

จลนพลศาสตร์อุณหภูมิมอบแห้งของปุ๋ยเม็ดอินทรีย์คุณภาพสูง
**EFFECT OF DRYING TEMPERATURE KINETIC OF HIGH QUALITY
 GRANULAR ORGANIC FERTILIZER**

ธีรเดช ชีวานันทชัย

สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต

1761 ถนน พัฒนาการ เขต สวนหลวง กรุงเทพมหานคร 10250

เบอร์โทรศัพท์ 02-321-6930-9 Ext. 1203, เบอร์โทรสาร 02-321-4444

E-mail: theeradet.che@kbu.ac.th

บทคัดย่อ

ปัจจุบันประเทศไทยได้มีการส่งเสริมการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ในภาคเกษตรกรรมมากขึ้น จึงได้มีการผลิตปุ๋ยเม็ดอินทรีย์คุณภาพสูงที่ผลิตขึ้นจากเศษวัสดุเหลือใช้ในภาคเกษตรกรรมและภาคอุตสาหกรรม โดยในส่วนอุตสาหกรรมหนังสือสัตว์จะมีเศษหนังสือเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิต ซึ่งเศษหนังสือสัตว์ที่ยังไม่ผ่านกระบวนการทางเคมีสามารถนำกลับมาแปรรูปเพื่อเป็นแหล่งธาตุอาหารที่สำคัญให้แก่พืชได้ ในการผลิตปุ๋ยเม็ดอินทรีย์คุณภาพสูงจะมีส่วนผสมดังนี้ เศษหนังสือสัตว์ป่น กระดุกสัตว์ป่น มูลสัตว์ และซีเถ้าไม้ ผสมหมักรวมกันโดยใช้จุลินทรีย์ช่วยย่อยสลายเปลี่ยนจากอินทรีย์วัตถุสลายให้เป็นอนินทรีย์วัตถุซึ่งเป็นธาตุอาหารที่มีคุณภาพสูงที่พืชสามารถดูดซึมไปใช้ประโยชน์ในการเจริญเติบโตได้ กระบวนการแปรรูปปุ๋ยอินทรีย์ให้มีมูลค่าสูงขึ้น สามารถทำได้โดยนำปุ๋ยอินทรีย์มาอัดให้เป็นเม็ดและนำมาอบแห้งด้วยความร้อน ให้เหลือความชื้นประมาณร้อยละ 10 มวลฐานแห้ง ซึ่งกระบวนการอบแห้งด้วยอากาศร้อนแบบฟลูอิดไรซ์เบด (Fluidized Bed) ที่อุณหภูมิ 70 °C และ 100 °C โดยที่ทำการเปรียบเทียบคุณสมบัติด้านต่าง ๆ กับปุ๋ยเม็ดก่อนอบแห้ง และพิจารณาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูงในการสูญเสียปริมาณธาตุอาหารในรูป ธาตุไนโตรเจนทั้งหมด (Total Nitrogen) ในรูปฟอสเฟตเพนทอกไซด์ (Phosphorus pentoxide, P₂O₅) และในรูปธาตุโพแทสเซียมออกไซด์ (Potassium oxide, K₂O) โดยการอบแห้งด้วยเทคนิคฟลูอิดไรซ์ชันที่อุณหภูมิ 100 °C จะสามารถลดความชื้นของปุ๋ยเม็ดอินทรีย์คุณภาพสูงได้รวดเร็วและใช้ระยะเวลาอันสั้น อุณหภูมิที่ใช้ออบแห้งไม่ส่งผลต่อคุณภาพทางด้านธาตุอาหารของพืชที่พืชนำไปใช้ได้ของปุ๋ยเม็ดอินทรีย์คุณภาพสูงได้เป็นอย่างดีที่น่าพอใจ

คำสำคัญ: ฟลูอิดไรซ์ชัน, ปุ๋ยเม็ดอินทรีย์คุณภาพสูง, อบแห้ง

ABSTRACT

Currently, Thailand has been promoting the use of organic fertilizers in agriculture. High quality organic fertilizer from waste of leather industry was produced. Leather shaving with non-chemical process was recycled for converting to nutrients of the plants. Mixture of organic granular fertilizer was leather shaving, bone, dung and wood ashes. Raw material of organic fertilizer is fermented by microorganisms to accelerate the degradation becomes an inorganic material which is permeable to nutrients that plants can use to grow. It was value-added of organic fertilizer by pellets and heat dried process. There was hot air at 70 °C and 100 °C in the drying process of fluidized bed. The final moisture content of granular organic fertilizer was 10% d.b. To compare the various properties of granular organic fertilizer before and after drying, the loss of nutrients in the form of Total Nitrogen (N), Phosphorus pentoxide (P_2O_5) and Potassium oxide (K_2O) was investigated. It was found that the drying of fluidization technique at 100 °C was reduced moisture content of granular organic fertilizer rapidly. Moreover, this drying temperature did not affect to quality of nutrient for the plants.

