



การเตรียมแป้งมันสำปะหลัง / พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ /
มอนต์มอริลโลไนต์นาโนคอมพอสิต สำหรับเคลือบปุ๋ยที่ควบคุมการปลดปล่อย
Preparation of Cassava Starch/Poly(vinyl alcohol)/Montmorillonite
Nanocomposites for Coating Controlled-Release Fertilizer

สิรินันท์ วิริยะสุนทร^{1*} และ ว่าที่ ร.ต.สงวนศักดิ์ ศรีพลัง¹

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเตรียมพอลิเมอร์นาโนคอมพอสิตจากแป้งมันสำปะหลัง พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และมอนต์มอริลโลไนต์โดยวิธีแบบสารละลาย เพื่อใช้เป็นวัสดุสำหรับเคลือบปุ๋ย ซึ่งเตรียมโดยการผสมแป้งมันสำปะหลังและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่อัตราส่วน 70/30 และ 80/20 โดยน้ำหนักกับมอนต์มอริลโลไนต์ปริมาณต่าง ๆ กัน (2 4 6 8 และ 10 ส่วนโดยน้ำหนักแป้งมันสำปะหลังและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 100 ส่วน) แล้วนำไปหล่อเป็นแผ่นบนแม่แบบพลาสติก และทำให้แห้งในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จากนั้นนำแผ่นนาโนคอมพอสิตที่เตรียมได้ไปวิเคราะห์การดูดซึมน้ำ ความสามารถในการซึมผ่านของความชื้น ความสามารถในการซึมผ่านของแอมโมเนียมไอออน ความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพและวิเคราะห์โครงสร้าง จากการศึกษาพบว่าปริมาณของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ในนาโนคอมพอสิตเพิ่มขึ้น มีผลให้การดูดซึมน้ำ ความสามารถในการซึมผ่านของความชื้น และความสามารถในการซึมผ่านของแอมโมเนียมไอออนมีค่าเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม การเติมมอนต์มอริลโลไนต์มีผลทำให้การดูดซึมน้ำ ความสามารถในการซึมผ่านของความชื้น และความสามารถในการซึมผ่านของแอมโมเนียมไอออนมีค่าลดลง ซึ่งแปรผันตามปริมาณของมอนต์มอริลโลไนต์ที่เพิ่มขึ้น โดยภายหลังจากฝังดินเป็นเวลา 50 วัน พบว่าร้อยละการหายไปของน้ำหนักรวมและความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพของพอลิเมอร์นาโนคอมพอสิตเพิ่มขึ้น ผลของเอกซเรย์ดิฟแฟรกชันแสดงให้เห็นว่าพอลิเมอร์นาโนคอมพอสิตที่เตรียมได้มีโครงสร้างเป็นแบบแยกกระจาย โดยสามารถยืนยันได้จากภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน ในงานวิจัยนี้ ปุ๋ยเม็ดทางการค้า NPK สูตร 16-16-16 และสูตร 18-46-0 นำไปห่อหุ้มด้วยนาโนคอมพอสิตของแป้ง/พอลิไวนิลแอลกอฮอล์/มอนต์มอริลโลไนต์ ที่อัตราส่วน 80/20/8 ด้วยเทคนิคการจุ่มเคลือบ จากนั้นนำไปวิเคราะห์อัตราการปลดปล่อยไนโตรเจนโดยการใส่ในน้ำที่ปราศจากไอออนตามระยะเวลาที่กำหนด พบว่าปุ๋ยตัวอย่างที่เคลือบด้วยพอลิเมอร์นาโนคอมพอสิต มีอัตราการปลดปล่อยไนโตรเจนต่ำกว่าปุ๋ยที่ไม่ได้เคลือบ

¹สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี จังหวัดอุบลราชธานี 34000

*Corresponding Author, E-mail: ing_sirinun25@hotmail.com

ABSTRACT

The aim of this research is to prepare polymer nanocomposites of cassava starch, poly(vinyl alcohol) (PVOH) and montmorillonite (MMT) by solution method for coating controlled release fertilizer. The polymer nanocomposites were prepared by mixing cassava starch and PVOH at dry weight ratios of 70/30, 80/20 and each of these with various amounts of MMT (2 4 6 8 and 10 parts by weight per hundred of cassava starch and PVOH) The obtained homogeneous solution was casted into sheets using plastic mold and dried at 60 °C in a hot air oven. The obtained polymer nanocomposites sheets have been characterized for those; water absorption, moisture permeability, ammonium ion permeability biodegradability and their structure. The water absorption moisture permeability and ammonium ion permeability of polymer nanocomposites were enhanced with increasing amount of PVOH. However, these properties were decreased by the addition of MMT. After soil burial for 50 days, percent weight loss and biodegradability of the polymer nanocomposites enhanced as the amount of starch were increased. The X-ray diffractograms and transmission electron micrographs showed that the polymer nanocomposites formed were exfoliated. In this work the encapsulation of the commercial granular fertilizers, NPK 16-16-16 and NPK 18-46-0 were prepared by dip coating technique with 80/20/8 starch:PVOH:MMT nanocomposites. The coated fertilizer was put into the deionized water and, at a specified period, water solution was analyzed for amount of nitrogen. The results showed that the amount of nitrogen released rate of the coated fertilizer was less than the uncoated one.

