บทที่ 4

ผลการศึกษาและวิจารณ์ผล

จากการศึกษาการหมักปุ๋ยด้วยวิธีกองแบบมีการระบายอากาศโดยใช้วัตถุดิบในการหมักที่เป็นเศษหญ้าผสมกับกากตะกอนน้ำเสียของการทดลองใน Run ที่ 1 และเป็นเศษใบไม้แห้งผสมกับกากตะกอนน้ำเสียของการทดลองใน Run ที่ 2 นั้นสามารถแบ่งประเด็นเพื่ออภิปรายและวิจารณ์ผลการทดลองตามวัตถุประสงค์ที่ได้ตั้งไว้ดังต่อไปนี้

4.1 การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางเคมีและกายภาพ

ผลการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางเคมีและกายภาพตลอดกระบวนการหมักปุ๋ยนั้นสามารถแบ่งออกได้ดังต่อไปนี้

4.1.1 อุณหภูมิ

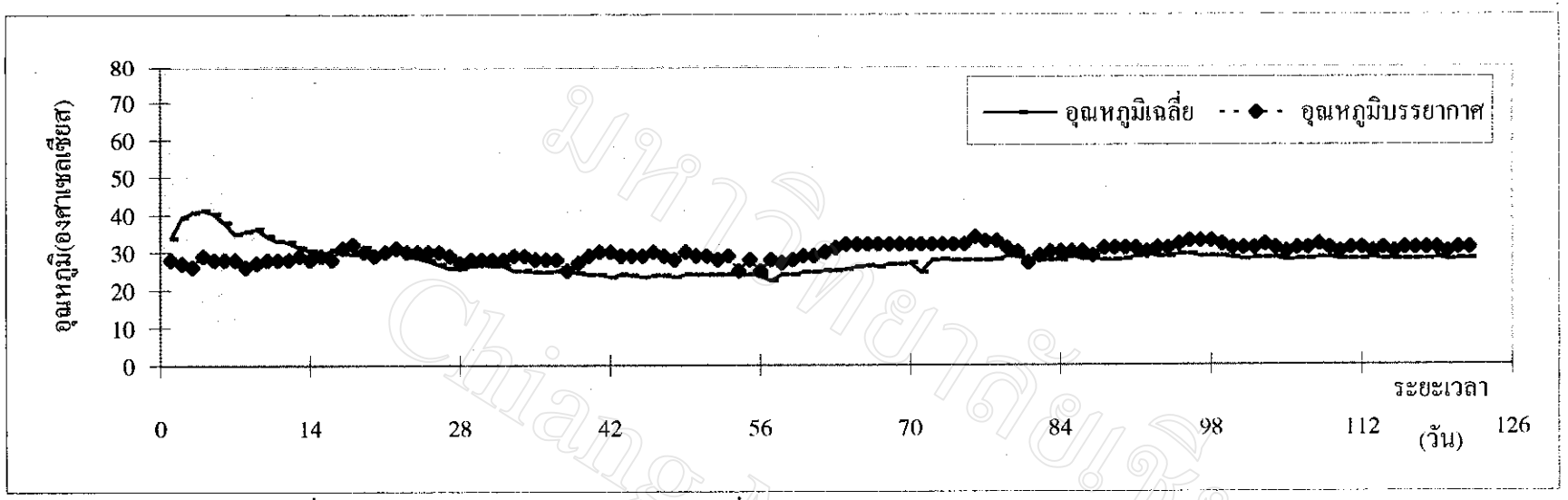
การศึกษาในครั้งนี้ได้ดำเนินการทำการทดลองในสองช่วงฤดูกาลตามความเหมาะสมของของเสียที่เกิดขึ้น โดยที่ได้ทำการทดลอง Run ที่ 1 ตั้งแต่ต้นเดือนมีนาคมถึงปลายเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2540 ส่วนการทดลองใน Run ที่ 2 ได้ถูกดำเนินการตั้งแต่กลางเดือนสิงหาคมถึงกลางเดือนธันวาคม พ.ศ. 2540 ซึ่งอุณหภูมิของบรรยากาศที่ได้ทำการวัดทุกๆวันในช่วงเวลา 14-16 น. ตลอดระยะเวลา 120 วัน มีค่าอยู่ระหว่าง 25-34 และ 24-31 $^{\circ}$ ซ ตามลำดับ ผลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมักของการทดลองใน Run ที่ 1 ได้แสดงในตาราง ง.1 และรูปที่ 6 ถึง 9 ส่วนผลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมักของการทดลองใน Run ที่ 2 ได้แสดงในตาราง ง.2 และรูปที่ 10 ถึง 13

ผลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมักของทั้งสองการทดลองมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่คล้ายคลึงกัน กล่าวคือ ในช่วงสัปดาห์แรกของกระบวนการหมักกองปุ๋ยที่มีความสูง 1.0 และ 1.5 ม. ทุกกอง มีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงที่สุดมากกว่า 60 $^{\circ}$ ซ ซึ่งเป็นอุณหภูมิในช่วงเทอร์โมฟิลิคเฟส (Thermophilic Phase) ส่วนกองปุ๋ยที่มีความสูง 0.5 ม. มีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดใน Run ที่ 1 และ 2 เพียงแค่ประมาณ 40 และ 50 $^{\circ}$ ซ ตามลำดับ ซึ่งเป็นอุณหภูมิช่วงต้นๆของช่วงเทอร์โมฟิลิคเฟส หลังจากสัปดาห์แรกจุลินทรีย์ที่มีมากได้เริ่มตายและลดจำนวนลงทำให้อัตราเมตตาบอลิซึมลดลงจึงส่งผลให้อุณหภูมิของทุกกองลดลงอย่างเห็นได้ชัดเจน ช่วงดังกล่าวนี้คือ

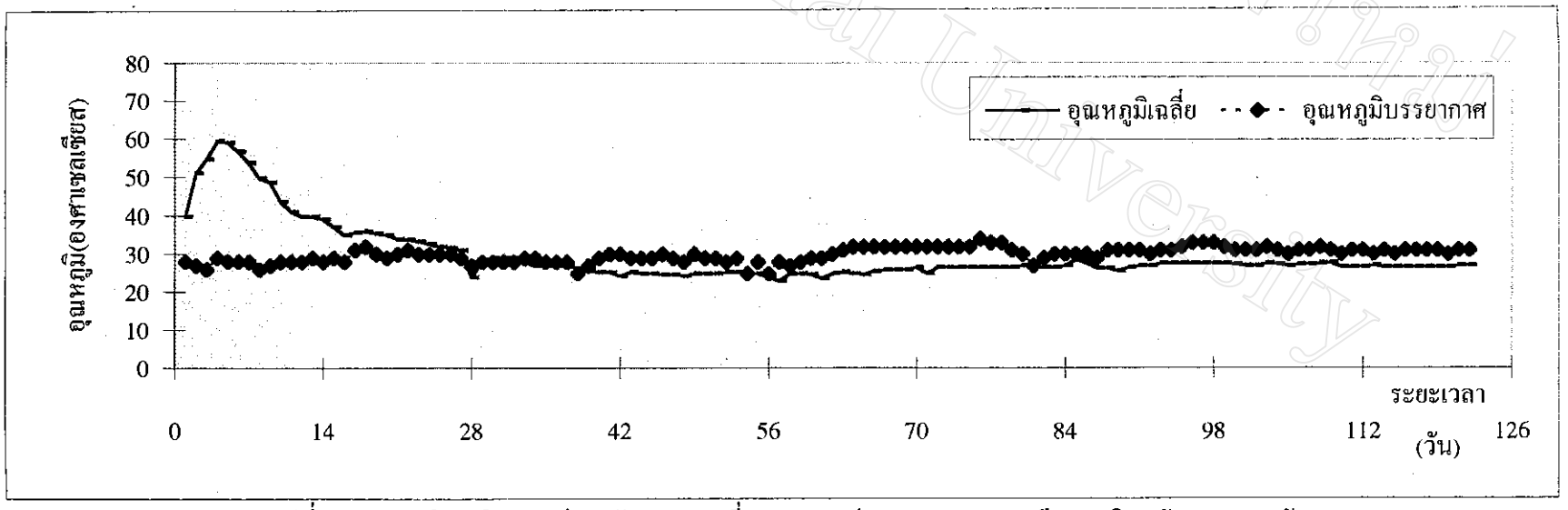
คูลลิ่งดาวน์เฟส (Cooling Down Phase) ในที่สุดอุณหภูมิเฉลี่ยภายในกองปุ๋ยหมักได้ลดลงจนใกล้เคียงกับอุณหภูมิของบรรยากาศ และจากผลการทดลองพบว่าอุณหภูมิของกองปุ๋ยสูง 0.5 ม. ของการทดลองใน Run ที่ 1 และ 2 ลดลงจนมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิบรรยากาศที่ระยะเวลาในการหมักประมาณ 17 และ 30 วัน ตามลำดับ ซึ่งสามารถลดลงได้เร็วกว่ากองปุ๋ยที่มีความสูง 1.0 และ 1.5 ม. ที่เป็นเช่นนี้เพราะว่ากองปุ๋ยที่มีความสูง 0.5 ม. มีสัดส่วนของพื้นที่ผิวที่สัมผัสอากาศมากกว่าและส่งผลให้ระบายความร้อนออกไปได้ง่ายกว่า อุณหภูมิจึงลดลงได้เร็วกว่าและทำให้เกิดกระบวนการหมักของช่วงเทอร์โมฟิลิคเฟสในระยะเวลาที่สั้นกว่า โดยที่อุณหภูมิของกองปุ๋ยที่มีความสูง 1.0 ม. ของการทดลองใน Run ที่ 1 และ 2 ลดลงจนมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิบรรยากาศที่ระยะเวลาในการหมักประมาณ 25 และ 45 วัน ตามลำดับ และของกองปุ๋ยสูง 1.5 ม. ของการทดลองใน Run ที่ 1 และ 2 ประมาณ 40 และ 60 วัน ตามลำดับ หลังจากที่กระบวนการหมักผ่านช่วงคูลลิ่งดาวน์เฟสไปแล้วระบบก็เริ่มเข้าสู่ช่วงแมทชัวเรชั่นเฟส (Maturation Phase) ซึ่งเป็นช่วงที่อัตราเมตาบอลิซึมของจุลินทรีย์เกิดขึ้นน้อยมากเพราะสารอินทรีย์ถูกย่อยสลายจนเกือบหมดแล้ว ทำให้ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ จากที่กล่าวมาข้างต้นเห็นได้ว่าอุณหภูมิของกองปุ๋ยที่มีความสูง 1.0 และ 1.5 ม. มีค่าสูงขึ้นไปอยู่ในช่วง 60-70 ° ซ ได้ซึ่งอุณหภูมิในช่วงดังกล่าวนี้มีความสำคัญต่อกระบวนการหมักมากเพราะว่าเป็นสภาวะที่มีความเหมาะสมต่อการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์นอกจากนี้ยังสามารถทำลายเชื้อโรคและไข่พยาธิบางชนิดได้ (Polprasert, 1988)

เมื่อพิจารณาผลการพลิกกลับและการไม่พลิกกลับกองปุ๋ยหมักพบว่าอุณหภูมิของกองปุ๋ยทุกกองที่มีการพลิกกลับของการทดลองทั้ง 2 ครั้ง มีค่าลดลงในช่วงสั้นๆที่ทำการพลิกกลับกองปุ๋ยและหลังจากนั้นอุณหภูมิก็สูงขึ้นจนเข้าสู่สภาวะเดิม จากข้อสังเกตุดังกล่าวสามารถนำไปใช้ในการพิจารณาการเกิดช่วงแมทชัวเรชั่นเฟสที่สมบูรณ์ของกระบวนการหมักได้ กล่าวคือ เมื่อทำการพลิกกลับกองปุ๋ยแล้วไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมักนั่นแสดงว่าปุ๋ยหมักเริ่มเข้าสู่ความเสถียรภาพหรือได้ที่แล้ว ส่วนอุณหภูมิของกองปุ๋ยที่ไม่มีการพลิกกลับของทั้งสองการทดลองเมื่อผ่านช่วงคูลลิ่งดาวน์เฟสมาแล้วไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงเลย ดังนั้นจึงไม่สามารถนำผลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมักของกองปุ๋ยที่ไม่มีการพลิกกลับมาเป็นเกณฑ์ในการพิจารณาระยะเวลาการได้ที่ของปุ๋ยหมัก

ระยะเวลาที่อุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมักไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงเมื่อทำการพลิกกลับกองปุ๋ยของการทดลองใน Run ที่ 1 และ 2 คือประมาณ 85 และ 55 วัน ตามลำดับ

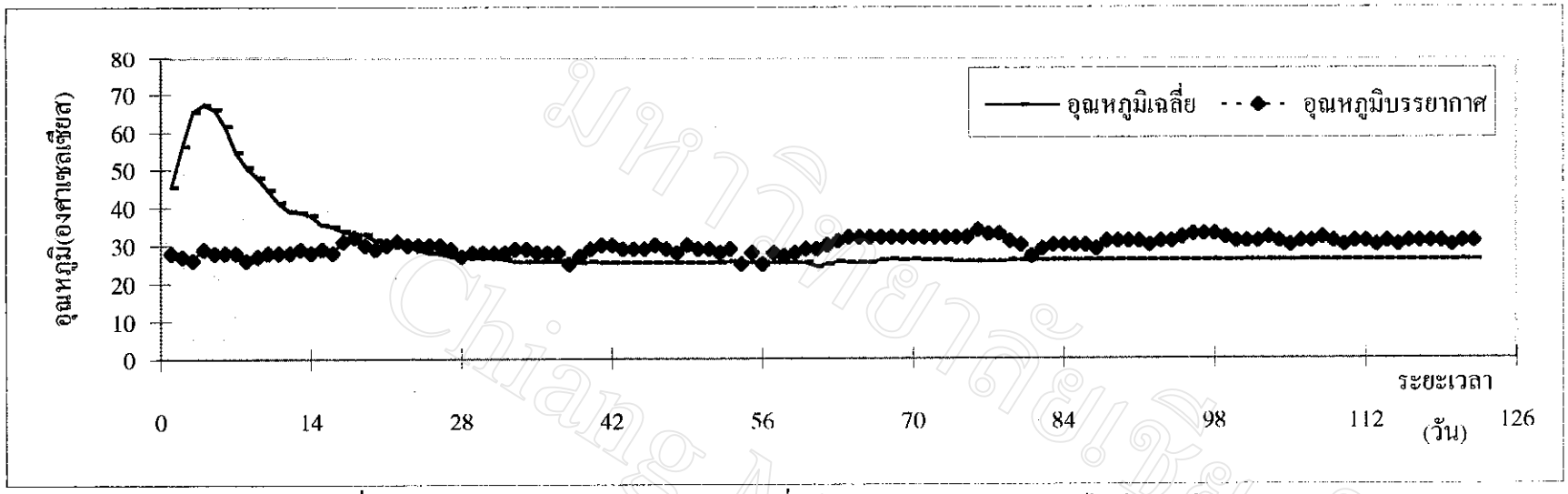


รูปที่ 6 อุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมักของกองที่ 1-1 กองปุ๋ยสูง 0.5 ม. และมีการพลิกกลับทุกๆ 14 วัน

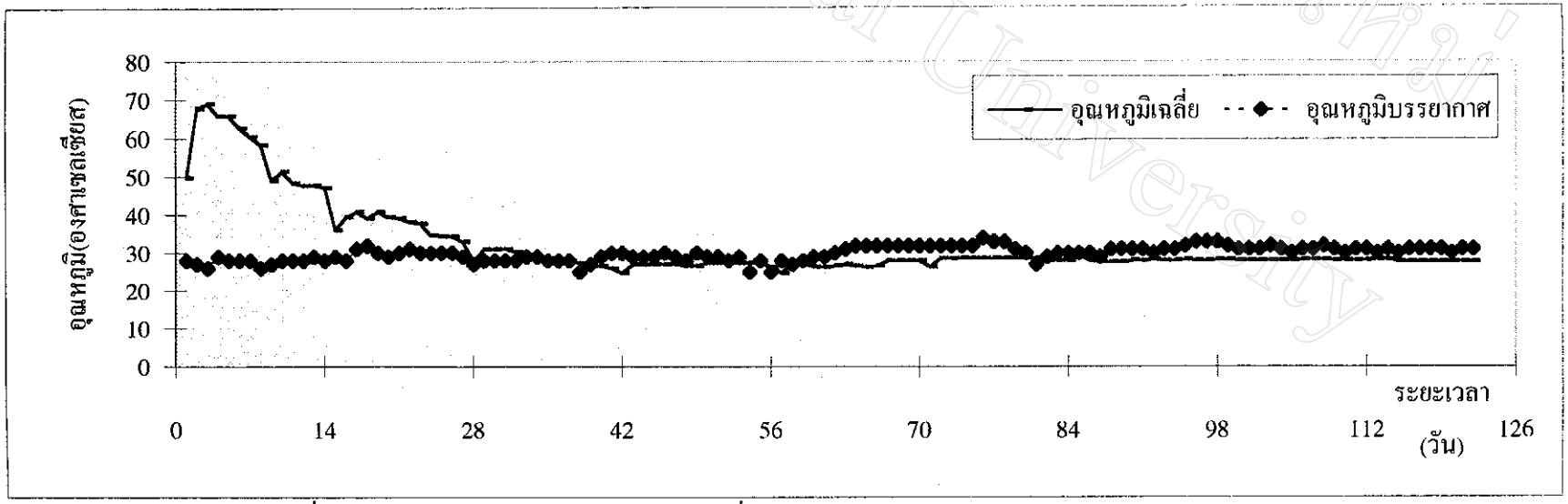


รูปที่ 7 อุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมักของกองที่ 1-2 กองปุ๋ยสูง 1.0 ม. และมีการพลิกกลับทุกๆ 14 วัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University

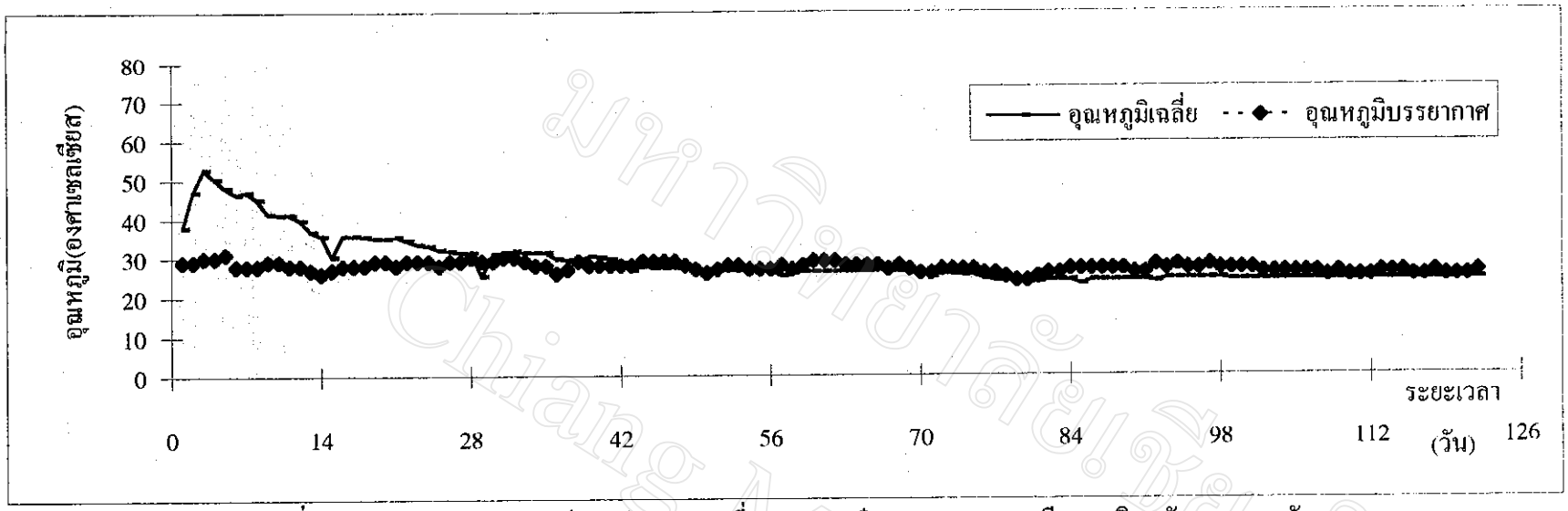


รูปที่ 8 อุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมักของกองที่ 1-3 กองปุ๋ยสูง 1.0 ม. และไม่มีการพลิกกลับ

