

ภาคผนวก

## ภาคผนวก ก

### สารเมือกจากเม็ดแมงลัก

จากการทดลองเตรียมผงสารเมือกจากเม็ดแมงลัก พบว่า เม็ดแมงลัก 100 กรัม ได้ผงสารเมือกจากเม็ดแมงลักแห้งประมาณ 15-17 %

เมื่อนำสารเมือกจากเม็ดแมงลักมาทดสอบกับสารละลายไอโอดีน พบว่า สารเมือกจากเม็ดแมงลักเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน แสดงว่า สารเมือกจากเม็ดแมงลักมีองค์ประกอบของแป้ง

### ฤทธิ์ทางชีวภาพและฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาของแมงลัก [3]

#### ฤทธิ์ลดการอักเสบ

นำสารสกัดเอทิลอะซิเตท เฮกเซน หรือเมทานอลจากใบ มาทาภายนอก ในขนาด 20 ไมโครกรัม/ตัว ให้กับหนูถีบจักรที่ถูกเหนี่ยวนำให้เกิดการอักเสบด้วย tetradecanoyl phorbol acetate พบว่าสารสกัดเหล่านี้มีฤทธิ์ต้านการอักเสบ การใช้น้ำมันจากเมล็ดทาภายนอก ขนาด 3 มิลลิตร/กิโลกรัม กับหนูขาวที่โตเต็มที่ พบว่ามีฤทธิ์ นอกจากนี้การทดลองทาน้ำมันจากเมล็ดนี้ ในขนาด 2 มิลลิตร/กิโลกรัม ให้กับหนูขาวที่โตเต็มที่ และถูกเหนี่ยวนำให้เกิดการอักเสบด้วย arachidonic acid พบว่ามีฤทธิ์ เมื่อเปลี่ยนมาใช้ในขนาด 3 มิลลิตร/กิโลกรัม กับหนูขาวที่ถูกเหนี่ยวนำให้เกิดการอักเสบด้วย histamine, serotonin, prostaglandin, hyaluronidase หรือ LTB4 methyl ester พบว่าส่วนของพืชดังกล่าวมีฤทธิ์ มีการศึกษาหาสารสำคัญที่มีฤทธิ์ต้านการอักเสบของสารสกัดจากใบสดและลำต้น ซึ่งพบสารสำคัญ 6 ชนิด คือ 1) cirsilinoleol, 2) cirsimaritin, 3) isothymusin, 4) isothymonin, 5) apigenin, 6) rosmarinic acid

นอกจากนี้ยังพบ eugenol ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักในน้ำมันหอมระเหย จากการทดสอบฤทธิ์ต้านการอักเสบของสารเหล่านี้ พบว่า eugenol ความเข้มข้น 100 ไมโครโมลาร์ มีฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ cyclooxygenase-1 (COX-1) ในขณะที่สารสำคัญ 1), 2), 4), 5), 6) ในขนาดเดียวกันนี้ มีฤทธิ์ยับยั้ง COX-1 37, 50, 37, 65, 58% ตามลำดับ และเมื่อทดสอบกับ COX-2 พบว่า eugenol และสารสำคัญ 1), 2), 5) และ 6) ขนาด 1,000 ไมโครโมลาร์ มีฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์นี้ได้ดี ซึ่งในการทดลองนี้ ทำการทดสอบสารสำคัญทั้ง 6 ชนิด เทียบกับ ibuprofen 10 ไมโครโมลาร์, naproxen 10 ไมโครโมลาร์ และ aspirin 1,000 ไมโครโมลาร์ ซึ่งจากการทดลองในครั้งนี้เป็นการยืนยันว่าสารสกัดจากแมงลักมีฤทธิ์ต้านการอักเสบจริง การศึกษาน้ำมันไม่ระเหย (fixed oil) และ linolenic acid ซึ่งมีฤทธิ์ต้านการอักเสบ ในสัตว์ทดลองที่ถูกเหนี่ยวนำให้เกิดการอักเสบด้วย carrageenan, PGE2, leukotriene และ arachidonic acid พบว่าน้ำมันไม่ระเหยที่มี linolenic acid เป็นส่วนประกอบสูงสุด

จะให้ผลด้านการอักเสบสูงและกลไกด้านการอักเสบเกิดจากการยับยั้ง COX และ lipooxygenase ซึ่ง เป็นเอนไซม์ที่ทำให้เกิดสารก่อการอักเสบ โดยเชื่อว่า linolenic acid เป็นสารสำคัญในน้ำมันไม่ ระเหยที่มีฤทธิ์ด้านการอักเสบ โดยกลไกดังกล่าว จากการวิเคราะห์น้ำมันแมงลัก โดยวิธี Gas liquid chromatography พบกรดไขมัน 5 ชนิด คือ stearic, palmitic, oleic, linoleic และ linolenic acids และ จากการทดสอบฤทธิ์ด้านการอักเสบของหนูขาวและหนูถีบจักรที่ถูกเหนี่ยวนำให้เกิดการอักเสบ ด้วย carrageenan และ acetic acid พบว่า triglyceride ที่แยกออกมา มีฤทธิ์ด้านการอักเสบสูงกว่า น้ำมัน ดังนั้นฤทธิ์ด้านการอักเสบในน้ำมันแมงลัก น่าจะเกิดจาก triglyceride และกรดไขมัน

### ฤทธิ์ด้านการเกิดแผล

เมื่อนิคน้ำสกัดจากส่วนเหนือดินแห้ง ขนาด 4 กรัม/กิโลกรัม เข้าทางกระเพาะอาหารหนู ขาว พบว่าสารสกัดดังกล่าวมีฤทธิ์ และสารสกัดนี้จากใบแห้งในขนาดเดิม ยังมีฤทธิ์ด้านการเกิดแผล ที่เกิดจากการเหนี่ยวนำด้วย aspirin ในหนูขาวอีกด้วย แต่มีฤทธิ์อ่อนต่อแผลที่เกิดจาก acetic acid และเมื่อนิคน้ำมันหอมระเหยจากส่วนเหนือดินแห้ง ขนาด 4 กรัม/กิโลกรัม เข้าทางกระเพาะอาหาร หนูขาว พบว่าส่วนของพืชดังกล่าวมีฤทธิ์ และเมื่อทดลองฉีดส่วนสกัดของน้ำมันจากเมล็ดขนาด 1 มิลลิตร/กิโลกรัม เข้าทางช่องท้องหนูตะเภาที่โตเต็มที่ และถูกเหนี่ยวนำให้เกิดแผลด้วย histamine พบว่าส่วนของพืชดังกล่าวมีฤทธิ์เช่นกัน เมื่อทดลองฉีดน้ำมันจากเมล็ดขนาด 1 มิลลิตร/กิโลกรัม เข้าทางช่องท้องหนูตะเภาที่โตเต็มที่และถูกเหนี่ยวนำให้เกิดแผลด้วย aspirin, indomethacin, HCl/ethanol, serotonin, stress หรือ reserpine พบว่าส่วนของพืชดังกล่าวมีฤทธิ์ด้านการเกิดแผล กลไกการรักษาแผลในกระเพาะอาหารน่าจะเกิดจากการยับยั้งเอนไซม์ lipooxygenase, histamine antagonist และยับยั้งการหลั่งกรดในกระเพาะอาหาร ดังนั้นกระบวนการรักษาแผลในกระเพาะ อาหารของน้ำมันจากเมล็ดแมงลัก มีทั้งการด้านการอักเสบและด้านการเกิดแผล เมื่อทดลองฉีดสาร สกัดเมทานอลจากส่วนเหนือดินแห้ง ขนาด 4 กรัม/กิโลกรัม เข้าทางกระเพาะอาหารหนูขาว พบว่า สารสกัดดังกล่าวมีฤทธิ์ และเมื่อทดสอบสารสกัดนี้กับหนูขาวที่เกิดแผลด้วย aspirin ก็พบว่าให้ผล เช่นเดียวกัน และเมื่อเปลี่ยนมาใช้สารสกัดนี้จากใบแห้ง ขนาดเท่าเดิม ก็พบว่าให้ผลเหมือนกัน มี การศึกษาฤทธิ์ด้านการเกิดแผลของแมงลักโดยใช้ส่วนเหนือดินผง น้ำสกัด และสารสกัดเมทานอล ของส่วนเหนือดิน ทำการศึกษาเปรียบเทียบกับ cimetidine ซึ่งเป็นยารักษาโรคกระเพาะ ผลการ ทดสอบพบว่าส่วนของพืชและสารสกัดจากแมงลักดังกล่าวมีฤทธิ์ด้านการเกิดแผล โดยสารสกัดเม ทานอลมีผลการหลั่งกรด ดังนั้นกลไกการรักษาแผลของแมงลักน่าจะเกิดจากการลดการหลั่งกรด และ pepsin รวมทั้งเพิ่มความแข็งแรงในชั้น mucosal ในกระเพาะอาหาร

### ฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรีย

มีการทดสอบน้ำมันหอมระเหยและสารสกัดจากส่วนต่างๆ ของแมงลักกับ *S. aureus* ในงานเพาะเชื้อหลายการทดลอง สรุปได้ดังนี้ การทดสอบน้ำมันหอมระเหยจากแมงลัก (ไม่เจือจาง) หรือน้ำมันหอมระเหยจากส่วนเหนือดิน พบว่ามีฤทธิ์ แต่ถ้าใช้น้ำมันหอมระเหยจากใบมาทดสอบกลับไม่มีฤทธิ์ และอีกการทดลองหนึ่งใช้น้ำมันหอมระเหยจากใบเช่นกัน โดยมีค่า MIC เท่ากับ 1,250 ไมโครกรัม/มิลลิตร พบว่าไม่มีฤทธิ์ ส่วนอีกการทดลองหนึ่งเมื่อทดสอบน้ำมันหอมระเหย (ไม่ระบุส่วนของพืช) กับเชื้อดังกล่าว โดยมีค่า MIC เท่ากับ 10 มิลลิกรัม/มิลลิตร กลับให้ฤทธิ์อ่อนๆ นอกจากนี้มีการทดสอบน้ำมันหอมระเหย (ไม่เจือจาง) กับเชื้อแบคทีเรีย แกรมบวกหลายชนิด พบว่ามีฤทธิ์ การทดสอบสารสกัดคลอโรฟอร์มจากทั้งต้นแมงลักแห้ง โดยมีค่า MIC เท่ากับ 450.4 กรัม/ลิตร พบว่ามีฤทธิ์ และเมื่อทดลองใช้สารสกัดดังกล่าวความเข้มข้น 1 กรัม/มิลลิตร ก็พบว่าให้ผลเช่นเดียวกัน การทดสอบสารสกัดเมทานอลจากทั้งต้นแห้งความเข้มข้น 1 กรัม/ลิตร หรือ 0.6 มิลลิกรัม/มิลลิตร พบว่าไม่มีฤทธิ์ แต่ถ้าใช้สารสกัดนี้ที่ความเข้มข้น 1 กรัม/มิลลิตร พบว่ามีฤทธิ์ การทดสอบน้ำสกัดจากทั้งต้นสด ความเข้มข้น 0.3 มิลลิกรัม/หลุม หรือการทดสอบน้ำต้มจากใบแห้ง ความเข้มข้น 62.5 มิลลิกรัม/มิลลิตร พบว่าสารสกัดทั้ง 2 แบบ ไม่มีฤทธิ์ นอกจากนี้มีการทดสอบสารสกัดอะซีโตน เอ-ทานอล (95%) หรือ เฮกเซนจากใบแห้ง ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัม/แผ่น พบว่าสารสกัดดังกล่าวมีฤทธิ์ต้าน *Streptococcus pyogenes* ซึ่งเป็นเชื้อแบคทีเรียอีกชนิดหนึ่งที่ก่อให้เกิดโรคทางผิวหนัง

### หลักฐานความเป็นพิษ และการทดสอบความเป็นพิษ [3]

#### การทดสอบความเป็นพิษ

เมื่อนิดสารสกัดเมทานอล (80%) จากส่วนเหนือดินสด ขนาด 2 กรัม/กิโลกรัม เข้าทางกระเพาะอาหารของหนูถีบจักร หรือฉีดพองจากส่วนเหนือดินแห้ง ขนาด 6 กรัม/กิโลกรัม เข้าทางกระเพาะอาหารหนูขาว พบว่าสารสกัดและส่วนของพืชที่ใช้ทดสอบไม่มีพิษต่อสัตว์ทดลอง มีการศึกษาพิษแบบแบบพลัน (acute toxicity test) ของแมงลักในหนูถีบจักรและหนูขาว โดยป้อนเมล็ดแมงลักขนาด 300, 500 และ 1,000 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ครั้งเดียว ผลปรากฏว่าไม่มีสัตว์ทดลองตายใน 24 ชม. และ 1 สัปดาห์ ส่วนการศึกษาพิษแบบชั้วระยะเวลาหนึ่ง (subchronic toxicity test) และพิษแบบติดต่อกันระยะยาว (chronic toxicity test) ทำการทดสอบโดยให้เมล็ดแมงลักขนาดเท่าเดิม วันละครั้ง นาน 1 ปี พบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงใดๆ เกิดขึ้นกับสัตว์ทดลอง เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ได้รับ Metamucilâ และกลุ่มควบคุม อีกการทดลองหนึ่งมีการศึกษาความเป็นพิษของเมล็ดแมงลักในสัตว์ทดลอง การศึกษาแบบพิษเฉียบพลัน (acute toxicity test) หาค่า LD50 โดยใช้แมงลักขนาด 0.25, 0.5, 1 และ 2 กรัม/กิโลกรัม ละลายให้พองตัวในน้ำ ป้อนให้กับหนูขาวทั้ง 2 เพศ กลุ่มละ 6 ตัว พบว่าไม่มีสัตว์ทดลองตายเลยภายใน 24 ชม. และรอจนถึง 7 วัน จึงเพิ่มขนาดเป็น 5 กรัม/

