

การเปรียบเทียบวิธีการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในปุ๋ยเคมีระหว่าง
วิธี Kjeldahl และวิธี Combustion

The Comparison of Total Nitrogen Analysis Method in Chemical Fertilizer Between
Kjeldahl Method and Combustion Method

ดวงกมล ชูแดง¹ ชฎาพร กิ่งแก้ว¹ ภัทธรัตน์ เทียมเก่า¹ และ บุญฤทธิ์ วัฒนภิญญ์²
Duangkamon Chudaeng, Chadaphorn Kingkaew, Pattrarat Teamkao and Boonyarit Wattanaphinyo

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันการทำการเกษตรในหลายประเทศ มีความต้องการใช้ปุ๋ยเคมีที่มีธาตุไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบค่อนข้างสูง การวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนในปุ๋ยเคมี ปัจจุบันใช้วิธี Kjeldahl เป็นวิธีการหลัก แต่ข้อจำกัดของวิธีการนี้ คือ ใช้ระยะเวลานาน ใช้สารเคมีหลายชนิด และเหมาะกับการวิเคราะห์ตัวอย่างจำนวนน้อย จึงมีความสนใจนำวิธี Combustion ซึ่งใช้เวลาและสารเคมีในการวิเคราะห์ปริมาณน้อยกว่ามาใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในปุ๋ยและวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตปุ๋ยเคมี ซึ่งมีไนโตรเจนใน 3 รูป คือ ไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียม (ammonium nitrogen) ประกอบด้วยสูตรปุ๋ย 12-60-0 (Certified Reference Materials; CRM) และ 21-0-0 ไนโตรเจนในรูปไนเตรต (nitrate nitrogen) ประกอบด้วยสูตรปุ๋ย 27-0-0 (CRM), 4-16-24, 12-12-17, 6-12-24 และ 15-15-15 (Commonwealth of Independent States; CIS) และไนโตรเจนในรูปของยูเรีย (urea nitrogen) ประกอบด้วยสูตรปุ๋ย 46-0-0 (CRM), 13-13-21, 14-4-9, 15-15-15, 16-8-4, 18-4-5, 8-24-24 และ 25-7-7 (Bulk Blending; BB) ด้วยวิธี Kjeldahl และ วิธี Combustion จากการทดลองพบว่าวิธีการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนด้วย 2 วิธีการ มีปุ๋ยเพียง 3 สูตร คือ 12-12-17, 27-0-0 (CRM) และ 25-7-7 (BB) เท่านั้นที่ให้ค่าปริมาณไนโตรเจนไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ค่าไนโตรเจนที่วิเคราะห์ได้มีค่าไม่ตรงตามเกณฑ์มาตรฐานจำนวน 5 สูตรปุ๋ย คือ 12-60-0 (CRM), 6-12-24 และ 46-0-0 (CRM) ซึ่งวิเคราะห์ด้วยวิธี Kjeldahl และ 12-12-17 และ 8-24-24 ซึ่งวิเคราะห์โดยทั้ง 2 วิธีการ วิธี Combustion ให้ค่าถูกต้องตามสูตรปุ๋ยมากกว่าและใช้เวลาวิเคราะห์ที่สั้นกว่า แต่มีค่าการกระจายของข้อมูลสูงกว่าวิธี Kjeldahl อย่างไรก็ตามวิธี Combustion ยังไม่พร้อมที่จะนำมาใช้งานได้เนื่องจากค่าใช้จ่ายต่อตัวอย่างที่วิเคราะห์สูงเมื่อเทียบกับวิธีหลักคือวิธี Kjeldahl

คำสำคัญ: ไนโตรเจน ปุ๋ยเคมี วัตถุดิบในการผลิตปุ๋ยเคมี วิธี Kjeldahl วิธี Combustion

Abstract

Currently, nitrogen fertilizers are used in agriculture area in many countries and trend to increasingly use in every year. Kjeldahl method is the main method for nitrogen analysis in chemical fertilizers but the limitation of this method is time consuming and suitable for small sample size. We are interested in using Combustion method which take shorter time and using lower amount of chemicals for analysis of total nitrogen in chemical fertilizers and raw materials that used for chemical fertilizer production. Analyzed total nitrogen of chemical fertilizers and

¹ ภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

² บริษัท ไทยเซ็นทรัลเคมี จำกัด (มหาชน) โรงงานพระประแดง อำเภอพระสมุทรเจดีย์ จังหวัดสมุทรปราการ 10290

raw materials in 3 forms, that were ammonium nitrogen which comprised of 12-60-0 (Certified Reference Materials; CRM) and 21-0-0, nitrate nitrogen which comprised of 27-0-0 (CRM), 4-16-24, 12-12-17, 6-12-24 and 15-15-15 CIS (Commonwealth of Independent States; CIS) and urea nitrogen which comprised of 46-0-0 (CRM), 13-13-21, 14-4-9, 15-15-15, 16-8-4, 18-4-5, 8-24-24 and 25-7-7 (Bulk Blending; BB) by Kjeldahl and Combustion methods. The results showed that only total nitrogen in 12-12-17, 27-0-0 (CRM) and 25-7-7 (BB) were not significantly different at 95% confidence level when analyzed by Kjeldahl and Combustion methods. Total nitrogen content were not accordance with fertilizer formulas for 5 formula which were 12-60-0 (CRM), 6-12-24, and 46-0-0 (CRM) that were analyzed by Kjeldahl method, and 12-12-17 and 8-24-24 that were analyzed by both methods. Combustion method gave more accuracy and took shorter analysis time, but had higher variant than Kjeldahl method. However, the Combustion method is costly when compared with Kjeldahl method.