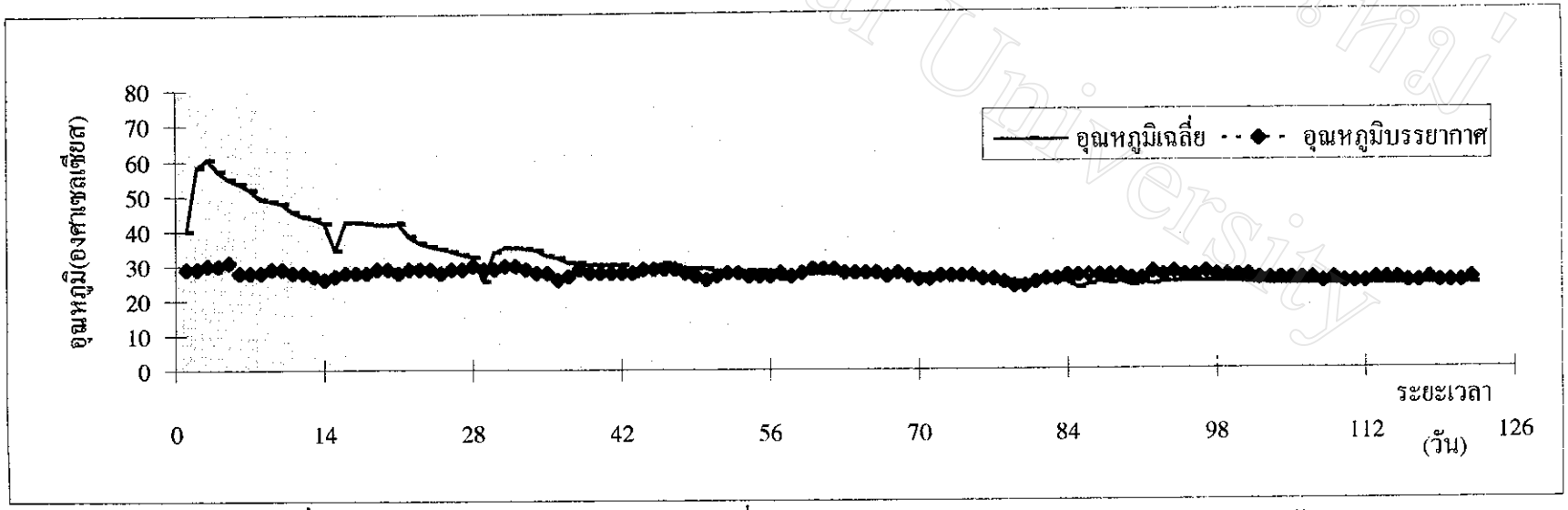


รูปที่ 9 อุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมักของกองที่ 1-4 กองปุ๋ยสูง 1.5 ม. และมีการพลิกกลับทุกๆ 14 วัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University

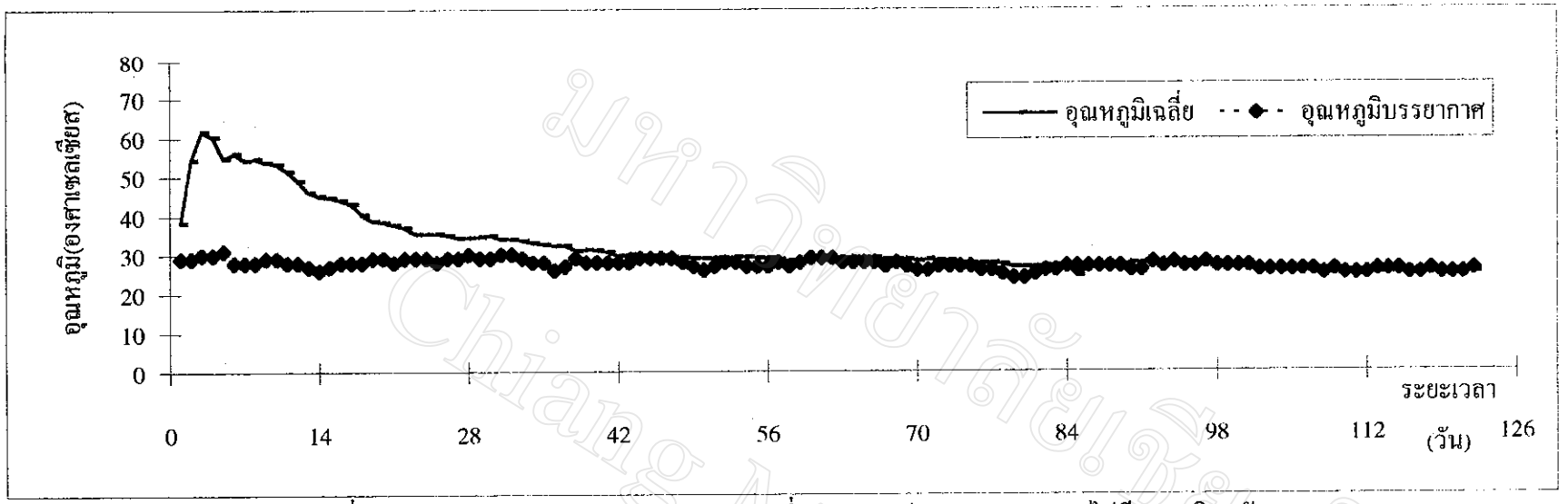


รูปที่ 10 อุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมักของกองที่ 2-1 กองปุ๋ยสูง 0.5 ม. และมีการพลิกกลับทุกๆ 14 วัน

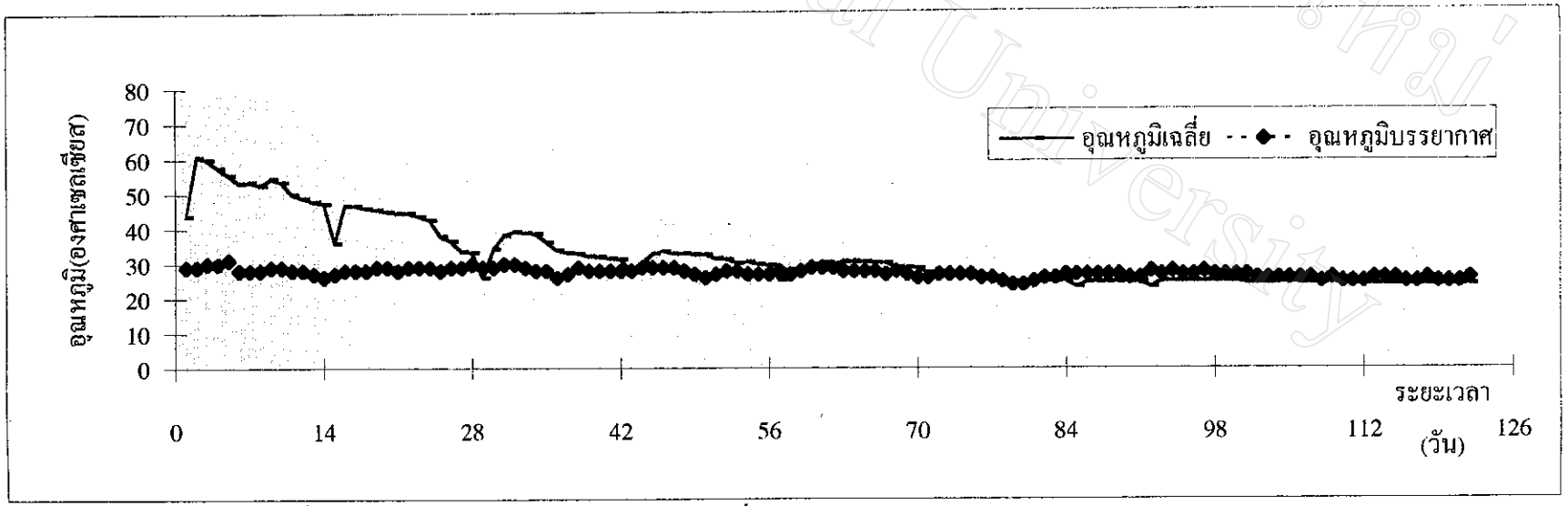


รูปที่ 11 อุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมักของกองที่ 2-2 กองปุ๋ยสูง 1.0 ม. และมีการพลิกกลับทุกๆ 14 วัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University



รูปที่ 12 อุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมักของกองที่ 2-3 กองปุ๋ยสูง 1.0 ม. และไม่มีการพลิกกลับ



รูปที่ 13 อุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมักของกองที่ 2-4 กองปุ๋ยสูง 1.5 ม. และมีการพลิกกลับทุกๆ 14 วัน

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University

4.1.2 ปริมาณของก๊าซออกซิเจน

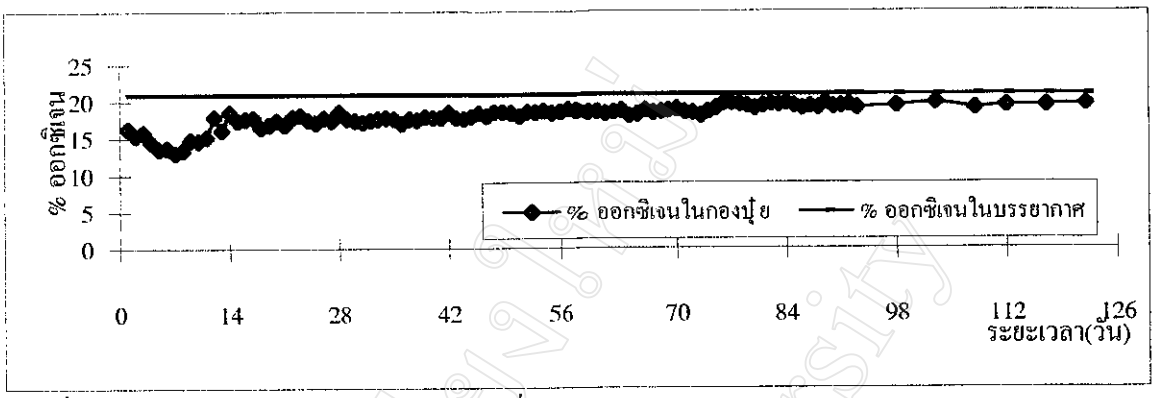
ผลการวัดปริมาณของก๊าซออกซิเจนของการทดลองใน Run ที่ 1 ได้แสดงในตาราง จ.1 และรูปที่ 14 ถึง 17 ส่วนผลการวัดปริมาณของก๊าซออกซิเจนของการทดลองใน Run ที่ 2 ได้แสดงในตาราง จ.2 และรูปที่ 18 ถึง 21

การศึกษาในครั้งนี้ได้ทำการวัดปริมาณของก๊าซออกซิเจนทุกๆวันในช่วง 3 เดือนแรกของการหมักและสัปดาห์ละ 2 ครั้งในช่วงเดือนสุดท้ายของการหมัก

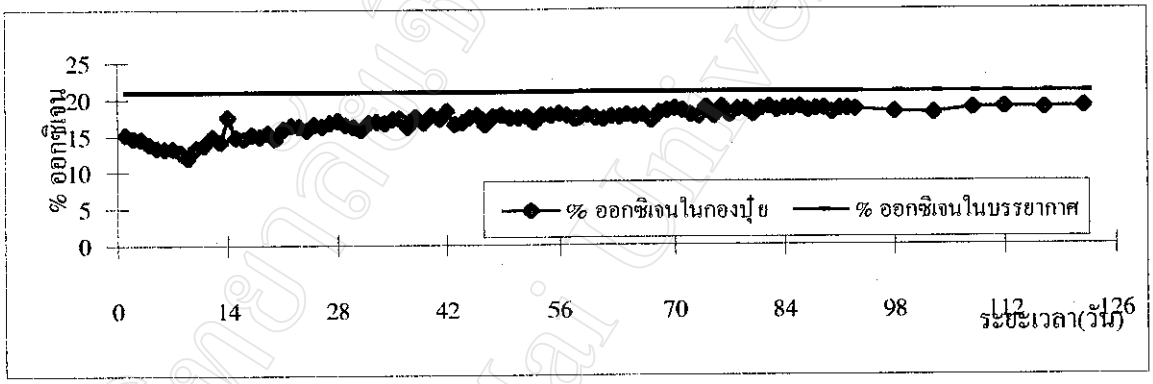
จากผลการทดลองพบว่าทั้งการทดลองใน Run ที่ 1 และ 2 มีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณของก๊าซออกซิเจนที่เหมือนกัน กล่าวคือ ในช่วงสัปดาห์แรกของการหมักปริมาณของก๊าซออกซิเจนลดลงเพราะว่าในช่วงนี้เกิดการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ใช้ก๊าซออกซิเจนอย่างรวดเร็วและผลของอัตราเมตตาบอลิซึมที่เพิ่มขึ้นทำให้เกิดน้ำมาอุดช่องว่างระหว่างอนุภาคของปุ๋ยอากาศจึงถ่ายเทได้ไม่สะดวก ซึ่งสอดคล้องกับผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในช่วงเทอร์โมฟิลิกเฟสตามที่กล่าวมาแล้วข้างต้น หลังจากนั้นปริมาณก๊าซออกซิเจนในกองปุ๋ยหมักก็มีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆและเริ่มมีค่าคงที่โดยมีค่าต่ำกว่าปริมาณก๊าซออกซิเจนในบรรยากาศเล็กน้อย

เมื่อพิจารณาปริมาณของก๊าซออกซิเจนภายในกองปุ๋ยหมักทุกๆกองของการทดลองทั้งสองครั้งพบว่าเมื่อการหมักผ่านไป 1 สัปดาห์ ปริมาณดังกล่าวลดลงไปต่ำสุดที่ช่วงร้อยละ 11-14 ซึ่งช่วงดังกล่าวนี้ยังคงเป็นสภาวะที่จุลินทรีย์แบบใช้ก๊าซออกซิเจนสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้เพราะว่ามีค่ามากกว่าร้อยละ 10 (Mato et al., 1993) นั่นแสดงว่าการนำท่อพีวีซีที่ถูกเจาะรูโดยรอบมาเสียบเข้าไปในกองปุ๋ยหมักทั้งในแนวนอนและแนวตั้งสามารถทำให้กองปุ๋ยหมักมีสภาพที่ไม่ขาดก๊าซออกซิเจน หลังจาก 1 สัปดาห์ผ่านไปปริมาณของก๊าซออกซิเจนก็เพิ่มขึ้นอย่างช้าๆเพราะว่าความต้องการก๊าซออกซิเจนของจุลินทรีย์ได้ลดลงและความพรุนภายในกองปุ๋ยหมักก็มีมากขึ้นเนื่องจากสารอินทรีย์ได้ถูกย่อยสลายลงไป จนในที่สุดปริมาณของก๊าซออกซิเจนของกองปุ๋ยสูง 0.5 ม., 1.0 ม. และ 1.5 ม. ที่มีการพลิกกลับ เริ่มมีค่าคงที่และใกล้เคียงกับปริมาณของก๊าซออกซิเจนในบรรยากาศที่ระยะเวลาในการหมักประมาณ 80, 80 และ 85 วัน ตามลำดับ ซึ่งเห็นได้ว่ากองปุ๋ยที่มีความสูง 1.5 ม. มีค่าเพิ่มขึ้นและเริ่มคงที่ได้ช้าที่สุดเพราะว่ามีการอัดตัวของวัสดุในกองปุ๋ยหมักที่มีมากกว่านั่นเอง

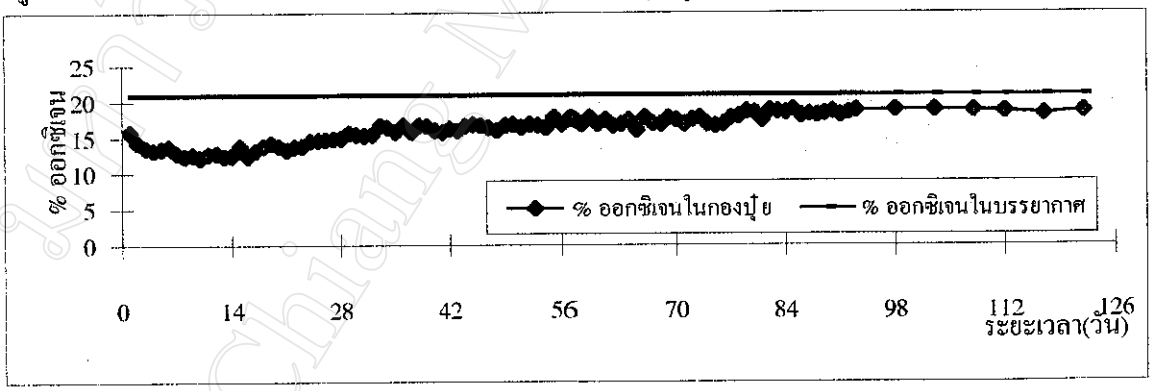
นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณก๊าซออกซิเจนภายในกองปุ๋ยสูง 1.0 ม. ที่มีการพลิกกลับทุกๆ 14 วัน และกองปุ๋ยสูง 1.0 ม. ที่ไม่มีการพลิกกลับ มีค่าเพิ่มขึ้นจนเริ่มคงที่และใกล้เคียงกับปริมาณก๊าซออกซิเจนในบรรยากาศที่ระยะเวลาในการหมักประมาณ 80 และ 90 วัน ตามลำดับ



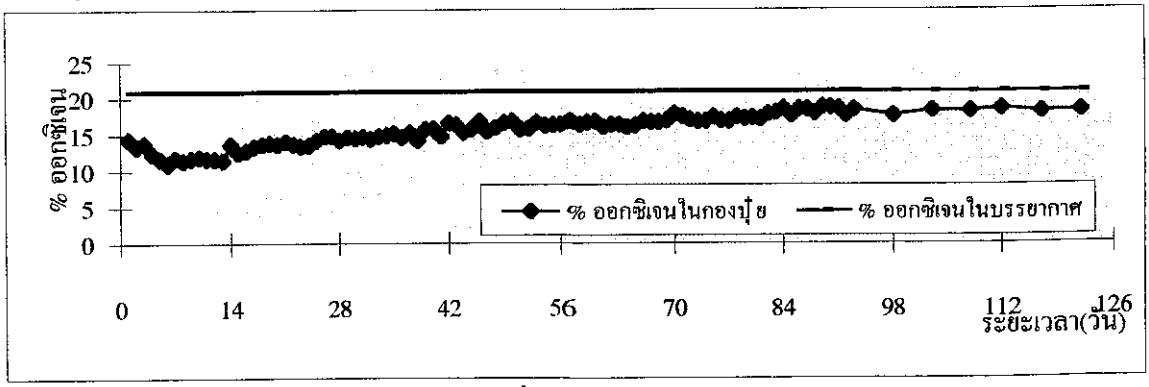
รูปที่ 14 ปริมาณของก๊าซออกซิเจนของกองที่ 1-1 กองปุ๋ยสูง 0.5 ม. และมีการพลิกกลับทุกๆ 14 วัน



