บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

จากขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย เมื่อเตรียมชิ้นงานตามขั้นตอนดังกล่าว จากนั้นจะนำชิ้นงานวิเคราะห์และทดสอบสมบัติต่างๆ ได้แก่ วิเคราะห์โครงสร้างผลึกของมอนต์มอริลโลไนต์ด้วยเทคนิคเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกชัน ทดสอบสมบัติการดูดซึมน้ำ ทดสอบสมบัติการซึมผ่านของน้ำ ทดสอบสมบัติการซึมผ่านของแอมโมเนียมไอออน ทดสอบสมบัติการย่อยสลายทางชีวภาพ ทดสอบการกระจายตัวของมอนต์มอริลโลไนต์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน และทดสอบการควบคุมอัตราการละลายของปุ๋ยตัวอย่างที่เคลือบโดยพอลิเมอร์นาโนคอมพอสิตจาก แป้งมันสำปะหลัง พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และมอนต์มอริลโลไนต์

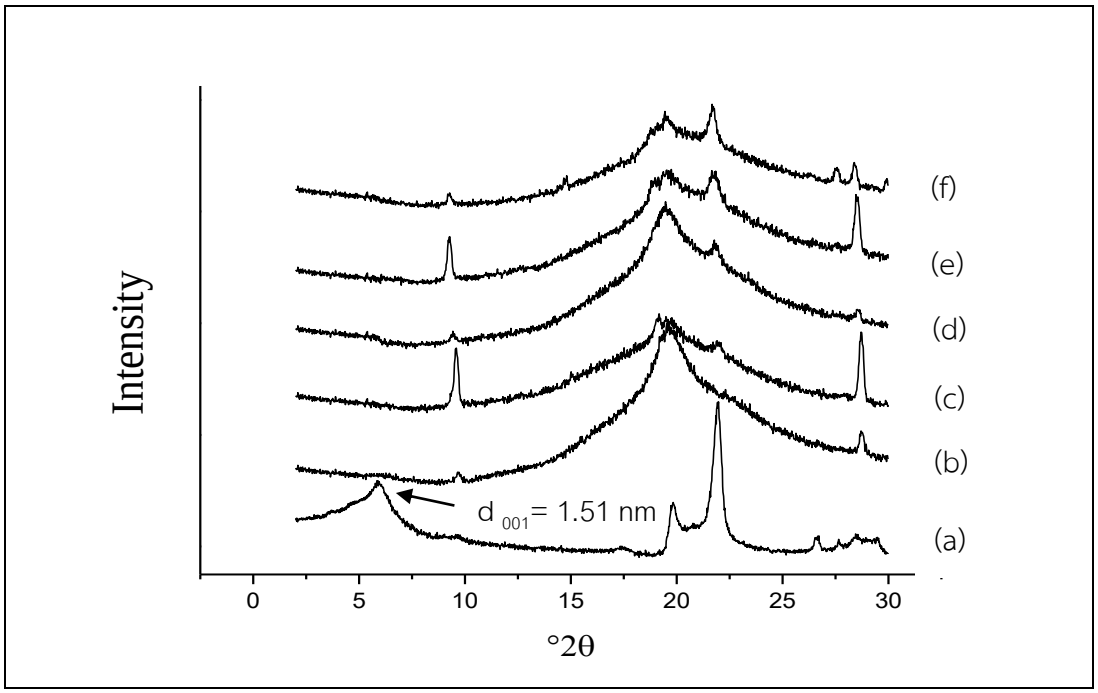
4.1 การวิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วยเทคนิคเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกชัน

การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของมอนต์มอริลโลไนต์ในพอลิเมอร์คอมพอสิตด้วยเทคนิคเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกชัน ซึ่งเทคนิคนี้จะใช้วิเคราะห์หาขนาดหรือระยะห่างระหว่างชั้นของอะลูมิเนียมซิลิเกต สามารถคำนวณได้จากองศาการเบี่ยงเบนของรังสี X-Ray ซึ่งจะวัดที่มุม 2θ และนำมาคำนวณหาระยะระหว่างชั้นของอะลูมิเนียมซิลิเกต ในโครงสร้างของมอนต์มอริลโลไนต์ที่กระจายอยู่ในชิ้นงาน พอลิเมอร์คอมพอสิต โดยอาศัยสมการของแบรก คือ

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

4.1.1 โครงสร้างผลึกของแป้งมันสำปะหลัง พอลิไวนิลแอลกอฮอล์และมอนต์มอริลโลไนต์พอลิเมอร์นาโนคอมพอสิต

รูปแบบพีค X-ray ของมอนต์มอริลโลไนต์ แป้งมันสำปะหลัง และ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ อัตราส่วน 70:30 แสดงตำแหน่ง 2θ ของระนาบ 001 และระยะห่างระหว่างระนาบ 001 (d_{001}) ของมอนต์มอริลโลไนต์ และ แป้งมันสำปะหลัง พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และมอนต์มอริลโลไนต์ พอลิเมอร์-นาโนคอมพอสิต แสดงดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 รูปแบบพีค X-ray ซึ่งวัดค่า 2θ ของระนาบ 001 ของ

(a) MMT

(b) พอลิเมอร์ผสมของ แป้ง 70 g/พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 30 g

(c) พอลิเมอร์นาโนคอมพอสิตของ แป้ง 70 g/พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 30 g / MMT 2 g

(d) พอลิเมอร์นาโนคอมพอสิตของ แป้ง 70 g/พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 30 g / MMT 4 g

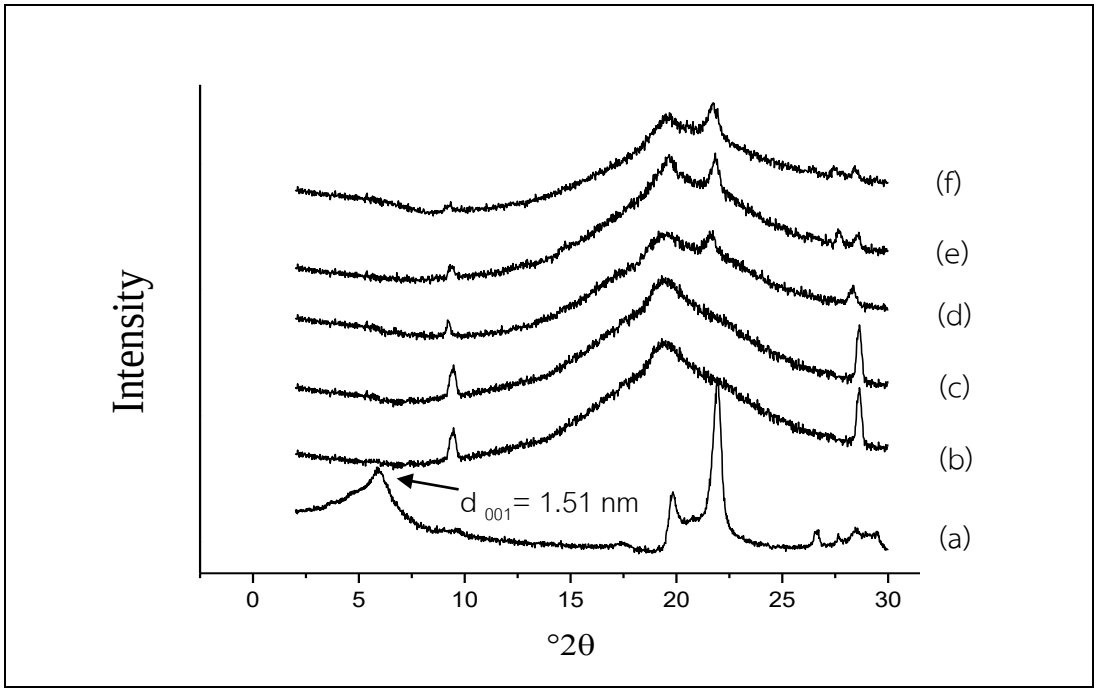
(e) พอลิเมอร์นาโนคอมพอสิตของ แป้ง 70 g/พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 30 g / MMT 6 g