คำสำคัญ: แป้งมันสำปะหลัง พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ มอนต์มอริลโลไนต์ นาโนคอมพอสิต ปุ๋ยที่ควบคุมการปลดปล่อย

Keywords: Cassava starch, Poly(vinyl alcohol), Montmorillonite, Nanocomposite, Controlled-release fertilizer

บทนำ

ประชากรไทยส่วนใหญ่ประกอบอาชีพเกษตรกร ปุ๋ยนับเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อผลผลิตทางการเกษตร โดยปุ๋ยที่ใส่ลงไปในดินนั้นจะมีการปลดปล่อยแร่ธาตุที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช อย่างไรก็ตาม หากใส่ปุ๋ยมากเกินไป จะทำให้เกิดการสูญเสียไปกับสิ่งแวดล้อมและพืชไม่สามารถดูดซึมแร่

ธาตุเหล่านั้นไปใช้ประโยชน์ได้ จึงทำให้เกิดการสูญเสียทางเศรษฐกิจและเป็นปัญหาเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อม และเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในการใช้ประโยชน์จากปุ๋ยจึงจำเป็นต้องมีการควบคุมความเข้มข้น เพราะหากปุ๋ยมีความเข้มข้นสูงมากเกินไปจะส่งผลกระทบต่อพืชโดยทำให้เกิดความเสียหายกับพืชหรือบริเวณสิ่งแวดล้อมรอบ ๆ นั้น

วิธีหนึ่งที่จะช่วยลดการสูญเสียแร่ธาตุในดิน คือ การควบคุมอัตราการละลายของปุ๋ย (Wu and Liu, 2008) โดยการนำเม็ดปุ๋ยมาเคลือบด้วยวัสดุต่าง ๆ (Tomaszewska and Jarosiewicz, 2006) เป็นการช่วยลดอัตราการละลายของปุ๋ยได้ อีกทั้งยังช่วยให้เกิดประโยชน์มากมาย เช่น ช่วยลดการถูกชะของปุ๋ยออกจากดินโดยน้ำฝน เพื่อช่วยขยายระยะเวลาในการเพิ่มประสิทธิภาพของปุ๋ย และยังช่วยลดความถี่ในการใช้ปุ๋ยอีกด้วย

การใช้ปุ๋ยละลายช้าจึงเป็นวิธีหนึ่งที่จะช่วยประหยัดปุ๋ยและลดปัญหาสิ่งแวดล้อม (Ni et al., 2009) ปุ๋ยละลายช้ามีกลไกการทำงานโดยทำให้มีการปลดปล่อยแร่ธาตุอย่างช้าๆ โดยการเคลือบเม็ดปุ๋ยด้วยวัสดุต่าง ๆ โดยทั่วไปวัสดุที่ใช้ในการเคลือบปุ๋ยจะเป็นพอลิเมอร์ที่มีราคาสูง ซึ่งส่งผลให้ปุ๋ยละลายช้ามีต้นทุนที่สูงตามไปด้วย ดังนั้นเพื่อเป็นการลดต้นทุนในการผลิตจึงควรเลือกใช้พอลิเมอร์ที่มีราคาถูกเน้นวัสดุที่ทำให้สามารถละลายน้ำได้และสามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้อีกด้วย (ณัฐ, 2545) โดยเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและสามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ เช่น แป้งเซลลูโลส โปรตีน (Turorachi et al., 2000) จากการศึกษาพบว่าแป้งมัน-สำปะหลัง (cassava starch) เป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติที่ได้รับความสนใจมากที่สุด เนื่องจากเป็นวัตถุดิบที่มีราคาถูก สามารถหาได้ง่ายภายในประเทศและสามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ ซึ่งเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ยังนำไปขึ้นรูปได้ง่ายอีกด้วย ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งที่จะเตรียมวัสดุสำหรับเคลือบปุ๋ยจากพอลิเมอร์นาโนคอมพอสิตที่สามารถย่อยสลายได้ด้วยกระบวนการทางชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลัง (Wilhelm et al., 2003) อย่างไรก็ตาม ชิ้นงานที่เตรียมจากแป้งมันสำปะหลังมีความเปราะ แตกง่าย และสามารถดูดซึมน้ำได้สูงมากเพื่อลดปัญหาด้านความเปราะ และการปรับปรุงสมบัติ

ด้านความแข็งแรง จึงได้นำพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (poly (vinyl alcohol) PVOH) และมอนต์มอริลโลไนต์ (MMT) มาใช้ร่วมด้วย โดยที่พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Han et al., 2009) เป็นเทอร์โมพลาสติกที่มีคุณสมบัติพิเศษ คือ สามารถย่อยสลายได้โดยวิธีชีวภาพ นอกจากนี้ยังสามารถละลายในน้ำได้อีกด้วย (Lou et al., 2012) ซึ่งถูกนำไปใช้ในงานเฉพาะทางผลิตภัณฑ์หลายประเภทที่สามารถบรรจุในฟิล์มที่ละลายน้ำได้ จัดเป็นเทอร์โมพลาสติกที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและสามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ จึงเหมาะที่จะนำมาใช้เติมลงไปในแป้งมันสำปะหลัง (Dean et al., 2008) สำหรับมอนต์มอริลโลไนต์เป็นสารตัวเติมประเภทอะลูมิโนซิลิเกต (aluminosilicates) เป็นวัสดุที่พบมากในธรรมชาติ (Wilhelm et al., 2003) และมีประสิทธิภาพสูงในการปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ (Chen and Evan, 2005) เนื่องจากโครงสร้างของมอนต์มอริลโลไนต์ประกอบด้วยชั้นซิลิเกตที่มีขนาด 1 นาโนเมตร ที่จัดเรียงตัวซ้อนกันอย่างเป็นระเบียบ โดยชั้นซิลิเกตเหล่านี้สามารถแตกออกได้ง่ายและเมื่อชั้นซิลิเกตแตกออกจะเกิดการกระจายตัวในระดับนาโนในพอลิเมอร์เมทริกซ์เรียกว่านาโนคอมพอสิต (nanocomposite) ชั้นซิลิเกตเหล่านี้เป็นสารเสริมแรงที่มีขนาดเล็กในระดับนาโน ทำให้มีพื้นที่ผิวมาก ส่งผลให้เกิดอันตรกิริยากับพอลิเมอร์เมทริกซ์ได้ดี จึงมีประสิทธิภาพสูงในการปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์แม้ใช้ในปริมาณน้อย (Ardakania and Nazari, 2010) ดังนั้นจึงมีการนำมอนต์มอริลโลไนต์มาใช้ในการปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ทำให้สามารถขัดขวางการซึมผ่านของไอน้ำ และก๊าซ เช่น ออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ได้ (Chivrac et al., 2010) ปริมาณมอนต์มอริลโลไนต์ที่เหมาะสมควรต่ำกว่าร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก หากใช้ในปริมาณที่มากเกินไปจะทำให้เกิดการเกาะกลุ่ม (agglomerate) ของมอนต์-

