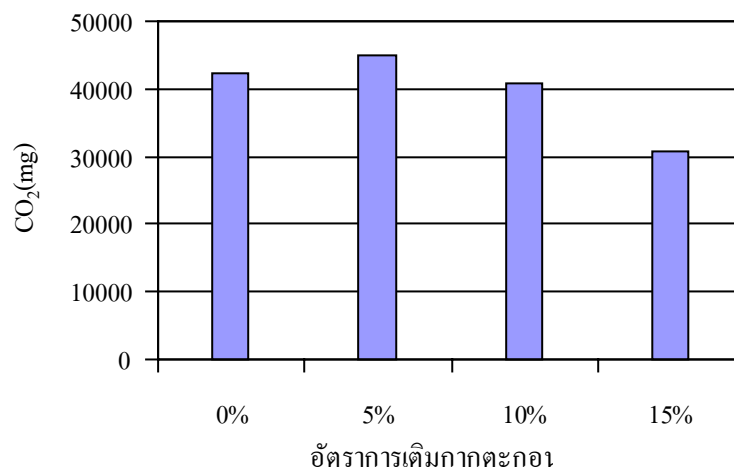
การเพิ่มปริมาณกากตะกอนปิโตรเคมีลงไป มีผลทำให้การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในถังหมักลดลง เนื่องจากในช่วงแรกของการหมักอุณหภูมิภายในถังหมักของทุกการทดลองสูงขึ้นไม่แตกต่างกัน ทำให้เกิดการยุบตัว และอัดตัวกันแน่นของวัสดุหมัก เมื่อเวลาผ่านไปทำให้ช่องว่างต่างๆของวัสดุหมักภายในถังลดน้อยลง โดยเฉพาะในถังหมักที่มีกากตะกอน ดังนั้นจึงเกิดการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจนและการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิลดลง เช่นเดียวกัน

2. ผลของกากตะกอนต่อปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ผลิตได้

ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้น เกิดจากการทำงานของจุลินทรีย์ที่ทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ นั้นแสดงว่า หากปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในระบบมีมาก แสดงว่าประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในระบบมีมากเช่นเดียวกัน ดังแสดงในภาพที่ 26 และ



ภาพที่ 26 ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นในแต่ละวันของการหมักทำปุ๋ยจากอัตราการเติมตะกอน 0 % , 5 % , 10 % และ 15 %



ภาพที่ 27 อัตราการเติมกากตะกอนกับปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งหมด

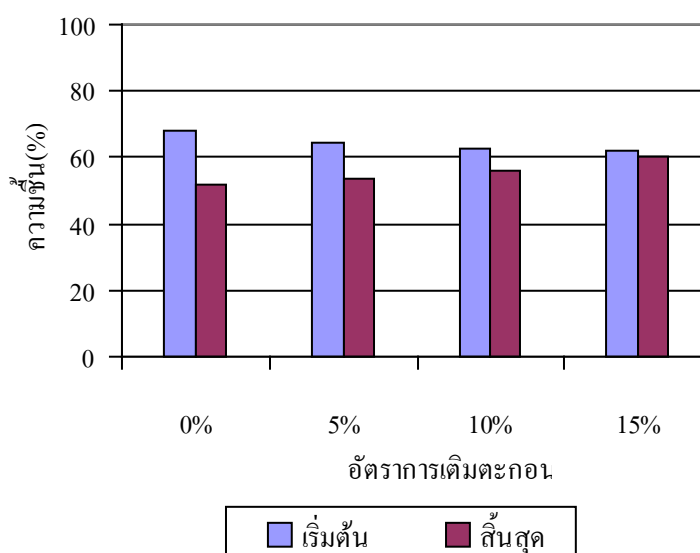
จากภาพพบว่าการเติมกากตะกอนร้อยละ 5 มีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกิดขึ้นไม่แตกต่างจากการใช้มูลฝอยสังเคราะห์อย่างเดียว แต่มีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกิดขึ้นมากกว่าการเติมกากตะกอนร้อยละ 10 และ 15 ตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญ (ภาคผนวก จ) นั่นแสดงว่า

การเติมกากตะกอนร้อยละ 5 ทำให้เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ดีที่สุด เช่นเดียวกับการไม่เติมกากตะกอนลงไปในการหมักทำปุ๋ย

3. ผลของกากตะกอนต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้น

ความชื้นเป็นปัจจัยสำคัญประการหนึ่งต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในการหมัก ซึ่งมีผลกระทบต่อกระบวนการย่อยสลายของสารอินทรีย์ เนื่องจากความชื้นเป็นตัวกลางในการส่งผ่านอาหารและก๊าซออกซิเจนจากวัสดุหมักและอากาศไปยังจุลินทรีย์ และเป็นตัวกลางในการส่งผ่านเอนไซม์เข้าไปย่อยวัสดุหมักด้วย (Tengerdy, 1985) นอกจากนี้ความชื้นยังเป็นตัวกำหนดปริมาณออกซิเจนในวัสดุหมัก โดยถ้าความชื้นมากไปปริมาณก๊าซจะลดลง การส่งผ่านออกซิเจนลดลงทำให้เกิดสภาพไร้อากาศได้ ในทางตรงกันข้ามหากปริมาณความชื้นต่ำเกินไปทำให้ไม่มีน้ำเพียงพอสำหรับปฏิกิริยาที่ไปยับยั้งกิจกรรมของจุลินทรีย์ (Gotaas, 1956)

วัสดุหมักที่ผ่านการชั่งน้ำหนักแล้วจะถูกนำไปอบจนน้ำหนักคงที่ เพื่อหาปริมาณความชื้น ดังแสดงดังภาพที่ 28



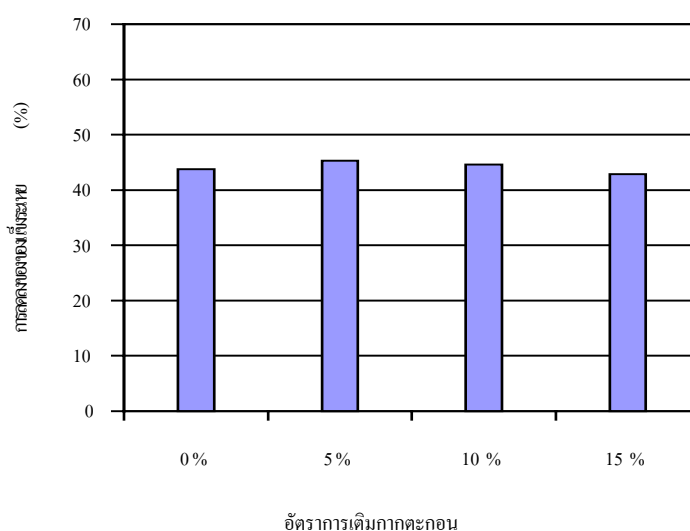
ภาพที่ 28 ปริมาณความชื้นของวัสดุหมักที่เริ่มใส่ในถังหมักเปรียบเทียบกับวัสดุที่นำออกจากถังหมัก

ปริมาณความชื้นของการหมักในชุดการทดลอง พบว่า ปริมาณความชื้นมีแนวโน้มลดลงคล้ายคลึงกัน เนื่องจากปริมาณความชื้นเริ่มต้นสูงซึ่งหมายถึง ปริมาณน้ำในวัสดุหมักมีมาก เมื่อผ่านการหมัก ทำให้วัสดุหมักภายในถังหมักสูญเสียน้ำและจับตัวกันเป็นก้อนได้ง่าย

ส่วนการเพิ่มกากตะกอนลงไปในกระบวนการหมักมีผลทำให้ความชื้นในระยะเริ่มต้นลดลง และเมื่อสิ้นสุดการหมัก พบว่าการเพิ่มตะกอนลงไปทำให้การสูญเสียความชื้นลดต่ำลง เนื่องจากตะกอนไปทำให้ช่องว่างของวัสดุหมักลดลงซึ่งเป็นการป้องกันการสูญเสียความชื้นของการหมัก โดยสอดคล้องกับการทดสอบทางสถิติที่พบว่า การเติมตะกอนร้อยละ 15 มีผลทำให้ความชื้นลดลงต่ำกว่าการเติมตะกอนร้อยละ 10 และ 5 ตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญ

4. ผลของกากตะกอนต่อปริมาณของแข็งระเหยได้ (Volatile Solid)

ปริมาณของแข็งระเหยได้ทำการเปรียบเทียบปริมาณของแข็งระเหยในช่วงการหมักในถัง ดังแสดงใน ภาพที่ 29



ภาพที่ 29 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งระเหยได้ในอัตราการเติมกากตะกอน 0 % , 5 % , 10 % และ 15 % เมื่อนำออกจากถังหมัก

จากภาพพบว่าการเปลี่ยนแปลงของของแข็งระเหยในถังหมัก มีแนวโน้มลดลง โดยในถังหมักมีปริมาณของแข็งระเหยได้ลดลงมาก เนื่องจากสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ง่ายเกิดการย่อยสลายอย่างรวดเร็ว หลังจากนั้นเหลือสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ยาก ซึ่งต้องใช้ระยะเวลานานในการย่อยสลาย ดังนั้น การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งระเหยจึงมีอัตราค่อนข้างคงที่ ซึ่งปริมาณกากตะกอนที่ต่างกันมีผลต่อการลดลงของปริมาณของแข็งระเหยได้แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญ โดยการเติมกากตะกอนร้อยละ 5 มีผลทำให้ปริมาณของแข็งระเหยได้ลดลงมากกว่าการเติมตะกอนร้อยละ 10 และ 15 ตามลำดับ นั้นแสดงว่า การเพิ่มกากตะกอนลงไปในถังหมักมีผลทำให้การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งระเหยได้ลดน้อยลง และกากตะกอนมีส่วนของสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ยากอยู่มาก ทำให้ต้องใช้เวลาในการย่อยสลายเพิ่มมากขึ้น

5. ผลของกากตะกอนต่อการลดลงของปริมาณปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนทั้งหมด (ทีพีเอช)

ในการศึกษาครั้งนี้มีการเติมตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งของอุตสาหกรรมปิโตรเคมี ซึ่งมีสารทีพีเอช เป็นส่วนประกอบ โดยเริ่มต้นนั้นตะกอนมีปริมาณทีพีเอช เท่ากับ 118.75 มิลลิกรัม ต่อ กิโลกรัม โดยเมื่อทำการทดลองด้วยการเติมตะกอนร้อยละ 5 , 10 และ 15 แล้วทำให้เกิดผลดัง ตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ร้อยละการลดลงของปริมาณปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนทั้งหมด (ทีพีเอช)

ปริมาณตะกอน	ปริมาณทีพีเอช (มิลลิกรัม / กิโลกรัม)		ร้อยละการเปลี่ยนแปลง
	เริ่มต้นการหมัก	สิ้นสุดการหมัก	
ร้อยละ 5	24.48	10.09	58.78
ร้อยละ 10	44.81	22.35	50.12
ร้อยละ 15	59.16	30.10	49.12