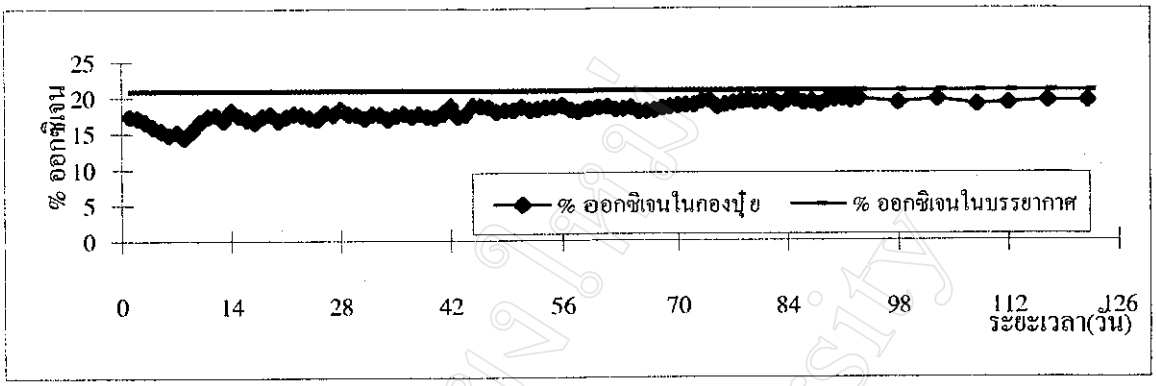
รูปที่ 15 ปริมาณของก๊าซออกซิเจนของกองที่ 1-2 กองปุ๋ยสูง 1.0 ม. และมีการพลิกกลับทุกๆ 14 วัน



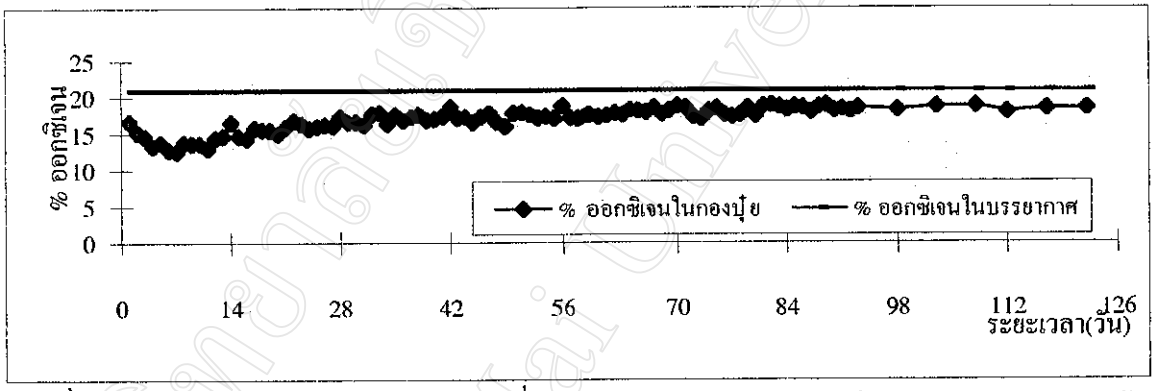
รูปที่ 16 ปริมาณของก๊าซออกซิเจนของกองที่ 1-3 กองปุ๋ยสูง 1.0 ม. และไม่มีการพลิกกลับ



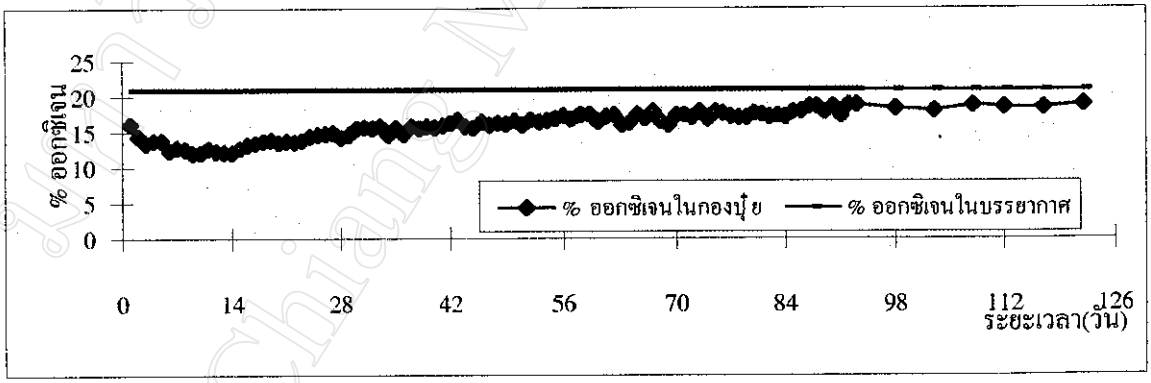
รูปที่ 17 ปริมาณของก๊าซออกซิเจนของกองที่ 1-4 กองปุ๋ยสูง 1.5 ม. และมีการพลิกกลับทุกๆ 14 วัน



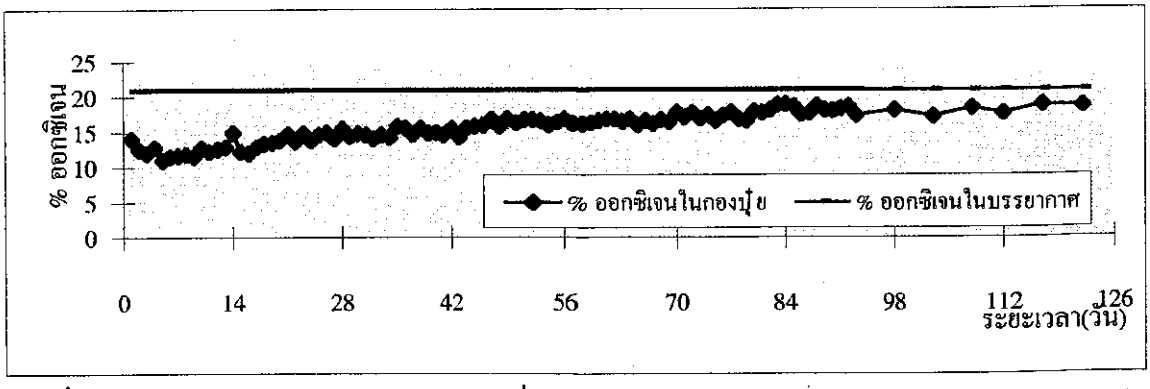
รูปที่ 18 ปริมาณของก๊าซออกซิเจนของกองที่ 2-1 กองปุ๋ยสูง 0.5 ม. และมีการพลิกกลับทุกๆ 14 วัน



รูปที่ 19 ปริมาณของก๊าซออกซิเจนของกองที่ 2-2 กองปุ๋ยสูง 1.0 ม. และมีการพลิกกลับทุกๆ 14 วัน



รูปที่ 20 ปริมาณของก๊าซออกซิเจนของกองที่ 2-3 กองปุ๋ยสูง 1.0 ม. และไม่มีการพลิกกลับ



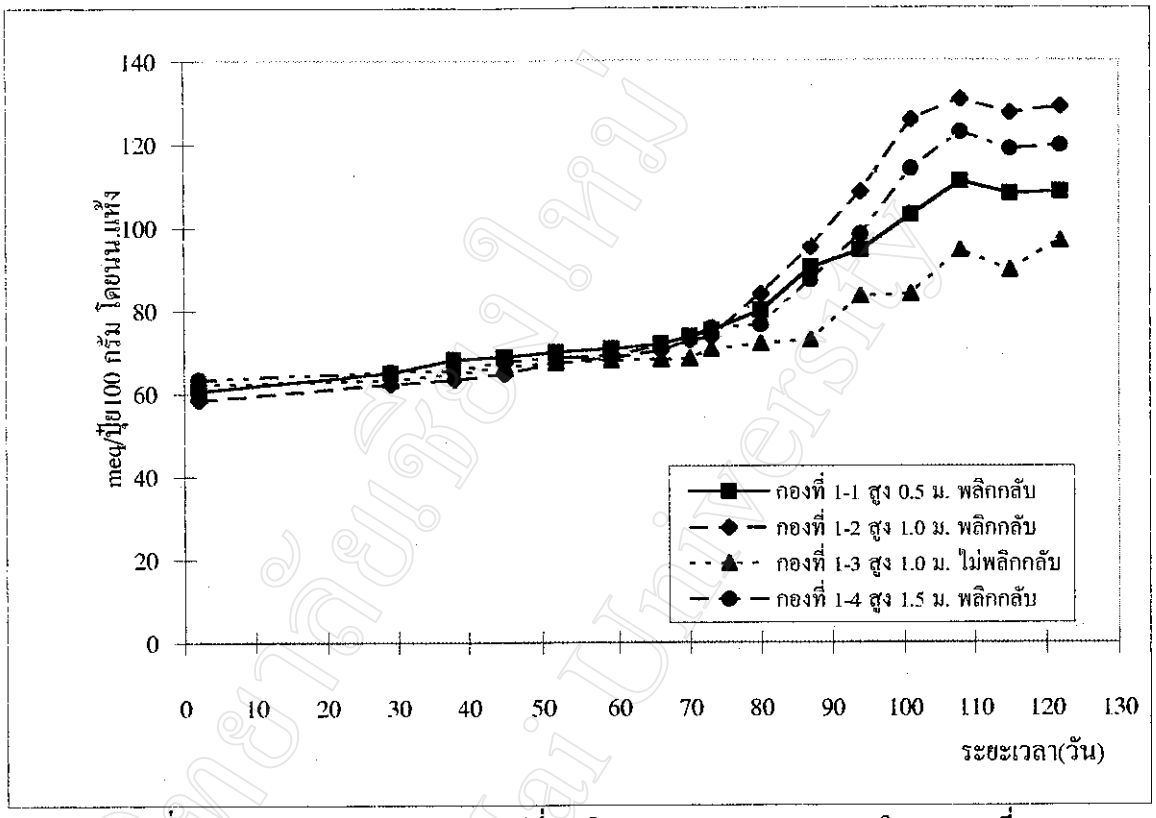
รูปที่ 21 ปริมาณของก๊าซออกซิเจนของกองที่ 2-4 กองปุ๋ยสูง 1.5 ม. และมีการพลิกกลับทุกๆ 14 วัน

4.1.3 ความสามารถในการแลกเปลี่ยนอิออนบวก

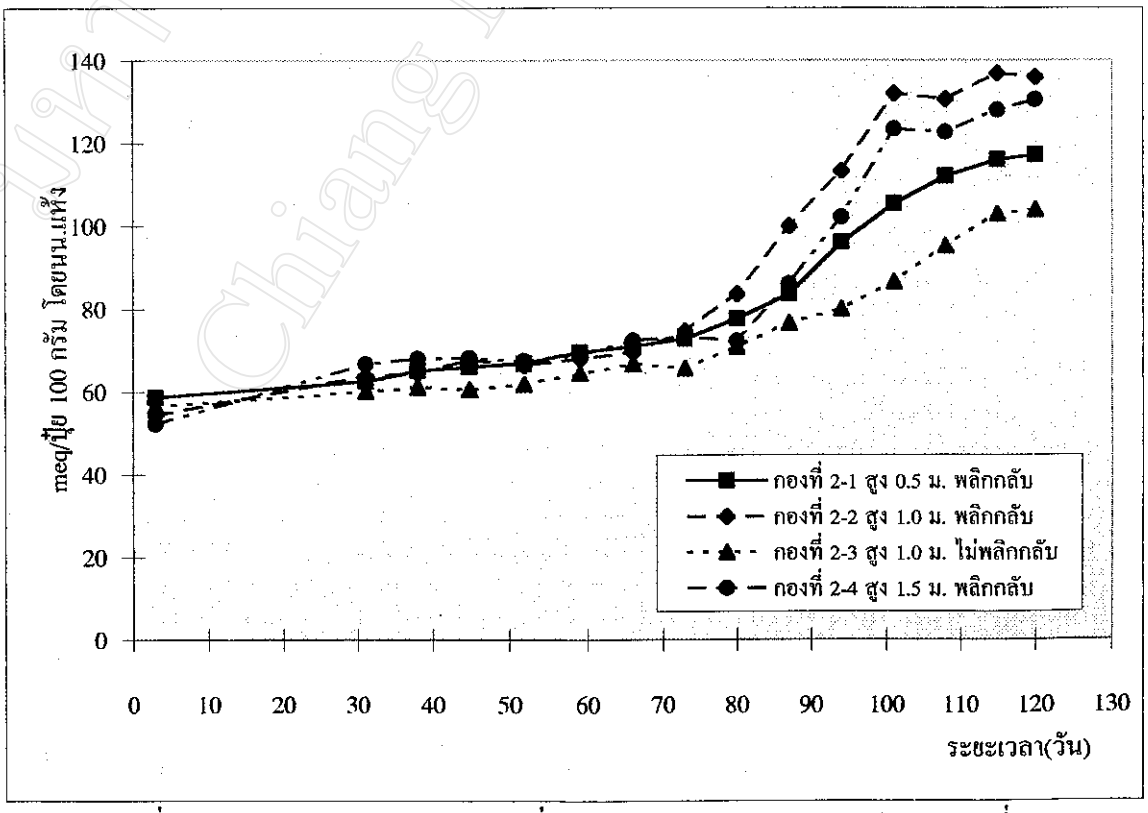
ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนอิออนบวก หรือ CEC นั้นเป็นค่าที่ใช้แสดงความสามารถของผิวเคลย์ของอนุภาคปุ๋ยที่จะแลกเปลี่ยนอิออนบวกได้ซึ่งค่าดังกล่าวนี้บ่งบอกถึงคุณภาพของปุ๋ยหมักที่เกิดขึ้นเพราะว่าเมื่อนำปุ๋ยที่มีค่า CEC มากไปใส่ต้นไม้ก็จะทำให้ต้นไม้สามารถนำธาตุอาหารที่ส่วนใหญ่เป็นประจุบวกไปใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และค่า CEC ของการทดลองใน Run ที่ 1 และ 2 ได้แสดงในตาราง ฉ.1 และรูปที่ 32 และ ตาราง ฉ.2 และรูปที่ 33 ตามลำดับ

จากผลการทดลองของการทดลองทั้งสองครั้งพบว่ามีแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงค่า CEC ที่เหมือนกัน กล่าวคือ ในช่วง 2 เดือนแรกของการหมัก กองปุ๋ยทุกกองมีการเพิ่มขึ้นของค่าดังกล่าวในอัตราที่ต่ำและมีค่าที่ใกล้เคียงกัน แต่หลังจากที่การหมักผ่านไป 80 วัน ค่า CEC ของการทดลองใน Run ที่ 1 และ 2 ได้เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและเริ่มคงที่ที่ระยะเวลาในการหมักประมาณ 110 และ 115 วัน ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับผลงานวิจัยของ Harada et al. (1981) ที่ได้กล่าวไว้ว่าปุ๋ยหมักที่ได้ที่แล้วเริ่มมีค่า CEC คงที่เป็น 80 มิลลิอิควิวาเลนต่อปุ๋ย 100 กรัมโดยน.น.แห้ง ที่ระยะเวลาในการหมัก 90 วัน

จากการศึกษาผลของความสูงของกองปุ๋ยหมักพบว่ากองปุ๋ยสูง 1.0 ม. ที่มีการพลิกกลับ ของการทดลองใน Run ที่ 1 และ 2 มีค่า CEC สูงที่สุดเป็น 129 และ 137 มิลลิอิควิวาเลนต่อปุ๋ย 100 กรัมโดยน.น.แห้ง ที่ระยะเวลาในการหมัก 110 และ 115 วัน ตามลำดับ รองลงมาเป็นของกองปุ๋ยสูง 1.5 ม. มีค่าเป็น 120 และ 129 มิลลิอิควิวาเลนต่อปุ๋ย 100 กรัมโดยน.น.แห้ง และกองปุ๋ยสูง 0.5 ม. มีค่าดังกล่าวเป็น 109 และ 117 มิลลิอิควิวาเลนต่อปุ๋ย 100 กรัมโดยน.น.แห้ง ที่ระยะเวลาในการหมักเท่ากัน ดังนั้นจึงเห็นได้ว่ากองปุ๋ยสูง 1.0 ม. ที่มีการพลิกกลับมีผลทำให้ปุ๋ยหมักมีค่า CEC สูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับกองปุ๋ยที่มีความสูง 0.5 และ 1.5 ม. นอกจากนี้ยังพบว่าการพลิกกลับกองปุ๋ยมีผลทำให้ค่า CEC เพิ่มขึ้นได้เร็วและมากกว่ากองปุ๋ยที่ไม่มีการพลิกกลับ กล่าวคือ กองปุ๋ยสูง 1.0 ม. ที่ไม่มีการพลิกกลับ ของการทดลองใน Run ที่ 1 และ 2 มีค่าดังกล่าวสูงที่สุดเพียง 94 และ 104 มิลลิอิควิวาเลนต่อปุ๋ย 100 กรัมโดยน.น.แห้ง ที่ระยะเวลาในการหมักเท่ากัน ดังนั้นจึงเห็นได้ว่าการพลิกกลับกองปุ๋ยมีผลทำให้คุณภาพของปุ๋ยหมักดีขึ้น



รูปที่ 22 ความสามารถในการแลกเปลี่ยนอิออนบวกของการทดลองใน Run ที่ 1



รูปที่ 23 ความสามารถในการแลกเปลี่ยนอิออนบวกของการทดลองใน Run ที่ 2

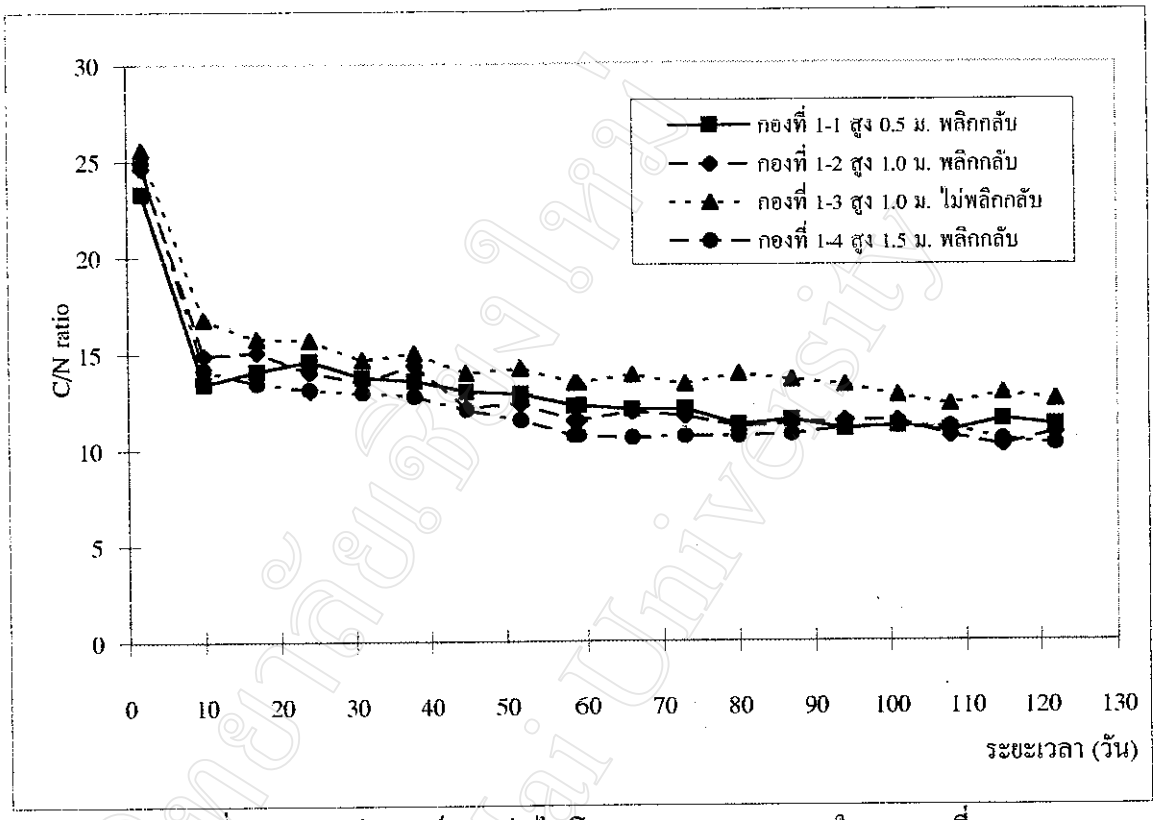
4.1.4 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีที่เป็นร้อยละของคาร์บอนและไนโตรเจน และอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนตั้งแต่เริ่มต้นตลอดจนสิ้นสุดกระบวนการหมักของการทดลองใน Run ที่ 1 และ 2 ได้แสดงในตาราง ช.1 และรูปที่ 24 และ ตาราง ช.2 และรูปที่ 25 ตามลำดับ