มอริลโลไนต์ ลักษณะโครงสร้างคอมพอสิตของมอริลโลไนต์จะเกิดขึ้นใน 3 ลักษณะ ได้แก่ 1) คอมพอสิตแบบดั้งเดิมที่ไม่มี การขยายตัวของระยะห่างระหว่างชั้นของมอริลโลไนต์ 2) นาโนคอมพอสิตที่มีการกระจายตัวแบบระยะห่างระหว่างชั้นของมอริลโลไนต์ขยายกว้างขึ้น (intercalate) และ 3) นาโนคอมพอสิตที่มีการกระจายตัวแบบแยกกระจาย (exfoliate) (Adakania and Nazari, 2010) โดยงานวิจัยนี้ทำการเตรียมพอลิเมอร์นาโนคอมพอสิตจากแป้งมันสำปะหลัง/พอลิไวนิลแอลกอฮอล์/มอริลโลไนต์ สำหรับเป็นวัสดุในการเคลือบปู การขึ้นรูปขึ้นงานใช้เทคนิคการหล่อแบบ โดยศึกษาหาภาวะที่เหมาะสมในการขึ้นรูป ตรวจสอบสมบัติการดูดซึมน้ำ การซึมผ่านของความชื้น การซึมผ่านของแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) การย่อยสลายทางชีวภาพ วิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างของพอลิเมอร์คอม-พอสิตและการปลดปล่อยไนโตรเจนของปู

วิธีการดำเนินการวิจัย

วัสดุและสารเคมีในงานวิจัย

แป้งมันสำปะหลัง จากบริษัทอุตสาหกรรมแป้งไทย (จังหวัดนครปฐม ประเทศไทย) พอลิไวนิลแอลกอฮอล์น้ำหนักโมเลกุล 77,000-82,000 จากบริษัท Ajax Finechem (รัฐนิวเซาท์เวลส์ ประเทศออสเตรเลีย) โซเดียมมอริลโลไนต์ (Na-MMT) ชื่อทางการค้า คือ Mac-Gel จาก บริษัทไทยนิปอนเคมีภัณฑ์อุตสาหกรรม (จังหวัดสมุทรสาคร ประเทศไทย) พอร์มัลดีไฮด์ความเข้มข้นร้อยละ 38 บิวทานอล กลีเซอรอล แอมโมเนียมซัลเฟต สารเคมีทั้งหมดเป็น

เกรดวิเคราะห์ จากบริษัท Ajax Finechem (รัฐนิวเซาท์เวลส์ ประเทศออสเตรเลีย)

การเตรียมฟิล์มนาโนคอมพอสิตของแป้งมันสำปะหลัง/พอลิไวนิลแอลกอฮอล์/มอริลโลไนต์

เตรียมสารดิสเพอร์สชันของมอริลโลไนต์โดยใช้น้ำกลั่นเป็นตัวกลางที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก (Kampeerapappun et al., 2007) ด้วยเครื่องปั่นกวนเชิงกล ความเร็วรอบ 600 รอบต่อ นาที ระยะเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นเตรียมสารละลายของแป้งมันสำปะหลังโดยละลายในน้ำกลั่นที่ความเข้มข้นร้อยละ 4 โดยน้ำหนัก ผสมกับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 4 โดยน้ำหนัก จากนั้นนำสารดิสเพอร์สชันของมอริลโลไนต์ ผสมกับสารละลายแป้งและสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่เตรียมได้มาผสมกันด้วยอัตราส่วนโดยน้ำหนัก ดังแสดงในตารางที่ 1 ให้ความร้อนที่อุณหภูมิเจลดินเซชัน 75-80 องศาเซลเซียส (Wilhelm et al., 2003) ปั่นกวนสารละลายด้วยเครื่องปั่นกวนเชิงกล จากนั้นเติมพอร์มัลดีไฮด์ ปริมาณร้อยละ 10 ของน้ำหนักแป้งและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เพื่อให้เกิดการเชื่อมโยงภายในโครงสร้างแบบร่างแห (Han et al., 2009) เติมกลีเซอรอล ปริมาณร้อยละ 20 ของน้ำหนักแป้ง เพื่อเป็นพลาสติกไซเซอร์สำหรับแป้ง (Huang et al., 2004) เติมบิวทานอลเล็กน้อยเพื่อกำจัดฟองที่เกิดขึ้น จากนั้นปั่นกวนสารละลายเป็นเวลา 3 ชั่วโมงหลังจากนั้นเทสารละลายที่เตรียมได้ลงในแม่แบบพลาสติก นำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสจนกระทั่งแห้ง วัดความหนาแผ่นขึ้นงานด้วยไมโครมิเตอร์ มีความหนาเฉลี่ย 0.34 0.02 มิลลิเมตร เก็บแผ่นขึ้นงานในเดซีเคเตอร์ก่อนนำไปทดสอบสมบัติต่อไป

ตารางที่ 1 สัญลักษณ์ของอัตราส่วนต่าง ๆ C/P/M โดย C คือน้ำหนักของแป้งมันสำปะหลัง (กรัม) P คือน้ำหนักของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (กรัม) และ M คือน้ำหนักของมอนต์มอริลโลไนต์ (กรัม)

สัญลักษณ์	ปริมาณ (กรัม)			สัญลักษณ์	ปริมาณ (กรัม)		
	C	P	M		C	P	M
70/30/0	70	30	0	80/20/0	80	20	0
70/30/2	70	30	2	80/20/2	80	20	2
70/30/4	70	30	4	80/20/4	80	20	4
70/30/6	70	30	6	80/20/6	80	20	6
70/30/8	70	30	8	80/20/8	80	20	8
70/30/10	70	30	10	80/20/10	80	20	10