(f) พอลิเมอร์นาโนคอมพอสิตของ แป้ง 70 g/พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 30 g / MMT 8 g

ตารางที่ 4.1 แสดงตำแหน่งของ 2θ และค่าระยะห่างระหว่างระนาบ 001 ของมอนต์-มอริลโลไนต์ และพอลิเมอร์นาโนคอมพอสิตของแป้งมันสำปะหลังและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ อัตราส่วน 70:30 และมอนต์มอริลโลไนต์ปริมาณต่างๆ

แป้งมันสำปะหลัง : พอลิไวนิล-แอลกอฮอล์ : มอนต์มอริลโลไนต์	ค่าระยะห่างระหว่างระนาบ 001 ของมอนต์มอริลโลไนต์ (นาโนเมตร)	2θ	ลักษณะโครงสร้าง
มอนต์มอริลโลไนต์	1.51	5.95	ไม่ปรากฏ
70:30:0	ไม่ปรากฏ	ไม่ปรากฏ	ไม่ปรากฏ
70:30:2	ไม่ปรากฏ	ไม่ปรากฏ	เอกซ์ฟอลิเอต
70:30:4	ไม่ปรากฏ	ไม่ปรากฏ	เอกซ์ฟอลิเอต
70:30:6	ไม่ปรากฏ	ไม่ปรากฏ	เอกซ์ฟอลิเอต
70:30:8	ไม่ปรากฏ	ไม่ปรากฏ	เอกซ์ฟอลิเอต

รูปแบบพีค X-ray ของมอนต์มอริลโลไนต์ แป้งมันสำปะหลัง และ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ อัตราส่วน 80:20 แสดงตำแหน่ง 2θ ของระนาบ 001 และระยะห่างระหว่างระนาบ 001 (d_{001}) ของมอนต์มอริลโลไนต์ และ แป้งมันสำปะหลัง พอลิไวนิลแอลกอฮอล์และมอนต์มอริลโลไนต์ พอลิเมอร์-นาโนคอมพอสิต



รูปที่ 4.2 รูปแบบพีค X-ray ซึ่งวัดค่า 2θของระนาบ 001 ของ

(a) MMT

(b) พอลิเมอร์ผสมของ แป้ง 80 g/พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 20 g

(c) พอลิเมอร์นาโนคอมพอสิตของ แป้ง 80 g/พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 20 g / MMT 2 g

(d) พอลิเมอร์นาโนคอมพอสิตของ แป้ง 80 g/พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 20 g / MMT 4 g

(e) พอลิเมอร์นาโนคอมพอสิตของ แป้ง 80 g/พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 20 g / MMT 6 g

(f) พอลิเมอร์นาโนคอมพอสิตของ แป้ง 80 g/พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 20 g / MMT 8 g

ตารางที่ 4.2 แสดงตำแหน่งของ 2θ และค่าระยะห่างระหว่างระนาบ 001 ของมอนต์-มอริลโลไนต์และพอลิเมอร์นาโนคอมพอสิตของแป้งมันสำปะหลังและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์อัตราส่วน 80:20 และมอนต์มอริลโลไนต์ปริมาณต่างๆ

แป้งมันสำปะหลัง : พอลิไวนิล-แอลกอฮอล์ : มอนต์มอริลโลไนต์	ค่าระยะห่างระหว่างระนาบ 001 ของมอนต์มอริลโลไนต์ (นาโนเมตร)	2θ	ลักษณะโครงสร้าง
มอนต์มอริลโลไนต์	1.51	5.95	ไม่ปรากฏ

80:20:0	ไม่ปรากฏ	ไม่ปรากฏ	ไม่ปรากฏ
80:20:2	ไม่ปรากฏ	ไม่ปรากฏ	เอกซ์ฟอลิเอต
80:20:4	ไม่ปรากฏ	ไม่ปรากฏ	เอกซ์ฟอลิเอต
80:20:6	ไม่ปรากฏ	ไม่ปรากฏ	เอกซ์ฟอลิเอต
80:20:8	ไม่ปรากฏ	ไม่ปรากฏ	เอกซ์ฟอลิเอต

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของมอนต์มอริลโลไนต์ แป้งมันสำปะหลัง พอลิ-ไวนิลแอลกอฮอล์และมอนต์มอริลโลไนต์พอลิเมอร์นาโนคอมพอสิต ด้วยเทคนิคเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกชัน ดังรูปที่ 4.1และ 4.2 ตารางที่ 4.1 และตารางที่ 4.2 พบว่า ปรากฏพีคที่ 2θ เท่ากับ 5.95 ซึ่งแสดงค่าระยะห่างระหว่างระนาบ 001 ของมอนต์มอริลโลไนต์เท่ากับ 1.51 นาโนเมตร สำหรับโครงสร้างของพอลิเมอร์นาโนคอมพอสิตของแป้งมันสำปะหลัง พอลิไวนิลแอลกอฮอล์และมอนต์มอริลโลไนต์ พบว่าเมื่อปริมาณมอนต์มอริลโลไนต์เพิ่มขึ้นในอัตราส่วน 2, 4, 6 และ 8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ไม่ปรากฏพีคระนาบ 001 ของมอนต์มอริลโลไนต์ในระบบพอลิเมอร์นาโนคอมพอสิต แสดงให้เห็นว่า สายโซ่โมเลกุลของพอลิเมอร์ ซึ่งได้แก่ แป้งมันสำปะหลังและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ สามารถเข้าไปในโครงสร้างของมอนต์มอริลโลไนต์ ทำให้โครงสร้างของมอนต์มอริลโลไนต์ที่เคยเรียงซ้อนทับกันแตกแยกออกจากกัน เกิดโครงสร้างแบบเอกซ์ฟอลิเอต