กิโลกรัม ซึ่งถือว่าเป็นขนาดที่สูงสุดในพิกัดการทดสอบ ผลปรากฏว่าไม่มีสัตว์ทดลองตายใน 24 ชม. และ 7 วัน การศึกษาแบบติดต่อกันช่วงระยะหนึ่ง (subchronic toxicity test) ใช้แมงลักขนาด 1 กรัม/กิโลกรัม ติดต่อกันเป็นเวลา 10 วัน สัตว์ทดลองที่ใช้ทดสอบทั้งตัวผู้และตัวเมีย ได้แก่ กระจ่าง กลุ่มละ 5 ตัว หนูขาวกลุ่มละ 6 ตัว และแมวกลุ่มละ 3 ตัว สังเกตอาการทั่วไป ปรากฏว่าสัตว์ทดลองทุกตัวอยู่ในสภาพปกติ และแบบติดต่อกันระยะยาว (chronic toxicity test) ใช้แมงลักขนาด 0.25, 0.5, 1 และ 2 กรัม/กิโลกรัม ป้อนแก่หนูขาวตัวผู้และตัวเมียกลุ่มละ 6 ตัว ป้อนติดต่อกันเป็นเวลา 12 สัปดาห์ จากการตรวจพยาธิสภาพชิ้นเนื้อเยื่อของตับ ลำไส้เล็ก และลำไส้ใหญ่ ไม่พบความผิดปกติ เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม เมื่อให้สารสกัดด้วยเอทานอลต่อน้ำ (1:1) จากส่วนใบเข้าทางกระเพาะอาหารของหนูถีบจักรพบว่า มีค่า LD50 956.5 มิลลิกรัม/กิโลกรัม

### พิษต่อเซลล์

เมื่อทดสอบสารสกัดเอทานอล (70%) จากใบแห้ง หรือจากส่วนเหนือดินแห้งกับ cells-MT-4 โดยมีค่า IC50 มากกว่า 1,000 ไมโครกรัม/มิลลิตร พบว่าไม่มีฤทธิ์ การทดสอบสารสกัดเมทานอลจากใบสดกับ Macrophage cell line raw 264.7 โดยใช้สารสกัดความเข้มข้น 200 ไมโครกรัม/มิลลิตร หรือเมื่อใช้สารสกัดนี้ทดสอบกับ cells-Raji โดยใช้สารสกัดความเข้มข้น 20 ไมโครกรัม/มิลลิตร พบว่าสารสกัดดังกล่าวไม่มีผลต่อเซลล์ทั้ง 2 ชนิด ส่วนการทดสอบน้ำสกัดจากใบแห้ง ซึ่งมี IC50 เท่ากับ 125 ไมโครกรัม/มิลลิตร หรือสารสกัดนี้จากส่วนเหนือดินแห้ง ซึ่งมี IC50 กับ cells-MT-4 พบว่าผลการทดสอบไม่แน่นอนทั้ง 2 แบบ นอกจากนี้การใช้สารสกัดเอทิลอะซิเตทจากส่วนเหนือดิน ซึ่งมี IC50 เท่ากับ 100 ไมโครกรัม/มิลลิตร กับ Hela-S 3 cells ก็ให้ผลการทดสอบไม่แน่นอนเช่นเดียวกัน

### ฤทธิ์ก่อกลายพันธุ์

มีการทดสอบสารสกัดคลอโรฟอร์ม : เมทานอล (2:1) จากส่วนเหนือดิน โดยใช้ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/จานเพาะเชื้อ กับ Salmonella typhimurium TA98 และ TA100 ในจานเพาะเชื้อ พบว่าสารสกัดนี้ไม่มีฤทธิ์ และเมื่อเปลี่ยนมาใช้สารสกัดเมทานอล (80%) จากส่วนเหนือดินสดกับ S. typhimurium TM677 ในจานเพาะเชื้อ พบว่าไม่มีฤทธิ์เช่นกัน เมื่อทดสอบน้ำสกัดจากส่วนเหนือดิน ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/จานเพาะเชื้อ กับ cells-Pig-Kidney-LLC-PK-1 และ cells-trophoblastic-placenta ในจานเพาะเชื้อ พบว่าสารสกัดนี้ไม่มีผลต่อเซลล์ดังกล่าว นอกจากนี้เมื่อใช้น้ำสกัดจากใบสด หรือการใช้น้ำต้มจากใบสด ความเข้มข้น 0.5 มิลลิตร/แผ่น ทดสอบกับ Bacillus subtilis (Rec+) และ H-45 (Rec-) พบว่าสารสกัดดังกล่าวไม่มีฤทธิ์ และเมื่อเปลี่ยนมาใช้น้ำคั้นจากใบสด ทดสอบกับเซลล์ดังกล่าวโดยใช้ความเข้มข้นต่างๆกันพบว่าให้ผลการทดสอบเช่นเดิม

### พิษต่อการตั้งครรภ์

เมื่อนิโคตาสกัดเอทานอล (100%) จากใบแห้ง ขนาด 200 มิลลิกรัม/กิโลกรัม เข้าทางกระเพาะอาหารหนูขาวท้อง พบว่าสารสกัดดังกล่าวไม่มีฤทธิ์ทำให้แท้ง และเมื่อนิโคตาสกัดนี้ในขนาดเท่าเดิม เข้าทางกระเพาะอาหารหนูขาวเพศเมีย พบว่าสารสกัดนี้ไม่มีฤทธิ์ด้านการฝังตัวของตัวอ่อน นอกจากนี้มีการทดลองให้สารสกัดเอทานอล (50%) และสารสกัดปิโตรเลียมอีเทอร์จากใบแห้ง โดยใช้ความเข้มข้น 150 และ 100 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ ทางกระเพาะอาหารหนูขาวที่ท้อง พบว่าสารสกัดทั้ง 2 ชนิดไม่มีพิษต่อตัวอ่อน จากผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าทั้งน้ำมันจากเมล็ดและส่วนที่อยู่เหนือดินของแมงลักมีฤทธิ์ด้านการอักเสบ การเกิดแผล และฆ่าเชื้อ อย่างไรก็ตามควรมีการศึกษาเพิ่มเติม และทดลองพัฒนาผลิตภัณฑ์และทดลองทางคลินิกก่อนส่งเสริมการใช้

### การปฐมพยาบาลเมื่อสัมผัสสารเคมี [7]

หายใจเข้าไป : ถ้าหายใจเข้าไปให้เคลื่อนย้ายผู้ป่วยออกสู่บริเวณที่มีอากาศบริสุทธิ์ทันที ถ้าผู้ป่วยหยุดหายใจให้ช่วยผายปอด ถ้าหายใจติดขัดให้ออกซิเจนช่วย นำไปพบแพทย์ทันที

กินหรือกลืนเข้าไป : อย่ากระตุ้นให้เกิดอาการอาเจียน ถ้าผู้ป่วยยังมีสติอยู่ให้บ้วนปากด้วยน้ำ ให้ดื่มน้ำ 2-4 แก้ว นำไปพบแพทย์ทันที

สัมผัสผิวหนัง : ถ้าสัมผัสผิวหนัง ให้ฉีดล้างผิวหนังทันทีด้วยน้ำหรือสบู่ปริมาณมากอย่างน้อย 15 นาที พร้อมกับถอดเสื้อผ้าและรองเท้าที่เปื้อนออก นำไปพบแพทย์

สัมผัสลูกตา : ถ้าสัมผัสลูกตา ให้ฉีดล้างตาทันทีด้วยน้ำปริมาณมากอย่างน้อย 15 นาที กระพริบตาขึ้นลง นำไปพบแพทย์ทันที

ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Environmental Impacts)

ไม่ก่อให้เกิดผลต่อระบบนิเวศน์ หากมีการใช้และจัดการกับผลิตภัณฑ์อย่างเหมาะสม

### TGA [26]

วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักสารเมื่อสารตัวอย่างได้รับความร้อนสูงและเกิดการสลายตัว เครื่อง TGA มีประโยชน์ต่อการวิเคราะห์ทั้งเชิงคุณภาพและปริมาณวิเคราะห์ ระบบเครื่องซึ่งภายในเครื่องมือมีความละเอียดในการวิเคราะห์สูงถึง 0.1 ไมโครกรัม มีความถูกต้องของน้ำมากกว่า 0.1 % ความแม่นยำของอุณหภูมิ  $\pm 5$  องศาเซลเซียส แหล่งให้ความร้อนเป็นระบบเตาเผาสามารถควบคุมอุณหภูมิได้ตั้งแต่ 50-500 องศาเซลเซียส มีอัตราการเพื่อลดอุณหภูมิ 0.1-200 องศาเซลเซียส ต่อนาที มีระบบทำให้เตาเผาเย็นอย่างรวดเร็ว โดยใช้อากาศระบบการทำงานและการประมวลผลถูกควบคุมโดยระบบคอมพิวเตอร์

การวิเคราะห์เช่น

การวิเคราะห์เชิงคุณภาพ เช่น พอลิเมอร์ ยาง และตัวอย่างทางวัสดุศาสตร์ เช่น เซรามิกส์  
 การวิเคราะห์เชิงปริมาณ เช่น การหาปริมาณของตัวทำละลาย ความชื้น สารเติมแต่ง  
 คาร์บอนแบล็ก พลาสติกไซค์เซอร์

การศึกษาความเสถียรภาพทางความร้อนของตัวอย่าง เช่น พอลิเมอร์ ยาง ซึ่งวิเคราะห์  
 ตัวอย่างได้ ทั้งสถานะของแข็ง ของเหลว ผง แผ่นฟิล์ม และเส้นใย

## การประยุกต์อินฟราเรดสเปกโทรเมตรี FTIR [26]

สเปกตรัมช่วงไกลอินฟราเรดใช้วิเคราะห์ตัวอย่างอนินทรีย์ การดูดกลืนรังสีเกิดจากพันธะ  
 ระหว่างอะตอมโลหะ (อนินทรีย์) กับลิแกนด์อินทรีย์ เกิดที่ความถี่ต่ำกว่า 650 ต่อเซนติเมตร เช่น  
 โลหะหนักไอโอไดด์ดูดกลืนรังสีช่วงต่ำกว่า 100 ต่อเซนติเมตร โลหะหนักโบรไมด์และคลอไรด์  
 ดูดกลืนรังสีช่วงความถี่สูงกว่าโลหะไอโอไดด์ความถี่ดูดกลืนขึ้นกับโลหะและลิแกนด์

สเปกตรัมช่วงไกลอินฟราเรดของตัวอย่างของแข็งอนินทรีย์ให้ข้อมูลเกี่ยวกับพลังงาน  
 แลตทิซและพลังงานทรานซิชันของวัสดุกึ่งตัวนำ

โมเลกุลของอะตอมเบามีการสั่นแบบงอ ดูดกลืนรังสีช่วงไกลอินฟราเรด เช่น อนุพันธ์ของ  
 เบนซีนให้พีกการดูดกลืนช่วงไกลอินฟราเรดหลายพีก สเปกตราที่ได้ค่อนข้างจำเพาะ ใช้ชี้ชนิดของ  
 สารประกอบ

การดูดกลืนรังสีช่วงไกลอินฟราเรดโดยตัวอย่างของแข็งอนินทรีย์เกิดจากการสั่นแบบยืด  
 และงอ ตัวอย่างก๊าซเกิดการหมุน โมเลกุลก๊าซมีค่าโมเมนต์ขั้วคู่ถาวร เช่น น้ำไอโซน กรดไฮโดร  
 คลอริก การวิเคราะห์ตัวอย่างที่มีความชื้นมักวิเคราะห์ภายใต้ความดันต่ำ เนื่องจากพิกน้าอาจจะไป  
 รบกวนการวิเคราะห์ได้ FTIR นิยมใช้ศึกษาสเปกตรัมช่วงไกลอินฟราเรดเพราะให้สเปกตราที่มี  
 สัญญาณต่อการรบกวนสูง เครื่องมือแบบกระจายความยาวคลื่น เช่น เกรตติงสะท้อนแยกความ  
 ยาวคลื่นมักมีปัญหาจากรังสีอันดับอื่นรบกวน และสัญญาณต่อการรบกวนมีค่าไม่มาก

อินฟราเรดสเปกโทรเมตรีใช้วิเคราะห์ได้ทั้งเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ โมเลกุลทุกชนิด  
 การประยุกต์อินฟราเรดสเปกโทรเมตรีมีหลายช่วงคือ ช่วงใกล้ กลาง และไกล ช่วงที่นิยมมากที่สุด  
 คือช่วงกลางจาก 670-4000 ต่อเซนติเมตร ช่วงนี้ใช้วิเคราะห์ทั้งเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณโดย  
 ศึกษาสเปกตรา การดูดกลืน การสะท้อนและการเปล่ง ช่วงใกล้อินฟราเรด 4000-14000 ต่อ  
 เซนติเมตร ที่ 4000 ต่อเซนติเมตร ใช้วิเคราะห์ปริมาณเช่น น้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ ซัลเฟอร์  
 ไฮโดรคาร์บอนโมเลกุลต่ำ เอมีน ไนโตรเจน และสารประกอบที่ไม่ยุ่งยากในตัวอย่างทางการเกษตร  
 และอุตสาหกรรม การวิเคราะห์ตัวอย่างเหล่านี้ใช้หลักการสะท้อนดิฟฟิวส์ในตัวอย่างของแข็งและ  
 ของเหลว ส่วนแก๊สใช้หลักการส่งผ่าน ช่วงไกลอินฟราเรดใช้หาโครงสร้างของสารอนินทรีย์และ  
 โลหะอินทรีย์โดยหลักการดูดกลืนต่อไปจะกล่าวถึงช่วง