Keywords: nitrogen, chemical fertilizer, raw materials, Kjeldahl method, Combustion methods

คำนำ

ในปัจจุบันการทำการเกษตรในหลายประเทศนั้นมีความต้องการใช้ปริมาณปุ๋ยไนโตรเจนค่อนข้างสูงและมีแนวโน้มว่าจะมีการใช้ปุ๋ยที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบเพิ่มมากขึ้นในทุกๆปี จากข้อมูลการนำเข้าปุ๋ยไนโตรเจนและปุ๋ยที่มีองค์ประกอบของไนโตรเจนในปี พ.ศ. 2559 พบว่ามีปริมาณสูงถึง 4,263,660 ล้านบาท (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2560) ในอุตสาหกรรมการผลิตปุ๋ยเคมีให้ความสำคัญกับการวิเคราะห์ปุ๋ยเคมีก่อนการส่งออกสู่ตลาดเพื่อรักษาระดับคุณภาพการผลิต และเพื่อเพิ่มความเชื่อมั่นแก่เกษตรกรผู้ใช้งานว่าจะได้รับปุ๋ยเคมีที่มีคุณภาพตรงตามความต้องการ การวิเคราะห์ไนโตรเจนในปุ๋ยเคมีประกอบด้วยวิธี Combustion วิธี Kjeldahl วิธี Magnesium Oxide วิธี Devarda และ Kjeldahl Method for Nitrate Free (กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2559) ในปัจจุบันวิธีการวิเคราะห์ไนโตรเจนวิธีการหลักคือวิธี Kjeldahl เนื่องจากเป็นวิธีตามมาตรฐานสากลของ International Organization for Standardization (ISO) และ Association of Official Analytical Chemists (AOAC) (The Association of Official Analytical Chemists, 2012; The International Organization for Standardization, 2005) และเป็นวิธีวิเคราะห์ที่ให้ความถูกต้องและแม่นยำ เชื่อถือได้ โดยจะใช้หลักการย่อยและวิเคราะห์หาปริมาณแอมโมเนียมไอออนที่เกิดขึ้น การวัดหาปริมาณแอมโมเนียมที่เกิดขึ้นสามารถวัดได้หลายวิธีคือการกลั่นและการไทเทรต และการวัดความเข้มของสีจากปฏิกิริยาการเกิดสีโดยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (ชัยวัฒน์, 2550) ซึ่งหลักการวิเคราะห์ไนโตรเจนด้วยวิธี Kjeldahl คือ ปุ๋ยเคมีที่มีธาตุไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบจะถูกย่อยจนทำให้ไนโตรเจนในตัวอย่างถูกรีดิวซ์ให้เป็นแอมโมเนียมซัลเฟต ในขั้นตอนการกลั่นจะเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งจะเปลี่ยนแอมโมเนียมซัลเฟตให้กลายเป็นแก๊สแอมโมเนีย จากนั้นกลั่นแยกแก๊สแอมโมเนียออกมาพร้อมกับน้ำในรูปของแอมโมเนียไฮดรอกไซด์ แอมโมเนียไฮดรอกไซด์ที่ได้จากการกลั่นจะถูกดักเก็บไว้ในสารละลายกรดซัลฟูริก จากนั้นทำการไทเทรตหาปริมาณไฮโดรเจนซัลเฟตที่เกิดขึ้นกับสารละลายกรดมาตรฐาน โดยใช้อินดิเคเตอร์บ่งบอกจุดยุติ อย่างไรก็ตามวิธี Kjeldahl แม้จะใช้ค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์อยู่ที่ 5 บาท/ตัวอย่าง (มโนวิช และ ยุทธภูมิ, 2552) แต่มีข้อจำกัดหลายประการ เช่น ระยะเวลาในการวิเคราะห์ค่อนข้างนาน ผู้ทำการวิเคราะห์ต้องมีความชำนาญสูง สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์มีจำนวนมาก และวิธี Kjeldahl ยังส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านการจัดการของเสียอีกด้วย (สำนักวิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่ง, 2557)

ในปัจจุบันได้มีการนำเทคนิค Dumas Combustion หรือ Combustion มาใช้ในการหาปริมาณไนโตรเจนเนื่องจากใช้เวลา และสารเคมีในการวิเคราะห์ปริมาณน้อยกว่า และยังได้รับการรับรองให้เป็นกรรมวิธีการวิเคราะห์ตรวจสอบตัวอย่างปุ๋ยเคมีตามพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. 2518 ซึ่งแก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติปุ๋ยฉบับที่ 2 พ.ศ. 2550 (กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2559ก) นอกจากนี้ยังเป็นเทคนิคการวิเคราะห์ไนโตรเจนที่ผ่านการรับรองวิธีตามมาตรฐานของ AOAC, American Association of Cereal Chemists (AACC), American Oil Chemists Society (AOCS), American Society of Brewing Chemists (ASBC) และ American Society for Testing and Materials (ASTM) การวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนโดยการใช้วิธี Combustion มีหลักการวิเคราะห์ คือ ตัวอย่างปุ๋ยเคมีที่ต้องการวิเคราะห์จะถูกห่อด้วยฟอยล์ชนิดปราศจากไนโตรเจน และเผาหรือสันดาปที่อุณหภูมิไม่ต่ำกว่า 950 องศาเซลเซียสภายใต้บรรยากาศออกซิเจนที่มีความบริสุทธิ์ (99.99%) โดยที่ดับจากฟอยล์จะทำให้เกิดปฏิกิริยาคายความร้อนเพิ่มขึ้น อุณหภูมิจะเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วถึง 1,800 องศาเซลเซียส ซึ่งในสภาวะนี้ตัวอย่างจะถูกเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ แก๊สที่ได้จากการเผาจะเข้าสู่ Ballast tank และถูกปล่อยให้อยู่ในสภาวะสมดุลเป็นเวลา 20 วินาที เพื่อให้แก๊สเป็นเนื้อเดียวกันทั้งหมด แก๊สจะถูกพาด้วยฮีเลียมผ่าน N catalyst ที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส เพื่อกำจัดแก๊สออกซิเจน และเปลี่ยน NO_x ไปเป็น N_2 ส่วน CO_2 และ H_2O จะถูกกำจัดออก แก๊สที่เหลือจะเข้าสู่ตัวตรวจวัดชนิด Thermal Conductivity Detector (TCD) และประมวลผลเป็นปริมาณไนโตรเจน (มโนวิช และ ยุทธภูมิ, 2552) ซึ่งวิธี Combustion เป็นเทคนิคที่มีความยุ่งยากน้อยกว่าวิธี Kjeldahl วิธี Combustion ใช้เวลาในการวิเคราะห์เพียง 3-4 นาที และไม่มีการใช้สารเคมีอันตรายจึงส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อย (LECO Corporation, n.d.) ค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์อยู่ที่ 30 บาท/ตัวอย่าง (มโนวิช เรืองดิษฐ์ และ ยุทธภูมิ สัมพันธ์ราษฎร์, 2552) แต่วิธีการนี้ยังคงอยู่ในขั้นตอนทดลองใช้งาน

ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการวิเคราะห์ระหว่างวิธี Combustion และ วิธี Kjeldahl นั้น Etheridge และคณะ (1998) พบว่าปริมาณไนโตรเจนในตัวอย่างดินและพืชที่วิเคราะห์ด้วยวิธี Combustion มีค่าสูงกว่าวิธี Kjeldahl เล็กน้อย นอกจากนี้เขายังได้เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์อาหารสัตว์มูลสัตว์ เนื้อสัตว์ ไข่แดง นม และบีสตาวะ จำนวน 36 ตัวอย่าง ระหว่างวิธี Combustion และวิธี Kjeldahl พบว่าวิธี Combustion ให้ค่าปริมาณไนโตรเจนสูงกว่าวิธี Kjeldahl Saint-Denis และ Goupy (2004) วิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนรวมในน้ำนมด้วยวิธี Combustion พบว่าสามารถให้ผลการทดสอบที่มีความเที่ยงตรงใกล้เคียงกับวิธี Kjeldahl เนื่องจากในปัจจุบันยังไม่มีการศึกษาการเปรียบเทียบวิธีการวิเคราะห์ระหว่างวิธี Combustion และ วิธี Kjeldahl ในปุ๋ยเคมี การศึกษาครั้งนี้จึงสนใจเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในปุ๋ยเคมีและวัสดุสำหรับผลิตปุ๋ยเคมีซึ่งมีไนโตรเจนในรูปต่างๆที่วิเคราะห์ได้โดยวิธี Combustion และวิธี Kjeldahl และเปรียบเทียบปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดที่วิเคราะห์ได้โดยทั้ง 2 วิธีการกับค่ามาตรฐานของปุ๋ยเคมีเพื่อประโยชน์ต่อการใช้งานในอนาคต

อุปกรณ์และวิธีการ

1. ปุ๋ยเคมีที่ใช้ในการทดลอง

ทำการศึกษาใน 15 สูตรปุ๋ยซึ่งมีไนโตรเจนใน 3 รูป คือ ไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียม (ammonium nitrogen) ประกอบด้วยสูตรปุ๋ย 12-60-0 (Certified Reference Materials; CRM) และ 21-0-0 ไนโตรเจนในรูปไนเตรต (nitrate nitrogen) ประกอบด้วยสูตรปุ๋ย 27-0-0 (CRM), 4-16-24, 12-12-17, 6-12-24 และ 15-15-15 (Commonwealth of Independent States; CIS) และไนโตรเจนในรูปของยูเรีย (urea nitrogen) ประกอบด้วยสูตรปุ๋ย 46-0-0 (CRM), 13-13-21, 14-4-9, 15-15-15, 16-8-4, 18-4-5, 8-24-24 และ 25-7-7 (Bulk Blending; BB) ปุ๋ยที่ใช้ในการวิเคราะห์ได้มาจากการสุ่มตรวจปุ๋ยในระหว่างกระบวนการผลิต และ

การสุ่มตรวจปุ๋ยจากกระสอบที่เก็บไว้ในโกดังเพื่อรอการจำหน่ายยกเว้นในสูตรปุ๋ย 12-60-0, 27-0-0, 46-0-0 เป็นส่วนของ CRM ซึ่งเป็นสารอ้างอิงมาตรฐานจาก National Institute of Standards and Technology (NIST) ตัวอย่างปุ๋ยที่ได้นำมาบดให้ละเอียดและเก็บตัวอย่างปุ๋ยใส่ถุงพลาสติกเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนต่อไป

2. การวิเคราะห์ไนโตรเจนทั้งหมด

การวิเคราะห์ไนโตรเจนด้วยวิธี Kjeldahl สำหรับปุ๋ยที่มีไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียม ทำการชั่งตัวอย่างปุ๋ย 1.00xx และ 6.00xx กรัม สำหรับปุ๋ยในสูตร 12-60-0 (CRM) และ 21-0-0 ตามลำดับ ใส่กระชอนพีกา จากนั้นถ่ายตัวอย่างใส่ Beaker ที่มี 25% HCl ปริมาตร 50 มิลลิลิตร และนำไปต้มให้เดือดเป็นเวลา 2-3 นาที หลังจากนั้นทิ้งตัวอย่างไว้ให้เย็นแล้วนำไปปรับปริมาตรเป็น 500 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น ปีเปตสารละลายตัวอย่าง 50 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลองแล้วนำไปกลั่นด้วยเครื่องกลั่น (Gerhardt, Vapodest 40s, Germany) และปีเปต 0.2 N H₂SO₄ 10 และ 50 มิลลิลิตร สำหรับใช้กับตัวอย่างปุ๋ยสูตร 12-60-0 (CRM) และ 21-0-0 ตามลำดับ ใส่ Erlenmeyer Flask และเติม Methyl red จำนวน 2 หยด หลังจากนั้นนำมาต่อเข้ากับเครื่องกลั่นและทำการกลั่น เมื่อกลั่นเสร็จแล้วนำ H₂SO₄ ที่เหลืออยู่ใน Erlenmeyer Flask ไปไตเตรตด้วย 0.1 N NaOH จนสีเปลี่ยนจากสีแดงเป็นสีเหลืองบันทึกปริมาณ NaOH ที่ใช้ ไตเตรตแล้วนำไปคำนวณหาปริมาณแอมโมเนียม (กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2559ข)

การวิเคราะห์ไนโตรเจนด้วยวิธี Kjeldahl สำหรับปุ๋ยที่มีไนโตรเจนในรูปไนเตรต จะชั่งตัวอย่างปุ๋ย 1.00xx, 1.25xx, 1.40xx, 1.50xx และ 1.50xx กรัม สำหรับในสูตร 27-0-0 (CRM), 15-15-15 (CIS), 12-12-17, 4-16-24 และ 6-12-24 ตามลำดับ โดยจะมีขั้นตอนการวิเคราะห์เช่นเดียวกับปุ๋ยในรูปแอมโมเนียม แต่จะมีการเติม Devarda alloy ปริมาณ 1 กรัม ลงในหลอดตัวอย่างก่อนนำตัวอย่างไปกลั่น และปีเปต 0.2 N H₂SO₄ 10 มิลลิลิตร ใส่ Erlenmeyer Flask ยกเว้นในสูตร 27-0-0 (CRM) ที่ปีเปต 0.2 N H₂SO₄ 20 มิลลิลิตร (กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2559ข)

