

## บทที่ 4

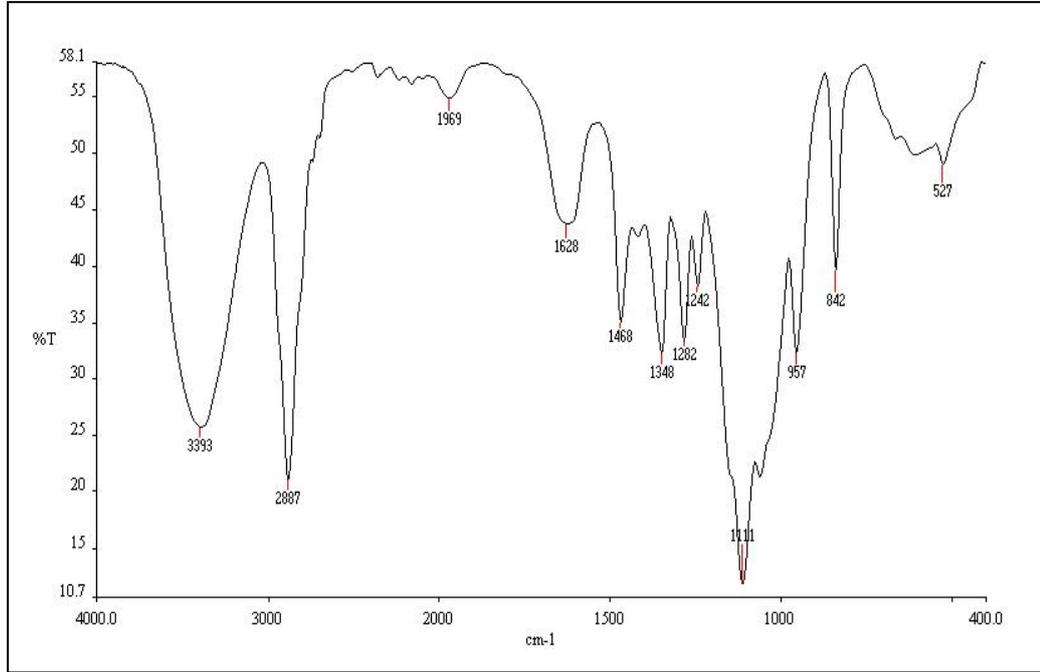
### ผลการทดลอง

ทำการทดลองเปรียบเทียบสมบัติของฟิล์มไฮโดรเจลที่ได้จากสารเมือกจากเม็ดแมงลักผสมกับ Poly(2-hydroxyethyl methacrylate) ซึ่งผลการทดลองแปรผลตามอุณหภูมิขณะผสม โดยสมบัติที่ทดสอบได้แก่ ตรวจสอบหมู่ฟังก์ชัน สมบัติเชิงกล การดูดซับน้ำ เปอร์เซ็นต์สัดส่วนเจล สมบัติทางความร้อน และสมบัติทางสัณฐานวิทยา และเพื่อให้ง่ายต่อความเข้าใจ จึงขออนุญาตว่า สูตรมาตรฐาน คือไฮโดรเจลที่มีการผสมสารเมือกจากเม็ดแมงลัก, น้ำ, Sodiumhydroxide, 2-Hydroxyethyl methacrylate (HEMA), N,N'-Methylenebisacrylamide (BIS), Sodium Metabisulphite (SMB), Ammonium Persulfate (APS) ตามลำดับ และกำหนดสัญลักษณ์ อุณหภูมิขณะผสม 50-60 °C ดังนี้

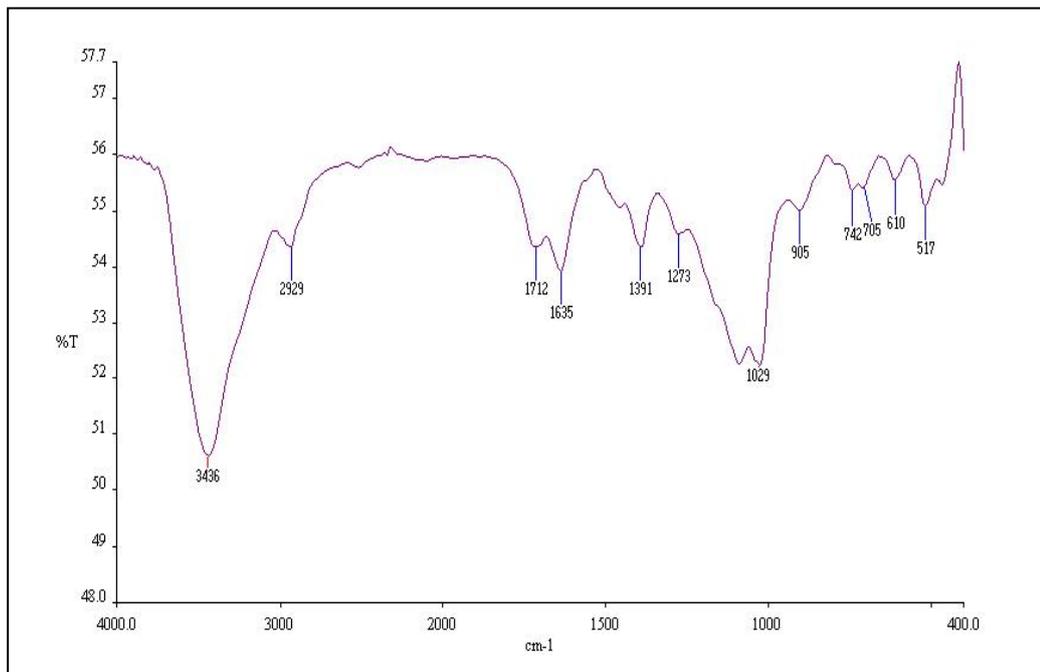
- (A) สารเมือกจากเม็ดแมงลัก
- (B) 3 % สารเมือกจากเม็ดแมงลัก ไม่มีมอนอเมอร์
- (C) 2 % สารเมือกจากเม็ดแมงลัก ไม่มีมอนอเมอร์
- (D) 1 % สารเมือกจากเม็ดแมงลัก ไม่มีมอนอเมอร์
- (E) 0.5 % สารเมือกจากเม็ดแมงลัก ไม่มีมอนอเมอร์
- (F) 3 % สารเมือกจากเม็ดแมงลัก สูตรมาตรฐาน
- (G) 2 % สารเมือกจากเม็ดแมงลัก สูตรมาตรฐาน
- (H) 1 % สารเมือกจากเม็ดแมงลัก สูตรมาตรฐาน
- (I) 0.5 % สารเมือกจากเม็ดแมงลัก สูตรมาตรฐาน
- (J) 0 % สารเมือกจากเม็ดแมงลัก สูตรมาตรฐาน (พอลิเมอร์)
- (K) 3 % สารเมือกจากเม็ดแมงลักมีมอนอเมอร์ ลดปริมาณสารเชื่อม โยง
- (L) 2 % สารเมือกจากเม็ดแมงลักมีมอนอเมอร์ ลดปริมาณสารเชื่อม โยง
- (M) 1 % สารเมือกจากเม็ดแมงลักมีมอนอเมอร์ ลดปริมาณสารเชื่อม โยง
- (N) 0.5 % สารเมือกจากเม็ดแมงลักมีมอนอเมอร์ ลดปริมาณสารเชื่อม โยง
- (O) 0 % สารเมือกจากเม็ดแมงลัก ลดปริมาณสารเชื่อม โยง (พอลิเมอร์)
- (P) 3 % สารเมือกจากเม็ดแมงลักมีมอนอเมอร์ ลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา
- (Q) 2 % สารเมือกจากเม็ดแมงลักมีมอนอเมอร์ ลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา
- (R) 1 % สารเมือกจากเม็ดแมงลักมีมอนอเมอร์ ลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา
- (S) 0.5 % สารเมือกจากเม็ดแมงลักมีมอนอเมอร์ ลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา
- (T) 0 % สารเมือกจากเม็ดแมงลัก ลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา(พอลิเมอร์)

#### 4.1 ณ อุณหภูมิขณะผสม 50-60 °C

##### 4.1.1 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างของผงสารเมือกจากเม็ดแมงลักและ Poly(2-hydroxyethyl methacrylate) ด้วย FTIR



รูปที่ 4.1 แสดง IR spectrum ของผงสารเมือกจากเม็ดแมงลัก

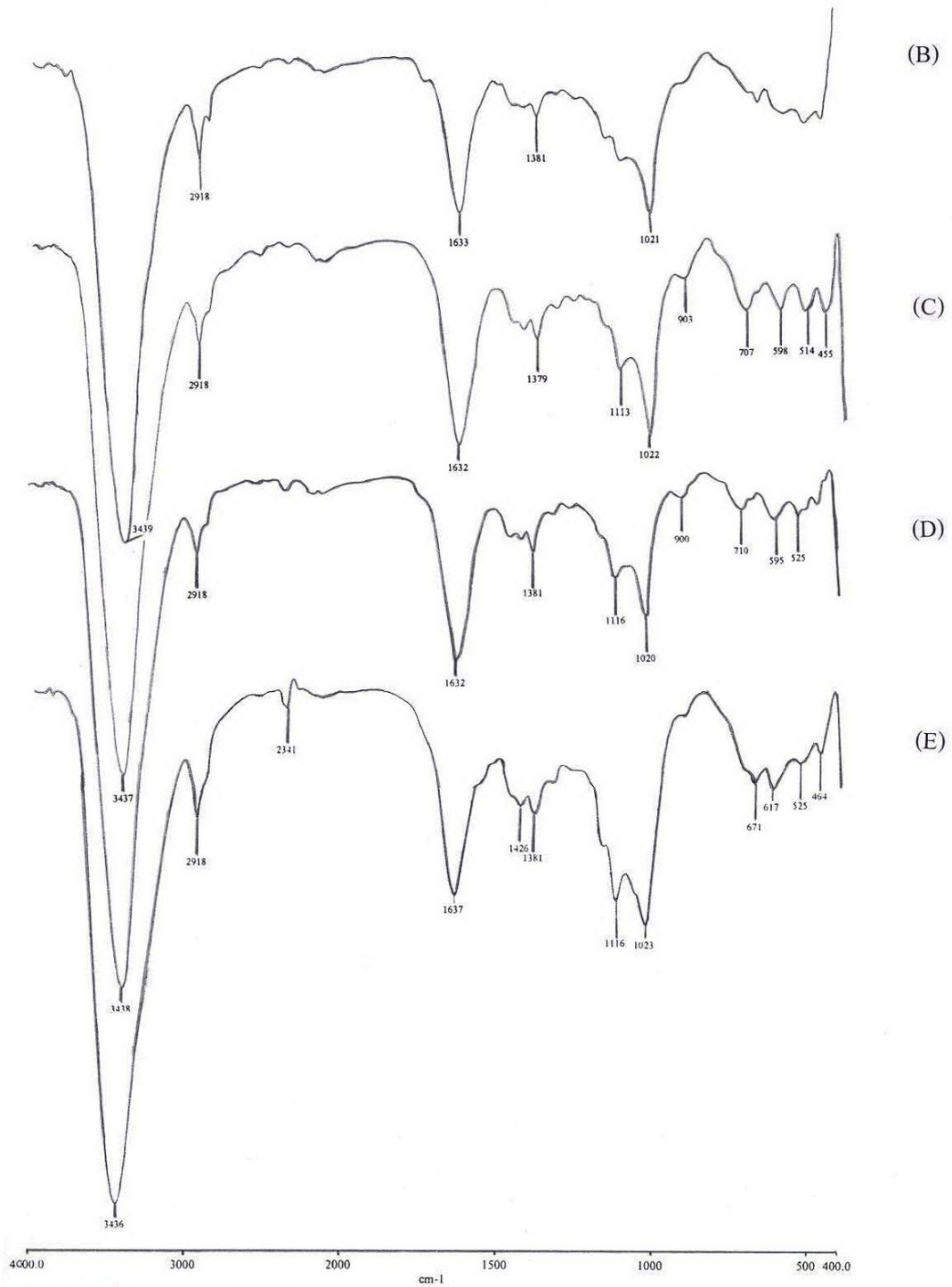


รูปที่ 4.2 แสดง IR spectrum ของ Poly(2-hydroxyethyl methacrylate) ที่ไม่มีสารเชื่อมโยง ณ อุณหภูมิขณะผสม 50-60 °C

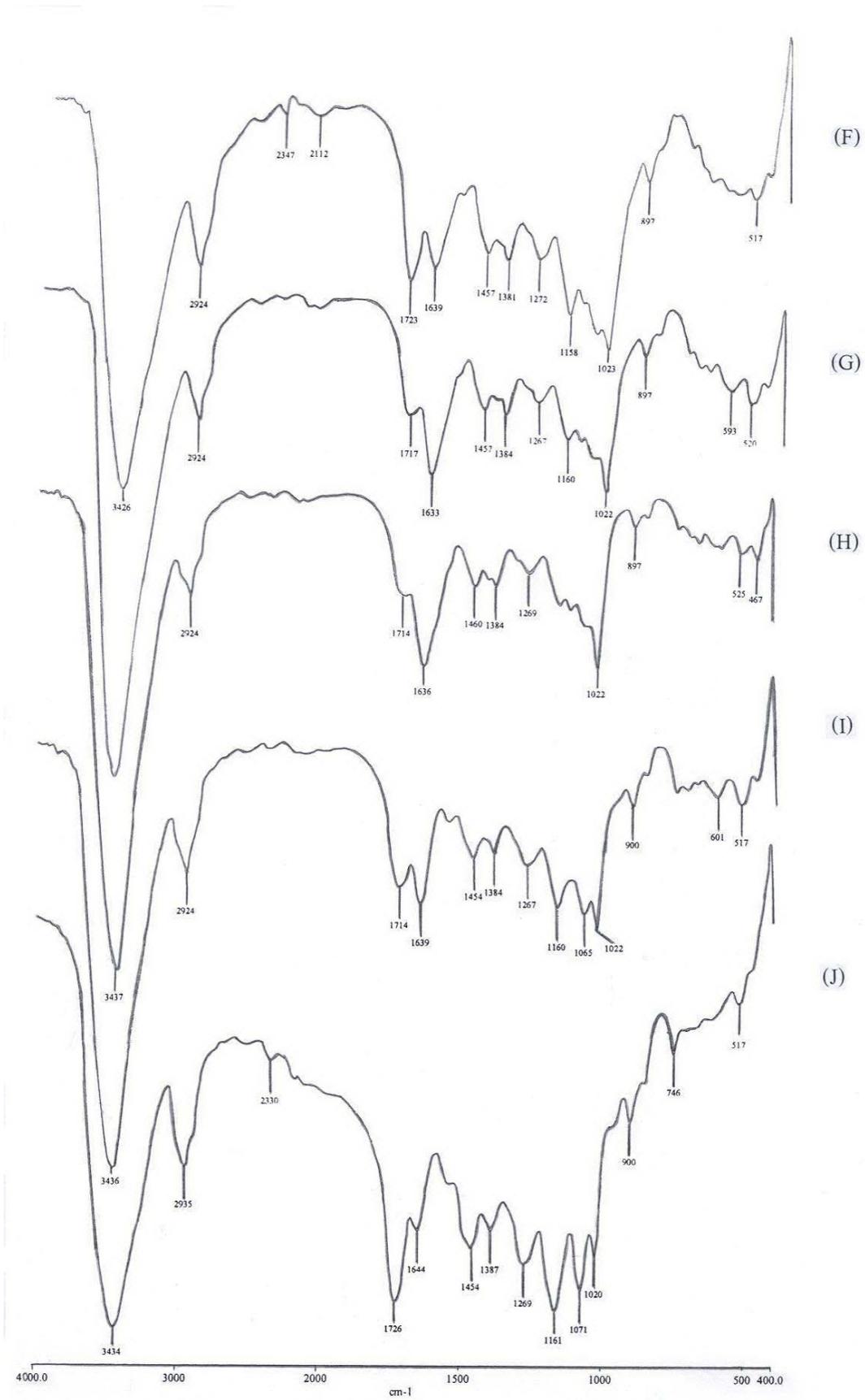
จากรูปที่ 4.1 แสดง IR spectrum ของผงสารเมือกจากเม็ดแมงลัก โดยพิจารณาที่เลขคลื่น ในช่วง  $400-4000\text{ cm}^{-1}$  พบว่าที่เลขคลื่นประมาณ  $3393\text{ cm}^{-1}$  คือ หมู่ไฮดรอกซิล ที่เลขคลื่นประมาณ  $2887\text{ cm}^{-1}$  คือหมู่ C-H ของอะลิฟาติก ที่เลขคลื่นประมาณ  $1628\text{ cm}^{-1}$  คือหมู่คาร์บอนิล และที่เลขคลื่นประมาณ  $842\text{ cm}^{-1}$  คือหมู่ C=CH หมู่ฟังก์ชันเหล่านี้พบอยู่ในโครงสร้างของพวก Uronide [4] ที่เป็นโครงสร้างของสารเมือกจากเม็ดแมงลัก

จากรูปที่ 4.2 แสดง IR spectrum ของ Poly(2-hydroxyethyl methacrylate) ที่ไม่มีสารเชื่อมโยง ณ อุณหภูมิขณะผสม  $50-60\text{ }^{\circ}\text{C}$  โดยพิจารณาที่เลขคลื่นในช่วง  $400-4000\text{ cm}^{-1}$  พบว่าที่เลขคลื่นประมาณ  $3436\text{ cm}^{-1}$  คือ หมู่ไฮดรอกซิล ที่เลขคลื่นประมาณ  $2929\text{ cm}^{-1}$  คือหมู่ C-H ของอะลิฟาติก ที่เลขคลื่นประมาณ  $1712\text{ cm}^{-1}$  คือหมู่คาร์บอนิลของเอสเทอร์ ที่เลขคลื่นประมาณ  $1635\text{ cm}^{-1}$  เป็นของ Vinyl methylene ที่เลขคลื่นประมาณ  $1029\text{ cm}^{-1}$  คือหมู่ C-O และที่เลขคลื่นประมาณ  $905\text{ cm}^{-1}$  คือหมู่ C=CH

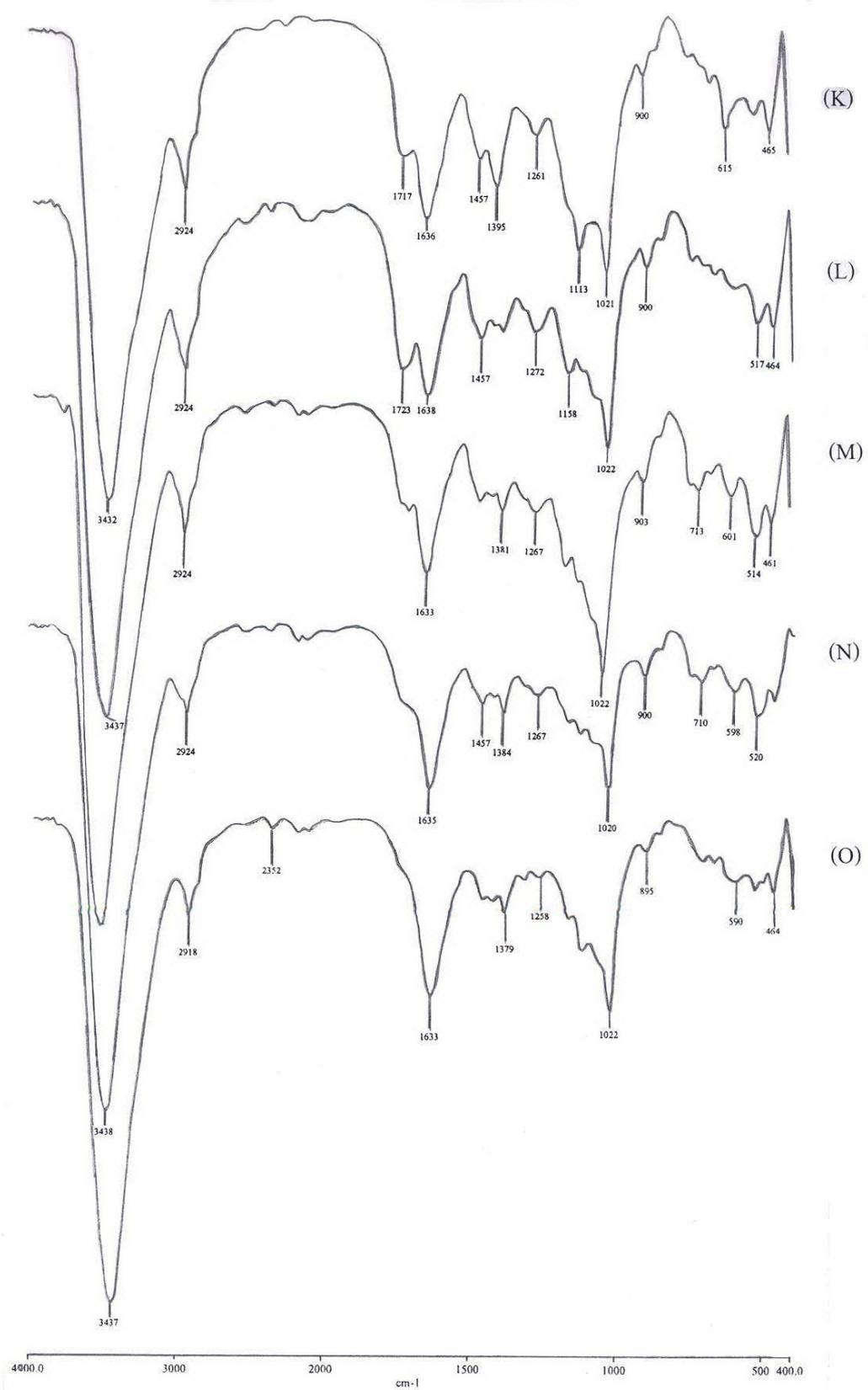
รูปที่ 4.3, รูปที่ 4.4 , รูปที่ 4.5 และรูปที่ 4.6 เป็นการเปรียบเทียบ IR spectra ของฟิล์มไฮโดรเจลของสารเมือกจากเม็ดแมงลักที่เตรียมในสภาวะมาตรฐาน ฟิล์มผสม 2-Hydroxyethyl methacrylate กับสารเมือกจากเม็ดแมงลักในสภาวะมาตรฐาน ฟิล์มผสมที่ลดปริมาณสารเชื่อมโยง และฟิล์มผสมที่ลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา ตามลำดับ ที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำและเมทานอล การใช้น้ำสกัดฟิล์มเพื่อชะล้างตัวริเริ่มปฏิกิริยาหรือมอนอเมอร์ที่ไม่เกิดปฏิกิริยาออกจากฟิล์ม สำหรับการสกัดด้วยเมทานอล เพื่อชะล้างไฮโมพอลิเมอร์ที่ไม่ได้ต่อกิ่งบนสารเมือกจากเม็ดแมงลักออก



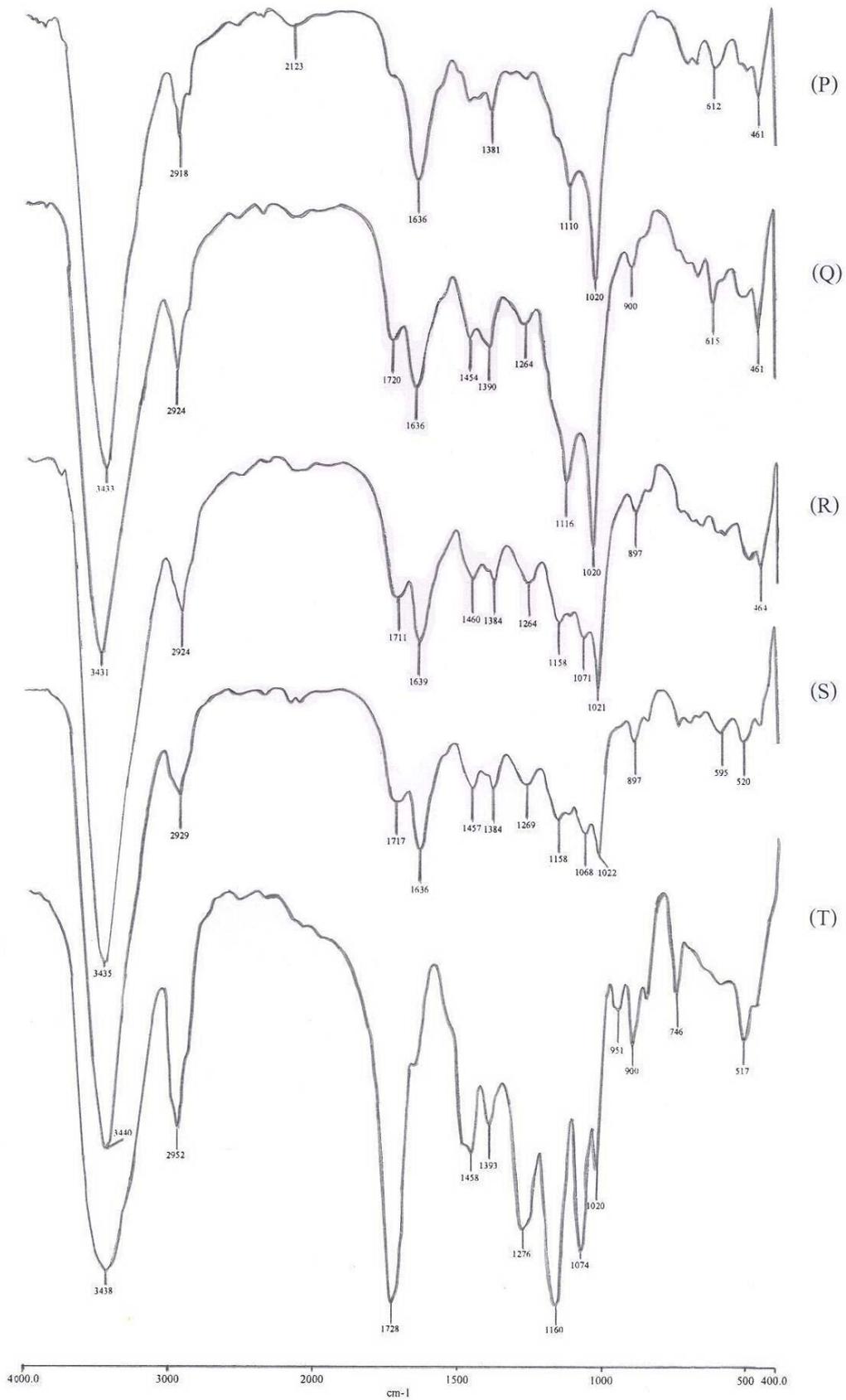
รูปที่ 4.3 แสดง IR spectra ของฟิล์มไฮโดรเจลสารเมือกจากเมล็ดแมงลัก ไม่มีมोनอเมอร์ ณ อุณหภูมิขณะผสม 50-60 °C



รูปที่ 4.4 แสดง IR spectra ของฟิล์มไฮโครเจลผสมสูตรมาตรฐาน ณ อุณหภูมิขณะผสม 50-60 °C



รูปที่ 4.5 แสดง IR spectra ของฟิล์มไฮโดรเจลผสม เมื่อลดปริมาณสารเชื่อมโย  
 ณ อุณหภูมิขณะผสม 50-60 °C



รูปที่ 4.6 แสดง IR spectra ของฟิล์มไฮโครเจลผสม เมื่อลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา ณ อุณหภูมิขณะผสม 50-60 °C

จากรูปที่ 4.3 เปรียบเทียบ IR spectra ของฟิล์มไฮโดรเจลสารเมือกจากเม็ดแมงลักเมื่อไม่มีมอนอเมอร์ สูตร B-E คือฟิล์มไฮโดรเจล 3 %, 2 %, 1 %, 0.5 % ของสารเมือกจากเม็ดแมงลักที่ไม่มีมอนอเมอร์ ตามลำดับ พบว่าที่เลขคลื่นประมาณ  $3436-3439\text{ cm}^{-1}$  คือหมู่ไฮดรอกซิล ซึ่งไม่มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อปริมาณสารเมือกจากเม็ดแมงลักเพิ่มขึ้น ที่เลขคลื่นประมาณ  $2918\text{ cm}^{-1}$  คือหมู่ C-H และที่เลขคลื่นประมาณ  $1632-1637\text{ cm}^{-1}$  คือหมู่คาร์บอนิลของสารเมือกจากเม็ดแมงลัก และที่เลขคลื่น  $1116\text{ cm}^{-1}$  และ  $1023\text{ cm}^{-1}$  คือหมู่ -C-O ของสารเมือกจากเม็ดแมงลัก นอกจากนี้ยังปรากฏพีคที่  $1426$  และ  $1381\text{ cm}^{-1}$  ซึ่งเป็นเอกลักษณ์ของสารเชื่อมโยง (รูปที่ ข.9 ในภาคผนวก) แสดงว่าสารเชื่อมโยงทำปฏิกิริยากับสารเมือกจากเม็ดแมงลักจริง