KEYWORDS: Fluidization, Granular Organic Fertilizer, Drying

1. บทนำ

การแปรรูปปุ๋ยเม็ดอินทรีย์คุณภาพสูงเพื่อทดแทนปุ๋ยเคมี ซึ่งมีราคาแพงและต้องนำเข้าวัตถุดิบจากต่างประเทศ ทำให้เสียดุลการค้า ในกระบวนการผลิตปุ๋ยเม็ดอินทรีย์คุณภาพสูงในระดับอุตสาหกรรมนั้นจะต้องนำปุ๋ยเม็ดอินทรีย์มาผ่านกระบวนการทางความร้อนเพื่อลดความชื้น และยับยั้งจุลินทรีย์ให้หยุดการย่อยสลายธาตุอินทรีย์ที่เป็นสาเหตุให้เกิดการสูญเสียธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์แก่พืช โดยจุลินทรีย์จะดึงเอาออกซิเจนออกมาใช้ในการดำรงชีพ และเปลี่ยนรูปธาตุอาหารไนเตรทไอออน (NO_3^-) ให้ไปเป็นธาตุไนโตรเจนที่สามารถระเหยออกสู่อากาศเป็นการสูญเสียธาตุอาหารได้ (Denitrification) ดังนั้นวิธีการที่ยืดอายุในการเก็บรักษาปุ๋ยอินทรีย์ โดยให้แร่ธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์แก่พืชให้คงสภาพอยู่ได้นั้น โดยการเพิ่มมูลค่าให้กับปุ๋ยอินทรีย์คือการนำปุ๋ยอินทรีย์มาอัดให้อยู่ในรูปเป็นเม็ด เพื่อลดปริมาณของปุ๋ยอินทรีย์ให้มีปริมาณขนาดเล็กลงสะดวกแก่การขนส่ง เพิ่มปริมาณธาตุอาหารให้มากขึ้น เป็นการลดการสูญเสียธาตุอาหารที่สามารถร่วงหล่นปลิวไปตามลมและลอยไปกับน้ำได้ขณะนำไปใช้งาน เมื่ออัดเป็นเม็ดได้แล้วนั้นจะต้องนำมาผ่านกระบวนการลดความชื้นให้อยู่ในมาตรฐานควบคุมของปุ๋ยอินทรีย์ โดยการนำมาอบแห้งควบคุมปริมาณของความชื้นให้อยู่ประมาณร้อยละ 10 มาตรฐานแห้ง และนำมาผ่านกระบวนการทาง

ความร้อนในการอบแห้งด้วยอากาศร้อนโดยใช้อุณหภูมิอบแห้งที่เหมาะสม ซึ่งอุณหภูมิอบแห้งนั้นเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลการสูญเสียต่อคุณภาพของปุ๋ยเม็ดอินทรีย์คุณภาพสูงได้ การอบแห้งปุ๋ยเป็นกระบวนการทำให้ปุ๋ยเม็ดอินทรีย์คุณภาพสูงสามารถเก็บรักษาคุณภาพไว้ได้นาน ลดการสูญเสียธาตุอาหารในระหว่างการเก็บรักษา ปุ๋ยเม็ดอินทรีย์คุณภาพสูงที่อบแห้งที่ได้มีลักษณะเป็นเม็ดแห้งแข็งขนาด 5 - 6 มิลลิเมตร และมีน้ำหนักเบา แต่เมื่อถูกน้ำจะสามารถดูดซึมน้ำและจะค่อยๆ เปื่อยยุ่ย โดยสามารถปลดปล่อยธาตุอาหารที่จำเป็นแก่พืชได้อย่างช้าๆ สะดวกแก่การนำไปใช้งานในสวนผักผลไม้ ไม้ดอกไม้ประดับ และพืชไร่ได้เป็นอย่างดี แต่ว่ากระบวนการอบแห้งเป็นกระบวนการที่ต้องควบคุมอุณหภูมิไม่ให้สูงเกินไป เพราะว่าอุณหภูมิสามารถทำให้เกิดการสูญเสียธาตุอาหารออกไปจากปุ๋ยเม็ดอินทรีย์คุณภาพสูง โดยการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงและระยะเวลาที่ปุ๋ยถูกอบแห้งซึ่งสัมพันธ์กับความร้อนเป็นระยะเวลานาน จะเป็นสาเหตุสำคัญในการทำให้เกิดการสูญเสียธาตุอาหารในรูป ธาตุไนโตรเจนทั้งหมด (Total Nitrogen)

ในปี ค.ศ. 1954 Bridger และ Burzlaff [1] พบว่าอุณหภูมิที่อบแห้งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงต่อคุณภาพของปุ๋ย โดยได้ทำการทดลองโดยอุณหภูมิเม็ดปุ๋ยจะส่งผลกระทบต่อในการสูญเสียไนโตรเจนได้มากกว่าที่อุณหภูมิอากาศอบแห้งที่ทางเข้า อุณหภูมิในเม็ดปุ๋ยมีอิทธิพลต่อการสูญเสียไนโตรเจนโพแทสเซียม และการคืนกลับของฟอสเฟต ซึ่งอยู่ในรูปฟอสฟอรัสเพนทอกไซด์ที่สามารถนำไปใช้ได้ (Phosphorus pentoxide, P_2O_5) การสูญเสียไนโตรเจนขณะอบแห้งที่อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์จะอยู่ในช่วงอุณหภูมิ 94 - 110 °C ที่อุณหภูมิอากาศอบแห้งทางเข้าที่ 149 - 316 °C การสูญเสียไนโตรเจนมีถึงร้อยละ 15 ถึง 20 ซึ่งสามารถทำให้ทราบถึงอุณหภูมิการอบแห้งที่ถูกต้องและเหมาะสมได้ที่ใช้ในการอบแห้ง

