รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การใช้ความเค้นที่เกิดขึ้นในเนื้อไม้ระหว่างการอบควบคุมกระบวนการอบไม้ยางพารา
Utilization of internal stress generated during drying for rubberwood drying kiln control

คณะผู้วิจัย

1. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิรันดร มาแทน หัวหน้าโครงการ
2. นายใจเพ็ชร โต๊ะหมาด ผู้ช่วยวิจัย

ศูนย์วิจัยความเป็นเลิศด้านวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมไม้
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และทรัพยากร
มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ จังหวัดนครศรีธรรมราช

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยประเภท ทุนงบประมาณแผ่นดิน
มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์
ประจำปีงบประมาณ 2558 สัญญารับทุนเลขที่ WU58104

สารบัญ

	หน้า
รายละเอียดโครงการวิจัย	**1**
สารบัญ	**2**
กิตติกรรมประกาศ	**3**
บทคัดย่อ	**4**
Abstract	**5**
บทที่ 1 บทนำ	**6**
1.1 ที่มาและความสำคัญ	6
1.2 วัตถุประสงค์	8
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย	8
1.4 กรอบแนวคิดของโครงการวิจัย	8
บทที่ 2 การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	**9**
2.1 การเกิดความเค้นในไม้ระหว่างการอบ	9
2.2 เทคนิคมาตรฐานสำหรับตรวจสอบความเค้นในไม้	10
2.3 เทคนิคการวัดความเค้นในไม้ระหว่างการอบแบบต่อเนื่องที่พัฒนาโดยผู้วิจัย	11
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	**14**
3.1 ไม้ยางพารา	14
3.2 เตาอบไม้ยางพารา	14
3.3 การวัดผลการทดลอง	16
3.4 สภาวะการอบที่ใช้ในการทดลองและการควบคุมความเค้นในไม้	19
บทที่ 4 ผลและวิเคราะห์ผลการทดลอง	**21**
4.1 การเปลี่ยนแปลงความเค้น	21
4.2 การเปลี่ยนแปลงความชื้น	27
4.3 การพัฒนาอัลกอริทึมสำหรับควบคุมความเค้นในไม้	28
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	**36**
เอกสารอ้างอิง	**37**

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ สำหรับทุนทุนอุดหนุนการวิจัยประเภททุนงบประมาณแผ่นดิน มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ ประจำปีงบประมาณ 2558 สัญญารับทุนเลขที่ WU58104

ขอขอบคุณ ศูนย์วิจัยความเป็นเลิศด้านวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมไม้ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และทรัพยากร และศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ สำหรับการสนับสนุนเครื่องมือสำหรับการวิจัยตลอดจนการอำนวยความสะดวกต่างๆระหว่างการดำเนินงานวิจัย

ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สถาพร จันทวี และนายทวีศิลป์ วงศ์พรต สำหรับคำแนะนำและความช่วยเหลือในการทดลองอบไม้

คณะผู้วิจัย

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อสร้างระบบควบคุมการอบแบบอัตโนมัติโดยใช้ค่าความเค้นในเนื้อไม้ที่เกิดขึ้นระหว่างการอบเป็นตัวแปรควบคุม โดยนำการนำข้อมูลความเค้นในเนื้อไม้ไปควบคุมกระบวนการอบไม้ยางพาราขนาดความหนา 30 มิลลิเมตร ทั้งนี้ระบบควบคุมการอบที่ออกแบบและสร้างขึ้นสามารถควบคุมขนาดของแรงไม่ให้มีค่าเกินขนาดที่กำหนดในช่วงแรกของการอบก่อนการกลับทิศของความเค้นได้โดยการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในเตาอบ ระบบจะควบคุมให้มีการเปิดปล่องระบายอากาศหากขนาดของแรงมีค่าต่ำกว่าค่าที่ตั้งไว้ ในทางตรงข้ามระบบจะควบคุมให้มีการสเปรย์ไอน้ำหากขนาดของแรงมีค่าสูงกว่าค่าที่ตั้งไว้ ในการอบแบบสองขั้นตอนที่มีการควบคุมขนาดของแรงในช่วงแรกก่อนการกลับทิศของความเค้นแล้วตามด้วยการอบแบบรุนแรงในช่วงที่สอง พบว่าค่าความเค้นสุดท้ายที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับสภาวะการอบแบบรุนแรงตลอดการอบ ผลดังกล่าวเกิดขึ้นเนื่องจากในช่วงแรกของการอบก่อนการกลับทิศของความเค้นถึงแม้จะมีการควบคุมขนาดของแรงแล้วก็ตามแต่หากค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในบางช่วงมีค่าต่ำเกินไปจะทำให้อัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าแรงในช่วงนี้มีค่าสูง ซึ่งจะมีผลต่อค่าแรงสูงสุดในช่วงที่สองของการอบภายใต้สภาวะการอบแบบรุนแรงโดยจะทำให้ค่าแรงในช่วงที่สองมีค่าสูงขึ้น เพื่อการควบคุมค่าความเค้นในไม้ผู้วิจัยได้นำเสนออัลกอริทึมสำหรับการอบไม้ซึ่งต้องควบคุมทั้งขนาดของแรงและอัตราการเปลี่ยนแปลงของแรงในช่วงแรกของการอบ โดยค่าดังกล่าวจะมีผลต่อค่าความเค้นตกค้างในไม้หลังการอบหลังจากทำการอบเร่งด้วยสภาวะการอบแบบรุนแรงของไม้ในช่วงหลัง โดยในช่วงหลังสามารถเร่งการอบได้โดยค่าแรงและอัตราการเปลี่ยนแปลงของแรงไม่มีผลต่อค่าความเค้นตกค้างในไม้หลังการอบ ความชื้นไม้จะมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงแรกของการอบและลดลงช้าลงในช่วงที่สองเมื่อไม้มีความชื้นต่ำกว่าจุดหมาด อัตราการแห้งของไม้โดยรวมจะขึ้นอยู่กับค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในเตาอบ สภาวะการอบที่ประกอบด้วยช่วงที่มีค่าความชื้นสัมพัทธ์อากาศสูงเป็นระยะเวลานานๆจะทำให้การแห้งของไม้ช้าลง ดังนั้นการควบคุมความเค้นในไม้จึงต้องพิจารณาอัตราการแห้งของไม้ควบคู่ไปด้วย