การวิเคราะห์ไนโตรเจนด้วยวิธี Kjeldahl สำหรับปุ๋ยที่มีไนโตรเจนในรูปยูเรีย ทำการชั่งตัวอย่างปุ๋ย 0.75xx, 0.82xx, 0.85xx, 0.95xx, 1.00xx และ 1.30xx กรัม สำหรับปุ๋ยในสูตร 18-4-5, 16-8-4, 15-15-15, 14-4-9, 13-13-21 และ 8-24-24 ตามลำดับ ใส่หลอดทดลองและเติม conc. H₂SO₄ 10 มิลลิลิตร แล้วทำการย่อยตัวอย่างที่อุณหภูมิ 420 องศาเซลเซียสนาน 10 นาที หลังจากนั้นตั้งทิ้งไว้ให้เย็น เมื่อตัวอย่างเย็นแล้วนำไปกลั่นด้วยเครื่องกลั่น และปีเปต 0.2 N H₂SO₄ 50 มิลลิลิตร ใส่ Erlenmeyer Flask หลังจากนั้นนำไปไตเตรต แต่สำหรับสูตรปุ๋ย 25-7-7 (BB) และ 46-0-0 (CRM) ชั่งตัวอย่างปุ๋ย 2.00xx และ 2.50xx กรัม ใส่หลอดทดลอง และเติมสารเร่งปฏิกิริยา (CuSO₄ : K₂SO₄ อัตราส่วน 1:9) ปริมาณ 10 กรัม จากนั้นเติม conc. H₂SO₄ 20 มิลลิลิตร แล้วนำไปย่อยที่อุณหภูมิ 420 องศาเซลเซียสนาน 20 นาที หลังจากนั้นรอให้ตัวอย่างเย็น แล้วเติมน้ำกลั่นลงไปและตั้งทิ้งไว้ให้เย็นอีกครั้งปรับปริมาตรเป็น 500 มิลลิลิตร แล้วปีเปตสารละลายตัวอย่าง 50 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลองแล้วนำไปกลั่นด้วยเครื่องกลั่น และปีเปต 0.2 N H₂SO₄ 20 และ 50 มิลลิลิตร สำหรับสูตรปุ๋ย 25-7-7 (BB) และ 46-0-0 (CRM) ตามลำดับ ใส่ Erlenmeyer Flask ส่วนในวิธีไตเตรตจะเหมือนกับการวิเคราะห์แอมโมเนียมและไนเตรต (กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2559ข)

การวิเคราะห์ไนโตรเจนด้วยวิธี Combustion ทำการชั่งตัวอย่างปุ๋ย 0.10xx กรัม ใส่ในฟอยล์ชนิดปราศจากไนโตรเจนและห่อให้มิดชิดแล้วนำตัวอย่างไปเผาที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส โดยเครื่อง Nitrogen Analyzer (Leco, FP628, USA) ทุกสูตรปุ๋ยทำการทดลองวิธีการละ 10 ซ้ำ โดยจะทำการวิเคราะห์วันละ 1 ซ้ำของแต่ละวิธีการวิเคราะห์

3. การวิเคราะห์ทางสถิติ

เปรียบเทียบประสิทธิภาพการวิเคราะห์ของทั้งวิธี Kjeldahl และวิธี Combustion โดยใช้โปรแกรม Excel ในการคำนวณค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน Grubbs' test (เพื่อตัดค่า outlier) และ t-test (2-tail) เพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของสองวิธีการวิเคราะห์ ที่ $P \leq 0.05$

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. ไนโตรเจนในปุ๋ยเคมีรูปแอมโมเนียม (ammonium nitrogen)

การวิเคราะห์ค่าไนโตรเจนทั้งหมดในปุ๋ยเคมีที่อยู่ในรูปแอมโมเนียม (ammonium nitrogen) ซึ่งประกอบไปด้วย 2 สูตรปุ๋ยด้วยวิธี Kjeldahl และวิธี Combustion พบว่า ปุ๋ยสูตร 12-60-0 (CRM) การวิเคราะห์ด้วยวิธี Kjeldahl พบปริมาณไนโตรเจนเฉลี่ยคือ 12.29% ซึ่งค่าไนโตรเจนที่ได้สูงกว่าวิธี Combustion ซึ่งวัดปริมาณไนโตรเจนได้ 12.15% วิธี Kjeldahl มีค่าการกระจายของข้อมูลคือ 12.13-12.45 ซึ่งมากกว่าวิธี Combustion ซึ่งมีค่า 12.03-12.27 และจากการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพบว่าทั้ง 2 วิธีให้ผลการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนที่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ $P \leq 0.05$ (Table 1)

สูตรปุ๋ย 21-0-0 ในการวิเคราะห์ด้วยวิธี Kjeldahl มีการตัดค่า Outlier ที่ระดับนัยสำคัญ $P \leq 0.05$ การวิเคราะห์ด้วยวิธี Kjeldahl ได้ค่าเฉลี่ยปริมาณไนโตรเจนคือ 20.91% ซึ่งต่ำกว่าวิธี Combustion ที่วิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนได้ 21.37% วิธี Kjeldahl มีค่าการกระจายของข้อมูลคือ 20.87-20.95 ซึ่งน้อยกว่าวิธี Combustion คือ 21.27-21.47 และจากการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพบว่าทั้ง 2 วิธีให้ผลการวิเคราะห์ของค่าไนโตรเจนที่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ $P \leq 0.05$ (Table 1)

การวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในปุ๋ยเคมีในรูปแอมโมเนียม ประกอบด้วยสูตรปุ๋ย 12-60-0 (CRM) และ 21-0-0 ค่าไนโตรเจนที่วิเคราะห์ได้ด้วยวิธี Kjeldahl คือ 12.29 และ 20.91% ตามลำดับ และค่าไนโตรเจนที่วิเคราะห์ได้ด้วยวิธี Combustion คือ 12.15 และ 21.37% ตามลำดับ ซึ่งค่าไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียม ที่วิเคราะห์ได้ของทั้ง 2 วิธีตรงตามค่ามาตรฐานยกเว้นสูตรปุ๋ย 12-60-0 (CRM) ที่วิเคราะห์ด้วยวิธี Kjeldahl ซึ่งมีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐาน (Table 4)

Table 1 Comparison of total nitrogen in chemical fertilizers (ammonium nitrogen form) between Kjeldahl method and Combustion method.