นอกจากนี้ในปี ค.ศ. 2004 Allaire และ Parent [2] ได้ทำการทดสอบเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพทางสัณฐานศาสตร์ของปุ๋ยเม็ดอินทรีย์ (Compound Organic based Fertilizers, COF) และปุ๋ยอินทรีย์ผสม (Bulk-blended Organic-based Fertilizers, BOF) โดยเปรียบเทียบกับปุ๋ยเคมีที่มีส่วนผสมจากแร่ธาตุ (Mineral Fertilizers, MF) โดยการทดสอบทางสัณฐานศาสตร์พบว่าปุ๋ยเคมี (MF) และ ปุ๋ยอินทรีย์ (COF) มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ในกรณีการทดสอบด้านความหนาแน่นปรากฏของเม็ดปุ๋ย ความหนาแน่นจริงในเม็ดปุ๋ย ความหนาแน่นอนุภาคของปุ๋ย และช่องว่างระหว่างเม็ดปุ๋ย ขนาดความเป็นรูพรุนภายในเม็ดและมุมทรงตัวของปุ๋ย การเปลี่ยนแปลงในสมบัติทางกายภาพสามารถทำนายถึงแร่ธาตุไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) และโพแทสเซียม (K) และอินทรีย์วัตถุโดยจะมีลักษณะเช่นเดียวกันกับการกระจายขนาดของอนุภาคเม็ดปุ๋ยได้เช่นกัน สมบัติทางกายภาพมีอิทธิพลอย่างสำคัญมากในองค์ประกอบของอินทรีย์วัตถุ เมื่อองค์ประกอบของอินทรีย์วัตถุเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ความหนาแน่นปรากฏของเม็ดปุ๋ย ความหนาแน่นจริงในเม็ดปุ๋ย และมุมทรงตัวของปุ๋ยมีค่าลดลง ขณะที่สภาพรูพรุนและการต้านทานแรงดึงจะลดลงเมื่ออินทรีย์วัตถุมีค่าเพิ่มขึ้น ความหนาแน่นปรากฏของเม็ดปุ๋ยและความแข็งแรงต้านทานแรงดึงมีความสัมพันธ์กัน

อย่างมีนัยสำคัญในการกระจายขนาดของเม็ดปุ๋ย ปริมาณของความชื้นเริ่มต้นมีอิทธิพลต่อความหนาแน่น สภาพความพรุน ความแข็งแรงต้านทานแรงดึงและมุมทรงตัวของปุ๋ย ดังนั้นความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทางกายภาพกับสภาพต่างๆ ที่กล่าวข้างต้นสามารถใช้ในการทำนายถึงสมบัติด้านอื่นๆ ได้

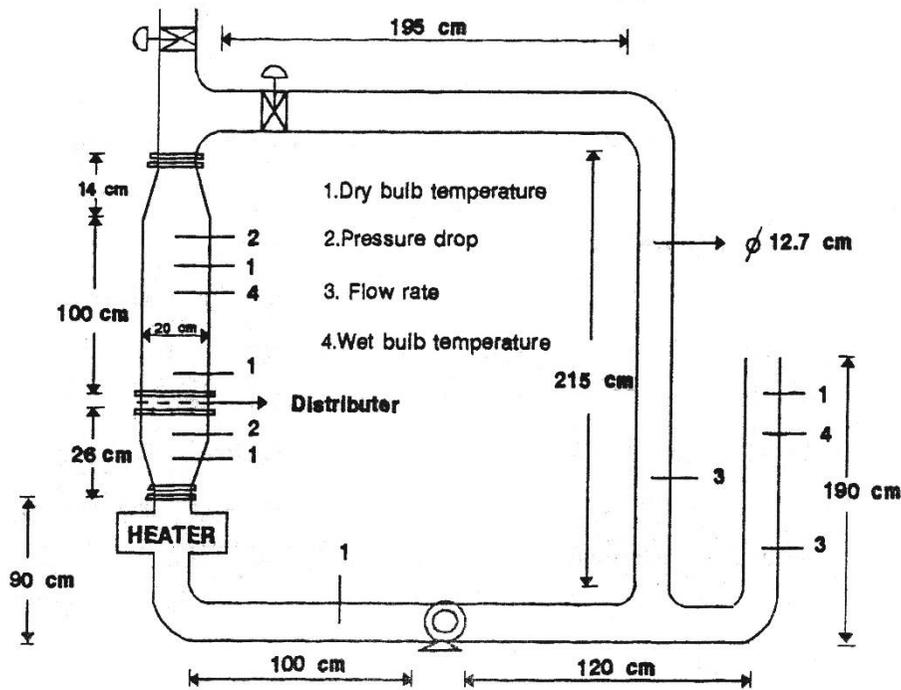
ต่อมาในปีเดียวกัน Allaire และ Parent [3] ได้ทำการศึกษาเพิ่มเติมสมบัติกายภาพทางด้านจลนพลศาสตร์ที่มีความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของปุ๋ยเม็ดอินทรีย์ โดยทดสอบถึงการดูดซับความชื้นจากบรรยากาศ ซึ่งพบว่าการเปลี่ยนแปลงตามเวลาและความชื้นสัมพัทธ์ โดยมีความสัมพันธ์ทางจลนพลศาสตร์เชิงสมการคณิตศาสตร์ และการเปลี่ยนแปลงในการดูดซับความชื้นของปุ๋ยส่วนใหญ่เกิดขึ้นที่ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 82 การดูดซับความชื้นจากอากาศจะส่งผลต่อความหนาแน่นปรากฏ ซึ่งมีผลกระทบลักษณะเช่นเดียวกับปริมาณอินทรีย์วัตถุ ความชื้นเริ่มต้นของปุ๋ยและปริมาณของโพแทช โดยพบว่าอัตราการดูดซับน้ำที่แฉะระหว่างที่ทดสอบการแช่น้ำ ปุ๋ยที่ได้จาก COF นั้นจะมีการละลายน้ำ การฟองตัว และขนาดที่เปลี่ยนไป โดยเส้นผ่านศูนย์กลางของปุ๋ยมีขนาดลดลง การสูญหายของมวลปุ๋ยระหว่างการแช่น้ำจะส่งผลต่ออินทรีย์วัตถุและปริมาณไนโตรเจนซึ่งมีผลกระทบลักษณะเช่นเดียวกับขนาดเม็ดปุ๋ย ความแตกต่างระหว่างปุ๋ยแต่ละชนิดจะมีความสัมพันธ์อย่างมากกับปริมาณและชนิดของอินทรีย์วัตถุ ตัวอย่างปุ๋ยที่นำมาทดสอบและการประยุกต์การทดสอบแบบต่างๆ นั้น จะทำการทดสอบให้มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วแบบค่อยๆ เปลี่ยนแปลงอย่างช้าๆ การทดสอบจากสภาวะแห้งไปสู่การเปียกชุ่ม และการประยุกต์การทดสอบการใช้งานกับผิวดิน

