ชื่อโครงการวิจัย เครื่องต้นแบบในการผลิตปุ๋ยเคมีชนิดควบคุมการปลดปล่อย
(A prototype for producing controlled-release fertilizer)

โครงการวิจัยนี้เป็นโครงการวิจัยประเภทการพัฒนาทดลอง สาขาวิทยาศาสตร์เคมีและเภสัช สอดคล้องกับกับนโยบายและยุทธศาสตร์การวิจัยของชาติ ฉบับที่ 8 (พ.ศ. 2555-2559) ยุทธศาสตร์การวิจัยที่ 2 การสร้างศักยภาพและความสามารถเพื่อการสร้างศักยภาพและความสามารถเพื่อการพัฒนาทางเศรษฐกิจ มุ่งเน้นการวิจัยเพื่อพัฒนาประสิทธิภาพการผลิตทางการเกษตร กลยุทธ์การวิจัยที่ 3 การพัฒนาประสิทธิภาพการผลิตทางอุตสาหกรรมให้เอื้อต่อการดำเนินธุรกิจอย่างยั่งยืน ประกอบด้วยแผนงานวิจัยข้อ 3.5 การวิจัยเกี่ยวกับการเพิ่มสมรรถนะและพัฒนาศักยภาพเครื่องมือ อุปกรณ์ และวิธีการทางการเกษตรสำหรับประเทศไทย และข้อ 3.8 การวิจัยเกี่ยวกับการปรับโครงสร้างการผลิตในภาคอุตสาหกรรม โดยเน้นความเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

ปัจจุบันเกษตรกรรมยังคงเป็นอาชีพหลักของประชากรไทย ที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศเป็นอย่างมาก แต่เกษตรกรยังคงประสบปัญหาในการทำเกษตรกรรม เช่น ภัยธรรมชาติ ราคาผลผลิตไม่แน่นอน ต้นทุนการผลิตสูงขึ้น เป็นต้น จากการศึกษาโครงสร้างค่าใช้จ่ายทางการเกษตร พบว่าต้นทุนที่คิดเป็นสัดส่วนสูงที่สุดคือ ค่าแรงงาน รองลงมาคือ ปุ๋ยเคมี ซึ่งปุ๋ยเคมีถือเป็นปัจจัยสำคัญที่มีบทบาทต่อการเพิ่มผลผลิตในการทำเกษตรกรรม อย่างไรก็ตามปุ๋ยเคมีที่ผลิตได้ภายในประเทศไม่เพียงพอต่อความต้องการของเกษตรกร จึงต้องมีการนำเข้าปุ๋ยเคมีจากต่างประเทศทั้งในลักษณะแม่ปุ๋ยและปุ๋ยสำเร็จรูป ทั้งนี้แนวโน้มการใช้ปุ๋ยเคมียังคงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ตามความต้องการของเกษตรกรที่ต้องการเพิ่มผลผลิตเพื่อเพิ่มรายได้ให้สูงขึ้น ส่งผลให้มีการทำเกษตรกรรมแบบเข้มข้นโดยมีการใช้ปุ๋ยเคมีในปริมาณมากเกินความต้องการของพืช โดยไม่ได้คำนึงถึงการสูญเสียของธาตุอาหารจากปุ๋ยเคมีที่ใส่

ในภาวะที่ตลาดโลกมีการแข่งขันสูงทั้งในด้านคุณภาพ และราคาผลผลิต เกษตรกรไทยจำเป็นต้องปรับกระบวนการผลิตสินค้าเกษตรให้มีคุณภาพสูงขึ้น ขณะเดียวกันต้องมีการควบคุมหรือลดต้นทุนการผลิตสินค้าเกษตรให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม เพื่อเพิ่มความสามารถในการแข่งขันของสินค้าเกษตรไทยในตลาดโลก แนวทางหนึ่งในการลดต้นทุนการผลิต คือ ลดปริมาณการใช้ปุ๋ยเคมีเกินความจำเป็นและไม่มีประสิทธิภาพ โดยการใช้ปุ๋ยเคมีที่มีประสิทธิภาพสูงและลดการสูญเสียธาตุอาหารจากการปลดปล่อยที่เร็วเกินไป ซึ่งจะสามารถลดค่าใช้จ่ายในส่วนของค่าแรงงานสำหรับใส่ปุ๋ยได้อีกทางหนึ่ง รวมถึงลดปริมาณการนำเข้าปุ๋ยเคมีจากต่างประเทศ

ด้วยเหตุนี้จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทำการปรับปรุงปุ๋ยเคมีที่ใช้ในการเกษตรกรรมให้มีคุณสมบัติในการอุ้มน้ำและธาตุอาหารได้ดี สามารถคงสภาพอยู่ในดินได้เป็นเวลานานและมีการปลดปล่อยธาตุอาหารอย่างช้าๆ อีกทั้งไม่ทำลายสภาพแวดล้อมและไม่ก่อให้เกิดผลเสียทั้งด้านเศรษฐกิจ และสุขภาพมนุษย์ โดยพัฒนาปุ๋ยเคมีชนิดควบคุมการปลดปล่อยที่ประกอบด้วยธาตุอาหารหลักของพืช (ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม) นำมาสังเคราะห์ให้เป็นไฮโดรเจล (hydrogel) เมื่อปุ๋ยได้รับน้ำหรือความชื้นจากดิน ไฮโดรเจลจะมีการดูดซับน้ำเกิดการบวมตัวและกักเก็บน้ำไว้ในปริมาณสูง จากนั้นน้ำที่กักเก็บไว้จะไปละลายธาตุอาหารภายในโครงสร้างของไฮโดรเจลและแพร่ลงสู่สภาพแวดล้อม ปลดปล่อยธาตุอาหารและน้ำออกมาอย่างช้าๆ ธาตุอาหารที่อยู่ในปุ๋ยจะถูกใช้โดยพืชทั้งหมด ส่งผลให้พืช ใช้ประโยชน์จากปุ๋ยได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งปริมาณของธาตุอาหารที่ปลดปล่อยออกมานั้นสามารถปรับได้ตามความต้องการของพืชแต่ละชนิด โดยการกำหนดขนาดของช่องว่างหรือความเป็นรูพรุนภายในโครงสร้างไฮโดรเจล จากความหนาแน่นของการเชื่อมขวาง (%crosslink) ของไฮโดรเจล นอกจากนี้โครงสร้างของไฮโดรเจลยังสามารถย่อยสลาย ได้ตามธรรมชาติ เนื่องจากมีองค์ประกอบหลักเป็นไคโตซานซึ่งเป็นสารที่ได้จากธรรมชาติ จึงไม่ก่อให้เกิดปัญหาสารตกค้างต่อสิ่งแวดล้อม ทั้งนี้ยังช่วยปรับปรุงคุณภาพดิน และเป็นสารต่อต้านเชื้อรา และไวรัสบางชนิด ซึ่งปุ๋ยเคมีชนิดควบคุมการปลดปล่อยที่ในรูปของไฮโดรเจล (hydrogel) นี้ หัวหน้าโครงการนี้ภายใต้ชื่อมหาวิทยาลัยบูรพาได้ยื่นจดสิทธิบัตรไว้แล้ว ดังรายละเอียด

ชื่อสิทธิบัตร : ปุ๋ยเคมีชนิดควบคุมการปลดปล่อยได้ (อยู่ระหว่างการยื่นขอรับสิทธิบัตร)

เลขที่คำขอ : 0901001167 ยื่นคำขอเมื่อวันที่ 17 มีนาคม 2552

ประกาศโฆษณา : เลขที่ 100714 เมื่อวันที่ 26 มีนาคม 2553

ดังนั้นโครงการนี้จึงต้องการพัฒนาต่อยอดโดยการสร้างเครื่องต้นแบบเพื่อผลิตปุ๋ยให้ได้คราวละมากๆ เพื่อนำปุ๋ยที่ผลิตได้ไปทดลองแจกจ่ายให้เกษตรกรและผู้สนใจนำใช้งานจริงในแปลงเกษตร เนื่องจากที่ผ่านมาปุ๋ยเคมีชนิดควบคุมการปลดปล่อยได้นี้ได้รับความสนใจนำไปเผยแพร่ในหนังสือพิมพ์ลานมะพร้าว ออนไลน์และนิตยสารไม่ลองไม่รู้เพื่อเกษตรกรวันนี้ และได้รับความสนใจจากเกษตรกรที่จะนำไปทดลองใช้เป็นจำนวนมาก ซึ่งการใช้เทคโนโลยีของโครงการฯ จะทำให้สามารถผลิตปุ๋ยเคมีชนิดควบคุมการปลดปล่อยได้คราวละมากๆ และคาดว่าเมื่อเกษตรกรนำปุ๋ยไปใช้จริง จะสามารถลดจำนวนครั้งในการใส่ปุ๋ยต่อรอบการผลิต ช่วยให้เกษตรกรใช้ปุ๋ยเคมีได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้นในปริมาณการใช้ที่ลดลง จึงน่าจะนำไปสู่การเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันทางการค้าและการผลิตที่มีคุณภาพอย่างยั่งยืน

2. วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

2.1 เพื่อพัฒนากระบวนการผลิต อุปกรณ์ และเครื่องจักรการผลิตปุ๋ยเคมีชนิดควบคุมการปลดปล่อย

2.2 ทดลองผลิตปุ๋ยเคมีชนิดควบคุมการปลดปล่อยเป็นผลิตภัณฑ์ต้นแบบ

3. ขอบเขตของโครงการวิจัย

ทดลองผลิตปุ๋ยเคมีควบคุมการปลดปล่อยแบบไฮโดรเจลซึ่งมีไคโตซานเป็นวัตถุดิบหลัก โดยพัฒนากระบวนการผลิต อุปกรณ์ และเครื่องจักรที่เหมาะสมที่สามารถผลิตได้จริงในเชิงอุตสาหกรรม

4. ทฤษฎี และกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย

ปุ๋ยเคมีเป็นปุ๋ยที่ได้จากการผลิตหรือสังเคราะห์ทางอุตสาหกรรมจากแร่ธาตุต่าง ๆ ที่ได้ตามธรรมชาติ ที่เป็นอนินทรีย์สาร ให้อยู่ในรูปของสารประกอบทางเคมีบางชนิด ซึ่งสามารถละลายน้ำและปลดปล่อยธาตุอาหารหลักของพืช (ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปรแตสเซียม) ให้อยู่ในรูปที่พืชจะดึงดูดขึ้นไปใช้ได้โดยง่าย อย่างไรก็ตามปุ๋ยเคมีที่ใช้ในการเกษตรก็ยังพบปัญหาเรื่องการปลดปล่อยแร่ธาตุออกมาในระยะเวลาอันรวดเร็ว ส่งผลให้เกิดความสูญเปล่าของแร่ธาตุหรือมีปริมาณธาตุอาหารมากเกินความจำเป็น ที่ผ่านมาจึงมีการผลิตปุ๋ยเคมีชนิดที่ปลดปล่อยช้าเพื่อลดปัญหาดังกล่าว และพัฒนาขึ้นมาใช้กันอย่างแพร่หลายโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้สามารถใช้ปุ๋ยได้อย่างมีประสิทธิภาพ ที่ผ่านมามีการใช้สารเคลือบเม็ดปุ๋ยเคมีเพื่อควบคุมการปลดปล่อย เช่น การเคลือบด้วยสารซิลิเกต (silicate) พอลิยูรีเทน (polyurethane) เรซินเทอร์โมเซตติง (resin thermosetting) ซึ่งมีราคาแพงและมีความแตกต่างจากปุ๋ยเคมีชนิดควบคุมการปลดปล่อยตามโครงการนี้ ที่ประกอบไปด้วยธาตุอาหารหลักของพืช นำมาสังเคราะห์ให้เป็นไฮโดรเจลที่มีโครงสร้างที่สามารถเก็บน้ำและธาตุอาหารได้ดีสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับน้ำในดิน ลดการสูญเสียน้ำ และปลดปล่อยปุ๋ยและน้ำสู่พืชออกมาอย่างช้าๆ ส่งผลให้พืชได้ใช้ประโยชน์จากปุ๋ยได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ยังสามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติอีกด้วย เนื่องจากพอลิเมอร์ที่ใช้ในการสังเคราะห์ไฮโดรเจลเป็นสารที่ได้จากธรรมชาติ จึงไม่เป็นพิษและไม่ก่อให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้นการทดลองผลิตปุ๋ยไฮโดรเจลนี้จากเครื่องต้นแบบที่จะสร้างขึ้นในโครงการนี้ จึงทำให้ได้ปุ๋ยจำนวนมากต่อการผลิต 1 ครั้ง สามารถแจกจ่ายให้เกษตรกรและผู้สนใจทั่วไปทดลองใช้ นอกจากนี้เครื่องต้นแบบที่จะสร้างขึ้นยังเป็นตัวอย่างที่จะนำไปปรับใช้ในอุตสาหกรรมได้

5. การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

ในปี 1977 Shavit และคณะ [1] ได้สร้างเครื่องมือควบคุมการปล่อยน้ำและปุ๋ย (controlled release fertilizer) ซึ่งมีลักษณะเป็นทรงกระบอกสำหรับฝังไว้ใต้ดิน มีปลายเปิดด้านหนึ่งอยู่ใต้พื้นดิน และปลายเปิดอีกด้านอยู่เหนือพื้นดินสำหรับรับน้ำจากภายนอก สารที่บรรจุในเครื่องมือนี้ประกอบด้วยสารผสมแห้งของปุ๋ยและสารทำให้ข้น (thickener) ซึ่งเป็นสารพอลิเมอร์หรือเซลลูโลส และพบว่าระบบนี้สามารถควบคุมอัตราและรูปแบบของการปลดปล่อยน้ำและปุ๋ยได้ กระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการปลดปล่อยน้ำและปุ๋ยเกิดขึ้นสองขั้นตอนคือ ขั้นตอนแรกน้ำจะผ่านเข้าสู่ปลายเปิดด้านที่อยู่เหนือพื้นดินและซึมไปหาสารผสมแห้งของปุ๋ยและสารทำให้ข้นจนปุ๋ยเปียกน้ำ ขั้นตอนที่สองปุ๋ยที่ละลายน้ำจะให้ธาตุอาหารออกมาในรูปของไอออนที่ละลายน้ำได้ และแพร่ออกจากเครื่องมือออกสู่ดินภายนอก จากการศึกษาพบว่าสิ่งที่มีผลต่ออัตราและรูปแบบของการปลดปล่อยน้ำและปุ๋ยได้แก่ ชนิดของปุ๋ย ชนิดและปริมาณของ

สารทำให้ข้น ขนาดของเครื่องเครื่องมือควบคุมการปล่อยน้ำและปุ๋ย และเส้นผ่านศูนย์กลางปลายเปิดใต้พื้นดิน อีก 6 ปีต่อมา Shavit และคณะ [2] ได้พัฒนาเครื่องมือควบคุมการปลดปล่อยน้ำและปุ๋ยจากเดิม โดยเปลี่ยนของผสมแห้งจากปุ๋ยและสารทำให้ข้น ไปเป็นปุ๋ยและพอลิเมอร์เจล รวมทั้งได้พัฒนาการรับน้ำของเครื่องมือนี้ ให้รับได้ทั้งน้ำที่อยู่ในสถานะของเหลวและน้ำที่อยู่ในสถานะไอ เขาพบว่าเมื่อเครื่องมือได้รับน้ำในสถานะ ของเหลว อัตราการปลดปล่อยน้ำและปุ๋ย จะมากกว่าอัตราการปลดปล่อยน้ำและปุ๋ยเมื่อเครื่องมือได้รับน้ำในสถานะไอ ดังนั้นการสร้างเครื่องมือที่มีศักยภาพในการรับน้ำ ทั้งสองสถานะ เข้าไว้ด้วยกัน จะทำให้สามารถควบคุมอัตราการปลดปล่อยน้ำและปุ๋ยได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น Emilsson และคณะ [3] ได้ทำการศึกษาผลของวิธีรดน้ำและปุ๋ยแก่พืชแบบดั้งเดิม เปรียบเทียบกับวิธีการใช้ระบบควบคุมการปลดปล่อยน้ำและปุ๋ย พบว่าวิธีรดน้ำและปุ๋ยแก่พืชแบบดั้งเดิม ทำให้ปุ๋ยถูกชะหายไปกับน้ำ ซึ่งไหลออกจากแปลงทดลอง มากกว่าวิธีการใช้ระบบควบคุมการปล่อยน้ำและปุ๋ย นอกจากนี้ยังพบว่า การใช้ระบบควบคุมการปล่อยน้ำและปุ๋ยทำให้ความชื้นคงอยู่ในดินได้นานกว่าอีกด้วย Hanafi และคณะ [4] ได้ทำการศึกษาสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางเคมีของระบบควบคุมการปลดปล่อยน้ำและปุ๋ย ที่สร้างจากการเคลือบพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ ลงบนเม็ดปุ๋ย จากการทดลองพบว่าสมบัติทางความร้อน และการทนต่อปฏิกิริยาออกซิเดชันของระบบขึ้นอยู่กับชนิดของพอลิเมอร์ที่ใช้เคลือบ ดังนั้นการเปลี่ยนชนิดของพอลิเมอร์ที่ใช้เคลือบก็เป็นอีกวิธีหนึ่งที่จะช่วยพัฒนาระบบควบคุมการปลดปล่อยน้ำและปุ๋ย ให้เหมาะสมกับความต้องการของพืชแต่ละชนิด ในปี 2002 Tomaszewska และคณะ [5] ได้ทำการศึกษาสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางเคมี ของระบบควบคุมการปลดปล่อยน้ำและปุ๋ย ที่สร้างจากการเคลือบพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ ลงบนเม็ดปุ๋ย และพบว่าความเป็นรูพรุน ของผิวเคลือบพอลิเมอร์ จะลดลงเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายพอลิเมอร์ที่ใช้ในการเคลือบ นั่นคือความเข้มข้นของสารละลายพอลิเมอร์ที่ใช้ในการเคลือบเม็ดปุ๋ย มีผลต่ออัตราการปลดปล่อยน้ำและปุ๋ยของระบบ ในปี 2007 Liang และคณะ [6] ได้เสนอระบบควบคุมการปลดปล่อยน้ำและปุ๋ยที่ทำจากพอลิเมอร์เจลที่มีคุณสมบัติในการดูดซับน้ำที่ดียิ่ง (superabsorbents) อัตราการปลดปล่อยน้ำและปุ๋ยจากตัวดูดซับเหล่านี้ ขึ้นอยู่กับอัตราการสลายตัวของพอลิเมอร์ ซึ่งขึ้นอยู่กับน้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์ ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง อุณหภูมิ ไอออนและสิ่งมีชีวิตจำพวก microorganism ในดิน จากการศึกษาพบว่าระบบนี้สามารถดูดซับน้ำที่ดี มีการพองตัวได้มาก ทำให้ดินกักเก็บความชุ่มชื้นไว้ได้นาน สามารถปลดปล่อยธาตุอาหารจำเป็นของพืช ได้แก่ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปแตสเซียม อย่างช้าๆ จึงเหมาะสมสำหรับใช้เป็น ระบบควบคุมการปลดปล่อยน้ำและปุ๋ยได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในปี 2010 Jamnongkan and Kaewpirom [7-8] ได้สังเคราะห์ปุ๋ยชนิดควบคุมการปลดปล่อยได้ที่มีไคโตซานเป็นองค์ประกอบ และศึกษาอัตราการดูดซับน้ำและการปลดปล่อยธาตุโปแตสเซียมและฟอสฟอรัสจากปุ๋ยดังกล่าว พบว่าปุ๋ยที่สังเคราะห์ขึ้นแสดงค่าการอุ้มน้ำที่สูงถึงร้อยละ 300 สามารถรักษาความชื้นในดินได้มากกว่า ดินที่ไม่ใส่ปุ๋ยได้สูงสุดถึงร้อยละ 25 หลังจากเวลาผ่านไป 30 วัน ที่อุณหภูมิห้อง ความดันและความชื้นปกติ และปุ๋ยที่สังเคราะห์ขึ้นสามารถปลดปล่อยปุ๋ยได้ด้วยอัตราการปลดปล่อยสะสมคงที่ได้มากถึง 30 วัน