4.2 ความสามารถในการดูดซึมน้ำ

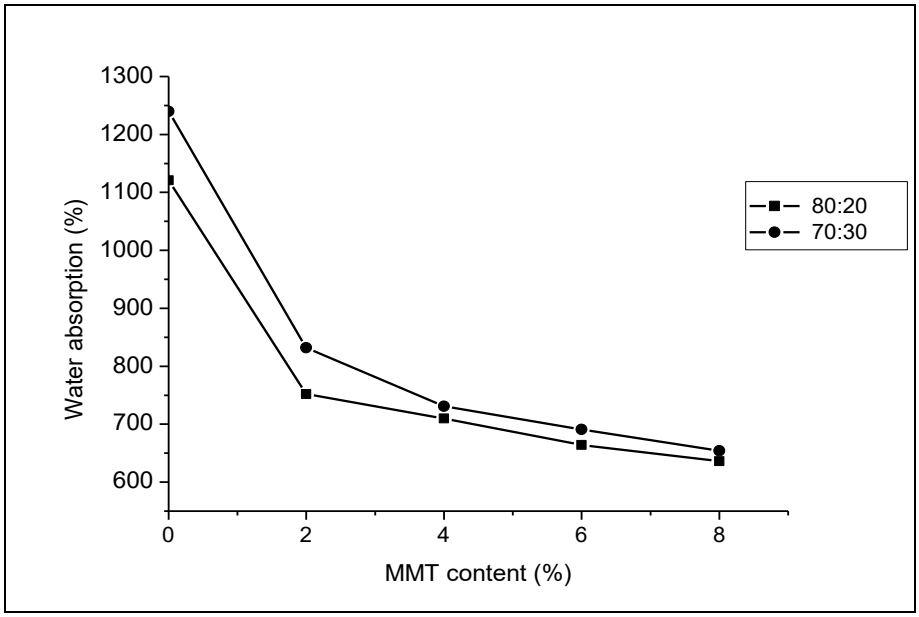
ทดสอบความสามารถในการดูดซึมน้ำของชิ้นงานพอลิเมอร์นาโนคอมพอสิตซึ่งทำการทดสอบจำนวน 5 ตัวอย่าง ที่ระยะเวลา 3 ชั่วโมง

ตารางที่ 4.3 แสดงรายละเอียดของความสามารถในการดูดซึมน้ำของแป้งมันสำปะหลัง พอลิไวนิล-แอลกอฮอล์และมอนต์มอริลโลไนต์พอลิเมอร์นาโนคอมพอสิตที่ปริมาณต่างๆ กัน

แป้งมันสำปะหลัง : พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ : มอนต์มอริลโลไนต์	ความสามารถในการการดูดซึมน้ำ (%) ที่ระยะเวลา 3 ชั่วโมง
70:30:0	1240

70:30:2	831
70:30:4	731
70:30:6	691
70:30:8	654
80:20:0	1121
80:20:2	752
80:20:4	710
80:20:6	664
80:20:8	635

การทดสอบความสามารถในการดูดซึมน้ำของแป้งมันสำปะหลัง พอลิไวนิลแอลกอฮอล์และมอนต์มอริลโลไนต์พอลิเมอร์นาโนคอมพอสิตที่ปริมาณต่างๆ กัน สามารถนำมาแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณมอนต์มอริลโลไนต์ และเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ แสดงดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 แสดงค่าความสามารถในการดูดซึมน้ำของแป้งมันสำปะหลัง พอลิไวนิลแอลกอฮอล์และมอนต์มอริลโลไนต์พอลิเมอร์นาโนคอมพอสิตที่ปริมาณมอนต์มอริลโลไนต์ต่างๆ กัน ซึ่งทำการทดสอบที่ระยะเวลา 3 ชั่วโมง

จากตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.3 แสดงค่าความสามารถในการดูดซึมน้ำที่ระยะเวลา 3 ชั่วโมง ของแป้งมันสำปะหลัง พอลิไวนิลแอลกอฮอล์และมอนต์มอริลโลไนต์พอลิเมอร์นาโนคอมพอสิต พบว่าอัตราส่วนของแป้งมันสำปะหลัง:พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ เท่ากับ 70:30 มีค่าความสามารถในการดูดซึมน้ำมากกว่าในอัตราส่วนเท่ากับ 80:20 ซึ่งอัตราส่วนพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่มากกว่าจะมีความสามารถในการดูดซึมน้ำสูงกว่า เนื่องจากหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) เป็นหมู่ที่มีขั้วและมีความชอบน้ำ ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่พบในโครงสร้างของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และมีปริมาณมากกว่าในโครงสร้างของแป้ง และเมื่อพิจารณาปริมาณมอนต์มอริลโลไนต์ในปริมาณต่างๆกัน พบว่าชิ้นงานมีเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการดูดซึมน้ำลดลงเมื่อปริมาณมอนต์มอริลโลไนต์เพิ่มขึ้น เนื่องจากมอนต์มอริลโลไนต์เป็นสารตัวเติมที่กระจายตัวอยู่บนแป้งมันสำปะหลังและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ซึ่งช่วยขัดขวางการดูดซึมน้ำเป็นผลให้ความสามารถในการดูดซึมน้ำลดลงเมื่อปริมาณมอนต์มอริลโลไนต์เพิ่มมากขึ้น

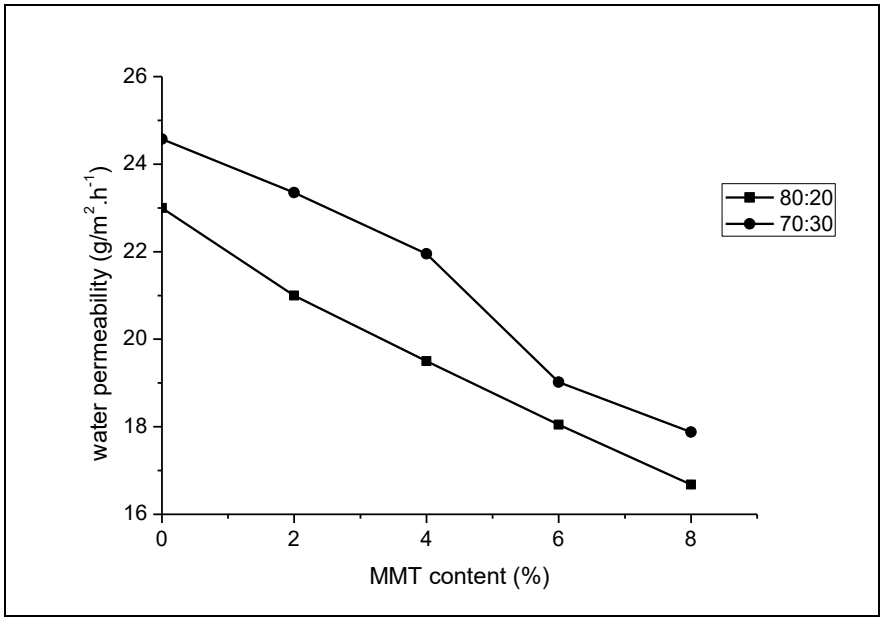
4.3 การซึมผ่านของน้ำ

ทดสอบการซึมผ่านของน้ำของแผ่นฟิล์มพอลิเมอร์นาโนคอมพอสิตซึ่งทำการทดสอบจำนวน 5 ตัวอย่าง ที่ระยะเวลา 24 ชั่วโมง