## Scanning Electron Microscopy [26]

เทคนิคอิเล็กตรอนไมโครสโคปเชิงแสงใช้ศึกษาสมบัติเชิงกายภาพที่ผิวของของแข็งในสาขาวิชาเคมี วัสดุศาสตร์ ธรณีวิทยา ชีวะวิทยา การแยกไมโครสโคปเชิงแสงถูกจำกัดจากผลของการเลี้ยวเบนจากอนุภาคที่มีขนาดพอๆกับความยาวคลื่นแสง การใช้เครื่องที่มีการแยกดี หาข้อมูลที่ผิวมีสามเทคนิค Scanning Electron Microscope (SEM) Scanning Tunneling Microscope (STM) และ Atomic Force Microscope (AFM) เทคนิค STM และ AFM อาจจัดเป็นสแกนนิ่งโพรบไมโครสโคป (SPM)

การใช้ลำอิเล็กตรอนที่ถูกโฟกัสให้มีขนาดเล็กหรือใช้โพรบที่เหมาะสมชนผิวตัวอย่างของแข็งแบบ raster การสแกนบริเวณผิวของแข็งคล้ายกับการใช้หลอดรังสีแคโทดหรือหลอดภาพทีวี โดยใช้ลำอิเล็กตรอนทำการ

1. สแกนคร่อมผิวตามแนวแกน X เป็นแบบเส้นตรง
2. สแกนกลับมาที่จุดเริ่มต้น สแกนลงไปตามแนวแกน Y (เพิ่มระยะตามความเหมาะสม) ดำเนินการตามกระบวนการนี้ซ้ำๆกันจนครบพื้นที่ผิวที่ต้องการสแกน สัญญาณที่ออกจากสารตัวอย่างถูกวัดตามแกน Z เก็บข้อมูลนี้ด้วยเครื่องประมวลผล และส่งผลออกทางจอภาพ

### Scanning Electron Microprobe (SEM)

เครื่องอิเล็กตรอนไมโครโพรบแบบสแกนได้ ใช้ลำอิเล็กตรอนที่มีพลังงานที่เหมาะสม สแกนผิวตัวอย่างของแข็งตามแนวเส้นตรง ผิวของตัวอย่างให้สัญญาณหลายแบบอิเล็กตรอนถูกกระเจิงกลับ (electron backscattered) อิเล็กตรอนชุดที่สอง (secondary electron) โอ-เจห์อิเล็กตรอน (Auger electron) รังสีเอ็กซ์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-ray fluorescence) และโฟตอนชนิดอื่นซึ่งมีพลังงานต่างๆ สัญญาณที่นิยมใช้วิเคราะห์มีสองแบบ

1. อิเล็กตรอนกระเจิงกลับและอิเล็กตรอนชุดที่สอง ซึ่งเป็นหลักการพื้นฐานของอิเล็กตรอนไมโครสโคปแบบสแกน
2. การวิเคราะห์อิเล็กตรอนไมโครโพรบใช้เทคนิคการแปลงรังสีเอ็กซ์

### อิเล็กตรอนออปติก (Electron Optics)

ระบบเลนส์รวมแสงและเลนส์ใกล้วัตถุเป็นแบบแม่เหล็ก ทำหน้าที่ลดขนาดของภาพ (ลำอิเล็กตรอน) ที่ชนผิวตัวอย่างให้เป็นจุด (ขนาด 5-200 นาโนเมตร) ระบบเลนส์ที่ใช้รวมแสงมีหลายอัน เลนส์เหล่านี้ทำหน้าที่ปรับปริมาณลำอิเล็กตรอนก่อนเข้าสู่เลนส์ใกล้วัตถุ เลนส์ใกล้วัตถุทำหน้าที่ปรับขนาดลำอิเล็กตรอนที่ชนผิวตัวอย่าง เลนส์มักทำเป็นรูปทรงกระบอกชนิดสมมาตรสูง 10-15 เซนติเมตร รายละเอียดเลนส์แม่เหล็กจะไม่นำมาอธิบาย

การสแกนด้วย SEM จะมีขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้าสองคู่อยู่ภายในเลนส์ตัวตลับหนึ่งเบนลำในทิศทาง X คร่อมผิวสารตัวอย่าง อีกคู่หนึ่งเบนลำในทิศทาง Y การควบคุมการสแกนทำโดยให้สัญญาณไฟฟ้ากับขดลวดคู่หนึ่งที่ทำหน้าที่สแกนเพื่อให้อิเล็กตรอนชนตัวอย่างทางด้านหนึ่งของแกนกลางของระบบเลนส์ การแปรสัญญาณไฟฟ้าที่ใส่ให้ขดลวด X เทียบกับเวลาทำให้ลำอิเล็กตรอนเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงตัดผิวสารตัวอย่างและกลับสู่ตำแหน่งเดิม เมื่อทำการสแกนเสร็จ ขดลวด Y ทำหน้าที่เบนลำอิเล็กตรอนเพียงเล็กน้อย จากนั้นใช้ขดลวด X เบนลำอิเล็กตรอนซ้ำ จากการให้ลำอิเล็กตรอนเคลื่อนที่อย่างรวดเร็ว ผิวสารตัวอย่างจะถูกอาบด้วยลำอิเล็กตรอน สัญญาณที่ให้กับขดลวดที่ใช้สแกนเป็นได้ทั้งแอนาล็อกและดิจิตอล สัญญาณแบบดิจิตอลดีกว่าเพราะลำอิเล็กตรอนเคลื่อนที่สม่ำเสมอและให้ตำแหน่งถูกต้องสัญญาณที่ได้จากสารตัวอย่างจะถูกเก็บเป็นรหัสและเก็บเป็นแบบดิจิตอลตามตำแหน่งลำอิเล็กตรอนที่ไปตามแกน X และ Y

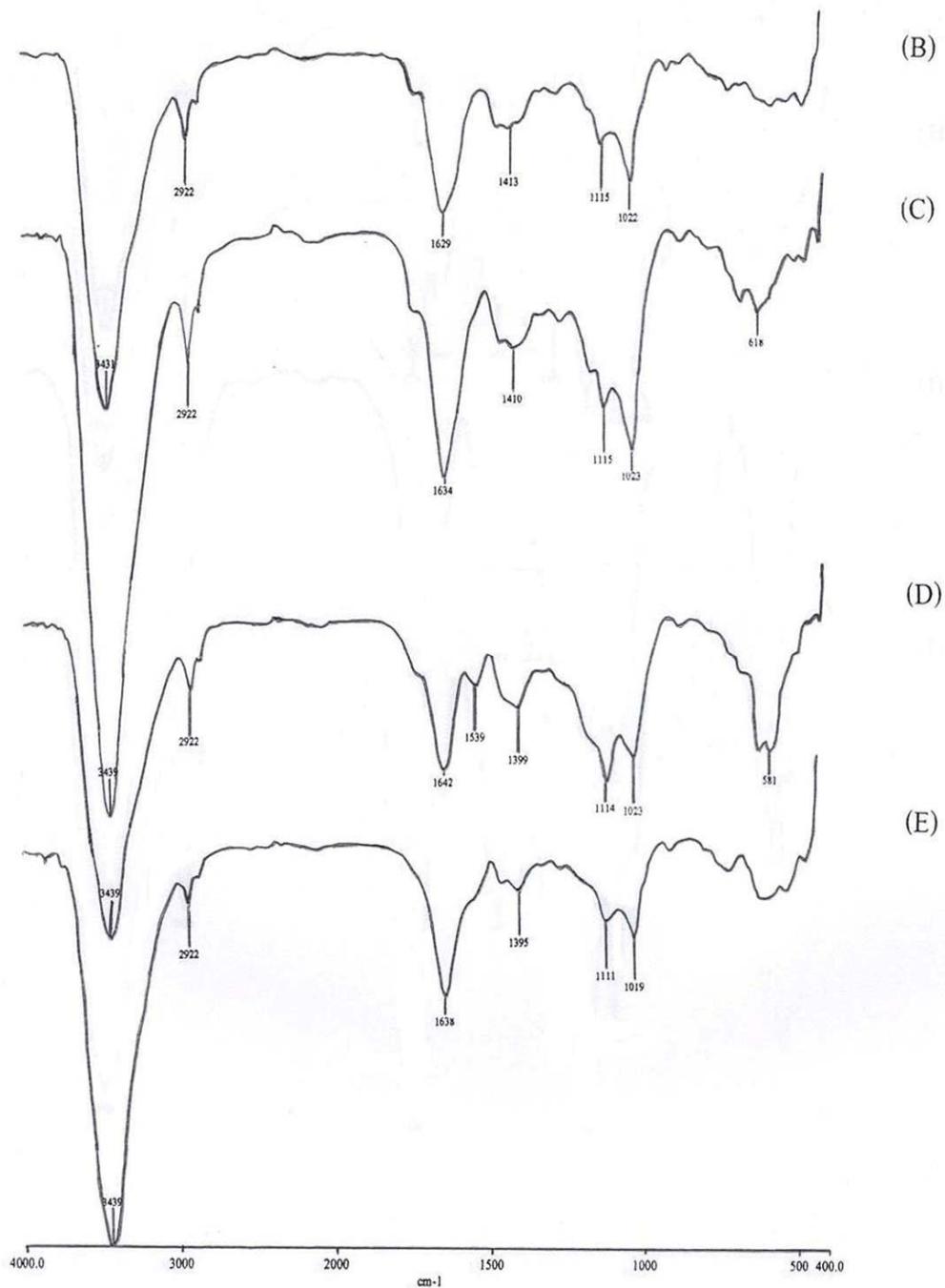
สัญญาณที่ใช้ขับเคลื่อนลำอิเล็กตรอนตามแกน X และ Y ยังใช้ในการสแกนหลอดรังสีแคโทด (cathode ray tube CRT) ตามแนวแกนราบและแกนตั้ง ภาพสารตัวอย่างที่ได้จากกำลังส่งของเครื่องตรวจหาจะคุมความเข้มของจุดบนจอ CRT การสแกนเช่นนี้ได้เป็นโครงร่างของสารตัวอย่าง โดยที่ความสัมพันธ์ของสัญญาณที่ได้จากผิวสารตัวอย่าง ณ ตำแหน่งหนึ่งจะสัมพันธ์กับจุดบนจอ CRT กำลังขยายภาพ (M) จาก SEM คือ

$$M = W/w$$

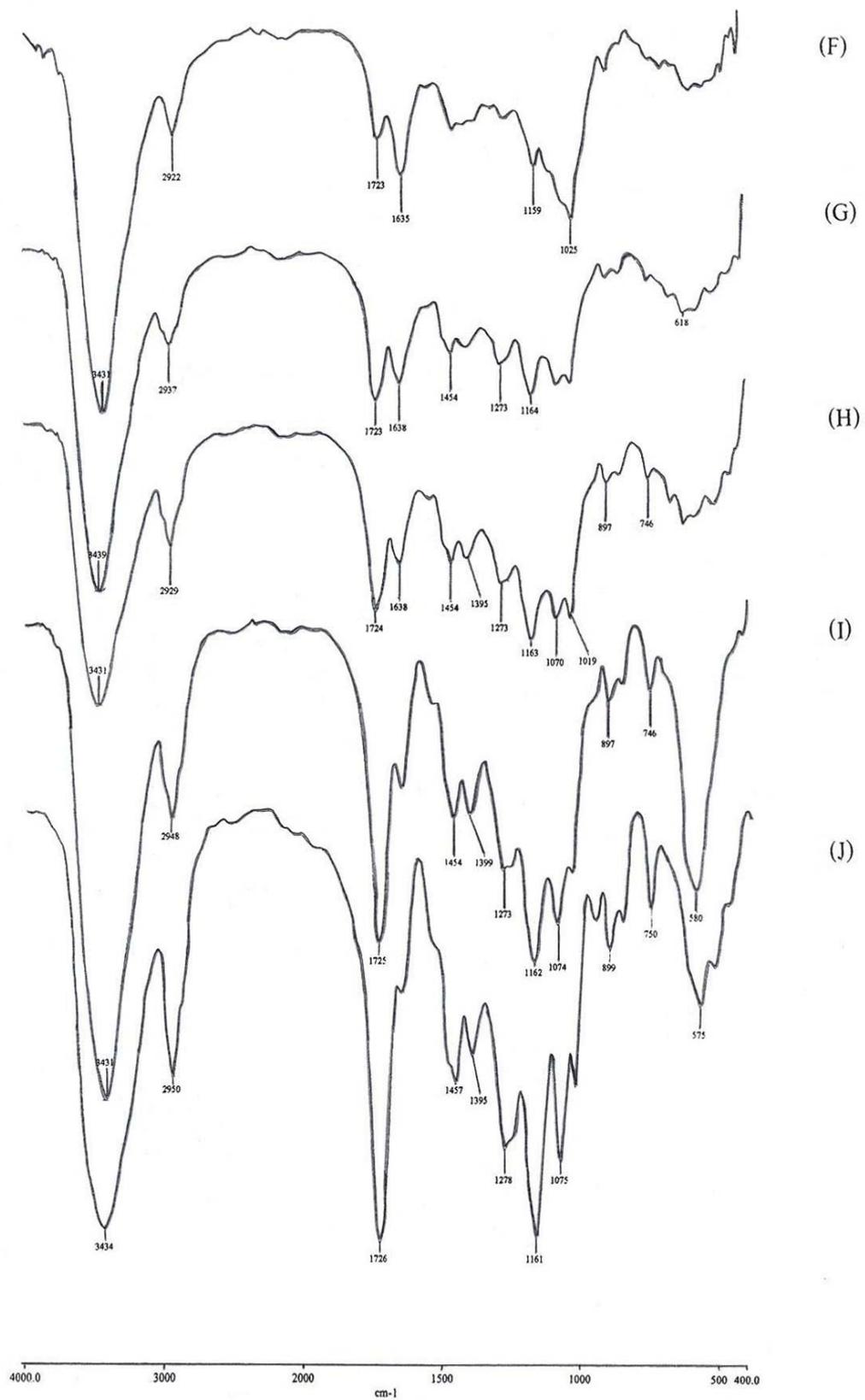
W ความกว้างของจอ CRT w ความกว้างของเส้นเดี่ยวที่สแกนขวางสารตัวอย่าง การเพิ่มกำลังการขยายทำโดยลด w เพราะ W มีค่าคงที่ ความสัมพันธ์ของกำลังขยายแปรผกผันกับความกว้างเส้นที่ใช้สแกน ลำอิเล็กตรอนที่ใช้จึงต้องโฟกัสให้เป็นจุดเล็กๆ ถ้าได้ลำอิเล็กตรอนจุดเล็กมากเท่าไร กำลังขยายจะเพิ่มขึ้น กำลังขยายของ SEM อยู่ในช่วง 10 เท่าถึง 100,000 เท่า