6. วิธีการดำเนินการวิจัย

6.1 รวบรวมข้อมูลเอกสารที่เกี่ยวข้องสำหรับการทำวิจัยในขั้นตอนต่าง ๆ

6.2 จัดหาสารเคมี วัสดุ และอุปกรณ์ สำหรับการสร้างเครื่องต้นแบบ และผลิตปุ๋ยเคมีชนิดควบคุมการปลดปล่อยเพื่อเป็นปุ๋ยต้นแบบ

6.3 พัฒนาเครื่องต้นแบบในการผลิตปุ๋ยชนิดควบคุมการปลดปล่อย โดยพัฒนากระบวนการผลิตปุ๋ยให้เหมาะกับการผลิตระดับอุตสาหกรรม

6.3.1 พัฒนาเครื่องต้นแบบผสมปุ๋ยและ เครื่องต้นแบบทำเม็ดปุ๋ย ให้สามารถผลิตปุ๋ยได้ ที่อัตราการผลิตประมาณ 5 กิโลกรัม/วัน

6.3.2 ผลิตปุ๋ยตามขั้นตอน โดยใช้วัตถุดิบ เช่น ไคโตซาน พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ กลูตารัลดีไฮด์ ไดไฮโดรเจนแอมโมเนียมฟอสเฟต โพแทสเซียมไนเตรด และ แอมโมเนียมคลอไรด์

6.3.3 นำวัตถุดิบตามข้อ 3.2 เข้าเครื่องผสมให้เข้ากัน ตามสัดส่วนของกรรมวิธีการผลิตปุ๋ยเคมีชนิดควบคุมการปลดปล่อยได้