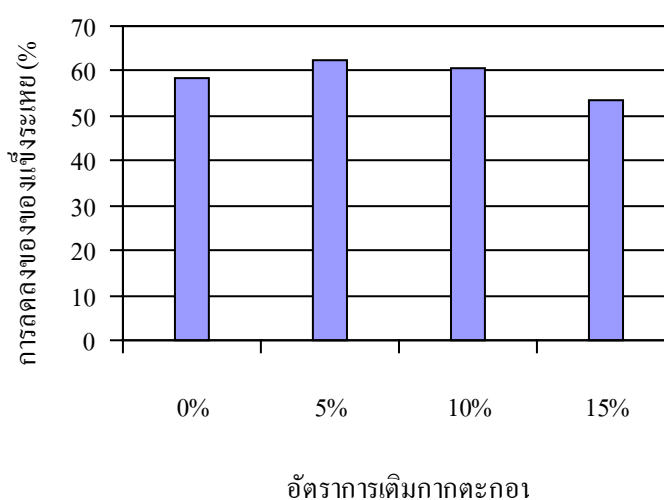
เมื่อนำวัสดุออกจากถังหมักแล้วตรวจหาค่าทีพีเอช พบว่าทุกการทดลองมีปริมาณทีพีเอชลดลงคล้ายคลึงกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการทดลองที่เติมกากตะกอนร้อยละ 5 มีปริมาณทีพีเอชลดลงมากที่สุด รองลงมาคือการเติมกากตะกอนร้อยละ 10 และ 15 ตามลำดับ เนื่องจากสารทีพีเอชสามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มจิอาร์โอ ซึ่งประกอบด้วยคาร์บอน 6-12 อะตอมที่สามารถ

ระเหยไปได้ง่ายภายในระยะเวลาสั้นๆ เมื่อมีการให้ออกซิเจนแก่ระบบอย่างเพียงพอ และ กลุ่มดีอาร์โอ ซึ่งประกอบด้วยคาร์บอน 8- 26 อะตอม ที่จำเป็นต้องมีการปรับสภาวะให้เหมาะสมต่อการย่อยสลาย ได้แก่ อุณหภูมิ ค่าความเป็นกรด-ด่าง และการให้อากาศแก่ระบบบำบัด (กรมควบคุมมลพิษ , 2543) โดยในการทดลองนี้ได้มีการเติมอากาศ ภายในถังหมักอย่างเพียงพอ ทำให้เกิดการระเหยของสารในกลุ่มจิอาร์โอ และจุลินทรีย์มีการย่อยสลายตะกอนได้บางส่วน

3.2 ขั้นตอนการบ่มปุ๋ยหมัก เป็นขั้นตอนในการนำปุ๋ยที่ผ่านกระบวนการหมักแล้วมาบรรจุในภาชนะที่อากาศสามารถถ่ายเทได้ โดยการวิเคราะห์ลักษณะทางเคมีในการบ่งบอกว่าเป็นปุ๋ยหมักที่มีความสมบูรณ์ (California Composting Quality Control , 2001) ได้แก่ การลดลงของปริมาณของแอมโมเนียได้ , อัตราส่วนของคาร์บอน ต่อ ไนโตรเจน , อัตราส่วนของแอมโมเนียม ต่อไนเตรท และการทดสอบการงอกของเมล็ด โดยมีผลการทดลองดังนี้

1. การเปลี่ยนแปลงของแอมโมเนียได้หลังจากการบ่มปุ๋ย

การเปลี่ยนแปลงของแอมโมเนีย แสดงดังภาพที่ 30 เมื่อสิ้นสุดการบ่มในสัปดาห์ที่ 6 พบว่าทุกชุดการทดลองมีอัตราการลดลงของปริมาณของแอมโมเนียมากกว่าร้อยละ 40 ของระยะเริ่มต้นหมัก ทำให้เกิดการหมักที่สมบูรณ์ขึ้น (Stentiford , 1985)

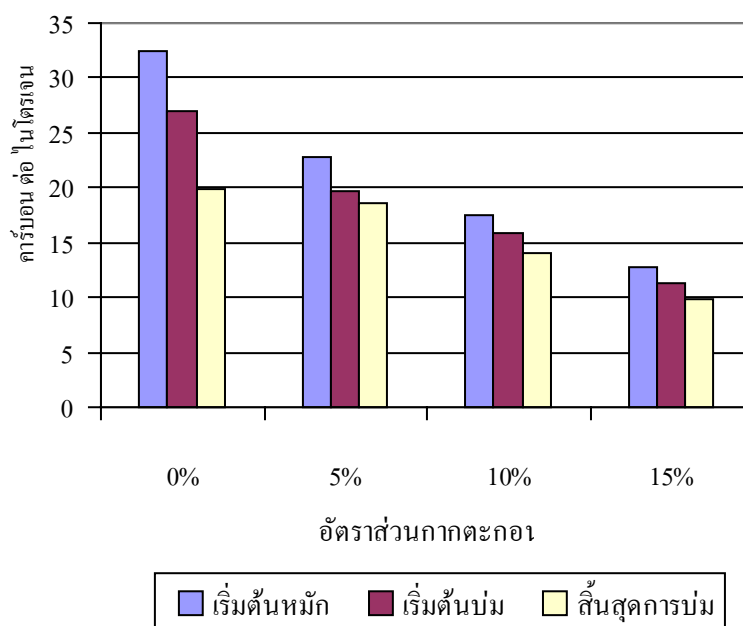


ภาพที่ 30 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแอมโมเนียได้ในอัตราการเติมกากตะกอน 0 % , 5 % , 10 % และ 15 % เมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมัก

2. อัตราส่วนคาร์บอน ต่อ ไนโตรเจนหลังจากการบ่มปุ๋ย

การเปรียบเทียบอัตราส่วนของคาร์บอน ต่อ ไนโตรเจน ของวัสดุหมักในระยะเริ่มต้น ระยะบ่ม และระยะสิ้นสุดการบ่มในสัปดาห์ที่ 6 ซึ่งนำผลการวิเคราะห์อัตราส่วนคาร์บอน ต่อ ไนโตรเจน ดังแสดงใน ภาพที่ 31

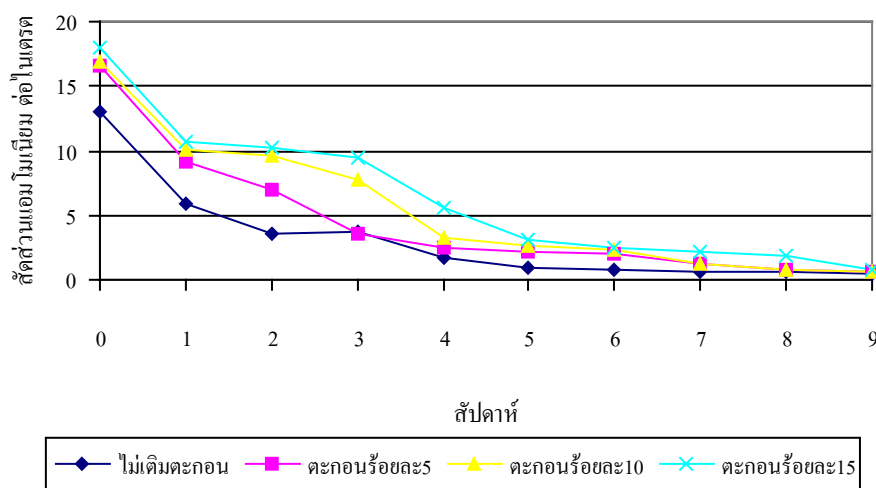
จากภาพพบว่าอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนลดลงทุกการทดลองทั้งนี้ เพราะเมื่อมีกระบวนการย่อยสลายเกิดขึ้นสัดส่วนคาร์บอน ต่อ ไนโตรเจนจะลดต่ำลง เพราะจุลินทรีย์จะใช้คาร์บอนเป็นแหล่งพลังงาน และใช้ไนโตรเจนในการสร้างเซลล์ เมื่อเกิดการย่อยสลายอย่างสมบูรณ์สัดส่วนคาร์บอน ต่อ ไนโตรเจน ก็จะคงที่ โดยมีค่าประมาณ 10–20 (พัชรี ,2529) โดยเมื่อสิ้นสุดการทดลองอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนของทุกการทดลองมีค่าไม่เกิน 20 ต่อ 1 ซึ่งอยู่ในมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตร



ภาพที่ 31 คาร์บอน ต่อไนโตรเจนของอัตราการเติมกากตะกอน 0 % , 5 % , 10 % และ 15 % ตั้งแต่เริ่มต้นการหมัก จนกระทั่งสิ้นสุดการบ่ม

3. ผลของการเติมกากตะกอนต่อการเปลี่ยนแปลงแอมโมเนียม ต่อไนเตรท ($\text{NH}_4^+ / \text{NO}_3^-$) ในระหว่างการบ่มปุ๋ย

การเติมกากตะกอนทำให้ค่าแอมโมเนียมเพิ่มขึ้น เมื่อทำการหมักปุ๋ย สัดส่วนของแอมโมเนียม ต่อไนเตรทเปลี่ยนแปลงโดยมีแนวโน้มลดลงจนถึงสัปดาห์ที่ 5 โดยการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว แสดงได้ดังภาพที่ 32 พบว่าหลังสัปดาห์ที่ 4 ปุ๋ยหมักที่ไม่เติมตะกอน และเติมตะกอนร้อยละ 5 มีสัดส่วนของแอมโมเนียม ต่อไนเตรท มีค่า 1.78 และ 2.50 ตามลำดับ ซึ่งสัดส่วนของแอมโมเนียม ต่อไนเตรทใช้ในการบ่งบอกความสมบูรณ์ของปุ๋ยหมัก โดยถ้าสัดส่วนของแอมโมเนียม ต่อไนเตรท มีค่าอยู่ระหว่าง 0.5 – 3.0 จัดเป็นปุ๋ยหมักที่ค่อนข้างสมบูรณ์ แต่ถ้ามีค่ามากกว่า 3.0 จะเป็นปุ๋ยหมักที่ยังไม่สมบูรณ์ไม่สามารถนำไปใช้ได้ (California Compost Quality Control, 2001) ดังนั้นปุ๋ยที่ไม่เติมตะกอน และเติมตะกอนร้อยละ 5 เกิดการย่อยอย่างสมบูรณ์ เมื่อระยะเวลาการหมักทำปุ๋ยเกินกว่า 4 สัปดาห์ ส่วนปุ๋ยหมักตะกอนร้อยละ 10 และ 15 มีค่าสัดส่วนของแอมโมเนียม ต่อไนเตรทเท่ากับ 2.66 และ 2.51 ในสัปดาห์ที่ 5 และ 6 ตามลำดับ ดังนั้นการเติมตะกอนเพิ่มในการหมักทำปุ๋ยทำให้การย่อยสลายสารอินทรีย์ช้าลง