Fertilizer formula	T-N ¹ (%)		t-test ²
	Kjeldahl Method	Combustion Method	
12-60-0 (CRM)	12.29 ± 0.16	12.15 ± 0.12	*
21-0-0	20.91 ± 0.04	21.37 ± 0.10	*

¹Mean of % T-N (total nitrogen) ± SD (Standard Deviation), ²Examine values of Grubbs' test and t-test (2-tail) at $P \leq 0.05$, (*) = Significant at 95% probability level, (ns) = Non - significant at 95% probability level

2. ไนโตรเจนในปุ๋ยเคมีรูปไนเตรต (nitrate nitrogen)

การวิเคราะห์ค่าไนโตรเจนทั้งหมดในปุ๋ยเคมีที่อยู่ในรูปไนเตรต (nitrate nitrogen) ซึ่งประกอบไปด้วย 5 สูตรปุ๋ย ด้วยวิธี Kjeldahl และวิธี Combustion พบว่า สูตรปุ๋ย 4-16-24 (สูตรปุ๋ย 4-16-24 ทางบริษัท ไทยเซ็นทรัลเคมี จำกัด (มหาชน) ได้ผลิตไนโตรเจนในสูตร 6%) การวิเคราะห์ด้วยวิธี Kjeldahl พบปริมาณไนโตรเจนเฉลี่ยคือ 6.13% ซึ่งค่าไนโตรเจนที่ได้สูงกว่าวิธี Combustion คือ 5.90% วิธี Kjeldahl มีค่าการกระจายของข้อมูลคือ 6.01-6.25 ซึ่งมากกว่าวิธี Combustion คือ 5.82-5.98 และจากการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพบว่าทั้ง 2 วิธีให้ผลการวิเคราะห์ของค่าไนโตรเจนที่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ $P \leq 0.05$ (Table 2)

สูตรปุ๋ย 12-12-17 ในการวิเคราะห์ด้วยวิธี Combustion มีการตัดค่า Outlier ที่ระดับนัยสำคัญ $P \leq 0.05$ การวิเคราะห์ด้วยวิธี Kjeldahl ได้ค่าเฉลี่ยปริมาณไนโตรเจนคือ 12.73% ซึ่งต่ำกว่าวิธี Combustion ที่วิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนได้ 12.80% วิธี Kjeldahl มีค่าการกระจายของข้อมูลคือ 12.63-12.83 มากกว่าวิธี Combustion คือ 12.74-12.86 และจากการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพบว่าทั้ง 2 วิธีให้ผลการวิเคราะห์ของค่าไนโตรเจนที่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ $P \leq 0.05$

สูตรปุ๋ย 6-12-24 ในการวิเคราะห์ด้วยวิธี Kjeldahl มีการตัดค่า Outlier ที่ระดับนัยสำคัญ $P \leq 0.05$ การวิเคราะห์ด้วยวิธี Kjeldahl ได้ค่าเฉลี่ยปริมาณไนโตรเจนคือ 6.42% ซึ่งสูงกว่าวิธี Combustion ที่วิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนได้ 6.17% วิธี Kjeldahl มีค่าการกระจายของข้อมูลคือ 6.40-6.44 ซึ่งน้อยกว่าวิธี Combustion คือ 6.09-6.25 และจากการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพบว่าทั้ง 2 วิธีให้ผลการวิเคราะห์ของค่าไนโตรเจนที่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ $P \leq 0.05$

สูตรปุ๋ย 15-15-15 (CIS) (สูตรปุ๋ย 15-15-15 CIS ทางบริษัท ไทยเซ็นทรัลเคมี จำกัด (มหาชน) ได้ผลิตไนโตรเจนในสูตร 16%) ในการวิเคราะห์ด้วยวิธี Combustion มีการตัดค่า Outlier ที่ระดับนัยสำคัญ $P \leq 0.05$ การวิเคราะห์ด้วยวิธี Kjeldahl ได้ค่าเฉลี่ยปริมาณไนโตรเจนคือ 16.43% ซึ่งสูงกว่าวิธี Combustion ที่วิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนได้ 16.18% วิธี Kjeldahl มีค่าการกระจายของข้อมูลคือ 16.32-16.54 ซึ่งมากกว่าวิธี Combustion คือ 16.12-16.24 และจากการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพบว่าทั้ง 2 วิธีให้ผลการวิเคราะห์ของค่าไนโตรเจนที่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ $P \leq 0.05$

สูตรปุ๋ย 27-0-0 (CRM) การวิเคราะห์ด้วยวิธี Kjeldahl ได้ค่าเฉลี่ยปริมาณไนโตรเจนคือ 26.00% ซึ่งต่ำกว่าวิธี Combustion ที่วิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนได้ 26.08% วิธี Kjeldahl มีค่าการกระจายของข้อมูลคือ 25.92-26.08 ซึ่งน้อยกว่าวิธี Combustion คือ 25.84-26.32 และเมื่อนำไปทดสอบความแปรปรวนของข้อมูลพบว่าทั้งสองวิธีไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ $P \leq 0.05$ และจากการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพบว่าทั้ง 2 วิธีให้ผลการวิเคราะห์ของค่าไนโตรเจนที่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ $P \leq 0.05$ (Table 2)

ไนโตรเจนในรูปแบบในเตรต ประกอบด้วยสูตรปุ๋ย 4-16-24, 12-12-17, 6-12-24, 15-15-15 (CIS) และ 27-0-0 (CRM) ค่าไนโตรเจนที่วิเคราะห์ได้ด้วยวิธี Kjeldahl คือ 6.13, 12.73, 6.42, 16.43 และ 26.00% ตามลำดับ และค่าไนโตรเจนที่วิเคราะห์ได้ด้วยวิธี Combustion คือ 5.90, 12.80, 6.17, 16.18 และ 26.08% ตามลำดับ ซึ่งค่าไนโตรเจนในรูปแบบในเตรต ที่วิเคราะห์ได้ของทั้ง 2 วิธีตรงตามค่ามาตรฐานยกเว้นสูตรปุ๋ย 12-12-17 ของทั้ง 2 วิธีการ และ 6-12-24 ในวิธี Kjeldahl มีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐาน (Table 4)

Table 2 Comparison of total nitrogen in chemical fertilizers (nitrate nitrogen form) between Kjeldahl method and Combustion method.