ตารางที่ 4.4 แสดงรายละเอียดของค่าการซึมผ่านของน้ำของแป้งมันสำปะหลัง พอลิไวนิล-แอลกอฮอล์และมอนต์มอริลโลไนต์พอลิเมอร์นาโนคอมพอสิตที่ปริมาณต่างๆ กัน

แป้งมันสำปะหลัง : พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ : มอนต์มอริลโลไนต์	การซึมผ่านของไอน้ำ ($g/m^2.h^{-1}$)
70:30:0	24.57
70:30:2	23.36
70:30:4	21.96
70:30:6	19.23
70:30:8	18.87
80:20:0	22.97
80:20:2	21.25
80:20:4	19.55
80:20:6	18.06
80:20:8	16.69

การทดสอบความสามารถในการซึมผ่านของน้ำของแป้งมันสำปะหลัง พอลิไวนิลแอลกอฮอล์และมอนต์มอริลโลไนต์พอลิเมอร์นาโนคอมพอสิตที่ปริมาณต่างๆ กัน สามารถนำมาแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณมอนต์มอริลโลไนต์ และความสามารถในการซึมผ่านของน้ำ แสดงดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 แสดงค่าการซึมผ่านของน้ำของแป้งมันสำปะหลัง พอลิไวนิลแอลกอฮอล์และมอนต์มอริลโลไนต์พอลิเมอร์นาโนคอมพอสิตที่ปริมาณมอนต์มอริลโลไนต์ต่างๆ กัน ซึ่งทำการทดสอบ ที่ระยะเวลา 24 ชั่วโมง

จากตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.4 แสดงค่าการซึมผ่านของน้ำของแป้งมันสำปะหลัง พอลิไวนิลแอลกอฮอล์และมอนต์มอริลโลไนต์พอลิเมอร์นาโนคอมพอสิต โดยพบว่าอัตราส่วนของแป้งมันสำปะหลัง: พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ เท่ากับ 70:30 มีค่าการซึมผ่านของน้ำมากกว่าในอัตราส่วนเท่ากับ 80:20 ซึ่งอัตราส่วนปริมาณพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่มากกว่า จะทำให้การซึมผ่านของน้ำสูงกว่า และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็นพอลิเมอร์สังเคราะห์ที่ชอบน้ำและมีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) เป็นหมู่ที่มีขั้ว และมีปริมาณมากกว่าจึงเพิ่มความมีขั้วให้กับวัสดุ ทำให้น้ำสามารถซึมผ่านได้ดีกว่า และเมื่อพิจารณาปริมาณมอนต์มอริลโลไนต์ในปริมาณต่างๆกัน พบว่าชิ้นงานมีเปอร์เซ็นต์การซึมผ่านของน้ำลดลงเมื่อปริมาณมอนต์มอริลโลไนต์เพิ่มขึ้น เนื่องจากมอนต์มอริลโลไนต์ เป็นสารตัวเติมที่กระจายตัวอยู่บนแป้งมันสำปะหลังและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ซึ่งช่วยขัดขวางการซึมผ่านของน้ำเป็นผลให้ความสามารถในการซึมผ่านของน้ำลดลงเมื่อปริมาณมอนต์มอริลโลไนต์เพิ่มมากขึ้น

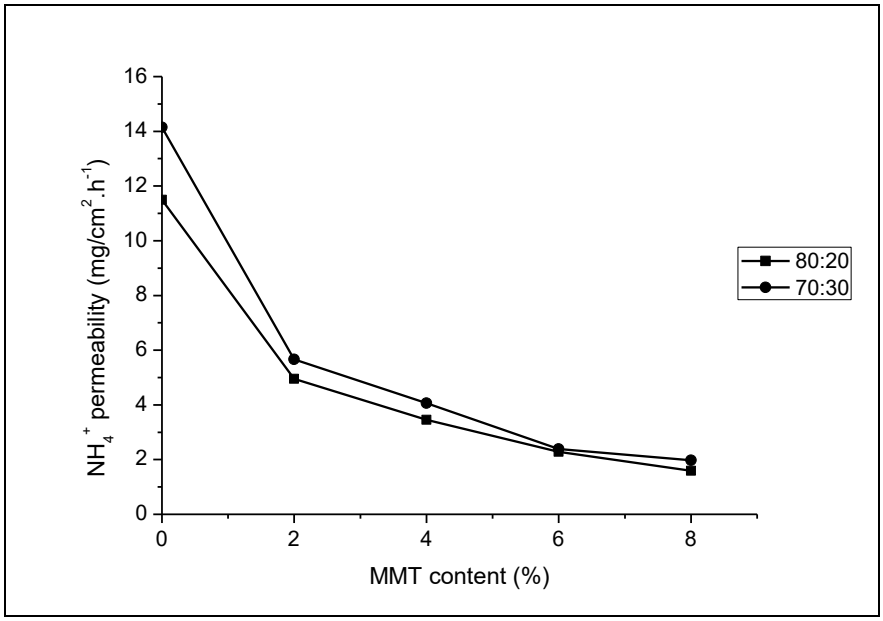
4.4 การซึมผ่านของแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+)

ทดสอบการซึมผ่านของแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) ของแผ่นฟิล์มพอลิเมอร์นาโนคอมพอสิต จำนวน 3 ตัวอย่าง ระยะเวลาในการทดสอบ 2 ชั่วโมง

ตารางที่ 4.5 แสดงรายละเอียดของค่าการซึมผ่านของแอมโมเนียมไอออน ของแป้งมันสำปะหลัง พอลิไวนิลแอลกอฮอล์และมอนต์มอริลโลไนต์พอลิเมอร์นาโนคอมพอสิตที่ปริมาณต่างๆ กัน

แป้งมันสำปะหลัง : พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ : มอนต์มอริลโลไนต์	การซึมผ่านของแอมโมเนียมไอออน (mg/L $m^2.h^{-1}$)
70:30:0	14.15
70:30:2	5.66
70:30:4	4.06
70:30:6	2.39
70:30:8	1.98
80:20:0	11.5
80:20:2	4.95
80:20:4	3.45
80:20:6	2.28
80:20:8	1.59