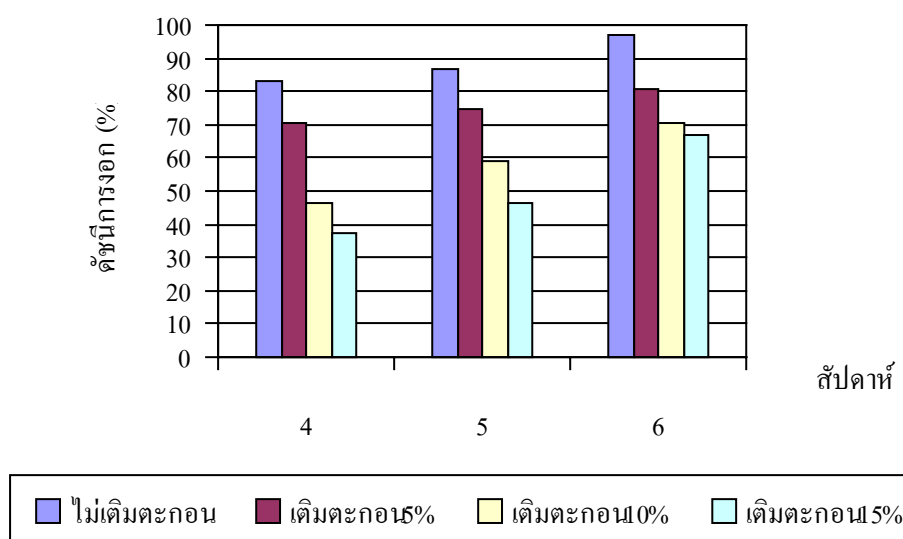


ภาพที่ 32 ค่าแอมโมเนียม ต่อค่าไนเตรท ในช่วงระยะบ่ม

4. การทดสอบความเป็นพิษของปุ๋ยหมัก โดยการทดสอบการงอกของเมล็ดพืช (Seed Germination Test) และการวิเคราะห์คุณภาพปุ๋ยหมัก

4.1 การทดสอบการงอกของเมล็ดพืช

ปุ๋ยหมักที่หมักยังไม่สมบูรณ์จะมีการสะสมของสารประกอบที่เป็นพิษต่อพืช เช่น แอมโมเนีย เกลือ และกรดอินทรีย์ (Tiquia et al., 1996) ดังนั้นจึงมีการทดสอบความเป็นพิษของปุ๋ยหมัก โดยทดสอบการงอกของเมล็ด เพื่อหาค่าดัชนีการงอก ดังแสดงในภาพที่ 33



ภาพที่ 33 ดัชนีการงอก

เมื่อนำปุ๋ยหมักที่ผ่านการบ่มประมาณ 4 สัปดาห์ ไปทดสอบการงอกของเมล็ด โดยใช้เมล็ดถั่วเขียว ซึ่งผ่านการตรวจสอบความสมบูรณ์มาทำการทดสอบการงอกของเมล็ดในน้ำชะปุ๋ย โดยการเปรียบเทียบกับ การงอกของเมล็ดในน้ำกลั่น ซึ่งหากวัดดัชนีการงอกแล้วมีค่ามากกว่าร้อยละ 50 แล้ว แสดงว่า ปุ๋ยหมักนั้นปลอดภัยจากสารประกอบที่เป็นพิษต่อพืช การทดลองชุดที่ไม่เคี้ยวแช่น้ำและการทดลองชุดที่ เคี้ยวแช่น้ำร้อยละ 5 มีค่าดัชนีการงอกเฉลี่ยอยู่ที่ 83.22 และ 70.39 ตามลำดับ ส่วนการทดลองชุดที่ เคี้ยวแช่น้ำร้อยละ 10 และ 15 มีค่าดัชนีการงอกน้อยกว่าร้อยละ 50 คือมีค่าเฉลี่ยร้อยละ 46.51 และ 37.63 ตามลำดับ แต่เมื่อนำไปทดสอบการงอกของเมล็ดในสัปดาห์ที่ 5 พบว่า การทดลองชุดที่ เคี้ยวแช่น้ำร้อยละ 10 มีค่าดัชนีการงอกมากกว่าร้อยละ 50 คือ มีค่าเฉลี่ยร้อยละ 59.21 ส่วนการทดลองชุดที่ เคี้ยวแช่น้ำร้อยละ 15 มีค่าเฉลี่ยร้อยละ 46.28 ซึ่งมีค่ามากกว่า

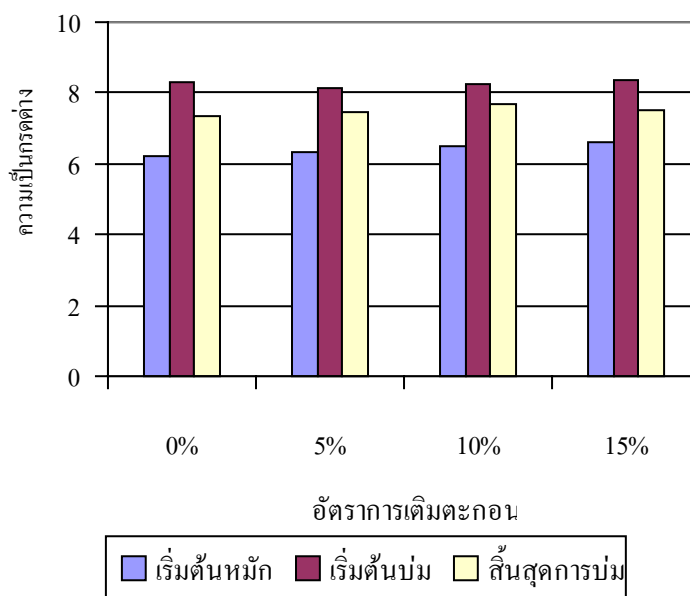
ร้อยละ 50 ในสัปดาห์ที่ 6 คือมีค่าเฉลี่ยร้อยละ 67.04 แสดงว่าค่าดัชนีการงอกมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการหมัก และปริมาณการลดลงของตะกอน โดยเมื่อทดลองทางสถิติ (ภาคผนวก จ) พบว่า อัตราการเติมกากตะกอนปีโตรเคมีมีผลต่อดัชนีการงอกของเมล็ดพืช โดยการไม่เติมกากตะกอนปีโตรเคมีเลย มีค่าดัชนีการงอกของเมล็ดไม่แตกต่างกันจากกลุ่มที่เติมกากตะกอนร้อยละ 5 แต่มีค่าดัชนีการงอกของเมล็ดมากกว่ากลุ่มที่มีการเติมกากตะกอนร้อยละ 10 และ 15 อีกทั้งการเติมตะกอนร้อยละ 10 มีดัชนีการงอกของเมล็ดมากกว่ากลุ่มที่มีการเติมตะกอนร้อยละ 15 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

4.2 การวิเคราะห์คุณภาพปุ๋ยหมัก เป็นการนำปุ๋ยหมักที่ผ่านกระบวนการบ่มแล้ว มาเทียบกับมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ.2548 ของกรมวิชาการเกษตร มีผลการวิเคราะห์ดังนี้

1. ความเป็นกรดด่าง และการนำไฟฟ้า (pH and Electrical Conductivity)

การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดด่าง และการนำไฟฟ้านั้นมีการเปลี่ยนแปลงไปตามกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ โดยในระยะเริ่มต้นของการทดลอง พบว่ามีค่าความเป็นกรดเล็กน้อย โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 6.43 สำหรับการนำไฟฟ้าในระยะเริ่มต้นมีค่าเฉลี่ยที่ 2.35 เดซิซีเมน / เมตร โดยค่าความเป็นกรดด่างและการนำไฟฟ้าเริ่มต้นนั้นอยู่ในช่วงที่เหมาะสม คือค่าความเป็นกรดด่างควรอยู่ในช่วง 6.0 – 8.0 (สุปราณี , 2535)

เมื่อทำการตรวจวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดด่าง ในถังหมักและในระยะสิ้นสุดการบ่มพบว่าการเปลี่ยนแปลงไปตามกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในการหมัก ซึ่งแสดงผลดังภาพที่ 34

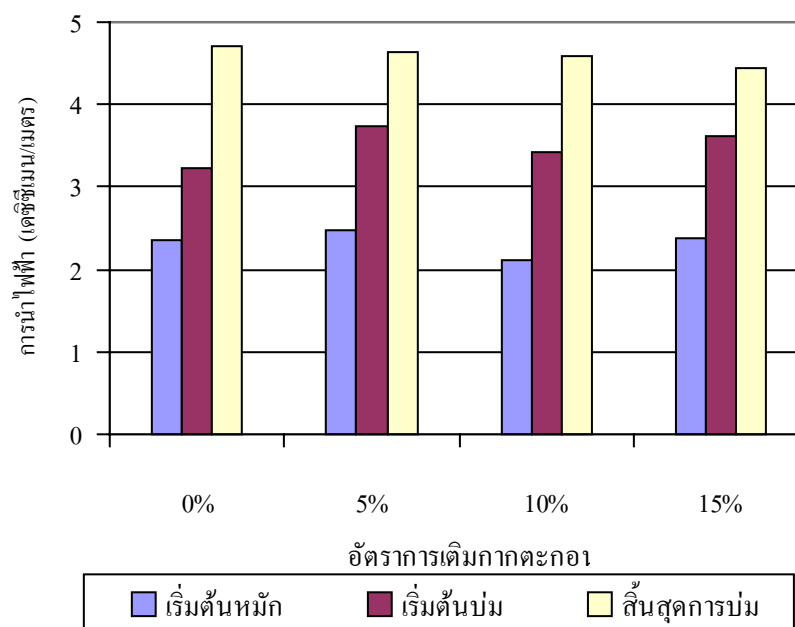


ภาพที่ 34 ความเป็นกรดต่างของอัตราการเติมกากตะกอน 0 % , 5 % , 10 % และ 15 % ตั้งแต่เริ่มต้นการหมักจนกระทั่งสิ้นสุดการบ่ม

โดยพบว่าความเป็นกรดต่างที่เกิดขึ้นหลังจากที่นำวัสดุออกมาจากถังหมักแล้วมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อสารอินทรีย์ถูกย่อยสลายจะมีลักษณะเป็นบัพเฟอร์ที่ดีมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกเพิ่มขึ้น ทำให้สามารถดูดซับ ไฮโดรเจนไอออน (H^+) ไว้ได้มากขึ้น ประกอบกับมีสารประกอบบางชนิดที่มีฤทธิ์เป็นด่าง เช่น แอมโมเนียม เกิดขึ้นระหว่างการย่อยสลายจึงทำให้ค่าความเป็นกรดต่างของแต่ละชุดการทดลองเพิ่มขึ้น (เมธิ , 2542) เมื่อสิ้นสุดระยะบ่มปุ๋ย (สิ้นสุดการหมัก) ความเป็นกรดต่างของทุกการทดลองมีค่าลดลง อยู่ในช่วงที่มีความเป็นด่างเล็กน้อย เนื่องจากแอมโมเนียมได้เปลี่ยนรูปร่างไปเป็นก๊าซแอมโมเนีย บางส่วนในกรณีที่มีค่าความเป็นกรดต่างมีค่าสูงกว่า 8.5 ในบางช่วงของการทดลอง อีกทั้งสารอินทรีย์อยู่ในสภาวะที่เสถียรมากยิ่งขึ้น (Haug , 1993) โดยค่าความเป็นกรดต่างนี้มีค่าระหว่าง 5.5-8.5 ซึ่งเป็นค่าที่อยู่ในมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ.2548

เมื่อพิจารณาค่าการนำไฟฟ้าแสดงดัง ภาพที่ 35 แล้วพบว่า ค่าการนำไฟฟ้ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อสิ้นสุดการทดลอง เนื่องจากค่าการนำไฟฟ้าขึ้นอยู่กับจำนวนไอออน โดยหากกระบวนการย่อยสลายเกิดได้ไม่ดี ทำให้จำนวนไอออนน้อยค่าการนำไฟฟ้ามีค่าต่ำ โดยจากการทดลองจะเห็นว่าค่าการนำไฟฟ้ามีค่าเพิ่มสูงขึ้น แสดงว่ากระบวนการย่อยสลายเกิดได้ดีในสภาวะที่เหมาะสม