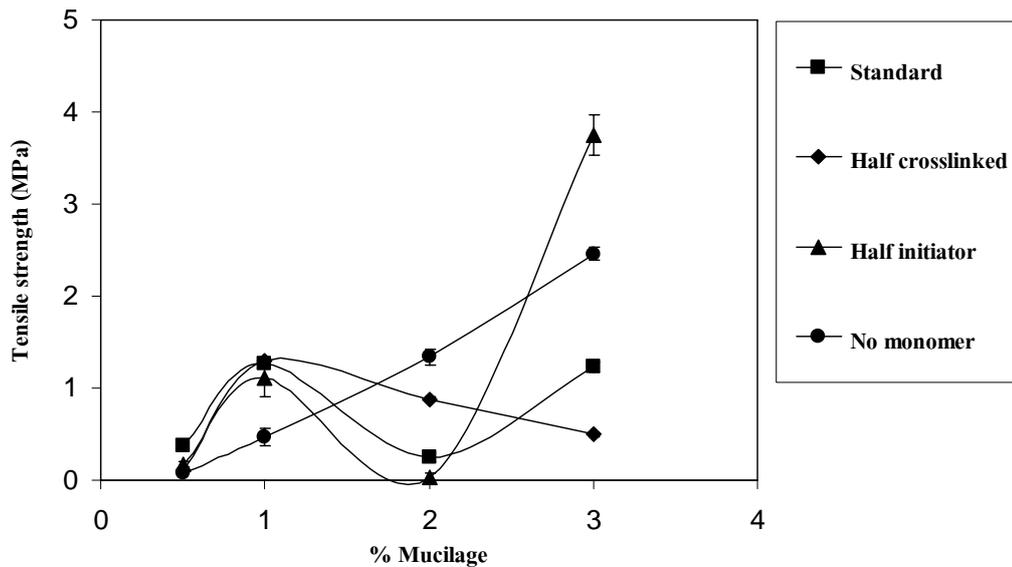
จากรูปที่ 4.4 เปรียบเทียบ IR spectra ของฟิล์มไฮโดรเจลผสมสูตรมาตรฐาน สูตร F-J คือฟิล์มไฮโดรเจล 3 %, 2 %, 1 %, 0.5 %, 0 % สารเมือกจากเม็ดแมงลักสูตรมาตรฐานที่มีมอนอเมอร์ผสมอยู่ พบว่า IR spectra มีส่วนของฟิล์มไฮโดรเจลสารเมือกจากเม็ดแมงลักที่ไม่มีมอนอเมอร์ แต่มีหมู่คาร์บอนิลของ Poly(2-hydroxyethyl methacrylate) ปรากฏที่เลขคลื่นประมาณ  $1713-1726\text{ cm}^{-1}$  ซึ่งซ้อนทับกับตำแหน่งของหมู่คาร์บอนิลในสารเชื่อมโยง นอกจากนี้ยังปรากฏพีคในช่วง  $1644$  และ  $1269\text{ cm}^{-1}$  ซึ่งเป็นเอกลักษณ์ของ 2-Hydroxyethyl methacrylate และเมื่อปริมาณสารเมือกจากเม็ดแมงลักเพิ่มขึ้น ปริมาณหมู่คาร์บอนิลของ Poly(2-hydroxyethyl methacrylate) มีการดูดกลืนชัดเจนขึ้น เนื่องจากการต่อกิ่งบนสารเมือกจากเม็ดแมงลักมากขึ้นและเมื่อเปรียบเทียบกับรูปที่ 4.3 พบว่าไม่มีพีคของ  $1644$  และ  $1269\text{ cm}^{-1}$  แสดงว่าพีคเหล่านี้เป็นของ Poly(2-hydroxyethyl methacrylate) จริง

จากรูปที่ 4.5 เปรียบเทียบ IR spectra ของฟิล์มไฮโดรเจลผสมที่ลดปริมาณสารเชื่อมโยง สูตร K-O คือฟิล์มไฮโดรเจล 3 %, 2 %, 1 %, 0.5 %, 0 % สารเมือกจากเม็ดแมงลักที่มีมอนอเมอร์ พบว่าให้ลักษณะ IR spectra ของฟิล์มไฮโดรเจลผสมคล้ายกับรูปที่ 4.4 ยกเว้นพอลิเมอร์สูตรลดปริมาณสารเชื่อมโยง (O) กับพอลิเมอร์สูตรมาตรฐาน (J) ซึ่งพอลิเมอร์สูตรมาตรฐาน (J) มีพีคที่  $1726\text{ cm}^{-1}$  เด่นชัดเพราะว่าพอลิเมอร์สูตรมาตรฐาน (J) มีสารเชื่อมโยงมากกว่าพอลิเมอร์สูตรลดปริมาณสารเชื่อมโยง (O) และหมู่คาร์บอนิลของสารเชื่อมโยงอยู่ตำแหน่งเดียวกันกับของพอลิเมอร์

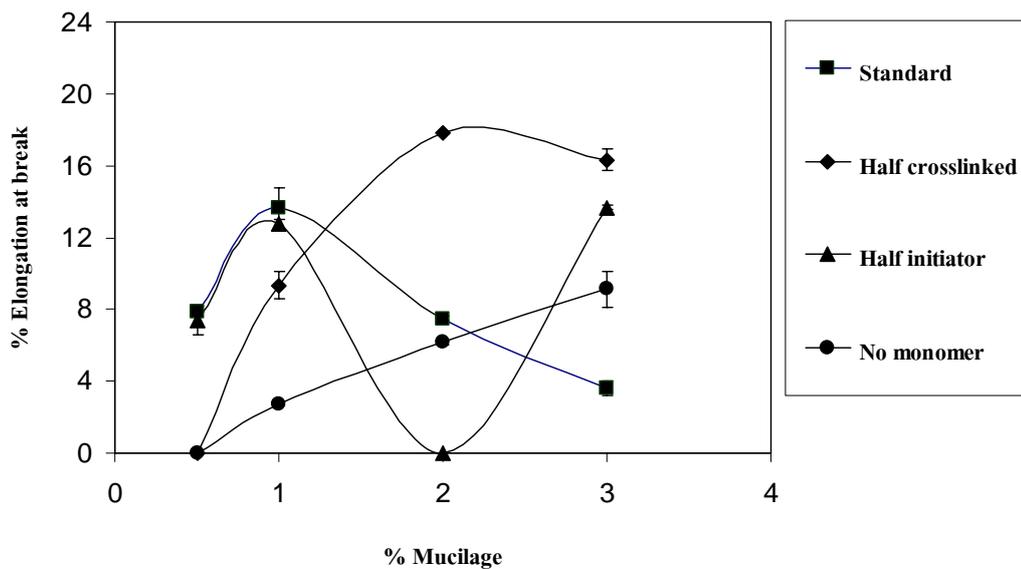
จากรูปที่ 4.6 เปรียบเทียบ IR spectra ของฟิล์มไฮโดรเจลผสมที่ลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา สูตร P-T คือฟิล์มไฮโดรเจล 3 %, 2 %, 1 %, 0.5 %, 0 % สารเมือกจากเม็ดแมงลักที่มีมอนอเมอร์ เมื่อลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงของพีคที่เลขคลื่นประมาณ  $1711-1728\text{ cm}^{-1}$  ซึ่งเป็นหมู่คาร์บอนิล โดยพีคลดลงเมื่อปริมาณสารเมือกจากเม็ดแมงลักเพิ่มขึ้น อธิบายได้ว่าพีคของสารเมือกจากเม็ดแมงลักที่เลขคลื่นประมาณ  $1636-1639\text{ cm}^{-1}$  ซ้อนทับบังไว้ ส่วนพีคที่เลขคลื่นอื่นๆ ยังคงเหมือนเดิม เมื่อเปรียบเทียบกับ IR spectrum ของพอลิเมอร์ที่ลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา (T) กับพอลิเมอร์สูตรมาตรฐาน (J) พบว่าให้พีคที่เลขคลื่นต่างๆ เหมือนกัน แต่เมื่อเปรียบเทียบกับ IR spectrum ของพอลิเมอร์ที่ลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา (T) กับ Poly(2-hydroxyethyl methacrylate)

สูตรมาตรฐาน (รูปที่ 4.4) พบว่าถ้า Poly(2-hydroxyethyl methacrylate) เกิดการเชื่อมโยงพิกที่เลขคลื่น  $1728\text{ cm}^{-1}$  จะเด่นชัด (T) แสดงว่าโซ่พอลิเมอร์ที่เกิดขึ้นยาวกว่ากรณีของสูตรมาตรฐานเพราะเห็นพีกคาร์บอนิลชัดเจน

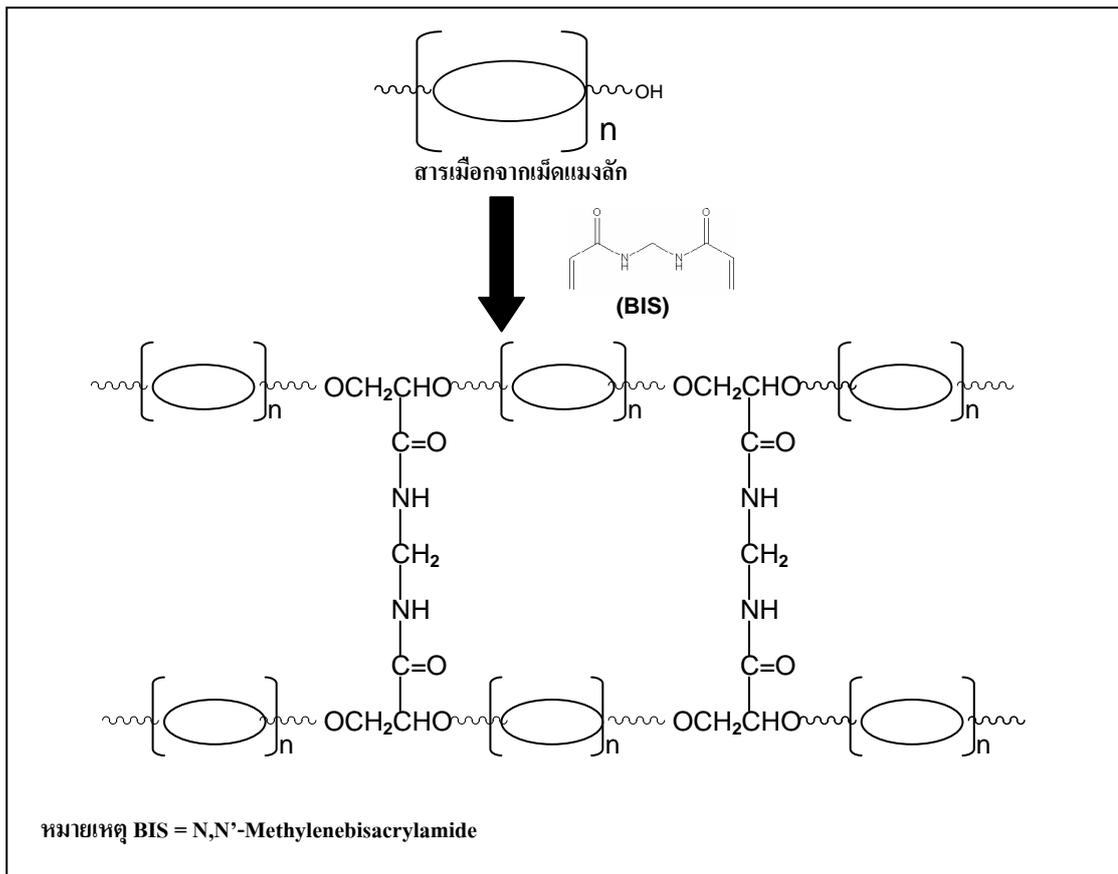
#### 4.1.2 สมบัติเชิงกลของฟิล์มไฮโดรเจลทุกชนิดที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำและเมทานอล



รูปที่ 4.7 กราฟเปรียบเทียบความทนแรงดึงของฟิล์มไฮโดรเจลในสถานะต่างๆ ณ อุณหภูมิขณะผสม 50-60°C



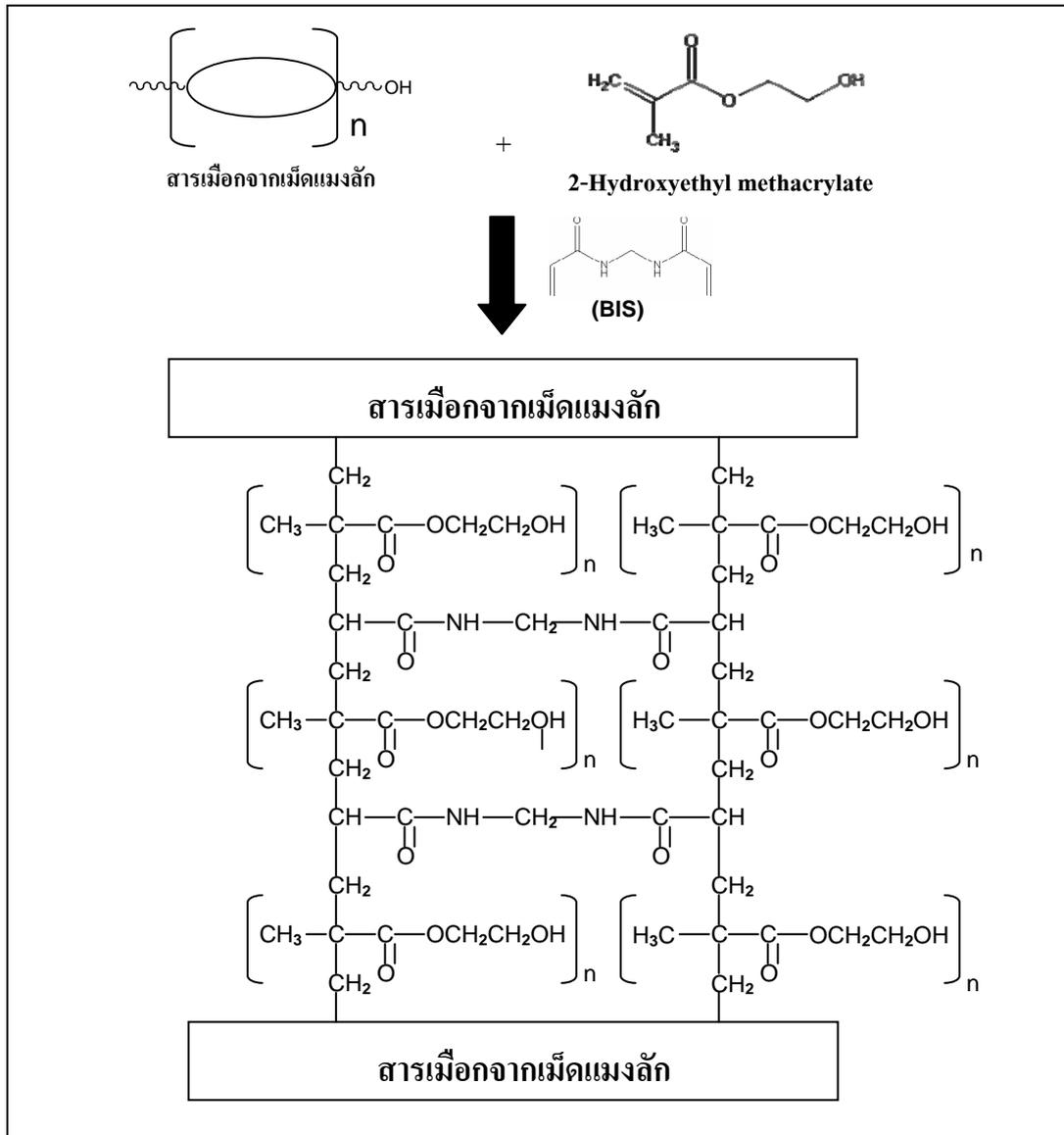
รูปที่ 4.8 กราฟเปรียบเทียบร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาดของฟิล์มไฮโดรเจลในสถานะต่างๆ ณ อุณหภูมิขณะผสม 50-60°C



**รูปที่ 4.9** แสดงภาพจำลองปฏิกิริยาการเกิดพันธะเชื่อมโยงของฟิล์มไฮโดรเจลสารเมือกจากเม็ดแมงลักไม่มีมอนอเมอร์ [16]

นำฟิล์มไฮโดรเจลที่เตรียมได้ ณ สภาพต่างๆที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำและเมทานอลมาวิเคราะห์สมบัติเชิงกลโดยนำมาแช่น้ำก่อน 10 นาที เนื่องจากการนำไปใช้งานของฟิล์มไฮโดรเจลต้องแช่น้ำหรือยาก่อน ผลการทดลองของฟิล์มไฮโดรเจล พบว่า จากรูปที่ 4.7 ฟิล์มไฮโดรเจลที่ทำจากสารเมือกจากเม็ดแมงลัก มีความทนต่อแรงดึง (Tensile strength) สูงขึ้นเมื่อปริมาณสารเมือกจากเม็ดแมงลักเพิ่มขึ้น แสดงว่า สารเชื่อมโยงมีโอกาสทำปฏิกิริยาเชื่อมโยงมากขึ้น สำหรับค่าความทนต่อแรงดึงของฟิล์มไฮโดรเจลผสมระหว่างสารเมือกจากเม็ดแมงลักกับ 2-Hydroxyethyl methacrylate ในสูตรต่าง ๆ นั้นเปลี่ยนแปลงขึ้นกับ ปริมาณสารเมือกจากเม็ดแมงลัก ปริมาณสารเชื่อมโยงที่ใช้ และปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยาที่ใช้ เมื่อพิจารณาฟิล์มไฮโดรเจลผสมที่ 3 % สารเมือกจากเม็ดแมงลัก พบว่าสูตรที่ลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยาให้ความทนต่อแรงดึงสูงสุด นั่นคืออนุโมลอิสระที่เกิดขึ้นมีน้อย ตำแหน่งที่มอนอเมอร์ต่อกิ่งบนสารเมือกจากเม็ดแมงลักน้อย ระบบมีความหนืดมาก การแพร่ของมอนอเมอร์และสารเชื่อมโยงไม่ดี พอลิเมอร์ที่ต่อกิ่งบนสารเมือกจากเม็ดแมงลักน่าจะมีสายโซ่ยาวและอยู่ห่างกันเกิดปริมาตรอิสระมาก ช่วยในการรับแรงดึงและแรงยึด นอกจากนี้คาดว่าจำนวนพันธะเชื่อมโยงจะน้อยกว่าในสูตรมาตรฐาน ส่วนฟิล์มไฮโดรเจลผสม 3 %

สารเมือกจากเม็ดแมงลัก สูตรที่ลดปริมาณสารเชื่อมโยงมีค่าความทนแรงดึงต่ำ คาดว่าพันธะเชื่อมโยงจะเกิดในสารเมือกจากเม็ดแมงลักเป็นส่วนใหญ่



รูปที่ 4.10 แสดงภาพจำลองการเกิดฟิล์มไฮโดรเจลผสมระหว่างสารเมือกจากเม็ดแมงลักกับ Poly(2-hydroxyethyl methacrylate) [16]

จากรูปที่ 4.8 สำหรับค่าร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาดนั้น (% Elongation at break) ฟิล์มไฮโดรเจลที่ทำจากสารเมือกจากเม็ดแมงลักมีแนวโน้มการดึงยืด ณ จุดขาดสูงขึ้น เมื่อปริมาณสารเมือกจากเม็ดแมงลักเพิ่มขึ้น คล้ายกับค่าความทนต่อแรงดึง ส่วนฟิล์มไฮโดรเจลผสมระหว่างสารเมือกจากเม็ดแมงลักกับ 2-Hydroxyethyl methacrylate กรณีลดปริมาณสารเชื่อมโยงและลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยาลง การดึงยืด ณ จุดขาดของฟิล์มไฮโดรเจลผสมมีแนวโน้มสูงขึ้นตามปริมาณสาร

เนื่องจากเม็ดแมงลักที่เพิ่มขึ้น แต่กรณีฟิล์มไฮโดรเจลผสมสูตรมาตรฐาน พบว่าการดึงยืด ณ จุดขาด มีแนวโน้มลดลงตามปริมาณสารเนื่องจากเม็ดแมงลักที่เพิ่มขึ้น แสดงว่าสารเชื่อมโยงสามารถทำปฏิกิริยาได้ทั้งในสารเนื่องจากเม็ดแมงลักและพอลิเมอร์ที่เกิดขึ้น ซึ่งอาจเกิดลักษณะโครงร่างแหแบบสอดประสาน (Interpenetrating network) ซึ่งปริมาณพันธะที่ยึดโครงร่างแหจะส่งผลต่อการดึงยืดของฟิล์มไฮโดรเจล ส่วนตัวริเริ่มปฏิกิริยาที่ลดลงจะไปลดตำแหน่งที่ทำให้เกิดการยึดโยงของโครงร่างแห ส่งผลให้การดึงยืดของฟิล์มไฮโดรเจลสูงขึ้น

ผลจากสมบัติเชิงกลของฟิล์มไฮโดรเจลผสมสูตรต่างๆ กล่าวได้ว่า ฟิล์มไฮโดรเจลผสม 3% สารเนื่องจากเม็ดแมงลักผสมกับ 2-Hydroxyethyl methacrylate ที่ลดปริมาณสารเชื่อมโยงลงครึ่งหนึ่งให้ฟิล์มไฮโดรเจลที่มีสมบัตินุ่มคล้ายยางคือ ออกแรงดึงต่ำแต่ยืดได้มากกว่าขนาด ส่วนฟิล์มไฮโดรเจลผสมที่ลดตัวริเริ่มปฏิกิริยาครึ่งหนึ่งให้ฟิล์มไฮโดรเจลที่มีสมบัติแข็งแรงและยืดได้ดี สำหรับฟิล์มไฮโดรเจลผสมสูตรมาตรฐานให้ฟิล์มไฮโดรเจลที่มีสมบัติแข็งแต่ไม่ยืด ฟิล์มพอลิเมอร์อย่างเดียวไม่สามารถวัดสมบัติเชิงกลได้เพราะเมื่อแช่น้ำฟิล์มจะหดตัวไม่คงรูปร่างเดิมและสารเนื่องจากเม็ดแมงลักอย่างเดียวไม่สามารถวัดสมบัติเชิงกลได้เช่นกันเพราะละลายน้ำอย่างรวดเร็ว

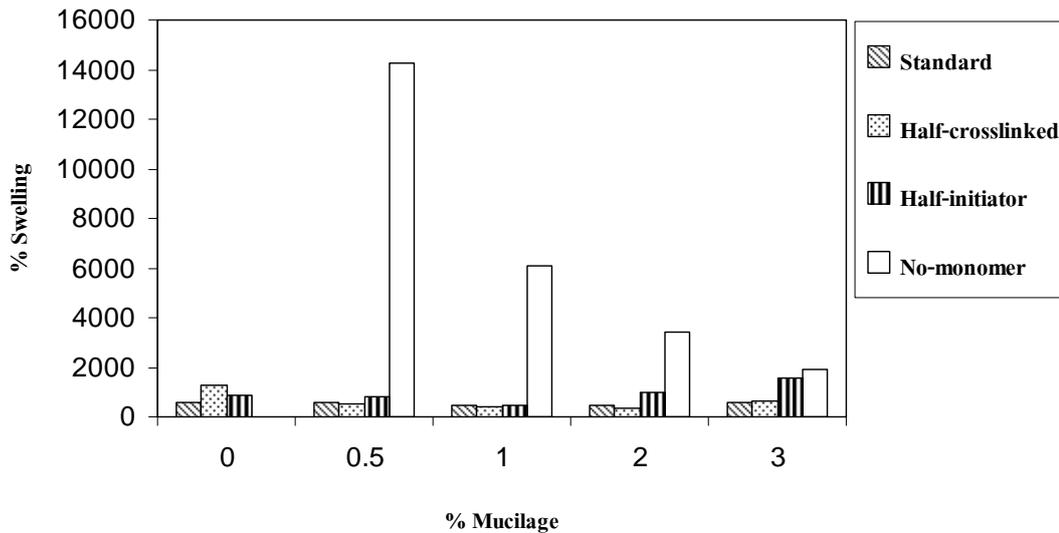
ในกรณีของฟิล์มไฮโดรเจลสูตรลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยาครึ่งหนึ่ง เมื่อมีปริมาณสารเนื่องจากเม็ดแมงลัก 2 % มีค่าความทนต่อแรงดึงและร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาดต่ำที่สุด เนื่องมาจากในการทดลองใช้ปริมาณมอนอเมอร์ 5 มิลลิลิตรคงที่ แล้วค่อยเพิ่มปริมาณสารเนื่องจากเม็ดแมงลัก 0.5-3 % เมื่อในระบบมีสารเนื่องจากเม็ดแมงลักอยู่น้อยเช่น 0.5-1 % สารเนื่องจากเม็ดแมงลักจะกระจายตัวแขวนลอยโดยมีพอลิเมอร์ที่เกิดขึ้นเป็นวัฏภาคหลัก แต่เมื่อสารเนื่องจากเม็ดแมงลักมี 2 % อนุภาคของสารเนื่องจากเม็ดแมงลักจะมีขนาดใหญ่เกิดเป็นเม็ดสีขาวกระจายอยู่ทั่วไปบนแผ่นฟิล์มไฮโดรเจล ด้วยเหตุนี้จึงไปขัดขวางการเคลื่อนที่ของโซ่พอลิเมอร์ เมื่อออกแรงดึงค่าความทนต่อแรงดึงและร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาดจึงต่ำที่สุด กรณีที่มีสารเนื่องจากเม็ดแมงลัก 3 % สารเนื่องจากเม็ดแมงลักเป็นวัฏภาคหลัก สมบัติเชิงกลจึงเพิ่มขึ้น

ปฏิกิริยาการเกิดฟิล์มไฮโดรเจลสารเนื่องจากเม็ดแมงลักไม่มีมอนอเมอร์ พบว่า สารเนื่องจากเม็ดแมงลักสามารถเกิดพันธะเชื่อมโยงได้ดังรูปที่ 4.9 [16]

จากรูปที่ 4.10 แสดงภาพจำลองการเกิดฟิล์มไฮโดรเจลผสมระหว่างสารเนื่องจากเม็ดแมงลักกับ Poly(2-hydroxyethyl methacrylate) พบว่า Poly(2-hydroxyethyl methacrylate) จะมีการต่อกิ่งบนสายโซ่ของสารเนื่องจากเม็ดแมงลักและในขณะเดียวกัน Poly(2-hydroxyethyl methacrylate) เกิดการเชื่อมโยงกัน [16]

### 4.1.3 ผลทดสอบการดูดซับน้ำภายใน 24 ชั่วโมงของฟิล์มไฮโดรเจลทุกชนิดที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำและเมทานอล

การนำฟิล์มไฮโดรเจลมาสกัดด้วยน้ำเพื่อกำจัดสารเมือกจากเมล็ดแมงลักที่ไม่เกิดพันธะเชื่อมโยง มอนอเมอร์ที่ไม่เกิดปฏิกิริยา ตัวริเริ่มปฏิกิริยาและสารเชื่อมโยงที่เหลือ ส่วนการสกัดด้วยเมทานอลเพื่อกำจัดพอลิเมอร์ที่ไม่เกิดการเชื่อมโยง



รูปที่ 4.11 กราฟเปรียบเทียบ % การดูดซับน้ำที่เวลา 24 ชั่วโมงของฟิล์มไฮโดรเจลที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำและเมทานอลในสถานะต่างๆ ณ อุณหภูมิขณะผสม 50-60 °C

จากรูปที่ 4.11 เมื่อนำฟิล์มไฮโดรเจลที่เตรียมได้ ณ สถานะต่างๆผ่านการสกัดด้วยน้ำและเมทานอลแล้ว มาทดสอบการดูดซับน้ำในเวลา 24 ชั่วโมง พบว่า ฟิล์มไฮโดรเจลสารเมือกจากเมล็ดแมงลักที่ไม่มีมอนอเมอร์ดูดซับน้ำได้สูงที่สุดและเมื่อปริมาณสารเมือกจากเมล็ดแมงลักเพิ่มขึ้นความสามารถในการดูดซับน้ำของฟิล์มไฮโดรเจลสารเมือกจากเมล็ดแมงลักที่ไม่มีมอนอเมอร์จะลดลง เนื่องจากสารเมือกจากเมล็ดแมงลักมากทำให้ความหนืดในระบบสูงเกิดพันธะเชื่อมโยงหนาแน่นแต่ไม่กระจาย เมื่อเทียบกับปริมาณสารเมือกจากเมล็ดแมงลักน้อยความหนืดในระบบต่ำเกิดการกระจายของตัวริเริ่มปฏิกิริยาและสารเชื่อมโยง ทำให้พันธะเชื่อมโยงเกิดได้มากเช่นกันแต่ในลักษณะกระจายทั่วทั้งสารเมือกจากเมล็ดแมงลัก เมื่อนำมาแช่น้ำ น้ำจึงแพร่เข้าไปได้มาก ฟิล์มไฮโดรเจลที่มีปริมาณสารเมือกจากเมล็ดแมงลัก 0.5 % ดูดซับน้ำได้ 14255 % ปริมาณสารเมือกจากเมล็ดแมงลัก 1 % ดูดซับน้ำได้ 6060 % ปริมาณสารเมือกจากเมล็ดแมงลัก 2 % ดูดซับน้ำได้ 3411 % และปริมาณสารเมือกจากเมล็ดแมงลัก 3 % ดูดซับน้ำได้ 1909 %

ฟิล์มไฮโดรเจลสูตรมาตรฐานที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำและเมทานอลแล้ว นำมาทดสอบการดูดซับน้ำในเวลา 24 ชั่วโมง พบว่า เมื่อปริมาณสารเมือกจากเม็ดแมงลักเพิ่มขึ้น ความสามารถในการดูดซับน้ำของฟิล์มไฮโดรเจลใกล้เคียงกัน เนื่องจากมอนอเมอร์ 2-Hydroxyethyl methacrylate ที่ต่อกิ่งบนพอลิเมอร์ของสารเมือกจากเม็ดแมงลักเกิดปฏิกิริยากับสารเชื่อม โยงทำให้เกิดการเชื่อมโยงระหว่างสายโซ่ของสารเมือกจากเม็ดแมงลักและระหว่างสายโซ่ของ Poly(2-hydroxyethyl methacrylate) ทำให้ได้ฟิล์มพอลิเมอร์แข็งมาก โมเลกุลของน้ำจึงแพร่เข้าไปได้ยาก [16] ฟิล์มไฮโดรเจล Poly(2-hydroxyethyl methacrylate) ดูดซับน้ำได้ 566 % ฟิล์มไฮโดรเจลผสมสารเมือกจากเม็ดแมงลัก 0.5 % ดูดซับน้ำได้ 566 % ฟิล์มไฮโดรเจลสารเมือกจากเม็ดแมงลัก 1 % ดูดซับน้ำได้ 435 % ฟิล์มไฮโดรเจลสารเมือกจากเม็ดแมงลัก 2 % ดูดซับน้ำได้ 469 % และฟิล์มไฮโดรเจลสารเมือกจากเม็ดแมงลัก 3 % ดูดซับน้ำได้ 602 %