6.3.4 นำวัตถุดิบที่ผ่านการผสมมาเข้าเครื่องทำเม็ดปุ๋ย

6.3.5 นำเม็ดปุ๋ยที่ได้เข้าเครื่องอบ

6.3.6 บรรจุถุงเพื่อเตรียมนำไปแจกจ่ายให้กับเกษตรกรและผู้สนใจได้ทดลองใช้

7. ระยะเวลาทำการวิจัย และแผนการดำเนินงานตลอดโครงการวิจัย

ระยะเวลาในการทำวิจัย 1 ปี

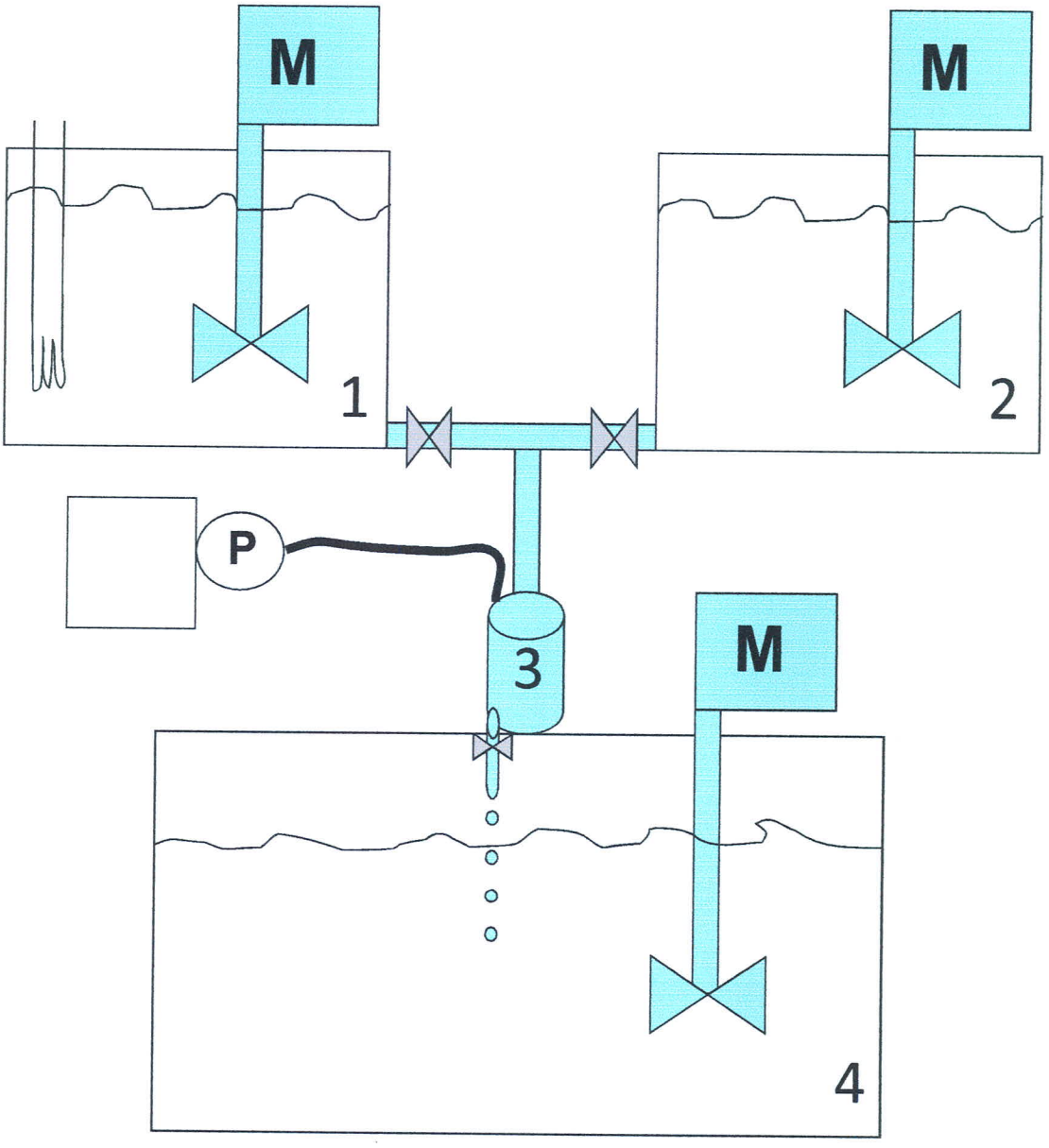
แผนการวิจัย

ระยะเวลา	วิธีดำเนินการวิจัย	เป้าหมาย
เดือนที่ 1-3	**กิจกรรม:** - รวบรวมข้อมูล จัดหาสารเคมี วัสดุ และอุปกรณ์ วัสดุอุปกรณ์: โทรศัพท์ โทรสาร อินเตอร์เน็ต **บุคลากร:** คณะผู้วิจัย และผู้ช่วยนักวิจัย	- ได้วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมีที่จำเป็นสำหรับโครงการ
เดือนที่ 4-8	**กิจกรรม:** - พัฒนาเครื่องต้นแบบในการผลิตปุ๋ยชนิดควบคุมการปลดปล่อย ซึ่งประกอบด้วยเครื่องต้นแบบผสมปุ๋ย และเครื่องต้นแบบทำเม็ดปุ๋ย **วัสดุอุปกรณ์:** ถังสเตนเลส เครื่องทำความร้อน เครื่องกวนพร้อมใบพัด อ่างผสม สกรู ท่อ ข้อต่อ วาล์ว ฟิตติ้ง สายไฟ สวิชต์ ชุดควบคุมระบบไฟฟ้า **บุคลากร:** คณะผู้วิจัย และผู้ช่วยนักวิจัย	- ได้เครื่องต้นแบบผลิตปุ๋ย สามารถผลิตปุ๋ยในได้อย่างเหมาะสม และสามารถปรับปรุงต่อยอดในเชิงอุตสาหกรรม
เดือนที่ 9-10	**กิจกรรม** - ทดลองผลิตปุ๋ยจากเครื่องต้นแบบ - ทดสอบกำลังผลิตจริงที่สามารถผลิตได้ต่อวัน **วัสดุอุปกรณ์:** พอลิเมอร์ สารเคมี ปุ๋ยเคมี **บุคลากร:** คณะผู้วิจัย และผู้ช่วยนักวิจัย	- ได้ปุ๋ยจากเครื่องต้นแบบเพื่อแจกจ่ายให้กับเกษตรกรและผู้สนใจได้ทดลองใช้
เดือนที่ 11-12	- ศึกษาต้นทุนการผลิตปุ๋ยเคมีชนิดควบคุมการปลดปล่อย ประสิทธิภาพของเครื่องผลิตปุ๋ย - วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง จัดทำรายงานฉบับสมบูรณ์ **วัสดุอุปกรณ์:** ข้อมูลการทดลอง เอกสารอ้างอิงที่มีผู้เสนอไว้แล้ว **บุคลากร:** คณะผู้วิจัย และผู้ช่วยนักวิจัย	- ได้รายงานผลการวิจัย

8. ผลการดำเนินงาน

8.1 การพัฒนาเครื่องต้นแบบในการผลิตปุ๋ยชนิดควบคุมการปลดปล่อย

เครื่องต้นแบบในการผลิตปุ๋ยชนิดควบคุมการปลดปล่อยประกอบด้วยเครื่องต้นแบบผสมปุ๋ย และเครื่องต้นแบบทำเม็ดปุ๋ย ดังแผนผัง



รูปที่ 1 แผนผังแสดงส่วนประกอบของเครื่องต้นแบบในการผลิตปุ๋ยชนิดควบคุมการปลดปล่อย

จากแผนผัง ไคโตซานจะถูกนำเข้าถังผสม (หมายเลข 1 และ 2) และละลายด้วยสารละลายกรดอะซิติกเข้มข้น 2 %v/v กวนด้วยใบพัดเป็นเวลา 1-2 ชั่วโมง เพื่อให้ได้สารละลายไคโตซานเข้มข้น 3 %w/v จากนั้นเติมแม่ปุ๋ยในปริมาณตามสูตรที่กำหนดลงในสารละลายไคโตซาน กวนด้วยใบพัดจน

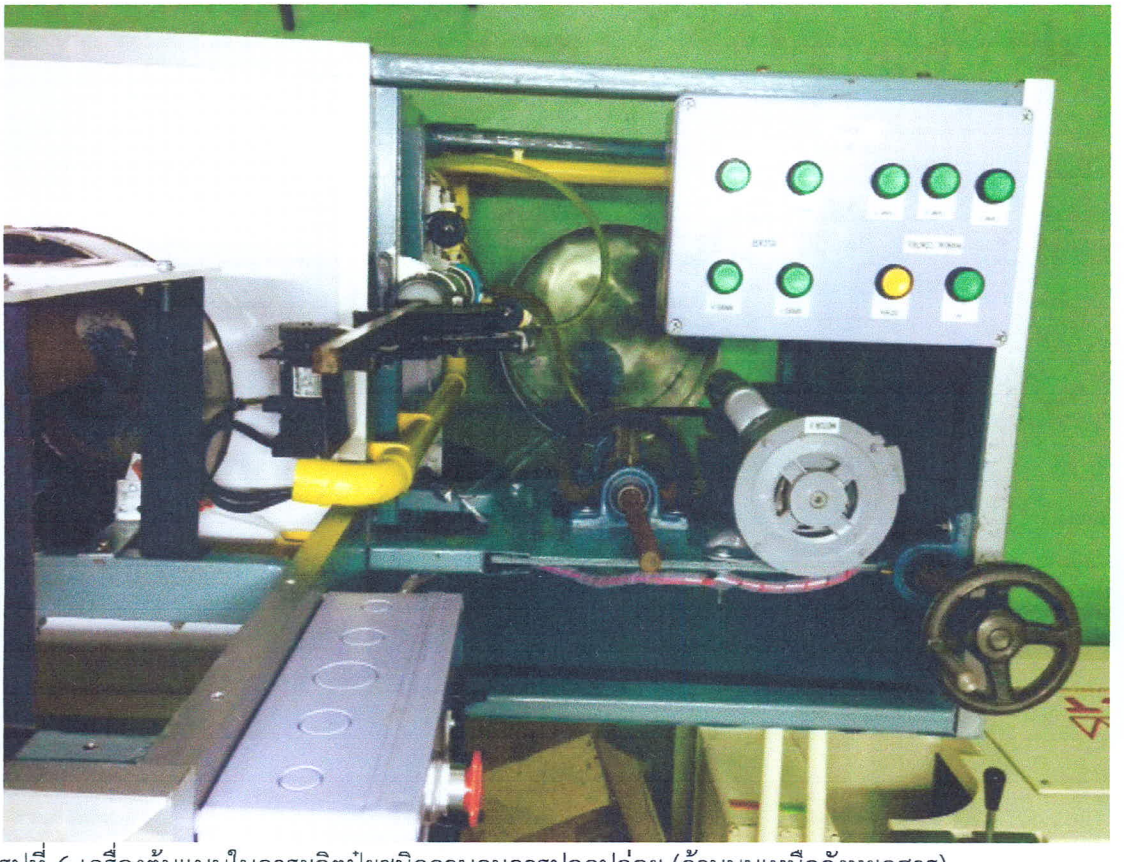
สารละลายเป็นเนื้อเดียวกัน จึงเปิดให้ไหลเข้าสู่กระบอกผสม (หมายเลข 3) ซึ่งมีสารละลายกลูตารัลดีไฮด์เข้มข้น 0.5 %w/v อยู่ สารผสมจะถูกดันด้วยกระบอกสูบเพื่อให้หยดลงในถังหมายเลข 4 ซึ่งมีสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 3 %w/v บรรจุอยู่ในปริมาณมากเกินพอ และกวนด้วยใบพัดตลอดเวลาเพื่อไม่ให้เม็ดปุ๋ยจับตัวเป็นก้อนขนาดใหญ่ ในขั้นตอนนี้เองไคซานจะเกิดการเชื่อมขวางระหว่างโมเลกุลด้วยกลูตารัลดีไฮด์ เกิดเป็นโครงร่างตาข่าย จึงมีลักษณะเป็นเม็ดเจล ซึ่งก็คือปุ๋ยไฮโดรเจลชนิดควบคุมการปลดปล่อยนั่นเอง ขั้นตอนสุดท้ายเม็ดปุ๋ยไฮโดรเจลเหล่านี้จะถูกนำไปล้างอีกครั้งด้วยน้ำประปาเพื่อกำจัดด่างส่วนเกิน แล้วจึงนำเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 40 °C เป็นเวลา 2-3 คืน จะได้เม็ดปุ๋ยไฮโดรเจลแห้งพร้อมแจกจ่ายให้กับผู้สนใจทั่วไป เครื่องต้นแบบในการผลิตปุ๋ยชนิดควบคุมการปลดปล่อยพร้อมใช้งาน แสดงดังรูปที่ 2 และคู่มือการใช้งานอย่างละเอียดแสดงในภาคผนวก

รูปที่ 2 เครื่องต้นแบบในการผลิตปุ๋ยชนิดควบคุมการปลดปล่อย (ด้านหน้า)