(Metcalf and Eddy ,1991) ซึ่งค่าการนำไฟฟ้าที่ได้หลังจากสิ้นสุดการหมักแล้วมีค่า ไม่เกิน 6 เดซิซีเมน / เมตร ตามที่มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ได้ระบุไว้



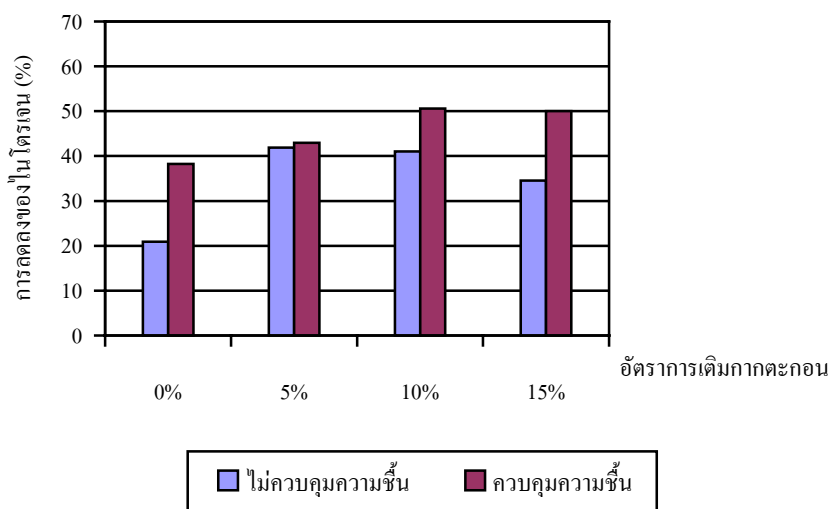
ภาพที่ 35 ค่าการนำไฟฟ้าของอัตราการเติมกากตะกอน 0 % , 5 % , 10 % และ 15 % ตั้งแต่เริ่มต้นการหมัก จนกระทั่งสิ้นสุดการบ่ม

2. ปริมาณธาตุอาหารหลักของพืช

การเปรียบเทียบปริมาณธาตุอาหารหลักของพืชในรูปของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมของปุ๋ยหมัก ในระยะเริ่มต้น และระยะสิ้นสุดการหมักของการ มีรายละเอียดดังนี้

2.1 ปริมาณไนโตรเจน

ปริมาณไนโตรเจนในระยะเริ่มต้นมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนตะกอนที่เพิ่มขึ้น และระยะสิ้นสุดของการทดลอง แสดงดัง ภาพที่ 36

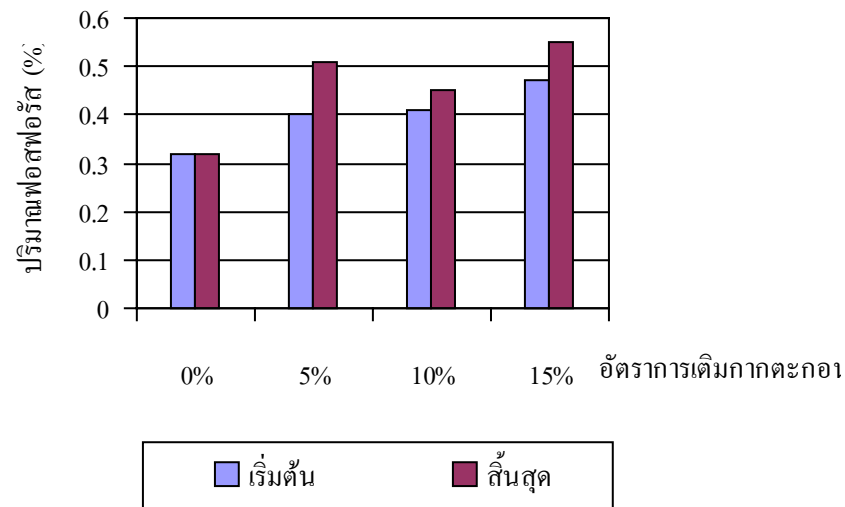


ภาพที่ 36 การลดลงของปริมาณไนโตรเจน เมื่อสิ้นสุดการทดลอง

เมื่อถึงระยะสุดท้ายของการหมักพบว่า ทุกการทดลองมีปริมาณไนโตรเจนลดลง ซึ่งการลดลงของปริมาณไนโตรเจนนั้น เนื่องจากปฏิกิริยาการย่อยสลายของจุลินทรีย์ทำให้ระดับอุณหภูมิสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว รวมทั้งการใช้ไนโตรเจนในการสร้างเซลล์ของจุลินทรีย์ เป็นสาเหตุทำให้เกิดการสูญเสียไนโตรเจนทั้งในรูปของก๊าซไนโตรเจน และแอมโมเนียไนโตรเจน ได้

2.2 ปริมาณฟอสฟอรัส

ปริมาณฟอสฟอรัสในระยะเริ่มต้นและระยะสิ้นสุดของการทดลอง แสดงดัง ภาพที่ 37 พบว่า เมื่อเริ่มต้นการทดลองปริมาณฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนกากตะกอนปีโตรเคมีที่เพิ่มขึ้น โดยจากการทดลองพบว่าเมื่อสิ้นสุดการทดลองชุดการทดลองที่มีอัตราการเติมตะกอนมาก จะมีปริมาณฟอสฟอรัสสูงกว่าชุดที่ไม่เติมตะกอน

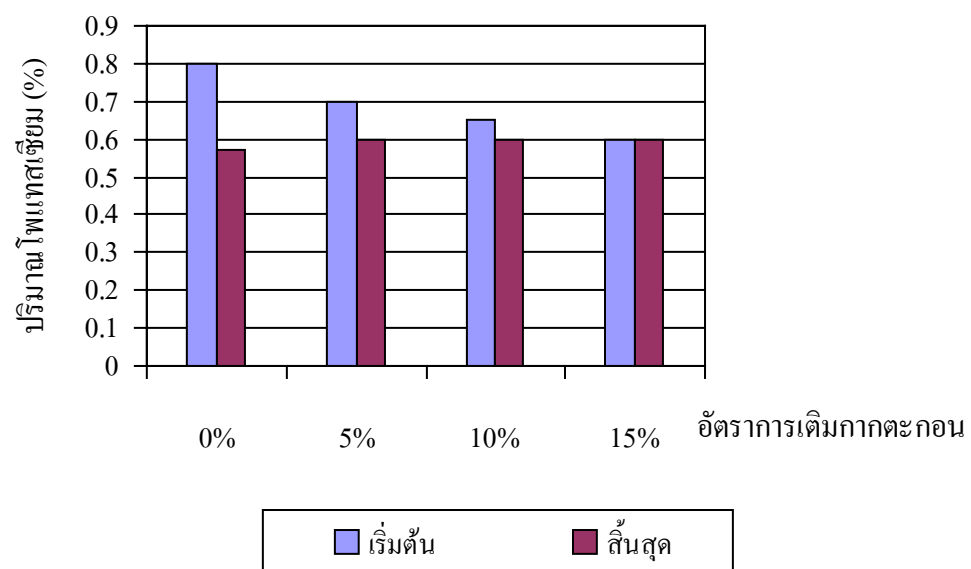


ภาพที่ 37 การเปลี่ยนแปลงปริมาณฟอสฟอรัส ในระยะเริ่มต้น และระยะสิ้นสุดการทดลอง

2.3 ปริมาณโพแทสเซียม

ปริมาณโพแทสเซียมในระยะเริ่มต้นและระยะสิ้นสุดของการทดลอง แสดงดัง

ภาพที่ 38



ภาพที่ 38 การเปลี่ยนแปลงปริมาณโพแทสเซียม ในระยะเริ่มต้น และระยะสิ้นสุดการทดลอง

จากการทดลองพบว่า ปริมาณโพแทสเซียมเริ่มต้นมีค่าลดลงตามสัดส่วนของกากตะกอนปิโตรเคมีที่เติมลงไป และเมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่า ทุกการทดลองมีปริมาณ ซึ่งการลดลงของปริมาณโพแทสเซียม นั้น เนื่องจากปริมาณโพแทสเซียมส่วนใหญ่มาจากเศษผัก ซึ่งมักอยู่ในส่วนที่เป็นของเหลวในเศษผัก ซึ่งถูกย่อยสลายได้โดยง่าย เมื่อเศษผักถูกย่อยสลายก็จะปล่อยโพแทสเซียมออกมาปนกับน้ำชะปฏุยลงสู่กันดั้ม เมื่อปล่อยน้ำชะออกมาจากกันดั้มจึงอาจทำให้สูญเสียโพแทสเซียมออกจากระบบ (ไพบูลย์ และคณะ , 2542) ทำให้ปริมาณโพแทสเซียมในปฏุยมีค่าต่ำกว่าค่าที่ควรจะเป็นได้

โดยเมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานปฏุยอินทรีย์ พ.ศ.2548 แล้ว ที่กำหนดปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ซึ่งทุกชุดการทดลองมีค่าแสดงดังตารางที่ 8

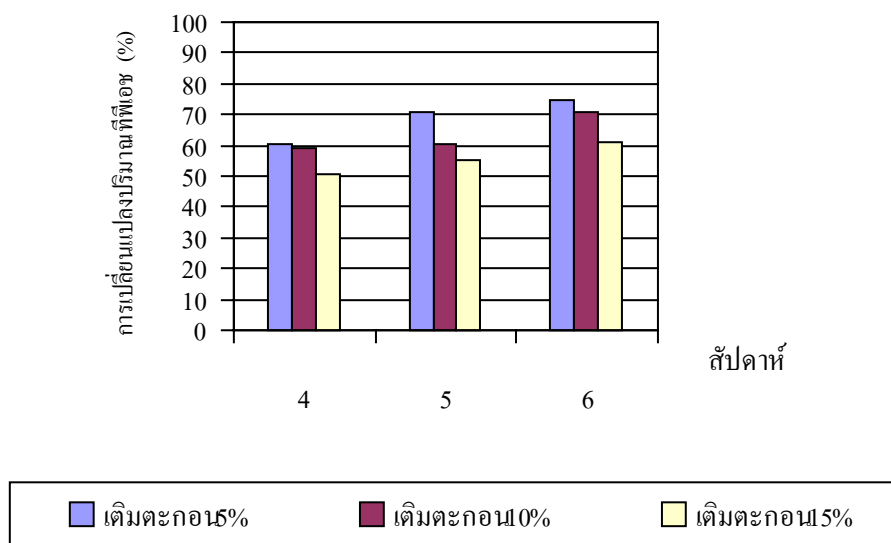
ตารางที่ 8 ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม เมื่อสิ้นสุดการทดลอง

รูปแบบการทดลอง	ร้อยละไนโตรเจน (โดยน้ำหนัก)	ร้อยละฟอสฟอรัส (โดยน้ำหนัก)	ร้อยละโพแทสเซียม (โดยน้ำหนัก)
เศษผัก	1.39	0.34	0.56
ตะกอน 5 %	1.92	0.55	0.58
ตะกอน 10 %	2.31	0.55	0.60
ตะกอน 15 %	3.18	0.71	0.58
มาตรฐานปฏุยอินทรีย์	ไม่น้อยกว่าร้อยละ 1.0	ไม่น้อยกว่าร้อยละ 0.5	ไม่น้อยกว่าร้อยละ 0.5

จากตารางพบว่าปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานปฏุยอินทรีย์พ.ศ. 2548

3. ปริมาณปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนทั้งหมด (ทีพีเอช)