การทดสอบความสามารถในการซึมผ่านของแอมโมเนียมไอออน ของแป้งมันสำปะหลัง พอลิไวนิลแอลกอฮอล์และมอนต์มอริลโลไนต์พอลิเมอร์นาโนคอมพอสิตที่ปริมาณต่างๆ กัน สามารถนำมาแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณมอนต์มอริลโลไนต์ และความสามารถในการซึมผ่านของแอมโมเนียมไอออน แสดงดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 แสดงค่าการซึมผ่านของแอมโมเนียมไอออนของแป้งมันสำปะหลัง พอลิไวนิล-แอลกอฮอล์และมอนต์มอริลโลไนต์พอลิเมอร์นาโนคอมพอสิตที่ปริมาณมอนต์มอริลโลไนต์ต่างๆ กัน

จากตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.5 แสดงค่าการทดสอบการซึมผ่านของแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) ของฟิล์มชิ้นงานพอลิเมอร์นาโนคอมพอสิตของแป้งมันสำปะหลัง พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ในอัตราส่วนเท่ากับ 70:30 และ 80:20 และมอนต์มอริลโลไนต์ปริมาณต่างๆ ในอัตราส่วน 2,4,6,8 ต่อแป้งมันสำปะหลังและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 100 ส่วน แล้วนำไปวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนด้วยวิธีเจลห์ดาล พบว่าการซึมผ่านของแอมโมเนียมไอออนของฟิล์มชิ้นงานในอัตราส่วนของแป้งมัน-สำปะหลัง:พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ เท่ากับ 70:30 มีค่าการซึมผ่านของแอมโมเนียมไอออนมากกว่าในอัตราส่วนเท่ากับ 80:20 ซึ่งแป้งมันสำปะหลังที่มากกว่าจะขัดขวางการซึมผ่านของแอมโมเนียมไอออน เนื่องจากปริมาณแป้งมันสำปะหลังที่สูงกว่าจะมีส่วนของผลึกมากกว่า ซึ่งอาจขัดขวางและสกัดกั้นการซึมผ่านของแอมโมเนียมไอออนได้ดีกว่า และเมื่อพิจารณาปริมาณมอนต์มอริลโลไนต์ ในปริมาณต่างๆกัน พบว่าชิ้นงานมีเปอร์เซ็นต์ การซึมผ่านของแอมโมเนียมไอออนลดลงเมื่อปริมาณมอนต์มอ-ริลโลไนต์เพิ่มขึ้น เนื่องจากมอนต์มอริลโลไนต์ เป็นสารตัวเติมที่กระจายตัวอยู่บนแป้งมันสำปะหลังและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ซึ่งช่วยขัดขวางการซึมผ่านของแอมโมเนียมไอออนเป็นผลให้ความสามารถในการซึมผ่านของแอมโมเนียมไอออนลดลงเมื่อปริมาณมอนต์มอริลโลไนต์เพิ่มมากขึ้น

4.5 ความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพ

4.5.1 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักที่หายไปของชิ้นงาน

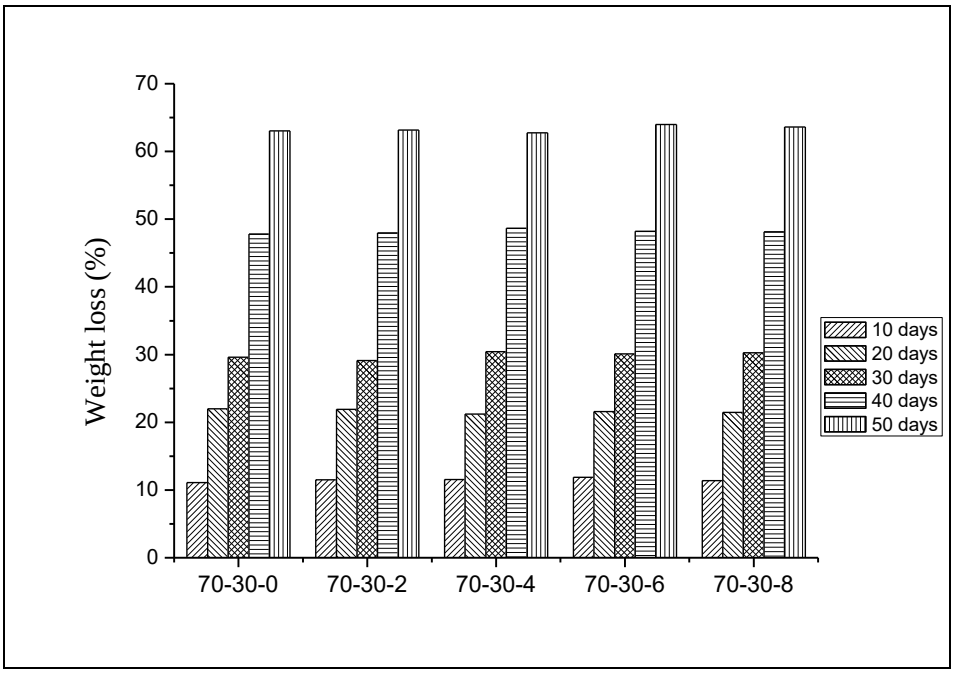
การทดสอบความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพของแป้งมันสำปะหลัง พอลิไวนิล-แอลกอฮอล์และมอนต์มอริลโลไนต์พอลิเมอร์นาโนคอมพอสิตทำโดยตรวจสอบหาเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักที่หายไปของชิ้นงาน ภายหลังการฝังดินเป็นระยะเวลา 10, 20, 30, 40 และ 50 วัน

ตารางที่ 4.6 แสดงรายละเอียดของค่าเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักที่หายไปของแป้งมันสำปะหลัง พอลิ-ไวนิลแอลกอฮอล์และมอนต์มอริลโลไนต์พอลิเมอร์นาโนคอมพอสิต

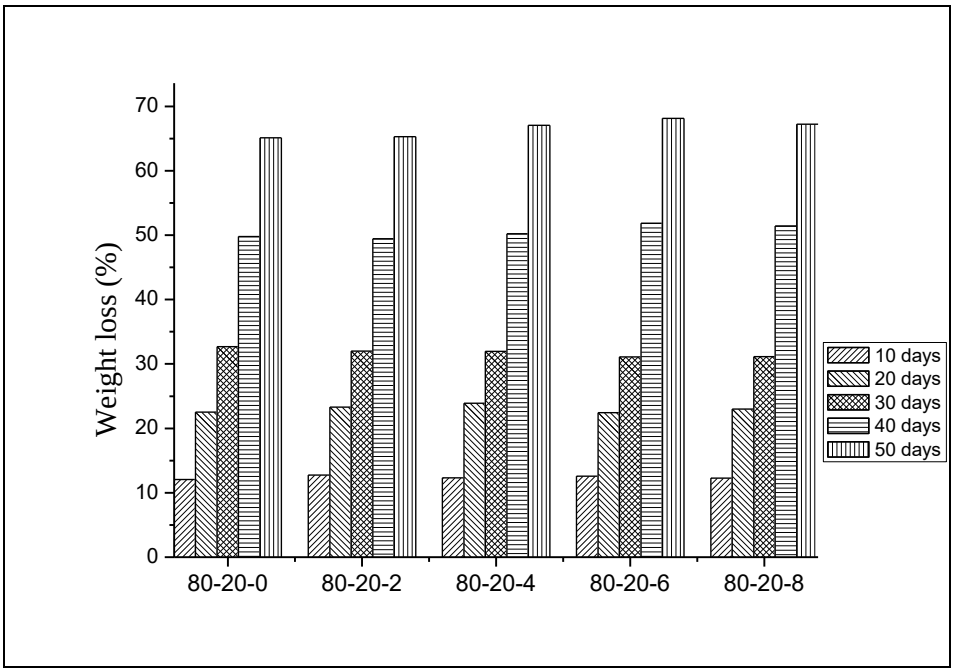
แป้งมันสำปะหลัง : พอลิไวนิล-แอลกอฮอล์ : มอนต์มอริลโลไนต์	เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักที่หายไป
	เวลา (วัน)