Fertilizer formula	T-N ¹⁾ (%)		t-test ²⁾
	Kjeldahl Method	Combustion Method	
4-16-24	6.13 ± 0.12	5.90 ± 0.08	*
12-12-17	12.73 ± 0.10	12.80 ± 0.06	ns
6-12-24	6.42 ± 0.02	6.17 ± 0.08	*
15-15-15 (CIS)	16.43 ± 0.11	16.18 ± 0.06	*
27-0-0 (CRM)	26.00 ± 0.08	26.08 ± 0.24	ns

¹⁾ Mean of % T-N (total nitrogen) ± SD (Standard Deviation), ²⁾ Examine values of Grubbs' test and t-test (2-tail) at $P \leq 0.05$, (*) = Significant at 95% probability level, (ns) = Non - significant at 95% probability level

3. ไนโตรเจนในปุ๋ยเคมีรูปยูเรีย (urea nitrogen)

การวิเคราะห์ค่าไนโตรเจนทั้งหมดในปุ๋ยเคมีที่อยู่ในรูปยูเรีย (urea nitrogen) ซึ่งประกอบไปด้วย 8 สูตรปุ๋ย ด้วยวิธี Kjeldahl และวิธี Combustion พบว่า สูตรปุ๋ย 13-13-21 ในการวิเคราะห์ด้วยวิธี Kjeldahl มีการตัดค่า Outlier ที่ระดับนัยสำคัญ $P \leq 0.05$ การวิเคราะห์ด้วยวิธี Kjeldahl พบปริมาณไนโตรเจนเฉลี่ยคือ 13.27% ค่าไนโตรเจนที่ได้ต่ำกว่าวิธี Combustion คือ 13.41% วิธี Kjeldahl มีค่าการกระจายของข้อมูลคือ 13.21-13.33 ซึ่งน้อยกว่าวิธี Combustion คือ 13.34-13.48 และจากการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพบว่าทั้ง 2 วิธีให้ผลการวิเคราะห์ของค่าไนโตรเจนที่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ $P \leq 0.05$

สูตรปุ๋ย 14-4-9 การวิเคราะห์ด้วยวิธี Kjeldahl ได้ค่าเฉลี่ยปริมาณไนโตรเจนคือ 14.17% ซึ่งต่ำกว่าวิธี Combustion ที่วิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนได้ 14.36% วิธี Kjeldahl มีค่าการกระจายของข้อมูลคือ 14.05-14.29 น้อยกว่าวิธี Combustion คือ 14.23-14.49 และจากการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพบว่าทั้ง 2 วิธีให้ผลการวิเคราะห์ของค่าไนโตรเจนที่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ $P \leq 0.05$

สูตรปุ๋ย 15-15-15 ในการวิเคราะห์ด้วยวิธี Combustion มีการตัดค่า Outlier ที่ระดับนัยสำคัญ $P \leq 0.05$ การวิเคราะห์ด้วยวิธี Kjeldahl ได้ค่าเฉลี่ยปริมาณไนโตรเจนคือ 15.14% ซึ่งต่ำกว่าวิธี Combustion ที่วิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนได้ 15.29% วิธี Kjeldahl มีค่าการกระจายของข้อมูลคือ 15.08-15.20 เท่ากับวิธี Combustion คือ 15.23-15.35 และจากการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพบว่าทั้ง 2 วิธีให้ผลการวิเคราะห์ของค่าไนโตรเจนที่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ $P \leq 0.05$

สูตรปุ๋ย 16-8-4 ในการวิเคราะห์ด้วยวิธี Kjeldahl มีการตัดค่า Outlier ที่ระดับนัยสำคัญ $P \leq 0.05$ การวิเคราะห์ด้วยวิธี Kjeldahl ได้ค่าเฉลี่ยปริมาณไนโตรเจนคือ 15.68% ซึ่งต่ำกว่าวิธี Combustion ที่วิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนได้ 15.90% วิธี Kjeldahl มีค่าการกระจายของข้อมูลคือ 15.60-15.76 ซึ่งน้อยกว่าวิธี Combustion คือ 15.74-16.06 และจากการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพบว่าทั้ง 2 วิธีให้ผลการวิเคราะห์ของค่าไนโตรเจนที่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ $P \leq 0.05$

สูตรปุ๋ย 18-4-5 การวิเคราะห์ด้วยวิธี Kjeldahl ได้ค่าเฉลี่ยปริมาณไนโตรเจนคือ 18.20% ซึ่งต่ำกว่าวิธี Combustion ที่วิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนได้ 18.45% วิธี Kjeldahl มีค่าการกระจายของข้อมูลคือ 18.12-18.28 ซึ่งน้อยกว่าวิธี Combustion คือ 18.34-18.56 และจากการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพบว่าทั้ง 2 วิธีให้ผลการวิเคราะห์ของค่าไนโตรเจนที่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ $P \leq 0.05$

สูตรปุ๋ย 8-24-24 การวิเคราะห์ด้วยวิธี Kjeldahl ได้ค่าเฉลี่ยปริมาณไนโตรเจนคือ 9.01% ซึ่งต่ำกว่าวิธี Combustion ที่วิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนได้ 9.12% วิธี Kjeldahl มีค่าการกระจายของข้อมูลคือ 8.97-9.05 น้อยกว่าวิธี Combustion คือ 9.07-9.17 และจากการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพบว่าทั้ง 2 วิธีให้ผลการวิเคราะห์ของค่าไนโตรเจนที่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ $P \leq 0.05$

สูตรปุ๋ย 46-0-0 (CRM) การวิเคราะห์ด้วยวิธี Kjeldahl ได้ค่าเฉลี่ยปริมาณไนโตรเจนคือ 46.37% ซึ่งต่ำกว่าวิธี Combustion ที่วิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนได้ 46.61% วิธี Kjeldahl มีค่าการกระจายของข้อมูลคือ 46.25-46.49 ซึ่งน้อยกว่าวิธี Combustion คือ 46.37-46.85 และจากการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพบว่าทั้ง 2 วิธีให้ผลการวิเคราะห์ของค่าไนโตรเจนที่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ $P \leq 0.05$