การทดสอบความสามารถในการดูดซึมน้ำ

ตัดแผ่นทดสอบขนาด 30×30 มม. จำนวน 5 ชิ้นชั่งน้ำหนักแผ่น ทดสอบ แล้วนำแผ่นทดสอบมาแช่น้ำกลั่นเป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นชั่งน้ำหนักเพื่อดูน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไป การดูดซึมน้ำคำนวณได้จากสูตร

$$\text{ร้อยละการดูดซึมน้ำ} = \frac{(W_1 - W_0)}{W_0} \times 100$$

เมื่อ W_1 คือ น้ำหนักแผ่นทดสอบหลังแช่น้ำเป็นเวลา 3 ชั่วโมง

W_0 คือ น้ำหนักแผ่นทดสอบก่อนแช่น้ำ

การทดสอบความสามารถในการซึมผ่านของความชื้น

นำแผ่นทดสอบปิดปากบีกเกอร์ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 ซม. ทาขอบบีกเกอร์ด้วยกาวพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เพื่อให้แผ่นตัวอย่างปิดสนิทกับบีกเกอร์ซึ่งภายในบรรจุด้วยซิลิกาเจล (ซึ่งน้ำหนักที่แน่นอน) วางบีกเกอร์ไว้ที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งวางอยู่ในภาชนะปิดฝาที่มีน้ำปราศจากไอออนบรรจุอยู่ เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อครบระยะเวลาที่กำหนด นำซิลิกาเจลไปชั่งน้ำหนัก เพื่อดูน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลง ทำการทดสอบจำนวน 3 ซ้ำ การซึมผ่านของความชื้นคำนวณได้จากสูตร

$$MP = \frac{\Delta m}{tS}$$

เมื่อ MP คือ การซึมผ่านของน้ำมีหน่วยเป็น $g \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$

Δm คือ น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของซิลิกาเจลมีหน่วยเป็น g

t คือ เวลา (24 ชั่วโมง)

S คือ ขนาดพื้นที่ของแผ่นทดสอบมีค่าเท่ากับ $2.826 \times 10^{-3} m^2$ (Han et al., 2009)

การทดสอบความสามารถในการซึมผ่านของ NH_4^+

นำแผ่นทดสอบปิดปากบีกเกอร์ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 ซม. ทาขอบบีกเกอร์ด้วยกาวพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เพื่อให้แผ่นตัวอย่างปิดสนิทกับบีกเกอร์ซึ่งภายในบรรจุสารละลาย $(NH_4)_2SO_4$ ปริมาณ 50 มล. มีความเข้มข้นของ NH_4^+ 7500 มก./ลิตร วางอยู่ในบีกเกอร์ที่บรรจุน้ำปราศจากไอออนปริมาณ 200 มล. วางบีกเกอร์ไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาที่กำหนดให้นำน้ำปราศจากไอออนที่บรรจุในบีกเกอร์ นำไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของ NH_4^+ ด้วยวิธี Kjeldahl (พีรพงศ์, 2545) ทำการทดสอบจำนวน 3 ซ้ำ ความสามารถในการซึมผ่านของ NH_4^+ คำนวณได้จาก

$$NP = \frac{\Delta C}{tS}$$

เมื่อ NP คือ การซึมผ่านของ NH_4^+ มีหน่วยเป็น $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$

ΔC คือ ความเข้มข้นของ NH_4^+ ในน้ำกลั่น

t คือ เวลา (2 ชั่วโมง)

S คือ ขนาดพื้นที่ของแผ่นทดสอบมีค่าเท่ากับ $2.826\times 10^{-3}\text{ m}^2$ (Han et al., 2009)

การทดสอบความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพ

ศึกษาความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพโดยวิธีการชั่งน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไป ตัดแผ่นทดสอบขนาด 30×30 มม. จำนวน 5 ชิ้นต่อหนึ่งช่วงระยะเวลาทดสอบ ทำให้แห้งในเดซิเคเตอร์ ชั่งน้ำหนักที่แน่นอน นำแผ่นทดสอบฝังลงดินให้ลึกจากผิวดิน 5 ซม. โดยใช้ดินร่วนปนทราย ในเขตอำเภอมือง จังหวัดอุบลราชธานี ทดสอบที่อุณหภูมิห้อง ควบคุมความชื้นของดินที่ร้อยละ 30 ทำการทดสอบความสามารถในการย่อยสลายเป็นระยะเวลา 10 20 30 40 และ 50 วันตามลำดับ เมื่อครบกำหนด นำแผ่นทดสอบมาชั่งน้ำหนักเพื่อหาน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไปความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพคำนวณได้จาก

$$\text{ร้อยละน้ำหนักที่หายไป} = \frac{(W_0 - W_1)}{W_0} \times 100$$

เมื่อ W_1 คือ น้ำหนักแผ่นทดสอบเมื่อระยะเวลาผ่านไปตามที่กำหนด

W_0 คือ น้ำหนักแผ่นทดสอบเริ่มต้น

การวิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วยเทคนิค XRD

วิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วยเครื่อง X-ray diffractometer ยี่ห้อ Philips X'Pert แหล่งกำเนิดรังสีเอกซ์ $:\text{CuK}\alpha$ ให้อัตราที่มีความยาวคลื่น 0.1542 นาโนเมตร โดยวัดที่มุม 2θ ตั้งแต่ 2-20 องศา อัตราความเร็ว 0.02 องศา/วินาที คำนวณระยะห่างระหว่างระนาบ 001 (d_{001}) (Kampeerappun et al.,

2007) ของมอนต์มอริลโลไนต์ จากสมการของแบรกก์ (Bragg's equation) ดังนี้

$$n\lambda = 2d\sin\theta$$

การตรวจสอบสัณฐานวิทยาพอลิเมอร์นาโนคอมพอลิตของแป้งมันสำปะหลัง/พอลิไวนิลแอลกอฮอล์/มอนต์มอริลโลไนต์พอลิเมอร์นาโนคอมพอลิตด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM)

ศึกษาลักษณะโครงสร้างและการจัดเรียงตัวของมอนต์มอริลโลไนต์ในพอลิเมอร์นาโนคอมพอลิตโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านรุ่น JEOL JEM-2010 โดยกระแสไฟฟ้าที่ความต่างศักย์ 200 กิโลโวลต์ และกำลังขยาย 20,000 เท่า เตรียมชิ้นงานโดยเครื่อง Leica Ultracut microtome (Cryo-Ultramicrotome) ชิ้นงานมีความหนา 90 nm ด้วยมีดแก้วที่อุณหภูมิ -110 องศาเซลเซียส