งานวิจัยนี้วัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิอบแห้งที่มีผลต่อจลนพลศาสตร์ของการอบแห้งปุ๋ยเม็ดอินทรีย์คุณภาพสูงด้วยอากาศร้อนโดยเทคนิคฟลูอิดไดเซชัน (Fluidization) และศึกษาถึงคุณภาพสมบัติทางเคมีและทางชีวภาพของปุ๋ยเม็ดอินทรีย์คุณภาพสูง เช่น ธาตุไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสเฟตเพนทอกไซด์ และธาตุโพแทสเซียมออกไซด์ และทดสอบการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีธาตุโลหะหนักที่มีผลต่อสมบัติมาตรฐานของปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูง เพื่อใช้เป็นแนวทางในการนำไปประยุกต์ใช้งานในระดับอุตสาหกรรมต่อไป

2. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

2.1 อุปกรณ์การทดลอง

เครื่องอบแห้งที่ใช้ในการทดลองในงานวิจัยนี้เป็นเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดเซชันแบบวงวด โดยใช้ตัวกลางเป็นอากาศร้อน ไตอะแกรมของอุปกรณ์ชุดนี้แสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ไตอะแกรมเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไซเคิลแบบวงวน

เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไซเคิลแบบวงวนประกอบด้วย (1) ห้องอบแห้งรูปทรงกระบอกทำด้วยเหล็กกล้าไร้สนิม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 cm. สูง 140 cm. (2) อุปกรณ์ให้ความร้อน (Heater) มีขนาด 3 kW จำนวน 3 ตัว โดยมีเครื่องควบคุมอุณหภูมิของระบบอบแห้งควบคุมด้วยระบบ PID Controller ที่มีค่าความถูกต้อง $\pm 1^{\circ}\text{C}$ (3) พัดลมแบบเหวี่ยงชนิดใบโค้งหลัง (Backward - curved Centrifugal Fan) ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ขนาด 1.5 kW มีเฟืองทดสามารถปรับความเร็วรอบของพัดลมเพื่อปรับอัตราการไหลของอากาศ และระบบอบแห้งในส่วนต่างๆของเครื่องหุ้มฉนวนใยแก้วเพื่อลดการสูญเสียความร้อน อากาศบางส่วนที่ผ่านออกมาจากเครื่องอบแห้งแล้วจะถูกนำกลับมาผสมกับอากาศใหม่ที่เข้ามา และทำให้ร้อนจนถึงอุณหภูมิที่ต้องการเพื่อใช้ในการอบแห้งต่อไป

2.2 วิธีการทดลอง

2.2.1 วิธีการผลิตปุ๋ยเม็ดอินทรีย์คุณภาพสูง

อินทรีย์วัตถุถือว่าเป็นแหล่งของธาตุอาหารพืชที่สามารถทดแทนปุ๋ยเคมีได้บางส่วน ซึ่งการนำวัสดุอินทรีย์ มาใช้ประโยชน์ให้มีประสิทธิภาพสูงสุดนั้น จะต้องนำวัสดุอินทรีย์มาหมักเป็นปุ๋ยอินทรีย์ให้พร้อมใช้สำหรับที่พืชสามารถดูดซึมไปใช้ในการเจริญเติบโต ดังนั้นความเหมาะสมของ

วัสดุอินทรีย์ที่จะเข้าสู่กระบวนการทำปุ๋ยอินทรีย์หมักได้ดีและมีประสิทธิภาพนั้นขึ้นอยู่กับค่าอัตราส่วนปริมาณคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N) ในวัสดุอินทรีย์ ส่วนผสมที่ใช้ในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูงประกอบไปด้วยเศษหนังสือรีดรีด 22 กระดุกป่นรีดรีด 23 มูลวัวรีดรีด 15 มูลเป็ดรีดรีด 20 และขี้เถ้าไม้รีดรีด 20 ซึ่งปุ๋ยเม็ดอินทรีย์คุณภาพสูงที่ผลิตมีปริมาณครั้งละ 10 กิโลกรัม ประกอบด้วยส่วนผสมคือ เศษหนังสือรีดรีด 2.2 กิโลกรัม กระดุกป่น 2.3 กิโลกรัม มูลวัว 1.5 กิโลกรัม มูลเป็ด 2.0 กิโลกรัม และขี้เถ้าไม้ 2.0 กิโลกรัม ผสมกับน้ำ 15 ลิตร และเชื้อจุลินทรีย์เร่งการย่อยสลายจากกรมพัฒนาที่ดิน พด.1 อย่างละ 1 ซอง (200 กรัม) ประกอบด้วยเชื้อจุลินทรีย์ 3 กลุ่ม คือ เชื้อแบคทีเรีย เชื้อรา และแอคติโนมัยซีทส์ จุลินทรีย์ที่คัดเลือกสำหรับทำปุ๋ยหมักอินทรีย์คุณภาพสูง

ตารางที่ 1 ความเข้มข้นของธาตุอาหารในวัสดุอินทรีย์

วัตถุดิบ	ปริมาณธาตุอาหาร (ร้อยละ)				
	ไนโตรเจน N	ฟอสเฟตเพนทอกไซด์ P ₂ O ₅	โพแทสเซียมออกไซด์ K ₂ O	อินทรีย์คาร์บอน Organic Carbon	C/N ratio
เศษหนังสือรีดรีด	7.92	0.36	0.02	55.68	7
กระดุกป่น	4.17	21	0.04	13.79	3
มูลวัว	1.97	0.81	1.51	22.87	12
มูลเป็ด	1.22	2.42	0.96	34.62	28
ขี้เถ้าไม้	0.35	2.72	5.54	0.92	3