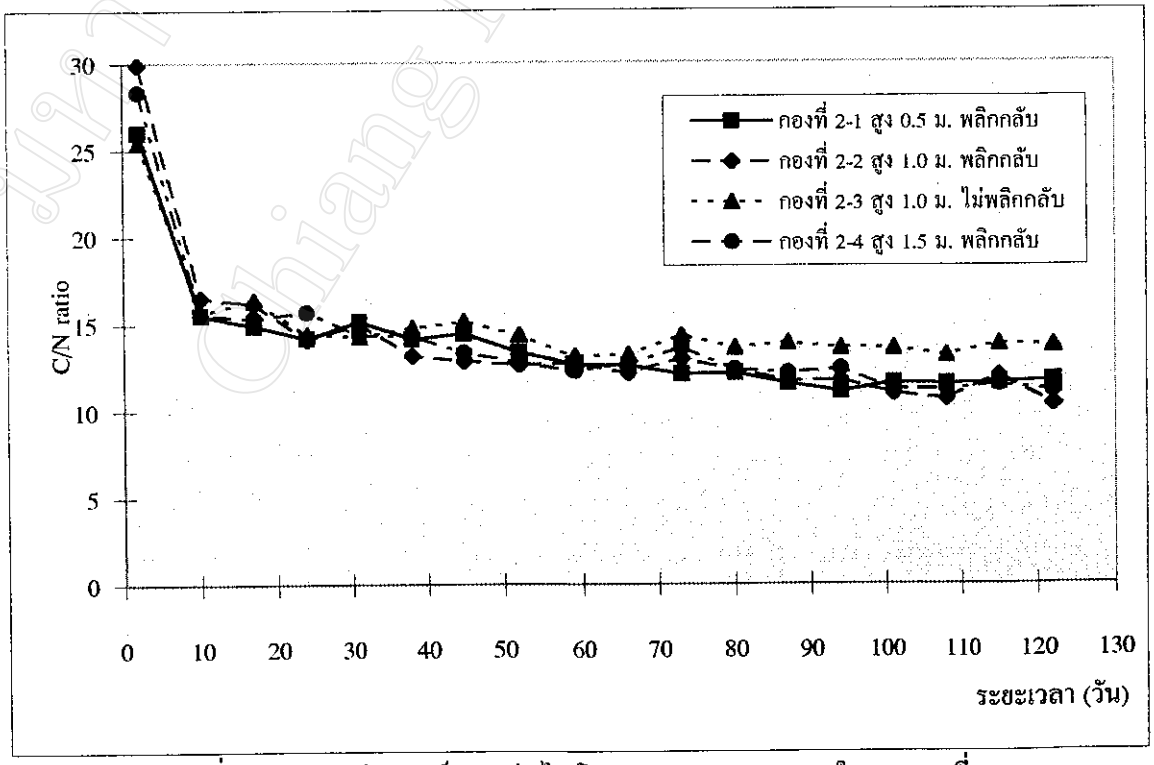
จากผลการทดลองทั้งสองครั้งพบว่ามีแนวโน้มในการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่เหมือนกัน กล่าวคือ เมื่อเริ่มต้นในการหมักองค์ประกอบคาร์บอนและไนโตรเจนอยู่ในช่วงร้อยละ 32-38 และ 1.2-1.5 ตามลำดับ และเมื่อทำการหมักไปเพียง 10 วัน องค์ประกอบไนโตรเจนเพิ่มขึ้นไปที่ร้อยละ 2.0-2.3 ขณะที่คาร์บอนลดลงเล็กน้อยไปที่ร้อยละ 31-35 จึงทำให้อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนลดลงอย่างเห็นได้ชัดที่ 13-16 จากเดิมเมื่อเริ่มต้นในการหมักที่ 23-29 ที่เป็นเช่นนี้เพราะว่าในช่วงแรกของการหมักนั้นสารอินทรีย์ถูกย่อยสลายในอัตราที่สูงทำให้องค์ประกอบไนโตรเจนในวัตถุดิบถูกย่อยสลายออกมามากและนอกจากนี้แบคทีเรียอะโซโตได้ตรึงเอาไนโตรเจนจากบรรยากาศมาไว้ในเซล จึงทำให้องค์ประกอบไนโตรเจนโดยรวมมีค่าสูงขึ้นอย่างเด่นชัด แต่ค่านี้ทรงตัวอยู่ที่ระดับร้อยละ 2.1-2.4 ไปจนตลอดระยะเวลาในการหมัก ส่วนองค์ประกอบคาร์บอนได้ลดลงเรื่อยๆแต่อัตราการลดได้ช้าลงจนคงที่ที่ระยะเวลาในการหมักประมาณ 90 วัน เพราะสารอินทรีย์ได้ถูกย่อยสลายจนเกือบหมดแล้ว จึงทำให้อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนลดลงไปที่ช่วง 11-14 และทรงตัวอยู่ที่ช่วง 10-13 ไปจนสิ้นสุดการหมัก ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Polprasert et al. (1991) ที่ได้กล่าวว่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนมีค่า 11-12 ที่ระยะเวลาในการหมักประมาณ 80 วัน

นอกจากนี้ยังพบว่ากองปุ๋ยสูง 1.0 ม. ที่ไม่มีการพลิกกลับของการทดลองทั้งสองครั้งมีการลดลงและเริ่มคงที่ของอัตราส่วนดังกล่าวช้ากว่ากองปุ๋ยสูง 1.0 ม. ที่มีการพลิกกลับ และเมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักค่าอัตราส่วนนี้ก็ยังคงสูงกว่าด้วยเพราะว่ากองปุ๋ยที่ไม่มีการพลิกกลับนั้นมีอัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ต่ำกว่าและแบคทีเรียอะโซโตก็มีโอกาสในการตรึงเอาไนโตรเจนจากอากาศได้น้อยกว่ากองปุ๋ยที่มีการพลิกกลับ

ส่วนกองปุ๋ยที่สูง 0.5 ม., 1.0 ม. และ 1.5 ม. ที่มีการพลิกกลับ มีแนวโน้มของการลดลงและการเข้าสู่สภาวะคงที่ของอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่ไม่แตกต่างกันอย่างเด่นชัด เพียงแต่บอกได้ว่ากองปุ๋ยสูง 0.5 ม., 1.0 ม. และ 1.5 ม. ที่มีการพลิกกลับ เริ่มไม่มีการเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนดังกล่าวที่ระยะเวลาในการหมักประมาณ 90 วัน



รูปที่ 24 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของการทดลองใน Run ที่ 1



รูปที่ 25 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของการทดลองใน Run ที่ 2

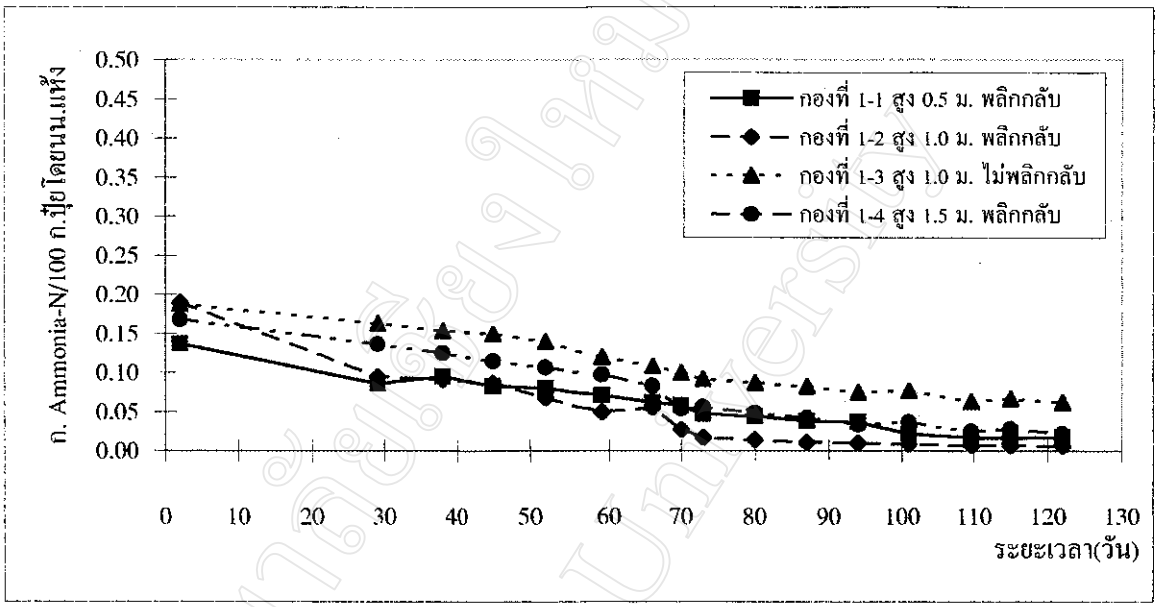
4.1.5 ไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียและไนโตรเจนในรูปออกซิไดส์ไนโตรเจน

เกณฑ์ในการพิจารณาการได้ที่ของการหมักปุ๋ยที่ต้องคำนึงถึงอีกกรณีหนึ่งก็คือการพิจารณาการเกิดออกซิไดส์ไนโตรเจน และการลดลงจนเกือบไม่หลงเหลือของแอมโมเนีย (Spohn, 1978) การทดลองครั้งนี้ได้วิเคราะห์หาไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียและไนโตรเจนในรูปออกซิไดส์ไนโตรเจนซึ่งผลการทดลองของการทดลองใน Run ที่ 1 และ 2 ได้แสดงในตาราง ซ.1 และ รูปที่ 26-27 และ ตาราง ซ.2 และรูปที่ 28-29 ตามลำดับ

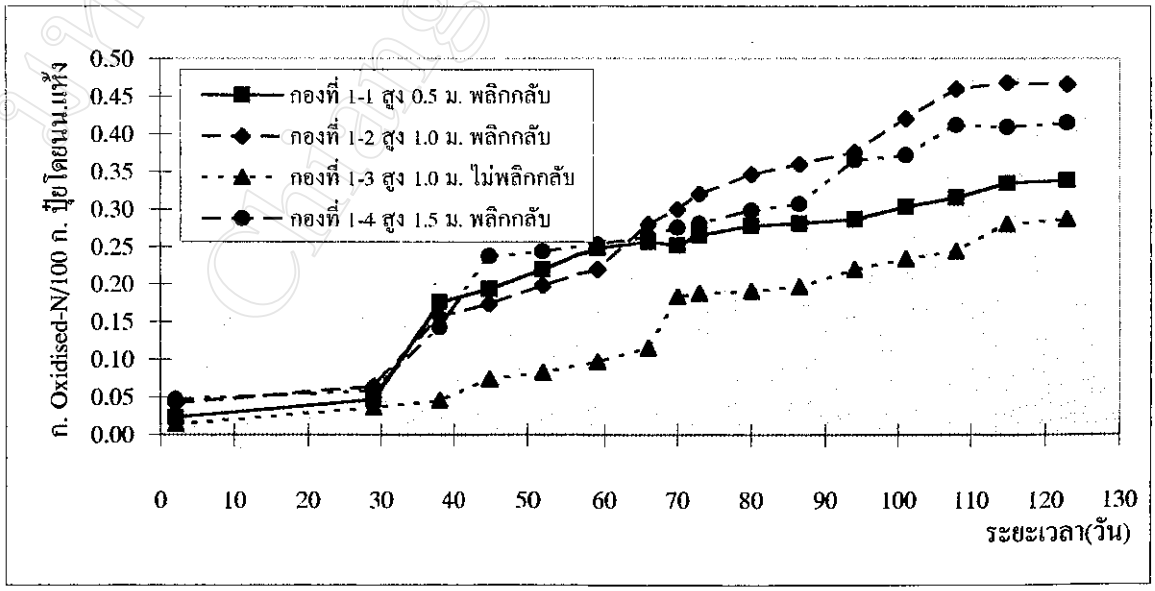
จากการศึกษาของ Loizidou and Valkanas (1992) ทำให้ทราบว่าแอมโมเนียเพิ่มขึ้นสูงสุดในช่วง 2 สัปดาห์แรกของการหมัก และหลังจากนั้นก็เริ่มลดลงเรื่อยๆ ส่วนออกซิไดส์ไนโตรเจนยังไม่มีการเพิ่มขึ้นอย่างเด่นชัดในช่วง 1 เดือนแรกของการหมัก ดังนั้นการทดลองในครั้งนี้จึงถูกออกแบบให้วิเคราะห์ตัวอย่างเมื่อเริ่มต้นหมักและข้ามไปที่ระยะเวลาในการหมัก 30 วันเลย ทำให้ไม่ทราบการเปลี่ยนแปลงของไนโตรเจนในรูปต่างๆภายในระยะเวลาช่วงนี้

เมื่อทำการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ระยะเวลาในการหมัก 30 วัน ก็พบว่าไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียมีค่าลดลงเล็กน้อยและไนโตรเจนในรูปออกซิไดส์ไนโตรเจนก็มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย หลังจากการหมักผ่านไป 30 วัน ไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียยังคงลดลงไปเรื่อยๆอันเนื่องมาจากการสูญเสียไปสู่บรรยากาศและการเปลี่ยนรูปไปเป็นออกซิไดส์ไนโตรเจนจากปฏิกริยาไนตริฟิเคชั่นโดยไนตริฟายอิงแบคทีเรีย ขณะที่ไนโตรเจนในรูปออกซิไดส์ไนโตรเจนก็เริ่มมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเพราะมีอัตราการเกิดปฏิกริยาไนตริฟิเคชั่นที่มากขึ้น ในที่สุดค่าไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียได้ลดลงมาจนถึงระดับที่เริ่มคงที่ในช่วง 0.007-0.065 กรัม NH_3-N/100 กรัมของปุ๋ยโดยนน.แห้ง ที่ระยะเวลาในการหมักประมาณ 100-115 วัน และขณะที่ไนโตรเจนในรูปออกซิไดส์ไนโตรเจนมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนถึงระดับที่เริ่มคงที่ในช่วง 0.2-0.5 กรัม Oxidised-N/100 กรัมของปุ๋ยโดยนน.แห้ง ที่ระยะเวลาในการหมักประมาณ 110-115 วัน ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Finstein and Miller (1985) ที่กล่าวไว้ว่าไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียมีค่าน้อยที่สุดที่ระยะเวลาในการหมัก 85-110 วัน และไนโตรเจนในรูปออกซิไดส์ไนโตรเจนมีค่ามากที่สุดที่ระยะเวลาในการหมัก 95-120 วัน

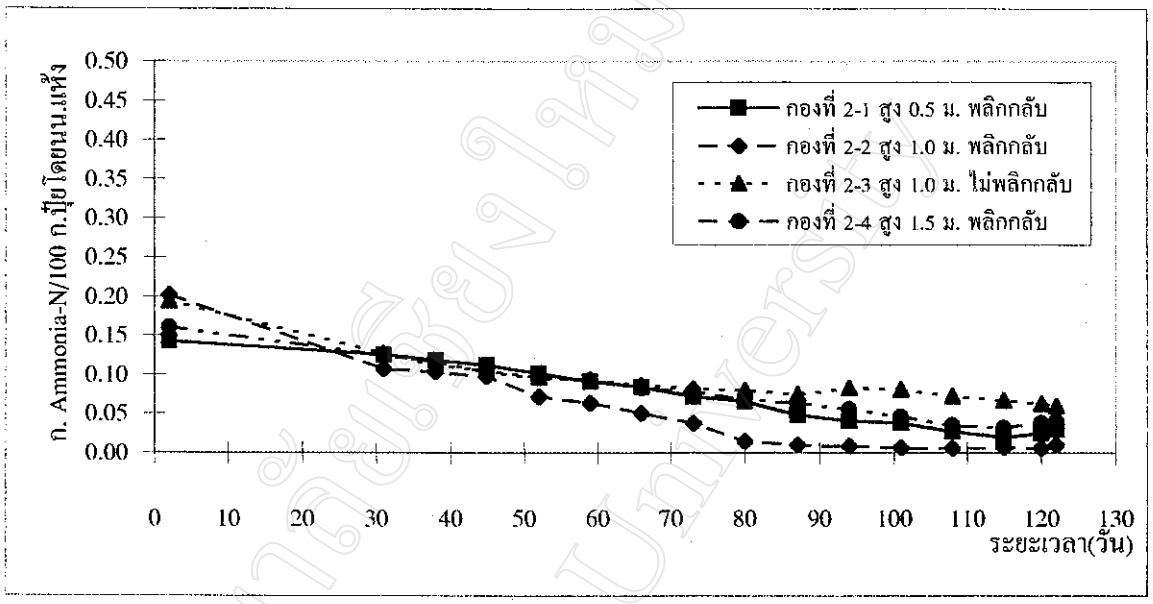
นอกจากนี้ยังพบว่ากองปุ๋ยสูง 1.0 ม. ที่ไม่มีการพลิกกลับมีการลดลงของไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียและการเพิ่มขึ้นของไนโตรเจนในรูปออกซิไดส์ไนโตรเจนช้าและน้อยกว่ากองปุ๋ยสูง 1.0 ม. ที่มีการพลิกกลับ ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าการพลิกกลับกองปุ๋ยหมักมีผลดีต่อการเกิดปฏิกริยาไนตริฟิเคชั่นซึ่งปฏิกริยาดังกล่าวนี้ส่งผลทำให้สารอินทรีย์เข้าสู่สภาวะที่เสถียรภาพได้นั่นเอง และเมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักที่ระยะเวลาในการหมัก 120 วัน พบว่ากองปุ๋ยสูง 1.0 ม. ที่มีการพลิกกลับมีค่าไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียเหลืออยู่น้อยที่สุดประมาณ 0.0065 กรัม NH_3-N/100 กรัม



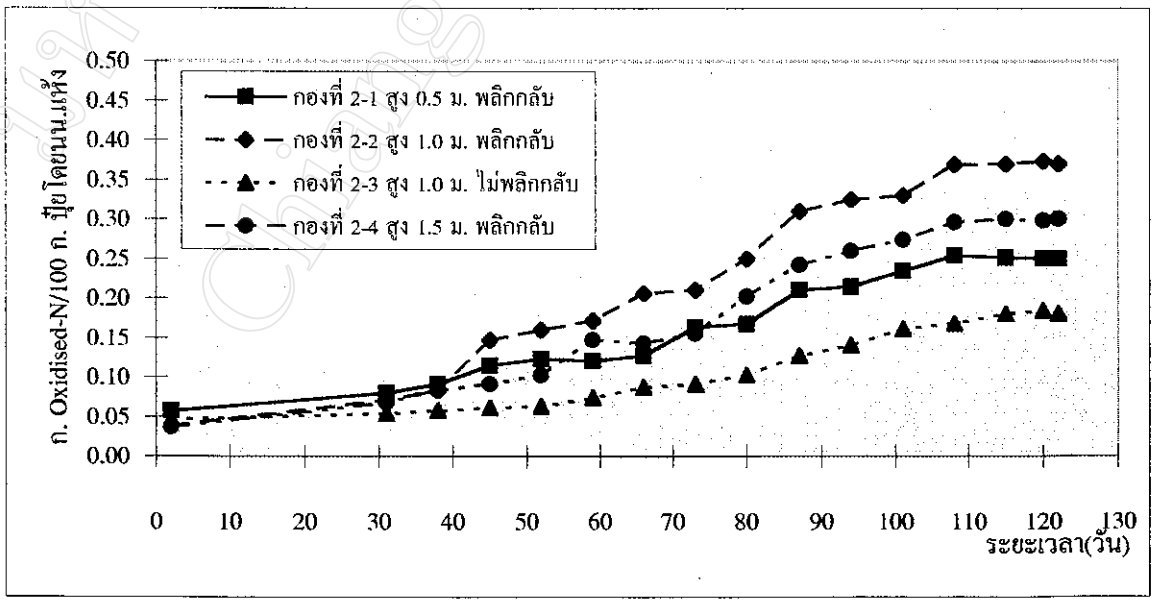
รูปที่ 26 องค์ประกอบไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียของการทดลองใน Run ที่ 1



