



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการวิจัยขนาดเล็กเรื่อง การศึกษาการอัดโมเลกุลยางธรรมชาติเข้าในเนื้อไม้เพื่อ  
ปรับปรุงคุณสมบัติของไม้ยางพารา

โดย สุฤกษ์ คงทอง

เมษายน 2552

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการวิจัยขนาดเล็กเรื่อง การศึกษาการอัดโมเลกุลยางธรรมชาติเข้าในเนื้อไม้เพื่อ  
ปรับปรุงคุณสมบัติของไม้ยางพารา

ผู้วิจัย

สุฤกษ์ คงทอง

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และทรัพยากร มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์

ชุดโครงการยางพารา

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)  
(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว.ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

## บทสรุปรายงานสำหรับผู้บริหาร

**ชื่อโครงการ** การศึกษาการอัดโมเลกุลยางธรรมชาติเข้าในเนื้อไม้เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของไม้  
ยางพารา

The study of wood impregnation with natural rubber : the improving of  
Parawood properties

**ชื่อหัวหน้าโครงการ** หน่วยงานสังกัด และที่อยู่

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุฤกษ์ คงทอง

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และทรัพยากร มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์

222 ต.ไทยบุรี อ.ท่าศาลา จ.นครศรีธรรมราช 80161

โทรศัพท์ (075)627-326 โทรสาร (075)672-399 E-mail address ksureurg@wu.ac.th

**นักศึกษา** นายมหาชัย ศรีจกกล นายชนากานต์ วิชัยกุล นายวรารุช ผลข้า

**ระยะเวลาดำเนินการ** 9 เดือน ตั้งแต่วันที่ 17 ก.ค. 2551 ถึงวันที่ 17 เม.ย. 2552

**ปัญหาที่ทำวิจัยและความสำคัญ**

ในปัจจุบันไม้ยางพาราได้รับความนิยมใช้ในปริมาณสูงทั้งในอุตสาหกรรมไม้แปรรูปและไม้ประกอบเพื่อทดแทนไม้จากป่า แต่ไม้ยางพารามีคุณสมบัติคือ การดูดความชื้นสูงทำให้ขนาดของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนแปลงได้มาก ความทนทานต่อการถูกทำลายโดยเชื้อราและแมลงต่ำโดยเฉพาะหากต้องสัมผัสกับน้ำหรือวางไม้ทิ้งไว้เป็นเวลานาน ในปัจจุบันการปรับปรุงคุณสมบัติดังกล่าวของไม้ยางพาราทำโดยการอัดสารประกอบโบรอนเข้าในเนื้อไม้แล้วอบด้วยอากาศร้อน สารประกอบโบรอนที่อัดเข้าในเนื้อไม้จะช่วยเพิ่มความทนทานต่อการถูกทำลายโดยเห็ดราและแมลง ส่วนการอบไม้ยางพาราจะช่วยปรับปรุงคุณสมบัติด้านความต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงขนาด

อย่างไรก็ตามสารประกอบโบรอนเป็นอันตรายและไม่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม จึงมีแนวโน้มว่าตลาดในกลุ่มประเทศสหภาพยุโรปจะมีการกีดกันผลิตภัณฑ์ไม้ที่ใช้สารดังกล่าว ดังนั้นการใช้ยางธรรมชาติอัดเข้าไปเพื่อแทนที่ช่องว่างในเนื้อไม้ด้วยกระบวนการเดียวกับการอัดสารประกอบโบรอน (เพื่อให้ผู้ประกอบการสามารถใช้เครื่องมือที่มีอยู่แล้วได้) จะช่วยลดการดูดซับความชื้นของไม้ได้และน่าจะช่วยลดการเจริญของเห็ดราบนไม้ยางพาราได้ นอกจากนั้นการที่มียางธรรมชาติแทรกอยู่ในเนื้อไม้ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ไม้เป็นวัสดุเชิงประกอบของไม้และยางซึ่งน่าจะเปลี่ยนคุณสมบัติทางกายภาพ

ของไม้ด้วย โดยจุดเด่นของผลิตภัณฑ์จากไม้ยางพาราที่ได้จากงานวิจัยนี้คือ จะประกอบด้วยวัสดุจากธรรมชาติล้วนๆทั้งชิ้น

### วัตถุประสงค์

ศึกษาความเป็นไปได้ในการอัดโมเลกุลยางธรรมชาติเข้าในเนื้อไม้ยางพารา เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติด้านความต้านทานต่อการเปลี่ยนขนาดเมื่อมีการดูดความชื้น ความแข็งแรงและความทนทานต่อการเกิดราแก่ไม้ยางพารา

### ผลการดำเนินการ

งานวิจัยนี้ได้แสดงให้เห็นว่าสามารถอัดยางธรรมชาติเข้าในช่องว่างในเนื้อไม้ยางพาราได้ด้วย การทำสุญญากาศ แล้วอัดสารละลายยางธรรมชาติด้วยความดัน จากนั้นระเหยเอาตัวทำละลายออก ด้วยการอบ ซึ่งกระบวนการดังกล่าวนี้เป็นกระบวนการที่ผู้ประกอบการใช้ในการอัดสารเคมีเข้าในเนื้อไม้ยางพาราอยู่แล้ว โดยผลการวิจัยพบว่าการใช้สารละลายยางที่มีความเข้มข้นสูงหรือต่ำเกินไปมีอิทธิพลอย่างมากต่อปริมาณของยางธรรมชาติที่ถูกอัดเข้าเนื้อไม้ ความเข้มข้นของสารละลายยางที่เหมาะสมสำหรับงานวิจัยนี้คือ 10% w/v ซึ่งจะให้ปริมาณของยางธรรมชาติที่ถูกอัดในเนื้อไม้ ~ 10 - 13 wt% ส่วนการใช้สารละลายยางที่มีความเข้มข้นสูงหรือต่ำกว่านี้จะให้ปริมาณการอัดยางธรรมชาติในระดับ ~ 2-5 wt% และพบว่าแม้จะใช้ความเข้มข้นของสารละลายที่ 10% w/v ก็ตามหากยางธรรมชาติที่ใช้มีน้ำหนักโมเลกุลสูงเกินไป เช่น  $M_w \sim 500,000$  g/mol จะได้ปริมาณยางธรรมชาติที่ถูกอัดในเนื้อไม้ในระดับต่ำเช่นเดียวกับการใช้สารละลายที่มีความเข้มข้นอื่นๆ นอกจากความเข้มข้นของสารละลายแล้ว ความดันของการอัดที่สูงขึ้นและระยะเวลาในการอัดที่นานขึ้นก็มีส่วนช่วยให้ได้ปริมาณของยางธรรมชาติในเนื้อไม้เพิ่มขึ้นด้วย

เมื่อนำไม้ตัวอย่างที่ผ่านการอัดด้วยยางธรรมชาติไปทดสอบการดูดความชื้นพบว่า ไม้ที่ผ่านการอัดด้วยยางธรรมชาติปริมาณ 2 - 13 wt% มีค่าความชื้นที่สมดุลต่ำกว่าไม้ที่ไม่ผ่านการอัดประมาณ 2 ถึงเกือบ 4 % และมีอัตราการเปลี่ยนแปลงของขนาดเพิ่มขึ้นช้ากว่าไม้ที่ไม่ผ่านการอัด 3 - 5 วัน ส่วนอัตราการดูดความชื้นของไม้ตัวอย่างที่มีปริมาณยางธรรมชาติ ~ 2 - 13 wt% มีค่าไม่ต่างกันมากนัก

หลังจากการทดสอบการเจริญของเชื้อราโดยใช้รา 3 ชนิดที่พบมากที่สุดพบไม้ยางพาราพบว่า ไม้ตัวอย่างที่ผ่านการอัดด้วยยางธรรมชาติ ~ 2 wt% มีความสามารถในการต้านการเจริญของเชื้อราได้ดีที่สุดโดยมีความต้านทานการเกิดราได้ดีกว่าไม้ที่ไม่ผ่านการอัดด้วยยางธรรมชาติเกือบ 2 เท่าที่ระยะเวลา 21 วัน ส่วนไม้ตัวอย่างที่ผ่านการอัดด้วยยางธรรมชาติ ~ 5 และ 13 wt% สามารถชะลอการเกิดเชื้อราได้

เป็นระยะเวลา 7 วัน และเมื่อทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพได้พบว่า การอัดยางธรรมชาติเข้าในเนื้อไม้ในงานวิจัยนี้มีผลให้ความแข็งแรงของไม้ตัวอย่างเพิ่มขึ้น ~ 3% และค่า bending stress เพิ่มขึ้นกว่า 50%

### สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ศึกษากระบวนการอัดยางธรรมชาติเข้าในเนื้อของไม้ยางพารา ซึ่งเริ่มต้นด้วยการทำสุญญากาศเพื่อไล่อากาศออกจากช่องว่างในเนื้อไม้ จากนั้นใช้ความดันอัดโมเลกุลยางธรรมชาติที่อยู่ในรูปสารละลายให้ไหลเข้าแทนที่ช่องว่างในเนื้อไม้ดังกล่าวแล้วระเหยเอาตัวทำละลายออกพบว่าปริมาณการอัดยางธรรมชาติเข้าในเนื้อไม้จะขึ้นอยู่กับ ความเข้มข้นของสารละลายยาง ความดัน และระยะเวลาที่ใช้ในการอัด ซึ่งปริมาณที่สูงที่สุดของการอัดยางธรรมชาติเข้าในเนื้อไม้ที่ได้จากงานวิจัยคือ ~ 13 wt%

เมื่อได้ทดสอบความสามารถในการดูดซับความชื้นของไม้ตัวอย่างที่ผ่านการอัดด้วยยางธรรมชาติเปรียบเทียบกับไม้ที่ไม่ผ่านการอัด พบว่าความสามารถในการดูดซับความชื้นเมื่อเข้าสู่สมดุลของไม้ที่ผ่านการอัดด้วยยางธรรมชาติมีค่าลดลงเกือบ 4% และพบว่าการเปลี่ยนแปลงขนาดจนเข้าสู่สมดุลเมื่อมีการดูดซับความชื้นเกิดขึ้นช้าลงถึง 5 วัน ส่วนไม้ตัวอย่างที่มีปริมาณการอัดยางธรรมชาติแตกต่างกัน (2 - 13 wt%) นั้น พบแนวโน้มว่าไม้ที่มีปริมาณการอัดยางธรรมชาติสูงกว่าจะดูดซับความชื้นและมีการเปลี่ยนแปลงขนาดน้อยกว่า สำหรับการทดสอบความต้านทานต่อการเกิดราที่ผิวของไม้ที่ผ่านการอัดด้วยยางธรรมชาตินั้นพบว่า ไม้ที่ผ่านการอัดด้วยยางธรรมชาติปริมาณ ~ 2 wt% มีการเจริญของราที่ผิวน้อยกว่าไม้ที่ไม่ผ่านการอัดยางเกือบ 2 เท่าที่ระยะเวลา 21 วัน ส่วนไม้ตัวอย่างอื่นๆที่ผ่านการอัดด้วยยางธรรมชาตินี้จะสามารถลดการเจริญของราได้ดีเฉพาะช่วงระยะเวลาไม่เกิน 7 วัน

การอัดยางธรรมชาติเข้าในเนื้อไม้ในงานวิจัยนี้มีผลให้ความแข็งแรงของไม้ตัวอย่างเพิ่มขึ้น ~ 3% และค่า bending stress เพิ่มขึ้นกว่า 50%

### ข้อเสนอแนะที่ควรวิจัยเพิ่มเติมเพื่อให้สามารถนำผลไปประยุกต์ใช้ได้จริง

1. ควรศึกษาวิธีเพิ่มปริมาณการอัดยางธรรมชาติเข้าในเนื้อไม้ เนื่องจากพบแนวโน้มว่าปริมาณยางธรรมชาติในเนื้อไม้มีผลต่อการด้านการดูดซับความชื้นและเพิ่มความแข็งแรงของไม้ยางพารา ดังนั้นจึงควรพัฒนากระบวนการอัดเพื่อให้สามารถเพิ่มปริมาณการแทรกตัวของยางธรรมชาติเข้าในเนื้อไม้ให้สูงกว่า 13 wt% ยกตัวอย่างเช่น การเพิ่มความดันในขั้นตอนการอัดให้สูงขึ้น

2. จากผลการทดลองที่ได้จาก TGA ที่พบว่าไม้ตัวอย่างที่ผ่านการอัดด้วยยางธรรมชาติแล้วอบแห้งที่ 60 °C มีการลดลงของน้ำหนักในช่วงอุณหภูมิประมาณ 90 - 120 °C มากกว่าน้ำหนักของไม้

ที่ไม่ผ่านการอัดยางและไม่ที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 105 °C อยู่ ~ 2% ซึ่งคาดว่าน่าจะเกิดจากการที่มี toluene หลงเหลืออยู่ในตัวอย่างไม้ดังกล่าว (toluene มีจุดเดือดที่ ~ 110 °C) ผลการทดลองดังกล่าวนี้ สอดคล้องกับประเด็นที่ผู้วิจัยได้รับการแนะนำจากท่านผู้ทรงคุณวุฒิ (ผู้ทรงคุณวุฒิ : “การระเหย toluene ออกจากยางทำได้ยากในกรณีที่สารละลายยางที่มีความเข้มข้นสูงๆ”) เมื่อครั้งนำเสนอ ความก้าวหน้าของงานวิจัย ในวันที่ 18 มี.ค. 52 ที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ซึ่งน่าจะสามารถยืนยันการหลงเหลืออยู่ของ toluene ในตัวอย่างดังกล่าวได้ด้วยเทคนิค gas chromatography อนึ่งตัวทำละลายที่หลงเหลืออยู่ดังกล่าวอาจจะมีผลให้ผลิตภัณฑ์ไม่ผ่านมาตรฐานการส่งออกได้

อย่างไรก็ตามเมื่อใช้อุณหภูมิสูงขึ้นอบแห้งไม้ตัวอย่าง เช่น 105 °C เทคนิค TGA ไม่แสดงหลักฐานให้เห็นถึงการหลงเหลืออยู่ของ toluene และจากผลการวิจัยนี้ไม่พบว่า toluene ปริมาณดังกล่าว มีอิทธิพลต่อผลการทดลองอื่นๆ เช่น ความสามารถในการดูดความชื้น การต้านทานการเกิดราที่ผิว และความแข็งแรงของไม้ตัวอย่าง

3. ควรศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ยางธรรมชาติในรูปน้ำยางอัดเข้าในเนื้อไม้ เนื่องจากงานวิจัยนี้ใช้สารละลายยางเพื่อพาโมเลกุลยางธรรมชาติเข้าสู่ช่องว่างในเนื้อไม้ ซึ่งตัวทำละลายช่วยให้โมเลกุลยางอยู่ในสถานะ unperturbed state นั่นคือโมเลกุลยางมีโอกาสจะอยู่เป็นโมเลกุลเดี่ยวๆที่ปราศจากการพันเกี่ยวกัน จึงง่ายต่อการเกิด reptation ของสายโซ่ยางเข้าไปในช่องว่างของเนื้อไม้ ดังนั้นหากสามารถประยุกต์ใช้ยางธรรมชาติในรูปน้ำยางเพื่ออัดเข้าในเนื้อไม้ จะลดขั้นตอนและต้นทุนของกระบวนการผลิตลงได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องศึกษาขนาดของอนุภาคยางที่เปลี่ยนไปหลังจากการตัดสายโซ่ยางให้สั้นลงว่าสอดคล้องกับขนาดของช่องว่างในเนื้อไม้หรือไม่