ในการศึกษาครั้งนี้มีการเติมตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งของอุตสาหกรรมปิโตรเคมี ซึ่งมีสารทีพีเอช เป็นส่วนประกอบ โดยเริ่มต้นนั้นตะกอนมีปริมาณทีพีเอช เท่ากับ 118.75 มิลลิกรัม ต่อ มิลลิกรัม โดยเมื่อทำการทดลองด้วยการเติมตะกอนร้อยละ 5 , 10 และ 15 แล้วทำให้เกิดผลดังภาพที่ 39



ภาพที่ 39 การเปลี่ยนแปลงปริมาณทีพีเอช

จากการทดลองพบว่า การเติมน้ดกก่อนร้อยละ 5 , 10 และ 15 มีผลทำให้ปริมาณทีพีเอช มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่า การเติมน้ดกก่อนปีโตรเคมีร้อยละ 5 มีการเปลี่ยนแปลงทีพีเอชมากกว่ากลุ่มที่เติมน้ดกก่อนร้อยละ 10 และ 15 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากสารทีพีเอช สามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มจิอาร์ไอ ซึ่งประกอบด้วยคาร์บอน 6–12 อะตอมที่สามารถระเหยไปได้ง่ายภายในระยะเวลาสั้นๆ เมื่อมีการให้ออกซิเจนแก่ระบบอย่างเพียงพอ และ กลุ่มดีอาร์ไอ ซึ่งประกอบด้วยคาร์บอน 8- 26 อะตอม ที่จำเป็นต้องมีการปรับสภาวะให้เหมาะสมต่อการย่อยสลาย ได้แก่ อุณหภูมิ ค่าความเป็นกรด-ด่าง และการให้อากาศแก่ระบบบำบัด (กรมควบคุมมลพิษ , 2543) โดยในการทดลองนี้ได้มีการเติมน้ดก ภายในถังหมักอย่างเพียงพอ ทำให้เกิดการระเหยของสารในกลุ่มจิอาร์ไอ และจุลินทรีย์มีการย่อยสลายตะกอนได้บางส่วน

4. ปริมาณของแข็งระเหยและปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอน

การศึกษเปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้จากการหมักมูลฝอยสังเคราะห์กับกากตะกอนปีโตรเคมีในแต่ละชุดการทดลองสามารถสรุปวิเคราะห์ ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน และปริมาณของแข็งระเหย ตามระยะเวลาในการหมักแสดงดัง ตารางที่ 9

ตารางที่ 9 การลดลงของของแข็งระเหยและปริมาณอินทรีย์คาร์บอน

ตัวแปร	ไม่เติม ตะกอน	เติมร้อยละ 5	เติมร้อยละ 10	เติมร้อยละ 15
1.การลดลงของของแข็งระเหย (ร้อยละ)	58.33	62.26	60.71	53.57
2.การลดลงของอินทรีย์คาร์บอน(ร้อยละ)	51.88	52.79	51.22	50.72
3.ระยะเวลาการหมักและบ่ม (วัน)	41	41	48	56

เมื่อพิจารณาปริมาณอินทรีย์คาร์บอน และปริมาณของแข็งระเหย พบว่าเมื่อสิ้นสุดการทดลองปริมาณอินทรีย์คาร์บอน และปริมาณของแข็งระเหย มีค่าลดลงประมาณร้อยละ 60 จากการทดลองพบว่า ชุดการทดลองที่เติมกากตะกอนระยะเวลาในการหมักมากขึ้นตามปริมาณกากตะกอนที่เติม ซึ่งการหมักในชุดการทดลองที่เติมตะกอนร้อยละ 15 ใช้ระยะเวลาในการหมัก มากที่สุด คือ 56 วัน รองลงมาคือชุดการทดลองที่เติมตะกอนร้อยละ 10 และ 5 ใช้ระยะเวลาในการหมัก 48 และ 41 วัน ตามลำดับ โดยหากเทียบระยะเวลาที่ใช้ในการหมักที่เท่ากันที่ 41 วันของการทดลอง ชุดที่ไม่เติมตะกอน และเติมตะกอนร้อยละ 5 จะพบว่า การเติมตะกอนร้อยละ 5 จะมีอัตราการลดลงของปริมาณอินทรีย์คาร์บอน และปริมาณของแข็งระเหยมากกว่าการทดลองที่ไม่เติมตะกอน ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า การเติมกากตะกอนมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งระเหย และอินทรีย์คาร์บอน โดยการเติมกากตะกอนร้อยละ 5 มีผลให้การลดลงของของแข็งระเหย และอินทรีย์คาร์บอนสูงสุด

สรุปผลการทดลอง

การศึกษาวิจัยครั้งนี้เป็นการทำปุ๋ยหมักจากมูลฝอยสังเคราะห์ร่วมกับกากตะกอนปีโตรเคมี สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1. กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งของโรงงานอุตสาหกรรมปีโตรเคมีประกอบด้วยสารอนินทรีย์ ซึ่งได้แก่ โลหะหนัก เช่น อาร์ซีนิก , แคดเมียม , โครเมียม , ตะกั่ว และปรอท โดยโลหะหนักเหล่านี้มีค่าไม่เกินมาตรฐานที่กำหนดในประกาศกรมวิชาการเกษตร เรื่องมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2548 และสารอินทรีย์ที่มีธาตุไนโตรเจนค่อนข้างสูง ดังนั้นจึงต้องหาวัสดุหมักที่เหมาะสมที่มีค่าไนโตรเจนต่ำกว่า เพื่อให้อัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนอยู่ในช่วงที่เหมาะสม ในระยะเริ่มต้นการหมัก อีกทั้งกากตะกอนปีโตรเคมียังประกอบด้วยสารปีโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนทั้งหมดที่สามารถย่อยสลายได้บางส่วนอีกด้วย

2. อัตราการเติมอากาศภายในถังหมักที่ 0.4 ลูกบาศก์เมตร / กิโลกรัมของแข็งระเหยได้ / วัน เป็นสถานะที่เหมาะสมในการหมักทำปุ๋ย เมื่อมีการควบคุมความชื้นเริ่มต้นให้อยู่ในช่วงร้อยละ 60-70 และอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนอยู่ในช่วง 20-30

3. อัตราส่วนของกากตะกอนปีโตรเคมีต่อมูลฝอยสังเคราะห์ที่เหมาะสม คือ การเติมกากตะกอนปีโตรเคมีร้อยละ 5 โดยปริมาตร ทำให้การลดลงของปริมาณของแข็งระเหยได้ และปริมาณอินทรีย์คาร์บอนมากที่สุด การเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุด การกำจัดสารปีโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนทั้งหมดได้มากที่สุด และใช้เวลาในการหมักสั้นที่สุด คือ 41 วัน

4. ปุ๋ยที่ได้จากการทดลองมีปริมาณธาตุอาหารหลัก คือ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ.2548 และเมื่อนำปุ๋ยหมักที่ได้ไปทดสอบความเป็นพิษของการงอกของเมล็ด และความยาวราก เพื่อหาดัชนีการงอกของเมล็ด พบว่า ทุกการทดลองมีดัชนีการงอกเกินร้อยละ 50 แสดงว่าปุ๋ยหมักไม่มีสารพิษที่มีผลต่อการงอกของเมล็ดถั่วเขียว

ข้อเสนอแนะ

1. ควรศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้กากตะกอนจากอุตสาหกรรมชนิดอื่นมาทำการหมักทำปุ๋ย
2. ควรศึกษาคุณสมบัติของสารปีโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนทั้งหมดในปริมาณที่อาจมีความเป็นพิษต่อพืชได้
3. ควรศึกษาทางด้านเศรษฐศาสตร์ในการบำบัดกากตะกอนปีโตรเคมีโดยการหมักทำปุ๋ยเปรียบเทียบกับ การบำบัดด้วยวิธีอื่นๆ

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมควบคุมมลพิษ. 2536.การศึกษาการเปรียบเทียบความเหมาะสมของวิธีการกำจัดมูลฝอย.

กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.311น.

กรมควบคุมมลพิษ. 2543.ทีพีเอช (โททอล ปีโตรเลียม ไฮโดรคาร์บอน) . กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.85น.

การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย. 2532. ความรู้เรื่องผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม. การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ.

ชื่นจิต กิ่งนรา. 2543.การทำปุ๋ยหมักจากขยะเศษอาหารแบบกึ่งกะ .วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี

ธงชัย มาลา. 2535. ปุ๋ยหมักชีวภาพเพื่อการเกษตร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ภาวนา ลิขนานนท์.2528.ปุ๋ยชีวภาพ. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ,กรุงเทพฯ. 215น.

มัลลิกา ปัญญาอะโป. 2544. การจัดการของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม. มหาวิทยาลัยศิลปากร, นครปฐม.

สุจินต์ เกดสา. 2530. การกำจัดมูลฝอยโดยวิธีการหมักทำปุ๋ยโดยการใช้สารตัวเร่ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยมหิดล.

เสียงแก้ว พิริยพฤษณ์ ,พิทยากร ลิ้มทอง ,ปรีดี ดีรักษา,วรรณลดา สุนันทพงศ์ศักดิ์, ปริญญา รัชญาดี และ Shinichi Yoshika ,2534. ผลของการใช้วัสดุต่างๆในการทำปุ๋ยหมักต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณจุลินทรีย์, รายงานการวิจัยการปรับปรุงบำรุงดินด้วยอินทรีวัตถุ (2526-2532) ,กลุ่มอินทรีวัตถุและวัสดุเหลือใช้ กรมพัฒนาที่ดิน.

องอาจ เอี่ยมสำอางค์. 2542. การใช้ระบบอัดอากาศในการทำปุ๋ยหมักจากเศษพืชผักร่วมกับตะกอนน้ำทิ้งชุมชน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อุษณีย์ อุยะเสถียร ,2545 . การจัดการขยะและของเสียอันตราย.คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ ,มหาวิทยาลัยมหิดล

Danteravanich, S.1989. **Evaluation of the behavior of Bangkok municiple solid waste composting process.** M.S.Thesis, Asain Institute of Technology. Bangkok

Eklind, Y. and H.Kirchmann.2000. **Composting and storage of organic household waste with different litter amendment I ; carbon turnover.** Bioresource Technology

Gataas,H.B. 1976. Composting. **Dept.** of Engineering, University of California , Berkeley.

Golueke, C.G. 1982. **Selection and Adaptation of a compost System.** Composting Theory and Practice for City , Industry and Farm. JG Press Inc, Emmaus.

Golueke, C.G. and L.F.Diaz.1987. **Composting and Limiting factor principle biocycle.** 22-25p

Gray , K.R.,K. Sherman and A.J.Biddlestone. 1971.**Review of Composting Part.** Process Biochem. 6:32-36

Haug, R.T. 1980. **Composting Engineering : Principle & Practice,** Technomic Pulp Co.Inc., Lancaster , Pennsylvania, 655p.

Haug, R.T. 1993. **The Practical Handbook of Compost Engineering.,** Lewis Publishers.USA. 717p.

Jica. 1982, **The Bangkok Solid Waste Management Study in Thailand**, Final Report ,
Bangkok ,Thailand,436p.

Leemaharounguang, S. 1988 . **Composting of Municipal Solid Wastes by Forced Air
Aeration**, Master Thesis , AsisInstitute of Technology , Bangkok.