สูตรปุ๋ย 25-7-7 (BB) การวิเคราะห์ด้วยวิธี Kjeldahl ได้ค่าเฉลี่ยปริมาณไนโตรเจนคือ 25.17% ซึ่งต่ำกว่าวิธี Combustion ที่วิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนได้ 25.33% วิธี Kjeldahl มีค่าการกระจายของข้อมูลคือ 25.05-25.29 ซึ่งน้อยกว่าวิธี Combustion คือ 25.10-25.56 และจากการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพบว่าทั้ง 2 วิธีให้ผลการวิเคราะห์ของค่าไนโตรเจนที่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ $P \leq 0.05$ (Table 3)

ไนโตรเจนในรูปของยูเรียประกอบด้วยสูตรปุ๋ย 13-13-21, 14-4-9, 15-15-15, 16-8-4, 18-4-5, 8-24-24, 46-0-0 (CRM) และ 25-7-7 (BB) ค่าไนโตรเจนที่วิเคราะห์ได้ด้วยวิธี Kjeldahl คือ 13.27, 14.17, 15.14, 15.68, 18.20, 9.01, 46.37 และ 25.17% ตามลำดับ และค่าไนโตรเจนที่วิเคราะห์ได้ด้วยวิธี Combustion คือ 13.41, 14.36, 15.29, 15.90, 18.45, 9.12, 46.61 และ 25.33% ตามลำดับซึ่งค่าไนโตรเจนในรูปยูเรีย ที่วิเคราะห์ได้ของทั้ง 2 วิธีตรงตามค่ามาตรฐานยกเว้นสูตรปุ๋ย 8-24-24 ของทั้ง 2 วิธีที่สูงกว่าค่ามาตรฐาน และ 46-0-0 (CRM) ในวิธี Kjeldahl ที่ต่ำกว่าค่ามาตรฐาน (Table 4)

Table 3 Comparison of total nitrogen in chemical fertilizers (urea nitrogen form) between Kjeldahl method and Combustion method.

Fertilizer formula	T-N ^{1/} (%)		t - test ^{2/}
	Kjeldahl Method	Combustion Method	
13-13-21	13.27 ± 0.06	13.41 ± 0.07	*
14-4-9	14.17 ± 0.12	14.36 ± 0.13	*
15-15-15	15.14 ± 0.06	15.29 ± 0.06	*
16-8-4	15.68 ± 0.08	15.90 ± 0.16	*
18-4-5	18.20 ± 0.08	18.45 ± 0.11	*
8-24-24	9.01 ± 0.04	9.12 ± 0.05	*
46-0-0 (CRM)	46.37 ± 0.12	46.61 ± 0.24	*
25-7-7 (BB)	25.17 ± 0.12	25.33 ± 0.23	ns

^{1/}Mean of % T-N (total nitrogen) ± SD (Standard Deviation), ^{2/}Examine values of Grubbs' test and t-test (2-tail) at $P \leq 0.05$,

(*) = Significant at 95% probability level, (ns) = Non - significant at 95% probability level

การวิเคราะห์ไนโตรเจนทั้งหมดในปุ๋ยเคมีส่วนมากในวิธี Combustion ให้ค่าสูงกว่าวิธี Kjeldahl ซึ่งให้ผลการทดลองไปในทิศทางเดียวกันกับการศึกษาของ Etheridge และคณะ (1998) ซึ่งวิเคราะห์ดินและอาหารสัตว์พบว่าวิธี Combustion ให้ค่าปริมาณไนโตรเจนสูงกว่าวิธี Kjeldahl เช่นเดียวกับ มโนวิช และ ยุทธภูมิ (2552) ซึ่งได้วิเคราะห์หาปริมาณโปรตีนในอาหาร พบว่าวิธี Combustion ส่วนมากให้ค่าการวิเคราะห์โปรตีนสูงกว่าวิธี Kjeldahl จากการศึกษาความสัมพันธ์ของปริมาณไนโตรเจนที่วัดได้ในใบส้มโอด้วยวิธี Combustion และ Kjeldahl พบว่าวิธี Combustion ให้ค่า N ที่สูงกว่าและสามารถสร้างเป็นสมการความสัมพันธ์ของค่าที่วิเคราะห์ได้จาก 2 วิธีการ (Jaroonchon *et al.*, 2010) การทดลองนี้พบว่าวิธี Combustion มีค่าการกระจายของข้อมูลส่วนใหญ่มากกว่าวิธี Kjeldahl แต่วิธี Combustion ให้ผลการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนที่ตรงตามค่ามาตรฐานมากกว่าวิธี Kjeldahl สูตรปุ๋ยที่วิเคราะห์ด้วยวิธี Kjeldahl และไม่ผ่านมาตรฐานคือ 12-60-0 (CRM), 6-12-24, 46-0-0 (CRM), 12-12-17 และ 8-24-24 ส่วนสูตรปุ๋ยที่วิเคราะห์ด้วยวิธี Combustion และไม่ผ่านมาตรฐานคือ 12-12-17 และ 8-24-24 ซึ่งส่วนนี้อาจมาจากความชื้นที่ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในขั้นตอนการชั่งน้ำหนัก เนื่องจากปุ๋ยมีการตอบสนองไวต่อความชื้น และไม่สามารถควบคุมความชื้นได้ตลอดเวลาขณะทำการทดลอง นอกจากนี้การวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดด้วยวิธี Combustion มีค่าใช้จ่ายต่อครั้งของการวิเคราะห์ค่อนข้างสูงจึงเหมาะสำหรับการวิเคราะห์ตัวอย่างจำนวนมาก การวิเคราะห์ตัวอย่างจำนวนน้อย (เช่น 2-3 ตัวอย่าง) การใช้วิธี Kjeldahl จะเหมาะสมกว่าทั้งด้านการประหยัดพลังงานและค่าใช้จ่าย

Table 4 Determined deviation criteria of nitrogen-certified quantity for chemical fertilizer according to the Fertilizer Act B.E. 2518 revised by Fertilizer Act (No. 2) B.E. 2550 B.E. 2552.