### ผลงานทางวิชาการที่คาดว่าจะเกิดขึ้น

บทความวิจัยตีพิมพ์ในวารสารทางวิชาการระดับชาติ 1 บทความ  
สิทธิบัตร 1 ชิ้น

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้แสดงให้เห็นว่าสามารถอัดยางธรรมชาติเข้าในช่องว่างในเนื้อไม้ยางพาราได้ด้วยการทำสุญญากาศ แล้วอัดสารละลายยางธรรมชาติด้วยความดัน จากนั้นระเหยเอาตัวทำละลายออกด้วยการอบ ซึ่งกระบวนการดังกล่าวนี้เป็นกระบวนการที่ผู้ประกอบการใช้ในการอัดสารเคมีเข้าในเนื้อไม้ยางพาราอยู่แล้ว โดยผลการวิจัยพบว่าการใช้สารละลายยางที่มีความเข้มข้นสูงหรือต่ำเกินไปมีอิทธิพลอย่างมากต่อปริมาณของยางธรรมชาติที่ถูกอัดเข้าเนื้อไม้ ความเข้มข้นของสารละลายยางที่เหมาะสมสำหรับงานวิจัยนี้คือ 10% w/v ซึ่งจะให้ปริมาณของยางธรรมชาติที่ถูกอัดในเนื้อไม้ ~ 10 - 13 wt% ส่วนการใช้สารละลายยางที่มีความเข้มข้นสูงหรือต่ำกว่านี้จะให้ปริมาณการอัดยางธรรมชาติในระดับ ~ 2-5 wt% และพบว่าแม้จะใช้ความเข้มข้นของสารละลายที่ 10% w/v ก็ตามหากยางธรรมชาติที่ใช้มีน้ำหนักโมเลกุลสูงเกินไป เช่น  $M_w \sim 500,000$  g/mol จะได้ปริมาณยางธรรมชาติที่ถูกอัดในเนื้อไม้ในระดับต่ำเช่นเดียวกัน นอกจากความเข้มข้นของสารละลายแล้วความดันของการอัดที่สูงขึ้นและระยะเวลาในการอัดที่นานขึ้นก็มีส่วนช่วยให้ได้ปริมาณของยางธรรมชาติในเนื้อไม้เพิ่มขึ้นด้วย

เมื่อนำไม้ตัวอย่างที่ผ่านการอัดด้วยยางธรรมชาติไปทดสอบการดูดความชื้นพบว่า ไม้ที่ผ่านการอัดด้วยยางธรรมชาติ ~ 2 - 13 wt% มีค่าความชื้นที่สมดุลต่ำกว่าไม้ที่ไม่ผ่านการอัดประมาณ 2 ถึงเกือบ 4 % และมีอัตราการเปลี่ยนแปลงของขนาดเมื่อแช่น้ำเพิ่มขึ้นช้ากว่าไม้ที่ไม่ผ่านการอัด 3 - 5 วัน ส่วนอัตราการดูดความชื้นและอัตราการเปลี่ยนแปลงของขนาดเมื่อแช่น้ำของไม้ตัวอย่างที่มีปริมาณยางธรรมชาติ ~ 2 - 13 wt% มีค่าไม่ต่างกันมากนัก

หลังจากการทดสอบการเจริญของเชื้อราโดยใช้รา 3 ชนิดที่พบมากที่สุดพบไม้ยางพารา พบว่าไม้ตัวอย่างที่ผ่านการอัดด้วยยางธรรมชาติ ~ 2 wt% มีความสามารถในการต้านการเจริญของเชื้อราได้ดีที่สุดโดยมีพื้นที่ที่เกิดการเจริญของเชื้อราบนผิวตัวอย่างต่ำกว่าไม้ที่ไม่ผ่านการอัดด้วยยางธรรมชาติเกือบ 2 เท่าที่ระยะเวลา 21 วัน ส่วนไม้ตัวอย่างที่ผ่านการอัดด้วยยางธรรมชาติ ~ 5 และ 13 wt% สามารถชะลอการเกิดเชื้อราได้เป็นระยะเวลา 7 วันหลังจากนั้นการเจริญของราบนไม้ตัวอย่างทั้งสองนี้ใกล้เคียงกับไม้ที่ไม่ผ่านการอัดด้วยยางธรรมชาติ เมื่อได้ทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพพบว่า การอัดยางธรรมชาติเข้าในเนื้อไม้ในงานวิจัยนี้มีผลให้ความแข็งแรงของไม้ตัวอย่างเพิ่มขึ้น ~ 3% และค่า bending strength เพิ่มขึ้นกว่า 50%

คำสำคัญ: ยางธรรมชาติ ไม้ยางพารา การอัดยางในไม้ยางพารา

| สารบัญ                                                                 | หน้า |
|------------------------------------------------------------------------|------|
| บทสรุปสำหรับผู้บริหาร                                                  | 1    |
| บทคัดย่อ                                                               | 5    |
| สารบัญ                                                                 | 6    |
| บทที่ 1 บทนำ                                                           | 7    |
| 1.1 ความสำคัญและความเป็นมาของการวิจัย                                  | 7    |
| 1.2 วัตถุประสงค์                                                       | 8    |
| 1.3 ทฤษฎี แนวคิดในการทำวิจัย และผลงานที่เกี่ยวข้อง                     | 8    |
| บทที่ 2 วิธีการ                                                        | 10   |
| 2.1 การเตรียมไม้ตัวอย่าง                                               | 10   |
| 2.2 การเตรียมยางธรรมชาติ                                               | 10   |
| 2.3 การเตรียมสารละลายยางธรรมชาติ                                       | 10   |
| 2.4 การหาน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยโดยวิธี Gel Permeation Chromatography     | 10   |
| 2.5 การอัดยางธรรมชาติเข้าในไม้ยางพารา                                  | 11   |
| 2.6 การทดลองอื่นๆ                                                      | 12   |
| บทที่ 3 ผลการวิจัยและวิจารณ์ผลการวิจัย                                 | 13   |
| 3.1 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อปริมาณการอัดยางธรรมชาติเข้าในเนื้อไม้         | 13   |
| 3.1.1 การแทรกของตัวทำละลายเข้าในเนื้อไม้ยางพารา                        | 13   |
| 3.1.2 น้ำหนักโมเลกุลและความเข้มข้นของสารละลายยาง                       | 14   |
| 3.1.3 ระยะเวลาในการอัด                                                 | 17   |
| 3.1.4 ระยะเวลาในการทำสุญญากาศ                                          | 18   |
| 3.1.5 อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งไม้ตัวอย่างที่ผ่านการอัดด้วยสารละลายยาง | 18   |
| 3.1.6 พื้นที่ผิวของชิ้นทดสอบ                                           | 21   |
| 3.2 คุณสมบัติของไม้ยางพาราที่ผ่านการอัดด้วยยางธรรมชาติ                 | 21   |
| 3.2.1 การดูดความชื้นของไม้                                             | 21   |
| 3.2.2 ความต้านทานต่อการเกิดราที่ผิวไม้                                 | 23   |
| 3.2.3 ความแข็งแรงของไม้                                                | 26   |
| บทที่ 4 บทสรุป                                                         | 29   |
| 4.1 สรุปผลการวิจัย                                                     | 29   |
| 4.2 ข้อเสนอแนะเพื่อการทำวิจัยเพิ่มเติม                                 | 29   |
| 4.3 เอกสารอ้างอิง                                                      | 31   |
| คำชี้แจงการแก้ไขรายงานฉบับสมบูรณ์                                      | 32   |

### 1.1 ความสำคัญและความเป็นมาของการวิจัย

ไม้ยางพาราเป็นผลพลอยได้จากต้นยางที่หมดอายุการเก็บเกี่ยวน้ำยาง โดยในทุกๆปีจะมีการโค่นสวนยางมากกว่า 300,000 ไร่ แล้วปลูกทดแทนขึ้นใหม่ ทำให้มีปริมาณไม้ยางพาราที่ผลิตจากสวนอยู่ในระดับที่สามารถใช้ทดแทนไม้จากธรรมชาติได้ ไม้ยางพารามีคุณสมบัติเด่นคือ มีลวดลายของเนื้อไม้สวยงามเมื่อเลื่อยตามแนวรัศมี สามารถแปรรูปได้ง่าย มีน้ำหนักและความแข็งแรงใกล้เคียงกับไม้สัก แต่มีราคาถูกกว่าไม้สักและไม้อื่นๆจากป่า ไม้ยางพาราจึงได้รับความนิยมใช้ในปริมาณสูงทั้งในอุตสาหกรรมไม้แปรรูปและไม้ประกอบ เฉพาะในอุตสาหกรรมการผลิตเฟอร์นิเจอร์และของใช้จากไม้ยางพารานั้น มีกำลังการผลิตประมาณ 100,000 ล้านบาทต่อปีและประมาณ 60 % ของมูลค่าดังกล่าวเกิดจากการส่งออก อย่างไรก็ตามคุณสมบัติด้อยของไม้ยางพารา คือ การดูดความชื้นสูงทำให้ขนาดเปลี่ยนแปลงได้มาก (low dimension stability to moisture) ความทนทานต่อการถูกทำลายโดยเชื้อราและแมลงดำโดยเฉพาะหากต้องสัมผัสกับน้ำหรือวางไม้ทิ้งไว้เป็นเวลานาน<sup>2</sup>

ในปัจจุบันการปรับปรุงคุณสมบัติดังกล่าวของไม้ยางพาราทำได้โดยการอัดสารเคมีเข้าในเนื้อไม้แล้วอบด้วยอากาศร้อน กระบวนการอัดสารเคมีจะใช้วิธีการทำสุญญากาศเพื่อไล่อากาศออกจากช่องว่างในเซลล์ของเนื้อไม้ แล้วใช้ความดันเพื่ออัดสารเคมีเข้าไป สารเคมี (ซึ่งในปัจจุบันนิยมใช้สารประกอบโบรอน เช่น บอแรกซ์) ที่อัดเข้าในเนื้อไม้จะช่วยเพิ่มความทนทานต่อการถูกทำลายโดยเห็ดราและแมลง ส่วนการอบไม้ยางพาราจะช่วยปรับปรุงคุณสมบัติด้าน dimension stability และคุณสมบัติทางกายภาพอื่นๆ ของไม้ยางพารา

อย่างไรก็ตามกลุ่มประเทศสหภาพยุโรปซึ่งเป็นผู้นำเข้าผลิตภัณฑ์จากไม้ยางพาราแปรรูปที่สำคัญ ได้เริ่มตระหนักถึงผลกระทบของสารเคมีที่ใช้อัดเข้าในเนื้อไม้ ซึ่งเป็นอันตรายและไม่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้นผู้ประกอบการแปรรูปไม้ยางพาราของไทยต่างคาดคะเนว่า ในอนาคตอันใกล้คงจะมีการกีดกันการใช้ไม้ที่ผ่านกระบวนการอัดด้วยสารเคมีดังกล่าว กรอบกับในต่างประเทศได้มีการวิจัยเพื่อใช้พอลิเมอร์สังเคราะห์ เช่น PS, PMMA อัดเข้าในช่องว่างของเซลล์เนื้อไม้ (polymer-impregnated wood) แทนการใช้สารเคมี และมีรายงานว่า การใช้พอลิเมอร์แทนสารเคมีนอกจากจะช่วยเพิ่มความทนทานต่อการถูกทำลายโดยเห็ดราและแมลงแล้ว ยังมีผลให้คุณสมบัติทางกายภาพของไม้ เช่น dimension stability การบิดงอหลังการอบด้วยอากาศร้อน และ compressive strength ดีขึ้นด้วย<sup>4,5</sup> แต่ในปัจจุบันราคาของพอลิเมอร์สังเคราะห์ทุกชนิดได้เพิ่มสูงขึ้นอย่างมากตามแนวโน้มของราคาน้ำมัน ในสภาวะการเช่นนี้ประเทศไทยซึ่งเป็นแหล่งผลิตยางธรรมชาติที่สำคัญของโลกน่าจะมีการศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ยางซึ่งเป็นวัตถุดิบจากธรรมชาติและมีราคาถูกกว่าแทนการใช้สารเคมีและพอลิเมอร์สังเคราะห์เพื่ออัดเข้าในไม้ยางพารา โดยจุดเด่นของไม้ยางพาราที่จะได้คือ ประกอบด้วยวัสดุจากธรรมชาติล้วนๆทั้งชิ้น ทั้งนี้กระบวนการอัดยางธรรมชาติเข้าในเนื้อไม้น่าจะสามารถใช้กระบวนการเช่นเดียวกับการอัดสารเคมีได้ กล่าวคือการทำ

สูญญากาศแล้วใช้ความดันเพื่ออัดสารละลายยางธรรมชาติเข้าในช่องว่างของเซลเนื้อไม้ ซึ่งผู้ประกอบการสามารถประยุกต์ใช้อุปกรณ์อัดสารเคมีที่มีอยู่แล้วในโรงงานได้

## 1.2 วัตถุประสงค์

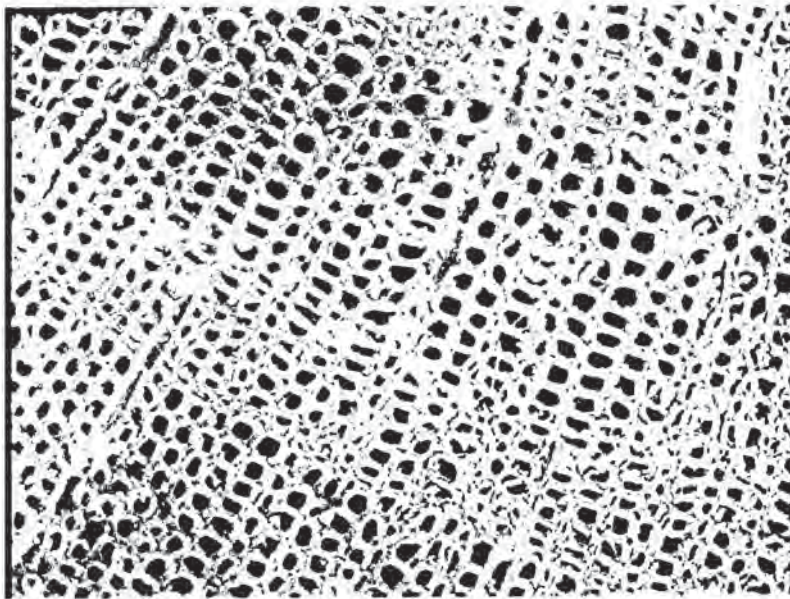
ศึกษาความเป็นไปได้ในการอัดโมเลกุลยางธรรมชาติเข้าในเนื้อไม้ยางพารา เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติด้านความต้านทานต่อการเปลี่ยนขนาดเมื่อมีการดูดความชื้น ความแข็งแรงและความทนทานต่อการเกิดรา แก่ไม้ยางพารา