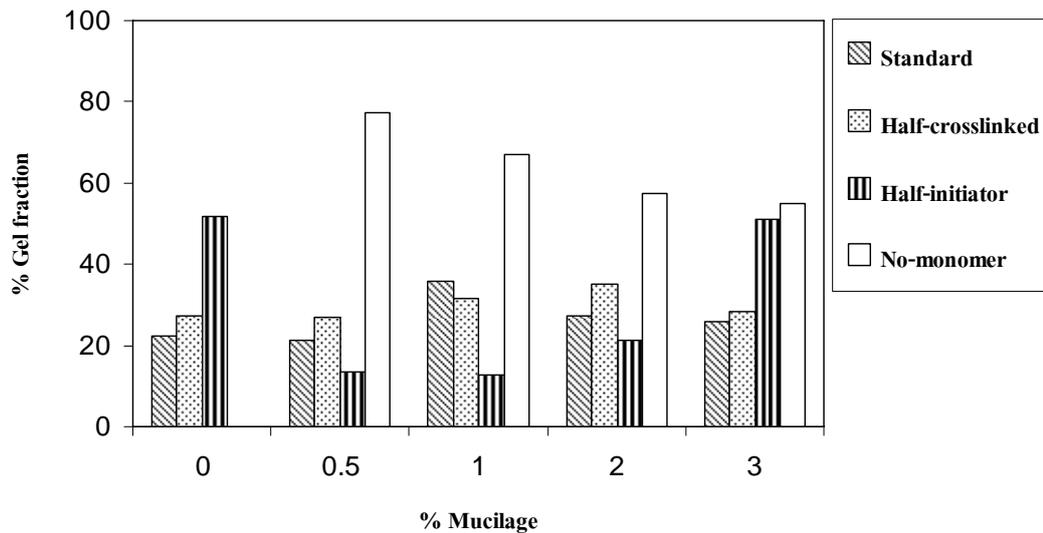
ฟิล์มไฮโดรเจลที่ลดปริมาณสารเชื่อม โยงลงครั้งหนึ่งที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำและเมทานอลแล้ว มาทดสอบการดูดซับน้ำ ที่เวลา 24 ชั่วโมง พบว่า ฟิล์มไฮโดรเจล Poly(2-hydroxyethyl methacrylate) ดูดซับน้ำได้ดีที่สุดคือ 1285 % และเมื่อเติมสารเมือกจากเม็ดแมงลักลงไปทำให้ความสามารถในการดูดซับน้ำลดลง เนื่องจากเมื่อเติมสารเมือกจากเม็ดแมงลักลงไป Poly(2-hydroxyethyl methacrylate) จะเกิดการต่อกิ่งบนสารเมือกจากเม็ดแมงลักทำให้หมู่ฟังก์ชันที่สามารถดูดซับน้ำได้เหลือน้อยลงการดูดซับน้ำจึงลดลง คือฟิล์มไฮโดรเจลที่มีปริมาณสารเมือกจากเม็ดแมงลัก 0.5 % ดูดซับน้ำได้ 529 % ปริมาณสารเมือกจากเม็ดแมงลัก 1 % ดูดซับน้ำได้ 398 % ปริมาณสารเมือกจากเม็ดแมงลัก 2 % ดูดซับน้ำได้ 357 % และปริมาณสารเมือกจากเม็ดแมงลัก 3 % ดูดซับน้ำได้ 654 %

ฟิล์มไฮโดรเจลที่ลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยาลงครั้งหนึ่งที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำและเมทานอลแล้วนำมาทดสอบการดูดซับน้ำ ที่เวลา 24 ชั่วโมง พบว่า ดูดซับน้ำดีกว่าฟิล์มไฮโดรเจลที่ไม่ลดตัวริเริ่มปฏิกิริยา นอกจากนี้ฟิล์มไฮโดรเจลที่มีปริมาณสารเมือกจากเม็ดแมงลัก 3 % ดูดซับน้ำได้ดีที่สุดคือ 1554 % และดีกว่าฟิล์มไฮโดรเจล Poly(2-hydroxyethyl methacrylate) ซึ่งดูดซับน้ำได้เพียง 891 % ฟิล์มไฮโดรเจลที่มีปริมาณสารเมือกจากเม็ดแมงลัก 0.5 % ดูดซับน้ำได้ 810 % ปริมาณสารเมือกจากเม็ดแมงลัก 1 % ดูดซับน้ำได้ 489 % ปริมาณสารเมือกจากเม็ดแมงลัก 2 % ดูดซับน้ำได้ 989 %

เมื่อเรียงลำดับความสามารถในการดูดซับน้ำของฟิล์มไฮโดรเจลของ Poly(2-hydroxyethyl methacrylate) และฟิล์มไฮโดรเจลผสม ณ อุณหภูมิขณะผสม 50-60 °C ในทุกกรณี พบว่ามีแนวโน้มดังนี้ฟิล์มสารเมือกจากเม็ดแมงลัก > ฟิล์มไฮโดรเจลที่ลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา > ฟิล์มไฮโดรเจลที่ลดปริมาณสารเชื่อม โยง > ฟิล์มไฮโดรเจลสูตรมาตรฐาน

#### 4.1.4 เปอร์เซ็นต์ค่าสัดส่วนเจล

ค่าสัดส่วนเจลแสดงถึงโมเลกุลที่ไม่ละลายน้ำและเมทานอลเพราะเกิดการเชื่อมโยง ค่าสัดส่วนเจลสูงแสดงถึงการเกิดพันธะเชื่อมโยงมาก กราฟรูปที่ 4.10 แสดงผลของค่าสัดส่วนเจลที่เปลี่ยนแปลงตามปริมาณสารเมือกจากเมล็ดแมงลัก ในสภาวะเงื่อนไขการทดลองมาตรฐาน ลดปริมาณสารเชื่อมโยงลงครึ่งหนึ่ง ลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยาครึ่งหนึ่งและกรณีที่ไม่มีมอนอเมอร์



รูปที่ 4.12 กราฟเปรียบเทียบ % ค่าสัดส่วนเจล ของฟิล์มไฮโดรเจลที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำและเมทานอล ในสภาวะต่างๆ ณ อุณหภูมิขณะผสม 50-60°C

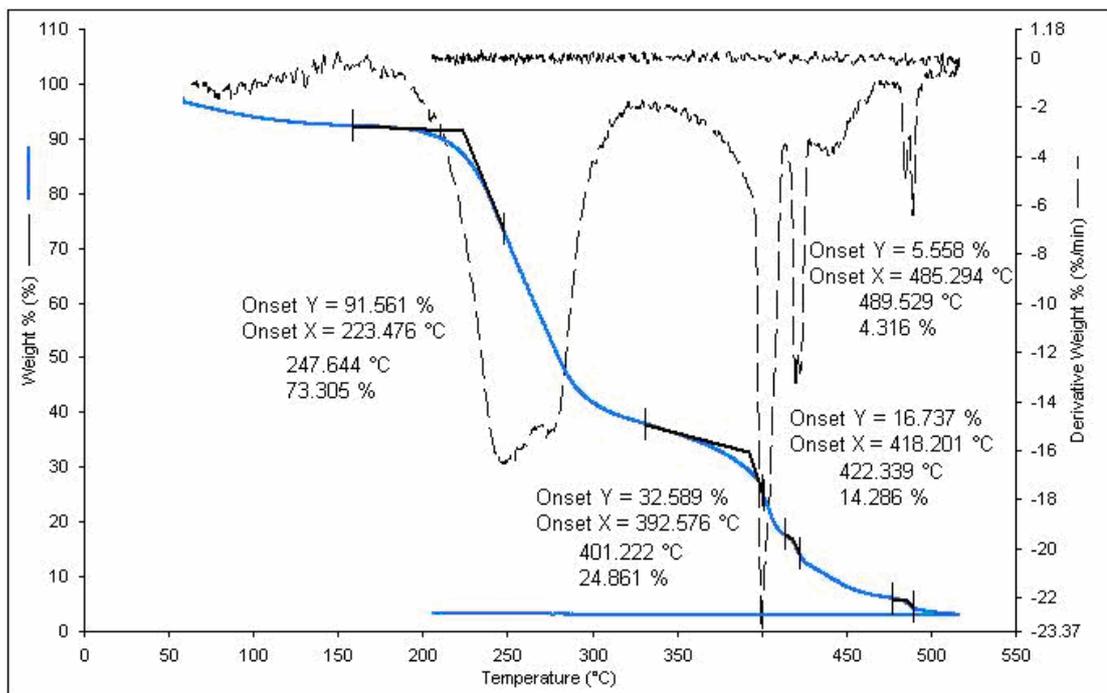
จากรูปที่ 4.12 เมื่อนำฟิล์มไฮโดรเจล Poly(2-hydroxyethyl methacrylate) และฟิล์มไฮโดรเจลผสมที่สภาวะต่างๆ มาสกัดด้วยน้ำและสกัดด้วยเมทานอล ตามลำดับ พบว่า ในกรณีของฟิล์มไฮโดรเจล Poly(2-hydroxyethyl methacrylate) เปอร์เซ็นต์ค่าสัดส่วนเจลเพิ่มขึ้น เมื่อลดปริมาณสารเชื่อมโยงและลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา แสดงว่าเกิดพันธะเชื่อมโยงได้มากกว่าไฮโดรเจล Poly(2-hydroxyethyl methacrylate) สูตรมาตรฐาน โดยเปอร์เซ็นต์ค่าสัดส่วนเจลเรียงลำดับดังนี้ ฟิล์มไฮโดรเจลที่ลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา > ฟิล์มไฮโดรเจลที่ลดปริมาณสารเชื่อมโยง > ฟิล์มไฮโดรเจลสูตรมาตรฐาน ฟิล์มไฮโดรเจลที่ลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยามีเปอร์เซ็นต์ค่าสัดส่วนเจลมากที่สุด เนื่องจากเกิดพอลิเมอร์สายโซ่ยาวทำให้มีมวลโมเลกุลมาก จึงทำให้มีเปอร์เซ็นต์ค่าสัดส่วนเจลมากขึ้นด้วย สำหรับการลดสารเชื่อมโยงทำให้พอลิเมอร์ละลายน้ำมากขึ้นเปอร์เซ็นต์ค่าสัดส่วนเจลจึงน้อยลง [27]

ในกรณีของฟิล์มไฮโดรเจลสารเมือกจากเมล็ดแมงลักเมื่อไม่มีมอนอเมอร์ เปอร์เซ็นต์ค่าสัดส่วนเจลลดลงเมื่อปริมาณสารเมือกจากเมล็ดแมงลักเพิ่มขึ้น อาจเนื่องจากความหนืดเพิ่มขึ้นซึ่งจะ

ไปขัดขวางการแพร่ของสารเชื่อมโยงและตัวริเริ่มปฏิกิริยาส่งผลให้มีเปอร์เซ็นต์ค่าสัดส่วนเจลลดลง [16]

ในกรณีของฟิล์มไฮโดรเจลสูตรมาตรฐาน ฟิล์มไฮโดรเจลที่ลดปริมาณสารเชื่อมโยงและฟิล์มไฮโดรเจลที่ลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา เปอร์เซ็นต์ค่าสัดส่วนเจลมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณสารเมื่อจากเม็ดแมงลักเพิ่มขึ้น เนื่องจากทั้งสารเมื่อจากเม็ดแมงลักและพอลิเมอร์จะเกิดพันธะเชื่อมโยงได้ เปอร์เซ็นต์ค่าสัดส่วนเจลจึงเป็นผลรวมของทั้งสองส่วนเฉพาะที่เกิดพันธะเชื่อมโยง [16]

#### 4.1.5 วิเคราะห์สมบัติทางความร้อนและหาค่าประกอบด้วยเครื่อง TGA



รูปที่ 4.13 แสดงสมบัติทางความร้อนของผงสารเมื่อจากเม็ดแมงลัก (A)

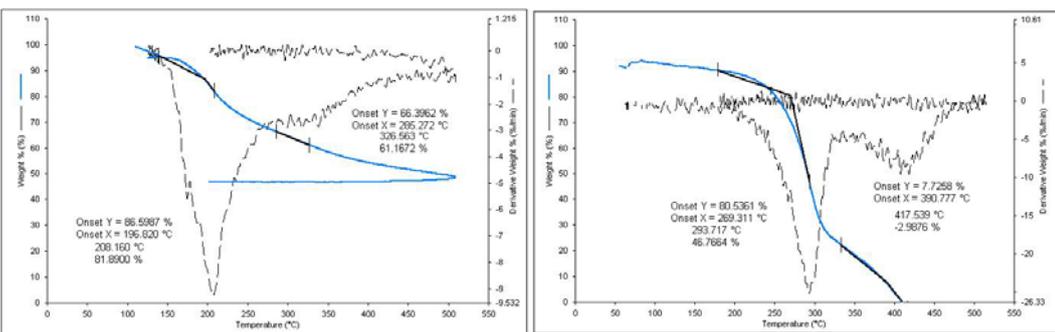
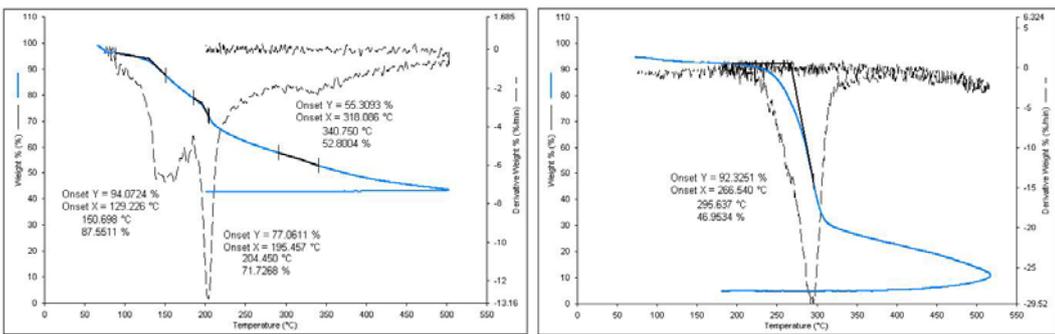
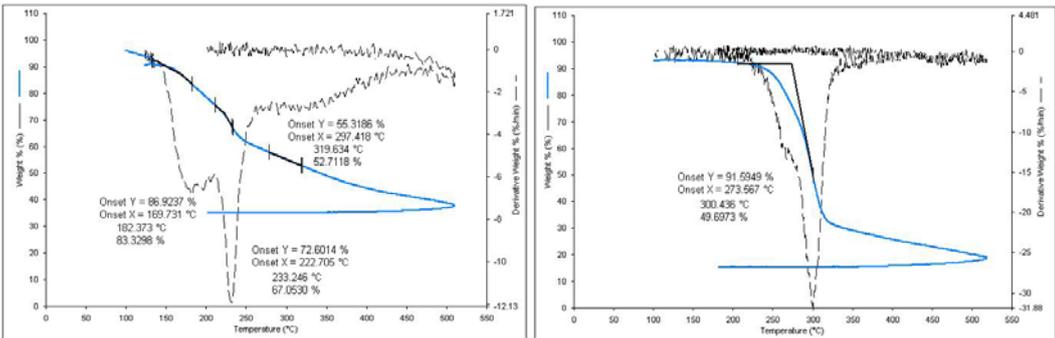
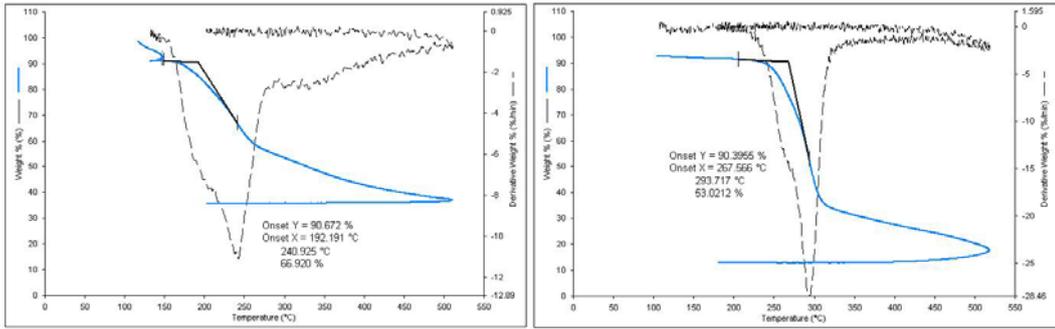
ตารางที่ 4.1 แสดงค่าอุณหภูมิการสลายตัวของฟิล์มไฮโดรเจลที่สภาวะต่างๆ

ณ อุณหภูมิขณะผสม 50-60 °C

สูตร	เงื่อนไข	T <sub>d1</sub> (°C)	T <sub>d2</sub> (°C)	T <sub>d3</sub> (°C)
สารเมือกจากเม็ดแมงลัก(A)		247	401	489
3%สารเมือกจากเม็ดแมงลัก ไม่มีมอนอเมอร์(B)	ก่อนสกัด	240	-	-
	หลังสกัด	293	-	-
2%สารเมือกจากเม็ดแมงลัก ไม่มีมอนอเมอร์(C)	ก่อนสกัด	182	233	319
	หลังสกัด	300	-	-
1%สารเมือกจากเม็ดแมงลัก ไม่มีมอนอเมอร์(D)	ก่อนสกัด	150	204	340
	หลังสกัด	295	-	-
0.5%สารเมือกจากเม็ด แมงลักไม่มีมอนอเมอร์(E)	ก่อนสกัด	208	326	-
	หลังสกัด	293	417	-
3%สารเมือกจากเม็ดแมงลัก สูตรมาตรฐาน(F)	ก่อนสกัด	301	372	475
	หลังสกัด	327	385	-
2%สารเมือกจากเม็ดแมงลัก สูตรมาตรฐาน(G)	ก่อนสกัด	229	374	-
	หลังสกัด	315	377	465
1%สารเมือกจากเม็ดแมงลัก สูตรมาตรฐาน(H)	ก่อนสกัด	192	371	-
	หลังสกัด	331	372	444
0.5%สารเมือกจากเม็ด แมงลักสูตรมาตรฐาน(I)	ก่อนสกัด	179	370	-
	หลังสกัด	334	375	449
พอลิเมอร์ สูตรมาตรฐาน(J)	ก่อนสกัด	221	355	474
	หลังสกัด	278	375	460
3%สารเมือกจากเม็ดแมงลัก ลดสารเชื่อมโยง(K)	ก่อนสกัด	233	377	-
	หลังสกัด	323	386	-
2%สารเมือกจากเม็ดแมงลัก ลดสารเชื่อมโยง(L)	ก่อนสกัด	215	345	381
	หลังสกัด	313	374	457
1%สารเมือกจากเม็ดแมงลัก ลดสารเชื่อมโยง(M)	ก่อนสกัด	198	341	373
	หลังสกัด	326	373	437

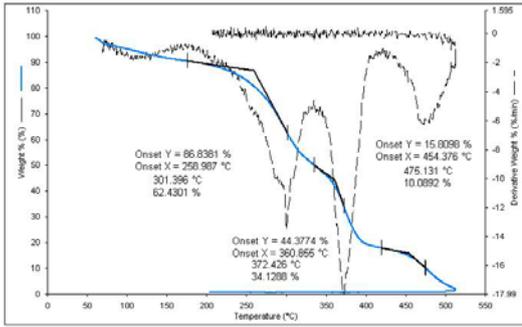
ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

สูตร	เงื่อนไข	T <sub>d1</sub> (°C)	T <sub>d2</sub> (°C)	T <sub>d3</sub> (°C)
0.5%สารเมือกจากเมล็ด แมงลักลดสารเชื่อมโยง(N)	ก่อนสกัด	201	341	377
	หลังสกัด	292	377	452
พอลิเมอร์ลดสารเชื่อมโยง (O)	ก่อนสกัด	-	376	-
	หลังสกัด	262	367	-
3%สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก ลดตัวริเริ่มปฏิกิริยา(P)	ก่อนสกัด	285	355	-
	หลังสกัด	313	385	-
2%สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก ลดตัวริเริ่มปฏิกิริยา(Q)	ก่อนสกัด	292	380	-
	หลังสกัด	325	383	-
1%สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก ลดตัวริเริ่มปฏิกิริยา(R)	ก่อนสกัด	-	384	-
	หลังสกัด	335	390	-
0.5%สารเมือกจากเมล็ด แมงลักลดตัวริเริ่มปฏิกิริยา (S)	ก่อนสกัด	-	385	-
	หลังสกัด	331	390	-
พอลิเมอร์ลดตัวริเริ่ม ปฏิกิริยา(T)	ก่อนสกัด	-	378	-
	หลังสกัด	306	388	-

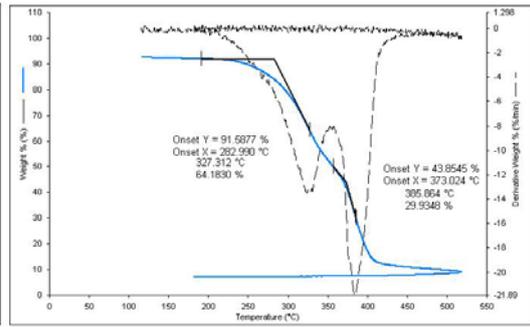


รูปที่ 4.14 แสดงการเปรียบเทียบสมบัติทางความร้อนของฟิล์มไฮโดรเจลสารเมือกจากเมล็ดแมงลัก ก่อนและหลังการสกัดด้วยน้ำและเมทานอล ณ อุณหภูมิขณะผสม 50-60 °C

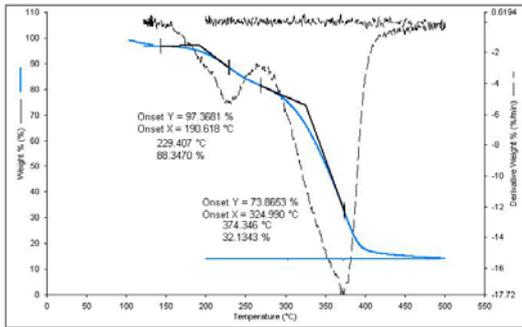
- (B) 3 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก ไม่มีมोनอเมอร์
- (b) 3 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก ไม่มีมोनอเมอร์ สกัดด้วยน้ำและเมทานอล
- (C) 2 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก ไม่มีมोनอเมอร์
- (c) 2 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก ไม่มีมोनอเมอร์ สกัดด้วยน้ำและเมทานอล
- (D) 1 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก ไม่มีมोनอเมอร์
- (d) 1 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก ไม่มีมोनอเมอร์ สกัดด้วยน้ำและเมทานอล
- (E) 0.5 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก ไม่มีมोनอเมอร์
- (e) 0.5 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก ไม่มีมोनอเมอร์ สกัดด้วยน้ำและเมทานอล



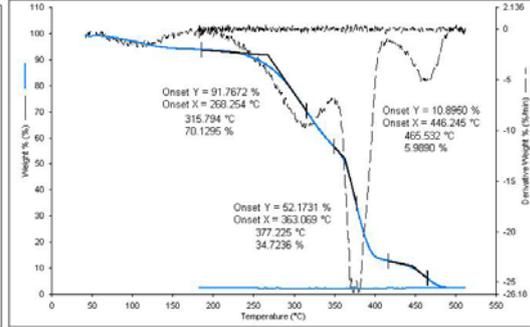
(F)



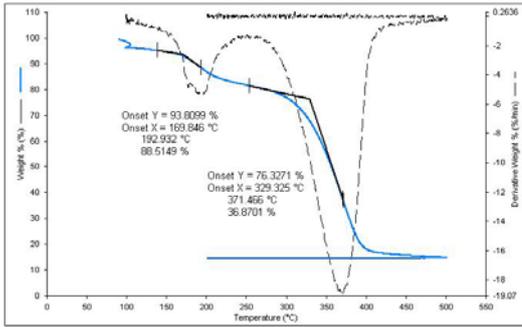
(f)



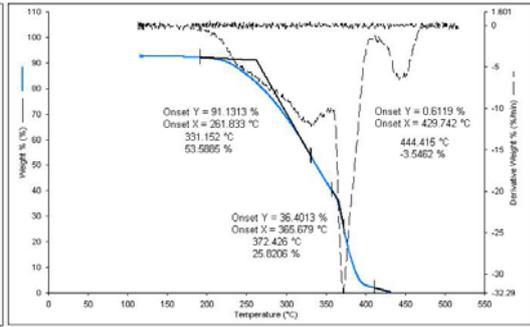
(G)



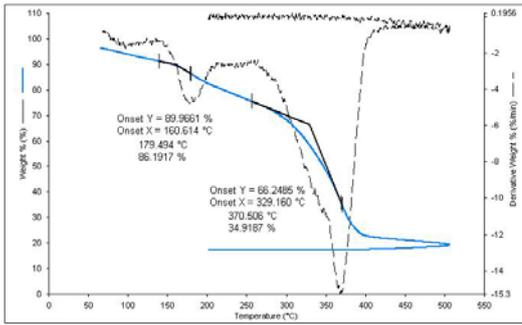
(g)



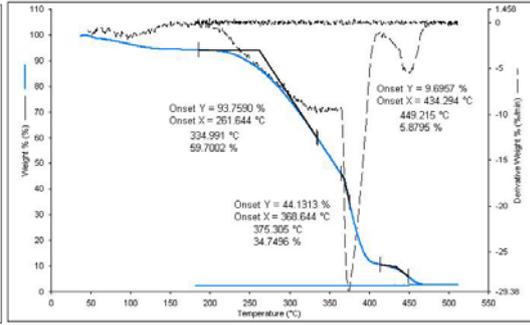
(H)



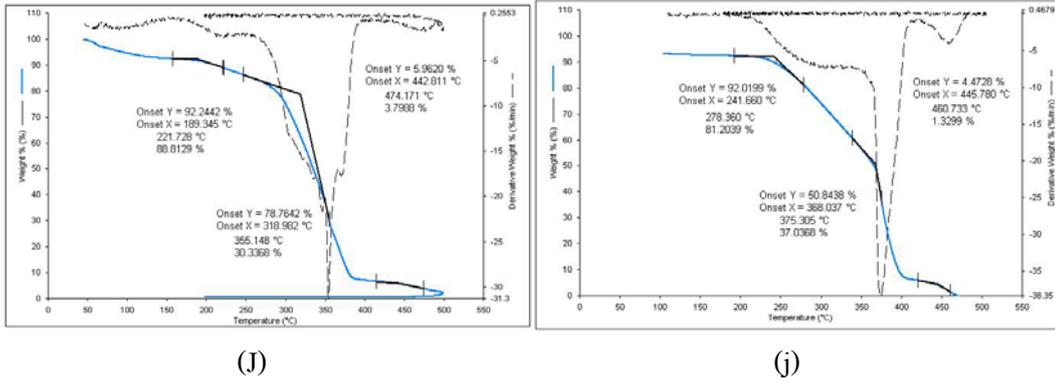
(h)



(I)

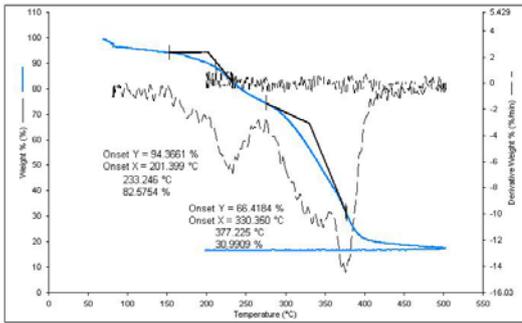


(i)

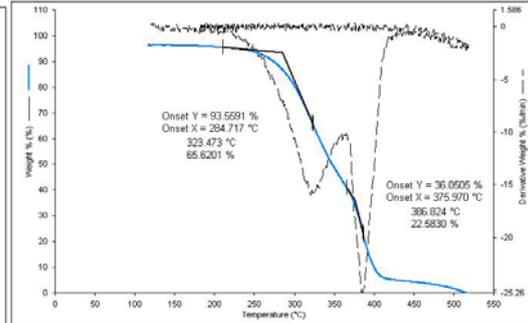


รูปที่ 4.15 แสดงการเปรียบเทียบสมบัติทางความร้อนของฟิล์มไฮโดรเจลผสมสูตรมาตรฐานก่อน และหลังการสกัดด้วยน้ำและเมทานอล ณ อุณหภูมิขณะผสม 50-60 °C

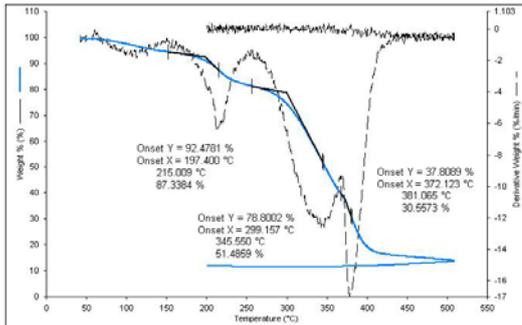
- (F) 3 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก สูตรมาตรฐาน
- (f) 3 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก สูตรมาตรฐาน สกัดด้วยน้ำและเมทานอล
- (G) 2 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก สูตรมาตรฐาน
- (g) 2 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก สูตรมาตรฐาน สกัดด้วยน้ำและเมทานอล
- (H) 1 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก สูตรมาตรฐาน
- (h) 1 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก สูตรมาตรฐาน สกัดด้วยน้ำและเมทานอล
- (I) 0.5 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก สูตรมาตรฐาน
- (i) 0.5 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก สูตรมาตรฐาน สกัดด้วยน้ำและเมทานอล
- (J) Poly(2-hydroxyethyl methacrylate) สูตรมาตรฐาน
- (j) Poly(2-hydroxyethyl methacrylate) สูตรมาตรฐาน สกัดด้วยน้ำและเมทานอล