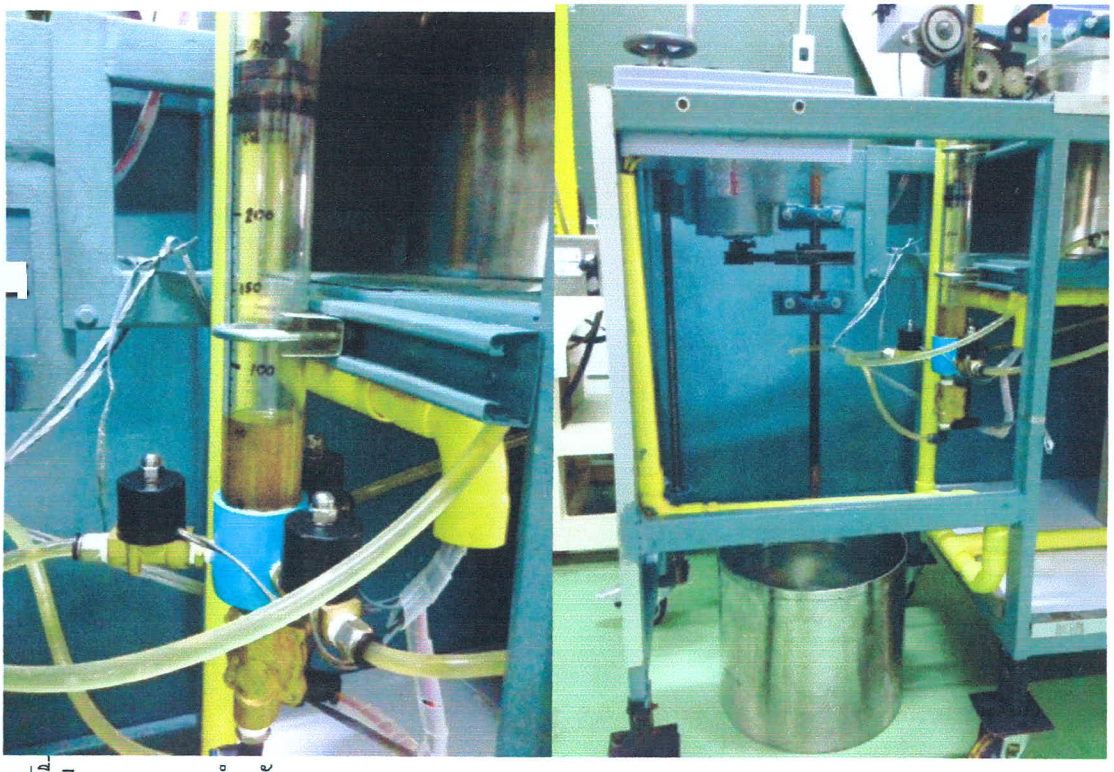
รูปที่ 3 เครื่องต้นแบบในการผลิตปุ๋ยชนิดควบคุมการปลดปล่อย (ด้านข้าง-ซ้าย)

รูปที่ 4 เครื่องต้นแบบในการผลิตปุ๋ยชนิดควบคุมการปลดปล่อย (ด้านข้าง-ขวา)

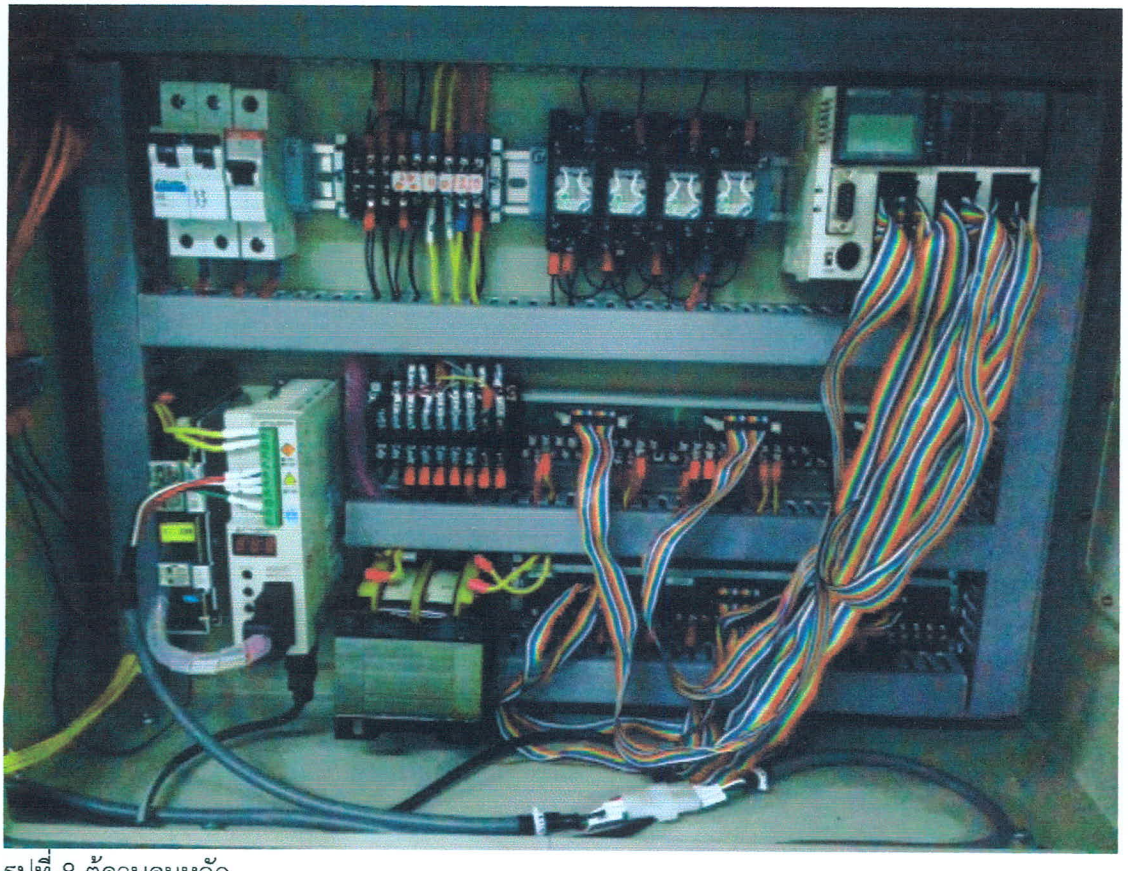
รูปที่ 5 เครื่องต้นแบบในการผลิตปุ๋ยชนิดควบคุมการปลดปล่อย (ด้านหลัง)



รูปที่ 6 เครื่องต้นแบบในการผลิตปุ๋ยชนิดควบคุมการปลดปล่อย (ด้านบนเหนือถังหยดสาร)



รูปที่ 7 กระบอกสูบสำหรับหยดสาร



รูปที่ 8 ตู้ควบคุมหลัก

8.2 ทดลองผลิตปุ๋ยจากเครื่องต้นแบบ และทดสอบกำลังผลิตจริงที่สามารถผลิตได้ต่อวัน

ปุ๋ยที่ได้จากสารอนินทรีย์ หรืออินทรีย์สังเคราะห์ ซึ่ง มีธาตุอาหารหลัก NPK โดยมีขบวนการตั้งต้นมาจากก๊าซแอมโมเนีย (NH_3) ซึ่งได้มาจากการสังเคราะห์น้ำมัน และเมื่อนำมารวมกับกรดโดยผ่านขบวนการทางเคมี จะได้ธาตุ N P K ออกมาเป็นแม่ปุ๋ยสูตรต่างๆ แล้วแต่ว่าจะใช้กรดชนิดใดในการทำปฏิกิริยา (ดังนั้นหากใช้ปุ๋ยเคมีไม่ถูกวิธีจะทำให้ดินเป็นกรด) [9]

ประเทศไทยยังไม่มีโรงงานผลิตแม่ปุ๋ย เพราะต้นทุนการผลิตสูง จึงนำเข้าแม่ปุ๋ยมาจากต่างประเทศ เช่น ยูเรีย แอมโมเนียเหลว หินฟอสเฟตและโพแทสเซียมคลอไรด์ เป็นต้น เมื่อโรงงานปุ๋ยในประเทศได้แม่ปุ๋ยมาแล้ว จึงผลิตปุ๋ยโดยนำแม่ปุ๋ยมาผสมปั้นเป็นเม็ด โดยมีแม่ปุ๋ยตั้งแต่หนึ่งตัวขึ้นไปตามสูตรที่ต้องการ เช่น ปุ๋ยสูตร 15–15–15 หมายความว่า จะนำแม่ปุ๋ยมาคำนวณให้ในเนื้อปุ๋ย 100 กิโลกรัมมี ไนโตรเจน (N) อยู่ 15 กิโลกรัม ฟอสฟอรัส (P) อยู่ 15 กิโลกรัม และมีโปแตสเซียม (K) อยู่ 15 กิโลกรัม รวมเป็น 45 กิโลกรัม และอีก 55 กิโลกรัมที่เหลือจะเป็นสารเติมแต่ง (Filler) เพื่อให้ได้ปริมาณครบจำนวน 100 กิโลกรัม ซึ่งฟิลเลอร์ที่นิยมใช้คือดินขาว (Clay)