Matin,A.M., Evans, D.porter , and T.R. Patel. 1993. **Comparative effects of peat and sawdust
employed as bulking agants in composting** , Bioresource Technology

Metcalf and Eddy.1991. Wastewater Engineering : Treatment, **Disposal and Reuse**.Tata McGraw
– Hill Publishing Company Ltd. New dalhi.1334p.

Polprasert C. 1996. **Organic Waste Recycling**. 2nd ed. John Wiley & Sons., England.

Rabbani , K.R., R. Jindal , H.Kubota,and L. Obeng. 1983. **Composting of Domestic Refuse**.
Environmental Sanitation Review Report. 10/11:9-78.

Schulze, K.L. 1960 .**Rate of oxygen consumption and respiratory quotions during the aerobic
decomposition of a synthetic refuse**. Compost Science

Tiquia, S.M.,Tam, N.F.Y. and Hodgkiss,I.J.(1996). Effects of composting on phytotoxicity of
spent pig manure sawdust litter. **Eniron.Pollut**.93:249-256.

Wong , J.W.C.,Mak, K.F.,Chan, N.W., Lam, A., Fang, M., Zhou ,L.X., Wu, O.T. and
Liao,X.D.(2001).**Co-compost of soybean residues and leaves in Hong
Kong**.Biores.Technol. 76: 99-106.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การคำนวณลักษณะทางกายภาพ และเคมีของวัสดุหมัก

ภาคผนวก ก

การคำนวณลักษณะทางกายภาพ และเคมีของวัสดุหมัก

1. การคำนวณหาปริมาณวัสดุหมัก กรณีกำหนดสัดส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจน

การคำนวณหาปริมาณวัสดุหมักสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\frac{C_A (TS_A) + C_B (TS_B) + C_C (TS_C)}{N_A (TS_A) + N_B (TS_B) + N_C (TS_C)} = \frac{C_D}{N_D}$$

โดยที่	C_A	=	ร้อยละคาร์บอนของวัสดุหมักชนิด A
	TS_A	=	ของแข็งรวมของวัสดุหมักชนิด A
	C_B	=	ร้อยละคาร์บอนของวัสดุหมักชนิด B
	TS_B	=	ของแข็งรวมของวัสดุหมักชนิด B
	C_C	=	ร้อยละคาร์บอนของวัสดุหมักชนิด C
	TS_C	=	ของแข็งรวมของวัสดุหมักชนิด C
	C_D	=	คาร์บอนที่ต้องการ
	N_A	=	ร้อยละไนโตรเจนของวัสดุหมักชนิด A
	N_B	=	ร้อยละไนโตรเจนของวัสดุหมักชนิด B
	N_C	=	ร้อยละไนโตรเจนของวัสดุหมักชนิด C
	N_D	=	ไนโตรเจนที่ต้องการ

2. การคำนวณหาปริมาตรของวัสดุหมักคำนวณได้จากสมการ

	V	=	M / D
โดยที่	V	=	ปริมาตร (ลิตร)
	M	=	มวล (กิโลกรัม)
	D	=	ความหนาแน่น (กิโลกรัม / ลิตร)

ภาคผนวก ข

วิธีวิเคราะห์ทางห้องปฏิบัติการ

ภาคผนวก ข

วิธีวิเคราะห์ทางห้องปฏิบัติการ

1. การวัดอุณหภูมิ โดยใช้ Temperature meter

วิธีการ

จุ่มหัววัดให้ลึกลงจากวัสดุหมักที่ระดับ 28 , 25 ,20 และ 10 เซนติเมตร ของความสูงถังหมัก และอ่านค่าที่ได้ในเวลา 5 นาทีจะได้ค่าอุณหภูมิของวัสดุหมักของแต่ละตัวอย่าง

2. การวัดค่าความเป็นกรด – ด่าง และค่าการนำไฟฟ้า โดยใช้ pH meter และ EC meter

วิธีการ

ใช้วัสดุหมักที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาด 2 มิลลิเมตร จำนวน 10 กรัม ใส่ใน Beaker ขนาด 100 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 200 มิลลิลิตร ใช้แท่งแก้วคนวัสดุหมัก และน้ำให้เข้ากัน ทิ้งไว้ประมาณ 30 นาที ในขณะที่ทิ้งไว้ให้คนวัสดุหมักเป็นครั้งคราว ก่อนวัด ค่าความเป็นกรด-ด่างต้องปรับ pH meter buffer solution pH 4 และ pH 7 ก่อนแล้ว จึงดำเนินการวัดค่าความเป็นกรด – ด่าง และค่าการนำไฟฟ้า

3. การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น และของแข็งรวม

วิธีการวิเคราะห์

ชั่งตัวอย่างวัสดุหมักสด นำไปใส่ในถาดอลูมิเนียมที่ทราบน้ำหนัก แล้วนำไปอบในตู้ที่อุณหภูมิ 75 – 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3-4 วัน จนกระทั่งตัวอย่างวัสดุหมักแห้งสนิท คือน้ำหนักตัวอย่างวัสดุหมักคงที่

วิธีการคำนวณ

$$W = \frac{(W_1 - W_2) \times 100}{W_1}$$

$$T = 100 - W$$

โดยที่

$$W_1 = \text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ}$$

$$W_2 = \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังจากอบจนแห้ง}$$

$$W = \text{ร้อยละความชื้น}$$

$$T = \text{ร้อยละของปริมาตรของแข็งรวม}$$

4. การวิเคราะห์ปริมาณของแข็งระเหย

วิธีการวิเคราะห์

ตัวอย่างวัสดุหมักที่อบแห้งสนิท นำมาบดด้วยเครื่องบดตัวอย่างให้มีขนาด 1 มิลลิเมตร นำไปอบที่ 75 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นใน Dessicator จากนั้นสุ่มตัวอย่างวัสดุหมัก ประมาณ 3 –6 กรัม ใส่ใน Porcelain Crucible ที่ทราบน้ำหนักแน่นอน นำไปชั่งน้ำหนักรวมอีกครั้งหนึ่งก่อนที่จะนำไปเผาใน Muffle Furnace ที่อุณหภูมิ 600 – 650 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นจนสามารถนำออกมาไว้ใน Dessicator ได้ ทิ้งไว้ใน Dessicator ประมาณ 1-2 ชั่วโมง นำ Porcelain Crucible มาชั่งน้ำหนักอีกครั้ง

วิธีการคำนวณ

	V	=	$\frac{(W_1 - W_2) \times 100}{W_1}$
	Ash	=	100 - V
โดยที่	W_1	=	น้ำหนักตัวอย่างก่อนเผา
	W_2	=	น้ำหนักตัวอย่างหลังเผา
	V	=	ร้อยละของปริมาณของแข็งระเหย
	Ash	=	ร้อยละของปริมาณเถ้า

5. การวิเคราะห์ความหนาแน่น

วิธีการวิเคราะห์

ชั่งน้ำหนักภาชนะตวงวัสดุหมักที่ทราบปริมาตรแน่นอน เติมตัวอย่างวัสดุหมักให้เต็มภาชนะ กระแทกเบาๆ 3 ครั้ง ชั่งน้ำหนักภาชนะที่มีตัวอย่างวัสดุหมัก ทำซ้ำหลายๆครั้งเพื่อหาค่าเฉลี่ย

วิธีการคำนวณ

	D	=	$\frac{(W_2 - W_1)}{V}$
โดยที่	W_1	=	น้ำหนักภาชนะก่อนเติมตัวอย่าง (กิโลกรัม)
	W_2	=	น้ำหนักภาชนะหลังเติมตัวอย่าง (กิโลกรัม)
	D	=	ความหนาแน่น (กิโลกรัม /ลิตร)
	V	=	ปริมาตรของภาชนะ (ลิตร)

6. การวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด

วิธีการวิเคราะห์ มีขั้นตอนในการทำดังนี้

6.1) เตรียมตัวอย่าง

ตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้งสนิท และบดละเอียดจนมีขนาด 1 มิลลิเมตร แล้ว นำมาอบที่ 75 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

6.2) การDigest ตัวอย่าง

ชั่งตัวอย่างวัสดุหักประมาณ 0.5 – 1.0 กรัม ใส่ในkjedahl flask เติม K_2SO_4 เติม HgO เติม H_2SO_4 conc. แล้วทำการ Digest จนสารละลายที่ได้มีลักษณะใส และDigest ต่อไปอีก 20 นาที ปิดเตาทิ้งไว้ให้เย็น

6.2) การกลั่น

เติมน้ำกลั่นประมาณ 250 มิลลิลิตร หยด Phenolphthaline indicator จากนั้นเติมสารละลายผสมของ NaOH กับ $Na_2S_2O_3$ solution 75 มิลลิลิตร จะได้สีชมพู กลั่นโดยใช้ Boric acid 4 % ในปริมาตร 50 มิลลิลิตร กลั่นจนได้ปริมาตร 200 มิลลิลิตร นำมาไตเตรท หา NH_3

6.3) การไตเตรท

นำสารละลายที่ได้มาไตเตรทด้วยสารละลายมาตรฐาน Sulfuric acid โดยใช้ Methyl Purple Indicator เป็นอินดิเคเตอร์ จนกระทั่งถึงจุดยุติ โดยสีของสารละลายเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีม่วง บันทึกผล

วิธีการคำนวณ

$$N_t = \frac{(A - B) \times N \times 14 \times 100}{C}$$

โดยที่ N_t = ร้อยละของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด

A = ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานที่ใช้ไตเตรทตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

B = ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานที่ใช้ไตเตรท blank (มิลลิลิตร)

N = Normality ของสารละลายมาตรฐาน

C = น้ำหนักของตัวอย่าง (มิลลิกรัม)

7. การวิเคราะห์ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน

วิธีการคำนวณ

$$\text{Organic carbon (\%)} = \frac{\text{Volatile Solid(\%)}}{1.8}$$

8. การวิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนียม

วิธีการวิเคราะห์

8.1) การเตรียมสารละลายมาตรฐาน

นำ ammonium sulfate 7 กรัม มาอบที่ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นใน dessicator จากนั้นชั่งมา 4.714 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 1,000 มิลลิลิตร ได้สารละลาย 1,000 ไมโครกรัม /มิลลิลิตร คูณสารละลายนั้น 50 มิลลิลิตร มาละลายในน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร ได้สารละลาย 100 ไมโครกรัม /มิลลิลิตร คูณสารละลายนั้น 0 , 5 , 10 , 15, 20 และ 25 มิลลิลิตร มาละลายในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร ได้สารละลาย 0 , 5 , 10, 15 , 20 และ 25 ไมโครกรัม /มิลลิลิตร

8.2) การเตรียมตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์

นำตัวอย่างวัสดุหมักหนัก 10 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมสารละลาย 2 N KCl จำนวน 100 มิลลิลิตร นำไปเขย่าด้วยความเร็วรอบ 120 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที นำไป centrifuge แล้วกรองผ่านด้วยกระดาษกรอง NO.42 นำส่วนที่ใสไปใช้ในการวิเคราะห์

8.3) การวิเคราะห์หาแอมโมเนียม

คูณสารละลายมาตรฐาน ตัวอย่าง และน้ำกลั่น อย่างละ 1 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลอง เติมสารละลาย N_1 reagent จำนวน 5 มิลลิลิตร เขย่าทันทีและ ตั้งทิ้งไว้ 15 นาที แล้วเติมสารละลาย N_2 reagent จำนวน 5 มิลลิลิตร เขย่าทันที และตั้งทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง นำไปวัดค่า absorbance ที่ 655 นาโนเมตร