Abstract

The main objective of this research is to develop an automatically wood drying controlled system by using internal stress information obtained from the restoring force measurement. The developed system is capable of controlling the magnitude of the restoring force in the first stage of drying before stress reversal. Vents are continuously opened if the force magnitude is smaller than the predetermined value. On the other hand, once the force magnitude is greater than the set value, vents are then closed and if necessary steam is introduced to increase humidity inside the drying kiln. In a two-step drying schedule, the restoring force is controlled at a particular level in the first stage of drying followed by a more severe drying in the second stage after stress reversal. However, it was found that the final restoring force value left within the lumber after drying using this two-step drying schedule is approximately at the same level as using the severe drying schedule for the entire drying process. In the early stage of drying prior to stress reversal, there are some moments that humidity inside the drying kiln is relatively low causing an abrupt change in the force magnitude. It was observed that not only the magnitude of the force but also a rate of changing in the restoring force in the early stage that affects the final restoring force value obtained in the second stage of drying under the severe drying condition. In order to limit the magnitude of the internal stress in the second drying stage, the author proposes an algorithm to control both the magnitude and the rate of the restoring force in the early stage of drying. By this means, the final value of the restoring force after drying is largely unaffected by the severe drying schedule performed in the second stage of drying. Examination of drying rate of the lumber during drying reveals that moisture content of the lumber decreases quickly in the first stage of drying. After reaching the fiber saturation point, the drying rate of the lumber becomes very much slower. Furthermore, the drying schedules containing more periods of relatively high humidity during the first stage of drying usually produce longer drying times. Therefore, controlling of the internal stress level within lumber must be compromised with the reduced drying rate of lumber during the drying process.

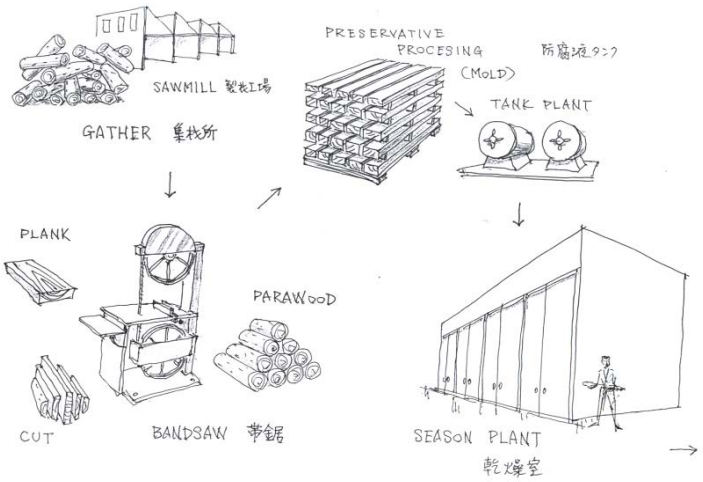
บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ยางพารา (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.) เป็นไม้ยืนต้นขนาดใหญ่ เนื้อไม้จัดอยู่ในประเภทไม้ Hardwood มีสมบัติทางกลหลายประการเทียบเท่าไม้สัก ยางพาราเป็นพืชเศรษฐกิจของประเทศซึ่งจุดประสงค์หลักของการปลูกยางพาราเพื่อต้องการน้ำยาง แต่เมื่ออายุได้ 25 ถึง 30 ปี ยางพาราให้น้ำยางได้น้อยลง เกษตรกรทำการตัดฟันเพื่อปลูกทดแทน ในอดีตไม้ยางพาราที่ได้จากตัดฟันเกษตรกรมักเผาทิ้งภายในสวนยางหรือนำไปเผาถ่านแต่เมื่อปี พ.ศ. 2532 รัฐบาลได้ประกาศยกเลิกการทำสัมปทานเพื่อป้องกันการลดลงอย่างรวดเร็วของพื้นที่ป่า เป็นการตัดทอนแหล่งวัตถุดิบไม้ ในขณะที่ปริมาณความต้องการไม้ของอุตสาหกรรมไม้เพิ่มสูงขึ้น ทำให้ผู้ประกอบการในภาคอุตสาหกรรมไม้หันมาให้ความสนใจไม้ยางพารา เนื่องจากไม้ยางพารามีศักยภาพเพียงพอที่จะทดแทนการใช้ไม้จากป่าธรรมชาติและเป็นวัตถุดิบที่ยั่งยืนให้กับอุตสาหกรรมไม้หลายประเภทโดยเฉพาะอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องเรือน และผลิตภัณฑ์แผ่นไม้ประกอบ ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากไม้ยางพารายังได้รับการรับรองจากองค์กรระหว่างประเทศว่าเป็นผลิตภัณฑ์ซึ่งได้จากป่าที่มีการจัดการแบบยั่งยืนและเป็นผลผลิตที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ช่วยส่งเสริมให้การส่งออกผลิตภัณฑ์จากไม้ยางพาราขยายตัวอย่างรวดเร็ว

กระบวนการผลิตไม้ยางพาราแปรรูปในโรงงานอุตสาหกรรมประกอบด้วย กระบวนการหลัก 3 ขั้นตอน (รูปที่ 1.1) คือ การเลื่อยไม้ซุงยางพาราเป็นไม้แปรรูปขนาดต่างๆ การอัดน้ำยาโบรอนเข้าไปในไม้ยางพาราแปรรูปป้องกันการเข้าทำลายของเชื้อราและแมลง และการอบไม้ยางพาราแปรรูปที่ผ่านการอัดน้ำยาแล้วภายในห้องอบ (รูปที่ 1.2)



รูปที่ 1.1 ไม้ท่อนยางพาราถูกเลื่อยเป็นไม้ยางพาราแปรรูป ก่อนนำไปอัดน้ำยารักษาเนื้อไม้และอบให้มีความชื้นเหมาะสมกับสภาวะที่ต้องการนำไปใช้งาน (ภาพวาดโดย T. Odawara)

กระบวนการอบไม้เป็นขั้นตอนที่ใช้เวลาและพลังงานมากที่สุดในการผลิตไม้ยางพาราแปรรูปในโรงงานอุตสาหกรรม ความพยายามที่จะลดระยะเวลาและพลังงานการอบลงโดยการเร่งกระบวนการเคลื่อนตัวของน้ำออกจากไม้ให้เร็วขึ้น เช่น การเพิ่มอุณหภูมิการอบ หรือการลดความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในเตาอบ

โดยไม่ตรวจสอบสมบัติไม้ระหว่างการอบสามารถทำให้เกิดความเสียหายแก่ไม้ เช่น เกิดการโก่ง เกิดการแตกทั้งภายในเนื้อไม้ บริเวณผิวไม้ และบริเวณปลายไม้ได้ โดยสาเหตุหลักของความเสียหายดังกล่าวเกิดจากความเค้นในเนื้อไม้ในทิศทางตั้งฉากเสี้ยนที่เกิดขึ้นระหว่างการอบไม้เนื่องมาจากการหดตัวที่ไม่พร้อมกันของบริเวณผิวไม้และแกนกลางของไม้ (Simpson 1991, Perré 1999) ลักษณะการเปลี่ยนแปลงและขนาดของความเค้นในเนื้อไม้ดังกล่าวขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยระหว่างการอบ เช่น อุณหภูมิ ความชื้น และอัตราเร็วลมภายในเตาอบ (Simpson 1991, Tarvainen et al. 2006, Pang 2004)

โดยทั่วไประบบควบคุมการอบไม้อัตโนมัติที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมมักจะใช้ความชื้นในเนื้อไม้เป็นปัจจัยบ่งชี้สำหรับเร่งกระบวนการอบไม้ให้เร็วขึ้น (Simpson 1991) อย่างไรก็ตามค่าความชื้นไม้ที่วัดได้ในไม้ระหว่างการอบดังกล่าวไม่ได้เป็นค่าบ่งชี้ความเค้นภายในเนื้อไม้ที่เกิดขึ้นจริง ดังนั้นจึงไม่เหมาะสมสำหรับนำมาใช้ควบคุมกระบวนการอบไม้ให้มีประสิทธิภาพได้ (McMillen 1963, Fuller 2000) ระบบที่สามารถวัดลักษณะการเปลี่ยนแปลงและขนาดของความเค้นภายในเนื้อไม้ที่เกิดขึ้นระหว่างการอบเป็นเหตุผลสำคัญสำหรับการพัฒนาระบบควบคุมการอบแบบใหม่ที่นำข้อมูลจากไม้ที่ถูกอบมาเป็นตัวแปรที่ใช้ควบคุมกระบวนการอบของไม้เอง โดยข้อมูลดังกล่าวจะถูกแปรเป็นข้อมูลค่าตัวแปรต่างๆที่ใช้ในกระบวนการอบเช่น อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์อากาศ โดยระบบจะอบไม้ด้วยอัตราการแห้งที่สูงที่สุดเพื่อประหยัดเวลาและพลังงานโดยควบคุมค่าความเค้นในเนื้อไม้น้อยกว่าค่าวิกฤตที่ทำให้เกิดความเสียหายในเนื้อไม้

รูปที่ 1.2 เตาอบไม้ยางพาราในโรงงานอุตสาหกรรม

1.2 วัตถุประสงค์

- เพื่อศึกษาผลของปัจจัยต่างๆระหว่างการอบไม้เช่น อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์อากาศ ต่อการเปลี่ยนแปลงของความเค้นภายในเนื้อไม้และอัตราการแห้งของไม้ยางพาราระหว่างการอบ
- เพื่อสร้างอัลกอรึทึมในการนำข้อมูลความเค้นในเนื้อไม้และอัตราการแห้งของไม้ไปคำนวณหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการอบไม้ยางพารา
- เพื่อสร้างระบบควบคุมการอบแบบอัตโนมัติโดยใช้ค่าความเค้นในเนื้อไม้ที่เกิดขึ้นระหว่างการอบเป็นตัวแปรควบคุม

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

ทำการศึกษาผลของสภาวะการอบต่อความเค้นภายในเนื้อไม้และอัตราการแห้งของไม้ยางพารา และทำการพัฒนาระบบควบคุมการอบไม้ยางพาราแบบใหม่โดยใช้ข้อมูลความเค้นภายในเนื้อไม้เป็นตัวแปรควบคุมการอบให้รวดเร็วและประหยัดพลังงานที่สุดโดยไม่ทำให้ไม้เสียหาย โดยในเบื้องต้นจะดำเนินการทดลองโดยใช้ไม้ยางพาราแปรรูปที่มีความหนา 30 มิลลิเมตร

1.4 กรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย

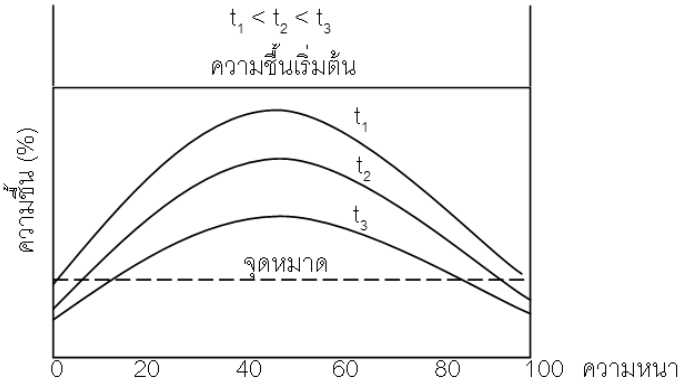
คณะผู้วิจัยหน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมไม้ ได้ออกแบบและประดิษฐ์เครื่องมือเพื่อตรวจวัดความเค้นในไม้แบบต่อเนื่อง (บุญนำ เกี่ยวข้องและคณะ 2551) ซึ่งประสบผลสำเร็จในการติดตามทั้งลักษณะการเปลี่ยนแปลงและขนาดของความเค้นภายในเนื้อไม้ระหว่างการอบ (Diawanich et al., 2010, Tomad et al., 2012) ในงานวิจัยนี้คณะผู้วิจัยต้องการขยายผลงานวิจัยดังกล่าวโดยต้องการศึกษาผลของสภาวะการอบต่อความเค้นภายในเนื้อไม้และอัตราการแห้งของไม้ยางพารา และพัฒนาระบบควบคุมการอบไม้ยางพาราแบบใหม่ที่มีประสิทธิภาพสูง โดยใช้ข้อมูลความเค้นภายในเนื้อไม้เป็นตัวแปรควบคุมการอบให้รวดเร็วและประหยัดพลังงานที่สุดโดยไม่ทำให้ไม้เสียหาย