รูปที่ 27 องค์ประกอบไนโตรเจนในรูปออกซิไดส์ไนโตรเจนของการทดลองใน Run ที่ 1



รูปที่ 28 องค์ประกอบไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียของการทดลองใน RUN ที่ 2



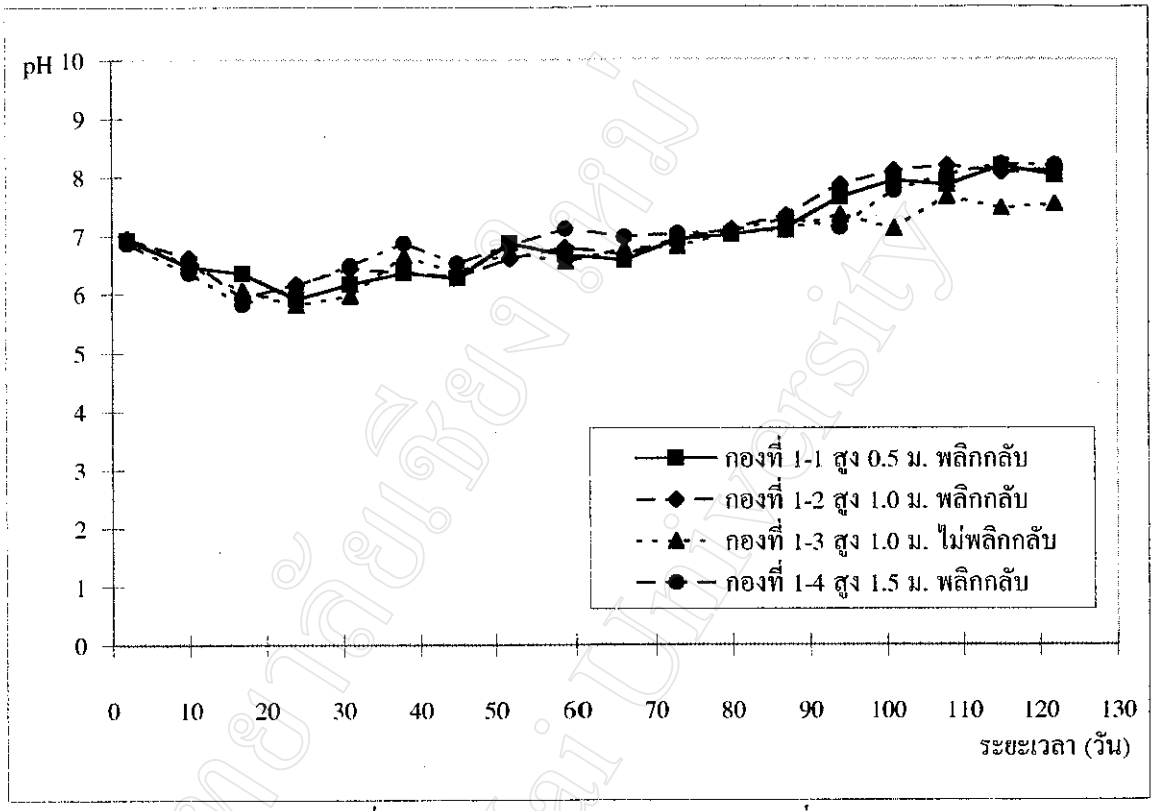
รูปที่ 29 องค์ประกอบไนโตรเจนในรูปออกซิไดส์ไนโตรเจนของการทดลองใน RUN ที่ 2

ของปุ๋ยโดยนน.แห้ง และมีค่าไนโตรเจนในรูปออกซิไดส์ไนโตรเจนมากที่สุดในช่วง 0.37-0.47 กรัม Oxidised-N/100 กรัมของปุ๋ยโดยนน.แห้ง ขณะที่กองปุ๋ยสูง 1.0 ม. ที่ไม่มีการพลิกกลับ มีค่าไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียเหลืออยู่มากที่สุดประมาณ 0.065 กรัม NH_3-N/100 กรัมของปุ๋ยโดยนน. แห้ง และเกิดไนโตรเจนในรูปออกซิไดส์ไนโตรเจนน้อยที่สุดในช่วง 0.19-0.29 กรัม Oxidised-N/100 กรัมของปุ๋ยโดยนน.แห้ง

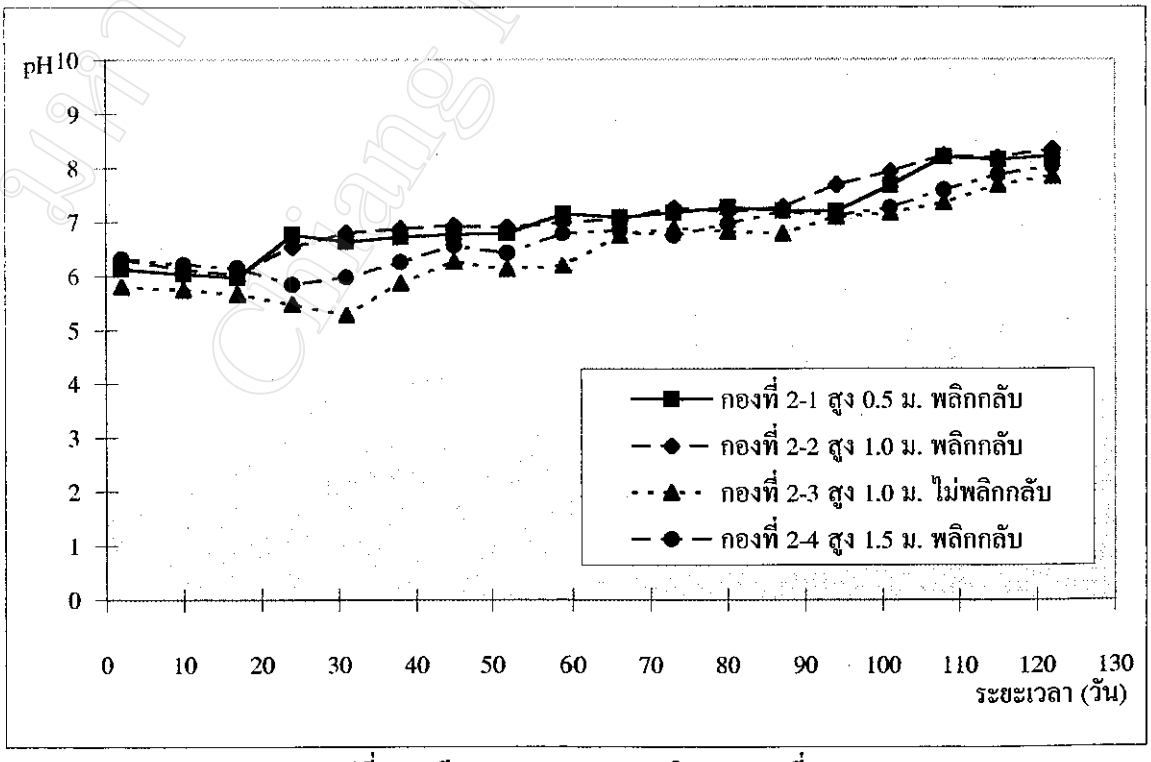
ส่วนผลการศึกษาความสูงของกองปุ๋ยหมักของการทดลองทั้งสองครั้งนั้นพบว่า เมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักที่ระยะเวลาในการหมัก 120 วัน กองปุ๋ยสูง 0.5 ม. และ 1.5 ม. มีค่าไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียในช่วง 0.018-0.024 และ 0.025-0.035 กรัม NH_3-N/100 กรัมของปุ๋ยโดยนน.แห้ง ตามลำดับ และมีค่าไนโตรเจนในรูปออกซิไดส์ไนโตรเจนในช่วง 0.254-0.336 และ 0.296-0.412 กรัม Oxidised-N/100 กรัมของปุ๋ยโดยนน.แห้ง ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับกองปุ๋ยสูง 1.0 ม. ที่มีการพลิกกลับแล้วเห็นได้ว่ากองปุ๋ยสูง 0.5 ม. และ 1.5 ม. ที่มีการพลิกกลับยังคงมีค่าไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียเหลืออยู่มากกว่า และเกิดไนโตรเจนในรูปออกซิไดส์ไนโตรเจนน้อยกว่ากองปุ๋ยสูง 1.0 ม. ที่มีการพลิกกลับ แสดงให้เห็นว่ากองปุ๋ยที่มีความสูง 1.0 ม. มีผลทำให้คุณภาพของปุ๋ยหมักที่ได้ดีกว่าปุ๋ยหมักที่ได้จากกองปุ๋ยที่มีความสูง 0.5 ม. และ 1.5 ม.

4.1.6 พีเอช

จากการทดลองได้ทำการวัดค่าพีเอชทุกสัปดาห์ตลอดระยะเวลาในการหมักเพื่อให้ทราบถึงสภาพของกระบวนการหมักอย่างคร่าวๆว่าดำเนินไปอย่างปกติหรือไม่ ซึ่งผลการวัดค่าพีเอชของการทดลองใน Run ที่ 1 และ 2 ได้แสดงในตาราง ฌ.1 และรูปที่ 30 และ ตาราง ฌ.2 และรูปที่ 31 ตามลำดับ จากผลการทดลองทั้งสองครั้งนั้นสามารถอธิบายการดำเนินไปของกระบวนการหมักได้คือ เมื่อเริ่มต้นในการหมักพีเอชมีค่าเกือบเป็นกลางที่ช่วง 6.1-7.0 หลังจากที่ระยะเวลาในการหมักผ่านไปประมาณ 2 สัปดาห์ พีเอชมีค่าลดลงมามีสภาพเป็นกรดเล็กน้อยที่ช่วง 5.5-6.7 เพราะว่าในช่วงแรกของการหมักเกิดอัตราเมตตาบอลิซึมสูงซึ่งผลิตภัณฑ์จากการเมตตาบอลิซึมมีคุณสมบัติเป็นกรดจึงทำให้พีเอชลดลงเล็กน้อยซึ่งสอดคล้องกับการลดลงของปริมาณของก๊าซออกซิเจนในช่วงแรกของกระบวนการการหมัก เมื่อระยะเวลาในการหมักผ่านไป 60 วัน พีเอชก็มีค่าเพิ่มขึ้น จนในที่สุดเมื่อกระบวนการหมักสิ้นสุดลงกองปุ๋ยทุกกองมีสภาพเป็นกลางถึงเบสเล็กน้อยที่พีเอชช่วง 7.5-8.3



รูปที่ 30 พีเอชของการทดลองใน Run ที่ 1



รูปที่ 31 พีเอชของการทดลองใน Run ที่ 2

4.1.7 เถ้า ของแข็งที่ระเหยได้ และความชื้น

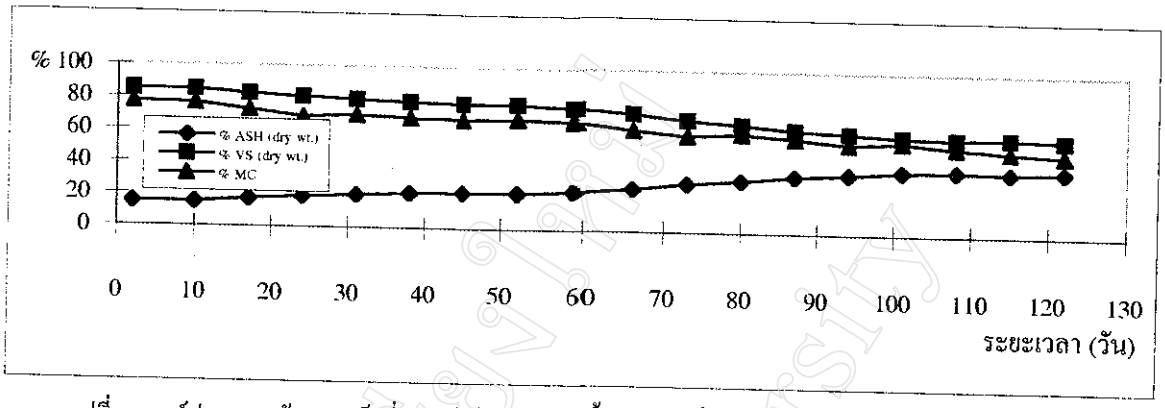
ปัจจัยสำคัญในกระบวนการหมักอีกสิ่งหนึ่งที่ต้องคำนึงถึงคือความชื้น ช่วงค่าความชื้นที่เหมาะสมต่อกระบวนการหมักคือร้อยละ 50-70 เพราะว่าน้ำมีความจำเป็นต่อกระบวนการดูดซึมสารอาหารและกระบวนการขับถ่ายของเสียของจุลินทรีย์ (Rabbani et al., 1983) ค่าความชื้นของการทดลองใน Run ที่ 1 และ 2 แสดงในตาราง ญ.1 และตั้งแต่รูปที่ 32-35 และตาราง ญ.2 และตั้งแต่รูปที่ 36-39 ตามลำดับ

ในช่วง 3-4 สัปดาห์แรกของการทดลองใน Run ที่ 1 พบว่าค่าความชื้นได้ลดลง เพราะว่าในช่วงแรกนี้เกิดความร้อนซึ่งเป็นผลมาจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ทำให้น้ำภายในกองปุ๋ยระเหยออกสู่บรรยากาศ อย่างไรก็ตามเพื่อรักษาความชื้นให้เหมาะสมต่อกระบวนการหมักจึงควบคุมความชื้นไว้ที่ช่วงร้อยละ 50 ด้วยวิธีการรดน้ำด้วยบัวรดน้ำให้ชุ่มทั่วทั้งกองปุ๋ยหมักและเมื่อที่บริเวณผิวด้านนอกของกองปุ๋ยแห้งลงอย่างรวดเร็วภายในระยะเวลาเพียง 1 วัน หลังจากรดน้ำด้วยบัวรดน้ำก็ได้ทำการสเปรย์น้ำด้วยกระบอกฉีดน้ำเพื่อให้ความชื้นของวัสดุที่ผิวด้านนอกมีค่าใกล้เคียงกับความชื้นของวัสดุภายในกองปุ๋ยหมัก นอกจากนี้ยังได้ทำการตรวจสอบค่าความชื้นของกองปุ๋ยหมักทุกๆสัปดาห์ตลอดระยะเวลาในการหมัก ส่วนการทดลองใน Run ที่ 2 นั้นได้ถูกควบคุมความชื้นเพื่อให้กองปุ๋ยหมักมีความชื้นในช่วงค่าร้อยละ 50 ด้วยวิธีการเช่นเดียวกับการทดลองใน Run ที่ 1 ตั้งแต่เริ่มต้นตลอดจนสิ้นสุดการหมัก ส่วนการตรวจสอบค่าความชื้นของกองปุ๋ยหมักก็ได้ทำทุกๆสัปดาห์เช่นเดียวกับการทดลองใน Run ที่ 1

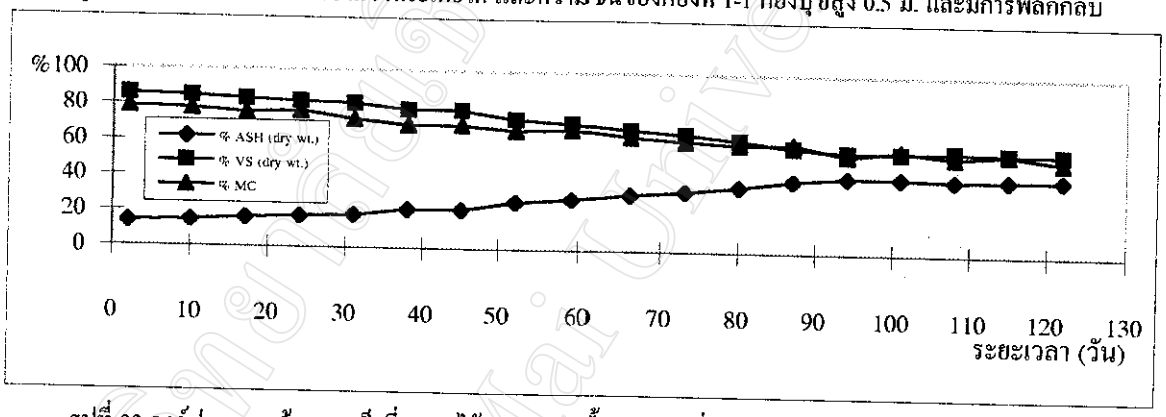
ดัชนีที่บ่งบอกถึงการถูกย่อยสลายของสารอินทรีย์โดยจุลินทรีย์และการที่สารอินทรีย์เข้าสู่ความเสถียรภาพคือการวิเคราะห์หาองค์ประกอบของเถ้าและของแข็งที่ระเหยได้ ผลการวิเคราะห์ค่าดังกล่าวของการทดลองใน Run ที่ 1 และ 2 แสดงในตารางญ.1 และรูปที่ 32-35 และ ตารางญ.2 และรูปที่ 36-39 ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาผลการทดลองของการทดลองใน Run ที่ 1 และ 2 พบว่ามีแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของเถ้าที่เหมือนกัน กล่าวคือ เมื่อเริ่มต้นกระบวนการหมักองค์ประกอบเถ้ามีค่าเพิ่มขึ้นและของแข็งที่ระเหยได้มีค่าลดลงเรื่อยๆ โดยองค์ประกอบทั้งสองตัวดังกล่าวเริ่มมีค่าคงที่เมื่อระยะเวลาในการหมักผ่านไปประมาณ 100 วัน ทั้งนี้เป็นเพราะว่าสารอินทรีย์เริ่มเข้าสู่สภาวะเสถียรภาพแล้ว

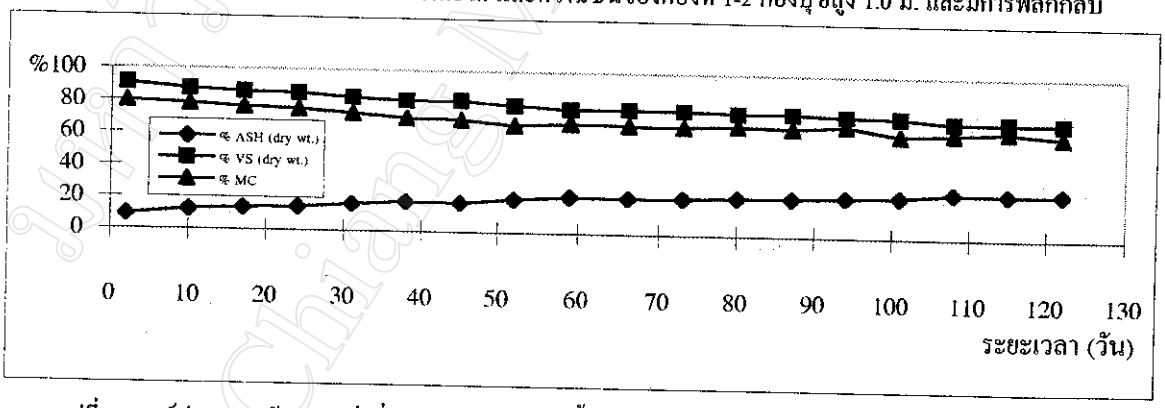
เมื่อพิจารณาผลการทดลองใน Run ที่ 1 พบว่าเมื่อเริ่มต้นกระบวนการหมักองค์ประกอบเถ้ามีค่าในช่วงร้อยละ 9-15 เมื่อเวลาในการหมักผ่านไปองค์ประกอบดังกล่าวของทุกกองมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ แต่กองปุ๋ยสูง 1.0 ม. ที่มีการพลิกกลับ มีอัตราการเพิ่มขึ้นสูงกว่า