## ภาคผนวก ข

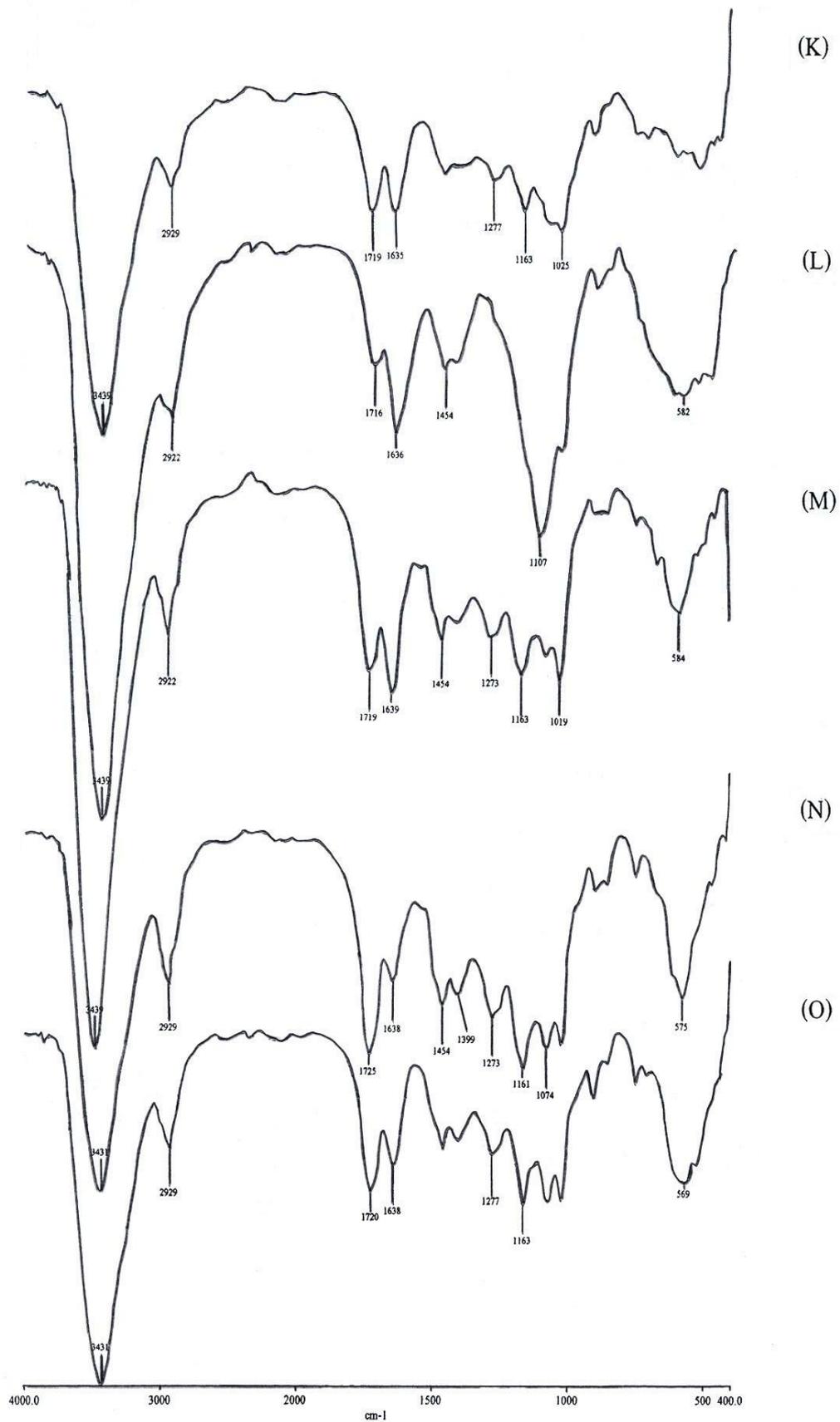
IR spectra ของฟิล์มไฮโดรเจลก่อนผ่านการสกัดด้วยน้ำและเมทานอล



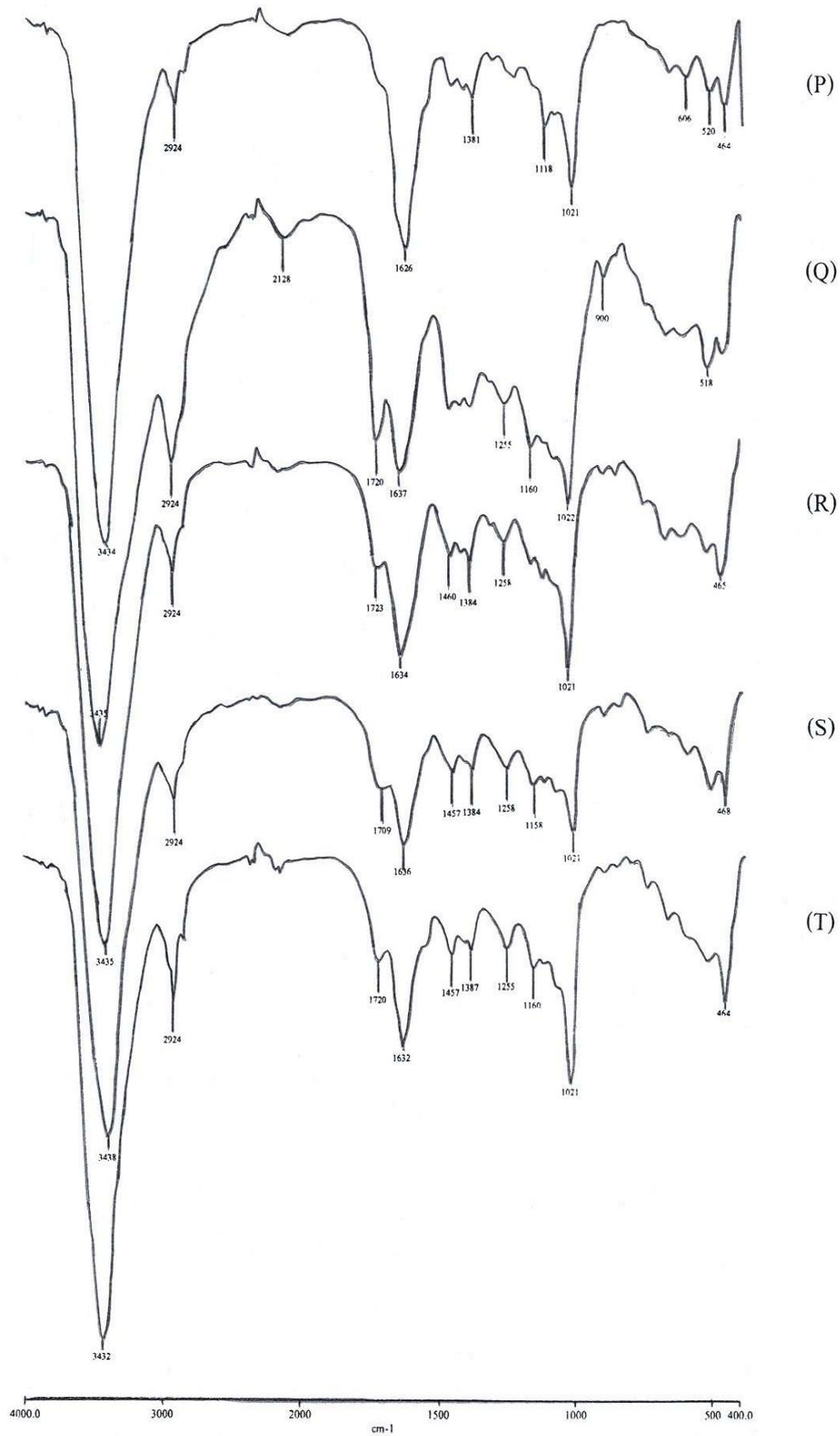
รูปที่ ข.1 แสดง IR spectra ของฟิล์มไฮโดรเจลสารเมือกจากเม็ดแมงลัก ไม่มีมอนอเมอร์ ณ อุณหภูมิขณะผสม 50-60 °C ก่อนสกัดด้วยน้ำและเมทานอล



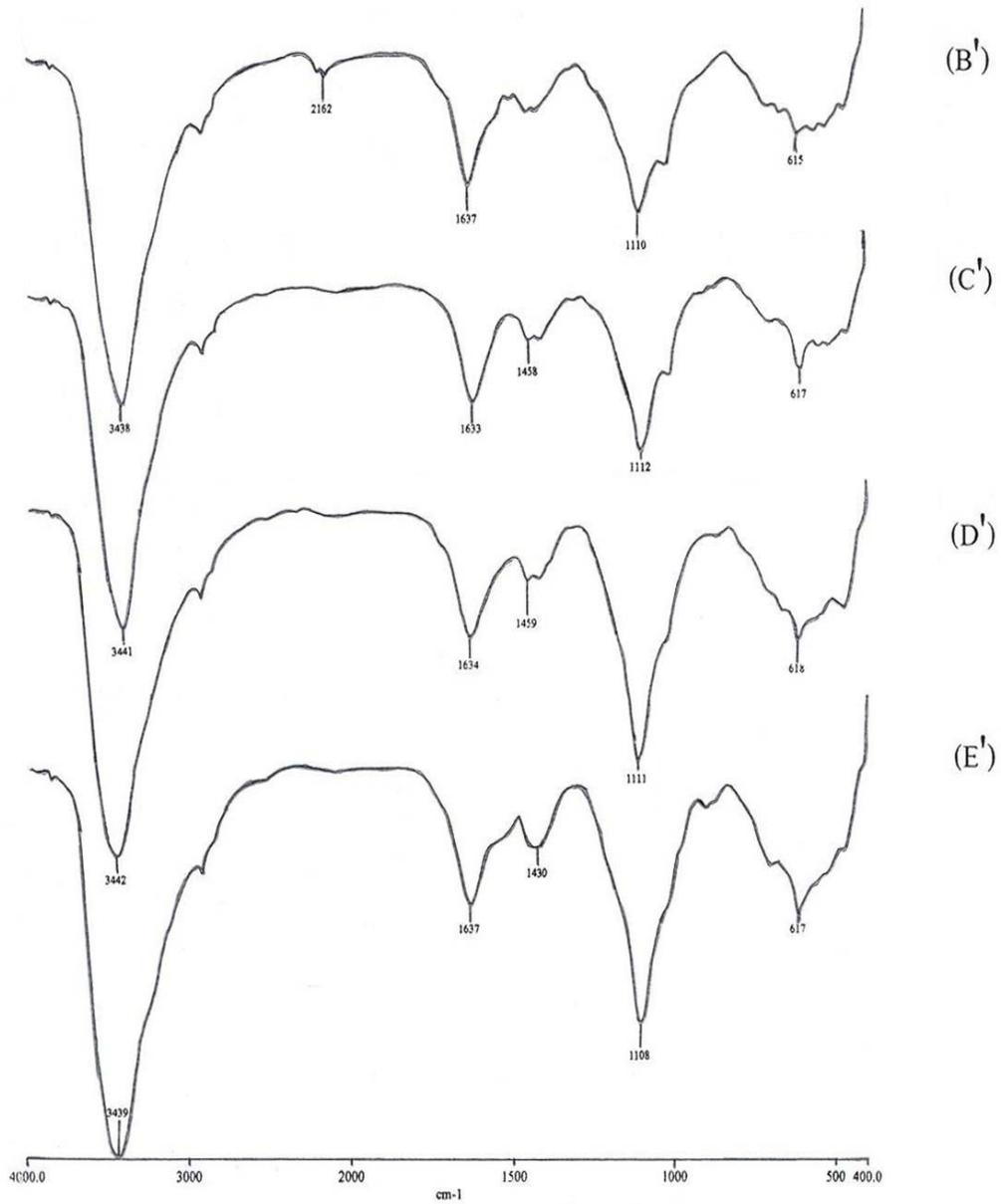
รูปที่ ข.2 แสดง IR spectra ของฟิล์มไฮโดรเจลผสมสูตรมาตรฐาน ณ อุณหภูมิขณะผสม 50-60 °C ก่อนสกัดด้วยน้ำและเมทานอล