	10	20	30	40	50
70:30:0	11.09	22.01	29.62	47.80	63.04
70:30:2	11.51	21.93	29.13	47.96	63.16
70:30:4	11.54	21.23	30.44	48.64	62.75
70:30:6	11.88	21.59	30.10	48.2	63.99
70:30:8	11.38	21.47	30.26	48.13	63.6
80:20:0	12.07	22.54	32.68	49.78	65.13
80:20:2	12.73	23.29	32.02	49.44	65.28
80:20:4	12.33	23.92	31.95	50.22	67.07
80:20:6	12.58	22.43	31.10	51.86	68.15
80:20:8	12.29	22.98	31.13	51.41	67.23

การทดสอบความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพ ของแป้งมันสำปะหลัง พอลิไวนิล-แอลกอฮอล์และมอนต์มอริลโลไนต์พอลิเมอร์นาโนคอมพอสิตที่ปริมาณต่างๆ กัน สามารถนำมาแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลา และเปอร์เซนต์น้ำหนักที่หายไปภายหลังการฝังดินเป็นระยะเวลา 10, 20, 30, 40 และ 50 วัน แสดงดังรูปที่ 4.6 และ รูปที่ 4.7



รูปที่ 4.6 แสดงเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักที่หายไปของชิ้นงานของแป้งมันสำปะหลัง พอลิไวนิล-แอลกอฮอล์ที่อัตราส่วนเท่ากับ 70:30 และมอนต์มอริลโลไนต์ที่ปริมาณต่างๆ กัน ภายหลังการฝังดินเป็นระยะเวลา 10, 20, 30, 40 และ 50 วัน

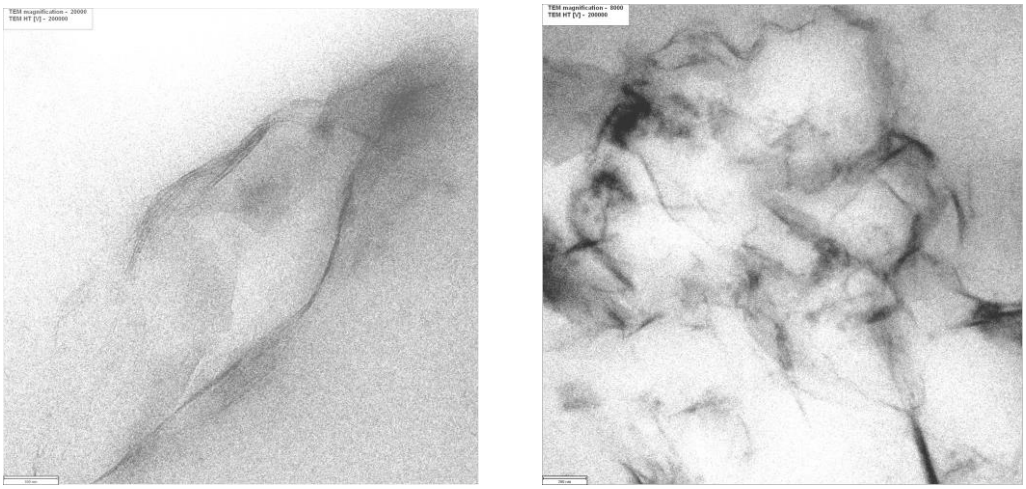


รูปที่ 4.7 แสดงเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักที่หายไปของชิ้นงานของแป้งมันสำปะหลัง พอลิไวนิล-แอลกอฮอล์ที่อัตราส่วนเท่ากับ 80:20 และมอนต์มอริลโลไนต์ที่ปริมาณต่างๆ กัน ภายหลังการฝังดินเป็นระยะเวลา 10, 20, 30, 40 และ 50 วัน

จากตารางที่ 4.6 รูปที่ 4.6 และรูปที่ 4.7 แสดงค่าการทดสอบความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพด้วยการฝังดินระยะเวลาทั้งหมด 50 วัน ของแป้งมันสำปะหลัง พอลิไวนิลแอลกอฮอล์และมอนต์มอริลโลไนต์พอลิเมอร์นาโนคอมพอสิตพบว่า เมื่อปริมาณของแป้งมันสำปะหลังในวัสดุนาโนคอมพอสิตเพิ่มขึ้นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักที่หายไปมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น ซึ่งน้ำหนักที่หายไปส่วนใหญ่เกิดจากแป้งได้ถูกบริโภคโดยจุลินทรีย์ที่อยู่ในดิน และชิ้นงานสามารถถูกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ซึ่งเป็นผลจากการที่วัสดุถูกทำลายโดยจุลินทรีย์ที่เรียกว่า microbial degradation โดยจุลินทรีย์ที่อยู่ในดินจะผลิตเอนไซม์หลากหลายชนิดที่สามารถเข้าทำปฏิกิริยากับแป้งมันสำปะหลังและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ การทำลายพอลิเมอร์ทั้ง 2 ชนิดด้วยเอนไซม์จัดเป็นกระบวนการทางเคมี ซึ่งถูกเหนี่ยวนำด้วยจุลินทรีย์เพื่อให้ได้อาหาร เนื่องจาก แป้งมันสำปะหลังและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ เป็นแหล่งคาร์บอนสำหรับจุลินทรีย์ โดยจุลินทรีย์จะปล่อยเอนไซม์อะไมเลส เข้าย่อยสลายแป้งในวัสดุผ่านตัวกลางที่เป็นน้ำ ทำให้แป้งมีโมเลกุลเล็กลงจนสามารถเข้าสู่เซลล์ของจุลินทรีย์ได้

4.6 การตรวจสอบสัณฐานวิทยาของ แป้งมันสำปะหลัง พอลิไวนิลแอลกอฮอล์และมอนต์มอริลโล-ไนต์พอลิเมอร์นาโนคอมพอสิตด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน

ลักษณะสัณฐานวิทยาของมอนต์มอริลโลไนต์ที่กระจายตัวอยู่บนแป้งมันสำปะหลัง และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ โดยศึกษาอัตราส่วนระหว่าง แป้งมันสำปะหลัง : พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ : มอนต์มอริลโลไนต์ เท่ากับ70:30:4 โดยตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน ที่กำลังขยาย 20,000 เท่า (การเตรียมชิ้นงานทำได้ยากมาก ดังนั้น จึงทำการตรวจสอบแค่เพียงตัวอย่างเดียว)



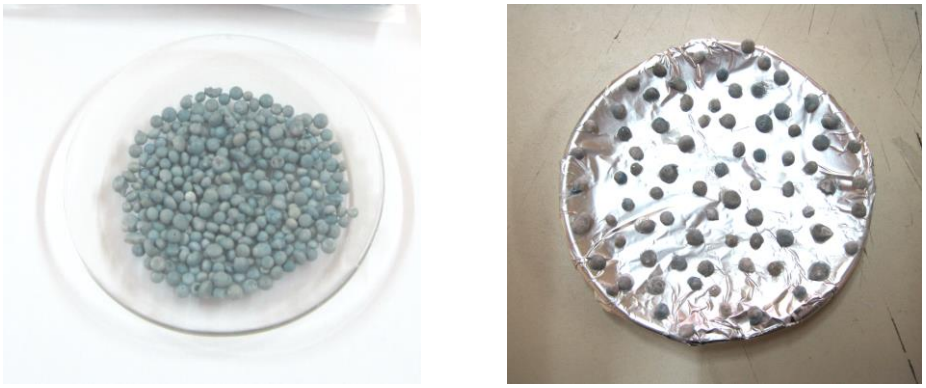
(a) (b)

รูปที่ 4.8 แสดงสัณฐานวิทยาของแป้งมันสำปะหลัง พอลิไวนิลแอลกอฮอล์และมอนต์มอริลโลไนต์พอลิเมอร์นาโนคอมพอสิต อัตราส่วน 70:30:4 (a) อินเตอร์คาเลต และ (b) เอกซ์ฟอลิเอต

จากรูปที่ 4.8 แสดงให้เห็นว่า แป้งมันสำปะหลัง พอลิไวนิลแอลกอฮอล์และมอนต์มอริล-โลไนต์พอลิเมอร์นาโนคอมพอสิต อัตราส่วนผสม 70:30:4 มีสัณฐานวิทยาแบบผสม คือ มีทั้งแบบอินเตอร์คาเลต [รูป (a)] และแบบ เอกซ์ฟอลิเอต [รูป (b)] กระจายอยู่ในพอลิเมอร์นาโนคอมพอสิต โดยในรูป (a) แสดงให้เห็นว่าระยะห่างระหว่างชั้นผลึกแยกห่างออกจากกันมากขึ้น เพราะโมเลกุลของพอลิเมอร์สามารถเข้าไปสอดแทรกระหว่างชั้นของมอนต์มอริลโลไนต์ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างด้วยเทคนิคเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกชัน นอกจากนี้ ยังสามารถเกิดโครงสร้างแบบเอกซ์ฟอลิเอตปะปนอยู่กับโครงสร้างแบบอินเตอร์คาเลตได้อีกด้วย

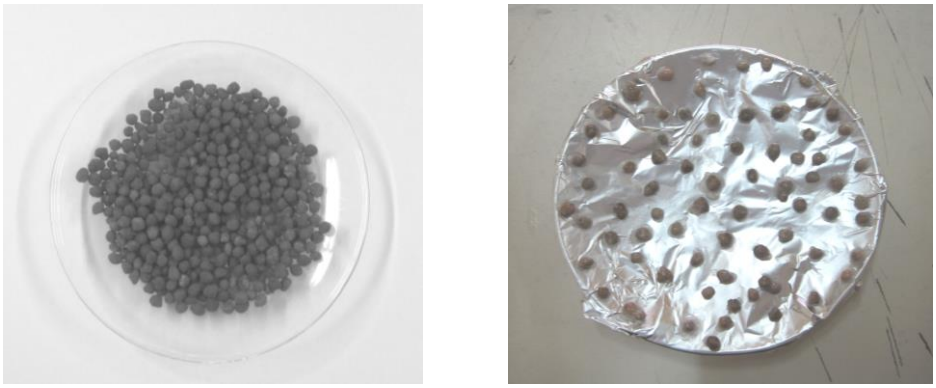
4.7 ศึกษาอัตราการละลายของปุ๋ยที่เคลือบด้วยแป้งมันสำปะหลัง พอลิไวนิลแอลกอฮอล์และมอนต์มอริลโลไนต์พอลิเมอร์นาโนคอมพอสิต

ปุ๋ยตัวอย่างทั้ง 2 ชนิด ได้แก่ปุ๋ยตัวอย่างสูตร 16-16-16 ปุ๋ยตัวอย่างสูตร 18-46-0 ที่เคลือบด้วยแป้งมันสำปะหลัง พอลิไวนิลแอลกอฮอล์และมอนต์มอริลโลไนต์ อัตราส่วน 80:20:8 โดยใช้วิธีจุ่มเคลือบ มีความหนาของฟิล์มที่เคลือบปุ๋ยเฉลี่ย 0.38 มม. แสดงดังรูปที่ 4.9 และรูปที่ 4.10



(a) (b)

รูปที่ 4.9 แสดงปุ๋ยตัวอย่างสูตร 16-16-16 ขนาด 2-3 มิลลิเมตร (a) ปุ๋ยตัวอย่างสูตร 16-16-16 ที่ไม่ได้เคลือบและ (b) ปุ๋ยตัวอย่างสูตร 16-16-16 ที่เคลือบด้วยแป้งมันสำปะหลัง พอลิไวนิล-แอลกอฮอล์และมอนต์มอริลโลไนต์ อัตราส่วน 80:20:8



(a) (b)

รูปที่ 4.10 แสดงปุ๋ยตัวอย่างสูตร 18-46-0 ขนาด 2-3 มิลลิเมตร (a) ปุ๋ยตัวอย่างสูตร 18-46-0 ที่ไม่ได้เคลือบและ (b) ปุ๋ยตัวอย่างสูตร 18-46-0 ที่เคลือบด้วยแป้งมันสำปะหลัง พอลิไวนิล-แอลกอฮอล์และมอนต์มอริลโลไนต์ อัตราส่วน 80:20:8