## 1.3 ทฤษฎี แนวคิดในการทำวิจัย และผลงานที่เกี่ยวข้อง

มีงานวิจัยได้รายงานว่า สามารถปรับปรุงคุณสมบัติด้อยทางด้านการดูดซับความชื้นของไม้ด้วยการอัด (impregnation) พอลิเมอร์เข้าในเซลของเนื้อไม้โดยใช้กระบวนการ 2 ขั้นตอนคือ การทำสูญญากาศในช่วงแรกเพื่อไล่อากาศออกจากช่องว่างของเซลเนื้อไม้ จากนั้นใช้ความดันเพื่อให้พอลิเมอร์ถูกอัดเข้าในเซลของเนื้อไม้ โดยการอัด polystyrene ในเนื้อไม้สามารถปรับปรุงคุณสมบัติด้าน anti-shrink efficiency และ swelling in water vapor ของไม้ยางพาราได้และหากทำให้ polystyrene เกิดการ crosslink ภายในเนื้อไม้ก็จะสามารถปรับปรุงคุณสมบัติดังกล่าวให้สูงขึ้นได้อีกกว่า 30% นอกจากนี้ไม้ยางพาราที่ผ่านการอัดด้วย polystyrene ยังมีความต้านทานต่อการเจริญของเชื้อราบนไม้สูงขึ้นด้วยเนื่องพอลิเมอร์เข้าไปแทรกในช่องว่างของเซลทำให้การดูดซับความชื้นของไม้ลดลง<sup>4,6</sup> อย่างไรก็ตามได้พบงานวิจัยที่รายงานว่า หากต้องการปรับปรุงเฉพาะคุณสมบัติด้านการเปลี่ยนแปลงขนาดเมื่อได้รับความชื้นโดยไม่ต้องทำให้คุณสมบัติทางฟิสิกส์ของไม้เปลี่ยนไป ก็สามารถทำได้โดยการอัดพอลิเมอร์เข้าผิวไม้ในระดับตื้นๆก็เพียงพอแล้ว<sup>7</sup> สำหรับการเพิ่มคุณสมบัติทางฟิสิกส์นั้นมีรายงานว่า การอัด polymethyl methacrylate เข้าในเนื้อไม้สนและยูคาลิปตัสสามารถเพิ่มค่า compressive strength ให้กับไม้ได้<sup>8</sup> และการใช้สารคู่ควบ (coupling agent) เพื่อเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเซลลูลอสกับ polymethyl methacrylate จะยิ่งเพิ่มค่า compressive strength ของไม้ให้สูงขึ้นได้อีก<sup>9</sup>

ไม้ยางพาราก็มีคุณสมบัติด้านการดูดความชื้นในอากาศได้สูงเช่นเดียวกับไม้ชนิดอื่น โดยความชื้นจะสะสมอยู่ในช่องว่างภายในเซลและช่องว่างระหว่างเซล (intracellular and intercellular spaces, รูปที่ 1.1) และมีรายงานว่าความชื้นที่สะสมอยู่ในบริเวณช่องว่างระหว่างเซลเท่านั้นที่จะมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดของไม้ (dimensional instability)<sup>9</sup> ดังนั้นหากสามารถแทนที่ช่องว่างระหว่างเซลด้วยการอัดโมเลกุลของยางเข้าไปก็น่าจะสามารถลดการเปลี่ยนแปลงขนาดของไม้ยางพาราเนื่องจากการดูดความชื้นลงได้ ด้วยเหตุผลนี้ผู้วิจัยจึงเลือกใช้ยางธรรมชาติ (STR 5L) ที่เตรียมให้อยู่ในรูปสารละลายเพื่อให้สายโซ่ยางมีโอกาสน้อยอยู่ในรูปโมเลกุลอิสระมากที่สุดเพื่อเพิ่มโอกาสที่จะเกิด reptation เข้าในช่องว่างระหว่างเซลของไม้ นอกจากนี้โมเลกุลยางที่เข้าไปแทรกอยู่ในช่องว่างของเนื้อไม้น่าจะส่งผลให้ คุณสมบัติทางกายภาพของไม้สูงขึ้นด้วย

อนึ่ง ยังมีวิธีการปรับปรุงคุณสมบัติของยางธรรมชาติที่จะใช้ในการอัดเข้าในเนื้อไม้ได้อีก เช่น การเพิ่มความต้านทานต่อการเกิดราโดยการกราฟต์ด้วย *N*-carbonylmaleimide<sup>10</sup> การปรับขนาดโมเลกุล การปรับปริมาณ cross-link density การปรับสภาพผิวโดยการทำให้ maleated NR เพื่อเพิ่มความแข็งแรงของผิวสัมผัสระหว่างไม้กับยาง ซึ่งการปรับปรุงคุณสมบัติของยางธรรมชาตินี้จะส่งผลให้คุณสมบัติของไม้ยางที่ผ่านการอัดด้วยยางธรรมชาติให้สูงขึ้นอีก นอกจากนั้นการประยุกต์ใช้ยางธรรมชาติแทนพอลิเมอร์สังเคราะห์เพื่ออัดเข้าในเนื้อไม้ยางพาราจะมีต้นทุนของวัตถุดิบต่ำกว่าและผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีจุดเด่นคือประกอบด้วยวัสดุจากธรรมชาติทั้งชิ้น



รูปที่ 1.1 แสดงช่องว่างในเนื้อไม้ยางพารา (<http://www.woodmagic.vt.edu/html/activities/closer8.htm>)

## บทที่ 2

### วิธีการวิจัย

#### 2.1 การเตรียมไม้ตัวอย่าง

ไม้ยางพาราตัวอย่าง (RRIM 600) ที่ใช้มีสองขนาดคือ  $1 \times 1 \times 10$  และ  $2 \times 2 \times 8 \text{ cm}^3$  โดยหลีกเลี่ยงการใช้ส่วนที่เป็นตาไม้ แล้วนำไม้ที่ตัดได้ขนาดตามต้องการแล้วไปอบที่อุณหภูมิ  $105^\circ\text{C}$  จนน้ำหนักคงที่ เก็บไม้ตัวอย่างใน desiccator จนกระทั่งใช้งาน

#### 2.2 การเตรียมยางธรรมชาติ

เนื่องจากยางธรรมชาติ (ใช้ STR 5L) มีโมเลกุลขนาดใหญ่ ซึ่งอาจจะเป็นอุปสรรคในการอัดเข้าในช่องว่างในเนื้อไม้ยางพารา ดังนั้นจึงมีการลดขนาดโมเลกุลของยางธรรมชาติก่อนนำไปใช้ในการทดสอบด้วยวิธีต่างๆดังนี้

2.2.1 mastication ยางธรรมชาติด้วยเครื่อง Thermo Haake Rheomix โดยใช้ fill factor เท่ากับ 0.7 โรเตอร์ชนิด Banbury Rotors ที่ความเร็วรอบ 60 rpm อุณหภูมิ  $60^\circ\text{C}$  เป็นเวลา 10 นาที ( $M_w \sim 500,000 \text{ g/mol}$ )

2.2.2 mastication ยางธรรมชาติด้วยเครื่อง Thermo Haake Rheomix โดยใช้ fill factor เท่ากับ 0.7 โรเตอร์ชนิด Banbury Rotors ที่ความเร็วรอบ 60 rpm อุณหภูมิ  $60^\circ\text{C}$  เป็นเวลา 45 นาที ( $M_w \sim 250,000 \text{ g/mol}$ )

2.2.3 mastication ยางธรรมชาติด้วยเครื่อง Thermo Haake Rheomix โดยใช้ fill factor เท่ากับ 0.7 โรเตอร์ชนิด Banbury Rotors ที่ความเร็วรอบ 60 rpm อุณหภูมิ  $60^\circ\text{C}$  เป็นเวลา 45 นาที แล้วนำยางที่ได้ไปอบที่  $120^\circ\text{C}$  เป็นเวลา 3 ชม. ( $M_w \sim 150,000 \text{ g/mol}$ )

2.2.4 ผสม peptizer 1 phr (Ultrapex 90) แล้ว mastication ยางธรรมชาติด้วยเครื่อง Thermo Haake Rheomix โดยใช้ fill factor เท่ากับ 0.7 โรเตอร์ชนิด Banbury Rotors ที่ความเร็วรอบ 60 rpm อุณหภูมิ  $60^\circ\text{C}$  เป็นเวลา 45 นาที แล้วนำยางที่ได้ไปอบที่  $120^\circ\text{C}$  เป็นเวลา 3 ชม. ( $M_w \sim 80,000 \text{ g/mol}$ )

#### 2.3 การหาน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ย ( $M_w$ ) โดยวิธี Gel Permeation Chromatography (GPC)

ทำโดยเตรียมตัวอย่างยางสำหรับทดสอบโดยละลายยางธรรมชาติที่เตรียมได้จากข้อ 2.2 ใน tetrahydrofluran (THF) จากนั้นจึงนำสารละลายยางไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Breeze Waters GPC System with RI detector (Standard polystyrene mixed column) โดยใช้ THF เป็น mobile phase และฉีดสารละลายยางด้วยอัตรา  $1 \text{ ml/min}$

## 2.4 การเตรียมสารละลายยางธรรมชาติ

โดยใช้ตัวอย่างของยางธรรมชาติที่เตรียมได้จากหัวข้อ 2.2 ละลายใน toluene (99.9% GR grade, Merck) เพื่อให้ได้ความเข้มข้นของสารละลายยางเป็น 2, 5, 10, 15 และ 20 % w/v โดยคนสารละลายอย่างสม่ำเสมอที่อุณหภูมิห้องจนยางธรรมชาติละลายใน toluene อย่างสมบูรณ์ซึ่งใช้ระยะเวลาไม่เกิน 72 ชม.

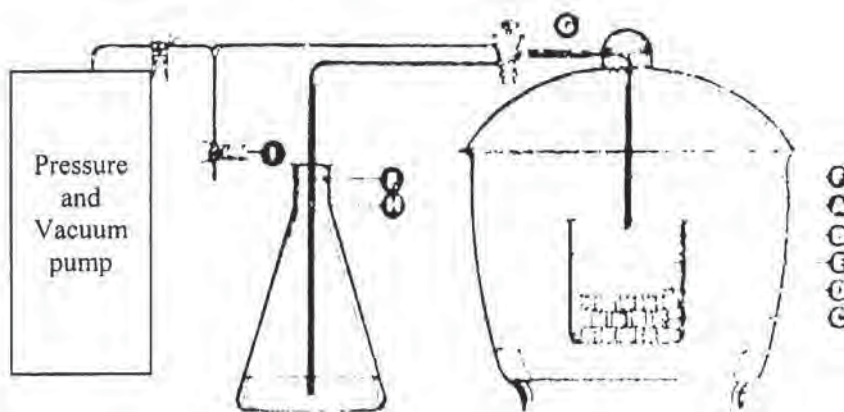
## 2.5 การอัดยางธรรมชาติเข้าในไม้ยางพารา

ทำโดยใช้อุปกรณ์ที่มีลักษณะดังรูปที่ 2.1 โดยมีขั้นตอนคือ

2.5.1 ทำสุญญากาศ โดยบรรจุไม้ยางพาราตัวอย่างที่เตรียมไว้ลงในภาชนะอัดอากาศ แล้วลดความดันโดยใช้ปั๊มสุญญากาศ ให้เหลือความดันประมาณ -0.8 bar นาน 10 นาที (หรือด้วยระยะเวลาอื่นตามที่ระบุไว้) เพื่อไล่อากาศออกจากช่องว่างในเนื้อไม้ยาง

2.5.2 ปลอ่ยสารละลายยางธรรมชาติเข้าสู่ภาชนะอัดอากาศในขณะที่ในภาชนะยังเป็นสุญญากาศ โดยให้สารละลายยางธรรมชาติท่วมไม้ยางพารา แล้วเพิ่มความดันในภาชนะอัดอากาศให้มีค่า 4 bar (หรือที่ความดันอื่นๆตามที่ระบุไว้) ด้วยเครื่องปั๊มอากาศตามระยะเวลาที่กำหนด

2.5.3 ลดแรงอัดที่ใช้ลงเท่ากับความดันบรรยากาศ ถ่ายสารละลายยางธรรมชาติออกจากภาชนะอัดอากาศ แล้วนำไม้ยางพาราที่ผ่านการอัด ไปอบที่อุณหภูมิ 60 °C (หรือที่อุณหภูมิอื่นๆตามที่ระบุไว้) เพื่อระเหยตัวทำละลาย



- A—Vacuum desiccator, internal diameter 250 mm
- B—Plastic or glass treatment beaker
- C—Test wood blocks
- D—Glass or other suitable weight
- E—Treating solution
- F—Polyethylene tubing
- G—Three way stopcock with TFE-fluorocarbon plug
- H—Flask containing treating solution
- J—Glass joint with O ring loading to either vacuum gauge or mercury manometer

รูปที่ 2.1 แสดงอุปกรณ์สำหรับอัดสารละลายยางธรรมชาติเข้าในเนื้อไม้ยางพาราตัวอย่าง

## 2.6 การทดลองอื่นๆ

2.6.1 การทดสอบความต้านทานต่อเชื้อรา ใช้วิธีการตามมาตรฐาน ASTM D 4445

2.6.2 การทดสอบ bending strength ใช้วิธีการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 3043

2.5.3 การทดสอบ thermal gravimetric analysis (TGA) ใช้วิธีการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D

6370

2.5.4 การคำนวณหาค่าน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของตัวอย่าง (weight increasing, %)

$$\text{weight increasing (\%)} = (W_1 - W_0) \times 100 / W_0$$

เมื่อ  $W_1$ ,  $W_0$  = น้ำหนักของไม้ตัวอย่างหลังและก่อนการทดลอง ตามลำดับ

2.5.5 การทดสอบการดูดความชื้นของไม้ ทำโดยนำไม้เข้าไปในตู้ความชื้นสัมพัทธ์ที่ความชื้นสัมพัทธ์  $40 \pm 5\%$  อุณหภูมิ  $20 \pm 3^\circ\text{C}$  แล้วชั่งน้ำหนักตัวอย่างตามระยะเวลาที่กำหนดเพื่อนำค่าของน้ำหนักมาคำนวณหาค่า moisture content (mc) ดังนี้

$$\text{MC \%} = (S_m - S_i) \times 100 / S_i$$

เมื่อ  $S_m$ ,  $S_i$  = น้ำหนักของไม้ตัวอย่างในระหว่างและก่อนนำไม้ตัวอย่างเข้าสู่ ตู้ ตามลำดับ

2.5.5 การทดสอบหาปริมาตรที่เปลี่ยนไปของไม้ ทำโดยแช่ไม้ตัวอย่างในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิห้อง แล้ววัดขนาด กว้าง ยาว และหนา เพื่อใช้คำนวณหาปริมาตรที่เปลี่ยนไปดังนี้

$$S = (V_2 - V_1) / V_1$$

เมื่อ  $S$  = swelling ratio (ปริมาตรที่เปลี่ยน)