บทที่ 2

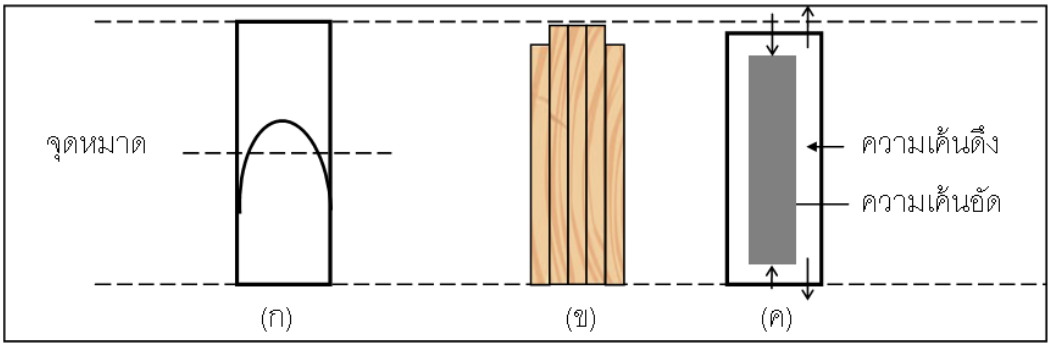
การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 การเกิดความเค้นในไม้ระหว่างการอบ

สำหรับการอบไม้แปรรูปที่มีความหนา ในระยะแรกของการอบความชื้นที่ผิวไม้ระเหยออกมาก่อนทำให้ความชื้นที่ผิวไม้มีค่าต่ำกว่าความชื้นที่กลางไม้ (รูปที่ 2.1) โดยที่ไม้ยังไม่มีการหดตัวจนกระทั่งความชื้นที่ผิวของไม้มีค่าต่ำกว่าจุดหมาด ทำให้ไม้บริเวณนี้เริ่มมีการหดตัว แต่การหดตัวที่ผิวจะถูกดึงโดยเนื้อไม้บริเวณกลางไม้ที่ยังมีปริมาณความชื้นสูงกว่าจุดหมาด จึงทำให้ที่ผิวของไม้เกิดความเค้นดึงขึ้น โดยที่บริเวณกลางไม้ซึ่งมีมากกว่าอยู่ภายใต้ความเค้นอัด อนึ่งหากความเค้นดึงที่เกิดขึ้นมีค่าสูงเกินไปอาจทำให้เกิดการแตกที่ผิวไม้ (Surface checks) ได้ในช่วงแรกของการอบ (รูปที่ 2.2)

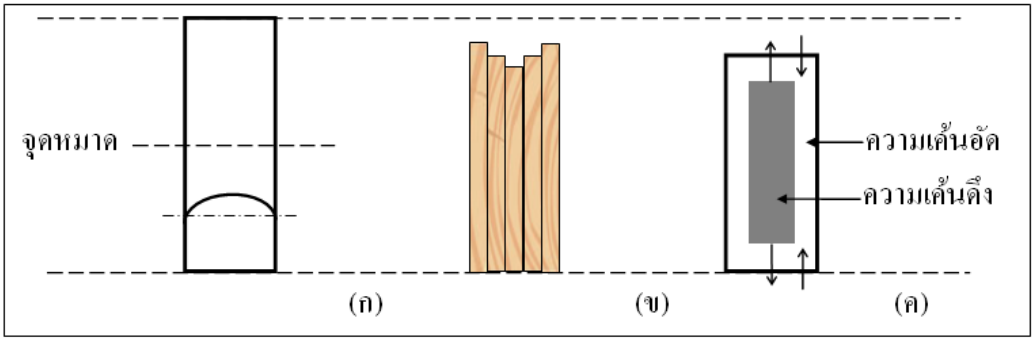


รูปที่ 2.1 ความชื้นในไม้ระหว่างการอบที่เวลาต่างๆ (Simpson et al., 1991)



รูปที่ 2.2 การเกิดความเค้นในเนื้อไม้ (ก) ความชื้นที่ผิวไม้ต่ำกว่าจุดหมาด (ข) การหดตัวที่ผิวไม้เมื่อทำการตัดเพื่อคลายความเค้น (ค) ความเค้นดึงและอัดที่เกิดที่ผิวและกลางไม้ ตามลำดับ (Perré, 2007)

หลังจากนี้ส่วนต่างๆ ของไม้จะถูกอบภายใต้ความเค้น โดยที่ผิวไม้แห้งภายใต้ความเค้นดึงและที่กลางไม้แห้งภายใต้ความเค้นอัด ทำให้ผิวไม้มีการหดตัวน้อยกว่าปกติภายใต้ความเค้นดึงและที่กลางไม้มีการหดตัวมากกว่าปกติภายใต้ความเค้นอัด ซึ่งเป็นผลมาจากการคืบของไม้แบบวิสโคอีลาสติก (Viscoelastic) และแมคคาโนซอฟทีฟ (Mechano-sorptive) จนความเค้นเปลี่ยนทิศโดยที่กลางไม้เปลี่ยนไปเป็นความเค้นดึงและที่ผิวไม้เปลี่ยนไปเป็นความเค้นอัด ถ้าหากความเค้นดึงที่เกิดขึ้นมีค่าสูงเกินไปอาจทำให้เกิดการแตกภายในเนื้อไม้ได้ (Internal checks) เมื่อสิ้นสุดกระบวนการอบทำให้มีความเค้นคงค้างภายในเนื้อไม้ โดยที่ผิวไม้มีความเค้นอัดและที่กลางไม้มีความเค้นดึง (รูปที่ 2.3)



รูปที่ 2.3 ความเค้นในเนื้อไม้หลังการอบ (ก) ความชื้นที่กลางไม้ต่ำกว่าจุดหมาด (ข)การหดตัวที่กลางไม้เมื่อทำการตัดเพื่อคลายความเค้น (ค) ความเค้นอัดและดึงที่เกิดที่ผิวและกลางไม้ ตามลำดับ (Perré, 2007)