ค่าที่วิเคราะห์จากเศษหนังสือรีดรีด กระดุกป่น มูลวัว มูลเป็ด และขี้เถ้าไม้ พบว่า มีปริมาณความเข้มข้นของธาตุอาหารค่อนข้างสูง สามารถใช้เป็นแหล่งของธาตุอาหารพืชได้ โดยพบว่าเศษหนังสือรีดรีด มีปริมาณธาตุไนโตรเจน ร้อยละ 7.9 กระดุกป่นมีฟอสเฟตเพนทอกไซด์ ที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ร้อยละ 21 และขี้เถ้าไม้มีธาตุโพแทสเซียมออกไซด์ร้อยละ 5.5 ซึ่งค่าเศษหนังสือรีดรีด กระดุกป่นและขี้เถ้ามีอัตราส่วน C/N อยู่ในปริมาณที่ต่ำกว่า 7 ควรที่จะใช้ร่วมกับวัสดุอินทรีย์จากพืชที่มีค่าอัตราส่วน C/N สูงได้ อาทิเช่น มูลเป็ดและมูลวัวได้ดี ซึ่งค่าค่า C/N ในวัสดุอินทรีย์ที่เหมาะสมอยู่ที่ประมาณไม่เกิน 30 ซึ่งเหมาะนำมาทำปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูงได้

2.2.2 ขั้นตอนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูง [4]

1. ผสมเศษหนึ่งสัตรี กระดุกปน มูลวัว มูลเป็ด และขี้เถ้า พร้อมกับเชื้อจุลินทรีย์เร่งการย่อยสลายจากกรมพัฒนาที่ดิน พด.1 ให้เข้ากันและปรับความชื้นโดยการรดน้ำให้ได้ร้อยละ 60 มูลฐานเปียก

2. ตั้งกองปุ๋ยหมักอินทรีย์คุณภาพสูงเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าในกระบะให้มีความสูง 20 เซนติเมตรและใช้วัสดุคลุมเพื่อรักษาความชื้น หมักเป็นเวลา 12-15 วัน ต้องกลับกองปุ๋ยเพื่อระบายความร้อน และรดน้ำปรับความชื้น ทุกๆ 5 วัน หรือตรวจสอบดูว่าอุณหภูมิภายในกองปุ๋ยลดลงเท่ากับอุณหภูมิอากาศภายนอกกอง และเปิดกองปุ๋ยให้สัมผัสกับอากาศ เพื่อให้ไอน้ำระเหยเอาความชื้นออกไป จนกระทั่งความชื้นในกองปุ๋ยเหลือประมาณร้อยละ 17 มูลฐานแห้ง

3. นำปุ๋ยที่หมักจนสุกแล้ว โดยมีความชื้นร้อยละ 17 มูลฐานแห้ง และนำกากน้ำตาลปริมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ต่อมวลปุ๋ย 10 กิโลกรัม (ประมาณ 1 กิโลกรัม) ผสมละลายน้ำจำนวน 5 ลิตร แล้วฉีดพรมให้ทั่วในกองปุ๋ยและคลุกเคล้าเพื่อเพิ่มการยึดเหนี่ยวของเนื้อปุ๋ยเวลาเข้าเครื่องอัดเม็ดจะเป็นตัวช่วยประสานให้ปุ๋ยเกาะตัวอัดแน่นจนสามารถเป็นเม็ดได้ดี ซึ่งจะทำให้ปุ๋ยมีความชื้นเพิ่มขึ้นร้อยละ 35 - 40 มูลฐานแห้ง เมื่อปุ๋ยเม็ดได้ถูกอัดออกจากเครื่องอัดเม็ดปุ๋ย

4. นำเม็ดปุ๋ยที่อัดเม็ดแล้วเข้าเครื่องอบแห้งโดยเทคนิคฟลูอิดไธเซ็ท โดยอบแห้งด้วยอากาศร้อน อุณหภูมิอบแห้งใช้ที่ 70 °C และ 100 °C โดยอบแห้งจนเหลือความชื้นสุดท้ายร้อยละ 10 มูลฐานแห้ง จากนั้นนำเม็ดปุ๋ยที่อบได้ 45 ตัวอย่างเพื่อนำทดสอบสมบัติด้านต่างๆ เตรียมจำนวนปุ๋ยเม็ดจำนวนสามตัวอย่างซ้ำต่อหนึ่งค่าที่ทดสอบ เพื่อที่จะศึกษาว่าอุณหภูมิที่อบแห้งมีผลต่อคุณภาพของปุ๋ยเม็ดอินทรีย์คุณภาพสูง ในด้านปริมาณธาตุไนโตรเจน ฟอสเฟต เพนทอกไซด์ โพแทสเซียม ออกไซด์ ปริมาณอินทรีย์วัตถุ อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน ค่าการนำไฟฟ้า ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง และปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ที่ดำรงชีพ

2.3 การวิเคราะห์คุณภาพสมบัติของปุ๋ย [5, 6]

ตารางที่ 2 สมบัติของปุ๋ยเม็ดอินทรีย์คุณภาพสูงตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

รายการ	คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด	วิธีทดสอบตาม
1	ปริมาณอาหารหลัก ร้อยละโดยน้ำหนัก		
1.1	ปริมาณอาหารหลักแต่ละตัว ไม่น้อยกว่าที่กำหนดต่อไปนี้		AOAC
(1)	ไนโตรเจนทั้งหมด (total nitrogen) (คำนวณเป็น N)	≥ 2	955.04
(2)	ฟอสเฟสทั้งหมด (total phosphate) (คำนวณเป็น P ₂ O ₅)	≥ 5	993.31
(3)	โพแทชทั้งหมด (total potash) (คำนวณเป็น K ₂ O)	≥ 2	983.02
1.2	ปริมาณอาหารหลักรวม ไม่น้อยกว่าที่กำหนดคือ ผลรวมของไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสเฟตทั้งหมด และ โพแทชทั้งหมด	≥ 9	955.04