$V_1$ ,  $V_2$  = ปริมาตรของไม้ตัวอย่างก่อนและหลังแช่ในน้ำตามลำดับ

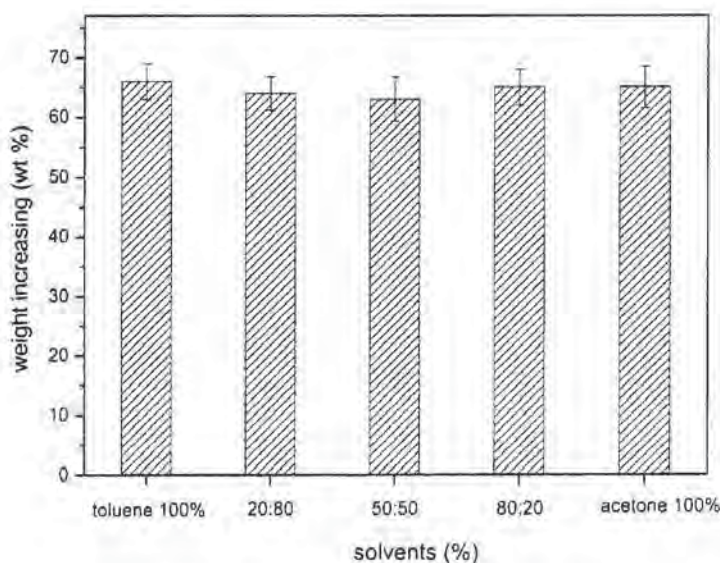
### บทที่ 3

#### ผลการวิจัยและวิจารณ์ผลการวิจัย

#### 3.1 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อปริมาณการอัดยางธรรมชาติเข้าในเนื้อไม้

##### 3.1.1 การแทรกของตัวทำละลายเข้าในเนื้อไม้ยางพารา

ดังที่ได้กล่าวในข้อ 1.3 แล้วว่าการเพิ่มความคงทนต่อการเปลี่ยนขนาดของไม้ นั้นจะต้องลดช่องว่างที่อยู่ระหว่างเซลล์ของเนื้อไม้ (intercellular spaces) ซึ่งต้องอาศัยตัวทำละลายเป็นตัวกลางพาไปยังโมเลกุลอิสระเข้าไป ดังนั้นความสามารถในการแทรกซึมของตัวทำละลายเข้าในเนื้อไม้จึงเป็นปัจจัยที่น่าจะมีอิทธิพลต่อปริมาณการอัดยางธรรมชาติเข้าในเนื้อไม้ อย่างไรก็ตามการเตรียมสารละลายยางต้องใช้ตัวทำละลายที่มีความเป็นขั้วต่ำในขณะที่โครงสร้างหลักของไม้ซึ่งเป็นเซลลูโลสมีความเป็นขั้วสูง ดังนั้นการแทรกซึมของตัวทำละลายที่มีขั้วต่ำเข้าไปในเนื้อไม้ อาจเกิดขึ้นได้ไม่ดี การทดลองนี้จึงมีเพื่อทดสอบความสามารถในการแทรกซึมของตัวทำละลายยาง (toluene) เปรียบเทียบกับตัวทำละลายที่มีขั้วสูง (acetone)

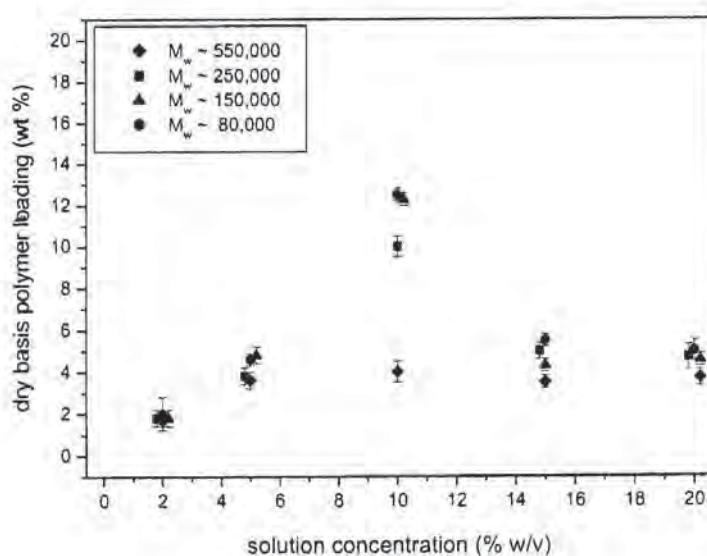


รูปที่ 3.1 แสดงน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของตัวอย่างเนื่องจากการแทรกซึมของตัวทำละลายเข้าในเนื้อไม้ตัวอย่างขนาด  $1 \times 1 \times 10 \text{ cm}^3$

รูปที่ 3.1 แสดงให้เห็นน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของตัวอย่าง (คิดเป็น % เปรียบเทียบกับน้ำหนักแห้งของตัวอย่างก่อนกระบวนการอัดยางธรรมชาติ) ซึ่งบ่งชี้ว่า toluene และ acetone สามารถแทรกซึมเข้าในเนื้อไม้ได้ในระดับเดียวกัน ดังนั้นการใช้ toluene จึงไม่น่าจะมีอิทธิพลต่อการพาโมเลกุลยางธรรมชาติเข้าไปในเนื้อไม้ซึ่งโครงสร้างหลักประกอบด้วยเซลลูโลสซึ่งเป็นโมเลกุลที่มีความเป็นขั้วสูง

### 3.1.2 อิทธิพลของน้ำหนักโมเลกุลและความเข้มข้นของสารละลายยาง

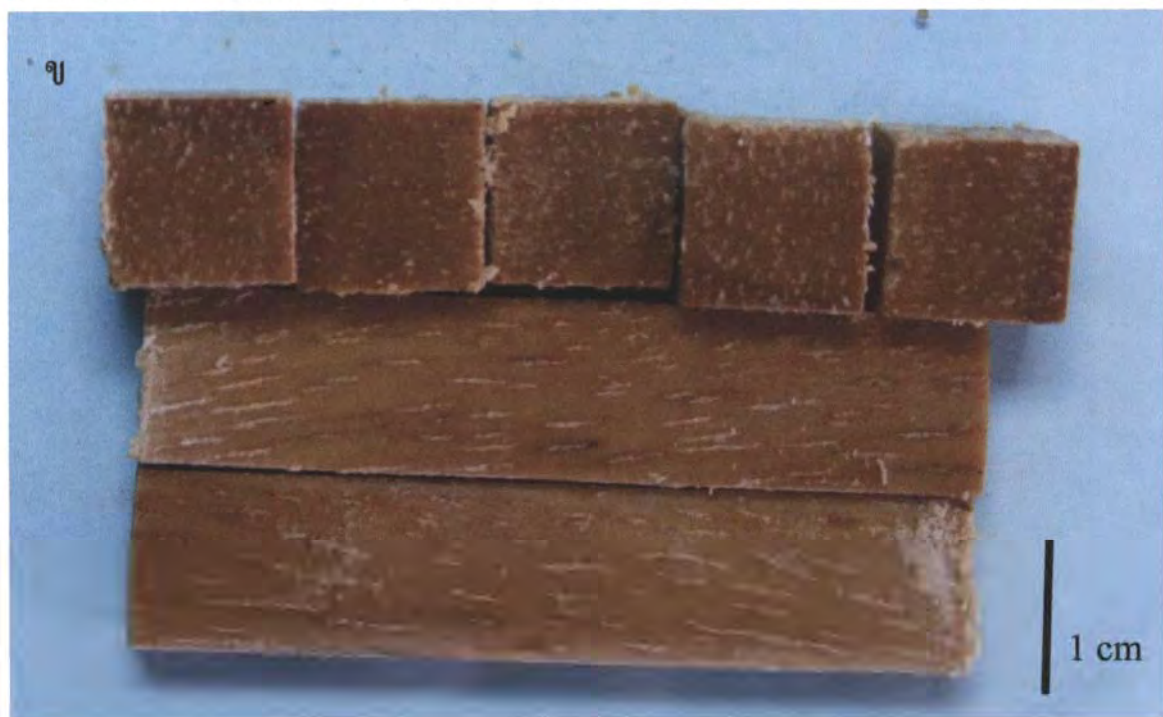
ดังที่ได้กล่าวถึงมาในตอนต้นว่างานวิจัยนี้ต้องการแทนที่ส่วนช่องว่างภายในเซลและระหว่างเซลในเนื้อไม้ด้วยโมเลกุลยางธรรมชาติ ดังนั้นขนาดโมเลกุลของยางธรรมชาติอาจจะมีอิทธิพลต่อการแทรกตัวของโมเลกุลยางเข้าไปในช่องว่างดังกล่าวในเนื้อไม้ การทดลองในครั้งนี้ได้ลองแปรขนาดโมเลกุลของยางธรรมชาติให้แตกต่างกัน 4 ค่าตามวิธีการที่ได้กล่าวถึงในหัวข้อ 2.2 แล้วเตรียมให้อยู่ในรูปสารละลายยางที่มีความเข้มข้นต่างกัน จากนั้นอัดเข้าไปในเนื้อไม้ตัวอย่างขนาด  $1 \times 1 \times 10 \text{ cm}^3$  ด้วยความดัน 4 bar เป็นเวลานาน 4 ชม.



รูปที่ 3.2 แสดงปริมาณการอัดยางธรรมชาติเมื่อใช้ยางธรรมชาติที่มีขนาดโมเลกุลต่างกัน

จากรูปที่ 3.2 จะเห็นแนวโน้มว่า ในเกือบทุกขนาดโมเลกุลของยางธรรมชาติที่ใช้ นั้น ปริมาณการอัดยางธรรมชาติเข้าไปในเนื้อไม้ที่แสดงในเทอมของ polymer loading จะเกิดขึ้นได้น้อยหากใช้ความเข้มข้นของสารละลายยางต่ำหรือสูงเกินไป ความเข้มข้นของสารละลายยางที่เหมาะสมสำหรับการอัดยางธรรมชาติเข้าไปในเนื้อไม้ให้ได้ปริมาณสูงที่สุดคือ 10% w/v นอกจากนั้นผลการทดลองที่แสดงในรูปนี้ได้ชี้ให้เห็นว่า การใช้ยางธรรมชาติที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงเกินไปนั้น ( $M_w \sim 550,000 \text{ g/mol}$ ) ส่งผลให้ปริมาณการอัดยางธรรมชาติเข้าไปในเนื้อไม้มีค่าต่ำ

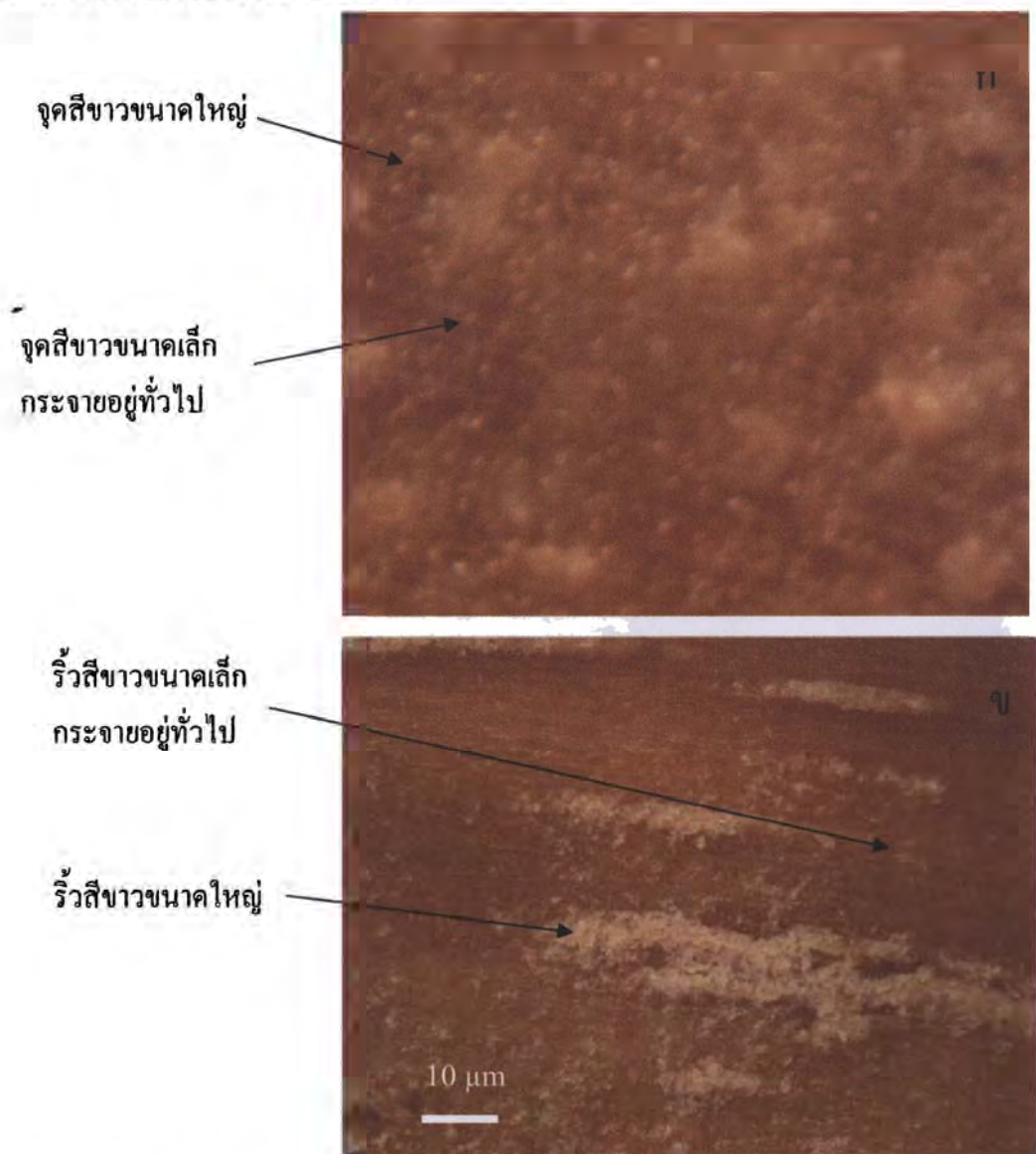
เพื่อยืนยันว่าเกิดการอัดยางธรรมชาติเข้าไปในเนื้อไม้จริง ผู้วิจัยนำไม้ตัวอย่างดังกล่าวที่ผ่านการอัดด้วยยางธรรมชาติแล้วมาตัดตามแนวขวางที่ระยะทุก 2 ซม และตัดตามแนวยาวที่ความหนา 0.5 ซม จากนั้นแช่ตัวอย่างดังกล่าวใน toluene เป็นเวลา 4 ชม. เพื่อให้ส่วนที่เป็นยางพองตัวซึ่งจะง่ายต่อการสังเกต



**รูปที่ 3.3** แสดงลักษณะการเกิดการอัดขวางธรรมชาติเข้าในเนื้อไม้ : (ก) ปริมาณการอัด ~ 5 wt% และ (ข) ปริมาณการอัด ~ 13 wt%

จากรูปที่ 3.3 (ก) และ (ข) แสดงให้เห็นจุดสีขาวในตัวอย่างที่ตัดตามแนวขวางและรั้วสีขาวในตัวอย่างที่ตัดตามแนวยาวซึ่งแสดงถึงส่วนที่เป็นยางธรรมชาติที่บวมพองเนื่องจาก toluene (จะไม่สามารถ