การศึกษาการปลดปล่อยไนโตรเจนของปุ๋ยที่เคลือบโดยพอลิเมอร์นาโนคอมพอลิตของแป้งมันสำปะหลัง/พอลิไวนิลแอลกอฮอล์/มอนต์มอริลโลไนต์

ศึกษาการปลดปล่อยไนโตรเจนของปุ๋ยทางการค้า สูตร 16-16-16 และสูตร 18-46-0 ที่เคลือบโดยพอลิเมอร์นาโนคอมพอลิตอัตราส่วน 80/20/8 ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่ให้ค่าความสามารถในการดูดซึมน้ำ การซึมผ่านของความชื้น และการซึมผ่านของ NH_4^+ น้อยที่สุด โดยใช้วิธีจุ่มเคลือบ ทดสอบการปลดปล่อยไนโตรเจนของปุ๋ยเคลือบเปรียบเทียบกับปุ๋ยที่ไม่ได้เคลือบ โดยชั่งปุ๋ยที่เคลือบ 1 กรัม แขนงน้ำที่ปราศจากไอออนปริมาณ 50 มล. และมีฝาปิดตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง ปั่นกวนโดยเครื่องปั่นกวนเชิงกลที่ความเร็วรอบ 100 รอบ/นาที ทดสอบอัตราการปลดปล่อยเป็นระยะเวลา 5 ชั่วโมง โดยทุกๆ ชั่วโมงให้นำสารละลายออกมา (Tomaszewska and Jarosiewicz, 2006) จากนั้นนำ

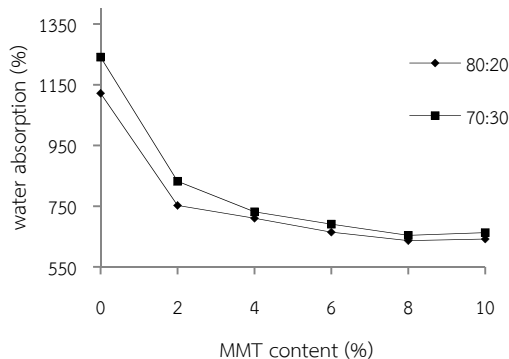
สารละลายไปวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนด้วยวิธี Kjeldahl

ผลการทดลองและอภิปรายผล

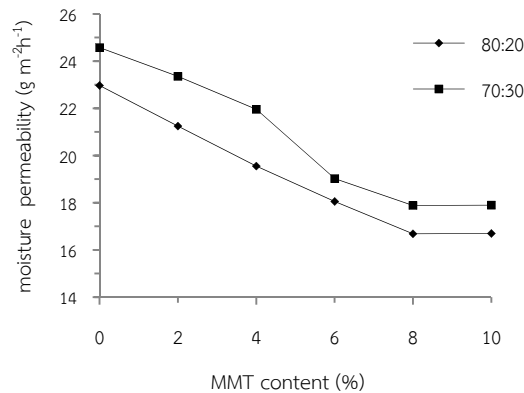
ความสามารถในการดูดซึมน้ำ การซึมผ่านของความชื้นและความสามารถในการซึมผ่าน NH_4^+

ความสามารถในการดูดซึมน้ำ การซึมผ่านของความชื้น และการซึมผ่านของ NH_4^+ ของแป้งมันสำปะหลัง/พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ เท่ากับ 70/30 และ 80/20 ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 1-3 ซึ่งมีค่าความสามารถในการดูดซึมน้ำ การซึมผ่านของความชื้น และการซึมผ่านของ NH_4^+ ของอัตราส่วน 70/30 มากกว่าอัตราส่วนเท่ากับ 80/20 โดยอัตราส่วนของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่มากกว่าจะมีความสามารถในการดูดซึมน้ำ การซึมผ่านของความชื้น และการซึมผ่านของ NH_4^+ สูงกว่า เนื่องจากหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) เป็นหมู่ที่มีขั้วและมีความชอบน้ำ ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่พบใน

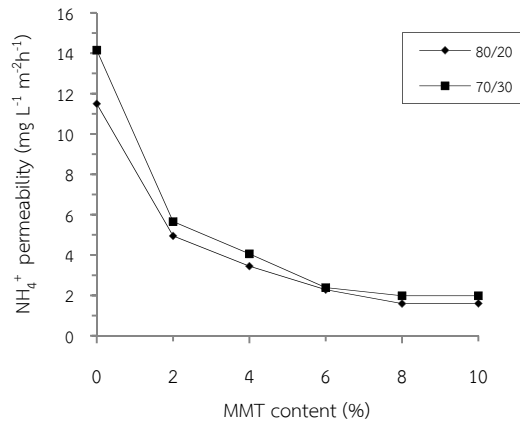
โครงสร้างของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ที่มีปริมาณมากกว่า (Han et al., 2009) และเมื่อปริมาณมอนต์มอริลโลไนต์ต่างกัน พบว่าชั้นทดสอบมีความสามารถในการดูดซึมน้ำ การซึมผ่านของความชื้น และการซึมผ่านของ NH_4^+ ลดลงเมื่อปริมาณมอนต์มอริลโลไนต์เพิ่มขึ้น โดยพบว่าปริมาณร้อยละ 8 โดยน้ำหนักจะให้ผลการทดสอบมีค่าน้อยที่สุด เนื่องจากมอนต์มอริลโลไนต์เป็นสารตัวเติมที่มีโครงสร้างเป็นแผ่น เมื่อกระจายตัวอยู่บนพอลิ-เมอร์ จะขัดขวางการดูดซึมน้ำ การซึมผ่านของความชื้น และการซึมผ่านของ NH_4^+ มีผลให้ค่าการทดสอบดังกล่าวลดลงเมื่อปริมาณมอนต์มอริลโลไนต์เพิ่มขึ้น สำหรับปริมาณมอนต์มอริลโลไนต์เท่ากับร้อยละ 10 โดยน้ำหนักเป็นปริมาณที่สูงเกินไป ซึ่งทำให้เกิดการเกาะกลุ่ม (agglomerate) ของมอนต์มอริลโลไนต์ (Chivrac et al., 2010) ทำให้ผลการทดสอบดังกล่าวมีค่าการทดสอบสูงกว่านาโนคอมพอสิตที่มีปริมาณมอนต์มอริลโลไนต์เท่ากับร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก



รูปที่ 1 ความสามารถในการดูดซึมน้ำของแป้งมันสำปะหลัง/พอลิไวนิลแอลกอฮอล์/มอนต์มอริลโลไนต์นาโนคอมพอสิตในอัตราส่วนต่างกัน



รูปที่ 2 ความสามารถในการซึมผ่านของความชื้นของแป้งมันสำปะหลัง/พอลิไวนิลแอลกอฮอล์/มอนต์มอริลโลไนต์นาโนคอมพอสิตในอัตราส่วนต่างกัน



รูปที่ 3 ความสามารถในการซึมผ่าน NH_4^+ ของแป้งมันสำปะหลัง/พอลิไวนิลแอลกอฮอล์/มอนต์มอริลโลไนต์นาโนคอมพอสิตในอัตราส่วนต่าง ๆ

ความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพ

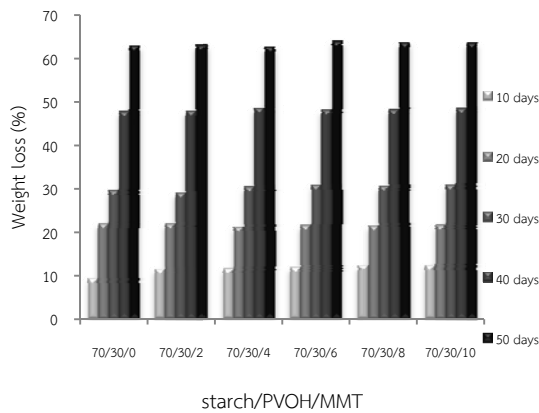
ความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพด้วยการฝังดินระยะเวลาทั้งหมด 50 วัน ของแป้งมันสำปะหลัง/พอลิไวนิลแอลกอฮอล์/มอนต์มอริลโลไนต์นาโนคอมพอสิต แสดงด้วยรูปที่ 4 และ 5 พบว่าร้อยละของน้ำหนักที่หายไปมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น (Turorachi et al., 2000) ซึ่งน้ำหนักที่หายไปส่วนใหญ่เกิดจากแป้งและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ อาจถูกบริโภคโดยจุลินทรีย์ที่อยู่ในดิน (Taghi et al.,

2012) และชิ้นงานสามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (Magalhães and Andrade, 2009) จากผลการทดลองอัตราส่วนระหว่างแป้ง/พอลิไวนิลแอลกอฮอล์เท่ากับ 80/20 และ 70/30 พบว่าอัตราส่วน 80/20 มีค่าร้อยละการหายไปของน้ำหนักสูงกว่าเล็กน้อย ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกอัตราส่วน 80/20/8 เป็นอัตราส่วนที่นำมาใช้เตรียมเป็นวัสดุในการเคลือบปุ๋ย

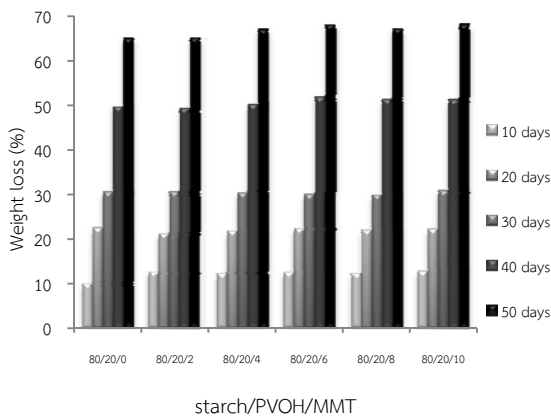
การวิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วยเทคนิค XRD

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของมอนต์มอริลโลไนต์และพอลิเมอร์นาโนคอมพอสิตของแป้ง/พอลิไวนิลแอลกอฮอล์/มอนต์มอริลโลไนต์ ด้วยเทคนิค XRD แสดงดังรูปที่ 6 พบว่าปรากฏพีคที่ 2θ เท่ากับ 5.95 ซึ่งแสดงค่าระยะห่างระหว่างระนาบ 001 ของมอนต์มอริลโลไนต์เท่ากับ 1.51 nm สำหรับโครงสร้างของพอลิเมอร์นาโนคอมพอสิตของแป้ง/พอลิ

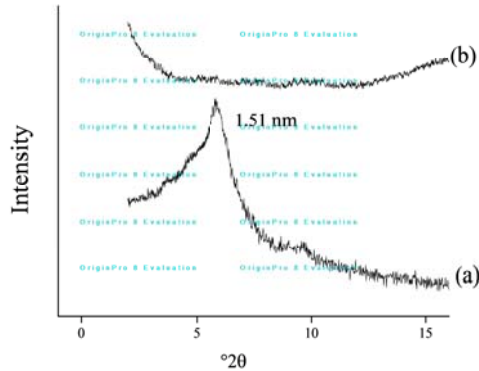
ไวนิลแอลกอฮอล์/มอนต์มอริล-โลไนต์อัตราส่วน 80/20/8 ไม่ปรากฏพีคระนาบ 001 ของมอนต์มอริล-โลไนต์ในระบบนาโนคอมพอสิต แสดงให้เห็นว่าสายโซ่โมเลกุลของพอลิเมอร์ซึ่งได้แก่แป้งและพอลิไวนิล-แอลกอฮอล์สามารถเข้าไปในโครงสร้างของมอนต์-มอริลโลไนต์ ทำให้โครงสร้างของมอนต์มอริลโลไนต์ที่เคยเรียงซ้อนทับกันแตกแยกออกจากกัน เกิดโครงสร้างแบบแยกกระจาย