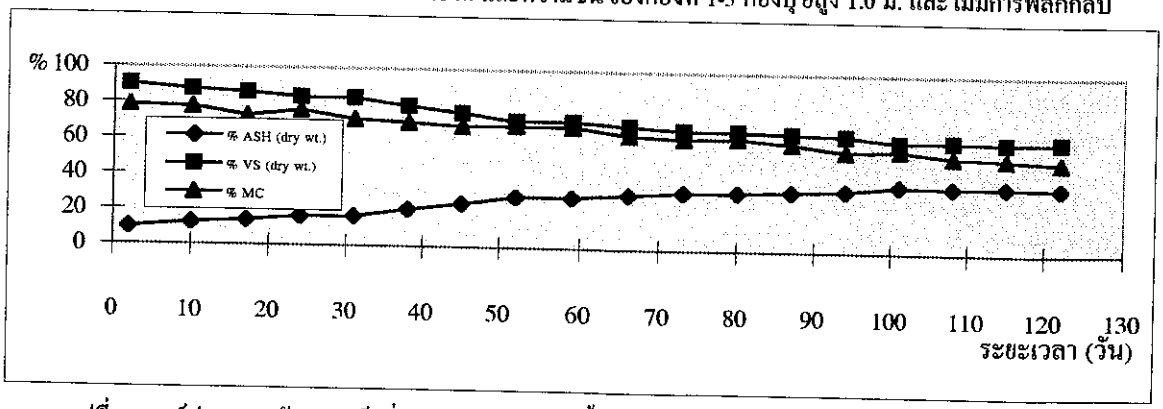
รูปที่ 32 องค์ประกอบเถ้า ของแข็งที่ระเหยได้ และความชื้นของกองที่ 1-1 กองปุ๋ยสูง 0.5 ม. และมีการพลิกกลับ



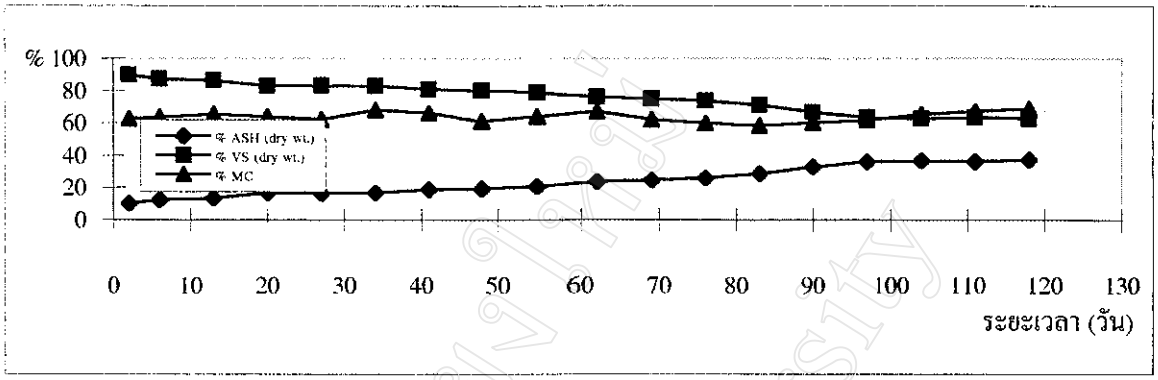
รูปที่ 33 องค์ประกอบเถ้า ของแข็งที่ระเหยได้ และความชื้นของกองที่ 1-2 กองปุ๋ยสูง 1.0 ม. และมีการพลิกกลับ



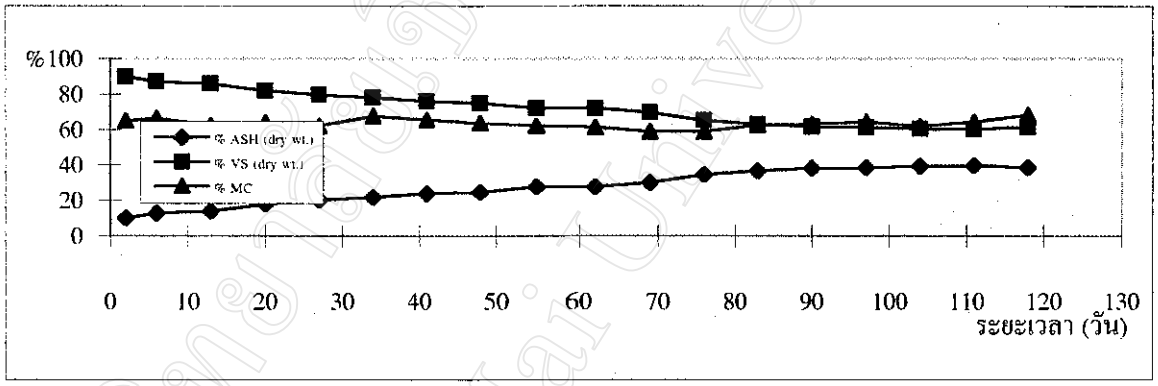
รูปที่ 34 องค์ประกอบเถ้า ของแข็งที่ระเหยได้ และความชื้นของกองที่ 1-3 กองปุ๋ยสูง 1.0 ม. และไม่มีการพลิกกลับ



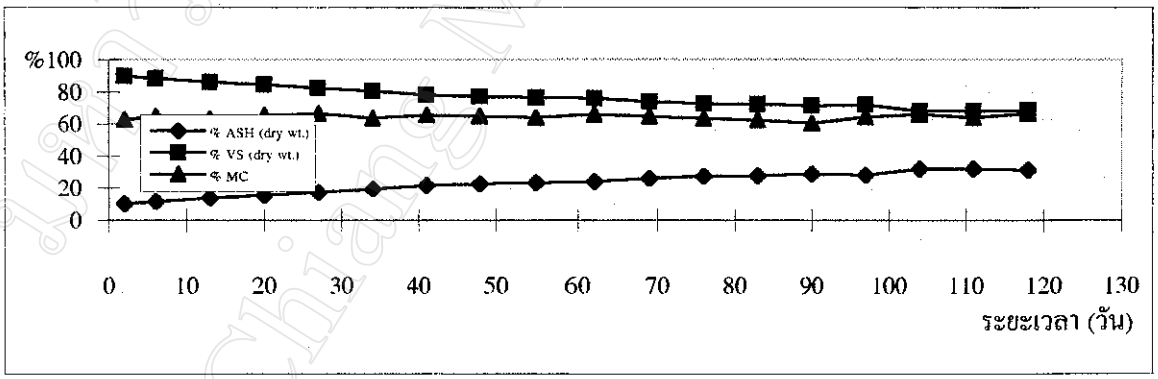
รูปที่ 35 องค์ประกอบเถ้า ของแข็งที่ระเหยได้ และความชื้นของกองที่ 1-4 กองปุ๋ยสูง 1.5 ม. และมีการพลิกกลับ



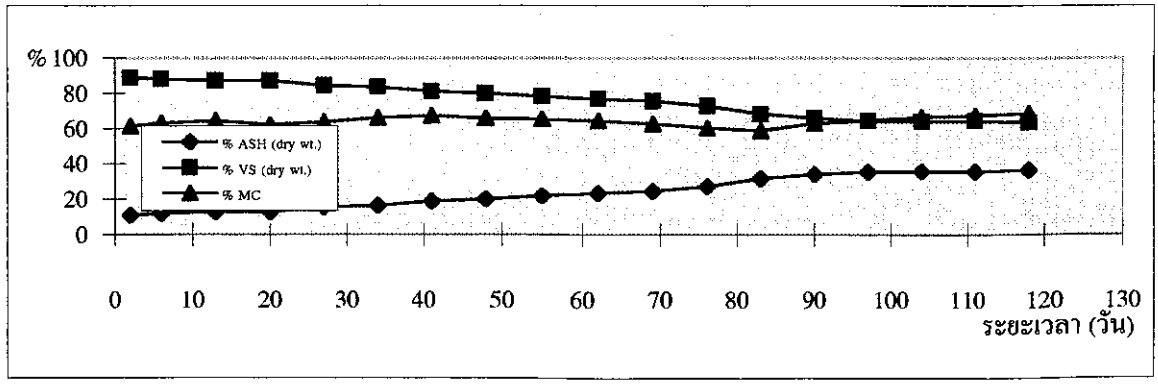
รูปที่ 36 องค์ประกอบเถ้า ของแข็งที่ระเหยได้ และความชื้นของกองที่ 2-1 กองปุ๋ยสูง 0.5 ม. และมีการพลิกกลับ



รูปที่ 37 องค์ประกอบเถ้า ของแข็งที่ระเหยได้ และความชื้นของกองที่ 2-2 กองปุ๋ยสูง 1.0 ม. และมีการพลิกกลับ



รูปที่ 38 องค์ประกอบเถ้า ของแข็งที่ระเหยได้ และความชื้นของกองที่ 2-3 กองปุ๋ยสูง 1.0 ม. และไม่มีการพลิกกลับ



รูปที่ 39 องค์ประกอบเถ้า ของแข็งที่ระเหยได้ และความชื้นของกองที่ 2-4 กองปุ๋ยสูง 1.5 ม. และมีการพลิกกลับ

กองปุ๋ยสูง 0.5 ม. และ 1.5 ม. ที่มีการพลิกกลับ ขณะที่กองปุ๋ยสูง 1.0 ม. ที่ไม่ได้มีการพลิกกลับมีอัตราการเพิ่มขึ้นน้อยที่สุด โดยที่อัตราการเพิ่มขึ้นของกองปุ๋ยสูง 1.0 ม. ที่มีการพลิกกลับเริ่มมีค่าคงที่ที่ร้อยละ 43 ที่ระยะเวลาในการหมักประมาณ 90 วัน ซึ่งเป็นค่าที่มากที่สุดและเป็นระยะเวลาในการหมักที่เร็วกว่ากองปุ๋ยที่มีความสูง 0.5 ม. และ 1.5 ม. โดยที่กองปุ๋ยสูง 0.5 ม. ที่มีการพลิกกลับ, 1.0 ม. ที่ไม่มีการพลิกกลับ และ 1.5 ม. ที่มีการพลิกกลับ มีค่าองค์ประกอบของเถ้าที่เริ่มคงที่ประมาณร้อยละ 39 ที่ระยะเวลาในการหมักประมาณ 100 วัน, ประมาณร้อยละ 28 ที่ระยะเวลาในการหมักประมาณ 110 วัน และประมาณร้อยละ 37 ที่ระยะเวลาในการหมักประมาณ 100 วัน ตามลำดับ

ส่วนผลการทดลองใน Run ที่ 2 มีการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบเถ้าดังนี้คือ เมื่อเริ่มต้นในการหมักองค์ประกอบดังกล่าวมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 10-11 และเมื่อระยะเวลาในการหมักผ่านไปก็พบว่ากองปุ๋ยสูง 1.0 ม. ที่มีการพลิกกลับ มีอัตราการเพิ่มขึ้นขององค์ประกอบเถ้ามากที่สุดและเริ่มมีค่าคงที่ประมาณร้อยละ 39 ที่ระยะเวลาในการหมักประมาณ 90 วัน ส่วนกองปุ๋ยสูง 0.5 ม. ที่มีการพลิกกลับ, 1.0 ม. ที่ไม่มีการพลิกกลับ และ 1.5 ม. ที่มีการพลิกกลับ มีค่าดังกล่าวที่เริ่มคงที่ประมาณร้อยละ 36, 31 และ 35 ตามลำดับ ที่ระยะเวลาในการหมักประมาณ 100 วัน

Polprasert (1991) ได้รายงานไว้ว่าองค์ประกอบเถ้ามีค่าเพิ่มขึ้นและเริ่มคงที่ที่ร้อยละ 37 ที่ระยะเวลาในการหมักประมาณ 80 วัน ส่วน Giovanni Vallini and Antonio Pera (1988) ก็ได้รายงานไว้เช่นเดียวกันว่าองค์ประกอบเถ้ามีค่าเพิ่มขึ้นและเริ่มคงที่ที่ร้อยละ 39 ที่ระยะเวลาในการหมักประมาณ 90 วัน ซึ่งมีความสอดคล้องกับผลการทดลองทั้งใน Run ที่ 1 และ 2

จากที่ได้กล่าวมาทั้งหมดแสดงให้เห็นว่ากองปุ๋ยสูง 1.0 ม. ที่มีการพลิกกลับของการทดลองทั้งสองครั้งมีอัตราการย่อยสลายของสารอินทรีย์และการเข้าสู่ความเสถียรภาพของปุ๋ยหมักได้เร็วกว่ากองปุ๋ยสูง 0.5 ม. ที่มีการพลิกกลับ, 1.0 ม. ที่ไม่มีการพลิกกลับ และ 1.5 ม. ที่มีการพลิกกลับ

4.2 การเปลี่ยนแปลงของมวลและลักษณะสมบัติของปุ๋ยหมักที่ได้เมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมัก

การศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงของมวลและลักษณะสมบัติของปุ๋ยหมักที่ได้เมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักนั้นมีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นการประเมินคุณภาพของปุ๋ยหมักที่ได้ซึ่งมีเกณฑ์ในการพิจารณาดังต่อไปนี้

4.2.1 การลดลงของมวลและการกระจายของขนาด

เมื่อกระบวนการหมักของการทดลองทั้งสองครั้งสิ้นสุดลงพบว่ากองปุ๋ยหมักทุกกอง มีลักษณะที่ยุบตัวลงและปริมาตรของกองปุ๋ยหมักลดลงอย่างเห็นได้ชัดเจน ตัวอย่างสภาพของกองปุ๋ยหมักที่มีความสูง 1.0 ม. เมื่อเริ่มต้นกระบวนการหมักสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 40 และเมื่อเปรียบเทียบกับสภาพของกองปุ๋ยหมักกองเดิมเมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักแล้วสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 41

รูปที่ 40 สภาพของกองปุ๋ยหมักที่มีความสูง 1.0 ม. เมื่อเริ่มต้นกระบวนการหมัก

รูปที่ 41 สภาพของกองปุ๋ยหมักที่มีความสูง 1.0 ม. เมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักแล้ว

การพิจารณาถึงการลดลงของมวลนั้นประกอบด้วยการเปรียบเทียบมวลโดยนน.แห้งของปุ๋ยหมักที่ได้ที่แล้วกับมวลโดยนน.แห้งของปุ๋ยเมื่อเริ่มต้นในการหมัก จากนั้นจึงนำมาคำนวณหาร้อยละของมวลโดยนน.แห้งที่หายไปในระหว่างกระบวนการหมัก นอกจากนี้ยังได้ทำการคัดแยกขนาดปุ๋ยโดยการร่อนตะแกรงเพื่อคัดขนาดปุ๋ยที่ได้เป็น 3 ขนาด คือ ปุ๋ยที่มีขนาดใหญ่กว่า 10.0 มม. ปุ๋ยที่มีขนาดระหว่าง 5.0-10.0 มม. และปุ๋ยที่มีขนาดเล็กกว่า 5.0 มม. โดยที่ผลการลดลงของมวลและการกระจายของขนาดของการทดลองใน Run ที่ 1 และ 2 ได้แสดงในตารางที่ 8 และ 9 ตามลำดับ ส่วนรูปที่ 42-44 แสดงผลการกระจายของขนาดของการทดลองใน Run ที่ 1 และเมื่อทำการเปรียบเทียบกับผลการกระจายของขนาดของการทดลองใน Run ที่ 2 นั้นสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 45-47

จากผลการทดลองพบว่าร้อยละของมวลโดยนน.แห้งที่หายไปในระหว่างการหมักของกองปุ๋ยสูง 0.5 ม. ที่มีการพลิกกลับ, 1.0 ม. ที่มีการพลิกกลับ, 1.0 ม. ที่ไม่มีการพลิกกลับ และ 1.5 ม. ที่มีการพลิกกลับของการทดลองใน Run ที่ 1 และ 2 คือ 21.6, 24.1, 16.7 และ 18.5 ตามลำดับ และ 34.3, 40.3, 30.5 และ 37.0 ตามลำดับ ส่วนผลการกระจายของขนาดมีรายละเอียดดังนี้

ร้อยละของปุ๋ยโดยนน.แห้งที่มีขนาดใหญ่กว่า 10.0 มม. ของกองปุ๋ยสูง 0.5 ม., 1.0 ม., 1.0 ม. ที่ไม่มีการพลิกกลับ และ 1.5 ม. ของการทดลองใน Run ที่ 1 และ 2 คือ 37.1, 31.2, 67.5 และ 38.0 ตามลำดับ และ 17.6, 14.9, 30.4 และ 15.7 ตามลำดับ

ร้อยละของปุ๋ยโดยนน.แห้งที่มีขนาดระหว่าง 5.0-10.0 มม. ของกองปุ๋ยสูง 0.5 ม., 1.0 ม., 1.0 ม. ที่ไม่มีการพลิกกลับ และ 1.5 ม. ของการทดลองใน Run ที่ 1 และ 2 คือ 16.4, 18.7, 16.5 และ 16.3 ตามลำดับ และ 18.1, 14.0, 12.8 และ 17.1 ตามลำดับ

ร้อยละของปุ๋ยโดยนน.แห้งที่มีขนาดเล็กกว่า 5.0 มม. ของกองปุ๋ยสูง 0.5 ม., 1.0 ม. ,1.0 ม. ที่ไม่มีการพลิกกลับ และ 1.5 ม. ของการทดลองใน Run ที่ 1 และ 2 คือ 46.5, 50.1, 16.0 และ 45.7 ตามลำดับ และ 64.3, 71.1, 56.8 และ 67.2 ตามลำดับ

จากผลการทดลองของการทดลองทั้งสองครั้งเห็นได้ว่ากองปุ๋ยสูง 1.0 ม. ที่มีการพลิกกลับ มีค่าร้อยละของมวลที่หายไปในระหว่างกระบวนการหมักมากที่สุด ขณะที่กองปุ๋ยสูง 1.0 ม. ที่ไม่มีการพลิกกลับ มีค่าดังกล่าวน้อยที่สุด นอกจากนี้ยังพบว่ากองปุ๋ยสูง 1.0 ม. ที่มีการพลิกกลับ มีสัดส่วนการกระจายของขนาดที่มีขนาดเล็กกว่า 5.0 มม. มากที่สุด ขณะที่กองปุ๋ยสูง 1.0 ม. ที่ไม่มีการพลิกกลับ มีค่าสัดส่วนดังกล่าวน้อยที่สุด ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการพลิกกลับกองปุ๋ยหมักทำให้จุลินทรีย์ชนิดใช้ออกซิเจนในการดำรงชีวิตได้รับก๊าซออกซิเจนได้มากกว่ากองปุ๋ย

ตารางที่ 8 การลดลงของมวลและการกระจายขนาดของปุ๋ยหมักที่หมักด้วยเศษหญ้าผสมกับกากตะกอนน้ำเสียของการทดลองใน Run 1