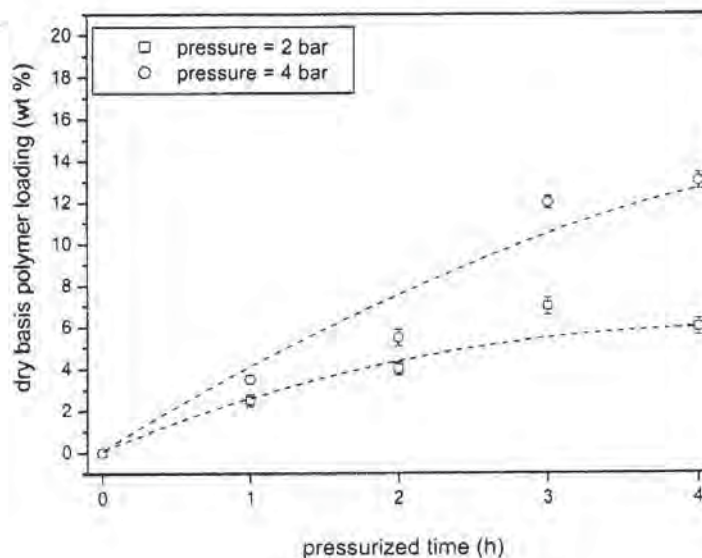
สังเกตเห็นจุดและริ้วดังกล่าวได้หากไม่มีการแช่ตัวอย่างใน toluene มาก่อน) จะเห็นว่าปริมาณของจุดและริ้วดังกล่าวจะเพิ่มขึ้นสอดคล้องกับผลการเพิ่มขึ้นทางธรรมชาติที่ถูกอัดในไม้ตัวอย่าง จากนั้นได้ลองนำตัวอย่างดังกล่าวไปดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ซึ่งพบว่านอกจากจะมีจุดและริ้วสีขาวขนาดใหญ่ตามที่สังเกตเห็นในรูปที่ 3.3 แล้ว ยังมีจุดและริ้วสีขาวเล็กๆอีกมากมายกระจายอยู่ในเนื้อไม้ตัวอย่าง (รูปที่ 3.4) ดังนั้นผลการทดลองในตอนนี้จึงแสดงให้เห็นว่ากระบวนการอัดทางธรรมชาติที่ใช้สามารถช่วยให้โมเลกุลทางธรรมชาติเกิดการแทรกเข้าไปในช่องว่างในเนื้อไม้ได้



**รูปที่ 3.4** แสดงลักษณะการเกิดการอัดทางธรรมชาติเข้าไปในเนื้อไม้เมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ : (ก) ตัวอย่างตัดตามขวาง และ (ข) ตัวอย่างตัดตามยาว

### 3.1.3 อิทธิพลของระยะเวลาในการอัด

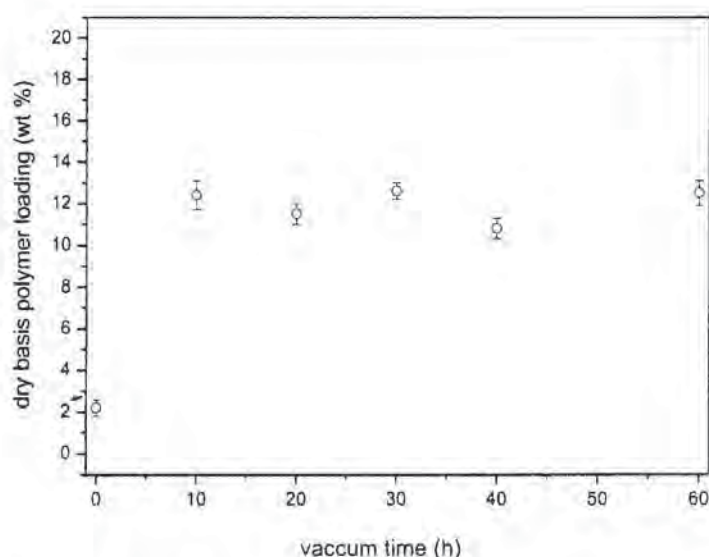
เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการอัดยางธรรมชาติเข้าในเนื้อไม้ (ใช้ยางธรรมชาติที่มี  $M_w \sim 150,000$  g/mol) การทดลองนี้ได้แปรระยะเวลาในการอัดและอัดด้วยความดันสองค่า ซึ่งผลการทดลองในรูปที่ 3.5 แสดงให้เห็นแนวโน้มว่า ปริมาณการอัดยางธรรมชาติเข้าในเนื้อไม้จะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่ใช้ในการอัด อย่างไรก็ตาม ณ ความดันในการอัดเท่ากับ 2 bar นั้นปริมาณการอัดยางธรรมชาติเข้าในเนื้อไม้จะเพิ่มขึ้นและเข้าสู่สมดุลเมื่อระยะเวลาในการอัดเท่ากับ 2 ชม. ปริมาณการอัดยางธรรมชาติจะมีค่าเพิ่มขึ้นหากเพิ่มความดันในการอัดให้สูงขึ้นเป็น 4 bar ซึ่ง ณ ความดันเท่ากับ 4 bar นี้พบแนวโน้มว่า ปริมาณการอัดยางธรรมชาติเข้าในเนื้อไม้ยังคงเพิ่มขึ้นเรื่อยๆตามระยะเวลาที่ใช้ในการอัด ดังนั้นผลการทดลองนี้บ่งชี้ว่า สามารถเพิ่มปริมาณการอัดยางธรรมชาติเข้าในเนื้อไม้ได้ด้วยการเพิ่มระยะเวลาและความดันที่ใช้ในกระบวนการอัด (ในการทดลองนี้ไม่สามารถเพิ่มความดันให้สูงกว่า 4 bar ได้เนื่องจากข้อจำกัดของภาชนะอัดความดันที่ใช้)



รูปที่ 3.5 แสดงปริมาณการอัดยางธรรมชาติเข้าในเนื้อไม้ที่ระยะเวลาการอัดต่างๆ

### 3.1.4 อิทธิพลของระยะเวลาในการทำสุญญากาศ

ดังที่กล่าวถึงในตอนต้นว่า ในกระบวนการอัดยางธรรมชาติเข้าในเนื้อไม้ นั้น จะต้องมีการทำสุญญากาศในช่วงแรกเพื่อให้ง่ายต่อการแทรกซึมของสารละลายและโมเลกุลยางธรรมชาติเข้าในช่องว่างในเนื้อไม้ จึงได้มีการศึกษาอิทธิพลของระยะเวลาในการทำสุญญากาศต่อปริมาณการเกิดการอัดยางธรรมชาติเข้าในเนื้อไม้ตามพาราดังแสดงผลการทดลองในรูปที่ 3.6

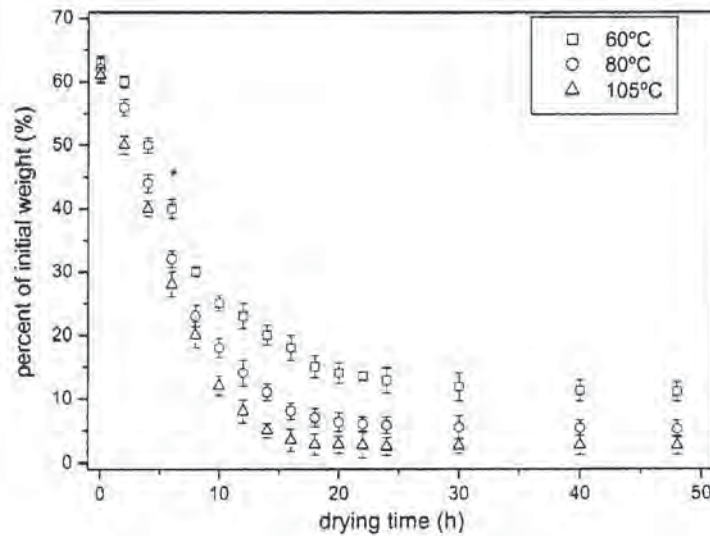


รูปที่ 3.6 แสดงปริมาณการเกิดการอัดของยางธรรมชาติเข้าในเนื้อไม้เมื่อแปรระยะเวลาในการทำสุญญากาศ

ผลการทดลองในรูปที่ 3.6 แสดงให้เห็นว่า ในกระบวนการอัดยางธรรมชาติเข้าในเนื้อไม้ที่ใช้ในงานวิจัยนี้นั้น จำเป็นต้องมีการทำสุญญากาศอย่างน้อยเป็นระยะเวลา 10 นาทีและการทำสุญญากาศที่นานกว่า 10 นาทีไม่มีผลต่อปริมาณการอัดยางธรรมชาติเข้าในเนื้อไม้

### 3.1.5 อิทธิพลของอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งไม้ตัวอย่างที่ผ่านการอัดด้วยสารละลายยาง

ขั้นตอนการอบแห้งเป็นขั้นตอนสุดท้ายในกระบวนการอัดยางธรรมชาติเข้าในเนื้อไม้ เพื่อระเหย toluene ออกจากไม้ตัวอย่าง การทดลองนี้ได้อบไม้ตัวอย่างที่ผ่านการอัดด้วยสารละลายยางธรรมชาติด้วย อุณหภูมิและระยะเวลาในการอบต่างกันแล้วทดลองหาน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงของไม้ตัวอย่าง (เปรียบเทียบกับน้ำหนักแห้งของตัวอย่างก่อนกระบวนการอัดยางธรรมชาติ) ดังแสดงผลการทดลองในรูปที่ 3.7

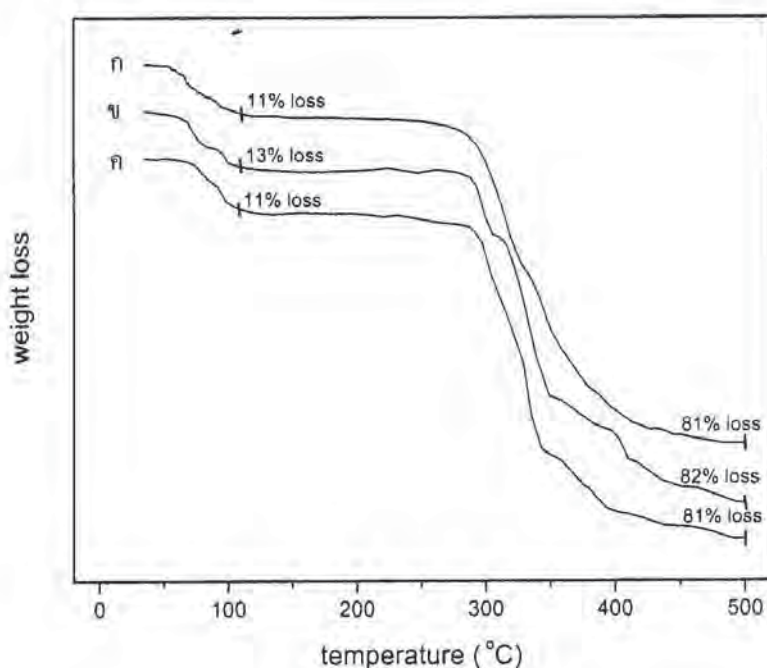


รูปที่ 3.7 แสดงการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักของสารละลายยางในไม้ตัวอย่างในขณะอบแห้ง

จากผลการทดลองในรูปที่ 3.7 ณ เวลา 0 คือน้ำหนัก (คิดเป็น % เปรียบเทียบกับน้ำหนักแห้งของตัวอย่างก่อนกระบวนการอัดยางธรรมชาติ) ของไม้ตัวอย่างขณะก่อนเข้าอบ เมื่อระยะเวลาในการอบผ่านไปจะเห็นถึงการลดลงของน้ำหนักของตัวอย่าง ซึ่งบ่งชี้ถึงการระเหยออกของตัวทำละลายออกจากตัวอย่าง โดยการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 °C น้ำหนักของไม้ตัวอย่างลดลงจนเข้าสู่สมดุลที่ประมาณ 13 wt% (ไม้ตัวอย่างมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นมากกว่าไม้ตัวอย่างเดียวกันนี้ขณะก่อนการอัดยาง 13%) ส่วนการอบที่อุณหภูมิสูงขึ้นที่ 80 และ 105 °C นั้นมีผลให้น้ำหนักของตัวอย่างลดลงจนเข้าสู่สมดุลได้เร็วขึ้นและมีน้ำหนักที่สมดุลประมาณ 5 และ 2 wt% ตามลำดับ การที่น้ำหนักที่สมดุลของตัวอย่างที่อบที่ 80 และ 105 °C นี้มีค่าต่ำกว่าของกรณีที่อบที่ 60 °C น่าจะเกิดจากการไหลของยางออกจากช่องว่างในเนื้อไม้ตัวอย่างในขณะอบที่อุณหภูมิสูงขึ้น หรืออาจเกิดจากการที่มี toluene ตกค้างหลงเหลืออยู่ในตัวอย่างในกรณีอบที่อุณหภูมิ 60 °C ซึ่งเมื่ออบที่อุณหภูมิสูงขึ้น toluene ส่วนดังกล่าวจึงระเหยออกมาได้มากขึ้นน้ำหนักที่สมดุลจึงลดลง อนึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับประเด็นที่ได้รับจากท่านผู้ทรงคุณวุฒิ (ผู้ทรงคุณวุฒิ : “การระเหย toluene ออกจากยางทำได้ยากในกรณีที่สารละลายยางที่มีความเข้มข้นสูงๆ”) เมื่อครั้งนำเสนอความก้าวหน้าของงานวิจัย ในวันที่ 18 มี.ค. 52 (คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์)

ดังนั้นเพื่อเป็นการทดสอบประเด็นของการมี toluene หลงเหลืออยู่ในตัวอย่าง ผู้วิจัยได้ใช้ TGA เพื่อทดสอบหาการลดลงของน้ำหนักไม้ตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการอัดยางธรรมชาติแล้วอบจนน้ำหนักคงที่เมื่อใช้อุณหภูมิที่ต่างกันสองค่าคือ 60 และ 105 °C แล้วเปรียบเทียบผลกับไม้ที่ไม่ผ่านการอัดด้วยยางธรรมชาติ ดังแสดงผลการทดลองในรูปที่ 3.8 ซึ่งพบว่าน้ำหนักของไม้ทั้ง 3 ตัวอย่างดังกล่าวมีการลดลงช่วงแรกก่อนอุณหภูมิ 100 °C โดยน้ำหนักที่ลดลงของไม้ตัวอย่างที่ผ่านการอัดด้วยยางธรรมชาติแล้วอบแห้งที่ 60 °C (ข) มีค่ามากกว่าตัวอย่างอื่นๆประมาณ 2 % ในขณะที่ไม้ตัวอย่างที่ผ่านการอัดยางธรรมชาติ