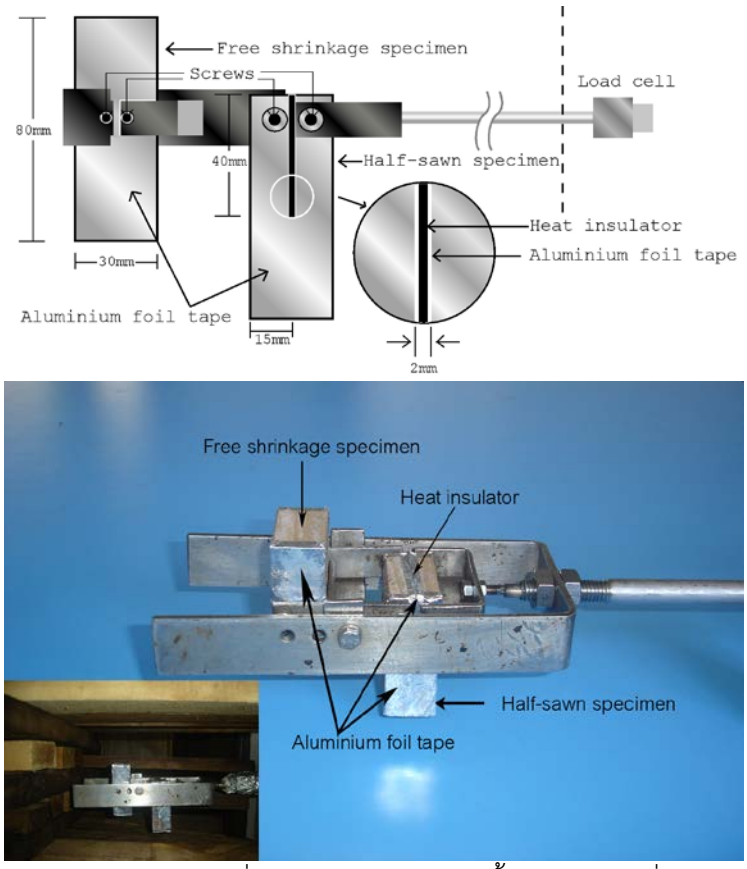
2.2 เทคนิคมาตรฐานสำหรับตรวจสอบความเค้นในไม้

เทคนิคมาตรฐานหลายวิธีการได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อตรวจสอบลักษณะการเปลี่ยนแปลงและระดับของความเค้นในเนื้อไม้ทั้งในระหว่างและหลังการอบ เช่น การทดสอบแบบซี่ซ่อม (prong test) (Simpson 1991) การทดสอบแบบ McMillen (McMillen 1963) และ การทดสอบแบบ case-hardening (the European Committee for Standardization 2002) อย่างไรก็ตามเทคนิคทั้งหมดดังกล่าวเป็นเทคนิคการวัดค่าความเค้นในเนื้อไม้ที่ไม่ต่อเนื่องและต้องทำลายตัวอย่างในการวัด จึงไม่สามารถนำติดตามและวัดความเค้นในไม้แบบต่อเนื่องได้อย่างมีประสิทธิภาพ นักวิจัยหลายท่านได้พยายามตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงของความเค้นในเนื้อไม้นี้อย่างต่อเนื่องโดยทางอ้อม เช่น Fuller (2000) ได้ทำการวัดการหดตัวของไม้ระหว่างการอบเพื่อตรวจสอบเวลาที่เกิดการเปลี่ยนทิศของความเค้นและเวลาที่เกิดความเค้นสูงสุด Brandao and Perré (1996) พัฒนา non-symmetrical drying test โดยการเคลือบผิวไม้ให้เหลือเพียงหน้าเดียวที่ยอมให้น้ำระเหยออกได้ โดยระหว่างการอบไม้จะมีการโก่งตัวซึ่งขึ้นอยู่กับระดับความเค้นภายในเนื้อไม้ เทคนิคดังกล่าวได้รับการพัฒนาต่อโดย Allegretti (2004) ซึ่งได้ทำการวัดแรงที่ต้องใช้ในการทำให้ชิ้นไม้ดังกล่าวแบนราบอยู่ได้ในระหว่างการอบด้วยเครื่องมือที่ถูกออกแบบขึ้นมา อย่างไรก็ตามข้อมูลที่วัดได้ยังมีความบกพร่องเนื่องจากเครื่องมือวัดซึ่งไม่สามารถชดเชยการหดตัวของไม้ระหว่างการอบได้อย่างมีประสิทธิภาพ

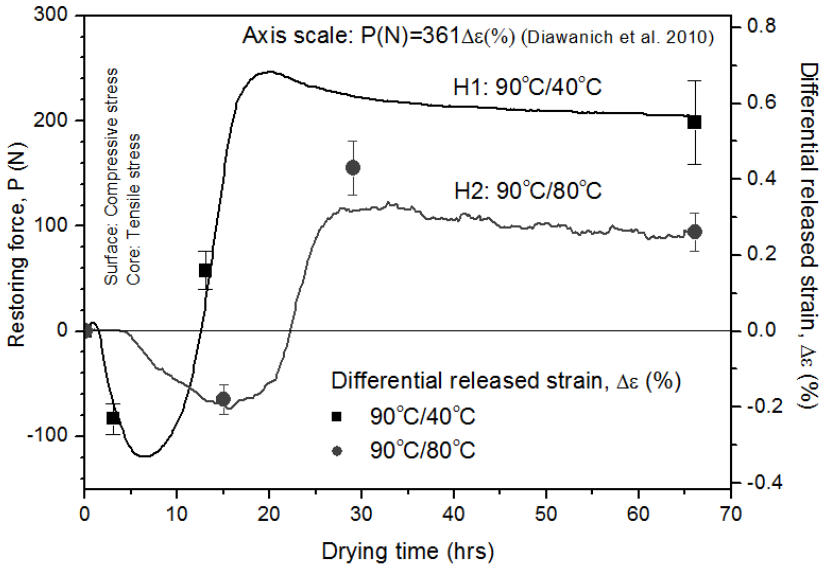
2.3 เทคนิคการวัดความเค้นในไม้ระหว่างการอบแบบต่อเนื่องที่พัฒนาโดยผู้วิจัย