ดังนั้นในการผลิตปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยในงานวิจัยนี้ จึงใช้สูตรปุ๋ยอ้างอิงจากปุ๋ยที่มีขายอยู่ตามท้องตลาดสองสูตร คือสูตร 5-5-5 สำหรับยางพารา ข้าว มันสำปะหลัง ข้าวโพด ลำไย ถั่วเหลือง และผัก และสูตร 15-0-0 สำหรับกุหลาบเพื่อเร่งการออกดอก เพื่อให้เกษตรกรเลือกใช้ตามความเหมาะสมกับชนิดของพืชที่ตนเองปลูก และใช้แม่ปุ๋ยสามชนิดได้แก่ ไดไฮโดรเจนแอมโมเนียมฟอสเฟต $(NH_4)_2HPO_4$ (ให้ปริมาณธาตุอาหารรับรอง NPK เท่ากับ 18-46-0)) โพแทสเซียมไนเตรด KNO_3 (ให้ปริมาณธาตุอาหารรับรอง NPK เท่ากับ 13-0-46) และ แอมโมเนียมคลอไรด์ NH_4Cl (ให้ปริมาณธาตุอาหารรับรอง NPK เท่ากับ 25-0-0) [10] น้ำหนักของส่วนผสมในการผลิตปุ๋ยสูตร 5-5-5 และ 15-0-0 แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 น้ำหนักของส่วนผสมในการผลิตปุ๋ยสูตร 5-5-5 และ 15-0-0

ปุ๋ยสูตร 5-5-5

(NH4)2HPO4 (g)	KNO3 (g)	NH4Cl (g)	CS(g)	3%CS solution (mL)
10.87	10.87	6.52	71.74	2391.30

ปุ๋ยสูตร 15-0-0

(NH4)2HPO4 (g)	KNO3 (g)	NH4Cl (g)	CS(g)	3%CS solution (mL)
0.00	0.00	60.00	40.00	1333.33

8.2.1 การผลิตปุ๋ยจากเครื่องต้นแบบ

8.2.1.1 เครื่องมือ

- เครื่องชั่ง (ทศนิยม 2 ตำแหน่ง) บริษัท Mettler โมเดล AE 200S
- เครื่องผสมปุ๋ยต้นแบบ
- ตู้อบลมร้อน (Oven) บริษัท Binder โมเดล FED 240

8.2.1.2 สารเคมี

- ไคโตซาน (Chitosan ; CS), commercial grade, น้ำหนักโมเลกุลปานกลาง, ระดับการกำจัดหมู่อะเซททิล (%DD) = 90.21
- ไดไฮโดรเจนแอมโมเนียมฟอสเฟต (Dihydrogen ammonium phosphate ; $(NH_4)_2HPO_4$), analytical reagent, Loba Chemie, M_w 132.06 g/mol
- โพแทสเซียมไนเตรท (Potassium nitrate ; KNO_3), analytical reagent, RANKEM, M_w 101.11 g/mol
- แอมโมเนียมคลอไรด์ (Ammonium chloride ; NH_4Cl), analytical reagent, Loba Chemie, M_w 53.49 g/mol
- กรดอะซิติก (Acetic acid ; CH_3COOH), commercial grade
- โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxyl ; NaOH), commercial grade
- สารละลายกลูตารัลดีไฮด์ (Glutaraldehyde), solution 50 %w/v, Fluka, M_w 100.12 g/mol

8.2.1.3 ขั้นตอนการทดลอง

การเตรียมสารละลายกรดอะซิติกเข้มข้น 2 %w/v ปริมาตร 10 ลิตร

เติมน้ำลงในถังผสม (ในเครื่องทำปุ๋ย) ขนาด 10 ลิตรเล็กน้อย จากนั้นเติมกรดอะซิติกเข้มข้นปริมาตร 190 mL ปรับปริมาตรสารละลายให้เป็น 10 ลิตร

การเตรียมสารละลายไคโตซานเข้มข้น 3 %w/v ในสารละลายกรดอะซิติกเข้มข้น 2 %w/v ปริมาตร 10 ลิตร

ชั่งไคโตซาน 300 กรัม ละลายในสารละลายกรดอะซิติกความเข้มข้น 2% w/v ปรับปริมาตรสารละลายเป็น 10 ลิตรในถังผสม คนสารละลายด้วยใบพัดโลหะเป็นเวลา 30 นาที เพื่อให้สารละลายเป็นเนื้อเดียวกัน

การเตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 3 %w/v ปริมาตร 20 ลิตร

ชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ 600 กรัม ลงในถังผสมขนาด 20 ลิตร เติมน้ำลงในถัง ปรับปริมาตรสารละลายให้เป็น 20 ลิตร คนสารละลายด้วยใบพัดโลหะจนกระทั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ละลายจนหมด

การเตรียมปุ๋ยสูตร 15-0-0

ใช้อัตราส่วนเป็นร้อยละโดยน้ำหนักของแม่ปุ๋ย ดังนี้

$(NH_4)_2HPO_4$ (%)	KNO_3 (%)	NH_4Cl (%)	Chitosan (%)
0	0	60	40

ชั่งไคโตซาน 300 กรัม ละลายในสารละลายกรดอะซิติกความเข้มข้น 2% v/v ปรับปริมาตรสารละลายเป็น 10 ลิตร คนสารละลายด้วยใบพัดโลหะในถังผสมเป็นเวลา 30 นาที เพื่อให้สารละลายเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นเติมแอมโมเนียมคลอไรด์ (NH_4Cl) 450 กรัม ลงในสารละลายไคโตซาน กวนเป็นเวลา 30 นาที เพื่อให้สารละลายเป็นเนื้อเดียวกัน ต่อไปเติมสารละลายกลูตารัลดีไฮด์ปริมาตร 2.68 mL เพื่อให้ได้ไคโตซานไฮโดรเจลที่มีองศาการเชื่อมขวางเท่ากับ 0.5 % กวนด้วยใบพัดโลหะเป็นเวลา 10 นาที จนสารละลายเป็นเนื้อเดียวกันจึงหยดสารละลายปุ๋ยสูตร15-0-0 ลงในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 3%w/v ปริมาตร 20 L เพื่อให้สารละลายปุ๋ยจับตัวเป็นไฮโดรเจลเม็ดกลม สีเหลืองซีดมาก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.5 cm ดังรูปที่ 9 จากนั้นล้างเม็ดปุ๋ยในน้ำสะอาด 3 รอบ เพื่อล้างสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ออกไป และนำเม็ดปุ๋ยไปอบที่อุณหภูมิ 40 °C เป็นเวลา 52 ชั่วโมง จะได้ปุ๋ยไฮโดรเจลแห้งสีน้ำตาลอ่อน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.2-0.25 cm ดังรูปที่ 10

รูปที่ 9 เม็ดปุ๋ยสูตร 15-0-0 ที่เตรียมขึ้นใหม่

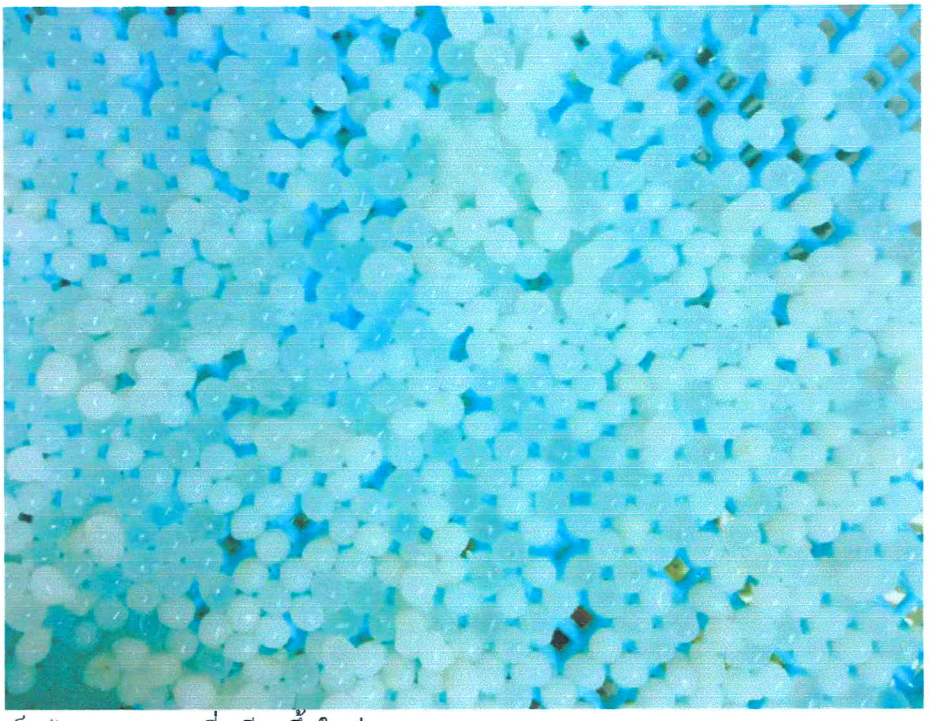
รูปที่ 10 เม็ดปุ๋ยสูตร 15-0-0 หลังจากอบแห้งแล้ว