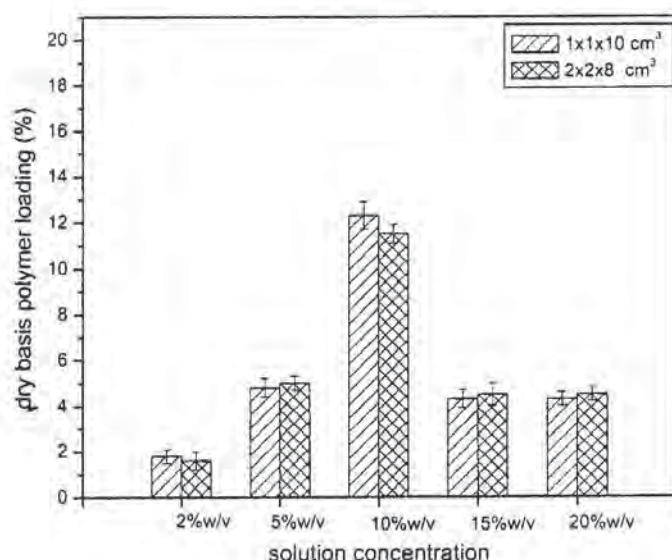
แล้วอบแห้งที่ 105 °C (ค) มีการลดลงของน้ำหนักที่ไม่แตกต่างจากไม้ที่ไม่ผ่านการอัด (ก) จากนั้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้กับไม้ตัวอย่างต่อไปเรื่อยๆ น้ำหนักของไม้ทั้ง 3 ตัวอย่างมีการลดลงอย่างมาก (ประมาณ 70 %) ในช่วงอุณหภูมิ 300-400 °C ซึ่งสอดคล้องกับอุณหภูมิที่เกิดการสลายตัวของเซลลูโลสและยางธรรมชาติ และพบว่าที่อุณหภูมิสุดท้ายของการทดลองคือที่ 500 °C นั้น น้ำหนักที่ลดลงของตัวอย่างทั้งหมดมีค่าใกล้เคียงกันคือ 81-82 % ดังนั้นการที่ไม้ตัวอย่างที่ผ่านการอัดด้วยยางธรรมชาติแล้วอบที่ 60 °C มีน้ำหนักที่ลดลงในช่วงอุณหภูมิ ~ 100 °C มากกว่าตัวอย่างอื่นๆ เล็กน้อยนั้น น่าจะสอดคล้องกับประเด็นของการมี toluene บางส่วน (ไม่เกิน 2 wt%) หลงเหลืออยู่ในยางธรรมชาติที่ถูกอัดอยู่ในเนื้อไม้ตัวอย่างดังกล่าว (toluene มีจุดเดือดที่ 110 °C) ผลการทดลองนี้สะท้อนให้เห็นว่า ประเด็นน้ำหนักที่แตกต่างกันของไม้ตัวอย่างหลังผ่านการอบที่อุณหภูมิ 60, 80 และ 105 °C ที่แสดงในรูปที่ 3.7 นั้น น่าจะมีผลมาจากจากการไหลของยางออกจากช่องว่างในเนื้อไม้ตัวอย่างในขณะอบที่อุณหภูมิสูงขึ้นเป็นหลัก ส่วนการระเหยของ toluene ในขณะอบแห้งเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย



รูปที่ 3.8 แสดงผลการทดลองจาก TGA ของไม้ตัวอย่าง : (ก) ไม้ผ่านการอัดด้วยยางธรรมชาติ (ข) ผ่านการอัดด้วยยางธรรมชาติแล้วอบแห้งที่ 60 °C (ค) ผ่านการอัดด้วยยางธรรมชาติแล้วอบแห้งที่ 105 °C

### 3.1.6 อิทธิพลของพื้นที่ผิวของชิ้นทดสอบ

พื้นที่ผิวของชิ้นทดสอบอาจจะมีผลต่อปริมาณการอัดยางธรรมชาติเข้าในเนื้อไม้ ดังนั้นการทดลองนี้จึงเปรียบเทียบการอัดธรรมชาติเข้าในตัวอย่างไม้ 2 ขนาดที่แตกต่างกัน คือ  $1 \times 1 \times 10 \text{ cm}^3$  และ  $2 \times 2 \times 8 \text{ cm}^3$  ซึ่งพบว่าไม้ตัวอย่างทั้งสองขนาดให้ปริมาณการอัดยางธรรมชาติที่ไม่แตกต่างกันเมื่อใช้สารละลายยางที่มีความเข้มข้น 2, 5, 10, 15 และ 20 % w/v ดังแสดงในรูปที่ 3.9

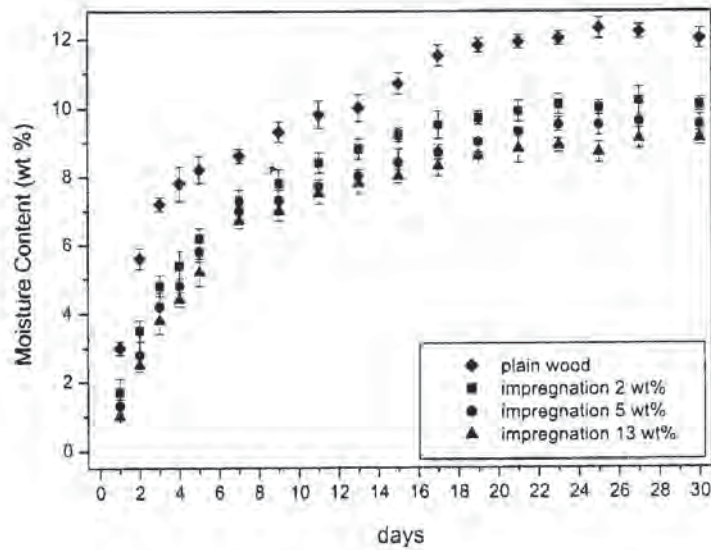


รูปที่ 3.9 แสดงปริมาณของการอัดยางธรรมชาติเข้าในเนื้อไม้เมื่อใช้ชิ้นทดสอบที่มีพื้นที่ผิวต่างกัน

## 3.2 คุณสมบัติของไม้ยางพาราที่ผ่านการอัดด้วยยางธรรมชาติ

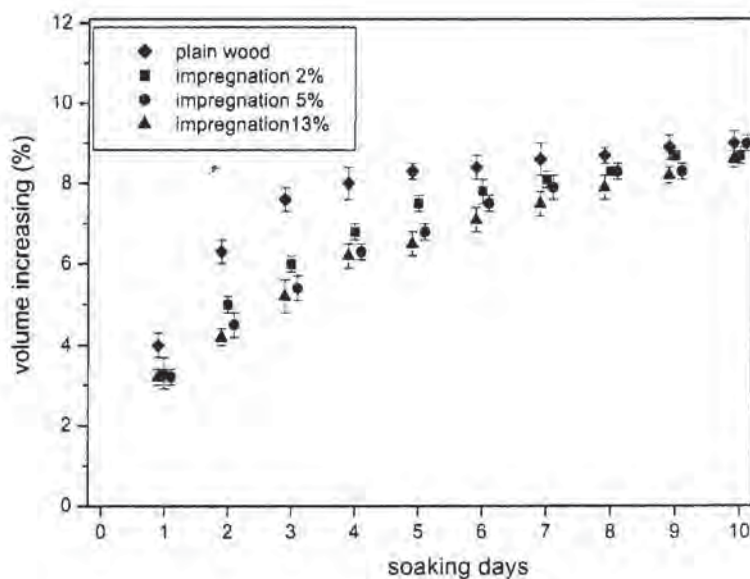
### 3.2.1 คุณสมบัติด้านการดูดความชื้นของไม้

จากผลการทดลองในหัวข้อ 3.1 ที่บ่งชี้ว่าโมเลกุลยางธรรมชาติสามารถเข้าไปแทนที่ช่องว่างในเนื้อไม้ได้บางส่วนซึ่งน่าจะมีผลช่วยให้การดูดความชื้นของไม้ที่ผ่านการอัดด้วยยางธรรมชาติลดลงในระดับหนึ่ง ผู้วิจัยจึงได้ลองนำไม้ที่ผ่านการอัดด้วยยางธรรมชาติ ไปทดสอบการดูดความชื้นโดยใช้ตู้ควบคุมสภาวะที่มีความชื้นสัมพัทธ์ 65% และอุณหภูมิเท่ากับ  $20^\circ\text{C}$  ผลการทดลองในรูปที่ 3.10 แสดงปริมาณความชื้นของแต่ละตัวอย่างซึ่งจะเห็นได้ว่า ผลการทดลองแบ่งเป็นสองกลุ่มอย่างชัดเจน กล่าวคือในระยะแรกอัตราการดูดความชื้นของไม้ยางที่ผ่านการอัดด้วยยางธรรมชาติจะต่ำกว่าไม้ยางที่ไม่ผ่านการอัด (plain wood) และเมื่อความชื้นในไม้ตัวอย่างเข้าสู่สมดุล (equilibrium moisture content) แล้วนั้น ไม้ที่ผ่านการอัดด้วยยางธรรมชาติมีค่าความชื้นที่สมดุลต่ำกว่าไม้ยางที่ไม่ผ่านการอัดประมาณ 2–3 % ส่วนอัตราการดูดความชื้นของไม้ยางตัวอย่างที่มีปริมาณการอัดยางธรรมชาติเท่ากับ ~2, 5 และ 12 wt% มีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนความชื้นที่สมดุลของตัวอย่างทั้งสามดังกล่าวมีแนวโน้มแตกต่างกันเล็กน้อยตามความมากน้อยของปริมาณการอัดยางธรรมชาติเข้าในเนื้อไม้



รูปที่ 3.10 แสดงแนวโน้มการดูดความชื้นของไม้ตัวอย่างที่ผ่านการอัดด้วยยางธรรมชาติเปรียบเทียบกับไม้ที่ไม่ผ่านการอัด

เพื่อให้สามารถสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงขนาดของไม้ตัวอย่างเมื่อมีการดูดความชื้นได้ชัดเจนยิ่งขึ้น ผู้วิจัยได้ทดลองนำตัวอย่างทั้งสี่ชุดเช่นเดียวกับในการทดลองที่แล้ว เช่น น้ำกลั่นจนกระทั่งการเกิดการเปลี่ยนแปลงขนาดเข้าสู่สมดุล แล้ววัดความกว้าง ความยาว และความหนาเพื่อคำนวณหาปริมาตรที่เพิ่มขึ้น ซึ่งพบว่าไม้ยางตัวอย่างที่ผ่านการอัดด้วยยางธรรมชาติมีอัตราการเพิ่มขึ้นของปริมาตรช้าลง กล่าวคือต้องใช้เวลาประมาณ 7-9 วันกว่าที่การเปลี่ยนแปลงของขนาดจะเข้าสู่สมดุล ในขณะที่ไม้ยางที่ไม่ผ่านการอัด (plain wood) ใช้ระยะเวลาเพียง 4 วันดังแสดงผลการทดลองในรูปที่ 3.11 ดังนั้นผลการทดลองในรูปที่ 3.10 และ 3.11 บ่งชี้ว่า การมีโมเลกุลยางธรรมชาติแทรกในเนื้อไม้นั้นช่วยลดการดูดซับความชื้นของไม้ได้ และการมียางธรรมชาติแทรกอยู่ในปริมาณที่สูงขึ้นแสดงแนวโน้มให้เห็นว่าการดูดซับน้ำของตัวอย่างลดลง



รูปที่ 3.11 แสดงการเพิ่มขึ้นของปริมาตรในขณะแช่น้ำของไม้ตัวอย่างที่ผ่านการอัดด้วยยางธรรมชาติเปรียบเทียบกับไม้ที่ไม่ผ่านการอัด

### 3.2.2 คุณสมบัติด้านความต้านทานต่อการเกิดราที่ผิวไม้

จากผลการทดลองที่พบว่าโมเลกุลยางธรรมชาติสามารถเข้าไปแทนที่ช่องว่างบางส่วนในเนื้อไม้ตัวอย่างที่ผ่านการอัดได้ ส่งผลให้ความสามารถในการดูดซับความชื้นของไม้ตัวอย่างดังกล่าวลดลง ดังนั้นโอกาสที่เชื้อราจะเจริญได้ดีบนไม้ตัวอย่างนี้จึงน่าจะลดลงด้วย เพื่อทดสอบสมมติฐานนี้ผู้วิจัยได้เลี้ยงเชื้อราสามชนิดซึ่งเป็นเชื้อราที่พบมากที่สุดสามชนิดแรกบนผิวของไม้ยางพารา<sup>11</sup> ได้แก่ *Aspergillus niger*, *Penicilium sp.* และ *Penicillium chrysogenum* บนไม้ตัวอย่างที่ผ่านการอัดด้วยยางธรรมชาติเปรียบเทียบกับไม้ที่ไม่ผ่านการอัด และได้แสดงผลการทดลองไว้ในตารางที่ 3.1 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า (การทดลองนี้ดำเนินไปได้ทั้งสิ้น 21 วัน) ในช่วงระยะ 7 วันแรกนั้นผลการทดลองเป็นไปตามที่คาดการณ์ไว้ คือเชื้อรามีการเจริญบนไม้ตัวอย่างที่ผ่านการอัดด้วยยางธรรมชาติได้น้อยกว่าตัวอย่างที่ไม่ผ่านการอัด อย่างไรก็ตามเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นเป็น 14 วัน การเจริญของเชื้อราบนไม้ตัวอย่างที่ผ่านการอัดด้วยยางธรรมชาติและไม้ตัวอย่างที่ไม่ผ่านการอัดจะอยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกันคือ 1.2 – 1.3 ยกเว้นไม้ตัวอย่างที่มีปริมาณการอัดด้วยยางธรรมชาติเท่ากับ 2 wt% ที่มีการเจริญของเชื้อราต่ำที่สุดคือมีค่า 0.7 และหลังจากระยะเวลาผ่านไปเป็น 21 วัน ก็ยังพบว่าไม้ตัวอย่างที่ผ่านการอัดด้วยยางธรรมชาติ 2 wt% มีการเจริญของเชื้อราบนผิวไม้ต่ำที่สุดคือมีค่า 1.3 ในขณะที่ไม้ตัวอย่างที่มีปริมาณการอัดยางธรรมชาติเท่ากับ 13 wt% กลับมีการเจริญของเชื้อราสูงที่สุดคือ 2.1 ส่วนไม้ตัวอย่างที่มีปริมาณการอัดยางธรรมชาติเท่ากับ 5 wt% มีการเจริญของเชื้อราสูงเป็นลำดับถัดมาและสูงใกล้เคียงกับไม้ตัวอย่างที่ไม่ผ่านการอัด คือมีค่า 1.8-1.9 (การทดลองได้ทำกับไม้ยางพาราสดที่