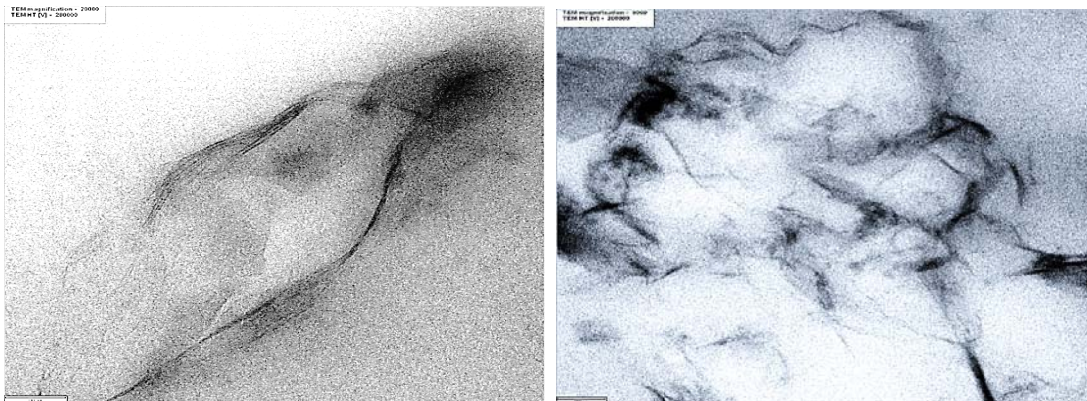
รูปที่ 4 ร้อยละของน้ำหนักที่หายไปของชิ้นงานของแป้งมันสำปะหลัง/พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ อัตราส่วน 70/30 และมอนต์มอริลโลไนต์ปริมาณต่างกัน



รูปที่ 5 ร้อยละของน้ำหนักที่หายไปของชิ้นงานของแป้งมันสำปะหลัง/พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ อัตราส่วน 80/20 และมอนต์มอริลโลไนต์ปริมาณต่างกัน



รูปที่ 6 X-ray pattern ของ (a) คือมอนต์มอริลโลไนต์ และ (b) คือพอลิเมอร์นาโนคอมพอสิตอัตราส่วน 80/20/8



รูปที่ 7 ภาพถ่าย TEM แสดงอนุภาคของมอนต์มอริลโลไนต์กระจายอยู่ในพอลิเมอร์คอมพอสิตของแป้งมันสำปะหลัง/พอลิไวนิลแอลกอฮอล์อัตราส่วน 80/20/8

การตรวจสอบสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์นาโนคอมพอสิตด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM)

การตรวจสอบสัณฐานวิทยาเพื่อศึกษาการกระจายตัวของมอนต์มอริลโลไนต์ในพอลิเมอร์นาโนคอมพอสิต แสดงด้วยรูปที่ 7 ลักษณะการจัดเรียงโครงสร้างของมอนต์มอริลโลไนต์ ซึ่งแสดงในส่วนที่มีสีเข้ม รูป (a) แสดงการจัดเรียงตัวของมอนต์มอริลโลไนต์แบบแยกกระจาย โดยระยะห่างระหว่างชั้นผลึกแยกห่างออกจากกันมากขึ้น รูป (b) พอลิเมอร์คอมพอสิตที่ได้ มีการจัดเรียงแบบแยกกระจาย ลักษณะโครงสร้างดังกล่าวเมื่อนำมาเป็นวัสดุสำหรับเคลือบปุ๋ย จะช่วยลดขวางการดูดซึมน้ำ การซึมผ่านของความชื้น การซึม

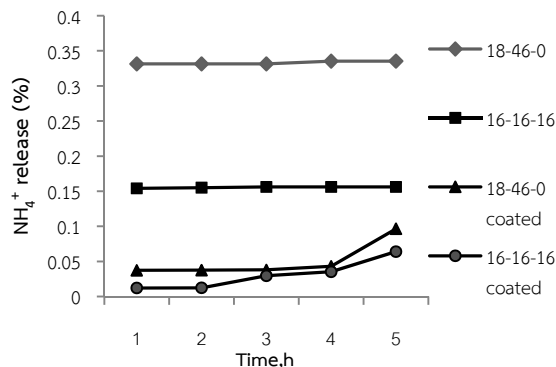
ผ่านของ NH_4^+ และลดการปลดปล่อยแร่ธาตุอาหารของปุ๋ยได้

การศึกษาการปลดปล่อยแร่ธาตุไนโตรเจนของปุ๋ยที่เคลือบโดยพอลิเมอร์นาโนคอมพอสิตของแป้งมันสำปะหลัง พอลิไวนิลแอลกอฮอล์และมอนต์มอริลโลไนต์

ปุ๋ยทางการค้าทั้ง 2 ชนิดที่เคลือบด้วยพอลิเมอร์นาโนคอมพอสิตอัตราส่วน 80/20/8 มีความหนาของฟิล์มที่เคลือบปุ๋ยเฉลี่ย 0.38 มม. การทดสอบอัตราการปลดปล่อยแร่ธาตุไนโตรเจนของปุ๋ยตัวอย่างแสดงไว้ในรูปที่ 8 พบว่าปุ๋ยสูตร 16-16-16 และปุ๋ยสูตร 18-46-0 ที่ไม่ได้เคลือบด้วยพอลิเมอร์นาโนคอมพอสิต จะมีค่าการปลดปล่อยแร่ธาตุไนโตรเจนสูงมาก และคงที่เมื่อ

ระยะเวลานานขึ้น จากการทดสอบปุ๋ยจะละลายหมดภายในระยะเวลา 1 ชั่วโมง สำหรับปุ๋ยทั้ง 2 ชนิดที่เคลือบด้วย แป้งมันสำปะหลัง/พอลิไวนิลแอลกอฮอล์/มอนต์มอริลโลไนต์ อัตราส่วน 80/20/8 จะมีอัตราการปลดปล่อยแร่ธาตุไนโตรเจนน้อยกว่า เนื่องจากวัสดุที่นำมาเคลือบปุ๋ยสามารถดูดซึมน้ำได้ไม่ดี และสกัดกันไม่ให้ธาตุอาหารในปุ๋ยละลายออกมาได้ ทำให้ปุ๋ยที่ถูกเคลือบไม่สามารถปลดปล่อยแร่ธาตุอาหารออกมาได้ ในช่วงระยะเวลา 3 ชั่วโมง โดยปุ๋ยสูตร 16-16-16 และ