มวล (กก.)	กองที่ 1-1 สูง 0.5 ม. พลิกกลับ	กองที่ 1-2 สูง 1.0 ม. พลิกกลับ	กองที่ 1-3 สูง 1.0 ม. ไม่พลิกกลับ	กองที่ 1-4 สูง 1.5 ม. พลิกกลับ
มวลของปุ๋ยหมักเมื่อเริ่มต้นในการหมัก				
มวลรวมของปุ๋ยหมักทั้งกอง, นน.เปียก	106.54	195.74	184.40	298.92
% ความชื้นเริ่มต้นของปุ๋ยหมัก	77.09	78.67	79.88	78.49
มวลรวมของปุ๋ยหมักทั้งกอง, นน.แห้ง	24.41	41.75	37.10	64.30
มวลที่ถูกนำไปใช้วิเคราะห์ตัวอย่าง, นน.แห้ง	2.68	2.79	2.96	2.73
มวลของปุ๋ยหมักเมื่อเริ่มต้นในการหมักจริง, นน.แห้ง	**21.73**	**38.96**	**34.14**	**61.57**
มวลของปุ๋ยหมักที่ได้ที่แล้ว				
ปุ๋ยที่ยังไม่ร่อนตะแกรง, นน.เปียก	26.16	50.74	63.98	88.17
% ความชื้น *	34.86	41.71	55.54	43.08
ปุ๋ยที่ยังไม่ร่อนตะแกรง, นน.แห้ง	17.04	29.57	28.44	50.19
มวลที่หายไปในระหว่างการหมัก, นน.แห้ง	4.69	9.39	5.70	11.38
% มวล(นน.แห้ง)ที่หายไปในระหว่างการหมัก	**21.57**	**24.09**	**16.69**	**18.48**
การร่อนตะแกรง				
ปุ๋ยที่มีขนาดใหญ่กว่า 10.0 มม., นน.เปียก	9.64	15.58	41.17	31.15
% ความชื้น **	34.46	40.85	53.34	38.79
ปุ๋ยที่มีขนาดใหญ่กว่า 10.0 มม., นน.แห้ง	6.32	9.22	19.21	19.07
% ปุ๋ย(นน.แห้ง)ที่มีขนาดใหญ่กว่า 10.0 มม.	**37.07**	**31.16**	**67.54**	**37.99**
ปุ๋ยที่มีขนาดระหว่าง 5.0-10.0 มม., นน.เปียก	4.25	10.25	11.83	15.09
% ความชื้น **	34.25	46.02	60.32	45.69
ปุ๋ยที่มีขนาดระหว่างขนาด 5.0-10.0 มม.,นน.แห้ง	2.79	5.53	4.69	8.20
% ปุ๋ย(นน.แห้ง)ที่มีขนาดระหว่าง 5.0-10.0 มม.	**16.40**	**18.71**	**16.50**	**16.33**
ปุ๋ยที่มีขนาดเล็กกว่าขนาด 5.0 มม., นน.เปียก	12.27	26.48	10.98	41.93
% ความชื้น **	35.38	44.01	58.66	45.32
ปุ๋ยที่มีขนาดเล็กกว่า 5.0 มม., นน.แห้ง	7.93	14.83	4.54	22.93
% ปุ๋ย(นน.แห้ง)ที่มีขนาดเล็กกว่า 5.0 มม.	**46.53**	**50.13**	**15.96**	**45.68**

หมายเหตุ * ความชื้นของปุ๋ยหมักที่ยังไม่ได้ผ่านการร่อนตะแกรงซึ่งเป็นความชื้นฐ.ขณะที่ชั่งน้ำหนัก

** ความชื้นของปุ๋ยหมักที่ได้ผ่านการร่อนตะแกรงแล้วซึ่งเป็นความชื้นฐ.ขณะที่ชั่งน้ำหนัก

ตารางที่ 9 การลดลงของมวลและการกระจายขนาดของปุ๋ยหมักที่หมักด้วยเศษใบไม้แห้งผสมกับกากตะกอนน้ำเสียของการทดลองใน Run 2

มวล (กก.)	กองที่ 2-1 สูง 0.5 ม. พลิกกลับ	กองที่ 2-2 สูง 1.0 ม. พลิกกลับ	กองที่ 2-3 สูง 1.0 ม. ไม่พลิกกลับ	กองที่ 2-4 สูง 1.5 ม. พลิกกลับ
มวลของปุ๋ยหมักเมื่อเริ่มต้นในการหมัก				
มวลรวมของปุ๋ยหมักทั้งกอง, นน.เปียก	168.23	238.69	230.46	275.86
% ความชื้นเริ่มต้นของปุ๋ยหมัก	62.63	64.92	62.73	61.31
มวลรวมของปุ๋ยหมักทั้งกอง, นน.แห้ง	62.87	83.73	85.89	106.73
มวลที่ถูกนำไปใช้วิเคราะห์ตัวอย่าง, นน.แห้ง	2.59	2.89	2.46	2.64
มวลของปุ๋ยหมักเมื่อเริ่มต้นในการหมักจริง, นน.แห้ง	**60.28**	**80.84**	**83.43**	**104.09**
มวลของปุ๋ยหมักที่ได้ที่แล้ว				
ปุ๋ยที่ยังไม่ร่อนตะแกรง, นน.เปียก	127.54	152.38	174.82	208.20
% ความชื้น *	68.93	68.30	66.82	68.49
ปุ๋ยที่ยังไม่ร่อนตะแกรง, นน.แห้ง	39.63	48.30	58.01	65.60
มวลที่หายไปในระหว่างการหมัก, นน.แห้ง	20.65	32.54	25.43	38.49
% มวล(นน.แห้ง)ที่หายไปในระหว่างการหมัก	**34.26**	**40.25**	**30.48**	**36.97**
การร่อนตะแกรง				
ปุ๋ยที่มีขนาดใหญ่กว่า 10.0 มม., นน.เปียก	21.55	21.00	52.17	34.71
% ความชื้น **	67.64	65.65	66.17	70.38
ปุ๋ยที่มีขนาดใหญ่กว่า 10.0 มม., นน.แห้ง	6.97	7.21	17.65	10.28
% ปุ๋ย(นน.แห้ง)ที่มีขนาดใหญ่กว่า 10.0 มม.	**17.59**	**14.93**	**30.42**	**15.67**
ปุ๋ยที่มีขนาดระหว่าง 5.0-10.0 มม., นน.เปียก	21.99	20.78	23.02	35.79
% ความชื้น **	67.40	67.53	67.71	68.60
ปุ๋ยที่มีขนาดระหว่าง 5.0-10.0 มม.,นน.แห้ง	7.17	6.75	7.43	11.24
% ปุ๋ย(นน.แห้ง)ที่มีขนาดระหว่าง 5.0-10.0 มม.	**18.09**	**13.97**	**12.81**	**17.13**
ปุ๋ยที่มีขนาดเล็กกว่าขนาด 5.0 มม., นน.เปียก	84.00	110.60	99.63	137.70
% ความชื้น **	69.65	68.94	66.95	67.98
ปุ๋ยที่มีขนาดเล็กกว่าขนาด 5.0 มม., นน.แห้ง	25.49	34.35	32.93	44.09
% ปุ๋ย(นน.แห้ง)ที่มีขนาดเล็กกว่า 5.0 มม.	**64.32**	**71.10**	**56.76**	**67.20**

หมายเหตุ * ความชื้นของปุ๋ยหมักที่ยังไม่ได้ผ่านการร่อนตะแกรงซึ่งเป็นความชื้นณ.ขณะที่ชั่งน้ำหนัก

** ความชื้นของปุ๋ยหมักที่ได้ผ่านการร่อนตะแกรงแล้วซึ่งเป็นความชื้นณ.ขณะที่ชั่งน้ำหนัก

รูปที่ 42 ปุ๋ยหมักที่มีขนาดใหญ่กว่า 10.0 มม. ของการทดลองใน Run ที่ 1

รูปที่ 45 ปุ๋ยหมักที่มีขนาดใหญ่กว่า 10.0 มม. ของการทดลองใน Run ที่ 2

รูปที่ 43 ปุ๋ยหมักที่มีขนาดระหว่าง 5.0-10.0 มม. ของการทดลองใน Run ที่ 1

รูปที่ 46 ปุ๋ยหมักที่มีขนาดระหว่าง 5.0-10.0 มม. ของการทดลองใน Run ที่ 2

รูปที่ 44 ปุ๋ยหมักที่มีขนาดเล็กกว่า 5.0 มม. ของการทดลองใน Run ที่ 1

รูปที่ 47 ปุ๋ยหมักที่มีขนาดเล็กกว่า 5.0 มม. ของการทดลองใน Run ที่ 2

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University

ที่ไม่ได้ทำการพลิกกลับทำให้สารอินทรีย์ถูกย่อยสลายได้ในปริมาณที่มากกว่า

เมื่อพิจารณากองปุ๋ยที่มีความสูง 0.5 ม. และ 1.5 ม. พบว่ามีค่าร้อยละของมวลที่หายไปในระหว่างกระบวนการหมักใกล้เคียงกันแต่มีค่าน้อยกว่าของกองปุ๋ยสูง 1.0 ม. ที่มีการพลิกกลับ ส่วนสัดส่วนการกระจายของขนาดที่มีขนาดเล็กกว่า 5.0 มม. ของกองปุ๋ยที่มีความสูง 0.5 ม. และ 1.5 ม. มีค่าใกล้เคียงกันแต่มีค่าน้อยกว่ากองปุ๋ยสูง 1.0 ม. ที่มีการพลิกกลับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสารอินทรีย์ในกองปุ๋ยสูง 1.0 ม. ที่มีการพลิกกลับ ถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ได้มากและดีกว่ากองปุ๋ยที่มีความสูง 0.5 ม. และ 1.5 ม. และด้วยเหตุผลนี้จึงทำให้ปุ๋ยหมักจากกองปุ๋ยสูง 1.0 ม. ที่มีการพลิกกลับ มีความร่วนซุยมากที่สุด

4.2.2 ลักษณะสมบัติของปุ๋ยหมัก

4.2.2.1 สี กลิ่น และลักษณะเนื้อปุ๋ย

เมื่อตรวจดูสีของปุ๋ยหมักที่ได้จากทุกๆกองพบว่าปุ๋ยหมักมีสีน้ำตาลดำจนถึงสีเกือบดำซึ่งเป็นสีของปุ๋ยหมักที่ได้ที่แล้ว (Sugahara et al., 1979)

เมื่อพิจารณากลิ่นปุ๋ยหมักที่ได้พบว่ากลิ่นปุ๋ยหมักของกองปุ๋ยหมักทุกกองของการทดลองทั้งสองครั้งมีกลิ่นคล้ายกลิ่นดิน และไม่มีกลิ่นเหม็นของกรดอินทรีย์ นั่นแสดงให้เห็นว่าสารอินทรีย์ได้ถูกย่อยสลายจนเข้าสู่สภาวะเสถียรภาพแล้ว

ส่วนลักษณะเนื้อปุ๋ยของการทดลองใน Run ที่ 1 และ 2 มีลักษณะที่คล้ายคลึงกัน กล่าวคือ เนื้อปุ๋ยของกองสูง 1.0 ม. ที่ไม่มีการพลิกกลับ มีลักษณะจับกันเป็นก้อนไม่ร่วนซุย ส่วนเนื้อปุ๋ยของกองปุ๋ยสูง 0.5 ม., 1.0 ม. และ 1.5 ม. ที่มีการพลิกกลับมีลักษณะร่วนซุยไม่จับกันเป็นก้อน

4.2.2.2 แร่ธาตุอาหาร

การพิจารณาแร่ธาตุอาหารที่เกิดขึ้นจากกระบวนการหมักปุ๋ยคือการพิจารณาถึงองค์ประกอบของธาตุไนโตรเจน, ฟอสฟอรัส และโปแตสเซียม ซึ่งผลการวิเคราะห์องค์ประกอบแร่ธาตุอาหารดังกล่าวของการทดลองใน Run ที่ 1 และ 2 เมื่อเริ่มต้นและสิ้นสุดกระบวนการหมักได้แสดงไว้ในตารางที่ 10

จากมาตรฐานปุ๋ยหมักของเอกสารคำแนะนำการผลิตปุ๋ยหมักเป็นอุตสาหกรรม (ฝ่ายเผยแพร่และประชาสัมพันธ์ สำนักงาน เลขานุการกรม โครงการปรับปรุงบำรุงดินด้วยอินทรียวัตถุ ฝ่ายอินทรียวัตถุและวัสดุเหลือใช้ กองอนุรักษ์ดินและน้ำ กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2534) ได้แนะนำไว้ว่าปุ๋ยหมักที่ผลิตได้ควรมีเกรดปุ๋ยที่มีองค์ประกอบของธาตุไนโตรเจน, ฟอสฟอรัส และโปแตสเซียม ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 1, 0.5 และ 1 โดยนน.แห้ง ตามลำดับ

ตารางที่ 10 องค์ประกอบแร่ธาตุอาหารของการทดลองใน Run ที่ 1 และ 2

การทดลอง Run ที่	ระยะเวลาในการหมัก (วัน)	กองปุ๋ย สูง 0.5 ม. ที่มีการพลิกกลับ (ร้อยละโดยนน.แห้ง)			กองปุ๋ย สูง 1.0 ม. ที่มีการพลิกกลับ (ร้อยละโดยนน.แห้ง)			กองปุ๋ย สูง 1.0 ม. ที่ไม่มีการพลิกกลับ (ร้อยละโดยนน.แห้ง)			กองปุ๋ย สูง 1.5 ม. ที่มีการพลิกกลับ (ร้อยละโดยนน.แห้ง)		
		N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K
1	1	1.38	0.21	1.29	1.39	0.31	1.18	1.52	0.27	1.26	1.35	0.25	1.23
	120	2.20	0.29	1.36	2.38	0.44	1.25	2.17	0.36	1.32	2.34	0.34	1.31
2	1	1.41	0.41	1.70	1.28	0.42	1.79	1.34	0.31	1.64	1.33	0.47	1.63
	120	2.23	0.58	1.86	2.43	0.62	1.98	2.11	0.44	1.76	2.32	0.68	1.79

ซึ่งผลการวิเคราะห์องค์ประกอบดังกล่าวมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

องค์ประกอบไนโตรเจนของกองปุ๋ยสูง 0.5 ม. ที่มีการพลิกกลับ, 1.0 ม. ที่มีการพลิกกลับ, 1.0 ม. ที่ไม่มีการพลิกกลับ และ 1.5 ม. ที่มีการพลิกกลับ ของการทดลองใน Run ที่ 1 และ 2 มีค่าร้อยละโดยนน.แห้งเป็น 2.2, 2.4, 2.2 และ 2.3 ตามลำดับ และ 2.2, 2.4, 2.1 และ 2.3 ตามลำดับ

องค์ประกอบฟอสฟอรัสของกองปุ๋ยสูง 0.5 ม. ที่มีการพลิกกลับ, 1.0 ม. ที่มีการพลิกกลับ, 1.0 ม. ที่ไม่มีการพลิกกลับ และ 1.5 ม. ที่มีการพลิกกลับ ของการทดลองใน Run ที่ 1 และ 2 มีค่าร้อยละโดยนน.แห้งเป็น 0.3, 0.4, 0.4 และ 0.3 ตามลำดับ และ 0.6, 0.6, 0.4 และ 0.7 ตามลำดับ

องค์ประกอบโปแตสเซียมของกองปุ๋ยสูง 0.5 ม. ที่มีการพลิกกลับ, 1.0 ม. ที่มีการพลิกกลับ, 1.0 ม. ที่ไม่มีการพลิกกลับ และ 1.5 ม. ที่มีการพลิกกลับ ของการทดลองใน Run ที่ 1 และ 2 มีค่าร้อยละโดยนน.แห้งเป็น 1.4, 1.3, 1.3 และ 1.3 ตามลำดับ และ 1.9, 2.0, 1.8 และ 1.8 ตามลำดับ

จากผลการวิเคราะห์เห็นได้ว่ากองปุ๋ยทุกกองในการทดลอง Run ที่ 1 มีองค์ประกอบธาตุไนโตรเจนและโปแตสเซียมได้ตามมาตรฐานตามที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ส่วนองค์ประกอบธาตุฟอสฟอรัสของกองปุ๋ยทุกกองมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานเล็กน้อยเท่านั้น

ส่วนกองปุ๋ยทุกกองของการทดลองใน Run ที่ 2 มีองค์ประกอบธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปแตสเซียม ที่มีค่าผ่านมาตรฐาน

4.2.2.3 ปริมาณโลหะหนัก

การทดลองหมักปุ๋ยในครั้งนี้ได้นำกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่มาเป็นวัตถุดิบที่ใช้ในการหมักและเนื่องจากน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการต่างๆที่ถูกปล่อยลงระบบบำบัดมีการปนเปื้อนโลหะหนักอยู่ ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จึงได้ทำการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในกากตะกอนน้ำเสียซึ่ง ได้แก่ แคดเมียม โครเมียม คอปเปอร์ นิเกิล ตะกั่ว และสังกะสี และผลการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในกากตะกอนน้ำเสียได้แสดงในตารางที่ 11 ส่วนมาตรฐานปริมาณโลหะหนักในกากตะกอนน้ำเสียที่มากที่สุดที่ยอมให้มีได้เมื่อนำไปใช้ในการเกษตรของประเทศสหรัฐอเมริกาและกลุ่มประเทศในทวีปยุโรป (In Focus, Biosolids Reuse : Managers on Both sides of Atlantic Gain From Experience, Identify Cost-Cutting Measures, 1997) ได้แสดงในตารางที่ 12 เมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างปริมาณโลหะหนักที่มีในกากตะกอนน้ำเสียที่ถูกนำมาใช้ในการศึกษาครั้งนี้กับปริมาณโลหะหนักในกากตะกอนน้ำเสียตามมาตรฐานดังกล่าวพบว่า

ตารางที่ 11 ผลการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในกากตะกอนน้ำเสียที่ถูกนำมาใช้ในการทดลองในครั้งนี้

ชนิดโลหะหนัก	ปริมาณโลหะหนัก (มก./ก. โดยนน.แห้งของกากตะกอนน้ำเสีย)
แคดเมียม	0.01
โครเมียม	0.30
คอปเปอร์	0.53
นิเกิล	0.07
ตะกั่ว	0.17
สังกะสี	2.76

ตารางที่ 12 มาตรฐานปริมาณโลหะหนักในกากตะกอนน้ำเสียที่มากที่สุดที่ยอมให้มีได้เมื่อนำไปใช้ในการเกษตรของประเทศสหรัฐอเมริกาและกลุ่มประเทศในทวีปยุโรป

โลหะหนัก	มาตรฐานปริมาณโลหะหนัก ในกากตะกอนน้ำเสียที่มากที่สุดที่ยอมให้มีได้เมื่อนำไปใช้ในการเกษตร (มก./ก.โดยนน.แห้งของกากตะกอน)	
	ประเทศสหรัฐอเมริกา	กลุ่มประเทศในทวีปยุโรป
แคดเมียม	0.089	0.02-0.04
โครเมียม	3	Not Applicable
คอปเปอร์	4.3	1.0-1.75
นิเกิล	0.42	0.3-0.4
ตะกั่ว	0.84	0.75-1.20
สังกะสี	7.5	2.5-4.0

ที่มา In Focus, Biosolids Reuse : Managers on Both sides of Atlantic Gain From Experience, Identify Cost-Cutting Measures, 1997

ปริมาณโลหะหนักในกากตะกอนน้ำเสียที่ถูกนำมาใช้ในการศึกษาครั้งนี้มีค่าไม่เกินมาตรฐาน

ส่วนผลการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในปุ๋ยหมักของการทดลองใน Run ที่ 1 และ 2 เมื่อเริ่มต้นและสิ้นสุดกระบวนการหมักได้แสดงในตารางที่ 13 และ 14 ตามลำดับ จากตารางที่ 13 และ 14 พบว่าเมื่อสิ้นสุดการหมักปริมาณโลหะหนักในปุ๋ยหมักมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณโลหะหนักเมื่อเริ่มต้นการหมักซึ่งปริมาณดังกล่าวไม่น่ามีค่าเพิ่มขึ้น ที่เป็นเช่นนี้ก็เพราะว่าเมื่อระยะเวลาในการหมักผ่านไปมวลของปุ๋ยหมักได้มีค่าลดลงอันเนื่องมาจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์จึงทำให้เมื่อวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักเทียบต่อมวลของปุ๋ยหมัก (โดยนน.แห้ง) แล้วมีผลทำให้ปริมาณโลหะหนักมีค่าเพิ่มขึ้น