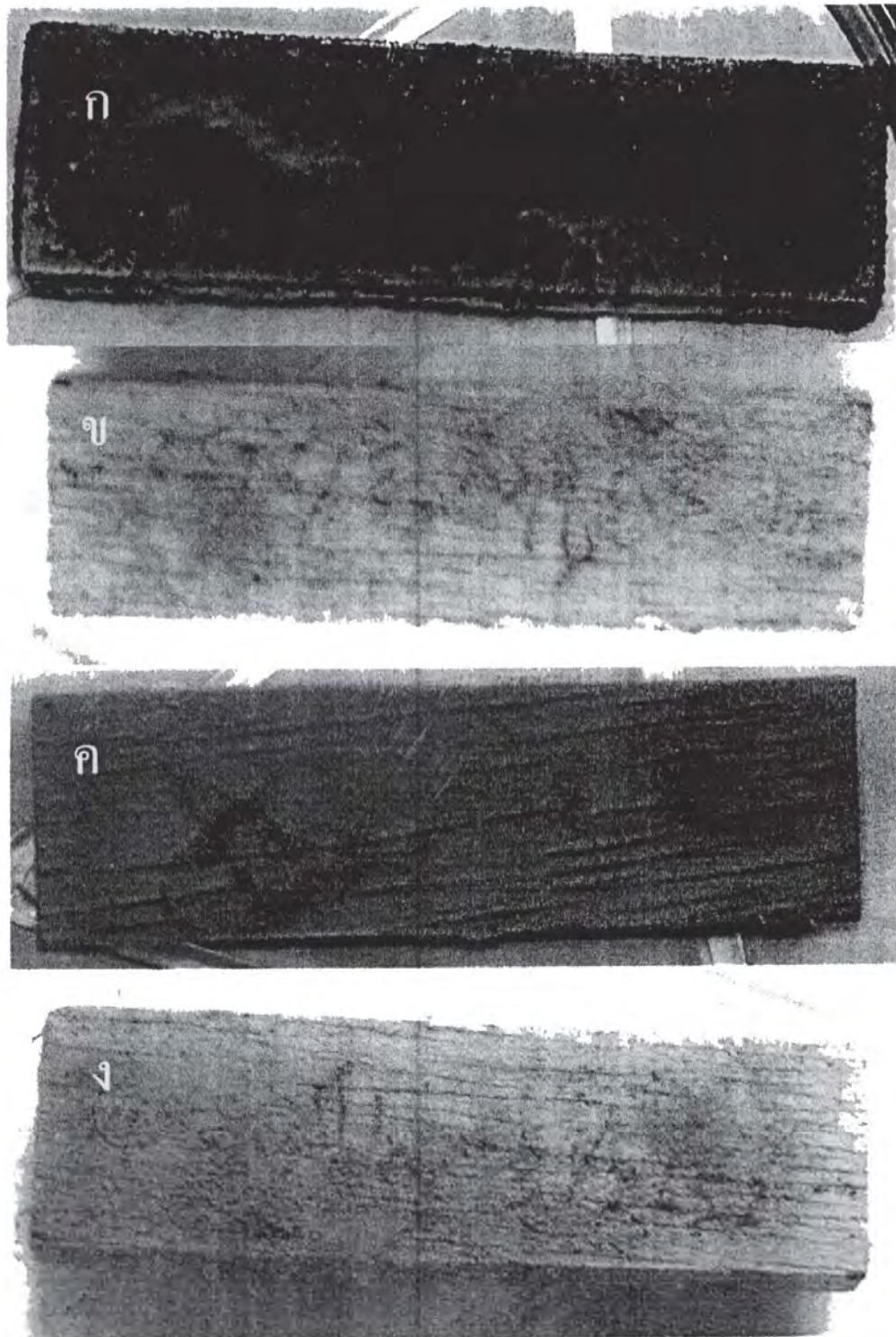
ไม่ผ่านขั้นตอนการอบที่ 105 °C ด้วยเพื่อเป็นการเปรียบเทียบ) และได้แสดงลักษณะการเจริญของเชื้อราบนผิวไม้สำหรับบางตัวอย่างไว้ในรูปที่ 3.12

ตารางที่ 3.1 แสดงผลการเจริญของเชื้อราทั้ง 3 ชนิดบนไม้ตัวอย่าง

|        | ตัวอย่าง                    | <i>Aspergillus niger</i> | <i>Penicilium sp.</i> | <i>Penicillium chrysogenum</i> | เฉลี่ย |
|--------|-----------------------------|--------------------------|-----------------------|--------------------------------|--------|
| 7 วัน  | ไม้ไม่ผ่านการอัดยางธรรมชาติ | 1.2                      | 0.2                   | 0.1                            | 0.5    |
|        | ปริมาณการอัดยาง 2 wt%       | 0.4                      | 0.2                   | 0                              | 0.2    |
|        | ปริมาณการอัดยาง 5 wt%       | 0.6                      | 0.2                   | 0                              | 0.3    |
|        | ปริมาณการอัดยาง 13 wt%      | 1.0                      | 0                     | 0                              | 0.3    |
| 14 วัน | ไม้ไม่ผ่านการอัดยางธรรมชาติ | 1.6                      | 1.0                   | 1.2                            | 1.3    |
|        | ปริมาณการอัดยาง 2 wt%       | 0.8                      | 1.0                   | 0.4                            | 0.7    |
|        | ปริมาณการอัดยาง 5 wt%       | 1.3                      | 1.2                   | 1.0                            | 1.2    |
|        | ปริมาณการอัดยาง 13 wt%      | 1.6                      | 1.2                   | 1.2                            | 1.3    |
| 21 วัน | ไม้ไม่ผ่านการอัดยางธรรมชาติ | 1.8                      | 2.2                   | 1.8                            | 1.9    |
|        | ปริมาณการอัดยาง 2 wt%       | 1.2                      | 1.6                   | 1.0                            | 1.3    |
|        | ปริมาณการอัดยาง 5 wt%       | 2.0                      | 2.0                   | 1.4                            | 1.8    |
|        | ปริมาณการอัดยาง 13 wt%      | 2.4                      | 1.8                   | 2.2                            | 2.1    |

หมายเหตุ : 0 = ไม่มีเชื้อราเจริญบนตัวอย่าง, 5 = มีเชื้อราเจริญเต็มพื้นที่บนตัวอย่าง

ไม้ยางสดมีการเจริญของเชื้อราเท่ากับ 5 ที่ระยะเวลา 21 วัน

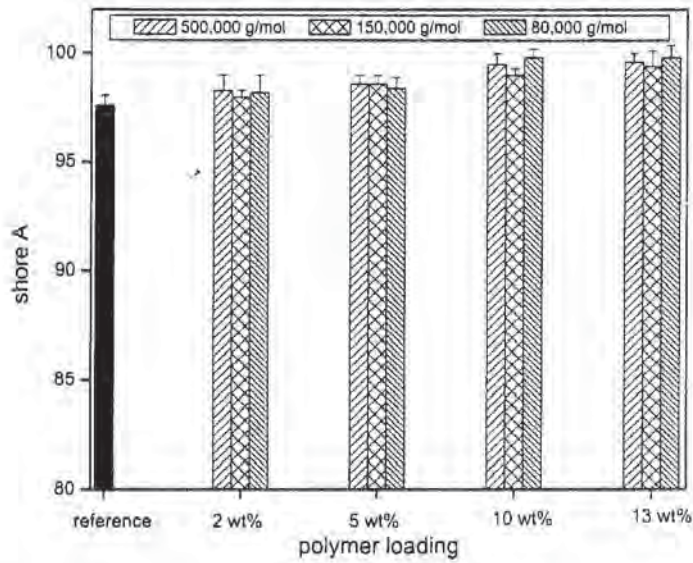


รูปที่ 3.12 แสดงการเจริญของเชื้อรา (*Aspergillus niger*) บนผิวไม้ตัวอย่างเมื่อใช้ระยะเวลาในการทดลองนาน 21 วัน : (ก) ไม้ยางพาราสด : การเจริญของราเท่ากับ 5, (ข) ไม้ยางที่ไม่ผ่านการอัดยางธรรมชาติ : การเจริญของราเท่ากับ 1.9, (ค) ไม้ยางที่มีปริมาณการอัดยาง ~ 2 wt% : การเจริญของราเท่ากับ 1.3, (ง) ไม้ยางที่มีปริมาณการอัดยาง ~ 13 wt% : การเจริญของราเท่ากับ 2.1

ผลการทดลองในตอนนี้นับชี้ว่า ไม้ตัวอย่างที่ผ่านการอัดด้วยยางธรรมชาติ ~ 2 wt% มีความสามารถในการต้านการเจริญของเชื้อราได้ดีที่สุด ส่วนไม้ตัวอย่างที่ผ่านการอัดด้วยยางธรรมชาติ ~ 5 และ 13 wt% สามารถชะลอการเกิดเชื้อราที่ผิวไม้ได้เป็นระยะเวลา 7 วัน แต่หลังจากนั้นกลับเกิดการเจริญของเชื้อราในระดับที่ใกล้เคียงและสูงกว่าไม้ที่ไม่ผ่านการอัดตามลำดับ ทั้งนี้ผลการทดลองนี้ (ซึ่งทำการทดลองที่ความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับ 100%) สอดคล้องกับผลการทดลองที่ได้แสดงไว้รูปที่ 3.11 กล่าวคือในช่วงระยะเวลา 7 วันแรกของการแช่น้ำ ไม้ตัวอย่างที่ผ่านการอัดด้วยยางธรรมชาติจะมีความสามารถในการดูดซับน้ำได้ต่ำกว่าไม้ที่ไม่ผ่านการอัด จึงส่งผลต่อปริมาณความชื้นในไม้ซึ่งมีผลต่อการเจริญของเชื้อราบนตัวอย่างดังกล่าว แต่หลังจากที่ไม้ตัวอย่างทั้งหมดดูดซับน้ำจนระดับความชื้นในเนื้อไม้เข้าสู่ภาวะสมดุลแล้วนั้น (หลังจากการทดลองในวันที่ 7 เป็นต้นไป) เชื้อราในไม้ตัวอย่างจึงสามารถเจริญได้ใกล้เคียงกัน ยกเว้นในตัวอย่างที่มีปริมาณการอัดยางธรรมชาติ ~ 2 wt% เนื่องจากมีอัตราการเจริญของเชื้อราต่ำที่สุดมาตั้งแต่ต้น และยังพบแนวโน้มด้วยว่าตัวอย่างที่มีปริมาณยางธรรมชาติ ~ 5 และ 13 wt% กลับมีการเจริญของเชื้อราในระดับที่ใกล้เคียงและสูงกว่าไม้ที่ไม่ผ่านการอัดด้วยยางธรรมชาติตามลำดับ ทั้งนี้คาดว่าเนื่องจากยางธรรมชาติในปริมาณดังกล่าวที่อยู่ในเนื้อไม้กลายเป็นแหล่งอาหารของเชื้อราทั้งสามชนิดนี้ (มีรายงานว่าพบเชื้อราทั้งสามนี้บนผิวยางแผ่นดิบด้วย)<sup>12</sup>

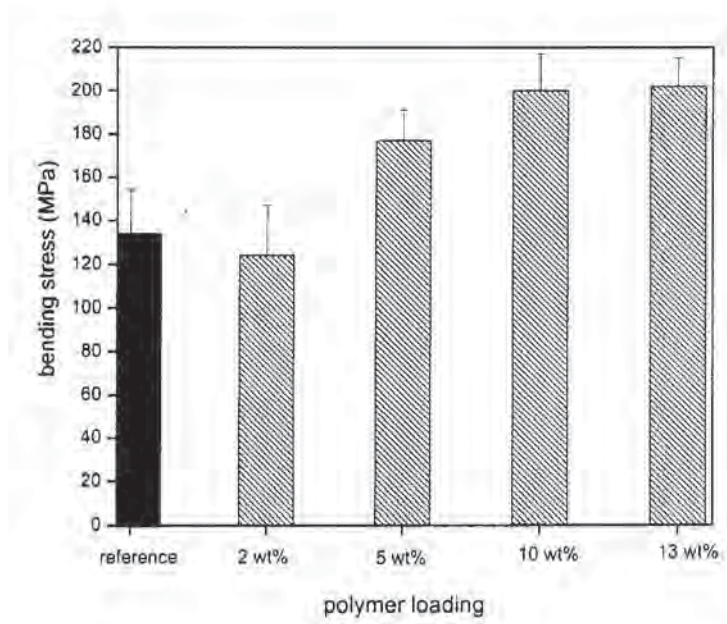
### 3.2.3 คุณสมบัติด้านความแข็งแรงของไม้

เพื่อเป็นการทดสอบคุณสมบัติด้านความแข็งแรงที่เปลี่ยนไปของไม้ยางพาราที่อัดด้วยยางธรรมชาติเปรียบเทียบกับไม้ที่ไม่ผ่านการอัด ผู้วิจัยได้วัดค่าความแข็ง (shore A) ของไม้ตัวอย่างที่ผ่านการอัดด้วยยางธรรมชาติในปริมาณที่แตกต่างกันและถูกเตรียมให้มีขนาดโมเลกุลต่างกัน ซึ่งพบว่าไม้ที่ผ่านการอัดด้วยยางธรรมชาติในปริมาณต่ำๆ นั้น (2 และ 5 wt%) จะมีค่าความแข็งเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และหากมีปริมาณการอัดยางธรรมชาติสูงขึ้นเป็น 10 และ 13 wt% ค่าความแข็งของไม้ตัวอย่างจะเพิ่มขึ้น เป็น ~ 100 shore (ตัวอย่างที่ไม่ผ่านการอัด (reference) มีค่าความแข็ง ~ 98 shore) ดังแสดงผลการทดลองในรูปที่ 3.13 อย่างไรก็ตามผลการทดลองนี้ไม่แสดงให้เห็นถึงแนวโน้มของความแตกต่างของค่าความแข็งเมื่อใช้ยางธรรมชาติที่มีขนาดโมเลกุลต่างกัน



รูปที่ 3.13 แสดงค่าความแข็งของไม้ตัวอย่างที่มีปริมาณการอัดยางธรรมชาติต่างกัน

จากนั้นได้ทดลองวัดค่า bending strength ของไม้ตัวอย่างที่ผ่านการอัดโดยใช้ยางธรรมชาติที่มีน้ำหนักโมเลกุล ( $M_w$ ) เท่ากับ 150,000 g/mol ซึ่งพบว่าค่า bending strength มีแนวโน้มสูงขึ้นตามปริมาณของยางธรรมชาติเมื่อใช้ยางธรรมชาติตั้งแต่ 5 wt% ขึ้นไปดังแสดงผลในรูปที่ 3.14 ดังนั้นผลการทดลองทั้งสองนี้บ่งชี้ได้ว่ายางธรรมชาติในปริมาณที่เหมาะสมที่เข้าไปแทนที่ช่องว่างในเนื้อไม้ น่าจะมีผลให้ความแข็งแรงของไม้ยางพาราเพิ่มขึ้นได้



รูปที่ 3.14 แสดงค่า bending strength ของไม้ตัวอย่างที่มีปริมาณการอัดยางธรรมชาติต่างกัน

## บทที่ 4

### บทสรุป

#### 4.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ศึกษากระบวนการอัดขยายธรรมชาติเข้าในเนื้อของไม้ยางพารา ซึ่งเริ่มต้นด้วยการทำสุญญากาศเพื่อไล่อากาศออกจากช่องว่างในเนื้อไม้ จากนั้นใช้ความดันอัดโมเลกุลของธรรมชาติที่อยู่ในรูปสารละลายให้ไหลเข้าแทนที่ช่องว่างในเนื้อไม้ดังกล่าวแล้วระเหยเอาตัวทำละลายออก พบว่าปริมาณการอัดขยายธรรมชาติเข้าในเนื้อไม้จะขึ้นอยู่กับ ความเข้มข้นของสารละลายยาง ความดันและระยะเวลาที่ใช้ในการอัด และอุณหภูมิที่ใช้ระเหยตัวทำละลาย ซึ่งปริมาณที่สูงที่สุดของการอัดขยายธรรมชาติเข้าในเนื้อไม้ที่ได้จากงานวิจัยคือ  $\sim 13$  wt%