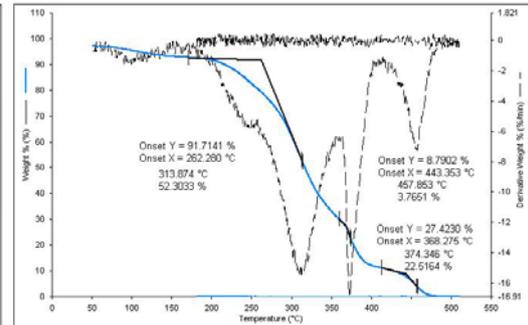
(K)



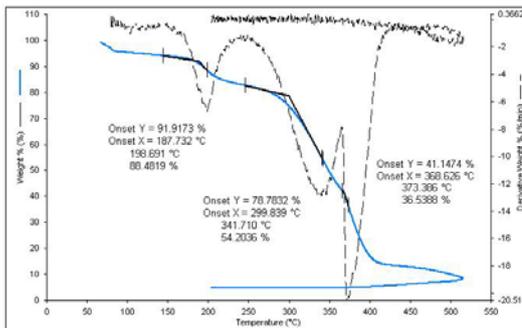
(k)



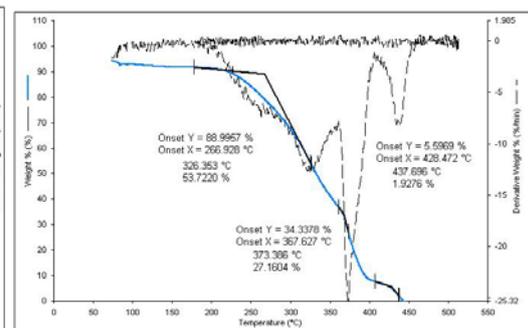
(L)



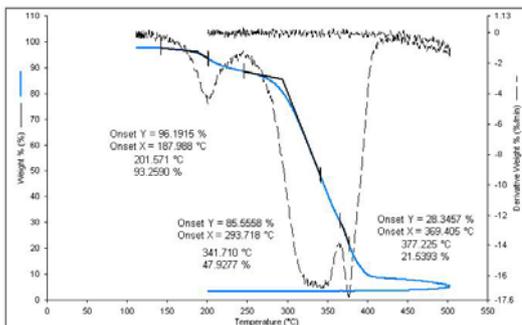
(l)



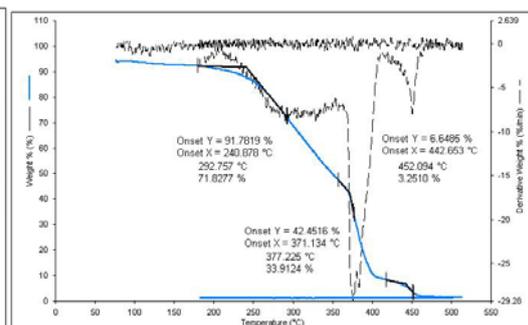
(M)



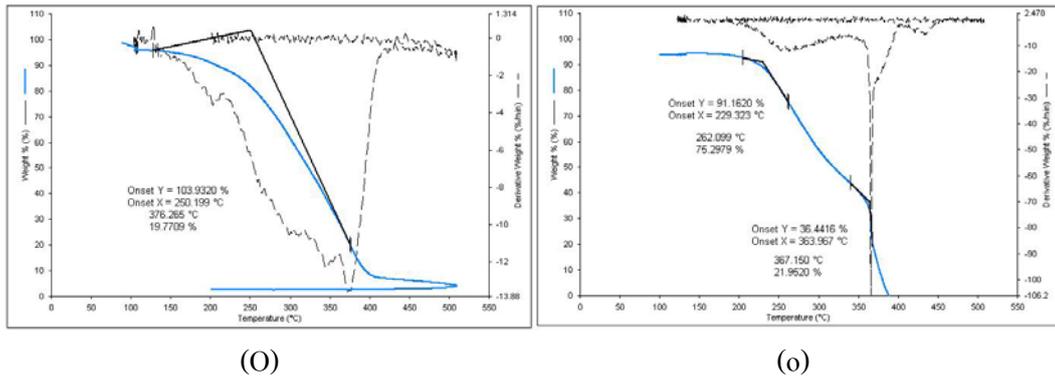
(m)



(N)

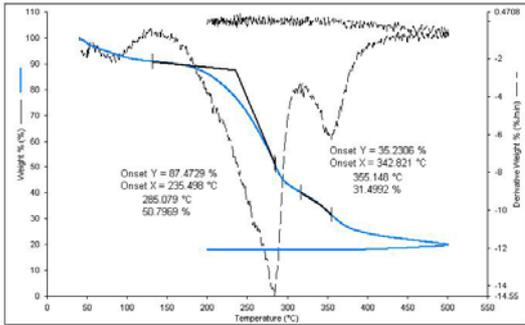


(n)

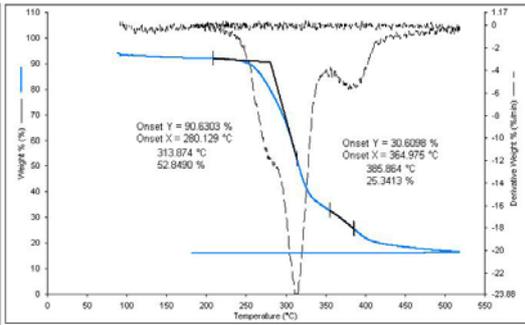


รูปที่ 4.16 แสดงการเปรียบเทียบสมบัติทางความร้อนของฟิล์มไฮโดรเจลผสมเมื่อลดปริมาณสารเชื่อมโยงก่อนและหลังการสกัดด้วยน้ำและเมทานอล ณ อุณหภูมิขณะผสม 50-60 °C

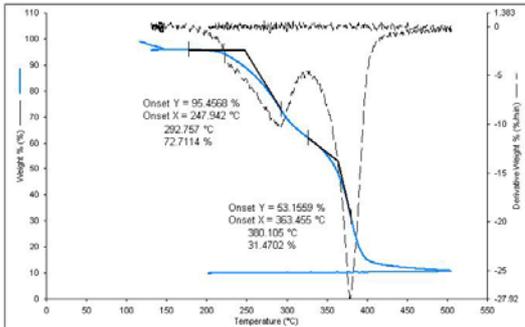
- (K) 3 % สารเมื่ออกจากเม็ดแมงลัก ลดปริมาณสารเชื่อมโยง
- (k) 3 % สารเมื่ออกจากเม็ดแมงลัก ลดปริมาณสารเชื่อมโยง สกัดด้วยน้ำและเมทานอล
- (L) 2 % สารเมื่ออกจากเม็ดแมงลัก ลดปริมาณสารเชื่อมโยง
- (l) 2 % สารเมื่ออกจากเม็ดแมงลัก ลดปริมาณสารเชื่อมโยง สกัดด้วยน้ำและเมทานอล
- (M) 1 % สารเมื่ออกจากเม็ดแมงลัก ลดปริมาณสารเชื่อมโยง
- (m) 1 % สารเมื่ออกจากเม็ดแมงลัก ลดปริมาณสารเชื่อมโยง สกัดด้วยน้ำและเมทานอล
- (N) 0.5 % สารเมื่ออกจากเม็ดแมงลัก ลดปริมาณสารเชื่อมโยง
- (n) 0.5 % สารเมื่ออกจากเม็ดแมงลัก ลดปริมาณสารเชื่อมโยง สกัดด้วยน้ำและเมทานอล
- (O) Poly(2-hydroxyethyl methacrylate) ลดปริมาณสารเชื่อมโยง
- (o) Poly(2-hydroxyethyl methacrylate) ลดปริมาณสารเชื่อมโยง สกัดด้วยน้ำและเมทานอล



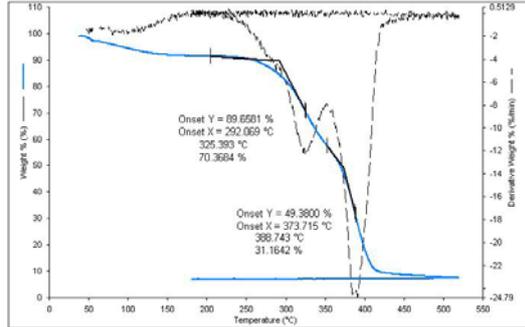
(P)



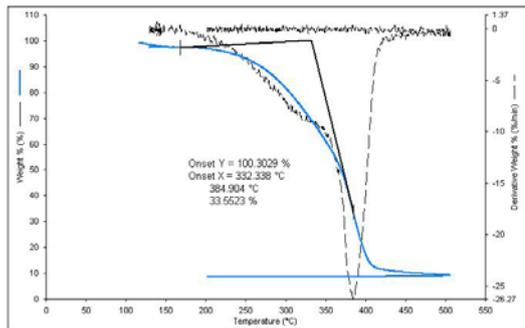
(p)



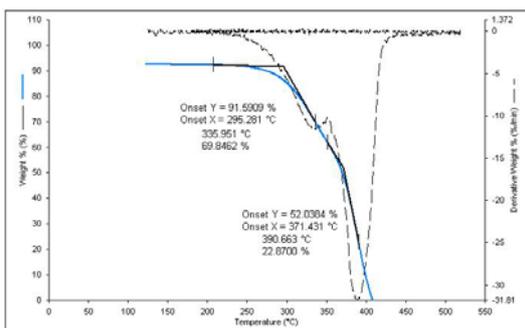
(Q)



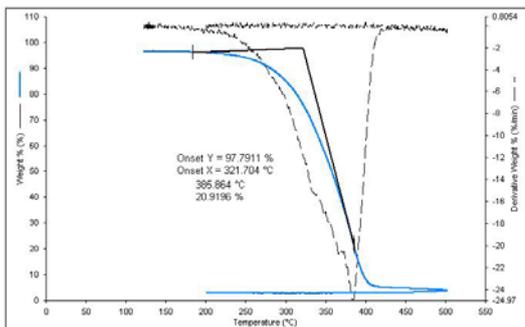
(q)



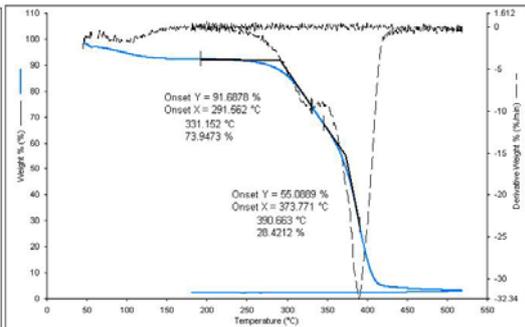
(R)



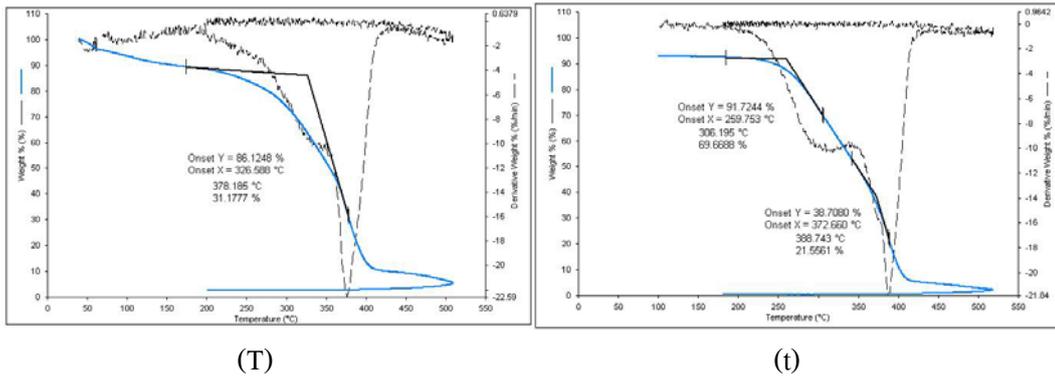
(r)



(S)



(s)



รูปที่ 4.17 แสดงการเปรียบเทียบสมบัติทางความร้อนของฟิล์มไฮโดรเจลผสมเมื่อลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา ก่อนและหลังการสกัดด้วยน้ำและเมทานอล ณ อุณหภูมิขณะผสม 50-60 °C

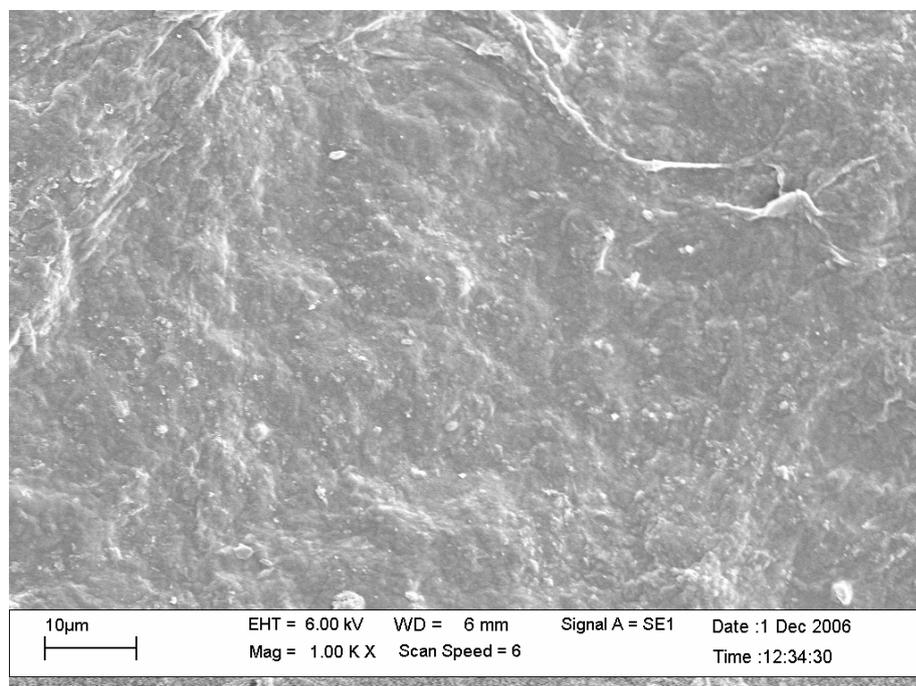
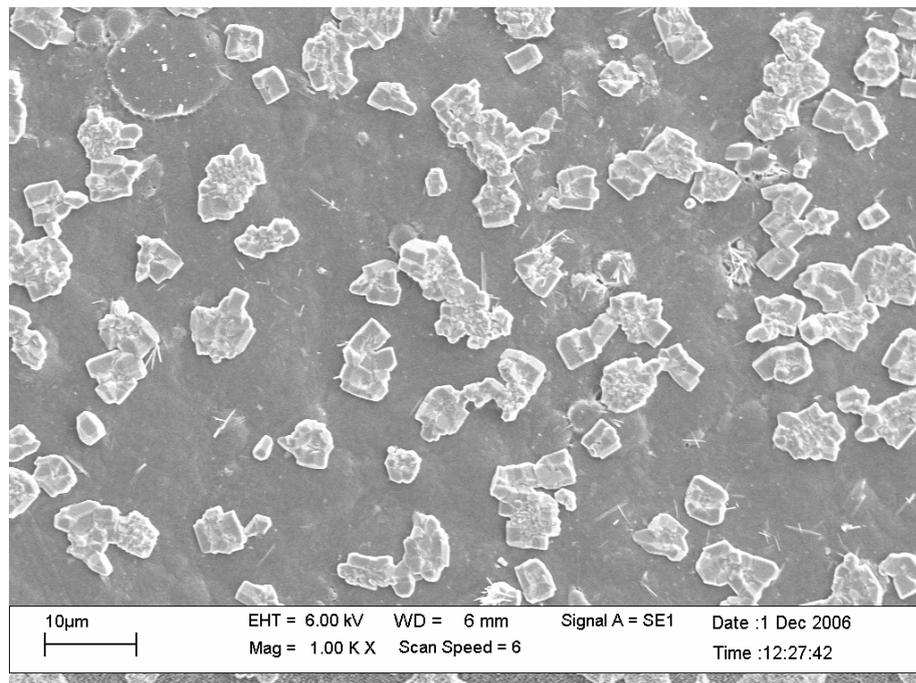
- (P) 3 % สารเมื่อจากเม็ดแมงลัก ลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา
- (p) 3 % สารเมื่อจากเม็ดแมงลัก ลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา สกัดด้วยน้ำและเมทานอล
- (Q) 2 % สารเมื่อจากเม็ดแมงลัก ลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา
- (q) 2 % สารเมื่อจากเม็ดแมงลักลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา สกัดด้วยน้ำและเมทานอล
- (R) 1 % สารเมื่อจากเม็ดแมงลัก ลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา
- (r) 1 % สารเมื่อจากเม็ดแมงลัก ลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา สกัดด้วยน้ำและเมทานอล
- (S) 0.5 % สารเมื่อจากเม็ดแมงลัก ลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา
- (s) 0.5%สารเมื่อจากเม็ดแมงลัก ลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา สกัดด้วยน้ำและเมทานอล
- (T) Poly(2-hydroxyethyl methacrylate) ลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา
- (t) Poly(2-hydroxyethyl methacrylate) ลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา สกัดด้วยน้ำและเมทานอล

จากรูปที่ 4.13 นำผงสารเมือกจากเม็ดแมงลักไปวัดอุณหภูมิการสลายตัวด้วยเครื่อง TGA พบว่ามีอุณหภูมิการสลายตัวอยู่ที่ 247 °C, 401 °C และ 489 °C ตามลำดับ และเมื่อนำสารเมือกจากเม็ดแมงลักผสม BIS เป็นสารเชื่อมโยง SMB และ APS เป็นตัวริเริ่มปฏิกิริยาโดยไม่เติมมอนอเมอร์ มาเตรียมเป็นฟิล์มไฮโดรเจลก่อนและหลังการสกัดด้วยน้ำและเมทานอล แล้วนำฟิล์มไฮโดรเจลไปวัดอุณหภูมิการสลายตัวด้วยเครื่อง TGA พบว่าฟิล์มไฮโดรเจลที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำและเมทานอล จะมีอุณหภูมิการสลายตัวที่เดียวคือ 293 °C ดังรูปที่ 4.14 จึงน่าจะเป็นการสลายตัวของสารเมือกที่เกิดการเชื่อมโยงกัน

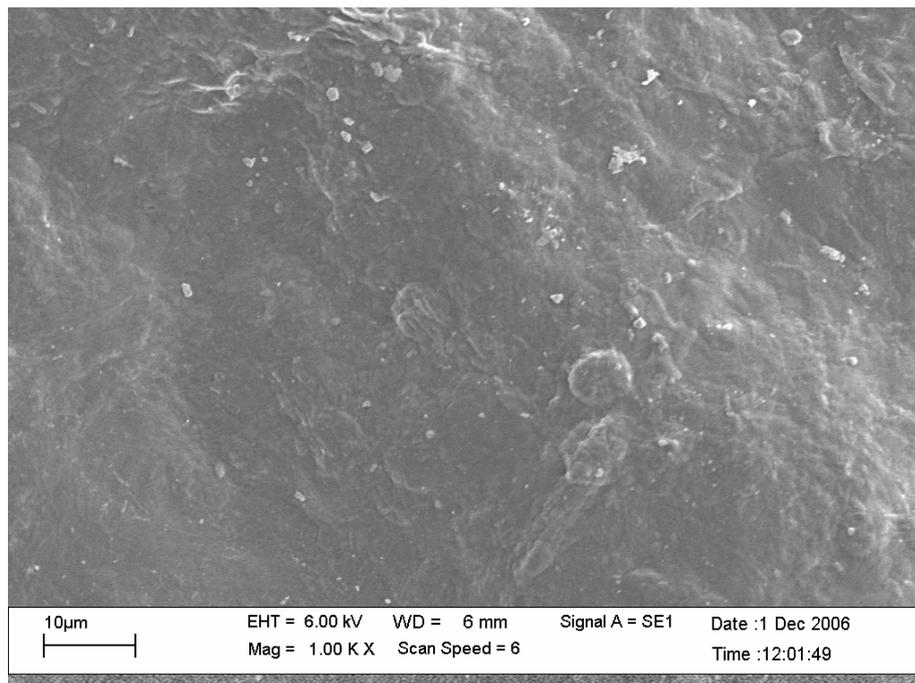
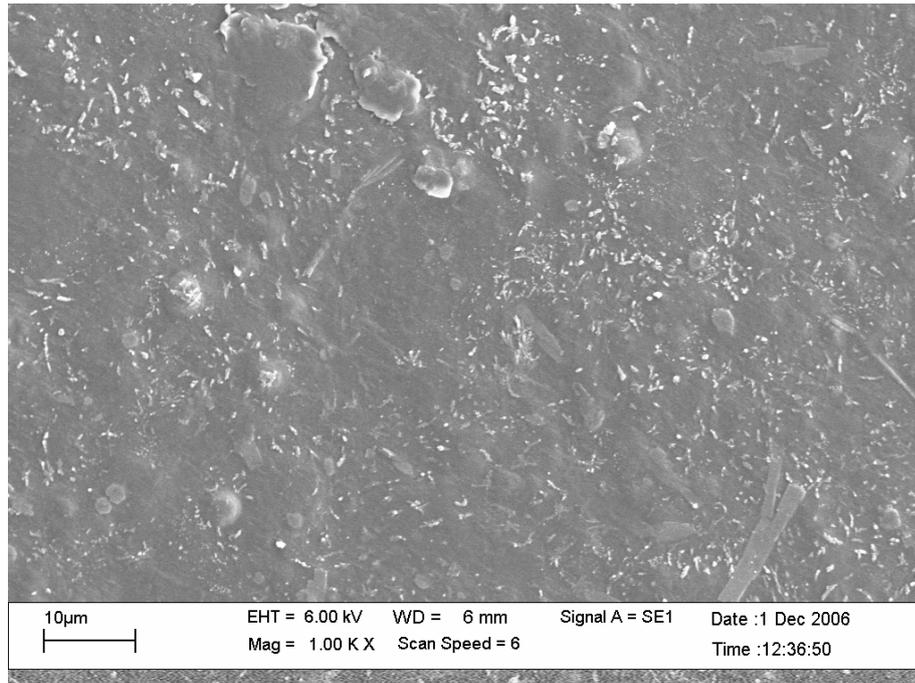
จากรูปที่ 4.14, 4.15, 4.16, 4.17 และตารางที่ 4.1 แสดงอุณหภูมิการสลายตัวของฟิล์มไฮโดรเจลที่สภาวะต่างๆ ณ อุณหภูมิขณะผสม 50-60 °C ก่อนและหลังการสกัดด้วยน้ำและเมทานอล จากรูปที่ 4.15 และรูปที่ 4.16 ฟิล์มไฮโดรเจลผสมระหว่างสารเมือกจากเม็ดแมงลักกับมอนอเมอร์สูตรมาตรฐานและสูตรที่ลดปริมาณสารเชื่อมโยง ณ อุณหภูมิขณะผสม 50-60 °C ก่อนและหลังการสกัดด้วยน้ำและเมทานอลให้ผลเหมือนกัน พบว่าฟิล์มไฮโดรเจลมีอุณหภูมิการสลายตัว 3 ชั้น อุณหภูมิการสลายตัวชั้นแรกที่ประมาณ 327-334 °C น่าจะเป็นสารเมือกจากเม็ดแมงลักที่เกิดพันธะเชื่อมโยงและอุณหภูมิการสลายตัวชั้นที่สองที่ประมาณ 375-386 °C น่าจะเป็นของ Poly(2-hydroxyethyl methacrylate) ที่ต่อกิ่งบนสารเมือกจากเม็ดแมงลักและที่อุณหภูมิการสลายตัวประมาณ 449-465 °C น่าจะเป็นของ Poly(2-hydroxyethyl methacrylate) ที่ต่อกิ่งบนสารเมือกจากเม็ดแมงลักและเกิดการเชื่อมโยง เมื่อสารเมือกจากเม็ดแมงลักเพิ่มขึ้นเป็น 3 % การสลายตัวที่อุณหภูมินี้หายไป นั่นคือไม่มีส่วนของ Poly(2-hydroxyethyl methacrylate) ที่เกิดการเชื่อมโยงเนื่องจากเมื่อปริมาณสารเมือกจากเม็ดแมงลักเพิ่มขึ้นเป็น 3 % ทำให้ความหนืดในระบบเพิ่มขึ้นการกระจายตัวของสารเชื่อมโยง ตัวริเริ่มปฏิกิริยาไม่ทั่วถึงจึงเกิดพันธะเชื่อมโยงได้เฉพาะในสารเมือกจากเม็ดแมงลัก

จากรูปที่ 4.17 ฟิล์มไฮโดรเจลผสมที่ลดตัวริเริ่มปฏิกิริยา พบว่ามีอุณหภูมิการสลายตัว 2 ชั้น ชั้นแรกที่อุณหภูมิประมาณ 313-331 °C น่าจะเป็นการสลายตัวของสารเมือกจากเม็ดแมงลักที่เกิดพันธะเชื่อมโยงและที่อุณหภูมิประมาณ 386-390 °C น่าจะเป็นการสลายตัวของพอลิเมอร์ที่ต่อกิ่งบนสารเมือกจากเม็ดแมงลัก พบว่า เมื่อสารเมือกจากเม็ดแมงลักมีปริมาณมากขึ้นถึง 3 % การสลายตัวที่ 386-390 °C ลดลงอย่างชัดเจน แสดงว่า ในสภาวะการลดตัวริเริ่มปฏิกิริยาเอง เกิดการต่อกิ่งพอลิเมอร์บนสารเมือกจากเม็ดแมงลักลดลงด้วย เนื่องจากการลดตัวริเริ่มปฏิกิริยาทำให้ปริมาณอนุมูลอิสระลดลง ตำแหน่งที่ Poly(2-hydroxyethyl methacrylate) จะมาต่อกิ่งบนสารเมือกจากเม็ดแมงลักจึงลดลง

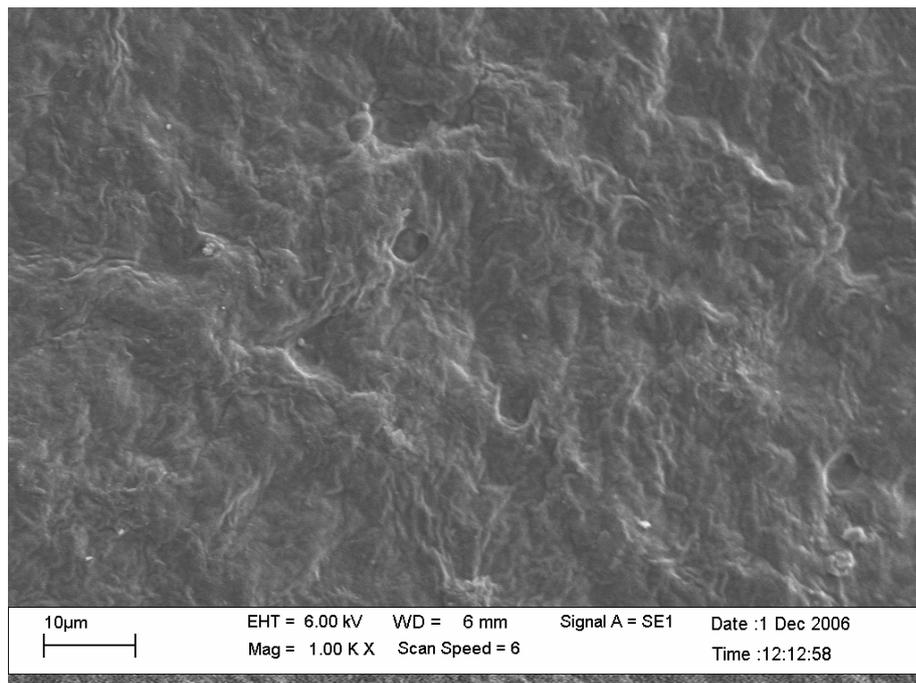
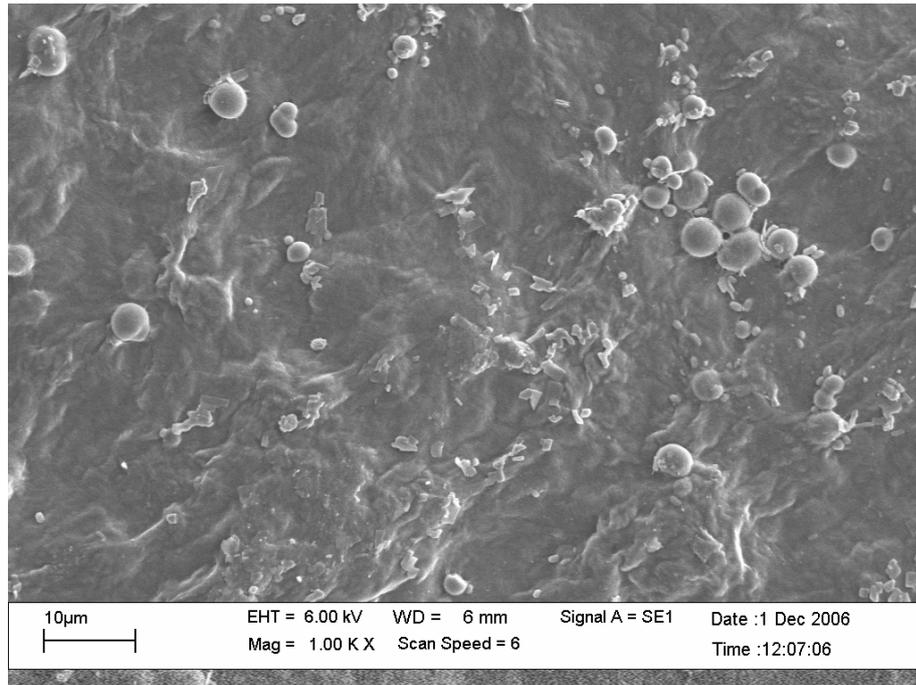
#### 4.1.6 สมบัติทางสัณฐานวิทยา