การเตรียมปุ๋ยสูตร 5-5-5

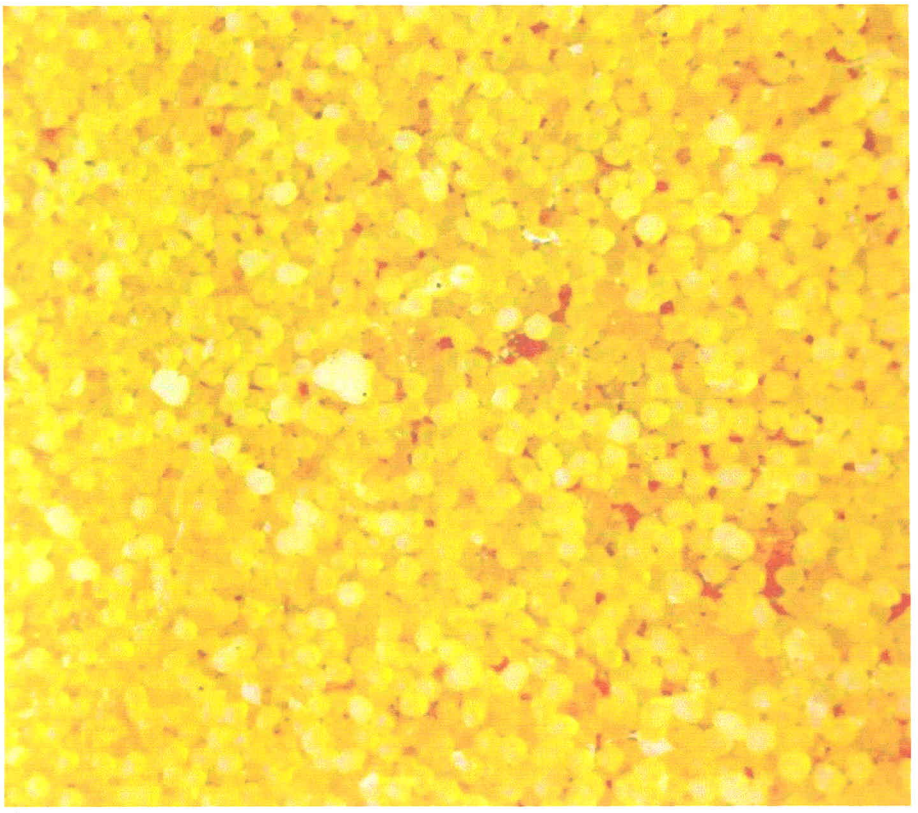
ใช้อัตราส่วนเป็นร้อยละโดยน้ำหนักของแม่ปุ๋ย ดังนี้

$(NH_4)_2HPO_4$ (%)	KNO_3 (%)	NH_4Cl (%)	Chitosan (%)
10.87	10.87	6.52	71.74

ชั่งไคโตซาน 300 กรัม ละลายในสารละลายกรดอะซิติกเข้มข้น 2% v/v ปรับปริมาตรสารละลายเป็น 10 ลิตร คนสารละลายด้วยใบพัดโลหะในถังผสมเป็นเวลา 30 นาที เพื่อให้สารละลายเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นเติมไดไฮโดรเจนแอมโมเนียมฟอสเฟต ($(NH_4)_2HPO_4$) 45.46 กรัม โพแทสเซียมไนเตรท (KNO_3) 45.46 กรัม และแอมโมเนียมคลอไรด์ (NH_4Cl) 27.26 กรัม ตามลำดับ ลงในสารละลายไคโตซาน กวนด้วยใบพัดโลหะเป็นเวลา 30 นาที เพื่อให้สารละลายเป็นเนื้อเดียวกัน ต่อไปเติมสารละลายกลูตารัลดีไฮด์ปริมาตร 2.68 mL เพื่อให้ได้ไคโตซานไฮโดรเจลที่มีองศาการเชื่อมขวางเท่ากับ 0.5 % กวนด้วยใบพัดโลหะเป็นเวลา 10 นาที จนสารละลายเป็นเนื้อเดียวกันจึงหยดสารละลายปุ๋ยสูตร 5-5-5 ลงในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 3%w/v ปริมาตร 20 L เพื่อให้สารละลายปุ๋ยจับตัวเป็นไฮโดรเจลเม็ดกลม สีขาวขุ่นคล้ายไข่มุก ดังรูปที่ 11 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.5 cm จากนั้นล้างเม็ดปุ๋ยในน้ำสะอาด 3 รอบ เพื่อล้างสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ออกไป และนำเม็ดปุ๋ยไปอบที่อุณหภูมิ 40 °C เป็นเวลา 52 ชั่วโมง จะได้ปุ๋ยไฮโดรเจลแห้งสีน้ำตาลอ่อน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.2-0.25 cm ดังรูปที่ 12



รูปที่ 11 เม็ดปุ๋ยสูตร 5-5-5 ที่เตรียมขึ้นใหม่



รูปที่ 12 เม็ดปุ๋ยสูตร 5-5-5 หลังจากอบแห้งแล้ว

8.2.2 การทดสอบกำลังการผลิตต่อวัน

ในการทดลองใช้งานเครื่องผสมปุ๋ยไฮโดรเจลต้นแบบ ในการผลิตปุ๋ยสูตร 15-0-0 โดยใช้น้ำหนักเริ่มต้นของไคซาน 300 กรัม พบว่าในขั้นตอนการผลิตปุ๋ยนั้น ใช้เวลาในการเตรียมสารละลายไคซาน 30 นาที เวลาในการผสมแม่ปุ๋ยเข้ากับสารละลายไคซาน 30 นาที เวลาผสมสารละลายเชื่อมขวางลงไปในสารละลายปุ๋ย 10 นาที เวลาในการหยดปุ๋ย (ก่อตัวเป็นเม็ด) จากกระบอกสูบ 1 อัน ลงในสารละลายเบส 16 ชั่วโมง เวลาในการล้างด้วยน้ำประปาสามรอบ 20 นาที รวมเวลาทั้งสิ้น 17 ชั่วโมง 30 นาที ได้ปุ๋ยน้ำหนักเปียก 4,575 กรัม (น้ำหนักแห้ง 235.5 กรัม) ดังนั้นเครื่องผลิตปุ๋ยต้นแบบสามารถผลิตปุ๋ยได้ 6.27 กิโลกรัม (เปียก)/วัน/1 กระบอกสูบ หรือ 0.32 กิโลกรัม (แห้ง)/วัน/1 กระบอกสูบ

ในการทดลองใช้งานเครื่องผสมปุ๋ยไฮโดรเจลต้นแบบ ในการผลิตปุ๋ยสูตร 5-5-5 โดยใช้น้ำหนักเริ่มต้นของไคซาน 300 กรัม พบว่าในขั้นตอนการผลิตปุ๋ยนั้น ใช้เวลาในการเตรียมสารละลายไคซาน 30 นาที เวลาในการผสมแม่ปุ๋ยเข้ากับสารละลายไคซาน 30 นาที เวลาผสมสารละลายเชื่อมขวางลงไปในสารละลายปุ๋ย 10 นาที เวลาในการหยดปุ๋ย (ก่อตัวเป็นเม็ด) จากกระบอกสูบ 1 อัน ลงในสารละลายเบส 16 ชั่วโมง เวลาในการล้างด้วยน้ำประปาสามรอบ 20 นาที รวมเวลาทั้งสิ้น 17 ชั่วโมง 30 นาที ได้ปุ๋ยน้ำหนักเปียก 5,747 กรัม คิดเป็นน้ำหนักแห้ง 500 กรัม ดังนั้นเครื่องผลิตปุ๋ยต้นแบบสามารถผลิตปุ๋ยได้ 7.88 กิโลกรัม (เปียก)/วัน/1 กระบอกสูบ หรือ 0.68 กิโลกรัม (แห้ง)/วัน/1 กระบอกสูบ

จากผลการทดสอบชี้ให้เห็นว่าการหยดปุ๋ยจากกระบอกสูบเป็นขั้นตอนที่ใช้เวลานานมากที่สุด ดังนั้นหากต้องการกำลังผลิตต่อวันที่มากขึ้นก็สามารถเพิ่มจำนวนกระบอกสูบที่ใช้ในการหยดสารได้

8.3 ศึกษาต้นทุนการผลิตปุ๋ยเคมีชนิดควบคุมการปลดปล่อย ประสิทธิภาพของเครื่องผลิตปุ๋ย

ราคาวัตถุดิบที่ใช้ผลิตปุ๋ยมีดังนี้

-ไคโตซานเกล็ดจากเปลือกกุ้ง (850 บาท/ 1กก.)