วิธีการคำนวณ

Plot กราฟระหว่างค่า absorbance ที่ได้ กับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน เพื่อใช้สำหรับหาค่าความเข้มข้นของตัวอย่าง และ blank นำมาคำนวณโดยสูตร

$$NH_4^+ - N = \frac{CV}{W}$$

โดยที่	$NH_4^+ - N$	=	ปริมาณแอมโมเนียม
	C	=	ความเข้มข้นของตัวอย่าง - ความเข้มข้นของน้ำกลั่น
	V	=	ปริมาตรของตัวอย่าง
	W	=	น้ำหนักตัวอย่าง

9. การวิเคราะห์ปริมาณไนเตรท

วิธีการวิเคราะห์

9.1) การเตรียมสารละลายมาตรฐาน

นำ potassium nitrate 10 กรัม มาอบที่ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นใน dessicator จากนั้นชั่งมา 7.223 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 1,000 มิลลิลิตร ได้สารละลาย 1,000 ไมโครกรัม /มิลลิลิตร ดูดสารละลายนั้น 25 มิลลิลิตร มาละลายในน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร ได้สารละลาย 50 ไมโครกรัม /มิลลิลิตร ดูดสารละลายนั้น 0 , 2, 4 ,6 ,8 และ 10 มิลลิลิตร มาละลายในน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร ได้สารละลาย 0 , 2, 4 ,6 ,8 และ 10 ไมโครกรัม /มิลลิลิตร

9.2) การเตรียมตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์

นำตัวอย่างวัสดุหมักหนัก 10 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมสารละลาย 0.5 M K_2SO_4 จำนวน 20 มิลลิลิตร นำไปเขย่าด้วยความเร็วรอบ 120 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที นำไป centrifuge แล้วกรองผ่านด้วยกระดาษกรอง NO.42 นำส่วนที่ใสไปใช้ในการวิเคราะห์

9.3) การวิเคราะห์หาแอมโมเนียม

ดูดสารละลายมาตรฐาน ตัวอย่าง และน้ำกลั่น อย่างละ 0.5 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลอง เติมสารละลาย salicylic acid จำนวน 1 มิลลิลิตร เขย่าทันทีและ ตั้งทิ้งไว้ 30 นาที แล้วเติมสารละลาย NaOH จำนวน 10 มิลลิลิตร เขย่าทันที และตั้งทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง นำไปวัดค่า absorbance ที่ 410 นาโนเมตร

วิธีการคำนวณ

Plot กราฟระหว่างค่า absorbance ที่ได้ กับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน เพื่อใช้สำหรับหาค่าความเข้มข้นของตัวอย่าง และ blank นำมาคำนวณโดยสูตร

$$NO_3^- - N = \frac{CV}{W}$$

โดยที่	$NO_3^- - N$	=	ปริมาณไนเตรท
	C	=	ความเข้มข้นของตัวอย่าง - ความเข้มข้นของน้ำกลั่น
	V	=	ปริมาตรของตัวอย่าง
	W	=	น้ำหนักตัวอย่าง

10. การวิเคราะห์ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

วิธีการวิเคราะห์

ใช้ 0.1 N NaOH ดักจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยใช้ Phenolphthaline เป็นอินดิเคเตอร์ สารละลายเริ่มต้นเป็นสีชมพู เมื่อภายในสารละลายมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ แล้วสารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีชมพูอ่อนขึ้น จากนั้นนำมาไตเตรทด้วย 0.1 N HCl

11. การทดสอบการงอกของเมล็ด

วิธีการวิเคราะห์

เตรียมตัวอย่างจำนวน 20 กรัม เติมน้ำ 40 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน วางทิ้งไว้ข้ามคืน และกรองผ่านผ้าขาวบางจะได้น้ำชะปุย จากนั้นเตรียม petridish ที่มีสำลีวางบนฝาล่าง และมีเมล็ดถั่วเขียวที่ผ่านการทดสอบความสมบูรณ์จำนวน 5 เมล็ด หยคน้ำชะปุยหมัก 5 มิลลิลิตร ลงใน petridish ที่เตรียมไว้ ปิดฝา แล้วเก็บไว้ในที่มืด ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง สังเกตจำนวนเมล็ดที่งอก และวัดความยาวราก จำนวน 5 การทดลอง

วิธีการคำนวณ

ดัชนีการงอก (germination index, GI) (Wong et al., 2001)

$$\text{Germination Index (\%)} = \frac{\text{Seed germination(\%)} \times \text{Root length of treatment} \times 100 \%}{\text{Seed germination(\%)} \times \text{Root length of control}}$$

ภาคผนวก ก

ตารางผลการทดลอง

ตารางผนวกที่ ค1 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งระเหยได้ในถังหมัก

รูปแบบการทดลอง	น้ำหนักเปียก (กก.)		ปริมาณของแข็งรวม (ร้อยละ)		ปริมาณของแข็งระเหยได้ (ร้อยละ)		ปริมาณของแข็งระเหยได้ (กก.)		ร้อยละการเปลี่ยนแปลง
	เริ่มต้น	สิ้นสุด	เริ่มต้น	สิ้นสุด	เริ่มต้น	สิ้นสุด	เริ่มต้น	สิ้นสุด	
เติมอากาศ 0.2 m ³ / kgVS / d	1.77	1.08	34.12	44.72	83.22	76.78	0.50	0.37	26.00
เติมอากาศ 0.4 m ³ / kgVS / d	1.77	0.81	34.94	48.68	84.09	70.93	0.52	0.28	46.15
เติมอากาศ 0.6 m ³ / kgVS / d	1.77	0.54	33.21	69.69	84.11	81.82	0.40	0.31	22.50

ตารางผนวกที่ ค2 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งระเหยได้ในช่วงการย่อยสลายอย่างเข้มข้นในถังหมัก

ปริมาณตะกอน	น้ำหนักเปียก(กก.)		ปริมาณของแข็งรวม (ร้อยละ)		ปริมาณของแข็งระเหยได้ (ร้อยละ)		ปริมาณของแข็งระเหยได้ (กก.)		ร้อยละการเปลี่ยนแปลง
	เริ่มต้น	สิ้นสุด	เริ่มต้น	สิ้นสุด	เริ่มต้น	สิ้นสุด	เริ่มต้น	สิ้นสุด	
0 %	1.76	0.81	32.11	48.07	84.33	69.32	0.48	0.27	43.75
5%	1.77	0.90	35.56	46.17	83.87	69.55	0.53	0.29	45.28
10%	1.78	1.02	37.41	43.72	83.57	70.34	0.56	0.31	44.64
15%	1.79	1.11	37.92	39.61	82.30	73.57	0.56	0.32	42.86

ตารางผนวกที่ ค3 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งระเหยได้ในช่วงการย่อยสลายช่วงสุดท้ายในถังหมัก

ปริมาณตะกอน	น้ำหนักเปียก(กก.)		ปริมาณของแข็งรวม (ร้อยละ)		ปริมาณของแข็งระเหยได้ (ร้อยละ)		ปริมาณของแข็งระเหยได้ (กก.)		ร้อยละการเปลี่ยนแปลง
	เริ่มต้น	สิ้นสุด	เริ่มต้น	สิ้นสุด	เริ่มต้น	สิ้นสุด	เริ่มต้น	สิ้นสุด	
0 %	1.76	0.66	32.11	60.73	84.33	48.83	0.48	0.20	58.33
5%	1.77	0.74	35.56	57.65	83.87	47.55	0.53	0.20	62.26
10%	1.78	0.75	37.41	52.87	83.57	55.87	0.56	0.22	60.71
15%	1.79	0.78	37.92	48.97	82.30	59.24	0.56	0.23	53.57

ตารางผนวกที่ ค4 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจน ในระยะเริ่มต้น และระยะสุดท้าย

ปริมาณ ตะกอน	น้ำหนักเปียก (กก.)		ปริมาณของแข็งรวม (ร้อยละ)		ปริมาณไนโตรเจน (ร้อยละ)		ปริมาณไนโตรเจน (กก.)		ร้อยละการเปลี่ยนแปลง
	เริ่มต้น	สิ้นสุด	เริ่มต้น	สิ้นสุด	เริ่มต้น	สิ้นสุด	เริ่มต้น	สิ้นสุด	
0 %	1.76	0.66	32.11	60.73	1.44	1.25	0.0081	0.0050	38.27
5%	1.77	0.74	35.56	57.65	2.04	1.72	0.0128	0.0073	42.97
10%	1.78	0.75	37.41	52.87	2.64	2.20	0.0176	0.0087	50.57
15%	1.79	0.78	37.92	48.97	3.57	3.13	0.0240	0.0120	50.00

ตารางผนวกที่ ค5 การเปลี่ยนแปลงปริมาณฟอสฟอรัส ในระยะเริ่มต้น และระยะสุดท้าย

ปริมาณ ตะกอน	น้ำหนักเปียก (กก.)		ปริมาณของแข็ง รวม (ร้อยละ)		ปริมาณฟอสฟอรัส (ร้อยละ)		ปริมาณฟอสฟอรัส (กก.)		ร้อยละการเปลี่ยนแปลง
	เริ่มต้น	สิ้นสุด	เริ่มต้น	สิ้นสุด	เริ่มต้น	สิ้นสุด	เริ่มต้น	สิ้นสุด	
0 %	1.76	0.66	32.11	60.73	0.32	0.32	0.0018	0.0013	27.78
5%	1.77	0.74	35.56	57.65	0.40	0.51	0.0025	0.0022	12.00
10%	1.78	0.75	37.41	52.87	0.41	0.45	0.0027	0.0026	3.70
15%	1.79	0.78	37.92	48.97	0.47	0.75	0.0032	0.0029	9.38

ตารางผนวกที่ ค6 การเปลี่ยนแปลงปริมาณโพแทสเซียม ในระยะเริ่มต้น และระยะสุดท้าย

ปริมาณ ตะกอน	น้ำหนักเปียก (กก.)		ปริมาณของแข็ง รวม (ร้อยละ)		ปริมาณโพแทสเซียม (ร้อยละ)		ปริมาณโพแทสเซียม (กก.)		ร้อยละการ เปลี่ยนแปลง
	เริ่มต้น	สิ้นสุด	เริ่มต้น	สิ้นสุด	เริ่มต้น	สิ้นสุด	เริ่มต้น	สิ้นสุด	
0 %	1.76	0.66	32.11	60.73	0.80	0.57	0.0045	0.0023	48.89
5%	1.77	0.74	35.56	57.65	0.70	0.60	0.0044	0.0026	40.91
10%	1.78	0.75	37.41	52.87	0.65	0.60	0.0043	0.0024	44.19
15%	1.79	0.78	37.92	48.97	0.60	0.60	0.0041	0.0023	43.90

ภาคผนวก ง

มาตรฐานปฎิบัติ พ.ศ. 2548

ภาคผนวก ง

มาตรฐานปุ๋ยหมัก พ.ศ. 2548

ตามประกาศกรมวิชาการเกษตร เรื่อง มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ.2548 ได้กำหนดมาตรฐาน
ปุ๋ยอินทรีย์ ตาราง