การวัดความเค้นในเนื้อไม้ที่มีประสิทธิภาพควรเป็นการวัดค่าความเค้นในไม้โดยตรง มากกว่าเป็นการวัดจากผลทางอ้อม เช่นในรูปของการหดตัวหรือการโก่งตัว ชิ้นตัวอย่างที่ทำการวัดควรจะสามารถจำลองลักษณะที่เกิดขึ้นภายในเนื้อไม้จริงได้และค่าความเค้นนั้นไม่ควรให้เปลี่ยนรูปเป็นตัวแปรอื่นโดยเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้น เทคนิคที่พัฒนาขึ้นโดยคณะผู้วิจัยที่หน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมไม้ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์สามารถแก้ปัญหาดังกล่าวข้างต้นได้ ลักษณะของเครื่องมือที่ออกแบบมีลักษณะดังรูปที่ 2.4 (บุญนำ เกี่ยวข้องและคณะ 2551) แนวความคิดหลักของการออกแบบคือการวัดค่าของแรงในการทำให้ชิ้นไม้ซึ่งถูกผ่าครึ่งและถูกปิดกั้นให้น้ำเคลื่อนตัวออกมาด้านความหนาเท่านั้นไม่โก่งตัว ทั้งยังมีชิ้นตัวอย่างที่ใช้วัดแรงเนื่องจากการหดตัวของไม้เพื่อชดเชยและวัดค่าแรงที่เกิดขึ้นจากความเค้นภายในเนื้อไม้จริงๆ ผลลัพธ์ที่ได้จากการวัดสอดคล้องกับค่าที่ได้จากการวัดด้วยเทคนิคมาตรฐานที่ไม่ต่อเนื่อง และสามารถนำไปศึกษาผลของตัวแปรของการอบต่อลักษณะการเปลี่ยนแปลงและขนาดของความเค้นภายในเนื้อไม้ระหว่างการอบได้ (Diawanich et al., 2010, Diawanich et al., 2012, Tomad et al., 2012)

เมื่อเริ่มการอบไม้ขนาดของแรงที่อ่านจากเครื่องมือวัดเป็นศูนย์ (รูปที่ 2.5) เนื่องจากความชื้นที่ผิวนอกและกลางไม้ยังสูงกว่าจุดหมาดอยู่ ทำให้ไม้ยังไม่มีการหดตัวและไม้จะค่อยๆ เริ่มแห้งจากผิวนอกเข้าไปหากลางไม้ เมื่อผิวนอกของไม้มีความชื้นต่ำกว่าจุดหมาดไม้ก็เริ่มมีการหดตัว ส่วนชั้นในถัดเข้าไปมีความชื้นสูงกว่าจุดหมาด เมื่อเป็นเช่นนี้ที่ผิวนอกซึ่งมีการหดตัวจะถูกดึงเอาไว้โดยชั้นในๆ ทำให้เกิดแรงที่พยายามทำให้ชิ้นไม้ทดลองถ่างออกส่งไปยังโหลดเซลล์ที่อ่านค่าแรงได้ (โดยแรงที่อ่านได้จากโหลดเซลล์จะมีค่าเป็นลบเนื่องจากเป็นแรงอัดที่กระทำต่อโหลดเซลล์ซึ่งสอดคล้องกับแรงดึงบนชิ้นไม้ทดลอง) ขนาดของแรงดึงจะเพิ่มมากขึ้น (เป็นลบมากขึ้น) จนมีค่าสูงสุด เมื่ออบต่อไปไม้แห้งภายใต้ความเค้นเนื่องจากการคืบของไม้ที่เกิดขึ้นแบบวิสโคอีลาสติกและแมคคาโนซอฟทีฟ ขนาดของแรงดึงค่อยๆ ลดลงจนกระทั่งแรงเกิดการเปลี่ยนทิศ (แรงเป็นศูนย์) และเปลี่ยนไปเป็นค่าบวก (โดยแรงที่อ่านได้จากโหลดเซลล์มีค่าเป็นบวกเนื่องจากเป็นแรงดึงที่กระทำต่อโหลดเซลล์ซึ่งสอดคล้องกับแรงอัดบนชิ้นไม้ทดลอง) และแรงอัดจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนมีค่าสูงสุด (เป็นบวกมากที่สุด) และลดลงเล็กน้อยจนแรงมีค่าคงที่ จนสิ้นสุดกระบวนการอบ



<u>รูปที่ 2.4</u> ภาพวาดและรูปถ่ายเครื่องมือวัดความเค้นในเนื้อไม้แบบต่อเนื่อง ภาพเล็กแสดงการติดตั้งภายในเตาอบ (บุญนำ เกี่ยวข้องและคณะ 2551, Diawanich et al., 2010, Tomad et al., 2012)



<u>รูปที่ 2.5</u> ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของแรงในชิ้นตัวอย่างซึ่งเป็นผลมาจากการเปลี่ยนความเค้นภายในเนื้อไม้ที่อุณหภูมิการอบ 90 องศาเซลเซียสที่สองสภาวะความชื้นสัมพัทธ์อากาศที่อุณหภูมิกะเปาะเปียกที่ 40 และ 80 องศาเซลเซียสเปรียบเทียบกับการวัดโดยใช้การทดสอบแบบผ่าเป็นแผ่นบางด้วยวิธี McMillen (Tomad et al., 2012)

งานวิจัยในโครงการนี้เป็นการต่อยอดงานวิจัยดังกล่าวข้างต้น โดยคณะผู้วิจัยจะทำการศึกษาผลของปัจจัยต่างๆในกระบวนการอบต่อการเปลี่ยนแปลงของความเค้นภายในเนื้อไม้เพื่อที่จะหาแนวทางในการนำค่าดังกล่าวไปควบคุมการอบ และพัฒนาระบบควบคุมโดยนำค่าแรงเนื่องจากความเค้นในเนื้อไม้ที่วัดได้ไปควบคุมกระบวนการอบ ด้วยเทคนิคดังกล่าวจะทำให้สามารถอบไม้ได้ทุกชนิดและสามารถอบไม้ที่จุดคุ้มทุนที่สุดได้ตลอดเวลา โดยตัวไม้เองจะเป็นตัวสั่งการว่าควรจะใช้สภาวะการอบอย่างไร ซึ่งจะนำไปสู่ระบบควบคุมที่เรียกว่า Smart kiln ซึ่งต้องการผู้ควบคุมเพียงกดปุ่มแค่ครั้งเดียว แล้วระบบก็จะออกแบบตารางอบและอบไม้ไปได้เองจนเสร็จสิ้นการอบได้