Nitrogen-certified quantity by percent weight	Minimum deviation criteria by percent weight (Compound fertilizer)
<8.0	0.4
8.0-16.0	0.6
16.1-24.0	0.8
>24.0	1.0

Fertilizer formula	Standard values
21-0-0	≥ 20% by weight
27-0-0 (CRM)	26.019 ± 0.054 %
46-0-0 (CRM)	46.54 ± 0.08 %
12-60-0 (CRM)	12.13 ± 0.047 %

สรุป

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าค่าไนโตรเจนในรูปต่างๆที่วิเคราะห์ได้ของทั้งสองวิธีคือวิธี Kjeldahl และวิธี Combustion ให้ผลการวิเคราะห์ที่มีความแตกต่างกันจากการทดสอบปุ๋ยที่มีไนโตรเจน 3 รูป คือ แอมโมเนียม ไนเตรต และยูเรียจำนวนทั้งหมด 15 สูตรพบว่ามีเพียง 3 สูตรที่ให้ผลการวิเคราะห์ค่าไนโตรเจนที่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ คือสูตรปุ๋ย 12-12-17, 27-0-0 (CRM) และ 25-7- 7 (BB) อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบค่าวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนกับค่ามาตรฐานของแต่ละสูตรปุ๋ย พบว่ามี 5 สูตรที่ไม่ตรงตามเกณฑ์ค่ามาตรฐาน คือ 12-60-0 (CRM), 6-12-24 และ 46-0-0 (CRM) ในการวิเคราะห์ด้วยวิธี Kjeldahl และ 12-12-17 และ 8-24-24 โดยการวิเคราะห์ด้วยทั้ง 2 วิธีการ

วิธี Combustion สามารถให้ผลการวิเคราะห์ปุ๋ยที่ได้มาตรฐาน แม่นยำ และใช้เวลาวิเคราะห์ที่สั้นกว่าวิธี Kjeldahl ความแตกต่างและประสิทธิภาพของค่าที่วิเคราะห์ได้จากการวิเคราะห์ในทั้งสองวิธีที่ได้จากการทดลองนี้จะทำให้การตรวจสอบคุณภาพของปริมาณไนโตรเจนในปุ๋ยเคมีมีค่าที่ถูกต้องมากขึ้น และสามารถใช้เป็นแนวทางในการเลือกวิธีที่เหมาะสมที่สุดเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ปุ๋ยเคมีในห้องปฏิบัติการได้

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาในครั้งนี้ได้รับการสนับสนุนโดย บริษัท ไทยเซ็นทรัลเคมี จำกัด (มหาชน) โรงงานพระประแดง ขอขอบคุณบุคลากรของบริษัทโดยเฉพาะคุณสมรภัทร์ ลิขิตเจริญพันธ์ คุณบุญชัย ก่อเกียรติพิทักษ์ คุณบุญฤทธิ์ วันภิญโญ คุณวิทยา ทรงวิชา คุณนันทน์ ไสภากาญจนา คุณกัญฐารมณ์ จันทธรรม และนักวิจัยจากบริษัท ไทยเซ็นทรัลเคมี จำกัด (มหาชน) โรงงานพระประแดง ที่ให้ความช่วยเหลือในระหว่างการศึกษานี้

เอกสารอ้างอิง

- กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2559ก.กรรมวิธีการตรวจสอบหรือวิเคราะห์ปุ๋ยเคมี ตาม พ.ร.บ. ปุ๋ย 2518 และที่แก้ไขเพิ่มเติม. ประกาศกระทรวงเกษตรและสหกรณ์: หน้า 5-18.
- กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2559ข. กำหนดกรรมวิธีการตรวจวิเคราะห์ปุ๋ยเคมี. ประกาศกระทรวงเกษตรและสหกรณ์: หน้า 5-21.
- ชัยวัฒน์ วามวรรตน์. 2550. การวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดโดยวิธีเคิลดัลล์. ใน คู่มือการใช้สารเคมีเกี่ยวกับการเกษตร. กรุงเทพมหานคร: เกษตรกรรมธรรมชาติ. หน้า 55-59
- นิระนารถ แจงทอง และปัทมา นพรัตน์. 2546. การควบคุมคุณภาพภายในสำหรับห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ทดสอบ. วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ 46(162): 9-13.

- มโนวิช เรืองดิษฐ์ และ ยุทธภูมิ สัมพันธ์รักษ์. 2552. การวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีนในอาหารโดยเทคนิค Dumas Combustion. วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ 52(81): 13-16.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2560. ปริมาณและมูลค่าการนำเข้าปุ๋ยเคมีสูตรที่สำคัญ ปี 2554-2559. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: http://www.oae.go.th/download/FactorOfProduct/Fertilizer_value49-54.html. (วันที่ค้นข้อมูล 16 มกราคม 2561).
- สำนักวิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่ง. 2557. การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนในอาหารสัตว์น้ำด้วยเทคนิค Combustion Method. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: http://www.fisheries.go.th/cf-coastal_feed/images/feedfish/03032014.pdf. (วันที่ค้นข้อมูล 12 มีนาคม 2560).
- Etheridge R.D., G.M. Pestl and E.H. Foster. 1998. A comparison of nitrogen values obtained utilizing the Kjeldahl nitrogen and Dumas combustion methodologies (Leco CNS 2000) on samples typical of an animal nutrition analytical laboratory. *Journal of Animal Feed Science and Technology*. 73: 21-28.
- Jaroonchon, N., K. Krisana, and P. Lop. 2010. Correlation between pummelo leaf nitrogen concentrations determined by Combustion method and Kjeldahl method and their relationship with SPAD values from portable chlorophyll meter. *Kasetsart Journal (Natural Science)*. 44(5): 800-807.
- LECO Corporation. (n.d.). 628 Series: Elemental Analysis by Combustion. Retrieved March 12, 2017, from <https://www.leco.com/library-separation-science>.
- Saint-Denis T. and J. Goupy. 2004. Optimization of a nitrogen analyser based on the Dumas method. *AnalyticaChimicaActa*515 (1): 191-198.
- The Association of Official Analytical Chemists. 2012. Official Methods of Analysis of AOAC International. 19thed. Virginia. AOAC 2001.11: 2012.
- The International Organization for Standardization. 2005. Animal feeding stuffs-Determination of nitrogen content and calculation of crude protein content-Part 2: Block digestion/steam distillation method. ISO 5983-2: 2005.