ลำดับ	คุณลักษณะ	เกณฑ์กำหนด
1	ขนาดของปุ๋ย	ไม่เกิน 12.5 x 12.5 มิลลิเมตร
2	ปริมาณความชื้นและสิ่งที่ระเหยได้	ไม่เกิน 35 % โดยน้ำหนัก
3	ปริมาณหินและกรวด	ขนาดใหญ่กว่า 5 มิลลิเมตร ไม่เกิน 5% โดยน้ำหนัก
4	พลาสติก แก้ว วัสดุมีคม และโลหะอื่นๆ	ต้องไม่มี
5	ปริมาณอินทรีย์วัตถุ	ไม่น้อยกว่า 30 % โดยน้ำหนัก
6	ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	5.5 - 8.5
7	อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N)	ไม่เกิน 20 : 1
8	ค่าการนำไฟฟ้า	ไม่เกิน 6 เดซิซีเมน /เมตร
9	ปริมาณธาตุอาหารหลัก	-ไนโตรเจน(total N)ไม่น้อยกว่า 1.0 % โดยน้ำหนัก - ฟอสฟอรัส (total P ₂ O ₅) ไม่น้อยกว่า 0.5%โดยน้ำหนัก - โพแทสเซียม(total K ₂ O) ไม่น้อยกว่า 0.5%โดยน้ำหนัก
10	สารหนู (Arsenic)	ไม่เกิน 50 มิลลิกรัม / กิโลกรัม
	แคดเมียม (Cadmium)	ไม่เกิน 5 มิลลิกรัม / กิโลกรัม
	โครเมียม (Chromium)	ไม่เกิน 300 มิลลิกรัม / กิโลกรัม
	ทองแดง (Copper)	ไม่เกิน 500 มิลลิกรัม / กิโลกรัม
	ตะกั่ว (Lead)	ไม่เกิน 500 มิลลิกรัม / กิโลกรัม
	ปรอท (Mercury)	ไม่เกิน 2 มิลลิกรัม / กิโลกรัม

ภาคผนวก จ

การคำนวณทางสถิติ

ภาคผนวก จ

การคำนวณทางสถิติ

ตารางผนวกที่ จ1 ทดสอบ ANOVA ของปริมาณ CO₂ ในช่วง 10 วันแรกของการเติมอากาศ

ANOVA

CO2

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	57669576.067	2	28834788.033	6.883	.004
Within Groups	113117261.400	27	4189528.200		
Total	170786837.467	29			

ตารางผนวกที่ จ2 ทดสอบ LSD ของปริมาณ CO₂ ในช่วง 10 วันแรกของการเติมอากาศ

Multiple Comparisons

Dependent Variable: CO2

LSD

(I) AIR2	(J) AIR2	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
.2	.4	-2139.50*	915.372	.027	-4017.69	-261.31
	.6	1214.40	915.372	.196	-663.79	3092.59
.4	.2	2139.50*	915.372	.027	261.31	4017.69
	.6	3353.90*	915.372	.001	1475.71	5232.09
.6	.2	-1214.40	915.372	.196	-3092.59	663.79
	.4	-3353.90*	915.372	.001	-5232.09	-1475.71

*. The mean difference is significant at the .05 level.

ตารางผนวกที่ จ3 ทดสอบ ANOVA ของการเปลี่ยนแปลงความชื้นในอัตราการเติมอากาศที่แตกต่างกัน

ANOVA

WATER1

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	2785.804	2	1392.902	481.002	.000
Within Groups	34.750	12	2.896		
Total	2820.554	14			

ตารางผนวกที่ จ4 ทดสอบ LSD ของการเปลี่ยนแปลงความชื้นในอัตราการเติมอากาศที่แตกต่างกัน

Multiple Comparisons

Dependent Variable: WATER1

LSD

(I) AIR4	(J) AIR4	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
.2	.4	11.9600*	1.07626	.000	9.6150	14.3050
	.6	32.9700*	1.07626	.000	30.6250	35.3150
.4	.2	-11.9600*	1.07626	.000	-14.3050	-9.6150
	.6	21.0100*	1.07626	.000	18.6650	23.3550
.6	.2	-32.9700*	1.07626	.000	-35.3150	-30.6250
	.4	-21.0100*	1.07626	.000	-23.3550	-18.6650

*. The mean difference is significant at the .05 level.

ตารางผนวกที่ จ5 ทดสอบ ANOVA ของปริมาณของแข็งที่ระเหยได้ในอัตราการเติมอากาศที่แตกต่างกัน

ANOVA

SOLID

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1388.261	2	694.130	236.886	.000
Within Groups	35.163	12	2.930		
Total	1423.423	14			

ตารางผนวกที่ จ6 ทดสอบ LSD ของปริมาณของแข็งที่ระเหยได้ในอัตราการเติมอากาศที่แตกต่างกัน

Multiple Comparisons

Dependent Variable: SOLID

LSD

(I) AIR3	(J) AIR3	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
.2	.4	-18.4100*	1.08263	.000	-20.7689	-16.0511
	.6	3.5340*	1.08263	.007	1.1751	5.8929
.4	.2	18.4100*	1.08263	.000	16.0511	20.7689
	.6	21.9440*	1.08263	.000	19.5851	24.3029
.6	.2	-3.5340*	1.08263	.007	-5.8929	-1.1751
	.4	-21.9440*	1.08263	.000	-24.3029	-19.5851

*. The mean difference is significant at the .05 level.

ตารางผนวกที่ ๗ ทดสอบ ANOVA ของการเปลี่ยนแปลงความชื้นในการเติมกากตะกอน
ปริมาณต่างกัน

ANOVA

WATER2

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	200.040	3	66.680	19.716	.000
Within Groups	54.113	16	3.382		
Total	254.153	19			

**ตารางผนวกที่ ๖๘ ทดสอบ LSD ของการเปลี่ยนแปลงความชื้นในการเติมกากตะกอน
ปริมาณต่างกัน**

Multiple Comparisons

Dependent Variable: WATER2

LSD

(I) TK3	(J) TK3	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
.00	.05	-1.9000	1.16311	.122	-4.3657	.5657
	.10	-4.3500*	1.16311	.002	-6.8157	-1.8843
	.15	-8.4600*	1.16311	.000	-10.9257	-5.9943
.05	.00	1.9000	1.16311	.122	-.5657	4.3657
	.10	-2.4500	1.16311	.051	-4.9157	.0157
	.15	-6.5600*	1.16311	.000	-9.0257	-4.0943
.10	.00	4.3500*	1.16311	.002	1.8843	6.8157
	.05	2.4500	1.16311	.051	-.0157	4.9157
	.15	-4.1100*	1.16311	.003	-6.5757	-1.6443
.15	.00	8.4600*	1.16311	.000	5.9943	10.9257
	.05	6.5600*	1.16311	.000	4.0943	9.0257
	.10	4.1100*	1.16311	.003	1.6443	6.5757

*. The mean difference is significant at the .05 level.

ตารางผนวกที่ ๑๑ ทดสอบ ANOVA ของการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ระเหยได้ในการเติม
กากตะกอนปริมาณต่างกัน

ANOVA

SOLID2

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	215.831	3	71.944	13.551	.000
Within Groups	84.946	16	5.309		
Total	300.777	19			

ตารางผนวกที่ ๑๑๑๐ ทดสอบ LSD ของการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ระเหยได้ในอัตราการเติม
กากตะกอนปริมาณต่างกัน

Multiple Comparisons

Dependent Variable: SOLID2

LSD

(I) TK3	(J) TK3	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
.00	.05	-3.9300*	1.45727	.016	-7.0193	-.8407
	.10	-2.3800	1.45727	.122	-5.4693	.7093
	.15	4.7600*	1.45727	.005	1.6707	7.8493
.05	.00	3.9300*	1.45727	.016	.8407	7.0193
	.10	1.5500	1.45727	.303	-1.5393	4.6393
	.15	8.6900*	1.45727	.000	5.6007	11.7793
.10	.00	2.3800	1.45727	.122	-.7093	5.4693
	.05	-1.5500	1.45727	.303	-4.6393	1.5393
	.15	7.1400*	1.45727	.000	4.0507	10.2293
.15	.00	-4.7600*	1.45727	.005	-7.8493	-1.6707
	.05	-8.6900*	1.45727	.000	-11.7793	-5.6007
	.10	-7.1400*	1.45727	.000	-10.2293	-4.0507

*. The mean difference is significant at the .05 level.

ตารางผนวกที่ จ11 ทดสอบ ANOVA ของการเปลี่ยนแปลงปริมาณปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในการเติมกากตะกอนปริมาณต่างกัน

ANOVA

PHDC

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	4986.498	3	1662.166	9.442	.005
Within Groups	1408.328	8	176.041		
Total	6394.826	11			

ตารางผนวกที่ จ12 ทดสอบ LSD ปริมาณปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในการเติมกากตะกอนปริมาณต่างกัน

Multiple Comparisons

Dependent Variable: PHDC

LSD

(I) TK4	(J) TK4	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
.00	.05	-15.2867	10.83331	.196	-40.2683	9.6950
	.10	-46.2467*	10.83331	.003	-71.2283	-21.2650
	.15	-47.6367*	10.83331	.002	-72.6183	-22.6550
.05	.00	15.2867	10.83331	.196	-9.6950	40.2683
	.10	-30.9600*	10.83331	.021	-55.9417	-5.9783
	.15	-32.3500*	10.83331	.017	-57.3317	-7.3683
.10	.00	46.2467*	10.83331	.003	21.2650	71.2283
	.05	30.9600*	10.83331	.021	5.9783	55.9417
	.15	-1.3900	10.83331	.901	-26.3717	23.5917
.15	.00	47.6367*	10.83331	.002	22.6550	72.6183
	.05	32.3500*	10.83331	.017	7.3683	57.3317
	.10	1.3900	10.83331	.901	-23.5917	26.3717

*. The mean difference is significant at the .05 level.

ตารางผนวกที่ จ13 ทดสอบ ANOVA ของปริมาณการงอกของเมล็ดในการเติมกากตะกอน
ปริมาณต่างกัน

ANOVA					
GROWTH					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	2679.135	3	893.045	7.990	.009
Within Groups	894.191	8	111.774		
Total	3573.326	11			

ตารางผนวกที่ จ14 ทดสอบ LSD ของการเปลี่ยนแปลงปริมาณการงอกของเมล็ดในการเติม
กากตะกอนปริมาณต่างกัน

Multiple Comparisons

Dependent Variable: GROWTH

LSD

(I) TK4	(J) TK4	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
.00	.05	13.6333	8.63226	.153	-6.2727	33.5394
	.10	30.3200*	8.63226	.008	10.4140	50.2260
	.15	38.6467*	8.63226	.002	18.7406	58.5527
.05	.00	-13.6333	8.63226	.153	-33.5394	6.2727
	.10	16.6867	8.63226	.089	-3.2194	36.5927
	.15	25.0133*	8.63226	.020	5.1073	44.9194
.10	.00	-30.3200*	8.63226	.008	-50.2260	-10.4140
	.05	-16.6867	8.63226	.089	-36.5927	3.2194
	.15	8.3267	8.63226	.363	-11.5794	28.2327
.15	.00	-38.6467*	8.63226	.002	-58.5527	-18.7406
	.05	-25.0133*	8.63226	.020	-44.9194	-5.1073
	.10	-8.3267	8.63226	.363	-28.2327	11.5794

*. The mean difference is significant at the .05 level.

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นันทนา วิจิตรทัศน์า
วัน เดือน ปี ที่เกิด	17 พฤษภาคม 2525
สถานที่เกิด	กรุงเทพฯ
ประวัติการศึกษา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (วิทยาศาสตรัฐภาพ) มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-