-สารละลายกลูตารัลดีไฮด์ 50% (2,000 บาท/25 mL)

-ไดไฮโดรเจนแอมโมเนียมฟอสเฟต (510 บาท/ 1กก.)

-โพแทสเซียมไนเตรด (250 บาท/ 1กก.)

-แอมโมเนียมคลอไรด์ (540 บาท/ 1กก.)

-กรดแอซิติก (400 บาท/1 L)

-โซเดียมไฮดรอกไซด์ (300บาท/กก.)

ในการทดลองผลิตปุ๋ยสูตร 15-0-0 จากเครื่องผสมปุ๋ยไฮโดรเจลต้นแบบ โดยใช้น้ำหนักเริ่มต้นของสารตั้งต้น และก่อให้เกิดต้นทุนวัตถุดิบ ดังนี้

-ไคโตซาน 300 กรัม คิดเป็นเงิน 255 บาท

-สารละลายกลูตารัลดีไฮด์ 50% 2.68 mL คิดเป็นเงิน 242 บาท

-แอมโมเนียมคลอไรด์ 450 กรัม คิดเป็นเงิน 243 บาท

-กรดแอซิติก 200 mL คิดเป็นเงิน 80 บาท

-โซเดียมไฮดรอกไซด์ 600 กรัม คิดเป็นเงิน 180 บาท

รวมเป็นเงิน 1,000 บาท

พบว่าได้ปุ๋ยน้ำหนักแห้งเท่ากับ 235 กรัม ดังนั้นต้นทุนวัตถุดิบในการผลิตปุ๋ยคิดเป็น 4,255 บาท/1 กก.

หมายเหตุ ราคาปุ๋ยเคมีสูตร 30-0-0 ตรานางฟ้าทรงฉัตร เท่ากับ 550-650 บาท / 50 กก. (http://www.akesuphan.net/index.php?mo=29 , สืบค้นข้อมูลเมื่อวันที่ 02 กันยายน 2556)

ในการทดลองผลิตปุ๋ยสูตร 5-5-5 จากเครื่องผสมปุ๋ยไฮโดรเจลต้นแบบ โดยใช้น้ำหนักเริ่มต้นของสารตั้งต้นและก่อให้เกิดต้นทุนวัตถุดิบ ดังนี้

-ไคโตซาน 300 กรัม คิดเป็นเงิน 255 บาท

-สารละลายกลูตารัลดีไฮด์ 50% 2.68 mL คิดเป็นเงิน 242 บาท

-แอมโมเนียมคลอไรด์ 27.3 กรัม คิดเป็นเงิน 15 บาท

-ไดไฮโดรเจนแอมโมเนียมฟอสเฟต 45.5 กรัม คิดเป็นเงิน 23 บาท

-โพแทสเซียมไนเตรท 45.5 กรัม คิดเป็นเงิน 12 บาท

-กรดแอซิติก 200 mL คิดเป็นเงิน 80 บาท

-โซเดียมไฮดรอกไซด์ 600 กรัม คิดเป็นเงิน 180 บาท

รวมเป็นเงิน 807 บาท

พบว่าได้ปุ๋ยน้ำหนักแห้งเท่ากับ 500 กรัม ดังนั้นต้นทุนวัตถุดิบในการผลิตปุ๋ยคิดเป็น 1,614 บาท/1 กก.

หมายเหตุ -ราคาปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 ตรานางฟ้าทรงฉัตร เท่ากับ 690-790 บาท / 50 กก. (http://www.akesuphan.com/web/product/ปุ๋ยเคมีตรา-5ห้านางฟ้าทรงฉัตรสูตร-15-15-15.html, สืบค้นข้อมูลเมื่อวันที่ 02 กันยายน 2556)

-ราคาปุ๋ยอินทรีย์เคมีชนิดน้ำ SK999 สูตร 5-5-5 เท่ากับ 1,100-1,900 บาท / 500 มล. http://sk999.igetweb.com/ (สืบค้นข้อมูลเมื่อวันที่ 04 กันยายน 2556)

8.4 สรุปผลการทดลอง

สามารถพัฒนากระบวนการผลิต อุปกรณ์ และพัฒนาเครื่องต้นแบบผสมปุ๋ยและ เครื่องต้นแบบทำเม็ดปุ๋ยเคมีชนิดควบคุมการปลดปล่อย ให้สามารถผลิตปุ๋ยได้ที่อัตราการผลิตประมาณ 0.32-0.68 กิโลกรัม (แห้ง)/วัน/1 กระบอกสูบ นอกจากนี้ยังได้ทดลองผลิตปุ๋ยเคมีชนิดควบคุมการปลดปล่อย โดยใช้วัตถุดิบ เช่น ไคโตซาน กลูตารัลดีไฮด์ ไดไฮโดรเจนแอมโมเนียมฟอสเฟต โพแทสเซียมไนเตรด และแอมโมเนียมคลอไรด์ เป็นผลิตภัณฑ์ต้นแบบสองสูตรคือสูตร 15-0-0 และสูตร 5-5-5 ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเม็ดปุ๋ยขณะเปียกประมาณ 0.5 ซม. และขณะแห้งประมาณ 0.2-0.25 ซม. อย่างไรก็ตามปุ๋ยไฮโดรเจลที่ผลิตได้มีต้นทุนการผลิตแพงกว่าปุ๋ยเคมีที่ขายตามท้องตลาดมาก

งานวิจัยนี้มีประโยชน์ต่อการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยแบบในรูปของพอลิเมอร์ไฮโดรเจล ได้เครื่องต้นแบบสำหรับผลิตปุ๋ยเคมีชนิดควบคุมการปลดปล่อย ที่สามารถพัฒนาต่อยอดในการผลิต เชิงอุตสาหกรรมร่วมกับภาคเอกชนต่อไป ตลอดจนได้ตัวอย่างปุ๋ยเคมีชนิดควบคุมการปลดปล่อย เพื่อแจกจ่ายให้เกษตรกรและผู้สนใจได้ทดลองใช้ ถือเป็นการถ่ายทอดเทคโนโยลีปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยในรูปของ พอลิเมอร์ไฮโดรเจล

8.5 ข้อบกพร่องที่พบในเครื่องต้นแบบ และข้อเสนอแนะ

1. ในการผลิตปุ๋ยนั้น พบว่าในขั้นตอนการดูดสารผสมไคโตซานและแม่ปุ๋ยขึ้นมาในกระบอกสูบ (เพื่อหยดเป็นเม็ดต่อไป) ยังทำได้ช้ามาก ทั้งนี้อาจเนื่องจากขนาดของมอเตอร์ที่มีกำลังน้อยเกินไป สำหรับสารผสมไคโตซานและแม่ปุ๋ยซึ่งมีความหนืดมากเกินไป

2.การหยดปุ๋ยจากกระบอกสูบลงในสารละลายเบสเพื่อให้ปุ๋ยก่อตัวเป็นเม็ดไฮโดรเจล เป็นขั้นตอนที่ใช้เวลานานมากที่สุด (16 ชั่วโมงสำหรับสารละลายประมาณ 10 ลิตร) ดังนั้นหากต้องการกำลังผลิตต่อวันที่มากขึ้นก็สามารถเพิ่มจำนวนกระบอกสูบที่ใช้ในการหยดสารได้

3. ปัญหาที่พบต่อเนื่องในการผลิตปุ๋ยคือขั้นตอนการอบแห้ง ซึ่งกินเวลานานเนื่องจากข้อจำกัดของอุณหภูมิที่ใช้ (40-50 °C) เนื่องจากหากใช้อุณหภูมิสูงเกินไปไคโตซานจะเกิดการเสื่อมสลายกลายเป็นสีน้ำตาลเข้ม ซึ่งมีผลให้การปลดปล่อยปุ๋ยจากไคโตซานไฮโดรเจลเร็วกว่าปกติ ทำให้ต้องใช้เวลาการอบปุ๋ยถึง 52 ชั่วโมงในตู้อบลมร้อน ทำให้เสียเวลาและมีต้นทุนการผลิตสูง

4. ควรใช้เตาอบลมร้อนแบบหมุน (Rotary dryer) แทนเตาอบลมร้อนธรรมดา เนื่องจากสามารถระบายความร้อนและไอระเหยได้ดีกว่า ปุ๋ยจึงแห้งได้เร็วกว่า ต้นทุนการผลิตจึงลดต่ำลงได้