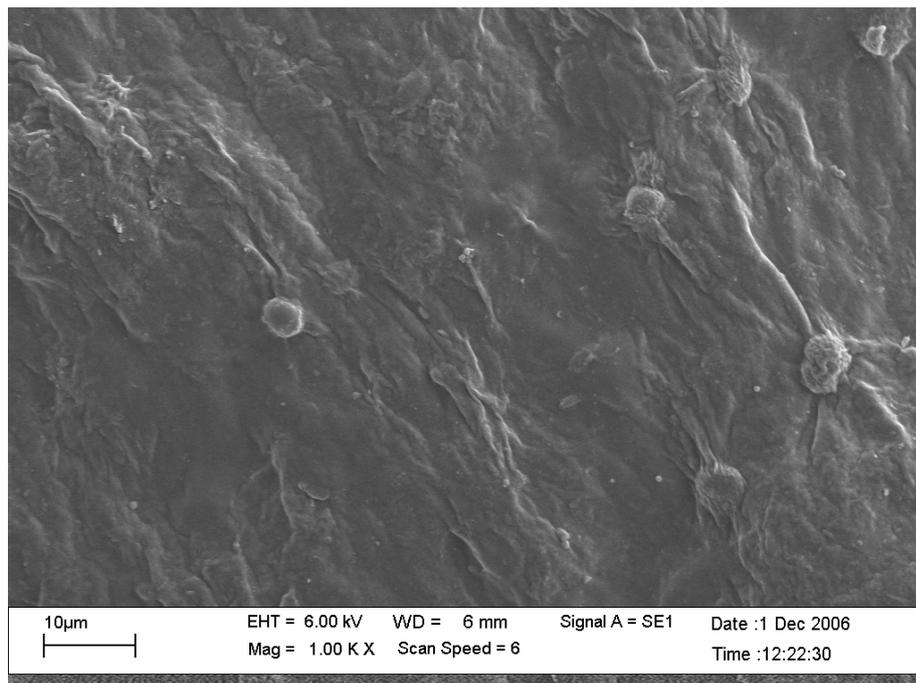
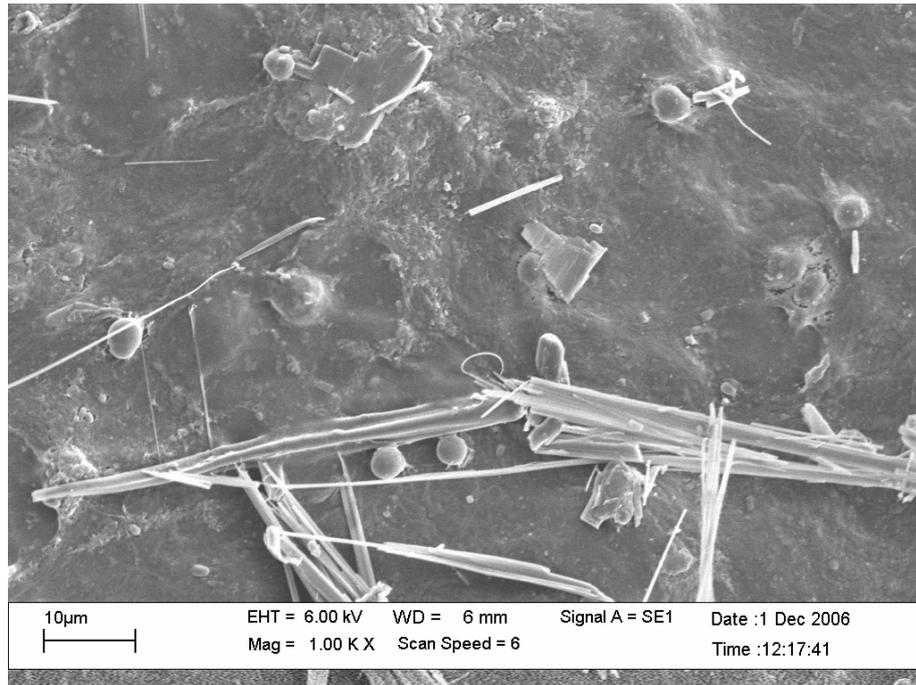
**รูปที่ 4.18** ภาพจาก SEM แสดงการเปรียบเทียบพื้นผิวของฟิล์มไฮโดรเจลผสม 3 % สารเมื่อจากเม็ดแมงลักสูตรมาตรฐานที่ไม่มีมोनอเมอร์ (B) ก่อนและหลังการสกัดด้วยน้ำและเมทานอล ณ อุณหภูมิขณะผสม 50-60 °C (กำลังขยาย 1000 เท่า)



รูปที่ 4.19 ภาพจาก SEM แสดงการเปรียบเทียบพื้นผิวของฟิล์มไฮโดรเจลผสม 3 % สารเมื่อจากเม็ดแมงลักสูตรมาตรฐาน (F) ก่อนและหลังการสกัดด้วยน้ำและเมทานอล ณ อุณหภูมิขณะผสม 50-60 °C (กำลังขยาย 1000 เท่า)



**รูปที่ 4.20** ภาพจาก SEM แสดงการเปรียบเทียบพื้นผิวของฟิล์มไฮโดรเจลผสม 3 % สารเมื่อจากเม็ดแมงลักที่ลดปริมาณสารเชื่อมโยง (K) ก่อนและหลังการสกัดด้วยน้ำและเมทานอล ณ อุณหภูมิขณะผสม 50-60 °C (กำลังขยาย 1000 เท่า)



**รูปที่ 4.21** ภาพจาก SEM แสดงการเปรียบเทียบพื้นผิวของฟิล์มไฮโดรเจลผสม 3 % สารเมือกจากเม็ดแมงลักที่ลดตัวริเริ่มปฏิกิริยา (P) ก่อนและหลังการสกัดด้วยน้ำและเมทานอล ณ อุณหภูมิขณะผสม 50-60 °C (กำลังขยาย 1000 เท่า)

นำแผ่นฟิล์มไฮโดรเจลสูตรต่างๆที่เตรียมได้ก่อนและหลังการสกัดด้วยน้ำและเมทานอลมาตรวจวิเคราะห์ด้วย SEM ที่กำลังขยาย 1000 เท่า ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.18-4.21 ตามลำดับ นำสารเชื่อมโยงและตัวริเริ่มปฏิกิริยามาส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ พบว่าสารเชื่อมโยงมีผลลักษณะรูปร่างคล้ายเข็ม ส่วนตัวริเริ่มปฏิกิริยามีผลลักษณะรูปร่างสี่เหลี่ยม

จากรูปที่ 4.18 ลักษณะพื้นผิวของฟิล์มไฮโดรเจลผสม 3 % สารเมือกจากเม็ดแมงลักไม่มีมอนอเมอร์ (B) รูปด้านบนคือฟิล์มไฮโดรเจลก่อนการสกัดด้วยน้ำและเมทานอล จะเห็นว่าบริเวณพื้นผิวจะมีผลึกของตัวริเริ่มปฏิกิริยารูปร่างสี่เหลี่ยมเกาะอยู่เป็นจำนวนมาก และเมื่อนำฟิล์มไฮโดรเจลไปสกัดด้วยน้ำและเมทานอล ผลึกของตัวริเริ่มปฏิกิริยาจะหายไป แสดงว่าสารเมือกจากเม็ดแมงลักใช้ตัวริเริ่มปฏิกิริยาในปริมาณน้อยก็สามารถเกิดพันธะเชื่อมโยงได้และมีอุณหภูมิการสลายตัวที่  $293^{\circ}\text{C}$

จากรูปที่ 4.19 ลักษณะพื้นผิวของฟิล์มไฮโดรเจลผสม 3 % สารเมือกจากเม็ดแมงลัก สูตรมาตรฐาน (F) รูปด้านบนคือฟิล์มไฮโดรเจลก่อนการสกัดด้วยน้ำและเมทานอล จะเห็นว่าบริเวณพื้นผิวจะค่อนข้างเรียบมีผลึกของสารเชื่อมโยงเหลืออยู่เล็กน้อย (รูปร่างคล้ายเข็ม) และไม่มีผลึกของตัวริเริ่มปฏิกิริยา และเมื่อนำฟิล์มไฮโดรเจลไปสกัดด้วยน้ำและเมทานอล พื้นผิวเรียบขึ้นเปรียบเทียบกับรูปที่ 4.18 กับรูปที่ 4.19 พบว่าอนุภาคทรงกลมเกิดเมื่อมีมอนอเมอร์ แสดงว่าอนุภาคทรงกลมน่าจะเป็นพอลิเมอร์ เนื่องจากรูปที่ 4.18 เป็นฟิล์มไฮโดรเจลสารเมือกจากเม็ดแมงลักที่ไม่มีมอนอเมอร์ไม่พบอนุภาคทรงกลมแต่เมื่อเติมมอนอเมอร์ลงไปดังรูปที่ 4.19 พบว่าอนุภาคทรงกลม

จากรูปที่ 4.20 ลักษณะพื้นผิวของฟิล์มไฮโดรเจลผสม 3 % สารเมือกจากเม็ดแมงลัก ที่ลดปริมาณสารเชื่อมโยง (K) รูปด้านบนคือฟิล์มไฮโดรเจลก่อนการสกัดด้วยน้ำและเมทานอล จะเห็นว่าบริเวณพื้นผิวจะมีผลึกของตัวริเริ่มปฏิกิริยาและอนุภาคทรงกลมเกาะอยู่ และเมื่อนำไฮโดรเจลไปสกัดด้วยน้ำและเมทานอล ผลึกของตัวริเริ่มปฏิกิริยาและอนุภาคทรงกลมหายไป ปรากฏพื้นผิวขรุขระเป็นหลุมลึก แสดงถึงการหลุดออกของอนุภาคทรงกลมและอนุภาคทรงกลมน่าจะเป็นไฮโมพอลิเมอร์ที่ไม่เกิดพันธะเชื่อมโยงและไม่ต่อกิ่งบนสารเมือกจากเม็ดแมงลักจึงถูกสกัดออกด้วยเมทานอล

จากรูปที่ 4.21 ลักษณะพื้นผิวของฟิล์มไฮโดรเจลผสม 3 % สารเมือกจากเม็ดแมงลัก ที่ลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา (P) รูปด้านบนคือฟิล์มไฮโดรเจลก่อนการสกัดด้วยน้ำและเมทานอล จะเห็นว่าบริเวณพื้นผิวจะมีผลึกของสารเชื่อมโยง (รูปร่างคล้ายเข็ม), ผลึกของตัวริเริ่มปฏิกิริยา (รูปร่างสี่เหลี่ยม) และอนุภาคทรงกลมเกาะอยู่ และเมื่อนำไฮโดรเจลไปสกัดด้วยน้ำและเมทานอล ผลึกของสารเชื่อมโยงและตัวริเริ่มปฏิกิริยาหายไป และอนุภาคทรงกลมลดจำนวนลง อนุภาคทรงกลมน่าจะเป็นไฮโมพอลิเมอร์ที่ไม่เกิดพันธะเชื่อมโยงและไม่ต่อกิ่งบนสารเมือกจากเม็ดแมงลัก

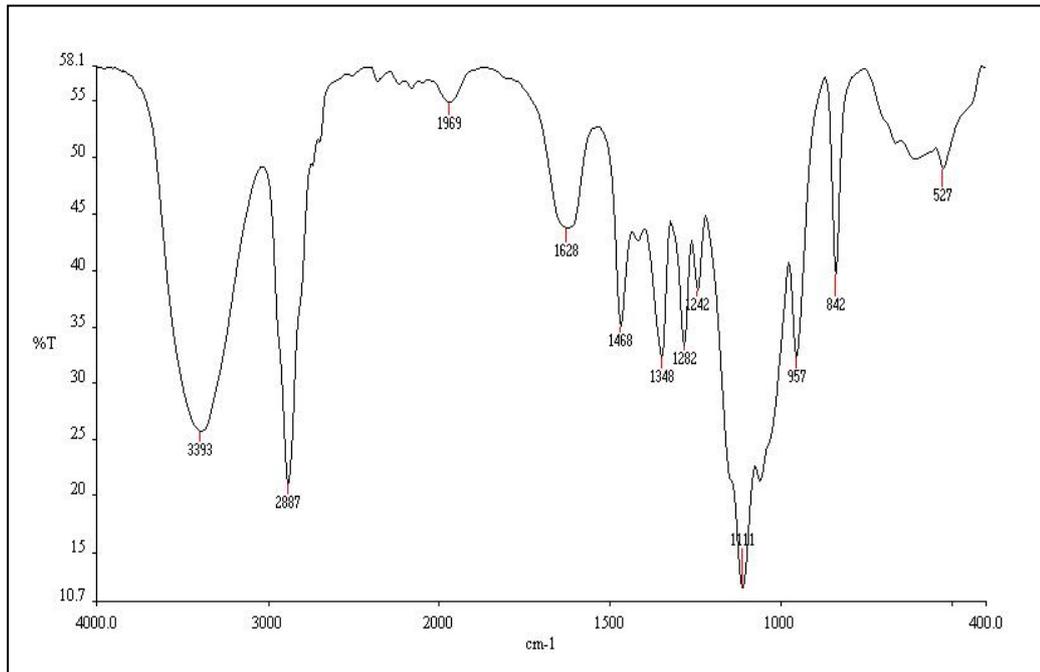
การลดตัวริเริ่มปฏิกิริยาเท่ากับเป็นการลดการใช้สารเชื่อมโยงด้วยจึงเหลือตกค้างอยู่บนฟิล์มไฮโดรเจล

## 4.2 ณ อุณหภูมิขณะผสม 28-30 °C

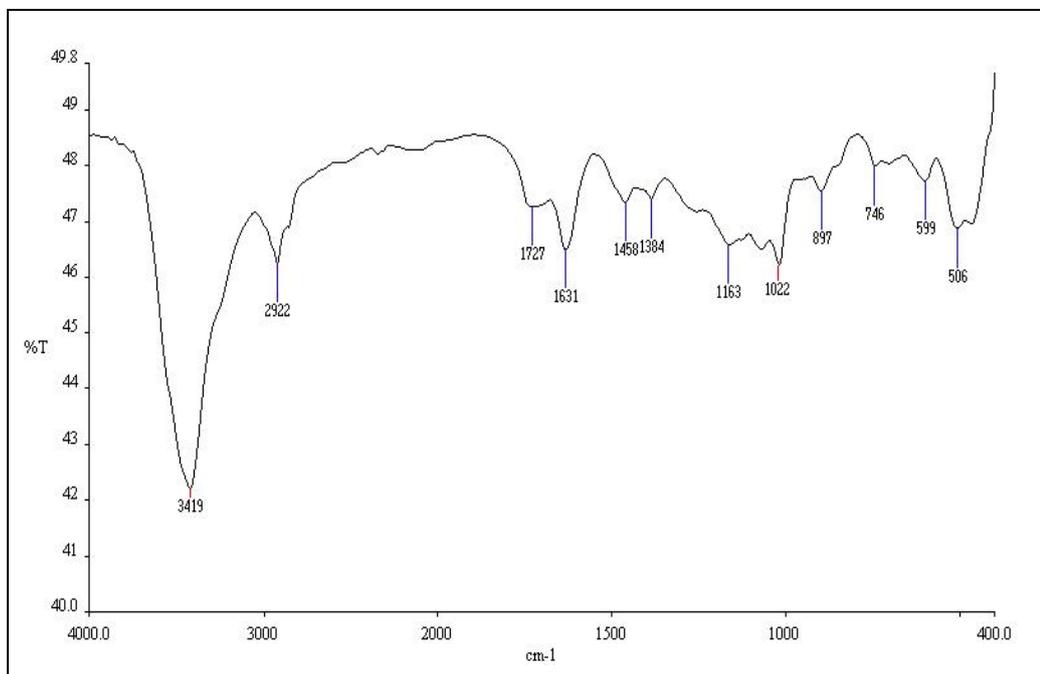
กำหนดสัญลักษณ์ ณ อุณหภูมิขณะผสม 28-30 °C ดังนี้

- (A') สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก
- (B') 3 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก ไม่มีมอนอเมอร์
- (C') 2 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก ไม่มีมอนอเมอร์
- (D') 1 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก ไม่มีมอนอเมอร์
- (E') 0.5 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก ไม่มีมอนอเมอร์
- (F') 3 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก สูตรมาตรฐาน
- (G') 2 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก สูตรมาตรฐาน
- (H') 1 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก สูตรมาตรฐาน
- (I') 0.5 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก สูตรมาตรฐาน
- (J') 0 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก สูตรมาตรฐาน (พอลิเมอร์)
- (K') 3 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลักมีมอนอเมอร์ ลดปริมาณสารเชื่อมโยง
- (L') 2 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลักมีมอนอเมอร์ ลดปริมาณสารเชื่อมโยง
- (M') 1 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลักมีมอนอเมอร์ ลดปริมาณสารเชื่อมโยง
- (N') 0.5 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลักมีมอนอเมอร์ ลดปริมาณสารเชื่อมโยง
- (O') 0 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก ลดปริมาณสารเชื่อมโยง (พอลิเมอร์)
- (P') 3 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลักมีมอนอเมอร์ ลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา
- (Q') 2 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลักมีมอนอเมอร์ ลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา
- (R') 1 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลักมีมอนอเมอร์ ลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา
- (S') 0.5 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลักมีมอนอเมอร์ ลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา
- (T') 0 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก ลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา(พอลิเมอร์)

4.2.1 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างของผงสารเมือกจากเม็ดแมงลักและ Poly(2-hydroxyethyl methacrylate) ด้วย FTIR



รูปที่ 4.1 แสดง IR spectrum ของผงสารเมือกจากเม็ดแมงลัก



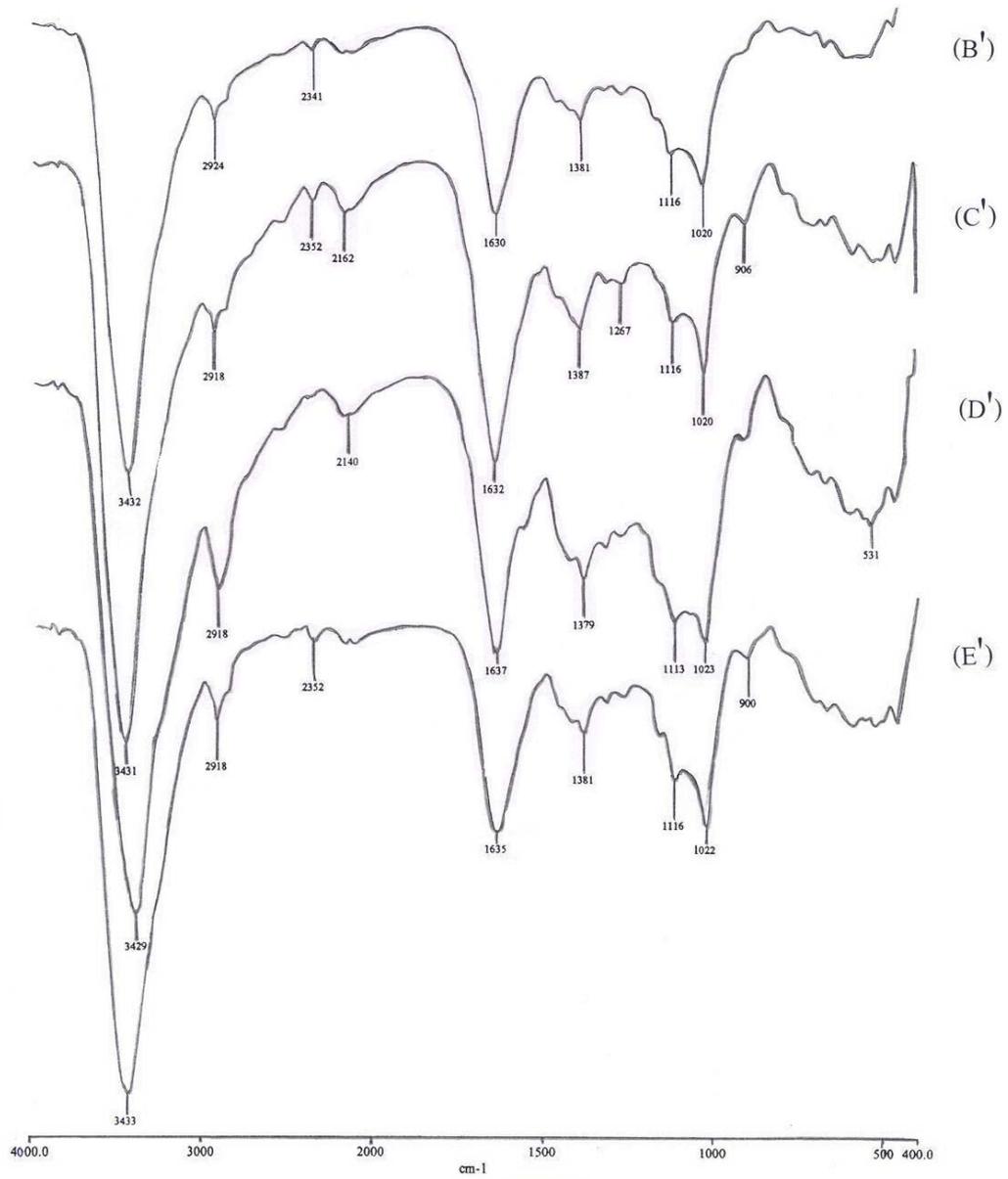
รูปที่ 4.22 แสดง IR spectrum ของ Poly(2-hydroxyethyl methacrylate) ที่ไม่มีสารเชื่อมโยง ณ อุณหภูมิขณะผสม 28-30 °C

จากรูปที่ 4.1 แสดง IR spectrum ของผงสารเมือกจากเม็ดแมงลัก โดยพิจารณาที่เลขคลื่น ในช่วง  $400-4000\text{ cm}^{-1}$  พบว่าที่เลขคลื่นประมาณ  $3393\text{ cm}^{-1}$  คือ หมู่ไฮดรอกซิล ที่เลขคลื่นประมาณ  $2887\text{ cm}^{-1}$  คือหมู่ C-H ของอะลิฟาติก ที่เลขคลื่นประมาณ  $1628\text{ cm}^{-1}$  คือหมู่คาร์บอนิล และที่เลขคลื่นประมาณ  $842\text{ cm}^{-1}$  คือหมู่ C=CH หมู่ฟังก์ชันเหล่านี้พบอยู่ใน โครงสร้างของพวก Uronide [4]

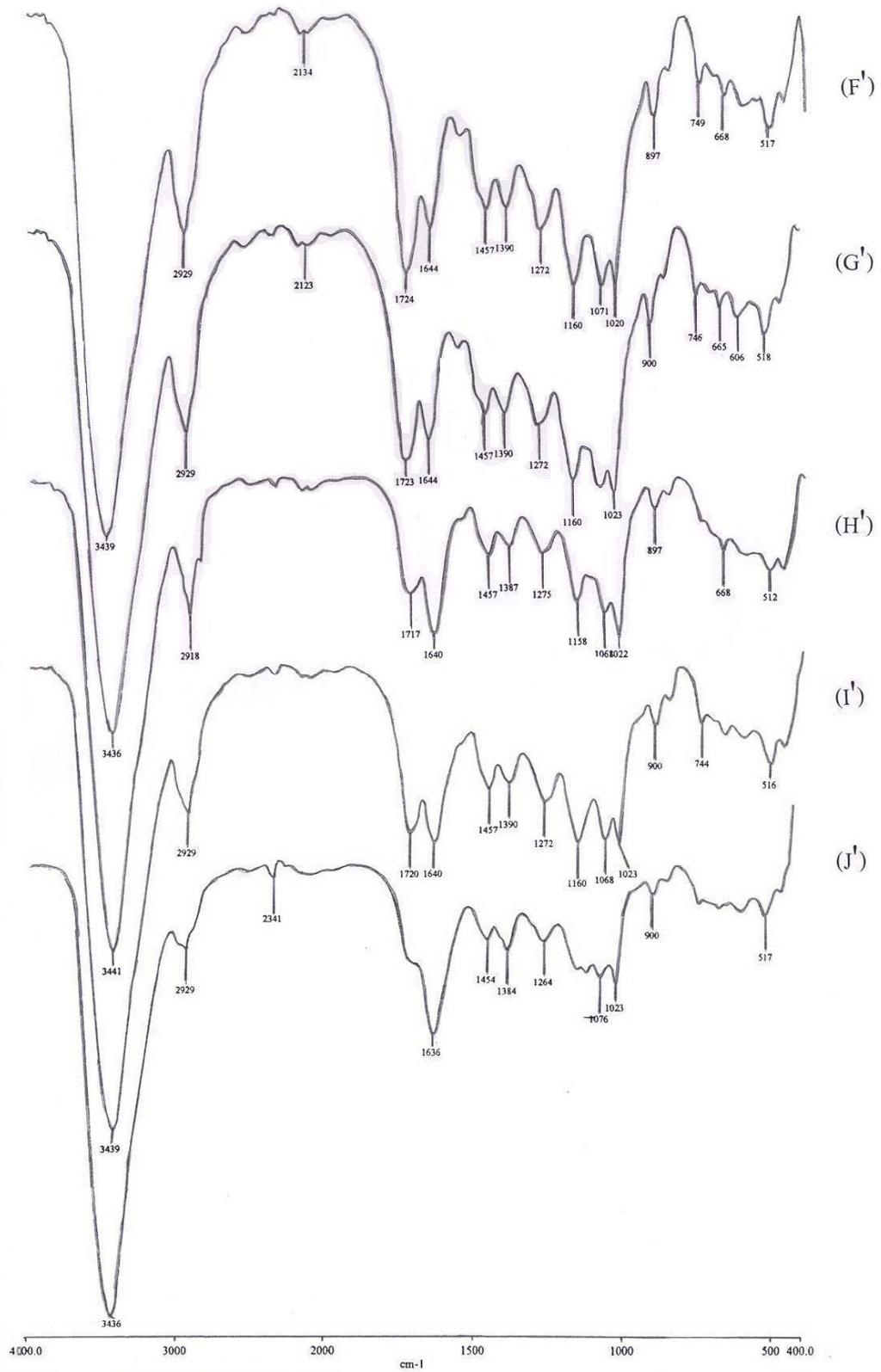
จากรูปที่ 4.22 แสดง IR spectrum ของ Poly(2-hydroxyethyl methacrylate) ที่ไม่มีสารเชื่อมโยง ณ อุณหภูมิขณะผสม  $28-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  โดยพิจารณาที่เลขคลื่นในช่วง  $400-4000\text{ cm}^{-1}$  พบว่าที่เลขคลื่นประมาณ  $3419\text{ cm}^{-1}$  คือ หมู่ไฮดรอกซิล ที่เลขคลื่นประมาณ  $2922\text{ cm}^{-1}$  คือหมู่ C-H ที่เลขคลื่นประมาณ  $1727\text{ cm}^{-1}$  คือหมู่คาร์บอนิลของเอสเทอร์ ที่เลขคลื่นประมาณ  $1022\text{ cm}^{-1}$  คือหมู่ C-O และที่เลขคลื่นประมาณ  $897\text{ cm}^{-1}$  คือหมู่ C=CH

เมื่อเปรียบเทียบกับรูปที่ 4.2 ซึ่งเป็น IR spectrum ของ Poly(2-hydroxyethyl methacrylate) ที่ไม่มีสารเชื่อมโยง ณ อุณหภูมิขณะผสม  $50-60\text{ }^{\circ}\text{C}$  พบว่าคล้ายกันมาก

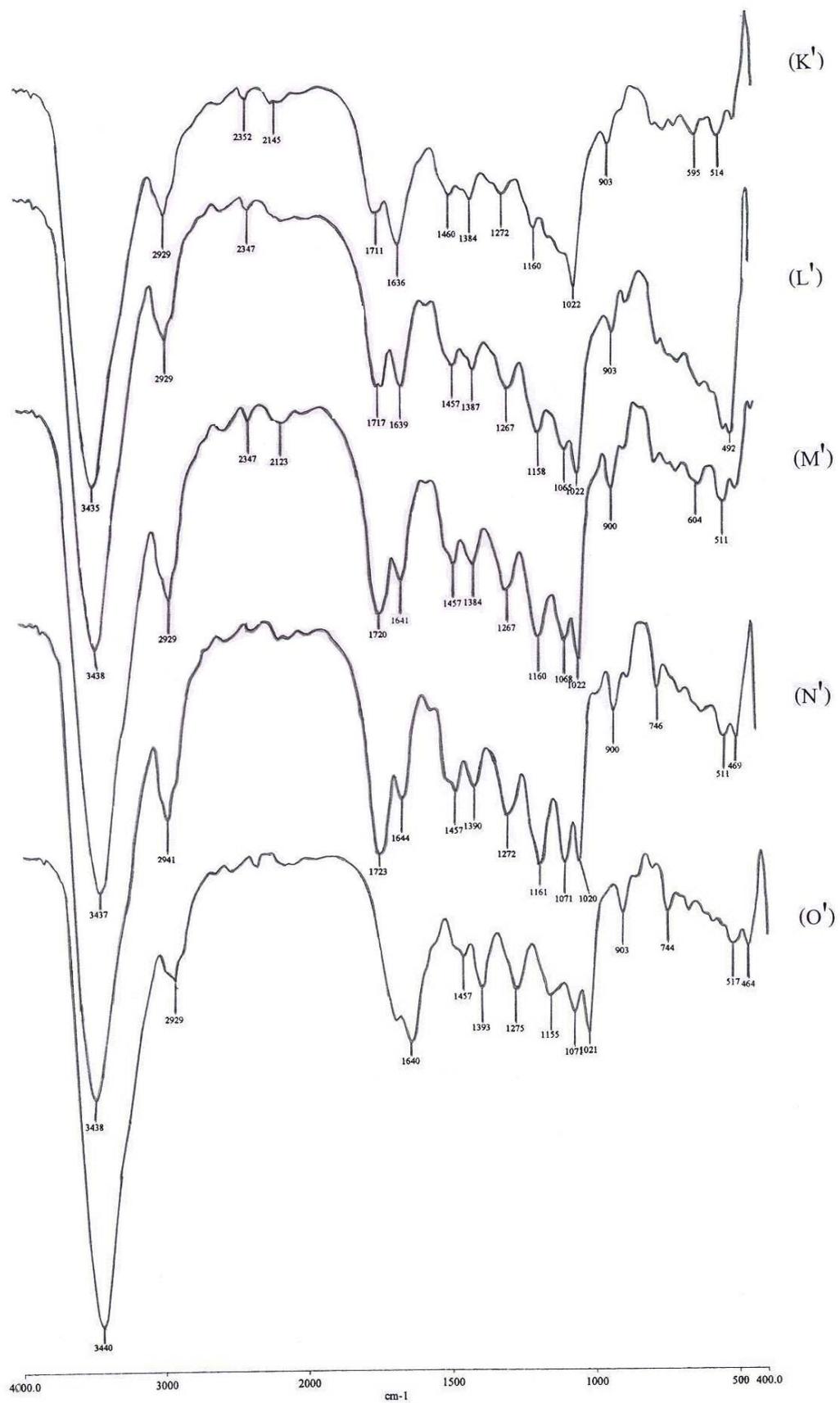
รูปที่ 4.23, รูปที่ 4.24, รูปที่ 4.25 และรูปที่ 4.26 เป็นการเปรียบเทียบ IR spectra ของฟิล์มไฮโดรเจลที่เตรียมในสถานะมาตรฐาน ไฮโดรเจลผสมสูตรมาตรฐาน ไฮโดรเจลผสมลดปริมาณสารเชื่อมโยง และไฮโดรเจลผสมลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา ตามลำดับ ที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำและเมทานอลแล้ว