เมื่อได้ทดสอบความสามารถในการดูดซับความชื้นของไม้ตัวอย่างที่ผ่านการอัดด้วยธรรมชาติเปรียบเทียบกับไม้ที่ไม่ผ่านการอัด พบว่าความสามารถในการดูดซับความชื้นเมื่อเข้าสู่สมดุลของไม้ที่ผ่านการอัดด้วยธรรมชาติมีค่าลดลงเกือบ 4% และพบว่าการเปลี่ยนแปลงขนาดจนเข้าสู่สมดุลเมื่อมีการดูดซับความชื้นเกิดขึ้นช้าลงถึง 5 วัน ส่วนไม้ตัวอย่างที่มีปริมาณการอัดขยายธรรมชาติแตกต่างกัน (2 - 13 wt%) นั้น พบแนวโน้มว่าไม้ที่มีปริมาณการอัดขยายธรรมชาติสูงกว่าจะมีคุณสมบัติด้านการดูดซับความชื้นและการเปลี่ยนแปลงของขนาดน้อยกว่า สำหรับการทดสอบความต้านทานต่อการเกิดราที่ผิวของไม้ที่ผ่านการอัดด้วยธรรมชาตินั้นพบว่า ไม้ที่ผ่านการอัดด้วยธรรมชาติปริมาณ  $\sim 2$  wt% มีการเจริญของราที่ผิวน้อยกว่าไม้ที่ไม่ผ่านการอัดเกือบ 2 เท่าที่ระยะเวลา 21 วัน ส่วนไม้ตัวอย่างอื่นๆที่ผ่านการอัดด้วยธรรมชาติจะสามารถลดการเจริญของราได้ดีเฉพาะช่วงระยะเวลาไม่เกิน 7 วัน

การอัดขยายธรรมชาติเข้าในเนื้อไม้ในงานวิจัยนี้มีผลให้ความแข็งแรงของไม้ตัวอย่างเพิ่มขึ้น  $\sim 3\%$  และค่า bending strength เพิ่มขึ้นกว่า 50%

#### 4.2 ข้อเสนอแนะเพื่อทำการวิจัยเพิ่มเติม

4.2.1. ควรศึกษาวิธีเพิ่มปริมาณการอัดขยายธรรมชาติเข้าในเนื้อไม้ เนื่องจากพบแนวโน้มว่าปริมาณของธรรมชาติในเนื้อไม้มีผลต่อการต้านการดูดซับความชื้นและเพิ่มความแข็งแรงของไม้ยางพารา ดังนั้นจึงควรพัฒนากระบวนการอัดเพื่อให้สามารถเพิ่มปริมาณการแทรกตัวของธรรมชาติเข้าในเนื้อไม้ให้สูงกว่า 13 wt% ยกตัวอย่างเช่น การเพิ่มความดันในขั้นตอนการอัดให้สูงขึ้น

4.2.2. จากผลการทดลองที่ได้จาก TGA ที่พบว่าไม้ตัวอย่างที่ผ่านการอัดด้วยธรรมชาติแล้วอบแห้งที่  $60^{\circ}\text{C}$  มีการลดลงของน้ำหนักในช่วงอุณหภูมิประมาณ  $90 - 120^{\circ}\text{C}$  มากกว่าน้ำหนักของไม้ที่ไม่ผ่านการอัดและไม้ที่อบแห้งที่อุณหภูมิ  $105^{\circ}\text{C}$  อยู่  $\sim 2\%$  ซึ่งคาดว่าจะเป็นเกิดจากการที่มี toluene หลงเหลืออยู่ในตัวอย่างไม้ดังกล่าว (toluene มีจุดเดือดที่  $\sim 110^{\circ}\text{C}$ ) ผลการทดลองดังกล่าวนี้สอดคล้องกับประเด็นที่ผู้วิจัยได้รับการแนะนำจากท่านผู้ทรงคุณวุฒิ (ผู้ทรงคุณวุฒิ : "การระเหย toluene ออกจากยางทำได้ยากในกรณีที่สารละลายที่มีความเข้มข้นสูงๆ") เมื่อครั้งนำเสนอความก้าวหน้าของงานวิจัย ในวันที่ 18

มี.ค. 52 ที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ซึ่งน่าจะสามารถยืนยันการหลงเหลืออยู่ของ toluene ในตัวอย่างดังกล่าวได้ด้วยเทคนิค gas chromatography อนึ่งตัวทำละลายที่หลงเหลืออยู่ดังกล่าว อาจจะมีผลให้ผลิตภัณฑ์ไม่ผ่านมาตรฐานการส่งออกได้

อย่างไรก็ตามเมื่อใช้อุณหภูมิสูงขึ้นอบแห้งไม้ตัวอย่าง เช่น 105 °C เทคนิค TGA ไม่แสดงหลักฐานให้เห็นถึงการหลงเหลืออยู่ของ toluene และจากผลการวิจัยนี้ไม่พบว่า toluene ปริมาณดังกล่าวมีอิทธิพลต่อ ผลการทดลองอื่นๆ เช่น ความสามารถในการดูดความชื้น การต้านทานการเกิดราที่ผิว และความแข็งแรง ของไม้ตัวอย่าง

4.2.3. ควรศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ยางธรรมชาติในรูปน้ำยางอัดเข้าในเนื้อไม้ เนื่องจาก งานวิจัยนี้ใช้สารละลายยางเพื่อพาโมเลกุลยางธรรมชาติเข้าสู่ช่องว่างในเนื้อไม้ ซึ่งตัวทำละลายช่วยให้ โมเลกุลยางอยู่ในสถานะ unperturbed state นั่นคือโมเลกุลยางมีโอกาสจะอยู่เป็น โมเลกุลเดี่ยวๆที่ปราศจาก การพันเกี่ยวกัน จึงง่ายต่อการเกิด reptation ของสายโซ่ยางเข้าไปในช่องว่างของเนื้อไม้ ดังนั้นหากสามารถ ประยุกต์ใช้ยางธรรมชาติในรูปน้ำยางเพื่ออัดเข้าในเนื้อไม้ จะลดขั้นตอนและต้นทุนของกระบวนการผลิตลง ได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องศึกษาขนาดของอนุภาคยางที่เปลี่ยนไปหลังจากการตัดสายโซ่ยางให้สั้นลงว่า สอดคล้องกับขนาดของช่องว่างในเนื้อไม้หรือไม่

### 4.3 เอกสารอ้างอิง

1. <http://www.decorliving.com/index.php?lay=show&ac=article&Ntype=1&Id=571472>, accessed May 2008.
2. <http://www.108wood.com>. Accessed, May 2008.
3. <http://161.200.134.28/News-Detail.asp?TID=1&ID=88>, accessed June 2008.
4. R. R. Devi, I. Ali and T. K. Maji, Chemical modification of rubber wood with styrene in combination with crosslinker: effect on dimensional stability and strength property, *Biores. Technol.* 2003, 88, 185-188.
5. ตัวอย่างของการทำ impregnation ให้แก่ไม้จากป่าโดยใช้พอลิเมอร์สังเคราะห์ได้จาก: S. Grelier, A. Castellán and L. Podgorski, Use of low molecular modified polystyrene to prevent photodegradation of clear softwoods for outdoor use, *Polym. Degrad. Stab.* 2007, 92, 1520-1527. E. H. Bakraji, N. Salman, Properties of wood-plastic composites: effect of inorganic additives, *Radia. Phys. Chem.* 2003, 66, 49-53.
6. D. Solpan and O. Guven, Preservation of beach and spruce wood by allyl alcohol-based copolymers, *Radiat. Phys. Chem.* 1999, 54, 583-591.
7. A. Uyttenhove and B. Tilquin, Wood xyloall: New process to reduce water exchange by an intra-graft of polymer, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*, 2005, 236, 137-140.
8. S. B. Elvy, G. R. Dennis and L. Ng, Effects of coupling agent on the physical properties of wood-polymer composites, *J. Mat. Proc. Technol.* 1995, 48, 365-372.
9. W. S. Smith, Foundation of materials science and engineering. McGraw-Hill, Singapore, 1993, p.625-33.
10. G. Matolcsy, Pesticide chemistry. Amsterdam : Elsevier, New York, 1988, p.652-91.
11. Na. Matan and Ni. Matan, Antifungal activities of anise oil, lime oil, and tangerine oil against molds on rubberwood, *International Biodeterioration & Biodegradation*, 2008, 62, 75-78.
12. O. F. Esuruoso, Fungi that cause mouldiness of processed sheet rubber, *Mycopathologia*, 1970, 42, 187-189.

คำชี้แจงการแก้ไขรายงานฉบับสมบูรณ์ตามข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิ  
ความเห็นด้านการพิมพ์ (Editorial)

1. ตรวจสอบการใช้คำว่า “stress” ควรเป็น “strength” ในทุกๆ ที่ของรายงาน  
ได้แก้ไขตามที่ผู้ทรงคุณวุฒิแนะนำ
2. หน้า 4 บรรทัดที่ 4 คำว่า “สารลาย” แก้เป็น “สารละลาย”  
ได้แก้ไขตามที่ผู้ทรงคุณวุฒิแนะนำ
3. หน้า 11 ข้อ 2.5.1 ควรระบุขนาดของไม้ยางด้วย เพราะมีผลต่อการทดลอง  
ขนาดของไม้ตัวอย่างที่ใช้ทดลองได้ระบุไว้ใน บทที่ 2 ข้อ 2.1 แล้ว จึงไม่ขอกล่าวซ้ำในหน้า 11 ข้อ  
2.5.1 อย่างไรก็ตามเพื่อความชัดเจน ผู้วิจัยได้ระบุขนาดของไม้ตัวอย่างไว้ในผลการทดลองทุกตอน
4. หน้า 14 ควรระบุให้ชัดเจนว่าตัดไม้ตัวอย่างห่างจากปลายเท่าไร คือควรบอกเป็นค่าที่ห่างออกไปจากผิว  
ได้แก้ไขเป็น “ผู้วิจัยนำไม้ตัวอย่างดังกล่าวที่ผ่านการอัดด้วยยางธรรมชาติแล้วมาตัดตามแนวขวางที่  
ระยะทุก 2 ซม และตัดตามแนวยาวที่ความหนา 0.5 ซม” และได้เพิ่มเติมข้อความ “แสดงให้เห็นจุดสี  
ขาวในตัวอย่างที่ตัดตามแนวขวางและรูสีขาวในตัวอย่างที่ตัดตามแนวยาวซึ่งแสดงถึงส่วนที่เป็นยาง  
ธรรมชาติที่บวมพองเนื่องจาก toluene” ลงในหน้า 15 ด้วย เพื่อความชัดเจนยิ่งขึ้น
5. รูปที่ 3.4 ควรแสดงเป็นภาพสีเพื่อความชัดเจน  
ได้แก้ไขตามที่ผู้ทรงคุณวุฒิแนะนำ (รูปที่ 3.3 ด้วย)
6. รูปที่ 3.5 คำอธิบายแกน y ควรเป็น *dry basis* และแกน x ควรเป็น *pressurized*  
ได้แก้ไขตามที่ผู้ทรงคุณวุฒิแนะนำและได้แก้ไขในรูปอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องด้วย
7. รูปที่ 3.7 คำอธิบายแกน y ควรเป็น *percent of initial weight (before impurgation)* ส่วนแกน x ควรเป็น  
*drying time*  
ได้แก้ไขตามที่ผู้ทรงคุณวุฒิแนะนำและได้แก้ไขในหน้า 19 บรรทัดที่ 1 เป็น “(เปรียบเทียบกับ  
น้ำหนักแห้งของตัวอย่างก่อนกระบวนการอัดยางธรรมชาติ)”
8. จากรูปที่ 3.7 แสดงว่าที่จุดเริ่มต้นมี % weight เท่ากับ 60% ถูกต้องหรือไม่  
มีน้ำหนักเพิ่มขึ้นเท่ากับ 60% เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำหนักแห้งของตัวอย่างก่อนกระบวนการอัดยาง  
ธรรมชาติ เพื่อความชัดเจน ผู้วิจัยได้แก้ไขในหน้า 19 บรรทัดที่ 1 แล้ว

## ความเห็นด้านวิชาการ (Technical)

### 1. มีการรายงานความเป็นวิชาการดีมาก

2. การระบุ *Molecular weight* ของยางที่ผ่านการบด *mastication* ตามเงื่อนไขต่าง ๆ นั้น ยังไม่ปรากฏวิธีการที่บ่งชี้การได้ค่า *molecular weight* ระดับต่างๆ และควรแสดงผลการทดสอบค่าเหล่านั้น

รายงานการวิจัยได้ระบุวิธีการทดสอบเพื่อหาค่า *molecular weight* ( $M_w$ ) ของยางที่ผ่านการบดไว้แล้วใน บทที่ 2 หัวข้อ 2.3 และได้แสดงผลการทดสอบ (ซึ่งคือค่า  $M_w$ ) ไว้แล้วในรูปที่ 3.2

3. หน้าที่ 19 บรรทัดที่ 7 การอธิบายว่า น้ำหนักที่สมดุลของตัวอย่างที่อบที่  $80^\circ\text{C}$  และ  $150^\circ\text{C}$  ต่ำกว่า  $60^\circ\text{C}$  น่าจะเกิดการไหลยางออกจากช่องว่างนั้น ถ้ายางไหลออกก็ต้องเห็น น่าจะเป็นประเด็น *toluene* ตกค้างมากกว่า

น้ำหนักที่สมดุลของไม้ตัวอย่างที่ผ่านการอบที่ 60, 80 และ  $105^\circ\text{C}$  มีค่าเท่ากับ 13, 5 และ 2% (ของน้ำหนักแห้งของตัวอย่างก่อนกระบวนการอัดยางธรรมชาติ) ตามลำดับ ในขณะที่ผลการทดลองที่ได้จาก TGA (รูปที่ 3.8) บ่งชี้ว่าปริมาณของ *toluene* ที่ตกค้างในไม้ตัวอย่างที่ผ่านการอบที่ 60 และ  $105^\circ\text{C}$  มีประมาณ 2 และ 0% ตามลำดับ ดังนั้นน้ำหนักที่แตกต่างกันของไม้ตัวอย่างหลังผ่านการอบที่อุณหภูมิ 60, 80 และ  $105^\circ\text{C}$  จึงน่าจะมีผลมาจากจากการไหลของยางออกจากช่องว่างในเนื้อไม้ตัวอย่างในขณะที่อุณหภูมิสูงขึ้นเป็นหลัก ส่วนการระเหยของ *toluene* ในขณะอบแห้งเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย

เพื่อให้ประเด็นนี้ชัดเจนยิ่งขึ้น ผู้วิจัยได้เพิ่มเติมประโยคในหน้าที่ 20 ดังนี้ “ผลการทดลองนี้สะท้อนให้เห็นว่า ประเด็นน้ำหนักที่แตกต่างกันของไม้ตัวอย่างหลังผ่านการอบที่อุณหภูมิ 60, 80 และ  $105^\circ\text{C}$  ที่แสดงในรูปที่ 3.7 นั้น น่าจะมีผลมาจากจากการไหลของยางออกจากช่องว่างในเนื้อไม้ตัวอย่างในขณะที่อบที่อุณหภูมิสูงขึ้นเป็นหลัก ส่วนการระเหยของ *toluene* ในขณะอบแห้งเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย”

### 4. ควรพัฒนาโครงการต่อ โดยใช้น้ำยางแทน *rubber solution*

เห็นด้วยอย่างยิ่งกับผู้ทรงคุณวุฒิและในรายงานวิจัยได้กล่าวถึงประเด็นการใช้น้ำยางแทนสารละลายยางไว้ใน หัวข้อ (4.2) ข้อเสนอแนะเพื่อทำการวิจัยเพิ่มเติม