ปุ๋ยสูตร 18-46-0 ที่เคลือบมีการปลดปล่อยแร่ธาตุไนโตรเจนคงที่ในช่วงเวลา 3 ชั่วโมงและมีการปลดปล่อยแร่ธาตุไนโตรเจนเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลานานขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าปุ๋ยทั้ง 2 ชนิดที่เคลือบด้วยพอลิเมอร์นาโนคอมพอสิตจากแป้งมันสำปะหลัง/พอลิไวนิลแอลกอฮอล์/มอนต์มอริลโลไนต์ สามารถควบคุมการละลายของปุ๋ย และปลดปล่อยแร่ธาตุออกมาอย่างช้า ๆ ได้



รูปที่ 8 การปลดปล่อยแร่ธาตุไนโตรเจนของปุ๋ยเคลือบด้วยแป้งมันสำปะหลัง/พอลิไวนิลแอลกอฮอล์มอนต์มอริลโลไนต์ อัตราส่วน 80/20/8 เปรียบเทียบกับปุ๋ยที่ไม่ได้เคลือบ

สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้สามารถเตรียมพอลิเมอร์นาโนคอมพอสิตจากแป้งมันสำปะหลัง/พอลิไวนิลแอลกอฮอล์/มอนต์มอริลโลไนต์ อัตราส่วนของพอลิเมอร์นาโนคอมพอสิตเท่ากับ 80/20/8 สามารถช่วยลดการซึมผ่านของแร่ธาตุไนโตรเจน ลดการปลดปล่อยแร่ธาตุไนโตรเจนของปุ๋ยตัวอย่างได้ และวัสดุมีความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพด้วยการฝังดิน การวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างของนาโนคอมพอสิต มีลักษณะโครงสร้างแบบแยกกระจาย ซึ่งจะช่วยขัดขวางการดูดซึมน้ำ การซึมผ่านของความชื้น และการซึมผ่านของ NH_4^+ สามารถนำไปประยุกต์ใช้สำหรับทำวัสดุเคลือบเพื่อลดการปลดปล่อยแร่ธาตุของปุ๋ยได้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับเงินทุนสนับสนุนจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ และมหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี ประจำปีงบประมาณ 2554

เอกสารอ้างอิง

- ณัฐ งามเจตน์ธรรมย์.(2545). การพัฒนาปุ๋ยเคมีชนิดปลดปล่อยช้าที่เคลือบด้วยโปรตีนจากถั่วเหลือง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทฉบับที่ ๓๓, ภาควิชาวิศวกรรมเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพมหานคร: 128 หน้า
- พิรพงค์ หาญพิชญชัย.(2545). การควบคุมการปลดปล่อยของเม็ดปุ๋ยโดยการเคลือบไคโตซาน. วิทยานิพนธ์

- มหบัณฑิต,ภาควิชาวิศวกรรมเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพมหานคร: 82 หน้า
- Ardakania, K.B. and Nazari, B.(2010). Improving the mechanical properties of thermoplastic starch/poly (vinyl alcohol) / clay nanocomposites. *Composites Science and Technology* 70: 1557-1563.
- Chen, B. and Evans, J.R.G. (2005). Thermoplastic starch-clay nanocomposites and their characteristics. *Carbohydrate Polymers* 61: 455-463.
- Chivrac, F., Pollet, E., Dole, P., and Avérous, L. (2010). Starch-based nanobiocomposites: Plasticizer impact on the montmorillonite exfoliation process. *Carbohydrate Polymers* 79: 941-947
- Dean, K.M., Do, M.D., Petinakis, E. and Yu, L. (2008). Key interactions in biodegradable thermoplastic starch/poly (vinyl alcohol) /montmorillonite micro- and nanocomposites. *Composites Science and Technology* 68:1453-1462.
- Han, X., Chen, S. and Hu X. (2009). Controlled-release fertilizer encapsulated by starch/polyvinyl alcohol coating. *Desalination* 240: 21-26.
- Huang, M.F., Yu J. G., and Ma, X. F. (2004). Studies on the properties of montmorillonite-reinforced thermoplastic starch composite. *Polymer* 45: 7017-7023.
- Kampeerappun, P., Aht-ong, D., Pentrakoon, D. and Srikulkit, K.(2007). Preparation of cassava starch/montmorillonite composite film. *Carbohydrate Polymers* 67: 155-163.
- Lou, X., Li, j. and Lin, X. (2012) Effect of gelatinization and additive on morphology and thermal behavior of corn starch/PVA blend film. *Carbohydrate Polymers* 90: 1595-1600.
- Magalhães, N.F. and Andrade, C.T.(2009). Thermoplastic corn starch/clay hybrids: Effect of clay type and content on physical properties. *Carbohydrate Polymers* 75:712-718.
- Ni, B., Liu, M. and Lü, S. (2009) Multifunctional slow-release urea fertilizer from ethycellulose and superabsorbent coated formulations. *Chemical Engineering Journal* 155: 892-898.
- Wilhelm, H.M., Sierakowski, M,R., Souza G.P., and Wypych ,F.(2003). Starch films reinforce with mineral clay. *Carbohydrate Polymers* 52: 101-110.
- Wu, L. and Liu, M. (2008).Preparation and properties of chitosan-coated NPK compound fertilizer with controlled-release and water-retention. *Carbohydrate Polymers* 72: 240-247
- Taghi, M.T., Abbasi, Z. and Nasrollahzade, Z.(2012). Study of enzymatic degradation and water absorption of nanocomposites starch/poly vinyl alcohol and sodium montmorillonite clay. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers* 43: 120-124.
- Tomaszewska, M. and Jarosiewicz, A. (2006). Encapsulation of mineral fertilizer by polysulfone using a spraying method. *Desalination* 198: 346-352.
- Turorachi, N., Cascaval, C.N., Rasu, M. and Pruteanu,M. (2000). Testing of polyvinyl alcohol and starch mixtures asbiodegradable polymeric materials. *Polymer testing* 19: 785-799.