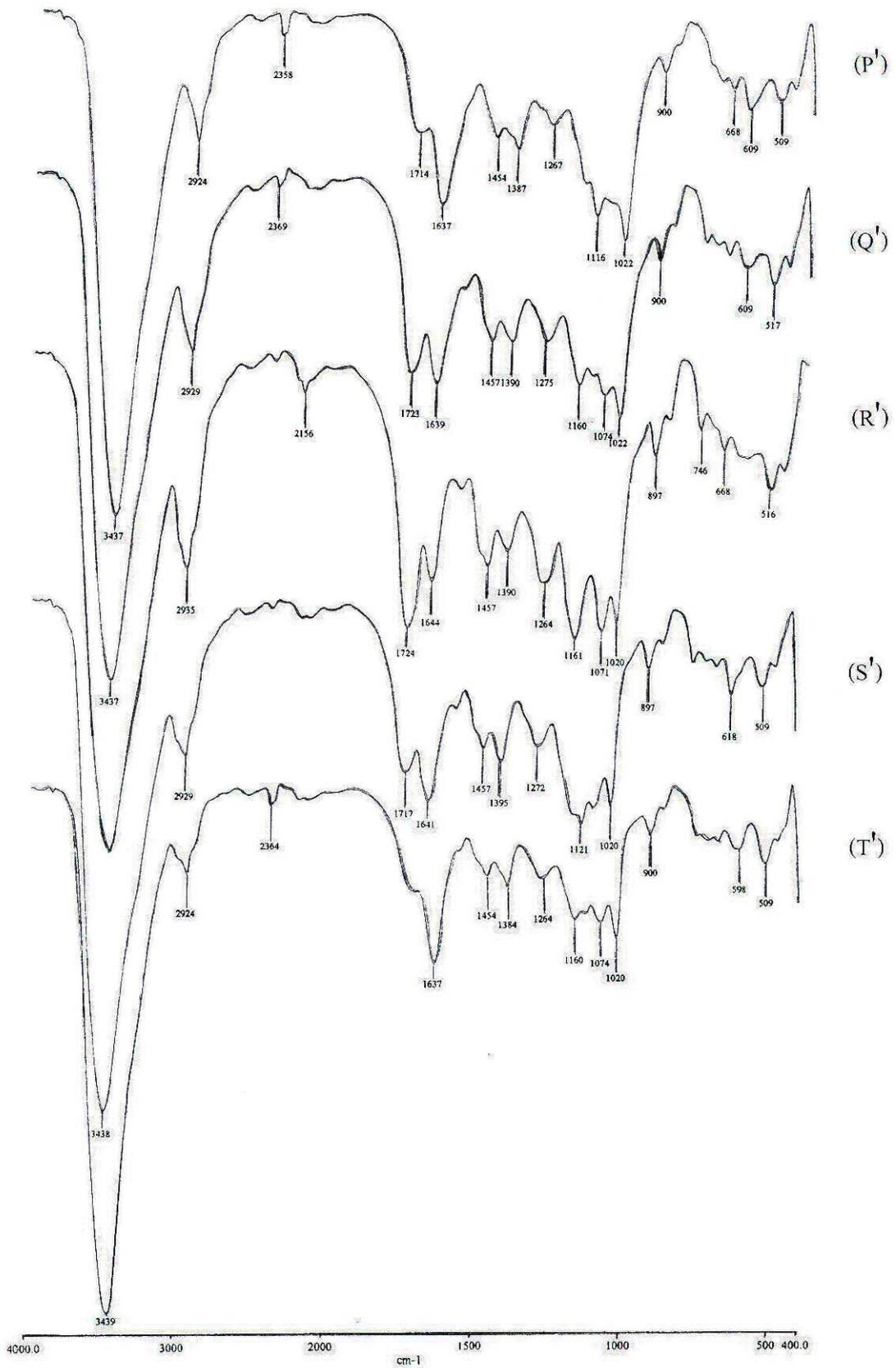
รูปที่ 4.23 แสดง IR spectra ของฟิล์มไฮโดรเจลสารเมือกจากเมล็ดแมงลัก ไม่มีมอนอเมอร์ ณ อุณหภูมิขณะผสม 28-30 °C



รูปที่ 4.24 แสดง IR spectra ของฟิล์มไฮโดรเจลผสมสูตรมาตรฐาน ณ อุณหภูมิขณะผสม 28-30 °C



รูปที่ 4.25 แสดง IR spectra ของฟิล์มไฮโดรเจลผสม เมื่อลดปริมาณสารเชื่อมโย  
ณ อุณหภูมิขณะผสม 28-30 °C



รูปที่ 4.26 แสดง IR spectra ของฟิล์มไฮโดรเจลผสม เมื่อลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา ณ อุณหภูมิขณะผสม 28-30 °C

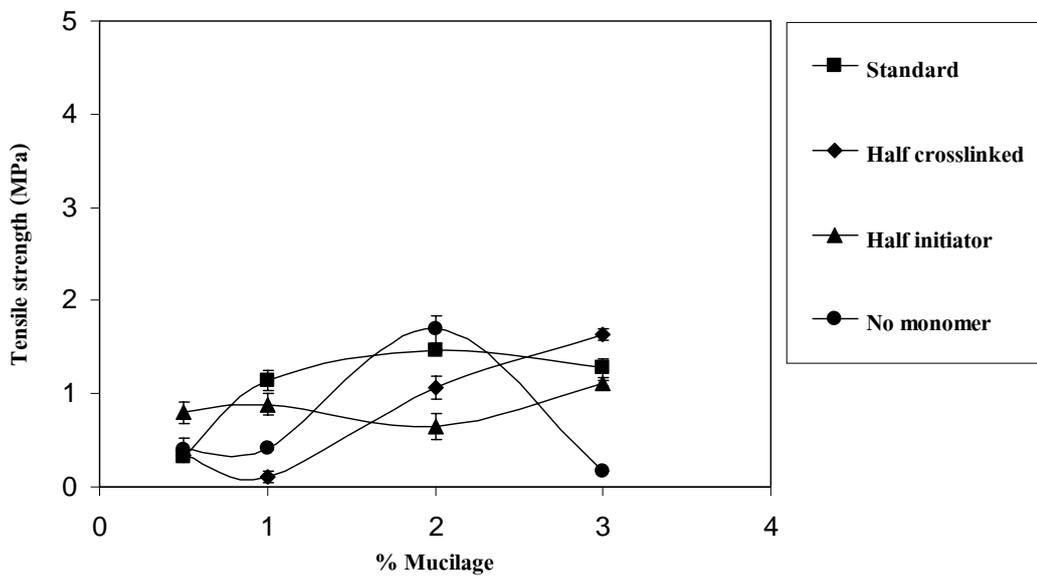
จากรูปที่ 4.23 เปรียบเทียบ IR spectra फिल्मไฮโดรเจลสารเมือกจากเม็ดแมงลักเมื่อไม่มีมอนอเมอร์ สูตร B'-E' คือ फिल्मไฮโดรเจล 3 %, 2 %, 1 %, 0.5 % สารเมือกจากเม็ดแมงลักที่ไม่มีมอนอเมอร์ ตามลำดับ พบว่าที่เลขคลื่นประมาณ  $3429-3433\text{ cm}^{-1}$  คือหมู่ไฮดรอกซิล ซึ่งไม่มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อปริมาณสารเมือกจากเม็ดแมงลักเพิ่มขึ้น ที่เลขคลื่นประมาณ  $2918-2924\text{ cm}^{-1}$  คือหมู่ C-H ที่เลขคลื่นประมาณ  $2162\text{ cm}^{-1}$  คือหมู่ N-H ของสารเชื่อมโยง และที่เลขคลื่นประมาณ  $1630-1637\text{ cm}^{-1}$  คือหมู่คาร์บอนิลของสารเมือกจากเม็ดแมงลัก ลักษณะ spectra ของ फिल्मไฮโดรเจลสารเมือกจากเม็ดแมงลักที่ไม่มีมอนอเมอร์มีความคล้ายคลึงกันมาก

จากรูปที่ 4.24 เปรียบเทียบ IR spectra สูตร F'-J' คือ फिल्मไฮโดรเจลผสมระหว่างสารเมือกจากเม็ดแมงลัก 3 %, 2 %, 1 %, 0.5 % และ 0 % กับมอนอเมอร์ซึ่งเป็นสูตรมาตรฐาน พบว่า IR spectra คล้ายกับ फिल्मไฮโดรเจลสารเมือกจากเม็ดแมงลักที่ไม่มีมอนอเมอร์ แต่มีหมู่คาร์บอนิลของสารเชื่อมโยง N,N'-Methylenebisacrylamide และ Poly(2-hydroxyethyl methacrylate) ปรากฏที่เลขคลื่นประมาณ  $1717-1724\text{ cm}^{-1}$  และจะมีการดูดกลืนที่เพิ่มขึ้นตามปริมาณสารเมือกจากเม็ดแมงลักที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เพราะการเพิ่มปริมาณสารเมือกจากเม็ดแมงลักทำให้สารเชื่อมโยงมีโอกาสเข้าทำปฏิกิริยาได้มากขึ้น นอกจากนี้ยังพบพีคที่  $1264-1275\text{ cm}^{-1}$  ซึ่งแสดง C-O ของ Poly(2-hydroxyethyl methacrylate)

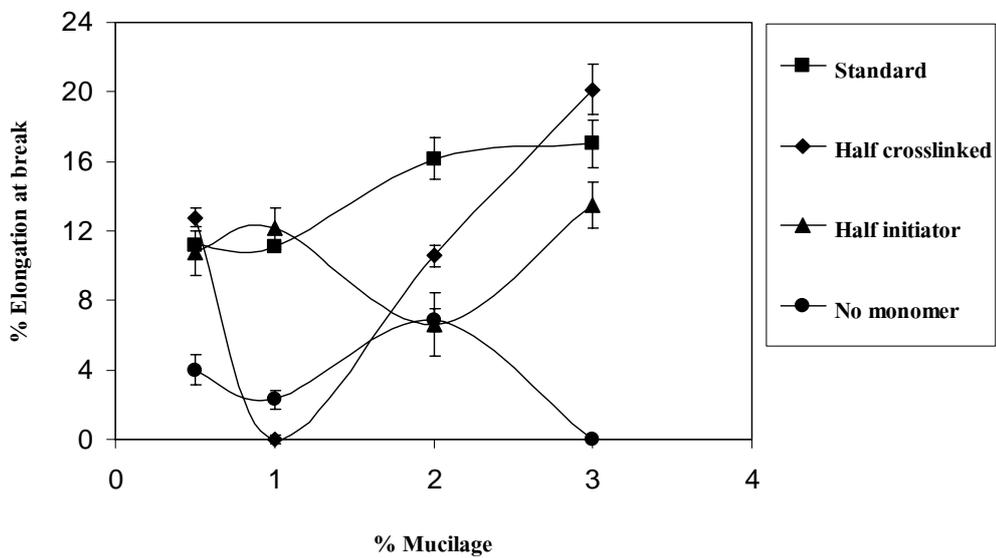
จากรูปที่ 4.25 เปรียบเทียบ IR spectra फिल्मไฮโดรเจลสูตร K'-O' คือ फिल्मไฮโดรเจล 3 %, 2 %, 1 %, 0.5 %, 0 % สารเมือกจากเม็ดแมงลักมีมอนอเมอร์ ที่ลดปริมาณสารเชื่อมโยง และรูปที่ 4.26 फिल्मไฮโดรเจลสูตร P'-T' คือ फिल्मไฮโดรเจล 3 %, 2 %, 1 %, 0.5 %, 0 % สารเมือกจากเม็ดแมงลักมีมอนอเมอร์ที่ลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา พบว่า IR spectra มีความคล้ายคลึงกันมากคือ ที่เลขคลื่นประมาณ  $3435-3440\text{ cm}^{-1}$  คือหมู่ไฮดรอกซิล ที่เลขคลื่นประมาณ  $2929-2941\text{ cm}^{-1}$  คือหมู่ C-H ที่เลขคลื่นประมาณ  $1711-1723\text{ cm}^{-1}$  คือหมู่คาร์บอนิลของ Poly(2-hydroxyethyl methacrylate) และของ N,N'-Methylenebisacrylamide และที่เลขคลื่นประมาณ  $1636-1644\text{ cm}^{-1}$  คือหมู่คาร์บอนิลของสารเมือกจากเม็ดแมงลัก

ผลการทดลองจาก IR spectra ของ फिल्मไฮโดรเจลทุกชนิดเตรียมที่อุณหภูมิ  $28-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  ให้ตำแหน่งของหมู่ฟังก์ชันคล้าย IR spectra ของ फिल्मไฮโดรเจลทุกชนิดที่เตรียมที่อุณหภูมิ  $50-60\text{ }^{\circ}\text{C}$  แต่ความเข้มของการดูดกลืนต่างกัน

4.2.2 สมบัติเชิงกลของฟิล์มไฮโดรเจลทุกชนิดที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำและเมทานอล



รูปที่ 4.27 กราฟเปรียบเทียบความทนแรงดึงของฟิล์มไฮโดรเจล ในสถานะต่างๆ ณ อุณหภูมิขณะผสม 28-30°C

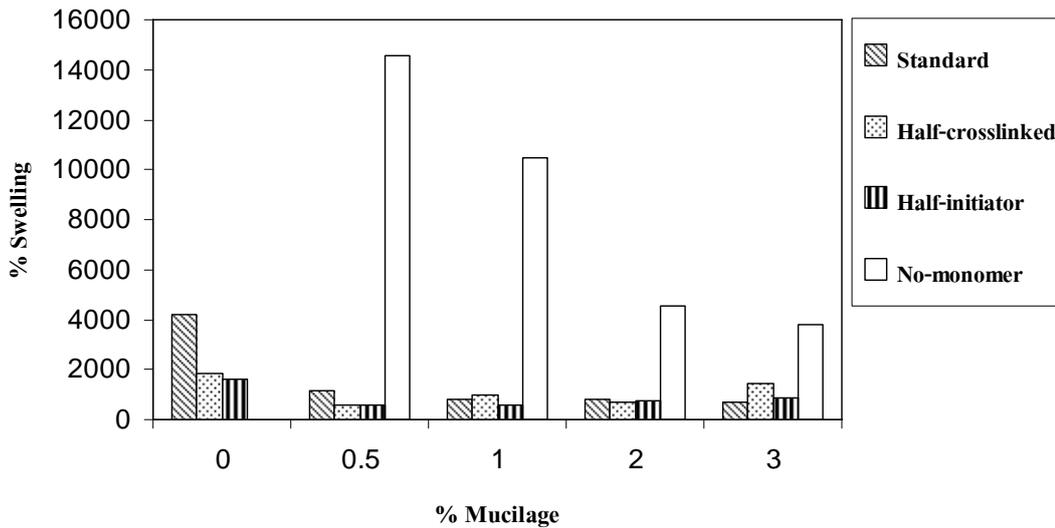


รูปที่ 4.28 กราฟเปรียบเทียบร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาดของฟิล์มไฮโดรเจล ในสถานะต่างๆ ณ อุณหภูมิขณะผสม 28-30°C

นำฟิล์มไฮโดรเจลที่เตรียมได้ ณ สภาพต่างๆที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำและเมทานอลมาวิเคราะห์สมบัติเชิงกล โดยนำมาแช่น้ำก่อน 10 นาที เนื่องจากในการนำไปใช้งานจริงต้องนำฟิล์มไฮโดรเจลไปแช่น้ำหรือยาก่อน ผลการทดลองของฟิล์มไฮโดรเจล พบว่า 2 % สารเมือกจากเม็ดแมงลักที่ไม่มีมอนอเมอร์มีค่าความทนต่อแรงดึง (Tensile strength) ดีที่สุด และใกล้เคียงกับฟิล์มไฮโดรเจล 3 % สารเมือกจากเม็ดแมงลักที่ลดสารเชื่อมโยงลง เมื่อพิจารณาฟิล์มไฮโดรเจลที่ 3 % สารเมือกจากเม็ดแมงลักของสูตรต่างๆ ความทนแรงดึงเรียงลำดับดังนี้ สูตรลดปริมาณสารเชื่อมโยง > สูตรมาตรฐาน > สูตรลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา > สูตรสารเมือกจากเม็ดแมงลัก ส่วนค่าร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด (% Elongation at break) ของฟิล์มไฮโดรเจลที่ 3 % สารเมือกจากเม็ดแมงลักของสูตรต่างๆเรียงลำดับเช่นเดียวกันกับความทนแรงดึง ฟิล์มพอลิเมอร์อย่างเดียวกันไม่สามารถวัดสมบัติเชิงกลได้เพราะเมื่อแช่น้ำฟิล์มจะหดตัวไม่คงรูปร่างเดิมและสารเมือกจากเม็ดแมงลักอย่างเดียวกันไม่สามารถวัดสมบัติเชิงกลได้เช่นกันเพราะละลายน้ำอย่างรวดเร็ว สมบัติเชิงกลของฟิล์มไฮโดรเจลสูตรต่างๆ สรุปได้ว่า ฟิล์มไฮโดรเจลผสมระหว่าง 3 % สารเมือกจากเม็ดแมงลักกับ 2-Hydroxyethyl methacrylate ที่ลดสารเชื่อมโยงลงครึ่งหนึ่ง ให้สมบัติที่แข็งและยืดได้ดี ส่วนฟิล์มไฮโดรเจลผสมระหว่าง 3 % สารเมือกจากเม็ดแมงลักไม่มีมอนอเมอร์ให้สมบัติที่แข็งและเปราะ การมี 2-Hydroxyethyl methacrylate จะช่วยเพิ่มสมบัติเชิงกลให้ฟิล์มสารเมือกจากเม็ดแมงลัก ผลการทดลองไปในทำนองเดียวกับที่อุณหภูมิสูง 50-60 °C

### 4.2.3 ผลทดสอบการดูดซับน้ำภายใน 24 ชั่วโมงของฟิล์มไฮโดรเจลทุกชนิดที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำและเมทานอล

การนำฟิล์มไฮโดรเจลมาสกัดด้วยน้ำเพื่อกำจัดสารเมือกจากเมล็ดแมงลักที่ไม่เกิดพันธะเชื่อมโยง มอนอเมอร์ที่ไม่เกิดปฏิกิริยา ตัวริเริ่มปฏิกิริยาและสารเชื่อมโยงที่เหลือ ส่วนการสกัดด้วยเมทานอลเพื่อกำจัดพอลิเมอร์ที่ไม่เกิดการเชื่อมโยง



รูปที่ 4.29 กราฟเปรียบเทียบ % การดูดซับน้ำที่เวลา 24 ชั่วโมงของฟิล์มไฮโดรเจลที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำและเมทานอลในสถานะต่างๆ ณ อุณหภูมิขณะผสม 28-30 °C

จากรูปที่ 4.29 เมื่อนำฟิล์มไฮโดรเจลที่เตรียมได้ ณ สถานะต่างๆผ่านการสกัดด้วยน้ำและเมทานอลแล้ว มาทดสอบการดูดซับน้ำในเวลา 24 ชั่วโมง พบว่า ฟิล์มไฮโดรเจลสารเมือกจากเมล็ดแมงลักที่ไม่มีมอนอเมอร์ดูดซับน้ำได้สูงที่สุดและเมื่อปริมาณสารเมือกจากเมล็ดแมงลักเพิ่มขึ้น ความสามารถในการดูดซับน้ำของฟิล์มไฮโดรเจลสารเมือกจากเมล็ดแมงลักเมื่อไม่มีมอนอเมอร์จะลดลง เนื่องจากสารเมือกจากเมล็ดแมงลักมากทำให้ความหนืดในระบบสูงเกิดพันธะเชื่อมโยงหนาแน่นแต่ไม่กระจาย เมื่อเทียบกับปริมาณสารเมือกจากเมล็ดแมงลักน้อยความหนืดในระบบต่ำเกิดการกระจายของตัวริเริ่มปฏิกิริยาและสารเชื่อมโยง ทำให้พันธะเชื่อมโยงเกิดได้มากเช่นกันแต่ในลักษณะกระจายทั่วทั้งสารเมือกจากเมล็ดแมงลัก เมื่อนำมาแช่น้ำ น้ำจึงแพร่เข้าไปได้มาก ฟิล์มที่มีปริมาณสารเมือกจากเมล็ดแมงลัก 0.5 % ดูดซับน้ำได้ 14540 % ปริมาณสารเมือกจากเมล็ดแมงลัก 1 % ดูดซับน้ำได้ 10469 % ปริมาณสารเมือกจากเมล็ดแมงลัก 2 % ดูดซับน้ำได้ 4551 % และปริมาณสารเมือกจากเมล็ดแมงลัก 3 % ดูดซับน้ำได้ 3823 %

สำหรับฟิล์มไฮโดรเจลสูตรมาตรฐานที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำและเมทานอลแล้ว นำมาทดสอบการดูดซับน้ำ พบว่า ที่เวลา 24 ชั่วโมง ฟิล์มไฮโดรเจล Poly(2-hydroxyethyl methacrylate)

ดูดซับน้ำดีที่สุดคือ 4216 % และเมื่อปริมาณสารเมือกจากเม็ดแมงลักเพิ่มขึ้น การดูดซับน้ำของฟิล์มไฮโดรเจลมีแนวโน้มลดลงและใกล้เคียงกันแม้ว่าปริมาณสารเมือกจากเม็ดแมงลักเพิ่มขึ้นมากดังนี้ ฟิล์มไฮโดรเจลที่มีปริมาณสารเมือกจากเม็ดแมงลัก 0.5 % มีดูดซับน้ำได้ 1122 % ปริมาณสารเมือกจากเม็ดแมงลัก 1 % ดูดซับน้ำได้ 781 % ปริมาณสารเมือกจากเม็ดแมงลัก 2 % ดูดซับน้ำได้ 812 % และปริมาณสารเมือกจากเม็ดแมงลัก 3 % ดูดซับน้ำได้ 694 %

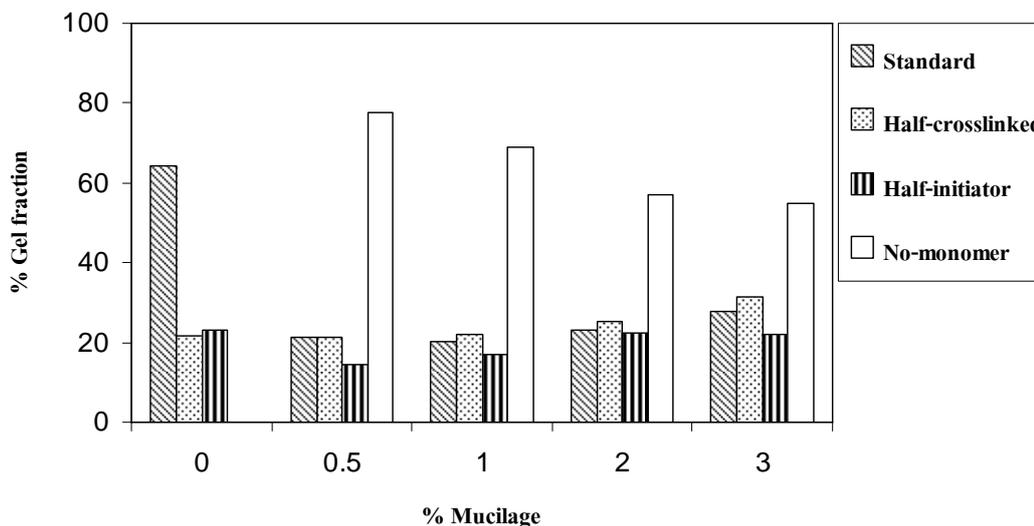
ฟิล์มไฮโดรเจลที่ลดปริมาณสารเชื่อมโยงลงครึ่งหนึ่งที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำและเมทานอลแล้ว มาทดสอบการดูดซับน้ำ พบว่า ที่เวลา 24 ชั่วโมง ฟิล์มไฮโดรเจลของ Poly(2-hydroxyethyl methacrylate) ดูดซับน้ำได้ดีที่สุดคือ 1826 % และเมื่อเติมสารเมือกจากเม็ดแมงลักลงไปทำให้การดูดซับน้ำลดลง ดังนี้ ฟิล์มไฮโดรเจลที่มีปริมาณสารเมือกจากเม็ดแมงลัก 0.5 % ดูดซับน้ำได้ 529 % ปริมาณสารเมือกจากเม็ดแมงลัก 1 % ดูดซับน้ำได้ 958 % ปริมาณสารเมือกจากเม็ดแมงลัก 2 % ดูดซับน้ำได้ 676 % ปริมาณสารเมือกจากเม็ดแมงลัก 3 % ดูดซับน้ำได้ 1423 %

ฟิล์มไฮโดรเจลที่ลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยาลงครึ่งหนึ่งที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำและเมทานอลแล้ว มาทดสอบการดูดซับน้ำ พบว่า ที่เวลา 24 ชั่วโมง ฟิล์มไฮโดรเจล Poly(2-hydroxyethyl methacrylate) ดูดซับน้ำได้ดีที่สุดคือ 1634 % และต่ำกว่าการดูดซับน้ำของฟิล์มไฮโดรเจลที่ลดสารเชื่อมโยงลงครึ่งหนึ่งและเมื่อเติมสารเมือกจากเม็ดแมงลักลงไปทำให้การดูดซับน้ำลดลง ส่วนฟิล์มไฮโดรเจลที่มีปริมาณสารเมือกจากเม็ดแมงลัก 0.5-3 % การดูดซับน้ำเรียงดังนี้ ฟิล์มไฮโดรเจลที่มีปริมาณสารเมือกจากเม็ดแมงลัก 0.5 % ดูดซับน้ำได้ 560 % ปริมาณสารเมือกจากเม็ดแมงลัก 1 % ดูดซับน้ำได้ 568 % ปริมาณสารเมือกจากเม็ดแมงลัก 2 % ดูดซับน้ำได้ 749 % ปริมาณสารเมือกจากเม็ดแมงลัก 3 % ดูดซับน้ำได้ 858 %

เมื่อเรียงลำดับความสามารถในการดูดซับน้ำของฟิล์มไฮโดรเจล ณ อุณหภูมิขณะผสม 28-30 °C ในทุกกรณี พบว่า ฟิล์มสารเมือกจากเม็ดแมงลัก > ฟิล์มไฮโดรเจลสูตรมาตรฐาน > ฟิล์มไฮโดรเจลที่ลดปริมาณสารเชื่อมโยง > ฟิล์มไฮโดรเจลที่ลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา

#### 4.2.4 เปอร์เซนต์ค่าสัดส่วนเจล

กราฟรูปที่ 4.30 แสดงผลของค่าสัดส่วนเจลที่เปลี่ยนแปลงตามปริมาณสารเมือกจากเม็ดแมงลัก ในสถานะเงื่อนไขการทดลองมาตรฐาน ลดปริมาณสารเชื่อมโยงลงครึ่งหนึ่ง ลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยาครึ่งหนึ่งและกรณีที่ไม่มีมอนอเมอร์



รูปที่ 4.30 กราฟเปรียบเทียบ % ค่าสัดส่วนเจลของฟิล์มไฮโดรเจลที่ผ่านการสกัดด้วยน้ำและเมทานอล ในสถานะต่างๆ ณ อุณหภูมิขณะผสม 28-30°C

จากรูปที่ 4.30 เมื่อนำฟิล์มไฮโดรเจล Poly(2-hydroxyethyl methacrylate) และฟิล์มไฮโดรเจลผสมที่สถานะต่างๆมาสกัดด้วยน้ำและเมทานอล ตามลำดับ พบว่า ฟิล์มไฮโดรเจล Poly(2-hydroxyethyl methacrylate) มีเปอร์เซ็นต์ค่าสัดส่วนเจลลดลง เมื่อลดปริมาณสารเชื่อมโยงและลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา แสดงว่าเกิดพันธะเชื่อมโยงได้น้อยกว่าฟิล์มไฮโดรเจลพอลิเมอร์สูตรมาตรฐาน โดยเปอร์เซ็นต์ค่าสัดส่วนเจลของฟิล์มไฮโดรเจลพอลิเมอร์สูตรมาตรฐาน > ฟิล์มไฮโดรเจลพอลิเมอร์ที่ลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา ~ ฟิล์มไฮโดรเจลพอลิเมอร์ที่ลดปริมาณสารเชื่อมโยง เมื่อเปรียบเทียบทั้ง 3 สถานะกับรูปที่ 4.12 พบว่า ให้ผลตรงกันข้ามกัน กล่าวคือ ในกรณีสูตรมาตรฐานพอลิเมอร์เกิดพันธะเชื่อมโยงได้ดีที่อุณหภูมิการทดลอง 28-30°C จึงเหลือส่วนที่ไม่ละลายมาก เปอร์เซนต์ค่าสัดส่วนเจลจึงสูง แต่ในกรณีสูตรที่ลดปริมาณสารเชื่อมโยงและลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา พอลิเมอร์เกิดพันธะเชื่อมโยงได้ดีที่อุณหภูมิการทดลอง 50-60 °C เปอร์เซนต์ค่าสัดส่วนเจลจึงสูง