ตารางที่ 2 สมบัติของปุ๋ยเม็ดอินทรีย์คุณภาพสูงตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (ต่อ)

รายการ	คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด	วิธีทดสอบตาม
2	ขนาด ผ่านตะแกรงร่อนขนาด 9.5 มิลลิเมตร ร้อยละโดยน้ำหนัก ไม่น้อยกว่า	$\geq (10 \times 10)$ มิลลิเมตร	AOAC 973.03
3	ความชื้นและสารที่ระเหยได้ ร้อยละน้ำหนักโดยไม่เกิน	≤ 35 มูลฐานเปียก	AOAC 950.01
4	อัตราส่วนธาตุคาร์บอนต่อธาตุไนโตรเจน ไม่เกิน	≤ 20 ต่อ 1	BSI 7755-3.8
5	อินทรีย์วัตถุ ร้อยละโดยน้ำหนัก ไม่น้อยกว่า	≥ 10	BSI EN 13039
6	ค่าการนำไฟฟ้า (Electrical conductivity ไม่เกิน	$\leq 15)$ เดซิซีเมนส์ต่อ เมตร	BSI EN 13038
7	ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH)	5.5 - 10	AOAC 973.04
8	ธาตุโลหะหนักและสารพิษที่เป็นอันตราย - อาร์เซนิก (As) - แคดเมียม (Cd) - ทองแดง (Cu) - ตะกั่ว (Pb) - โครเมียม (Cr)	mg/kg ≤ 50 ≤ 5 ≤ 500 ≤ 500 ≤ 300	USEPA 3050B or OMAF 1987
9	ปริมาณจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ที่ดำรงชีพ หลักฐานรับรองจากสำนักเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน กรมพัฒนาที่ดิน	-	Dilution Method
10	วิเคราะห์สมบัติทางเคมีด้านไนโตรเจนในรูปของ แอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) และ ไนเตรตไอออน (NO_3^-)	-	AOAC 920.03 892.01

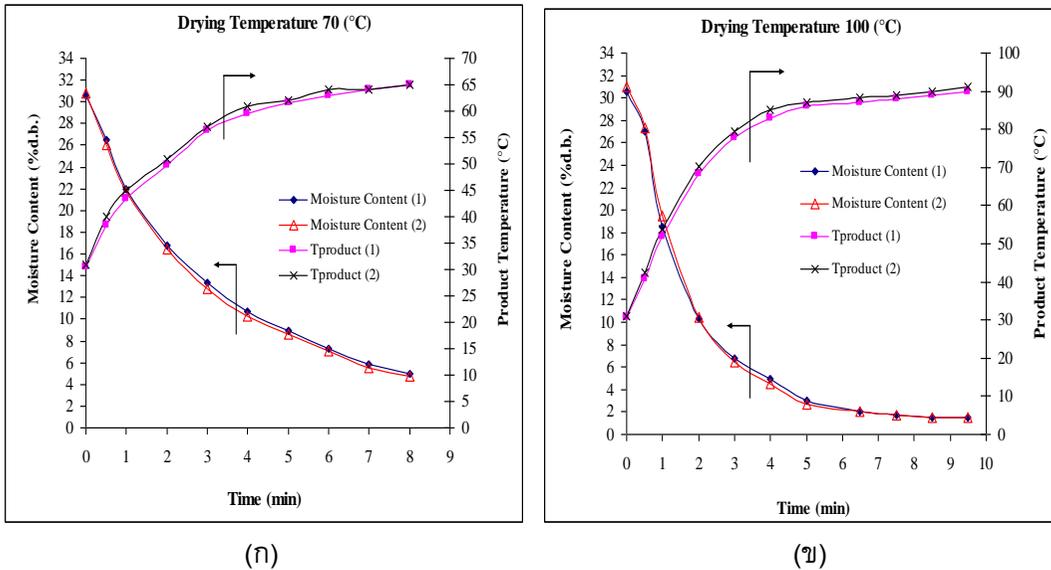
หมายเหตุ : AOAC = Official Methods of Analysis of AOAC International (AOAC), 17th ed. ,2000,USA

BSI = British Standard Institution (BSI)

OMAF = Official Methods of Analysis of Fertilizer (OMAF), 1987, Japan

3. ผลและวิจารณ์การทดลอง

3.1 จลนพลศาสตร์การอบแห้งปุยเม็ดอินทรีย์คุณภาพสูงด้วยเทคนิคฟลูอิดไอเซชัน [7]



รูปที่ 2 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของปุยเม็ดอินทรีย์คุณภาพสูงและอุณหภูมิภายในเม็ดปุยเทียบกับเวลาภายใต้อุณหภูมิมอบแห้งที่ 70 °C (ก) และ 100 °C (ข)