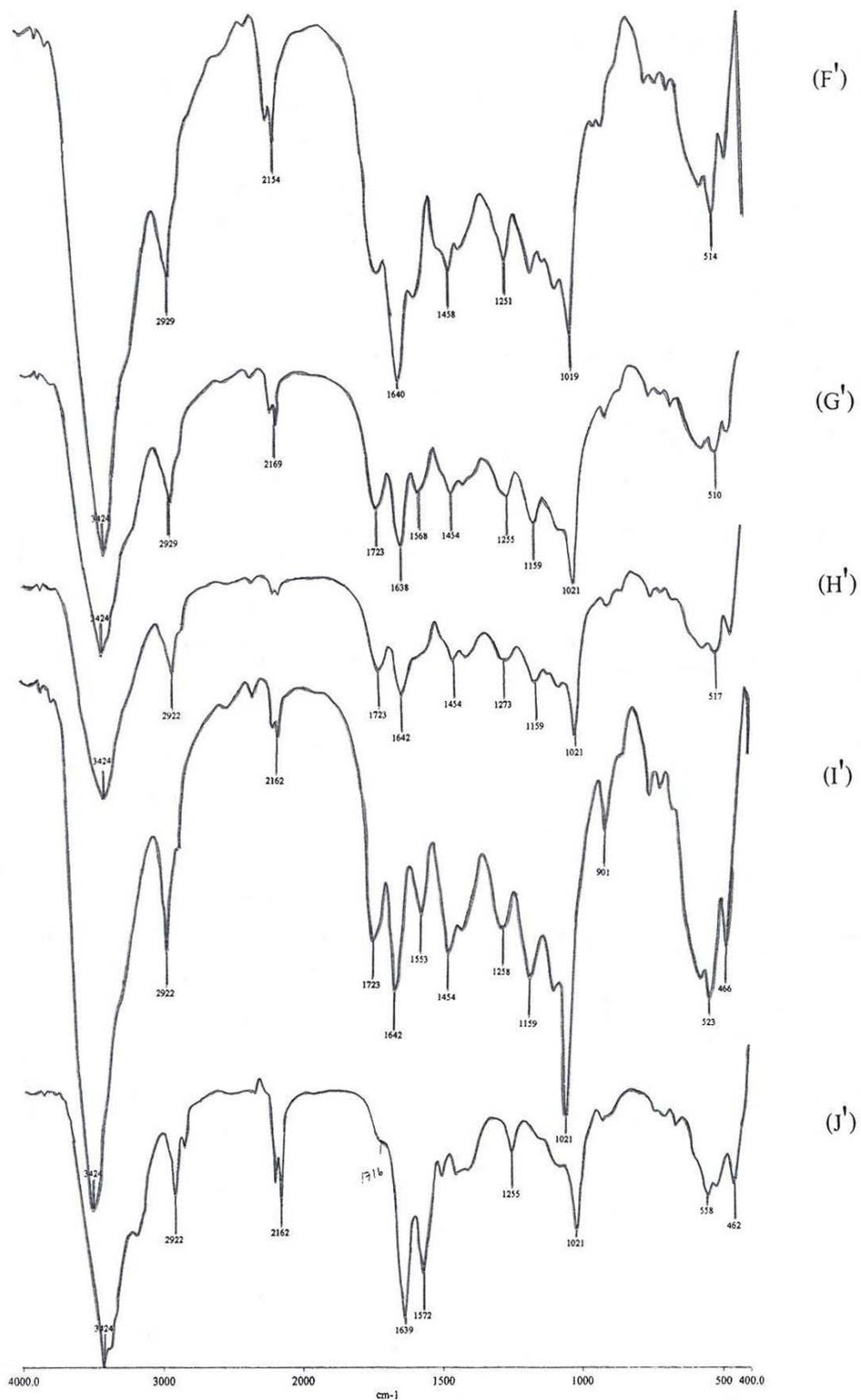
รูปที่ ข.3 แสดง IR spectra ของฟิล์มไฮโดรเจลผสม เมื่อลดปริมาณสารเชื่อม โยง ณ อุณหภูมิขณะผสม 50-60 °C ก่อนสกัดด้วยน้ำและเมทานอล



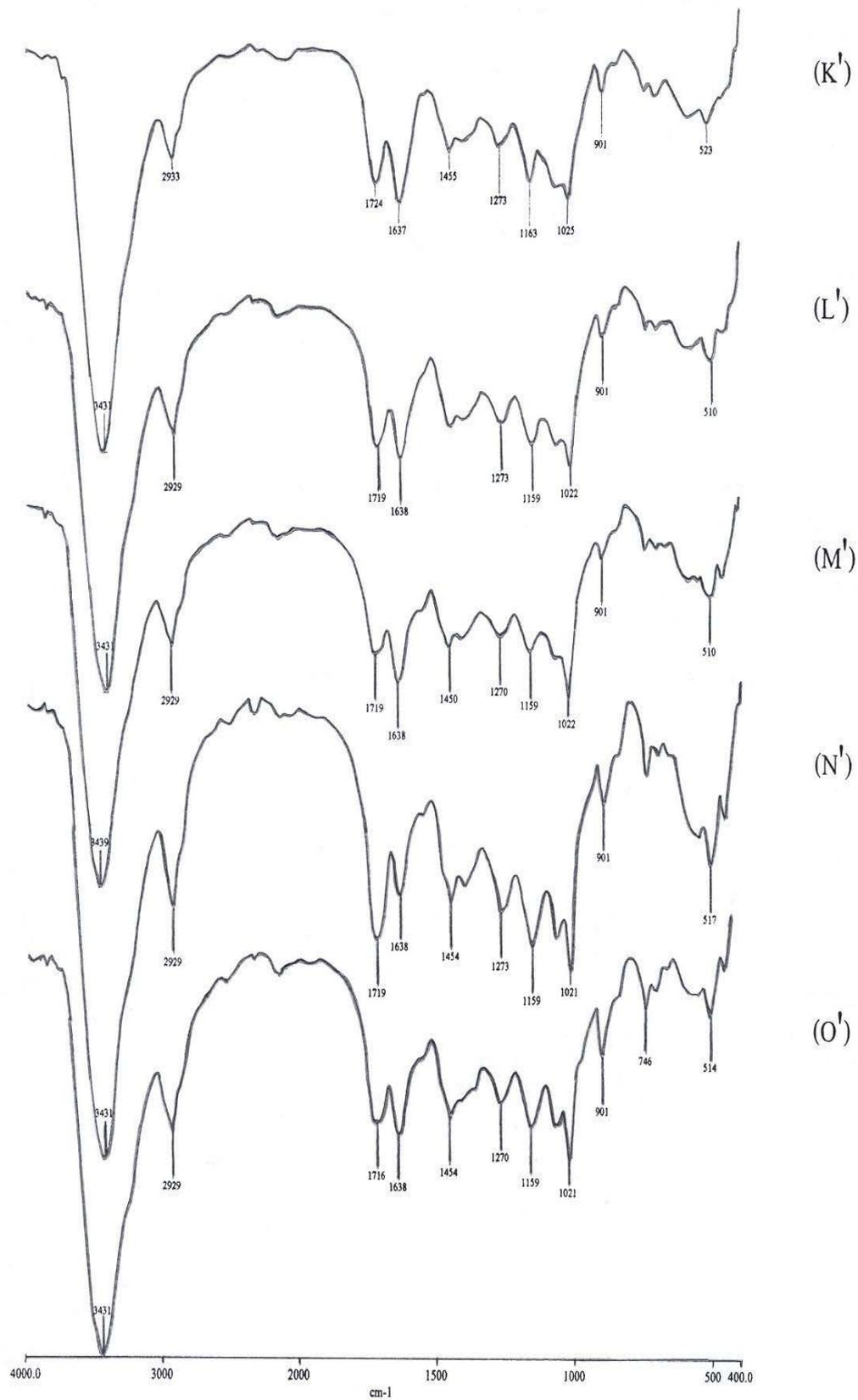
รูปที่ ข.4 แสดง IR spectra ของฟิล์มไฮโดรเจลผสม เมื่อลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา ณ อุณหภูมิ  
ขณะผสม 50-60 °C ก่อนสกัดด้วยน้ำและเมทานอล



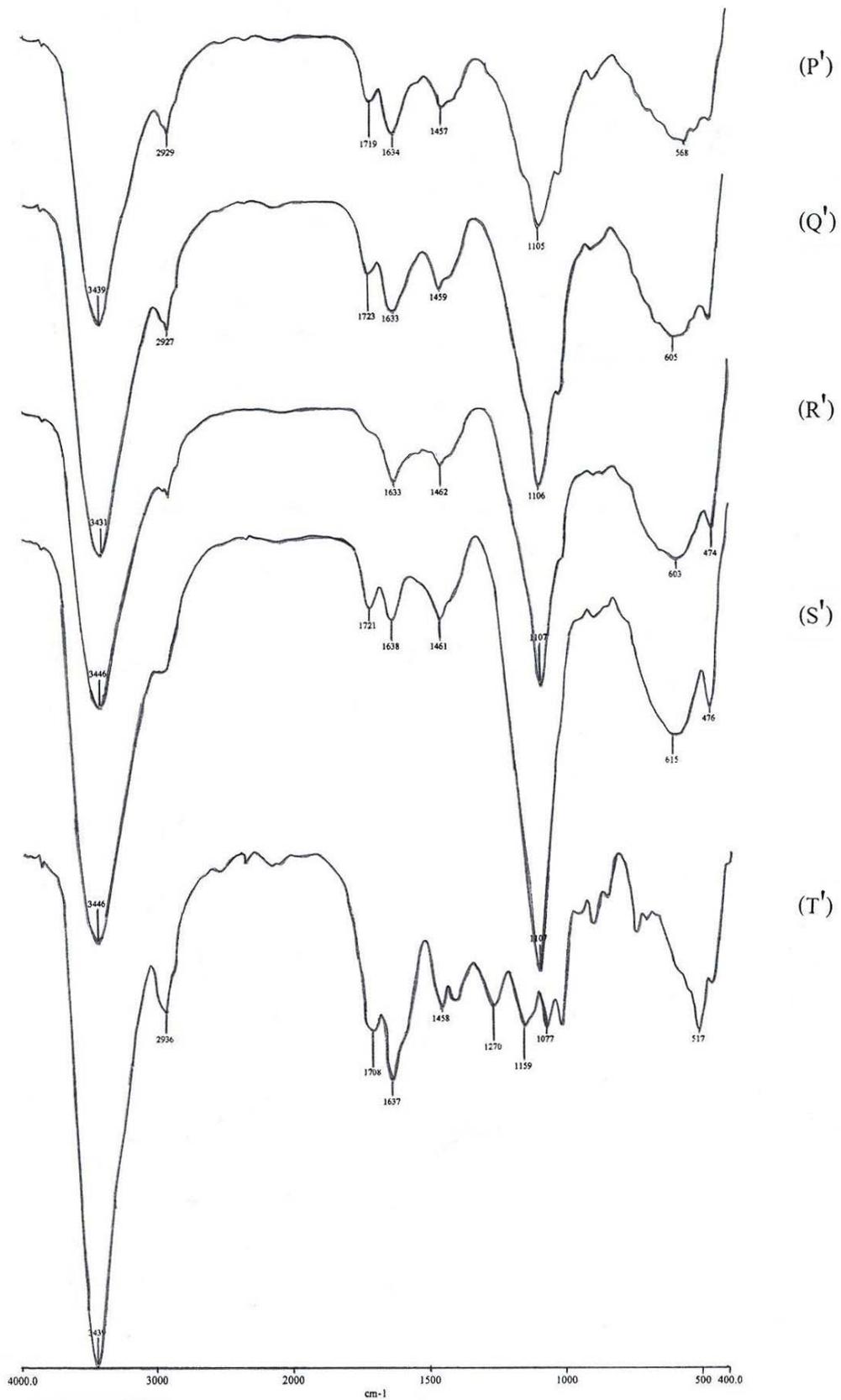
รูปที่ ข.5 แสดง IR spectra ของฟิล์มไฮโคโรเจสสารเมื่อจากเม็ดแมงลัก ไม่มีมอนอเมอร์ ณ อุณหภูมิ  
ขณะผสม 28-30 °C ก่อนสกัดด้วยน้ำและเมทานอล