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 ไม้ยางพารา

ไม้ยางพาราที่ใช้ในการทดลองนำมาจาก อ.ฉวาง จ.นครศรีธรรมราช จากต้นยางพาราที่มีอายุตั้งแต่ 25 ปีขึ้นไป โดยนำมาแปรรูปให้มีขนาดความกว้าง 80 มิลลิเมตร (ตามแนวสัมผัส) ความหนา 30 มิลลิเมตร (ตามแนวรัศมี) และความยาว 1,000 มิลลิเมตร (ตามแนวเสี้ยน) ก่อนการทดลองได้นำไม้แปรรูปไปผ่านกระบวนการอัดน้ำยาป้องกันรักษาเนื้อไม้ด้วยสารละลายโบรอน โดยการอัดแบบเต็มเซลล์ที่ความดันสูงภายในถังอัด ขั้นตอนการอัดประกอบด้วย การทำสุญญากาศเบื้องต้นที่ความดัน -0.8 บาร์ (25 นิ้วปรอท) เป็นเวลา 30 นาที หลังจากนั้นปล่อยน้ำยาเข้าสู่ถังอัดและทำการอัดน้ำยาเข้าในไม้ที่ความดัน 10 บาร์ ใช้เวลา 45 นาที และทำสุญญากาศขั้นสุดท้ายประมาณ -0.8 บาร์ เพื่อลดการสูญเสียน้ำยาที่ไม่จำเป็น หลังอัดน้ำยาไม้มีความชื้น 110 ± 5 % และมีปริมาณโบรอนคงค้างในเนื้อไม้ (% BAE) (Boric Acid Equivalent) 0.18 %

3.2 เตาอบไม้พารา

เตาอบไม้ยางพาราที่ใช้ในการทดลองเป็นเตาอบขนาด 15 ลูกบาศก์เมตร (Eurasia, Singapore) (รูปที่ 3.1) ซึ่งติดตั้งพัดลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เมตร จำนวน 1 ตัว (รูปที่ 3.2) และมีอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในเตาอบแบบอัตโนมัติ โดยไอน้ำที่ใช้ในการให้ความร้อนภายในเตาอบได้มาจากเครื่องกำเนิดไอน้ำด้วยไฟฟ้าควบคุมความดันไอน้ำให้อยู่ที่ 5 บาร์ ระหว่างการอบ (รูปที่ 3.3)

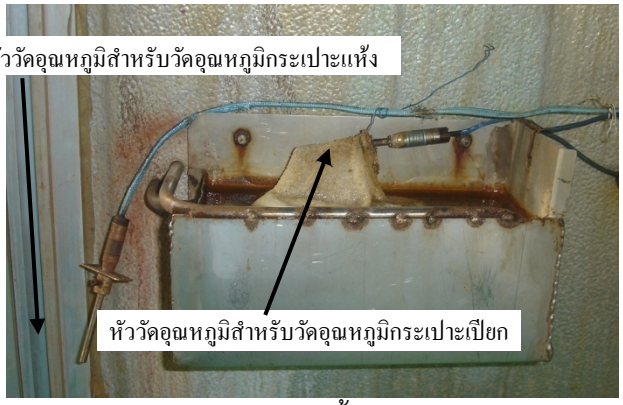
รูปที่ 3.1 เตาอบไม้ยางพาราที่ใช้ในการทดลอง (Eurasia, Singapore)

รูปที่ 3.2 พัดลมภายในเตาอบ

รูปที่ 3.3 เครื่องกำเนิดไอน้ำด้วยไฟฟ้า (บริษัทสหไทย, ประเทศไทย)

การจัดเรียงไม้และการวางตำแหน่งของกองไม้ภายในเตาอบในห้องปฏิบัติการแสดงในรูปที่ 3.4 โดยจะคงรูปแบบการวางสำหรับการทดลองทุกครั้งเพื่อให้สามารถควบคุมปัจจัยที่ต้องการทดลองได้ ไม้ที่ใช้ในการทดลองมีขนาดความหนา 30 มิลลิเมตร ความกว้าง 80 มิลลิเมตร และความยาว 1000 มิลลิเมตร จำนวน 50 ท่อน และไม้คั่นมีขนาดความหนา 30 มิลลิเมตร และความกว้าง 30 มิลลิเมตร จำนวน 3 ชิ้นต่อชั้น การวัดค่าและการควบคุมอุณหภูมิภายในเตาอบทำได้โดยใช้เทอร์โมมิเตอร์กระเปาะแห้งภายในเตาอบ ซึ่งใช้หัววัดอุณหภูมิ ขนาด 5×6.5 มิลลิเมตร ชนิด K(CA) รุ่น JB-10 การวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในเตาอบสามารถทำได้โดยใช้เทอร์โมมิเตอร์กระเปาะเปียกโดยการใช้ผ้าเปียกผูกติดกับหัวของหัววัดอุณหภูมิภายในเตาอบ (รูปที่ 3.5) การควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ทำได้โดยการเปิดปล่องหรือสเปรย์ไอน้ำ อัตราเร็วของพัดลมที่ใช้เท่ากับ 650 รอบต่อนาทีเพื่อให้ได้อัตราเร็วลมที่ผ่านกองไม้เท่ากับ 4 เมตรต่อวินาที