เมื่อประเมินคุณภาพของปุ๋ยหมักที่ได้จากการทดลองทั้งสองครั้งโดยการเปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักในปุ๋ยหมักกับปริมาณโลหะหนักในกากตะกอนน้ำเสียตามมาตรฐานในตารางที่ 12 พบว่าปุ๋ยหมักที่ได้มีปริมาณโลหะหนักไม่เกินมาตรฐานดังกล่าว ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าปุ๋ยหมักที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้เป็นปุ๋ยหมักที่ไม่มีปัญหาต่อการเกษตรเมื่อพิจารณาในแง่ของปริมาณโลหะหนักที่มีอยู่

4.2.2.4 เชื้อโรค

การทดลองในครั้งนี้ได้ทำการตรวจสอบเพื่อหาเชื้อโรคที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ในปุ๋ยหมักในสภาวะเริ่มต้นและสิ้นสุดการหมักด้วยวิธีการใช้กล้องจุลทรรศน์ส่องดูแผ่นสไลด์โดยตรง ณ.ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะเทคนิคการแพทย์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ซึ่งผลการตรวจสอบเชื้อโรคในปุ๋ยหมักในสภาวะเริ่มต้นและสิ้นสุดการหมักของการทดลองใน Run ที่ 1 และ 2 ได้แสดงในตารางที่ 15

จากการตรวจสอบเชื้อโรคด้วยวิธีการส่องกล้องจุลทรรศน์โดยตรงเพื่อหาเชื้อโรคชนิดสำคัญๆทั้งหมด 4 ชนิดที่ก่อให้เกิดโรคในระบบทางเดินอาหารของมนุษย์ ได้แก่ *Salmonella spp.* (ก่อให้เกิดโรคไทฟอยด์), *Shigella spp.* (ก่อให้เกิดโรคบิด), *Staphylococcus spp.*(ก่อให้เกิดโรคท้องร่วงทั่วไป) และ *Streptococcus spp.*(ก่อให้เกิดโรคท้องร่วงทั่วไป) พบว่าไม่พบเชื้อโรคทั้ง 4 ชนิดในปุ๋ยหมักทั้งในสภาวะเริ่มต้นและสิ้นสุดการหมัก จึงแสดงให้เห็นว่ากากตะกอนน้ำเสียที่ถูกนำมาใช้ในครั้งนี้ไม่มีความเสี่ยงจากการปนเปื้อนของเชื้อโรคทั้ง 4 ชนิดดังกล่าว แต่จากการส่องกล้องจุลทรรศน์ด้วยวิธีดังกล่าวข้างต้นของปุ๋ยหมักในสภาวะเริ่มต้นในการหมักกลับพบพยาธิที่มีอันตรายต่อมนุษย์ 1 ชนิด คือ พยาธิ *Strongyloids stercoralis* ซึ่งเป็นพยาธิตัวกลมที่สามารถไชเข้าไปทางผิวหนังได้ในสภาพที่ยังมีชีวิตอยู่ และเมื่อนำปุ๋ยหมักในสภาวะที่สิ้นสุดการหมักมาตรวจสอบพยาธิชนิดเดิมด้วยวิธีดังกล่าวข้างต้นก็พบว่าพยาธิ *Strongyloids stercoralis* ได้ตายลง

ตารางที่ 13 ผลการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในปุ๋ยหมักของการทดลองใน Run 1

กองปุ๋ย	โลหะหนัก	เริ่มต้นการหมัก	สิ้นสุดการหมัก
		ปริมาณ มก./ก.ของปุ๋ยโดยน.น.แห้ง	ปริมาณ มก./ก.ของปุ๋ยโดยน.น.แห้ง
กองที่ 1-1 กองปุ๋ย สูง 0.5 ม. และมีการพลิกกลับทุกๆ 14 วัน	**Cd**	0.0010	0.0011
	Cr	0.38	0.42
	Cu	0.047	0.053
	Ni	0.082	0.091
	Pb	0.0082	0.0092
	Zn	0.36	0.40
กองที่ 1-2 กองปุ๋ย สูง 1.0 ม. และมีการพลิกกลับทุกๆ 14 วัน	**Cd**	0.0020	0.0023
	Cr	0.39	0.45
	Cu	0.061	0.067
	Ni	0.080	0.088
	Pb	0.0074	0.0084
	Zn	0.46	0.51
กองที่ 1-3 กองปุ๋ย สูง 1.0 ม. และไม่มีการพลิกกลับ	**Cd**	0.0016	0.0018
	Cr	0.47	0.51
	Cu	0.047	0.050
	Ni	0.076	0.085
	Pb	0.0071	0.0079
	Zn	0.32	0.36
กองที่ 1-4 กองปุ๋ย สูง 1.5 ม. และมีการพลิกกลับทุกๆ 14 วัน	**Cd**	0.0010	0.0012
	Cr	0.43	0.48
	Cu	0.068	0.076
	Ni	0.079	0.092
	Pb	0.0078	0.0089
	Zn	0.48	0.55

ตารางที่ 14 ผลการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในปุ๋ยหมักของการทดลองใน Run ที่ 2

กองปุ๋ย	โลหะหนัก	เริ่มต้นการหมัก	สิ้นสุดการหมัก
		ปริมาณ มก./ก.ของปุ๋ยโดยนน.แห้ง	ปริมาณ มก./ก.ของปุ๋ยโดยนน.แห้ง
กองที่ 2-1 กองปุ๋ย สูง 0.5 ม. และมีการพลิกกลับทุกๆ 14 วัน	**Cd**	0.0023	0.0029
	Cr	0.40	0.47
	Cu	0.068	0.073
	Ni	0.064	0.073
	Pb	0.0066	0.0078
	Zn	0.14	0.16
กองที่ 2-2 กองปุ๋ย สูง 1.0 ม. และมีการพลิกกลับทุกๆ 14 วัน	**Cd**	0.0033	0.0039
	Cr	0.32	0.41
	Cu	0.039	0.047
	Ni	0.058	0.069
	Pb	0.0054	0.0062
	Zn	0.71	0.82
กองที่ 2-3 กองปุ๋ย สูง 1.0 ม. และไม่มีการพลิกกลับ	**Cd**	0.0038	0.0046
	Cr	0.38	0.44
	Cu	0.084	0.096
	Ni	0.067	0.078
	Pb	0.0083	0.0089
	Zn	0.42	0.48
กองที่ 2-4 กองปุ๋ย สูง 1.5 ม. และมีการพลิกกลับทุกๆ 14 วัน	**Cd**	0.0038	0.0046
	Cr	0.35	0.43
	Cu	0.074	0.083
	Ni	0.055	0.062
	Pb	0.0052	0.0063
	Zn	0.66	0.79

ตารางที่ 15 ผลการตรวจสอบเชื้อโรคจากกองปุ๋ยหมักของการทดลองใน Run ที่ 1 และ 2

ระยะเวลาในการหมัก	กองปุ๋ยสูง 0.5 ม. ที่มีการพลิกกลับ	กองปุ๋ยสูง 1.0 ม. ที่มีการพลิกกลับ	กองปุ๋ยสูง 1.0 ม. ที่ไม่มีการพลิกกลับ	กองปุ๋ยสูง 1.5 ม. ที่มีการพลิกกลับ
1 วัน	<u>พบ</u> Strongyloids stercoralis (พยาธิตัวกลมที่สามารถไชเข้าไปทางผิวหนังได้)	<u>พบ</u> Strongyloids stercoralis (พยาธิตัวกลมที่สามารถไชเข้าไปทางผิวหนังได้)	<u>พบ</u> Strongyloids stercoralis (พยาธิตัวกลมที่สามารถไชเข้าไปทางผิวหนังได้)	<u>พบ</u> Strongyloids stercoralis (พยาธิตัวกลมที่สามารถไชเข้าไปทางผิวหนังได้)
	<u>ไม่พบ</u> 1) Salmonella spp. (โรคไทฟอยด์) 2) Shigella spp. (โรคบิด) 3) Staphylococcus spp. (โรคท้องร่วงทั่วไป) 4) Streptococcus spp. (โรคท้องร่วงทั่วไป)	<u>ไม่พบ</u> 1) Salmonella spp. (โรคไทฟอยด์) 2) Shigella spp. (โรคบิด) 3) Staphylococcus spp. (โรคท้องร่วงทั่วไป) 4) Streptococcus spp. (โรคท้องร่วงทั่วไป)	<u>ไม่พบ</u> 1) Salmonella spp. (โรคไทฟอยด์) 2) Shigella spp. (โรคบิด) 3) Staphylococcus spp. (โรคท้องร่วงทั่วไป) 4) Streptococcus spp. (โรคท้องร่วงทั่วไป)	<u>ไม่พบ</u> 1) Salmonella spp. (โรคไทฟอยด์) 2) Shigella spp. (โรคบิด) 3) Staphylococcus spp. (โรคท้องร่วงทั่วไป) 4) Streptococcus spp. (โรคท้องร่วงทั่วไป)
120 วัน	<u>พบ</u> ซากที่ตายแล้วของ Strongyloids stercoralis (พยาธิตัวกลมที่สามารถไชเข้าไปทางผิวหนังได้)	<u>พบ</u> ซากที่ตายแล้วของ Strongyloids stercoralis (พยาธิตัวกลมที่สามารถไชเข้าไปทางผิวหนังได้)	<u>พบ</u> ซากที่ตายแล้วของ Strongyloids stercoralis (พยาธิตัวกลมที่สามารถไชเข้าไปทางผิวหนังได้)	<u>พบ</u> ซากที่ตายแล้วของ Strongyloids stercoralis (พยาธิตัวกลมที่สามารถไชเข้าไปทางผิวหนังได้)
	<u>ไม่พบ</u> 1) Salmonella spp. (โรคไทฟอยด์) 2) Shigella spp. (โรคบิด) 3) Staphylococcus spp. (โรคท้องร่วงทั่วไป) 4) Streptococcus spp. (โรคท้องร่วงทั่วไป)	<u>ไม่พบ</u> 1) Salmonella spp. (โรคไทฟอยด์) 2) Shigella spp. (โรคบิด) 3) Staphylococcus spp. (โรคท้องร่วงทั่วไป) 4) Streptococcus spp. (โรคท้องร่วงทั่วไป)	<u>ไม่พบ</u> 1) Salmonella spp. (โรคไทฟอยด์) 2) Shigella spp. (โรคบิด) 3) Staphylococcus spp. (โรคท้องร่วงทั่วไป) 4) Streptococcus spp. (โรคท้องร่วงทั่วไป)	<u>ไม่พบ</u> 1) Salmonella spp. (โรคไทฟอยด์) 2) Shigella spp. (โรคบิด) 3) Staphylococcus spp. (โรคท้องร่วงทั่วไป) 4) Streptococcus spp. (โรคท้องร่วงทั่วไป)

แล้วโดยเห็นในสภาพเป็นซากที่ตายแล้ว จึงแสดงให้เห็นว่าความร้อนที่เกิดขึ้นจากกระบวนการหมักปุ๋ยและระยะเวลาในการหมักที่เพียงพอสามารถฆ่าพยาธิ *Strongyloids stercoralis* ได้ ดังนั้นผู้ปฏิบัติงานที่ต้องทำงานใกล้ชิดกับกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียพึงต้องหลีกเลี่ยงการสัมผัสกากตะกอนโดยตรงและควรสวมถุงมือและรองเท้าให้มิดชิดเพื่อป้องกันการติดเชื้อจากพยาธิ *Strongyloids stercoralis*

4.3 ระยะเวลาที่เหมาะสมต่อกระบวนการหมักปุ๋ย

จากการทดลองทั้งสองครั้งสามารถบอกถึงระยะเวลาที่เหมาะสมต่อกระบวนการหมักปุ๋ยได้โดยการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางเคมีและกายภาพ ได้แก่ ความสามารถในการแลกเปลี่ยนอิออนบวก ไนโตรเจนในรูปแอมโมเนีย ไนโตรเจนในรูปออกซิไดส์ไนโตรเจน เถ้า และของแข็งที่ระเหยได้ โดยมีหลักเกณฑ์ในการพิจารณาว่าเมื่อใดที่การเปลี่ยนแปลงลักษณะเคมีและกายภาพดังกล่าวเริ่มมีค่าคงที่เมื่อนั้นคือระยะเวลาที่ปุ๋ยหมักได้ที่ซึ่งเป็นระยะเวลาที่เหมาะสมต่อกระบวนการหมักนั่นเอง รายละเอียดของระยะเวลาที่เหมาะสมต่อกระบวนการหมักและลักษณะทางเคมีและกายภาพของปุ๋ยหมักทุกกองของการทดลองใน Run ที่ 1 และ 2 ได้แสดงในตารางที่ 16 และจากตารางที่ 16 สามารถบอกรายละเอียดของระยะเวลาที่เหมาะสมต่อกระบวนการหมักของการทดลองทั้ง 2 Run ได้ดังต่อไปนี้

- กองปุ๋ยสูง 0.5 ม. ที่มีการพลิกกลับ มีระยะเวลาที่เหมาะสมต่อกระบวนการหมักของการทดลองใน Run ที่ 1 และ 2 เป็น 100-115 วัน
- กองปุ๋ยสูง 1.0 ม. ที่มีการพลิกกลับ มีระยะเวลาที่เหมาะสมต่อกระบวนการหมักของการทดลองใน Run ที่ 1 และ 2 เป็น 90-110 และ 90-115 วัน ตามลำดับ
- กองปุ๋ยสูง 1.0 ม. ที่ไม่มีการพลิกกลับ มีระยะเวลาที่เหมาะสมต่อกระบวนการหมักของการทดลองใน Run ที่ 1 และ 2 เป็น 110-115 และ 105-115 วัน ตามลำดับ
- กองปุ๋ยสูง 1.5 ม. ที่มีการพลิกกลับ มีระยะเวลาที่เหมาะสมต่อกระบวนการหมักของการทดลองใน Run ที่ 1 และ 2 เป็น 100-110 และ 100-115 วัน ตามลำดับ

จากการพิจารณาระยะเวลาที่เหมาะสมต่อกระบวนการหมักปุ๋ยที่หมักด้วยวิธีกองแบบมีการระบายอากาศของการทดลองทั้ง 2 Run สามารถสรุปได้ว่าปุ๋ยหมักของกองปุ๋ยสูง 0.5 ม., 1.0 ม., 1.0 ม. ที่ไม่มีการพลิกกลับ และ 1.5 ม. มีระยะเวลาที่เหมาะสมต่อกระบวนการหมักในช่วง 100-115 วัน (ประมาณ 110 วัน), 90-115 วัน (ประมาณ 100 วัน), 110-115 วัน (ประมาณ 115 วัน)

ตารางที่ 16 ระยะเวลาที่เหมาะสมต่อกระบวนการหมักเมื่อพิจารณาถึงลักษณะทางเคมี และกายภาพของปุ๋ยหมักทุกกองที่ได้จากการทดลองใน Run ที่ 1 และ 2

กองปุ๋ย	Run ที่	ระยะเวลาที่เหมาะสมต่อกระบวนการหมัก (วัน) เมื่อพิจารณาถึงลักษณะทางเคมีและกายภาพของปุ๋ยหมัก				
		CEC (meq/100 ก. ปุ๋ยโดยนน.แห้ง)	NH_3-N (ก. NH_3-N/100 ก. ปุ๋ยโดยนน.แห้ง)	Oxidised-N (ก.Oxidised-N/100 ก. ปุ๋ยโดยนน.แห้ง)	เถ้า (%)	ของแข็งที่ระเหยได้ (%)
กองปุ๋ยสูง 0.5 ม. ที่มีการพลิกกลับ	1	110 วัน	110 วัน	115 วัน	100 วัน	100 วัน
		109.1	0.017	0.37	39.7	60.3
	2	115 วัน	110 วัน	110 วัน	100 วัน	100 วัน
		116.6	0.024	0.25	36.7	63.3
กองปุ๋ยสูง 1.0 ม. ที่มีการพลิกกลับ	1	110 วัน	110 วัน	110 วัน	90 วัน	90 วัน
		129.0	0.007	0.47	42.6	57.4
	2	115 วัน	100 วัน	110 วัน	90 วัน	90 วัน
		136.5	0.007	0.37	38.9	61.1
กองปุ๋ยสูง 1.0 ม. ที่ไม่มีการพลิกกลับ	1	110 วัน	110 วัน	115 วัน	110 วัน	110 วัน
		93.6	0.064	0.28	28.0	72.0
	2	115 วัน	115 วัน	115 วัน	105 วัน	105 วัน
		103.5	0.065	0.19	31.7	68.3
กองปุ๋ยสูง 1.5 ม. ที่มีการพลิกกลับ	1	110 วัน	110 วัน	110 วัน	100 วัน	100 วัน
		120.4	0.025	0.41	37.3	62.7
	2	115 วัน	110 วัน	110 วัน	100 วัน	100 วัน
		129.3	0.035	0.30	35.9	64.1

และ 100-115 วัน (ประมาณ 110 วัน) ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าณ.ระยะเวลาที่เหมาะสมต่อกระบวนการหมักของกองปุ๋ยสูง 1.0 ม. ที่มีการพลิกกลับ ตามที่ได้กล่าวมาข้างต้น มีผลทำให้ค่า CEC, ไนโตรเจนในรูปออกซิไดส์ไนโตรเจน และองค์ประกอบเถ้า มีค่ามากที่สุด และค่าไนโตรเจนในรูปแอมโมเนีย และองค์ประกอบของแข็งที่ระเหยได้ มีค่าน้อยที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับกองปุ๋ยอื่นๆทั้ง 3 กอง กล่าวคือ ปุ๋ยหมักจากกองปุ๋ยสูง 1.0 ม. ที่มีการพลิกกลับ ของการทดลองใน Run ที่ 1 และ 2 มีค่า CEC เป็น 129.0 และ 136.5 meq/ปุ๋ย 100 ก. โดยนน.แห้ง ตามลำดับ, มีค่าไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียเป็น 0.007 และ 0.007 กรัม NH_3-N/100 กรัมปุ๋ยโดยนน.แห้ง ตามลำดับ, มีค่าไนโตรเจนในรูปออกซิไดส์ไนโตรเจนเป็น 0.47 และ 0.37 กรัม Oxidised-N /100 กรัมปุ๋ยโดยนน.แห้ง ตามลำดับ, มีค่าองค์ประกอบเถ้าเป็นร้อยละ 42.6 และ 38.9 ตามลำดับ และมีค่าของแข็งที่ระเหยได้เป็นร้อยละ 57.4 และ 61.1 ตามลำดับ ซึ่งเห็นได้ว่าปุ๋ยหมักของกองปุ๋ยสูง 1.0 ม. ที่มีการพลิกกลับ มีการเข้าสู่สภาวะที่เสถียรภาพได้เร็วที่สุดที่ระยะเวลาในการหมักที่เหมาะสมประมาณ 100 วัน ขณะที่ปุ๋ยหมักของกองปุ๋ยสูง 1.0 ม. ที่ไม่มีการพลิกกลับ มีการเข้าสู่สภาวะที่เสถียรภาพได้ช้าที่สุดที่ระยะเวลาในการหมักที่เหมาะสมประมาณ 115 วัน ส่วนปุ๋ยหมักของกองปุ๋ยสูง 0.5 ม. และ 1.5 ม. มีการเข้าสู่สภาวะที่เสถียรภาพที่ระยะเวลาในการหมักที่เหมาะสมพอๆกันประมาณ 110 วัน ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่ากองปุ๋ยสูง 1.0 ม. ที่มีการพลิกกลับ เป็นกองปุ๋ยที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดเพราะว่าสามารถทำให้เกิดปุ๋ยหมักที่มีคุณภาพดีที่สุดและยังทำให้ปุ๋ยหมักมีระยะเวลาในการหมักที่เหมาะสมน้อยที่สุดด้วย