4.7.1 ศึกษาอัตราการปลดปล่อยแร่ธาตุไนโตรเจนของปุ๋ยเคลือบ

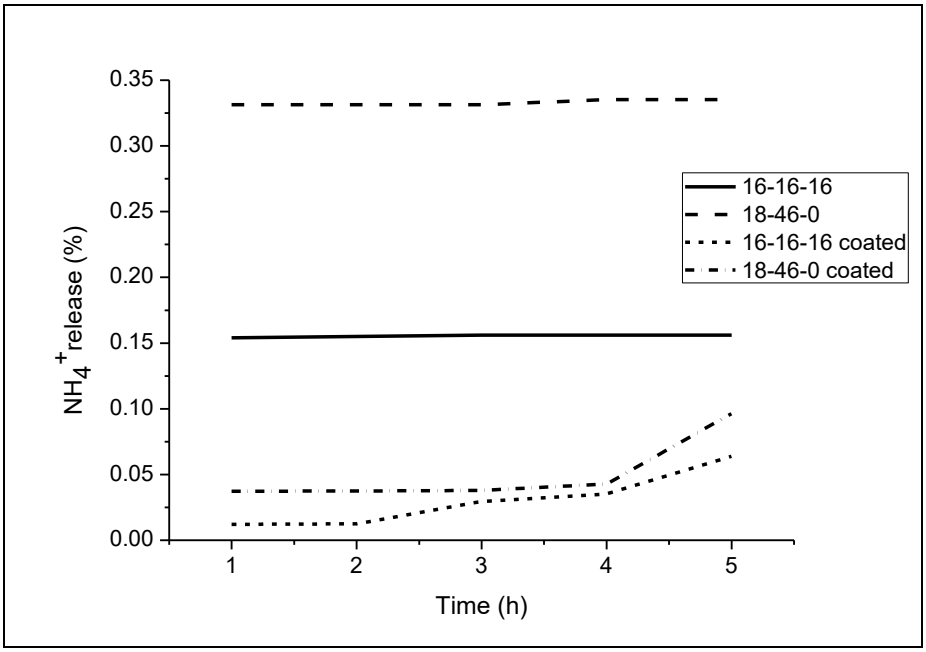
การควบคุมอัตราการละลายของปุ๋ยตัวอย่าง สูตร 16-16-16 และสูตร 18-46-0 ที่เคลือบด้วยแป้งมันสำปะหลัง พอลิไวนิลแอลกอฮอล์และมอนต์มอริลโลไนต์พอลิเมอร์นาโนคอมพอสิต

อัตราส่วน 80:20:8 ศึกษาการปลดปล่อยแร่ธาตุไนโตรเจนในน้ำของปุ๋ยเคลือบเปรียบเทียบกับปุ๋ยที่ไม่ได้เคลือบ โดยศึกษาอัตราการปลดปล่อยแร่ธาตุไนโตรเจน ระยะเวลา 5 ชั่วโมง

ตารางที่ 4.7 แสดงรายละเอียดของค่าเปอร์เซ็นต์อัตราการปลดปล่อยแร่ธาตุไนโตรเจนของปุ๋ยเคลือบด้วยแป้งมันสำปะหลัง พอลิไวนิลแอลกอฮอล์และมอนต์มอริลโลไนต์พอลิเมอร์นาโนคอมพอสิตอัตราส่วน 80:20:8 เปรียบเทียบกับปุ๋ยที่ไม่ได้เคลือบ

ปุ๋ยตัวอย่าง	การปลดปล่อยแร่ธาตุไนโตรเจนของปุ๋ย (NH_4^+ release %)				
	เวลา (ชั่วโมง)				
	1	2	3	4	5
16-16-16	0.1541	0.1553	0.1562	0.1562	0.1563
16-16-16 เคลือบ	0.0121	0.0124	0.0295	0.0352	0.0639
18-46-0	0.3313	0.3313	0.3313	0.3352	0.3353
18-46-0 เคลือบ	0.0372	0.0375	0.0378	0.0429	0.0964

การทดสอบการควบคุมอัตราการละลายของปุ๋ยตัวอย่าง สูตร 16-16-16 และสูตร 18-46-0 ที่เคลือบด้วยแป้งมันสำปะหลัง พอลิไวนิลแอลกอฮอล์และมอนต์มอริลโลไนต์พอลิเมอร์นาโนคอมพอสิตอัตราส่วน 80:20:8 โดยศึกษาการปลดปล่อยแร่ธาตุไนโตรเจนในน้ำของปุ๋ยเคลือบเปรียบเทียบกับปุ๋ยที่ไม่ได้เคลือบ สามารถนำมาแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการปลดปล่อยแร่ธาตุไนโตรเจนและระยะเวลาต่างๆ แสดงดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 แสดงอัตราการปลดปล่อยแร่ธาตุไนโตรเจนของปุ๋ยเคลือบด้วยแป้งมันสำปะหลัง พอลิไวนิลแอลกอฮอล์และมอนต์มอริลโลไนต์พอลิเมอร์นาโนคอมพอสิตอัตราส่วน 80:20:8 เปรียบเทียบกับปุ๋ยที่ไม่ได้เคลือบ

จากรูปที่ 4.11 และตารางที่ 4.7 แสดงค่าการปลดปล่อยแร่ธาตุไนโตรเจนในน้ำของปุ๋ยที่ระยะเวลาต่างๆ โดยวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนในน้ำ ด้วยวิธีเจลห์ดาล พบว่าปุ๋ยสูตร 16-16-16 และปุ๋ยสูตร 18-46-0 ที่ไม่ได้เคลือบด้วยพอลิเมอร์นาโนคอมพอสิต จะมีค่าการปลดปล่อยแร่ธาตุไนโตรเจนสูงมากในช่วงระยะเวลาเริ่มต้น และเมื่อระยะเวลาผ่านไปมีค่าคงที่ และปุ๋ยทั้ง 2 ชนิดที่เคลือบด้วยแป้งมันสำปะหลัง พอลิไวนิลแอลกอฮอล์และมอนต์มอริลโลไนต์พอลิเมอร์นาโนคอมพอสิตอัตราส่วน 80:20:8 จะมีอัตราการปลดปล่อยแร่ธาตุไนโตรเจนน้อยกว่า โดยปุ๋ยเคลือบสูตร 16-16-16 และปุ๋ยเคลือบสูตร 18-46-0 มีการปลดปล่อยแร่ธาตุไนโตรเจนคงที่ในช่วงเวลา 2-3 ชั่วโมงและมีการปลดปล่อยแร่ธาตุไนโตรเจนเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าปุ๋ยทั้ง 2 ชนิดที่เคลือบด้วยแป้งมันสำปะหลัง พอลิไวนิลแอลกอฮอล์และมอนต์มอริลโลไนต์พอลิเมอร์นาโนคอมพอสิตสามารถควบคุมการละลายของปุ๋ย และปลดปล่อยแร่ธาตุออกมาอย่างช้าๆ โดยที่ระยะเวลา 5 ชั่วโมง ปุ๋ยเคลือบสูตร16-16-16 สามารถลดการปลดปล่อยแร่ธาตุไนโตรเจนได้ 59.12 %และปุ๋ยเคลือบสูตร 18-46-0 สามารถลดการปลดปล่อยแร่ธาตุไนโตรเจนได้ 71.25 %