ในกรณีของสารเมือกจากเม็ดแมงลัก เปอร์เซนต์ค่าสัดส่วนเจลลดลงเมื่อปริมาณสารเมือกจากเม็ดแมงลักเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อปริมาณสารเมือกจากเม็ดแมงลักมากขึ้น ทำให้ความหนืด

เพิ่มขึ้น ซึ่งจะไปขัดขวางการแพร่กระจายของตัวริเริ่มปฏิกิริยาและสารเชื่อมโยง ส่งผลให้มีเปอร์เซ็นต์ค่าสัดส่วนเจลลดลง แนวโน้มคล้ายกับการทดลองที่อุณหภูมิ 50-60 °C (รูปที่ 4.12)

ในกรณีของฟิล์มไฮโดรเจลสูตรมาตรฐาน ฟิล์มไฮโดรเจลที่ลดปริมาณสารเชื่อมโยง และฟิล์มไฮโดรเจลที่ลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา เปอร์เซ็นต์ค่าสัดส่วนเจลมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณสารเมือกจากเม็ดแมงลักเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลรวมของส่วนที่ไม่ละลายจากพอลิเมอร์และสารเมือกจากเม็ดแมงลักที่เกิดพันธะเชื่อมโยง แนวโน้มคล้ายกับการทดลองที่อุณหภูมิ 50-60 °C (รูปที่ 4.12)

#### 4.2.5 วิเคราะห์สมบัติทางความร้อนและหาค่าประกอบด้วยเครื่อง TGA

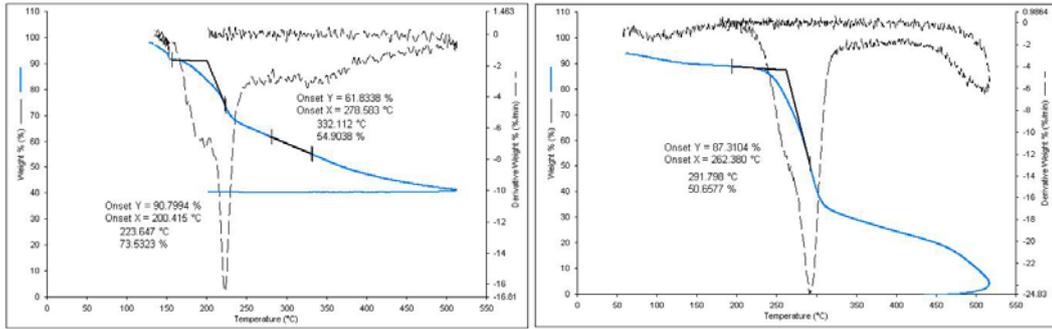
ตารางที่ 4.2 แสดงค่าอุณหภูมิการสลายตัวของฟิล์มไฮโดรเจลที่สภาวะต่างๆ

ณ อุณหภูมิขณะผสม 28-30 °C

สูตร	เงื่อนไข	T <sub>d</sub> 1 (°C)	T <sub>d</sub> 2 (°C)	T <sub>d</sub> 3 (°C)
สารเมือกจากเม็ดแมงลัก(A)		247	401	489
3%สารเมือกจากเม็ดแมงลัก ไม่มีมอนอเมอร์(B')	ก่อนสกัด	223	332	-
	หลังสกัด	291	-	-
2%สารเมือกจากเม็ดแมงลัก ไม่มีมอนอเมอร์(C')	ก่อนสกัด	167	205	-
	หลังสกัด	269	456	-
1%สารเมือกจากเม็ดแมงลัก ไม่มีมอนอเมอร์(D')	ก่อนสกัด	213	335	-
	หลังสกัด	263	415	-
0.5%สารเมือกจากเม็ด แมงลักไม่มีมอนอเมอร์(E')	ก่อนสกัด	202	334	-
	หลังสกัด	266	403	-
3%สารเมือกจากเม็ดแมงลัก สูตรมาตรฐาน(F')	ก่อนสกัด	224	378	-
	หลังสกัด	-	390	-
2%สารเมือกจากเม็ดแมงลัก สูตรมาตรฐาน(G')	ก่อนสกัด	232	375	-
	หลังสกัด	318	377	-
1%สารเมือกจากเม็ดแมงลัก สูตรมาตรฐาน(H')	ก่อนสกัด	210	378	-
	หลังสกัด	-	383	-
0.5%สารเมือกจากเม็ด แมงลักสูตรมาตรฐาน(I')	ก่อนสกัด	203	374	-
	หลังสกัด	-	389	-

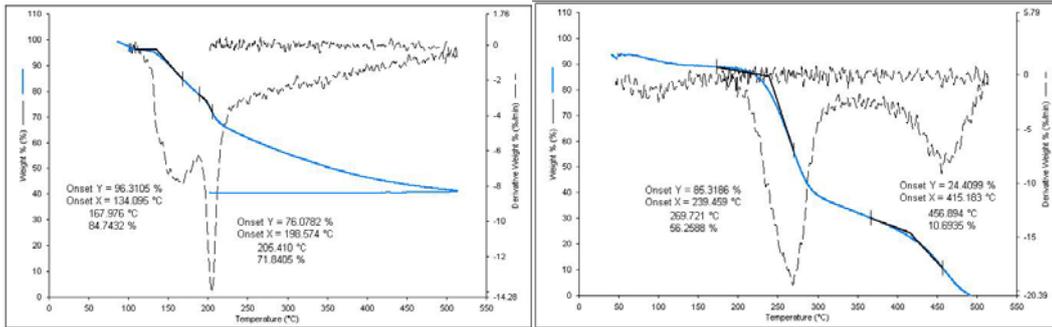
ตารางที่ 4.2 (ต่อ)

สูตร	เงื่อนไข	T <sub>d1</sub> (°C)	T <sub>d2</sub> (°C)	T <sub>d3</sub> (°C)
พอลิเมอร์ สูตรมาตรฐาน(J')	ก่อนสกัด	230	371	-
	หลังสกัด	-	386	-
3%สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก ลดสารเชื่อมโยง(K')	ก่อนสกัด	241	377	-
	หลังสกัด	311	369	465
2%สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก ลดสารเชื่อมโยง(L')	ก่อนสกัด	231	367	-
	หลังสกัด	-	380	-
1%สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก ลดสารเชื่อมโยง(M')	ก่อนสกัด	203	365	-
	หลังสกัด	-	385	-
0.5%สารเมือกจากเมล็ด แมงลักลดสารเชื่อมโยง(N')	ก่อนสกัด	201	342	380
	หลังสกัด	316	382	-
พอลิเมอร์ลดสารเชื่อมโยง (O')	ก่อนสกัด	228	310	-
	หลังสกัด	-	384	-
3%สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก ลดตัวริเริ่มปฏิกิริยา(P')	ก่อนสกัด	286	373	-
	หลังสกัด	331	386	-
2%สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก ลดตัวริเริ่มปฏิกิริยา(Q')	ก่อนสกัด	300	377	481
	หลังสกัด	316	369	468
1%สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก ลดตัวริเริ่มปฏิกิริยา(R')	ก่อนสกัด	-	384	-
	หลังสกัด	317	371	469
0.5%สารเมือกจากเมล็ด แมงลักลดตัวริเริ่มปฏิกิริยา (S')	ก่อนสกัด	254	385	-
	หลังสกัด	317	375	474
พอลิเมอร์ลดตัวริเริ่ม ปฏิกิริยา(T')	ก่อนสกัด	235	379	-
	หลังสกัด	299	373	441



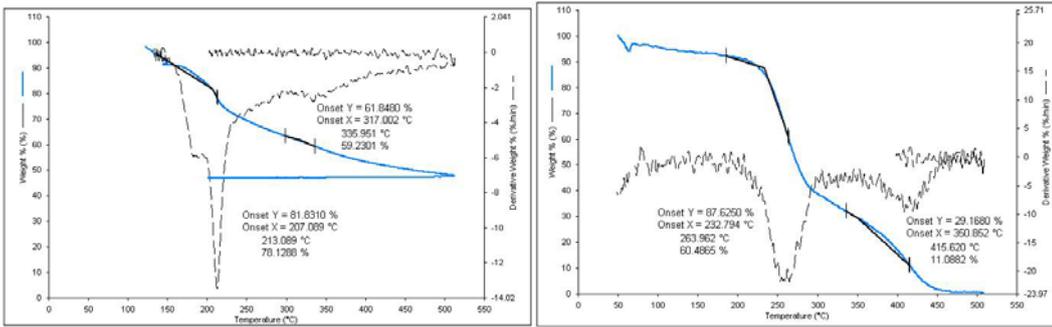
(B')

(b')



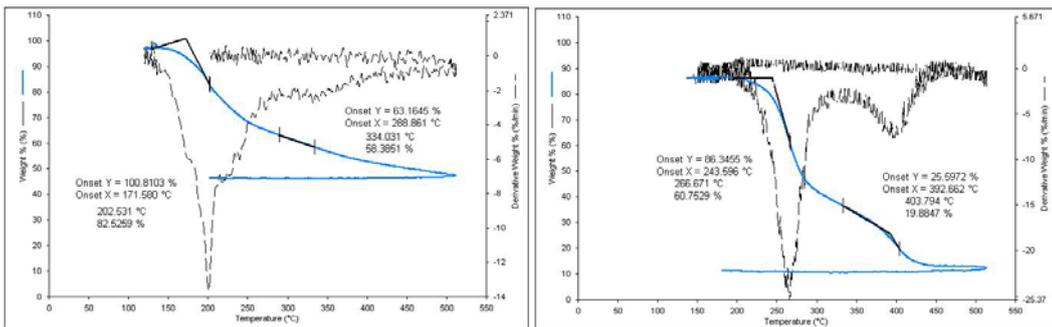
(c')

(c')



(d')

(d')

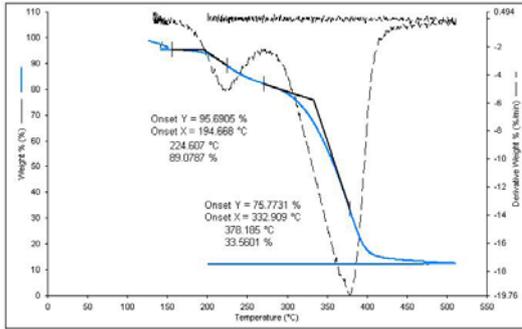


(e')

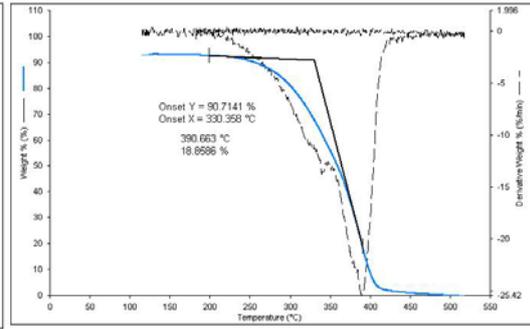
(e')

รูปที่ 4.31 แสดงการเปรียบเทียบสมบัติทางความร้อนของฟิล์มไฮโดรเจลสารเมือกจากเม็ดแมงลัก ก่อนและหลังการสกัดด้วยน้ำและเมทานอล ณ อุณหภูมิขณะผสม 28-30 °C

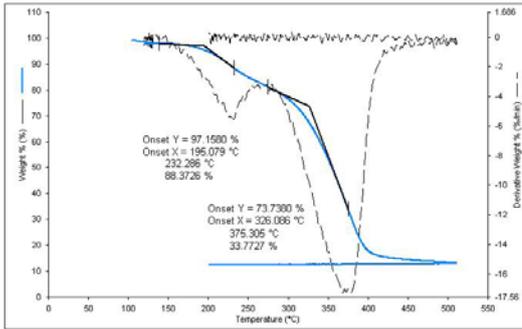
- (B') 3 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก ไม่มีมोनอเมอร์
- (b') 3 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก ไม่มีมोनอเมอร์ สกัดด้วยน้ำและเมทานอล
- (C') 2 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก ไม่มีมोनอเมอร์
- (c') 2 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก ไม่มีมोनอเมอร์ สกัดด้วยน้ำและเมทานอล
- (D') 1 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก ไม่มีมोनอเมอร์
- (d') 1 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก ไม่มีมोनอเมอร์ สกัดด้วยน้ำและเมทานอล
- (E') 0.5 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก ไม่มีมोनอเมอร์
- (e') 0.5 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก ไม่มีมोनอเมอร์ สกัดด้วยน้ำและเมทานอล



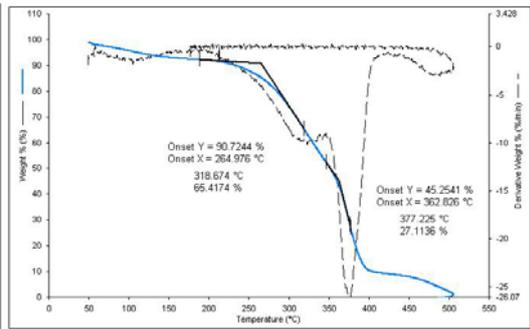
(F)



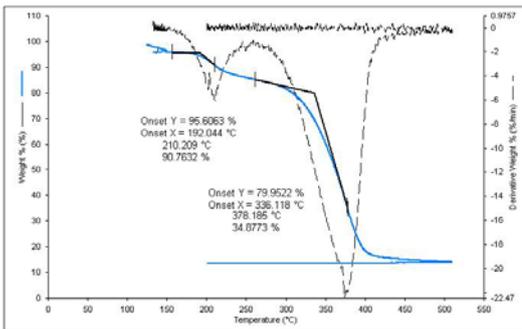
(f)



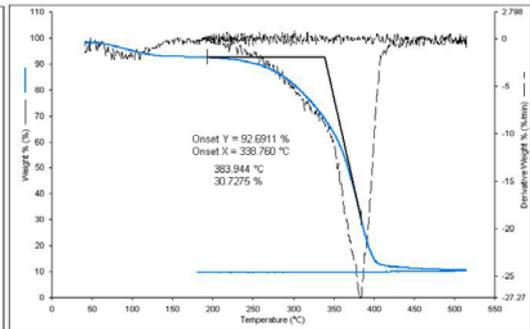
(G)



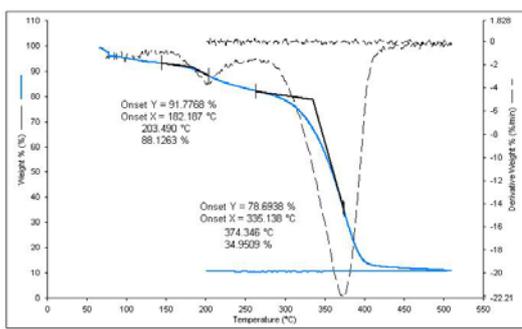
(g)



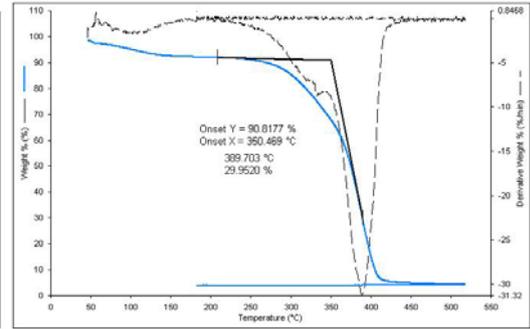
(H)



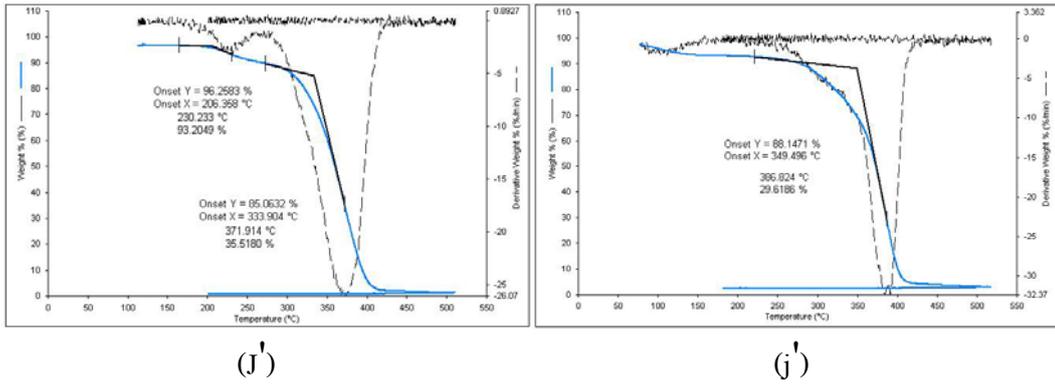
(h)



(I)

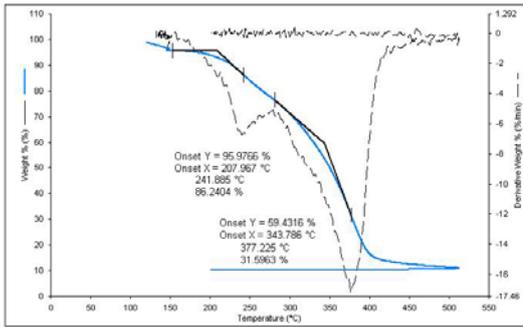


(i)

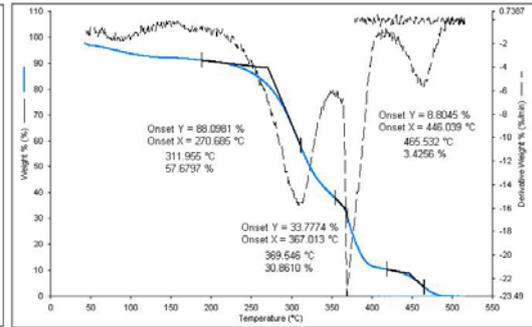


รูปที่ 4.32 แสดงการเปรียบเทียบสมบัติทางความร้อนของฟิล์มไฮโดรเจลผสมสูตรมาตรฐาน ก่อนและหลังการสกัดด้วยน้ำและเมทานอล ณ อุณหภูมิขณะผสม 28-30 °C

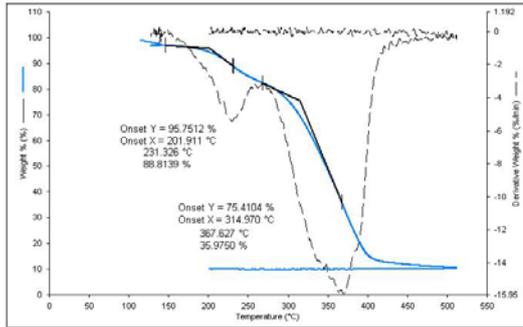
- (F') 3 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก สูตรมาตรฐาน
- (f') 3 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก สูตรมาตรฐาน สกัดด้วยน้ำและเมทานอล
- (G') 2 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก สูตรมาตรฐาน
- (g') 2 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก สูตรมาตรฐาน สกัดด้วยน้ำและเมทานอล
- (H') 1 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก สูตรมาตรฐาน
- (h') 1 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก สูตรมาตรฐาน สกัดด้วยน้ำและเมทานอล
- (I') 0.5 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก สูตรมาตรฐาน
- (i') 0.5 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก สูตรมาตรฐาน สกัดด้วยน้ำและเมทานอล
- (J') Poly(2-hydroxyethyl methacrylate) สูตรมาตรฐาน
- (j') Poly(2-hydroxyethyl methacrylate) สูตรมาตรฐาน สกัดด้วยน้ำและเมทานอล



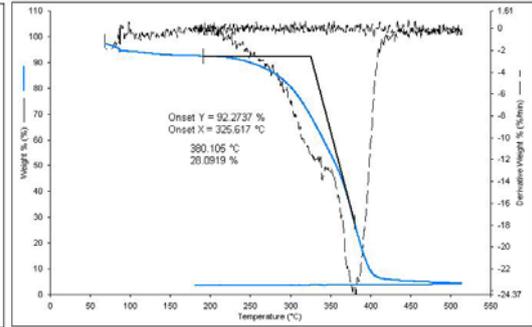
(K)



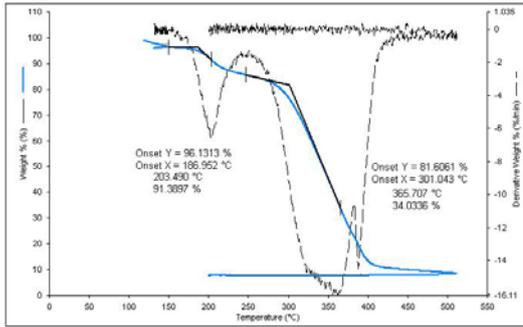
(k')



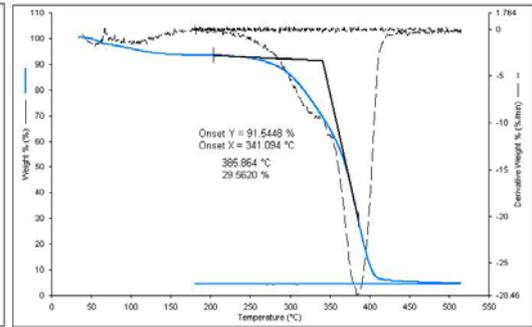
(L)



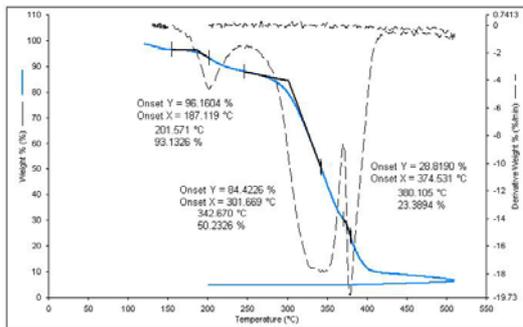
(l')



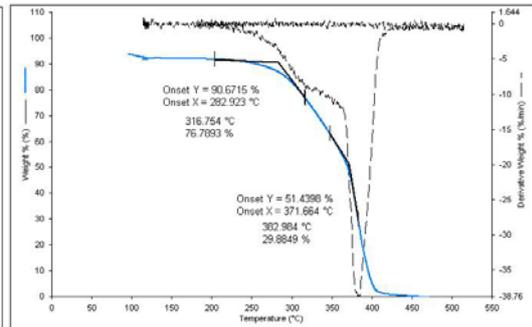
(M)



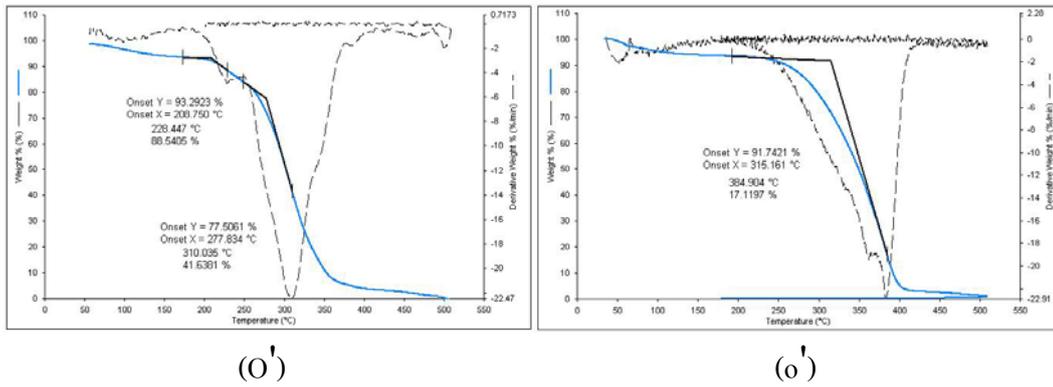
(m')



(N)

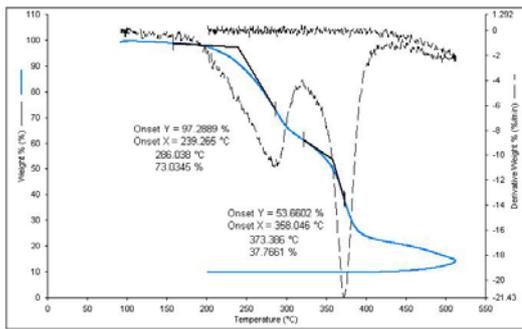


(n')

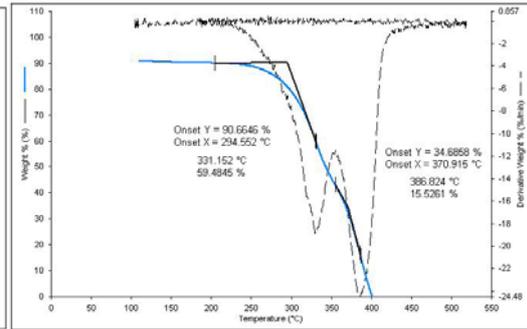


รูปที่ 4.33 แสดงการเปรียบเทียบสมบัติทางความร้อนของฟิล์ม ไฮโดรเจลผสมเมื่อลดปริมาณสารเชื่อมโยงก่อนและหลังการสกัดด้วยน้ำและเมทานอล ณ อุณหภูมิขณะผสม 28-30 °C

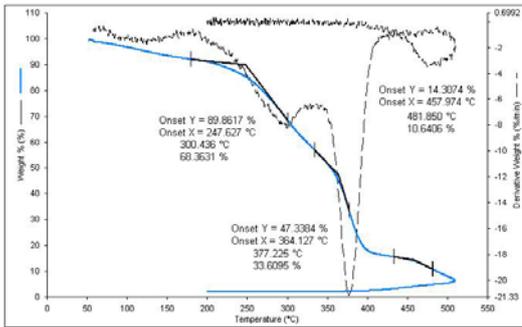
- (K') 3 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก ลดปริมาณสารเชื่อมโยง
- (k') 3 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก ลดปริมาณสารเชื่อมโยง สกัดด้วยน้ำและเมทานอล
- (L') 2 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก ลดปริมาณสารเชื่อมโยง
- (l') 2 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก ลดปริมาณสารเชื่อมโยง สกัดด้วยน้ำและเมทานอล
- (M') 1 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก ลดปริมาณสารเชื่อมโยง
- (m') 1 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก ลดปริมาณสารเชื่อมโยง สกัดด้วยน้ำและเมทานอล
- (N') 0.5 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก ลดปริมาณสารเชื่อมโยง
- (n') 0.5 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก ลดปริมาณสารเชื่อมโยง สกัดด้วยน้ำและเมทานอล
- (O') Poly(2-hydroxyethyl methacrylate) ลดปริมาณสารเชื่อมโยง
- (o') Poly(2-hydroxyethyl methacrylate) ลดปริมาณสารเชื่อมโยง สกัดด้วยน้ำและเมทานอล



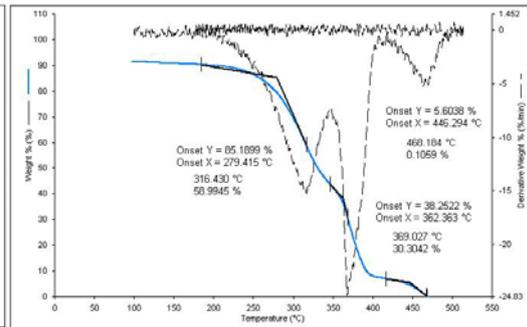
(p')



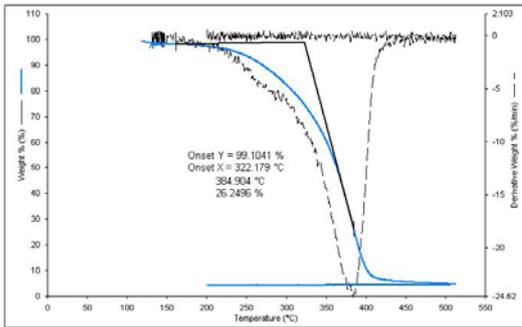
(p')



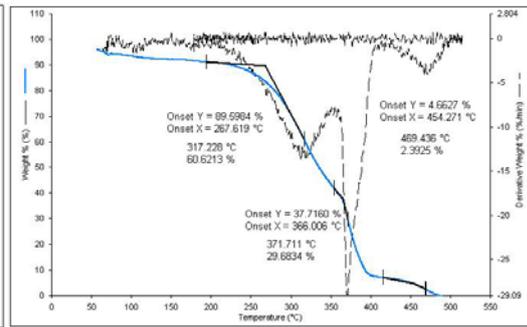
(q')



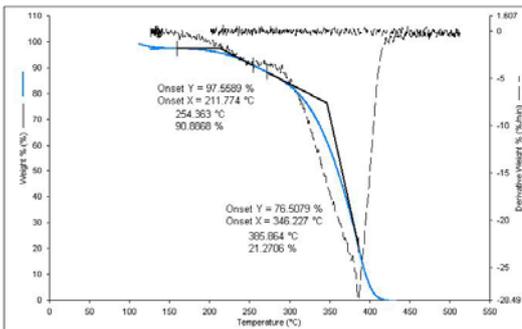
(q')



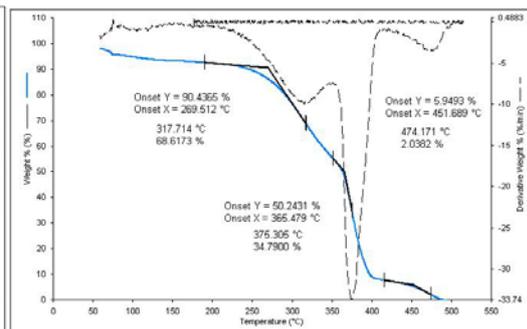
(r')