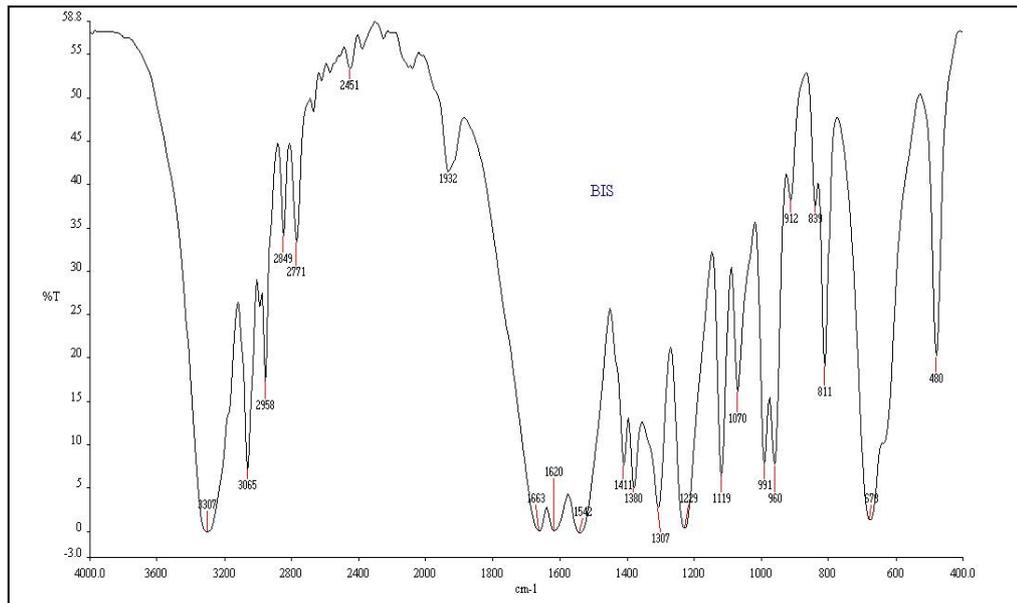
รูปที่ ข.6 แสดง IR spectra ของฟิล์มไฮโดรเจลผสมสูตรมาตรฐาน ณ อุณหภูมิขณะผสม 28-30 °C ก่อนสกัดด้วยน้ำและเมทานอล



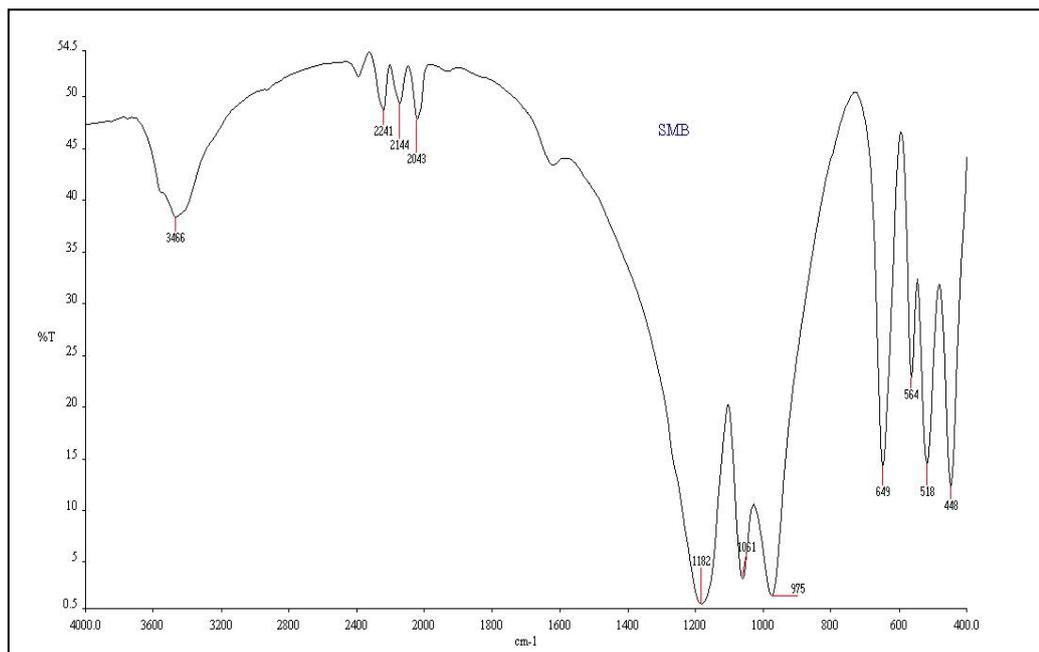
รูปที่ ข.7 แสดง IR spectra ของฟิล์มไอโซไซเตรตผสม เมื่อลดปริมาณสารเชื่อมโยง ณ อุณหภูมิขณะผสม 28-30 °C ก่อนสกัดด้วยน้ำและเมทานอล



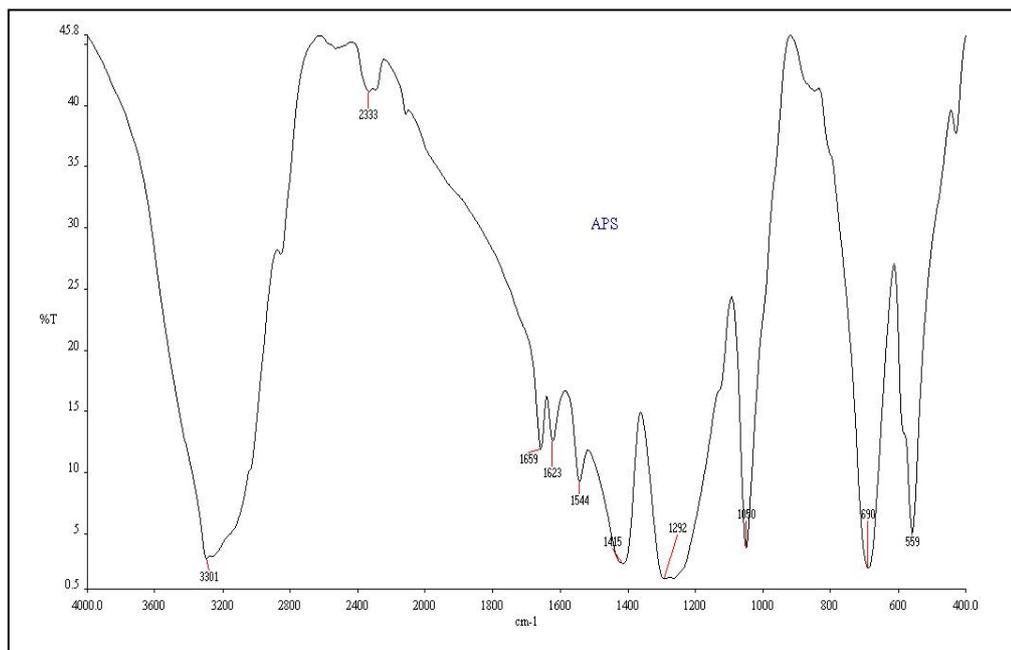
รูปที่ ข.8 แสดง IR spectra ของฟิล์มไฮโดรเจลผสม เมื่อลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา ณ อุณหภูมิ  
ขณะผสม 28-30 °C ก่อนสกัดด้วยน้ำและเมทานอล



รูปที่ ข.9 แสดง IR spectrum ของ N,N'-Methylenebisacrylamide (BIS)



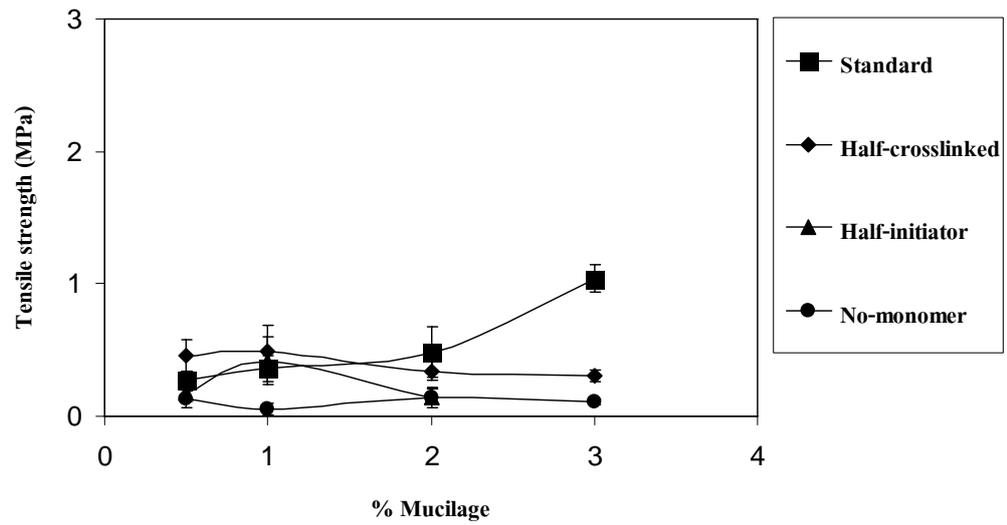
รูปที่ ข.10 แสดง IR spectrum ของ Sodium Metabisulphite (SMB)



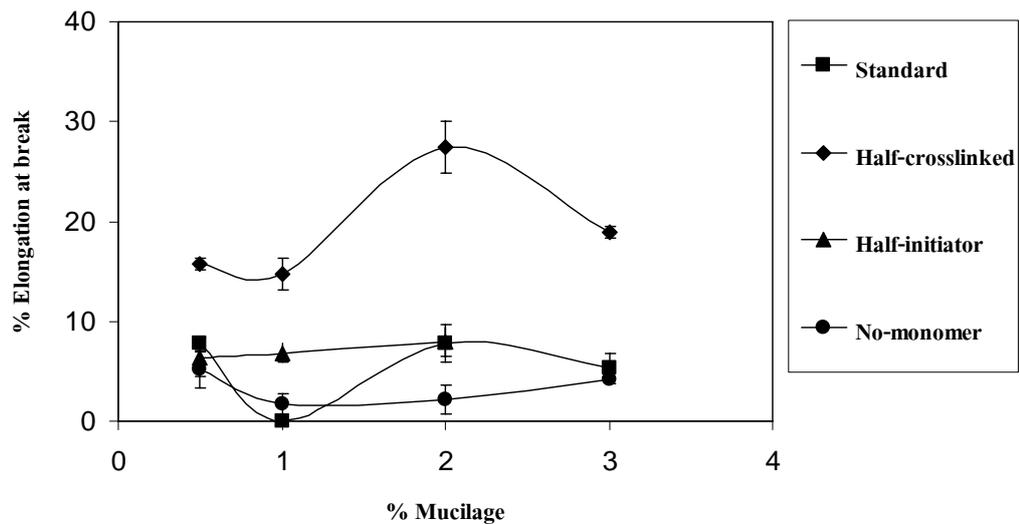
รูปที่ ข.11 แสดง IR spectrum ของ Ammonium Persulfate (APS)

## ภาคผนวก ก

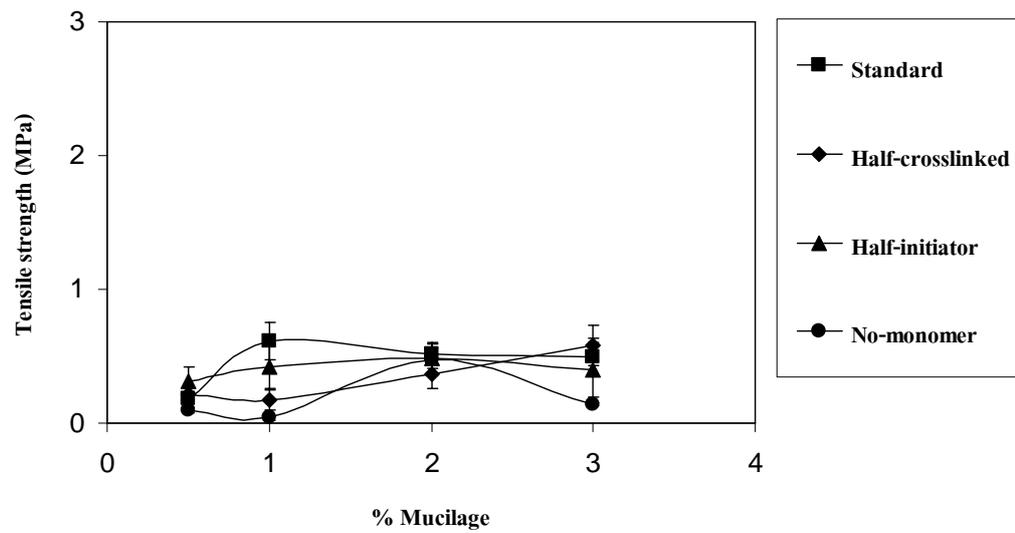
สมบัติเชิงกลของฟิล์มไฮโดรเจลทุกชนิดก่อนผ่านการสกัดด้วยน้ำและเมทานอล



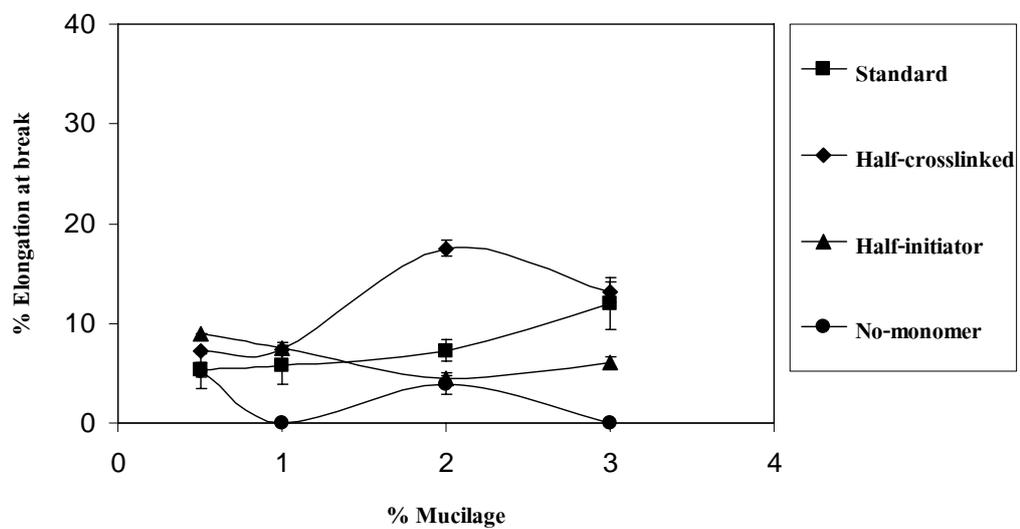
รูปที่ ก.1 กราฟเปรียบเทียบความทนแรงดึงของฟิล์มไฮโดรเจลในสภาวะต่างๆ ณ อุณหภูมิขณะผสม 50-60°C