จากรูปที่ 2 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของปุยเม็ดอินทรีย์คุณภาพสูงและอุณหภูมิภายในเม็ดปุยเทียบกับเวลา ภายใต้อุณหภูมิมอบแห้งที่ 70 °C และ 100 °C ด้วยเทคนิคฟลูอิดไอเซชัน โดยในการทดลองปุยเม็ดอินทรีย์คุณภาพสูง ที่ใช้ในการอบแห้งมีความชื้นเริ่มต้นในช่วงร้อยละ 29 - 32 มวลฐานแห้ง และความชื้นสุดท้ายหลังการอบแห้งแล้วอยู่ที่ประมาณร้อยละ 10 มวลฐานแห้งจากรูปดังกล่าว เห็นได้ว่าการลดลงของความชื้นของปุยเม็ดอินทรีย์คุณภาพสูงด้วยเทคนิคฟลูอิดไอเซชันด้วยอากาศร้อน แสดงให้เห็นช่วงอัตราการอบแห้งลดลงเท่านั้น โดยอัตราการอบแห้งลดลงนั้นสามารถแบ่งออกได้ 2 ช่วงคือช่วงแรกและช่วงที่สอง เมื่ออัตราการอบแห้งลดลงในช่วงแรกนั้น จะเกิดการเคลื่อนที่ของมวลน้ำและการถ่ายเทความร้อนจะเกิดขึ้นที่ผิวของเม็ดปุยอย่างรวดเร็ว เมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นจะเห็นว่ามีผลต่ออัตราการอบแห้งได้ดีขึ้น เป็นมาจากความแตกต่างของอุณหภูมิหรือความชื้นสัมพัทธ์มีมากขึ้น มีผลทำให้สัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นในเนื้อเม็ดปุยมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย จะเป็นผลให้การถ่ายเทความร้อนและมวลของน้ำดีขึ้น ซึ่งแสดงผลของการเปลี่ยนแปลงอัตราการอบแห้งกับความชื้นของน้ำในเม็ดปุยที่ระเหยออกมาได้ดี และเมื่อเข้าสู่อัตราการอบแห้งลดลงในช่วงที่สอง เมื่อความชื้นผิวของปุยเม็ดนั้นถูกระเหยจนแห้งลงทำให้ ผิวเม็ดปุย

นั้นแห้งทำให้ชั้นฟิล์มอากาศนี้รอบเม็ดปุ๋ยมีความหนาลดลง เป็นผลให้ความต้านทานการไหลของความร้อนและมวลของน้ำลดลง แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิของอากาศอบแห้งสูงขึ้นเป็นผลให้ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างภายในของเม็ดปุ๋ยและของกระแสอากาศที่ไหลอย่างอิสระมีมากขึ้น เป็นผลให้การถ่ายเทความร้อนและมวลได้ดีขึ้น

3.2 ผลการศึกษาปริมาณธาตุอาหารในปุ๋ยอินทรีย์ที่ผลิตขึ้น

การศึกษาปริมาณธาตุอาหารในปุ๋ยอินทรีย์ที่ไม่ได้ทำการอบแห้งสมบัติทางเคมีในรูปธาตุอาหารของไนโตรเจนทั้งหมดเฉลี่ยร้อยละ 2.83 ธาตุฟอสเฟตเพนทอกไซด์ที่พืชสามารถนำไปใช้ได้เฉลี่ยร้อยละ 8.71 และธาตุโพแทสเซียมออกไซด์เฉลี่ยร้อยละ 3.36 พบว่าอุณหภูมิอบแห้งที่ 70 °C ผลสมบัติทางเคมีในรูปธาตุอาหารไม่มีผลต่อการลดลงกับปุ๋ยอินทรีย์ที่ไม่ได้ทำการอบแห้ง ผลที่ได้ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05 ธาตุไนโตรเจนทั้งหมดเฉลี่ยร้อยละ 2.82 แต่ในธาตุฟอสเฟตเพนทอกไซด์เฉลี่ยร้อยละ 9.24 และธาตุโพแทสเซียมออกไซด์เฉลี่ยร้อยละ 3.36 ส่วนอบแห้งที่อุณหภูมิ 100 °C สามารถลดความชื้นของปุ๋ยเม็ดอินทรีย์คุณภาพสูงได้รวดเร็วและใช้ระยะเวลาอันสั้น ใช้เวลา 2 นาที ธาตุไนโตรเจนทั้งหมดเฉลี่ยร้อยละ 2.82 แต่ในธาตุฟอสเฟตเพนทอกไซด์ที่พืชสามารถนำไปใช้ได้เฉลี่ยร้อยละ 9.56 และธาตุโพแทสเซียมออกไซด์เฉลี่ยร้อยละ 3.36 ดังแสดงในตารางที่ 3 ผลทดสอบดังกล่าวไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพทางด้านธาตุอาหารของพืชที่พืชนำไปใช้ได้ของปุ๋ยเม็ดอินทรีย์คุณภาพสูงได้เป็นอย่างดีที่น่าพอใจ อย่างไรก็ตามความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05 ($p > 0.05$)

ตารางที่ 3 ค่าการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อสมบัติมาตรฐานของปุ๋ยเม็ดอินทรีย์คุณภาพสูง

สมบัติมาตรฐานควบคุมของปุ๋ยเม็ดอินทรีย์คุณภาพสูง	OM	EC	C / N	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	pH	CaO	MgO	S
	%(w/w)	ds/m	-	%(w/w)	%(w/w)	%(w/w)	1 : 10	%w/w	%w/w	%w/w
	≥ 10 %	≤ 15	≤ 20:1	≥ 2	≥ 5	≥ 2	5.5 – 10	NC	NC	NC
Before Drying (Temp 29°C)	30.64 ±0.94 ab	10.79 ±0.49 a	6	2.83 ± 0.22 c	8.71 ± 0.91 a	3.36 ± 0.15 a	8.59 ± 0.17 a	25.75 ± 0.65 a	1.29 ± 0.14 a	1.85 ± 0.10 a
Drying Temp. 70 °C	30.59 ±1.51 ab	10.99 ±0.89 a	7	2.82 ± 0.23 c	9.24 ± 0.58 ab	3.39 ± 0.11 a	8.66 ± 0.12 a	24.77 ±0.49 a	1.33 ±0.15 a	1.84 ±0.20 a
Drying Temp. 100°C	31.80 ±2.32 b	11.05 ±0.69 a	7	2.82 ± 0.20 c	9.56 ± 0.80 ab	3.36 ± 0.24 a	8.65 ± 0.14 a	24.58 ±1.00 a	1.39 ±0.15 a	1.81 ±0.06 a

หมายเหตุ: อักขระเหมือนกันภายในคอลัมน์เดียวกันหมายถึงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

การทดสอบการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีธาตุโลหะหนักที่มีผลต่อสมบัติมาตรฐานของปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูง โดยนำตัวอย่างอบแห้งที่อุณหภูมิที่ 100 °C ผลวิเคราะห์สมบัติทางเคมีธาตุโลหะหนักดังตารางที่ 4 ซึ่งพบว่าค่าธาตุโลหะหนักมีค่าไม่เกินตามค่ามาตรฐานที่ควบคุม โดยมีค่าดังนี้อาร์เซนิก (As) 1.57 mg/kg แคดเมียม (Cd) 0.2 mg/kg ทองแดง (Cu) 1.29 mg/kg ตะกั่ว (Pb) 2.85 mg/kg และ โครเมียม (Cr) 32.65 mg/kg โดยพิจารณาเปรียบเทียบกับเกณฑ์กำกับมาตรฐานกำหนดคุณภาพของปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูง

ตารางที่ 4 ค่าการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีธาตุโลหะหนัก ผลต่อสมบัติมาตรฐานของปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูงนำตัวอย่างทดสอบที่อุณหภูมิมอบแห้งที่ 100 °C

ชนิดของโลหะหนัก	ปริมาณของโลหะหนัก (mg/kg)	
	ค่ามาตรฐาน	ค่าที่วัดได้
อาร์เซนิก (As)	≤ 50	1.57
แคดเมียม(Cd)	≤ 5	0.2
ทองแดง(Cu)	≤ 500	1.29
ตะกั่ว (Pb)	≤ 500	2.85
โครเมียม (Cr)	≤ 300	32.65

4. สรุป

การอบแห้งปุ๋ยเม็ดอินทรีย์คุณภาพสูงด้วยเทคนิคฟลูอิดไอเซชัน อัตราการอบแห้งความชื้นเริ่มต้นในช่วงร้อยละ 29 - 32 มวลฐานแห้ง และความชื้นสุดท้ายหลังการอบแห้งแล้วอยู่ที่ประมาณร้อยละ 10 มวลฐานแห้ง ที่อุณหภูมิมอบแห้งที่ 70 °C ใช้เวลาที่ 4 นาที ส่วนการอบแห้งอุณหภูมิที่ 100 °C อัตราการอบแห้งจะใช้เวลาที่เร็วกว่าที่ 70 °C ใช้เวลา 2 นาที ผลสมบัติทางเคมีในรูปธาตุอาหารไม่มีผลต่อการลดลงของธาตุไนโตรเจนทั้งหมด ธาตุฟอสเฟตเพนทอกไซด์ และธาตุโพแทสเซียมออกไซด์ ผลสมบัติธาตุโลหะหนักอาร์เซนิก แคดเมียม ทองแดง ตะกั่ว และ โครเมียม ค่าที่ทดสอบอยู่ค่าเกณฑ์มาตรฐานที่ควบคุมตามเกณฑ์กำกับมาตรฐานกำหนดคุณภาพของปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูงที่ใช้กำหนดเป็นมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมได้เป็นอย่างดี

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนในโครงการขอขอบคุณสำนักงานการผลิตและขยายจุลินทรีย์เพื่อการเกษตร สำนักเทคโนโลยีชีวภาพ กรมพัฒนาที่ดิน ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการทำงานวิจัยร่วม และทดสอบคุณภาพทางด้านเคมีและชีวภาพของปุ๋ยเม็ดอินทรีย์คุณภาพสูง งานวิจัยนี้สามารถสำเร็จไปได้ด้วยดี

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Bridger. and Burzloff. (1954). "Nitrogen loss in Drying of Ammoniated Superphosphates and Mixed Fertilizers". **Agricultural and Food Chemistry**. Vol.2. (No.23): pp 1170 - 1173.
- [2] Allaire and Parent. (2004). "Physical Properties of Granular Organic-based Fertilisers, Part 1: Static Properties". **Biosystems Engineering**. Vol.87. (1): pp 79 - 87.
- [3] Allaire and Parent. (2004). "Physical Properties of Granular Organic-based Fertilisers, Part 2: Dynamic Properties Related to water". **Biosystems Engineering**. Vol.87. (2): pp 225 - 236.
- [4] มุกดา สุขสวัสดิ์. (2548). **ชุดคู่มือการเกษตร ปุ๋ยอินทรีย์**. พิมพ์ครั้งที่ 3. สำนักพิมพ์บ้านและสวน. หน้า 24 - 32.
- [5] กระทรวงอุตสาหกรรม. **มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.75 - 2548: ปุ๋ย**. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม.: หน้า 1 - 9.
- [6] กระทรวงอุตสาหกรรม. **โครงการฉลากเขียว: ข้อกำหนดฉลากเขียวสำหรับปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยชีวภาพ**. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม.: หน้า 7 - 29.
- [7] สมชาติ โสภณธนฤทธิ์. **การอบแห้งเมล็ดพืชและอาหารบางประเภท**. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.: หน้า 100 - 123.
- [8] สายพิน ไชยนันท์. **จุลินทรีย์ดิน**. ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.: หน้า 225 - 255.
- [9] พิทยากร ลิ้มทอง และ เสียงแจ้ว พิริยพณฑต์. (2545). **จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับการย่อยสลายและประโยชน์บางประการในการกองปุ๋ยหมัก, คู่มือเจ้าหน้าที่ของรัฐ การปรับปรุงบำรุงดินด้วยอินทรีย์วัตถุ, กองอนุรักษ์ดินและน้ำ กรมพัฒนาที่ดิน**.: หน้า 58-65.

ประวัติผู้เขียนบทความ



ธีระเดช ชีวนันท์ชัย ปัจจุบันดำรงตำแหน่งอาจารย์ประจำหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการจัดการงานวิศวกรรม มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต เบอร์โทรศัพท์ 02-321-6930-9 Ext. 1203, เบอร์โทรสาร 02-321-4444 E-mail: theeradet.che@kbu.ac.th