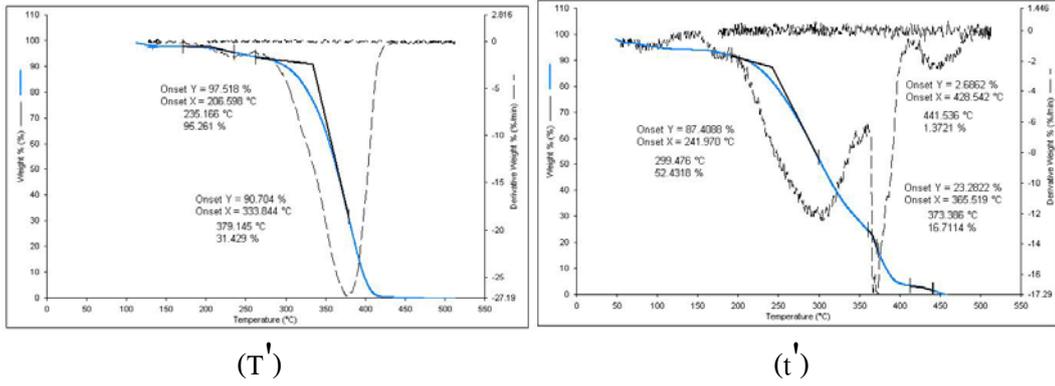
(r')



(s')



(s')



รูปที่ 4.34 แสดงการเปรียบเทียบสมบัติทางความร้อนของฟิล์ม ไฮโดรเจลผสมเมื่อลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา ก่อนและหลังการสกัดด้วยน้ำและเมทานอล ณ อุณหภูมิขณะผสม 28-30 °C

- (P') 3 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก ลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา
- (p') 3 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก ลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา สกัดด้วยน้ำและเมทานอล
- (Q') 2 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก ลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา
- (q') 2 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก ลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา สกัดด้วยน้ำและเมทานอล
- (R') 1 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก ลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา
- (r') 1 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก ลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา สกัดด้วยน้ำและเมทานอล
- (S') 0.5 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก ลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา
- (s') 0.5% สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก ลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา สกัดด้วยน้ำและเมทานอล
- (T') Poly(2-hydroxyethyl methacrylate) ลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา
- (t') Poly(2-hydroxyethyl methacrylate) ลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา สกัดด้วยน้ำและเมทานอล

จากรูปที่ 4.31, 4.32, 4.33, 4.34 และตารางที่ 4.2 แสดงอุณหภูมิการสลายตัวของฟิล์มไฮโดรเจลที่สภาวะต่างๆ ณ อุณหภูมิขณะผสม 28-30 °C ก่อนและหลังการสกัดด้วยน้ำและเมทานอล จากรูปที่ 4.31 แสดงอุณหภูมิการสลายตัวของฟิล์มไฮโดรเจลสารเมือกจากเมล็ดแมงลักหลังสกัดด้วยเมทานอล พบว่า จะมีอุณหภูมิการสลายตัว 2 ชั้น ชั้นแรกที่มีอุณหภูมิประมาณ 266-291 °C และชั้นที่สองที่มีอุณหภูมิประมาณ 392-456 °C แสดงถึงการเกิดพันธะเชื่อมโยงภายในสารเมือกจากเมล็ดแมงลักที่ความเข้มข้นต่ำ ทำให้เกิด 2 วัฏภาค แต่เมื่อความเข้มข้นของสารเมือกจากเมล็ดแมงลักสูงขึ้นเป็น 3 % พบว่า อุณหภูมิการสลายตัวมีอุณหภูมิเดียว แสดงว่าพันธะเชื่อมโยงเกิดได้ทั่วถึง

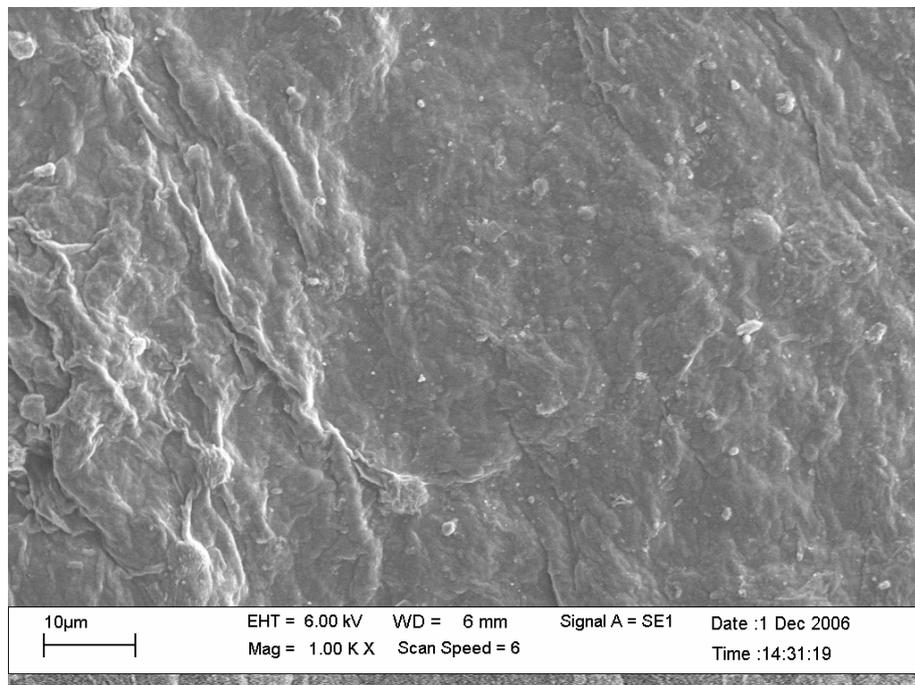
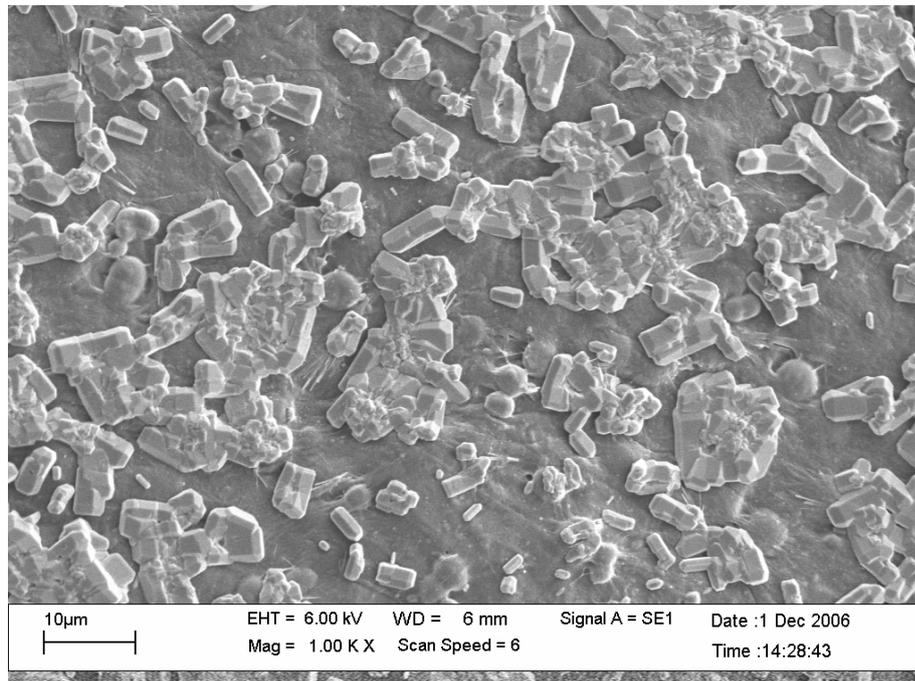
จากรูปที่ 4.32 แสดงอุณหภูมิการสลายตัวของฟิล์มไฮโดรเจลผสมสูตรมาตรฐาน ฟิล์มไฮโดรเจลพอลิเมอร์ (j') มีอุณหภูมิการสลายตัวที่ 386 °C ส่วนฟิล์มไฮโดรเจลผสมระหว่างสาร

เนื่องจากเม็ดแมงลักกับ 2-Hydroxyethyl methacrylate พบว่าทุกความเข้มข้นของสารเนื่องจากเม็ดแมงลักมีอุณหภูมิการสลายตัว 2 ชั้น หลังสกัดด้วยเมทานอล พบว่า จะมีอุณหภูมิการสลายตัว 2 ชั้น ชั้นแรกที่มีอุณหภูมิประมาณ 330-340 °C น่าจะเป็นสารเนื่องจากเม็ดแมงลักที่เกิดพันธะเชื่อมโยง และมีพอลิเมอร์ต่อกิ่ง และชั้นที่สองที่มีอุณหภูมิประมาณ 389-390 °C เป็นการสลายตัวของพอลิเมอร์ที่ต่อกิ่งบนสารเนื่องจากเม็ดแมงลัก

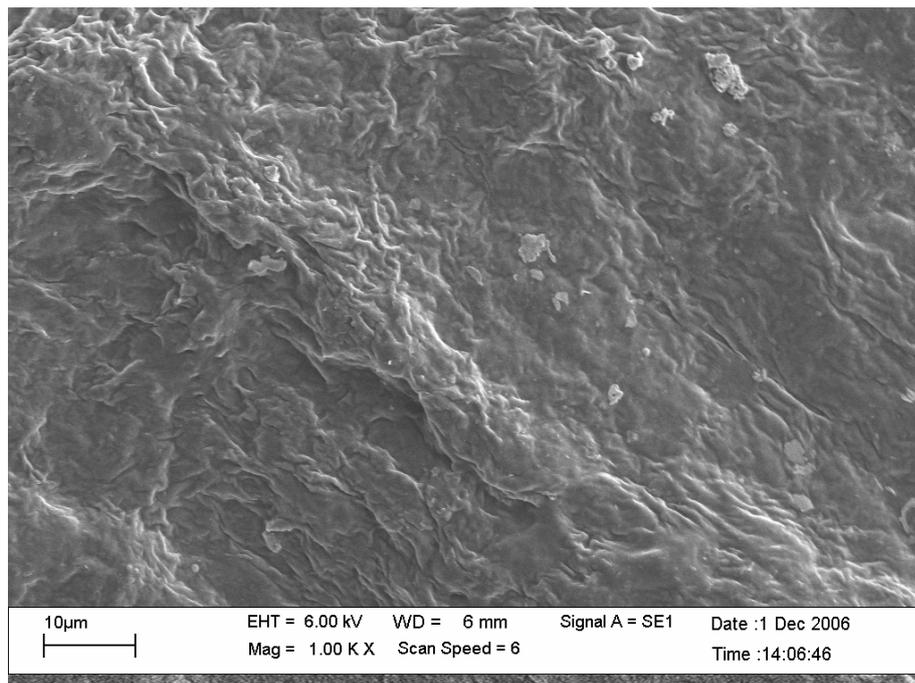
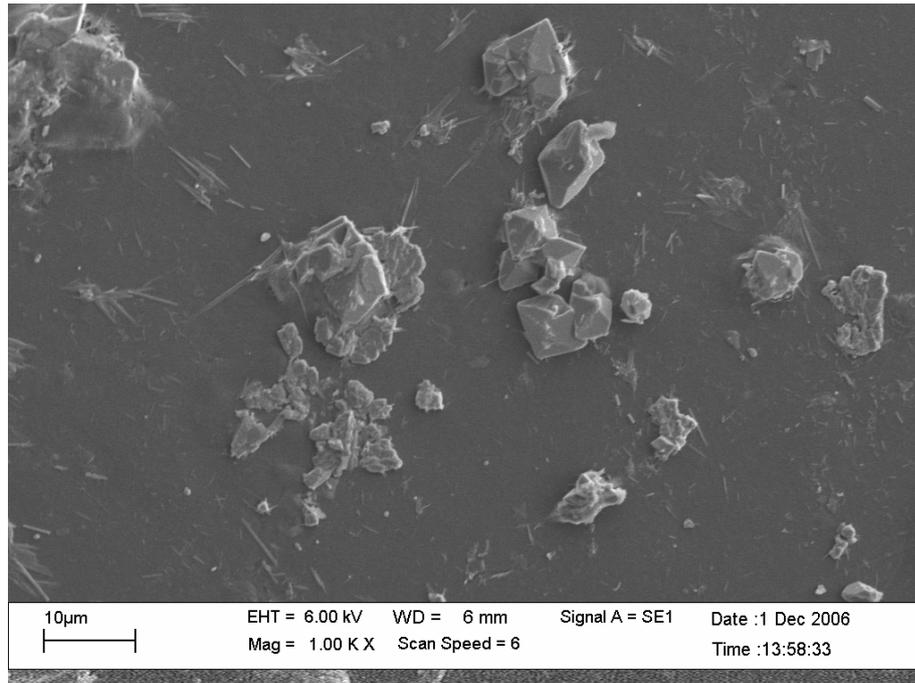
จากรูปที่ 4.33 แสดงอุณหภูมิการสลายตัวของฟิล์มไฮโดรเจลผสมสูตรลดปริมาณสารเชื่อมโยง ฟิล์มไฮโดรเจลพอลิเมอร์ (o') มีอุณหภูมิการสลายตัวที่ 384 °C ส่วนฟิล์มไฮโดรเจลผสมระหว่างสารเนื่องจากเม็ดแมงลักกับ 2-Hydroxyethyl methacrylate พบว่าเมื่อปริมาณสารเนื่องจากเม็ดแมงลักเพิ่มขึ้นถึง 2 % อุณหภูมิการสลายตัวของฟิล์มไฮโดรเจลมี 2 ชั้น ชั้นแรกที่มีอุณหภูมิประมาณ 316-330 °C น่าจะเป็นการสลายตัวของสารเนื่องจากเม็ดแมงลักที่เกิดพันธะเชื่อมโยง และชั้นที่สองที่มีอุณหภูมิประมาณ 380-382 °C เป็นการสลายตัวของพอลิเมอร์ที่ต่อกิ่งบนสารเนื่องจากเม็ดแมงลัก เมื่อปริมาณสารเนื่องจากเม็ดแมงลักเพิ่มขึ้นเป็น 3 % การสลายตัวของฟิล์มไฮโดรเจลมี 3 ชั้น แยกออกจากกันได้ชัดเจน ชั้นแรกที่มีอุณหภูมิประมาณ 311 °C เป็นการสลายตัวของสารเนื่องจากเม็ดแมงลักที่เกิดพันธะเชื่อมโยง และชั้นที่สองที่มีอุณหภูมิประมาณ 389 °C เป็นส่วนของพอลิเมอร์ Poly(2-hydroxyethyl methacrylate) ที่ต่อกิ่งบนสารเนื่องจากเม็ดแมงลัก ส่วนชั้นที่สามที่มีอุณหภูมิประมาณ 465 °C น่าจะเป็นส่วนของพอลิเมอร์ที่ต่อกิ่งบนสารเนื่องจากเม็ดแมงลักสามารถเกิดพันธะเชื่อมโยง

จากรูปที่ 4.34 แสดงอุณหภูมิการสลายตัวของฟิล์มไฮโดรเจลผสมสูตรลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา ฟิล์มไฮโดรเจลพอลิเมอร์ (t') มีอุณหภูมิการสลายตัว 3 ชั้นคือที่ 299 °C, 373 °C และ 441 °C แสดงว่า การลดตัวริเริ่มปฏิกิริยาเท่ากับเป็นการลดจำนวนอนุมูลอิสระในระบบลง จำนวนโซ่พอลิเมอร์น้อยแต่สายโซ่ยาว ความหนืดของระบบสูงขึ้น ทำให้สารเชื่อมโยงไม่สามารถกระจายตัวเกิดการเชื่อมโยงไม่ทั่วถึง เกิดการแยกวัฏภาค เมื่อเพิ่มสารเนื่องจากเม็ดแมงลัก เข้าไปในระบบจาก 0.5-2 % ยังคงให้ฟิล์มที่มีการสลายตัว 3 ชั้น โดยที่ชั้นแรกที่มีอุณหภูมิประมาณ 316-317 °C น่าจะเป็นการสลายตัวของสารเนื่องจากเม็ดแมงลักที่เกิดพันธะเชื่อมโยง ชั้นที่สองที่มีอุณหภูมิประมาณ 369-373 °C น่าจะเป็นส่วนของพอลิเมอร์ที่ต่อกิ่งบนสารเนื่องจากเม็ดแมงลัก ส่วนชั้นที่สามที่มีอุณหภูมิประมาณ 446 °C น่าจะเป็นส่วนของพอลิเมอร์ที่ต่อกิ่งบนสารเนื่องจากเม็ดแมงลักสามารถเกิดพันธะเชื่อมโยง สำหรับฟิล์มไฮโดรเจลผสมที่มีสารเนื่องจากเม็ดแมงลัก 3 % เมื่อลดตัวริเริ่มปฏิกิริยา สารเชื่อมโยงจะเข้าทำปฏิกิริยากับสารเนื่องจากเม็ดแมงลักได้ดีกว่า จึงมีอุณหภูมิการสลายตัว 2 ชั้น เท่านั้น คือที่อุณหภูมิ 331 °C เป็นสารเนื่องจากเม็ดแมงลักที่เกิดการเชื่อมโยง ส่วนที่อุณหภูมิ 386 °C เป็นพอลิเมอร์ที่ต่อกิ่งบนสารเนื่องจากเม็ดแมงลัก ซึ่งมีจำนวนที่ต่อกิ่งน้อยแต่สายโซ่ยาว

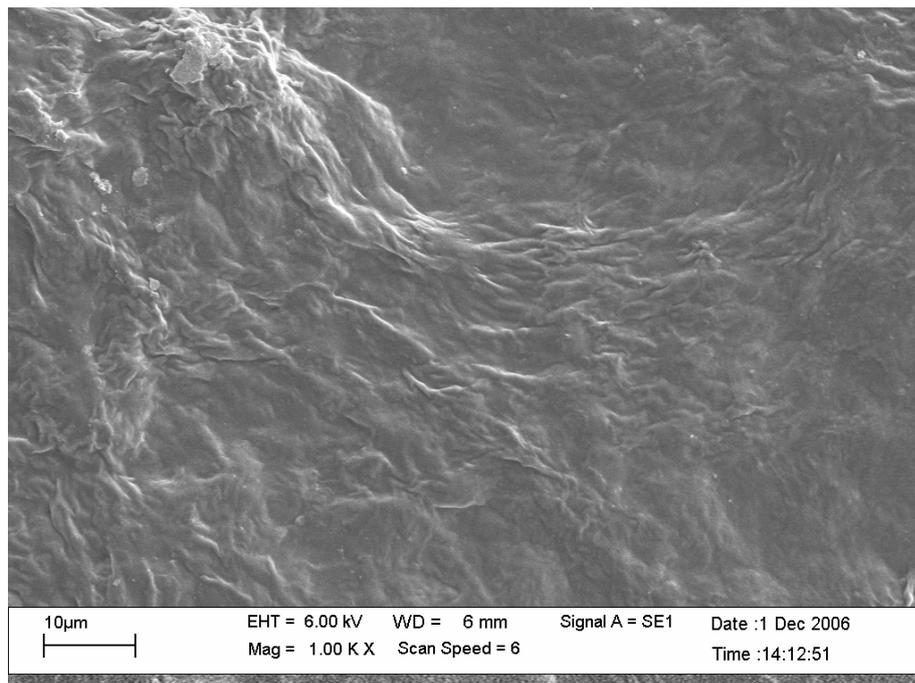
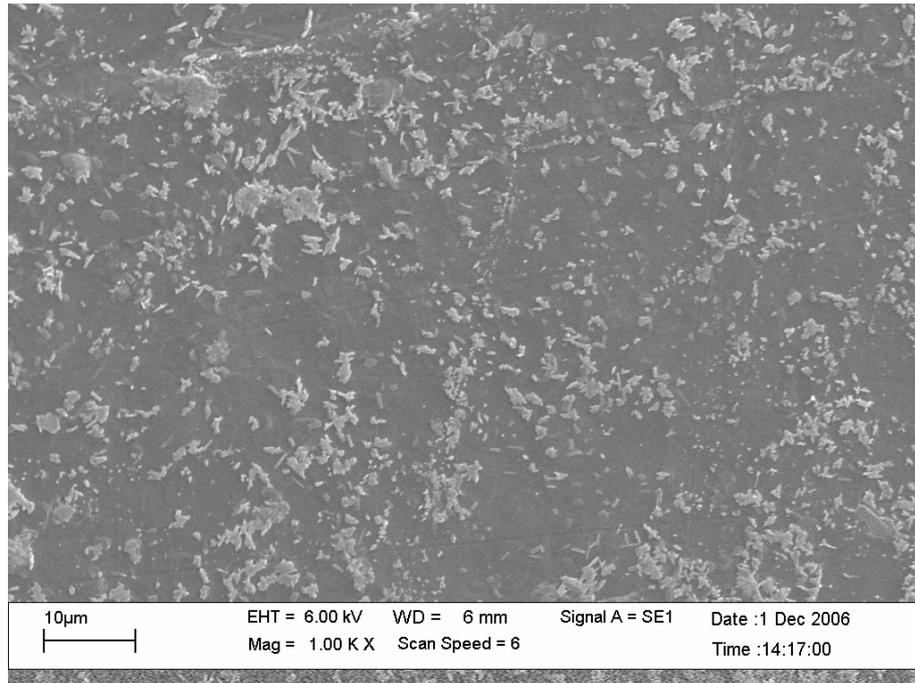
#### 4.2.6 สมบัติทางสัณฐานวิทยา



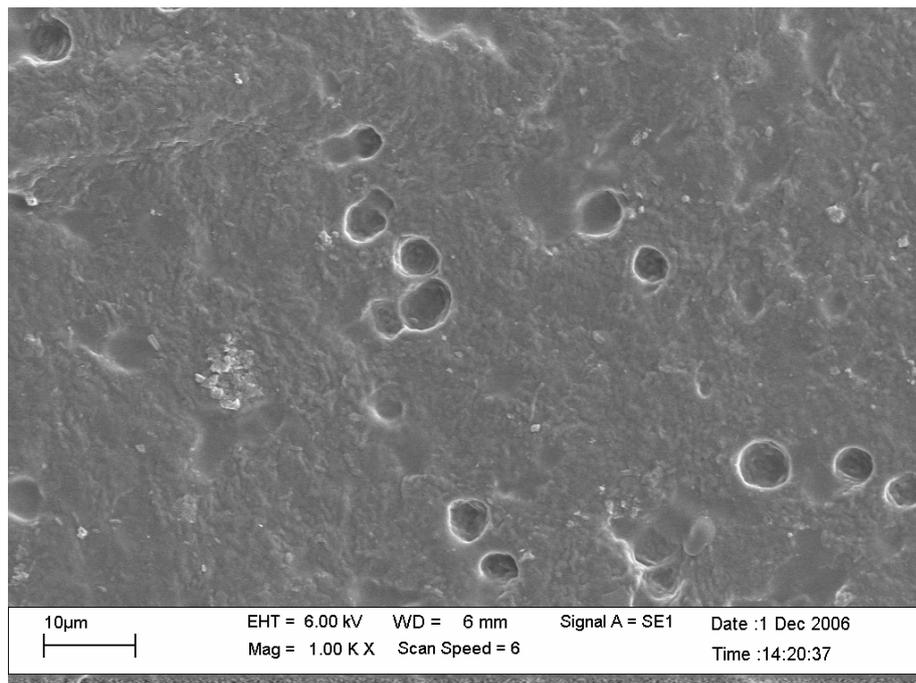
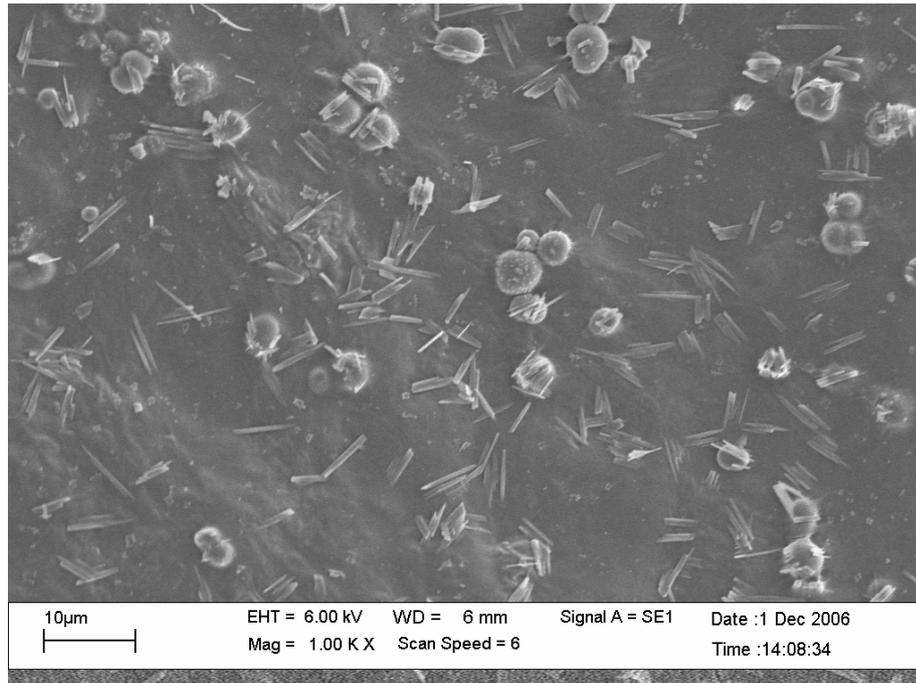
รูปที่ 4.35 ภาพจาก SEM แสดงการเปรียบเทียบพื้นผิวของฟิล์มไฮโดรเจล 3 % สารเมื่อสกัดเม็ดแมงลักสูตรมาตรฐานที่ไม่มีมอนอเมอร์ (B') ก่อนและหลังการสกัดด้วยน้ำและเมทานอล ณ อุณหภูมิขณะผสม 28-30 °C (กำลังขยาย 1000 เท่า)



รูปที่ 4.36 ภาพจาก SEM แสดงการเปรียบเทียบพื้นผิวของฟิล์มไฮโดรเจล 3 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลักสูตรมาตรฐาน (F') ก่อนและหลังการสกัดด้วยน้ำและเมทานอล ณ อุณหภูมิขณะผสม 28-30 °C (กำลังขยาย 1000 เท่า)



รูปที่ 4.37 ภาพจาก SEM แสดงการเปรียบเทียบพื้นผิวของฟิล์มไฮโดรเจล 3 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลักที่ลดปริมาณสารเชื่อมโยง (K') ก่อนและหลังการสกัดด้วยน้ำและเมทานอล ณ อุณหภูมิขณะผสม 28-30 °C (กำลังขยาย 1000 เท่า)



รูปที่ 4.38 ภาพจาก SEM แสดงการเปรียบเทียบพื้นผิวของฟิล์มไฮดรอกซีอะพาทิต 3 % สารเมื่อจากเม็ดแมงลักที่ลดตัวริเริ่มปฏิกิริยา (P') ก่อนและหลังการสกัดด้วยน้ำและเมทานอล ณ อุณหภูมิขณะผสม 28-30 °C (กำลังขยาย 1000 เท่า)

นำแผ่นฟิล์มไฮโดรเจลสูตรต่างๆที่เตรียมได้ก่อนและหลังการสกัดด้วยน้ำและเมทานอล มาตรวจวิเคราะห์ด้วย SEM ที่กำลังขยาย 1000 เท่า ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.33-4.36 ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.35 ลักษณะพื้นผิวของฟิล์มไฮโดรเจล 3 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลักไม่มีมอนอเมอร์ (B') จากรูปที่ 4.36 ลักษณะพื้นผิวของฟิล์มไฮโดรเจล 3 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลักสูตรมาตรฐาน (F') แสดงลักษณะพื้นผิวคล้ายรูปที่ 4.35 จากรูปที่ 4.37 ลักษณะพื้นผิวของฟิล์มไฮโดรเจล 3 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก ที่ลดปริมาณสารเชื่อมโยง (K') รูปด้านบนคือฟิล์มไฮโดรเจลก่อนการสกัดด้วยน้ำและเมทานอล จะเห็นว่าบริเวณพื้นผิวมีผลึกของตัวริเริ่มปฏิกิริยาเกาะอยู่เป็นจำนวนมาก และเมื่อนำฟิล์มไฮโดรเจลไปสกัดด้วยน้ำและเมทานอล ผลึกของตัวริเริ่มปฏิกิริยาหายไป พื้นผิวหลังการสกัดไม่เรียบ

สำหรับรูปที่ 4.38 ลักษณะพื้นผิวของฟิล์มไฮโดรเจล 3 % สารเมือกจากเมล็ดแมงลัก ที่ลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา (P') รูปด้านบนคือฟิล์มไฮโดรเจลก่อนการสกัดด้วยน้ำและเมทานอล จะเห็นว่าบริเวณพื้นผิวจะมีผลึกของสารเชื่อมโยงและอนุภาคทรงกลมเกาะอยู่ และเมื่อนำฟิล์มไฮโดรเจลไปสกัดด้วยน้ำและเมทานอล ผลึกของสารเชื่อมโยงหายไปและอนุภาคทรงกลมลดลง แสดงว่าในสภาวะนี้พันธะเชื่อมโยงเกิดขึ้นน้อย จึงปรากฏผลึกรูปเข็มของสารเชื่อมโยงบนแผ่นฟิล์มไฮโดรเจลก่อนสกัด สำหรับอนุภาคทรงกลมที่เห็นน่าจะเป็นพอลิเมอร์ที่เกิดขึ้นได้ดีภายใต้สภาวะนี้ ซึ่งพอลิเมอร์เหล่านี้จะถูกสกัดออก หากไม่เกิดการตอ้งบนสารเมือกจากเมล็ดแมงลักหรือเกิดการเชื่อมโยง ปริมาณสารเชื่อมโยงที่ใช้ในการเตรียมฟิล์มไฮโดรเจลที่ลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยามากเกินไป และอนุภาคทรงกลมอาจจะเป็นสารเมือกจากเมล็ดแมงลักหรือไฮโดรพอลิเมอร์ที่ไม่เกิดพันธะเชื่อมโยง การสกัดด้วยน้ำและเมทานอลอาจจะใช้เวลาไม่มากพอ