รูปที่ ก.2 กราฟเปรียบเทียบร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาดของฟิล์มไฮโดรเจลในสภาวะต่างๆ ณ อุณหภูมิขณะผสม 50-60°C



รูปที่ ๓.3 กราฟเปรียบเทียบความทนแรงดึงของฟิล์มไฮโดรเจล ในสภาวะต่างๆ ณ อุณหภูมิขณะผสม 28-30°C



รูปที่ ๓.4 กราฟเปรียบเทียบร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาดของฟิล์มไฮโดรเจล ในสภาวะต่างๆ ณ อุณหภูมิขณะผสม 28-30°C

### ภาคผนวก ง

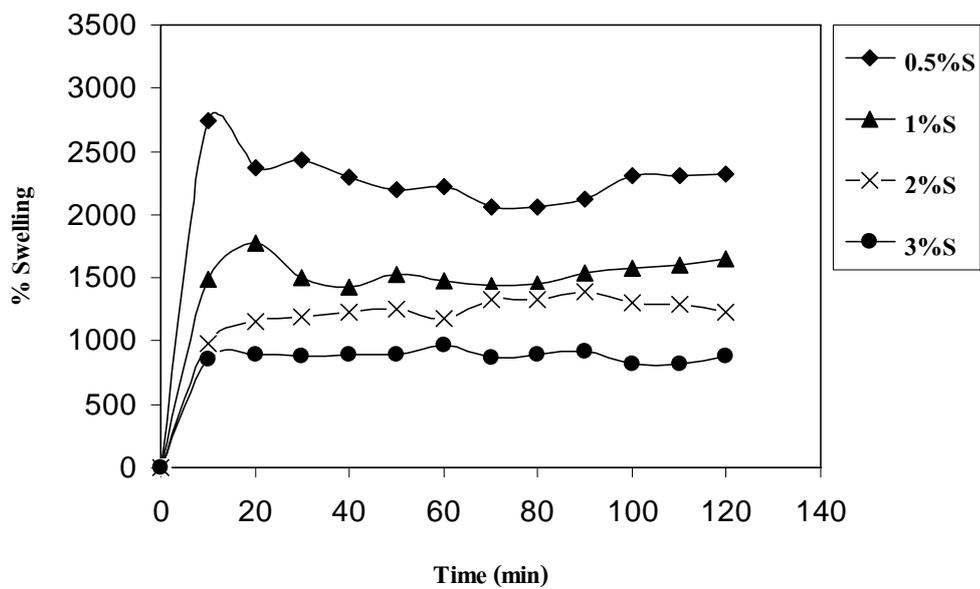
ผลทดสอบการดูดซับน้ำของฟิล์มไฮโดรเจลที่สภาวะต่างๆ ที่ยังไม่ผ่านการสกัดด้วยน้ำ และเมทานอล

กำหนดให้ (S) สารเมือกจากเม็ดแมงลัก

(H) Poly(2-hydroxyethyl methacrylate)

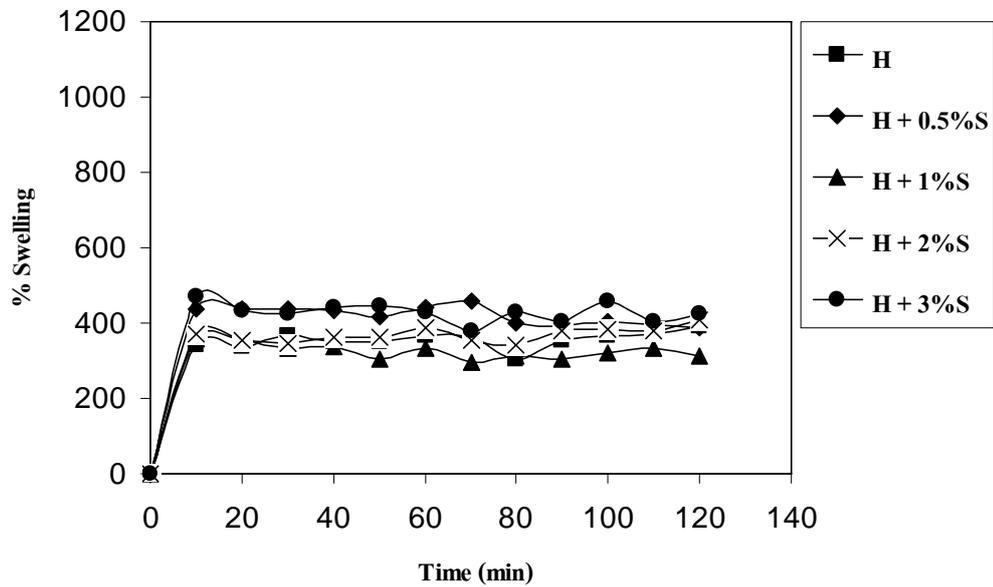
ผลการดูดซับน้ำภายใน 120 นาที ของฟิล์มไฮโดรเจลที่สภาวะต่างๆ ที่ยังไม่ผ่านการสกัดด้วยน้ำและเมทานอล

การดูดซับน้ำของฟิล์มไฮโดรเจลสารเมือกจากเม็ดแมงลักไม่มีมอนอเมอร์



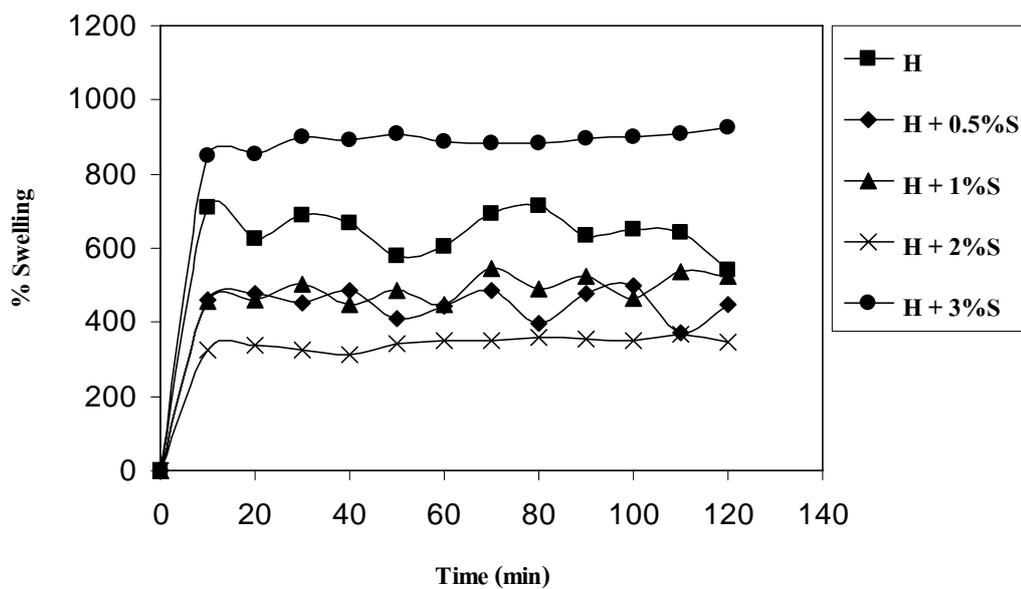
รูปที่ ง.1 กราฟแสดงค่า % การดูดซับน้ำกับเวลาที่แช่น้ำตั้งแต่ 0-120 นาที ของฟิล์มไฮโดรเจล สารเมือกจากเม็ดแมงลักเมื่อ ไม่มีมอนอเมอร์ ณ อุณหภูมิขณะผสม 50-60 °C

### การดูดซับน้ำของฟิล์มไฮโดรเจลสูตรมาตรฐาน



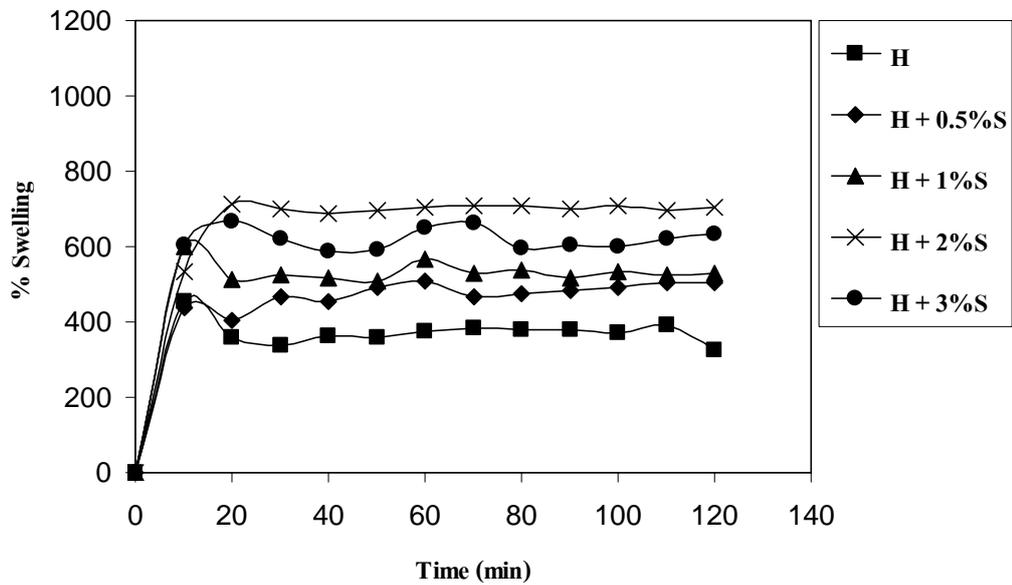
รูปที่ ๒.2 กราฟแสดงค่า % การดูดซับน้ำกับเวลาที่แช่น้ำตั้งแต่ 0-120 นาที ของฟิล์มไฮโดรเจลผสมสูตรมาตรฐาน ณ อุณหภูมิขณะผสม 50-60 °C

### การดูดซับน้ำของฟิล์มไฮโดรเจลเมื่อลดปริมาณสารเชื่อมโยง



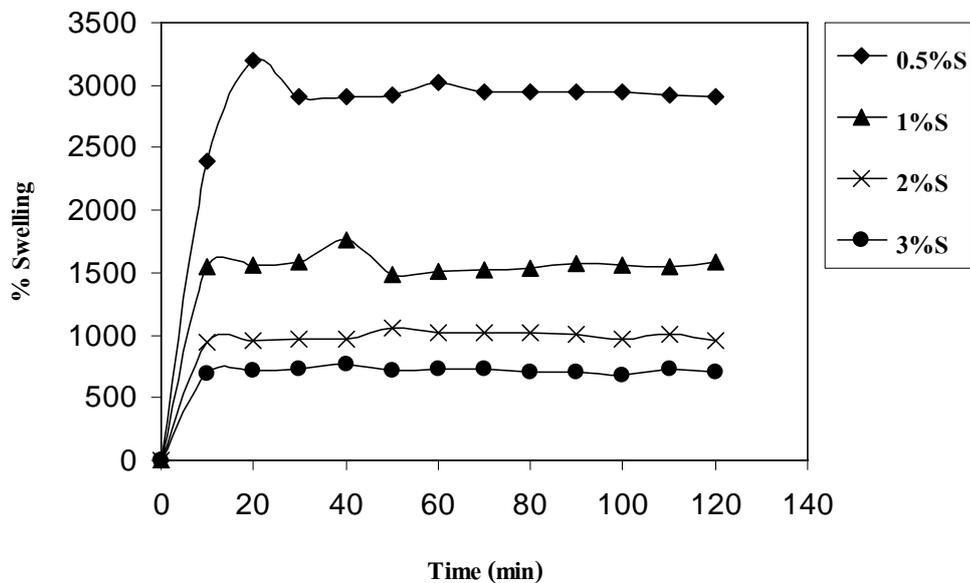
รูปที่ ๒.3 กราฟแสดงค่า % การดูดซับน้ำกับเวลาที่แช่น้ำตั้งแต่ 0-120 นาที ของฟิล์มไฮโดรเจลผสมเมื่อลดปริมาณสารเชื่อมโยง ณ อุณหภูมิขณะผสม 50-60 °C

การดูดซึมน้ำของฟิล์มไฮโดรเจลเมื่อลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา



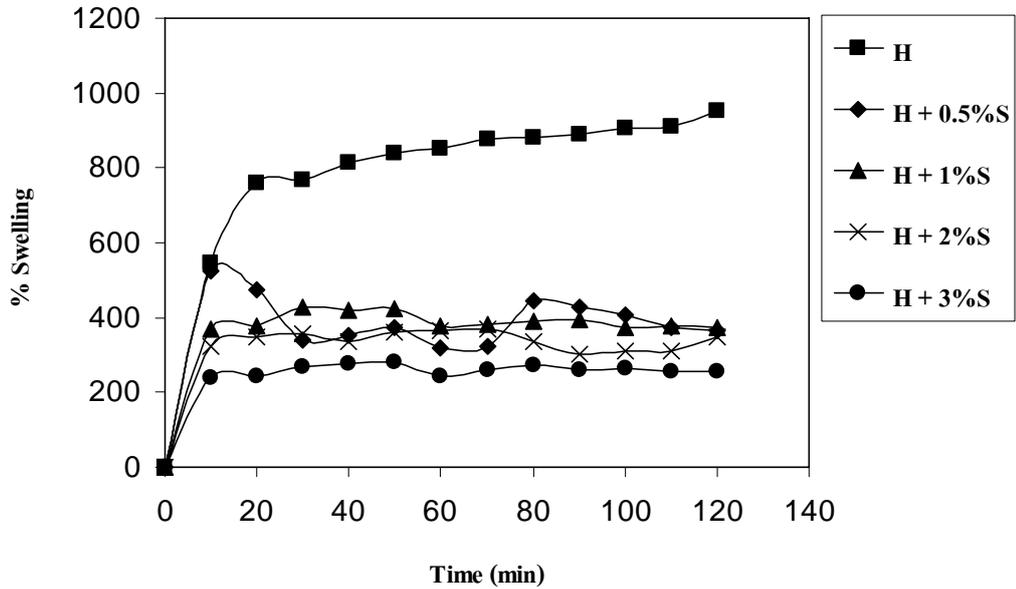
รูปที่ ๔.4 กราฟแสดงค่า % การดูดซึมน้ำกับเวลาที่แช่น้ำตั้งแต่ 0-120 นาที ของฟิล์มไฮโดรเจลผสมเมื่อลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา ณ อุณหภูมิขณะผสม 50-60 °C

การดูดซึมน้ำของฟิล์มไฮโดรเจลสารเมื่อจากเม็ดแมงลักไม่มีมอนอเมอร์



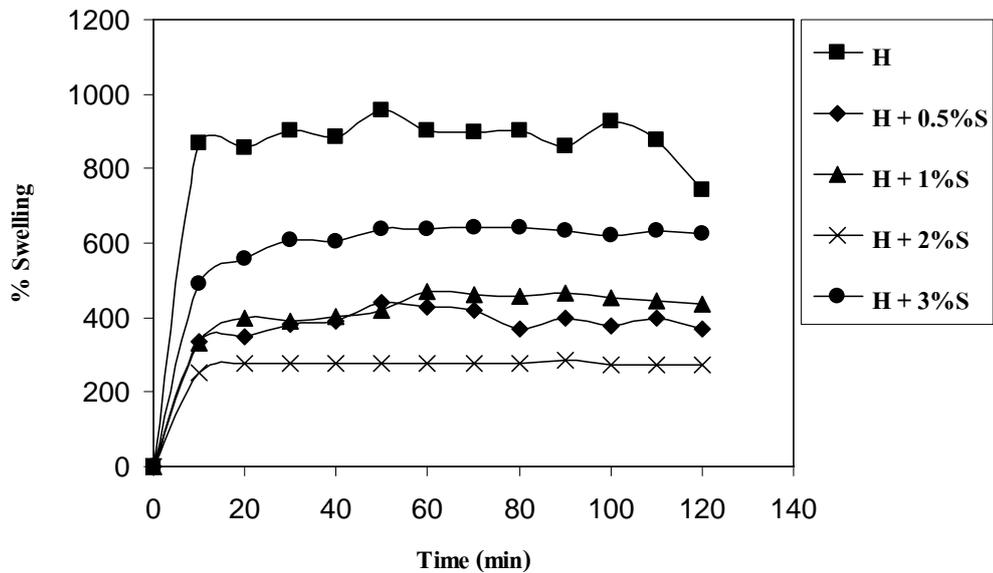
รูปที่ ๕.5 กราฟแสดงค่า % การดูดซึมน้ำกับเวลาที่แช่น้ำตั้งแต่ 0-120 นาที ของฟิล์มไฮโดรเจลสารเมื่อจากเม็ดแมงลักเมื่อไม่มีมอนอเมอร์ ณ อุณหภูมิขณะผสม 28-30 °C

### การดูดซับน้ำของฟิล์มไฮโดรเจลสูตรมาตรฐาน



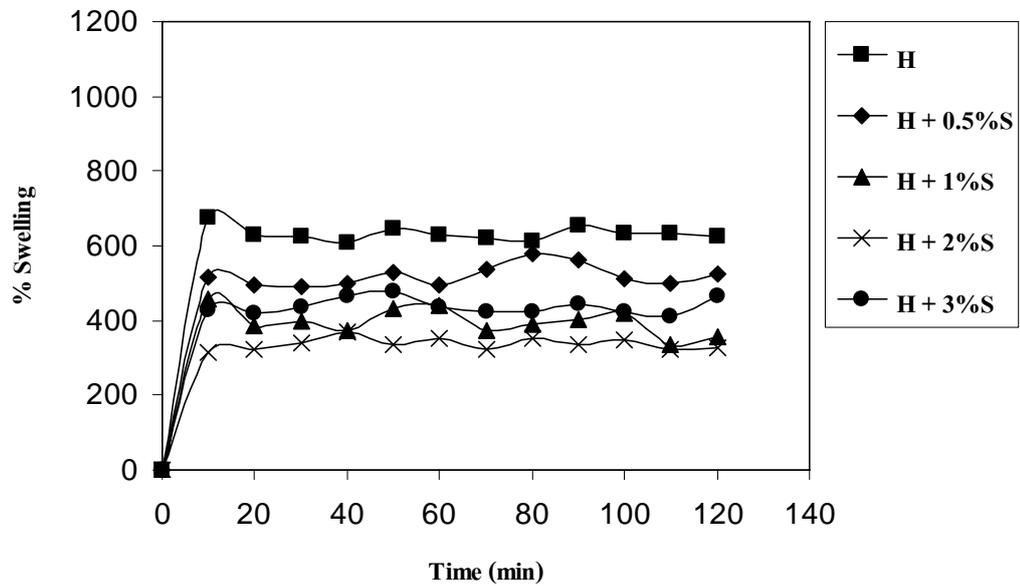
รูปที่ ๖.๖ กราฟแสดงค่า % การดูดซับน้ำกับเวลาที่แช่น้ำตั้งแต่ 0-120 นาที ของฟิล์มไฮโดรเจลผสมสูตรมาตรฐาน ณ อุณหภูมิขณะผสม 28-30 °C

### การดูดซับน้ำของฟิล์มไฮโดรเจลเมื่อลดปริมาณสารเชื่อมโยง



รูปที่ ๖.๗ กราฟแสดงค่า % การดูดซับน้ำกับเวลาที่แช่น้ำตั้งแต่ 0-120 นาที ของฟิล์มไฮโดรเจลผสมเมื่อลดปริมาณสารเชื่อมโยง ณ อุณหภูมิขณะผสม 28-30 °C

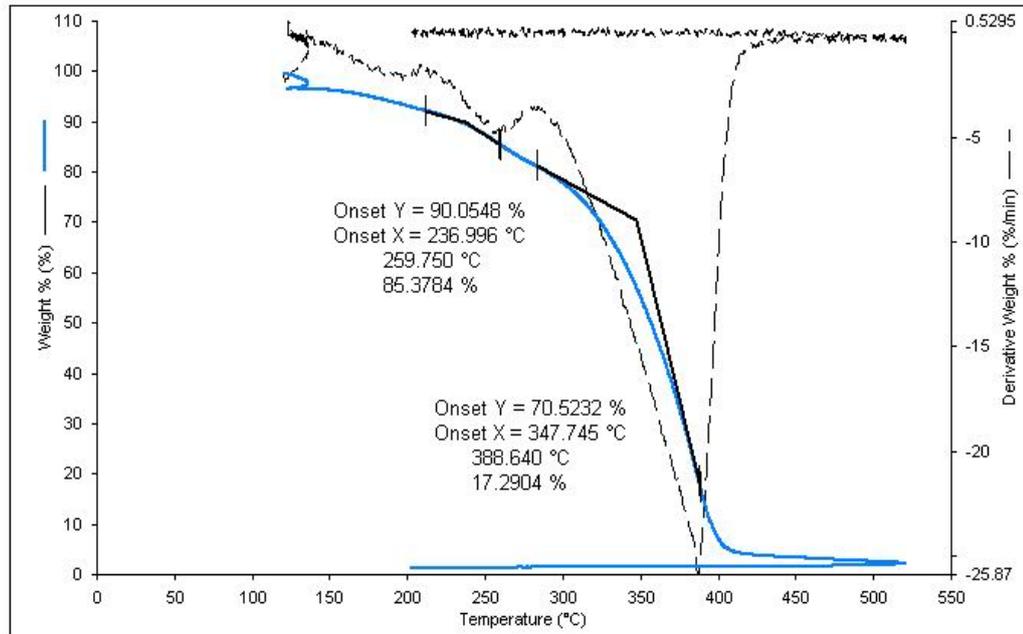
การดูดซึมน้ำของฟิล์มไฮโดรเจลเมื่อลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา



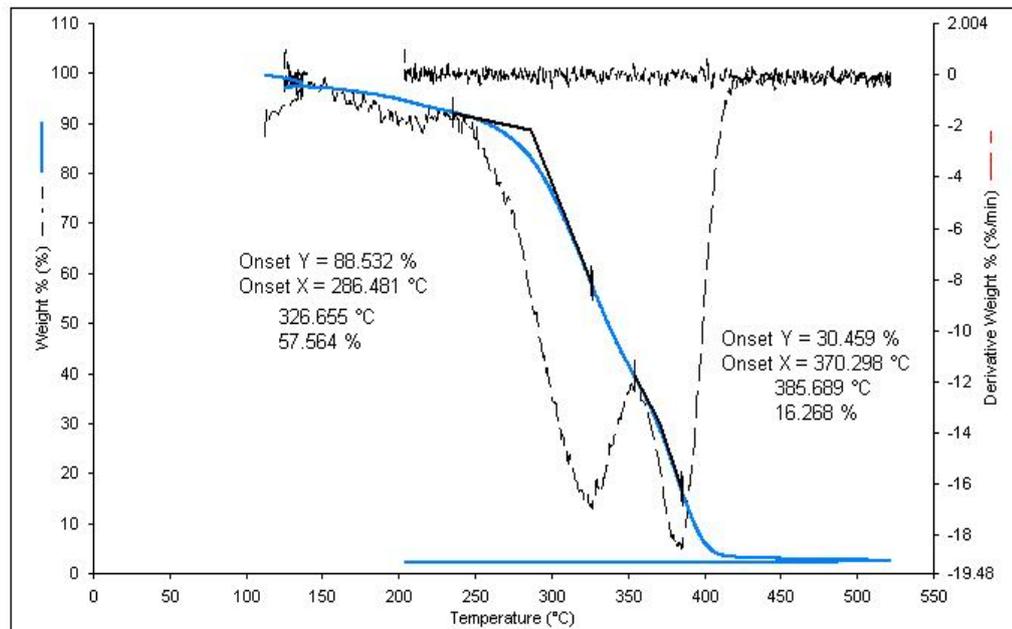
รูปที่ ๖.๘ กราฟแสดงค่า % การดูดซึมน้ำกับเวลาที่แช่น้ำตั้งแต่ 0-120 นาที ของฟิล์มไฮโดรเจลผสม เมื่อลดปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยา ณ อุณหภูมิขณะผสม 28-30 °C

## ภาคผนวก จ

### สมบัติทางความร้อน



รูปที่ จ.1 แสดงสมบัติทางความร้อนของ Poly(2-hydroxyethyl methacrylate) ที่ไม่มีสารเชื่อมโยง  
ณ อุณหภูมิขณะผสม 50-60 °C



รูปที่ จ.2 แสดงสมบัติทางความร้อนของ Poly(2-hydroxyethyl methacrylate) ที่ไม่มีสารเชื่อมโยง  
ณ อุณหภูมิขณะผสม 28-30 °C

## ภาคผนวก จ

### ความหนืด (Viscosity)

ตารางที่ จ.1 แสดงค่าความหนืดของสารเมือกจากเม็ดแมงลักที่สภาวะต่างๆ

ปริมาณสารเมือกจากเม็ดแมงลัก	Viscosity (Centipoise)	
	ละลายน้ำ	เติม NaOH
3 %	4350	4050
2 %	1760	1660
1 %	1240	1150
0.5 %	301	281

ตารางที่ จ.2 แสดงค่าความหนืดของฟิล์มไฮโดรเจลผสมที่สภาวะต่างๆ

สูตร	Viscosity (Centipoise)
3 % สารเมือกจากเม็ดแมงลักไม่มีมอนอเมอร์ (B')	2440
3 % สารเมือกจากเม็ดแมงลักลดสารเชื่อม โยง (K)	2410
2 % สารเมือกจากเม็ดแมงลัก สูตรมาตรฐาน (G)	1340
2 % สารเมือกจากเม็ดแมงลักลดตัวริเริ่ม ปฏิกริยา(Q)	1840
0.5 % สารเมือกจากเม็ดแมงลัก สูตรมาตรฐาน (I)	58
0.5 % สารเมือกจากเม็ดแมงลักลดสารเชื่อม โยง (N)	66
0.5 % สารเมือกจากเม็ดแมงลักลดตัวริเริ่ม ปฏิกริยา(S)	341