รูปที่ 3.4 การจัดเรียงกองไม้ภายในเตาอบ

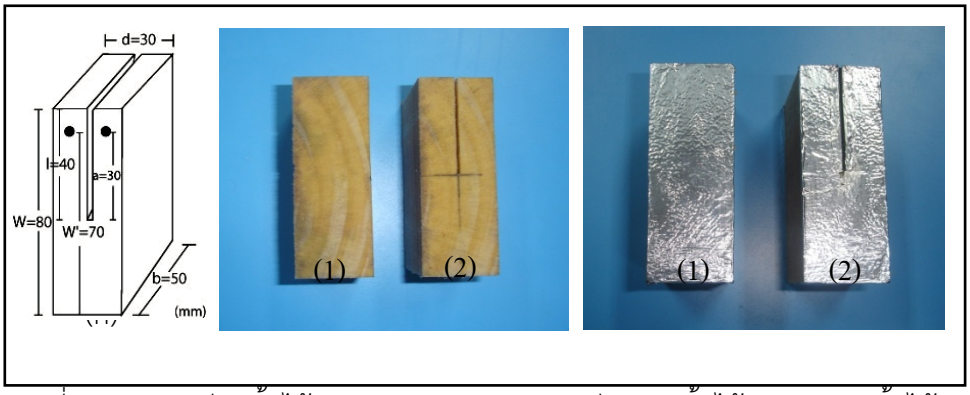


รูปที่ 3.5 อุปกรณ์วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในเตาอบ

3.3 การวัดผลการทดลอง

ก. การวัดความเค้นภายในเนื้อไม้

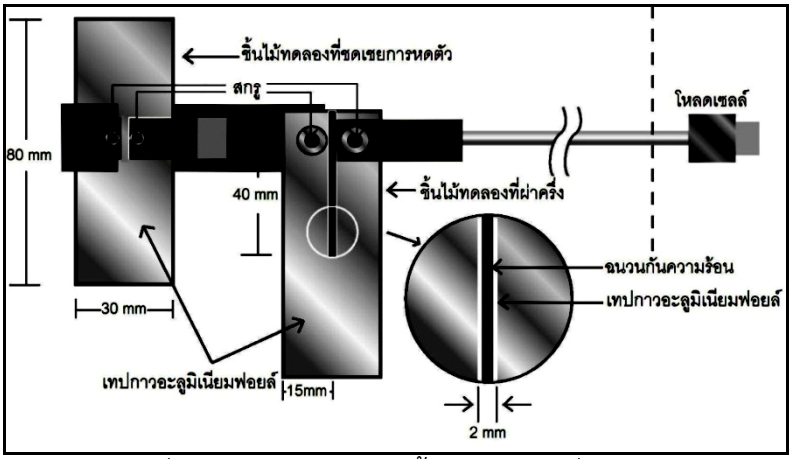
เครื่องมือวัดความเค้นในไม้ยางพารา ประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก คือ ชิ้นไม้ทดลองที่ผ่าครึ่งและชิ้นไม้ทดลองที่ชดเชยการหดตัวของไม้ (Diawanich et al., 2010) ชิ้นไม้ทั้งสองมีขนาดเท่ากัน คือ มีความหนา 30 มิลลิเมตร (แนวรัศมี) ความกว้าง 80 มิลลิเมตร (ด้านสัมผัส) และความยาว 50 มิลลิเมตร (ตามแนวเสี้ยน) นำชิ้นไม้ทดลองมาผ่าครึ่งตามด้านแนวสัมผัสขนาดความยาว 40 มิลลิเมตร และความหนา 15 มิลลิเมตร (รูปที่ 3.6) จำนวน 1 ชิ้น โดยใช้เครื่องเลื่อยสายพานที่มีร่องเลื่อยขนาดความหนา 2 มิลลิเมตร (รูปที่ 3.7) และปิดเคลือบชิ้นไม้ทดลองด้วยเทปกาวอลูมิเนียมฟอยด์ที่ผิวด้านความหนาทั้งสองด้านของทั้งสองชิ้นและปิดบริเวณตรงรอยผ่ากลางและใส่ฉนวนกันความร้อนไว้ตรงกลางสำหรับชิ้นไม้ทดลองที่ผ่าครึ่ง ทั้งนี้เพื่อป้องกันความร้อนและการเคลื่อนตัวของน้ำออกมาทางความหนาและผิวตรงกลาง (รูปที่ 3.8) หลังจากนั้นนำชิ้นไม้ทั้งสองมาประกอบเข้าด้วยกันบนเครื่องมือวัดซึ่งต่อเข้ากับโหลดเซลล์ (Cooper Instruments, USA) ที่อยู่ภายนอกเตาอบ (รูปที่ 3.9) โดยมีการควบคุมการอบและเก็บข้อมูลการอบด้วยคอมพิวเตอร์โปรแกรม LabVIEW 7.1 (National Instruments, USA) (รูปที่ 3.10)



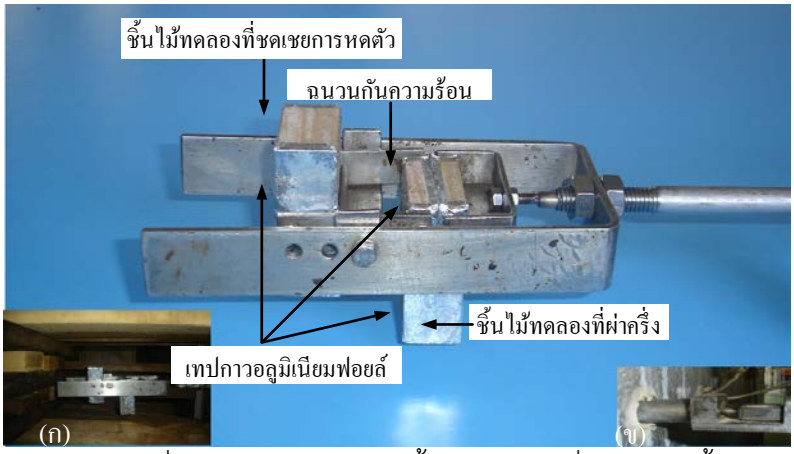
รูปที่ 3.6 การเตรียมชิ้นไม้ทดลอง (ก) แสดงรายละเอียดของชิ้นไม้ทดลอง (ข) ชิ้นไม้ทดลองก่อน และ (ค) หลังติดเทปกาวอลูมิเนียมฟอยล์ เมื่อ (1) คือ ชิ้นไม้ทดลองที่ใช้ชดเชยการหดตัวของไม้ และ (2) คือ ชิ้นไม้ทดลองที่ผ่าครึ่ง

(ก) (ข)

รูปที่ 3.7 อุปกรณ์สำหรับเตรียมชิ้นไม้ทดลอง (ก) เครื่องเลื่อยสายพาน (Scheppach, Germany) และ (ข) ใบเลื่อยสายพานขนาดความหนา 2 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.8 ภาพวาดเครื่องมือวัดความเค้นในเนื้อไม้แบบต่อเนื่องพร้อมรายละเอียดต่างๆ



รูปที่ 3.9 ภาพถ่ายเครื่องมือวัดความเค้นในเนื้อไม้แบบต่อเนื่อง (ก) ติดตั้งภายในเตาอบ และ (ข) ต่อกับโหลดเซลล์ที่อยู่ภายนอกเตาอบ

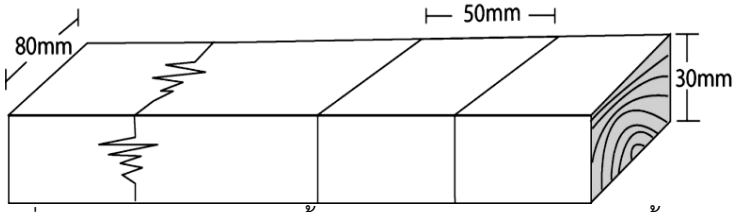
รูปที่ 3.10 อุปกรณ์และเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ควบคุมและเก็บข้อมูลการอบด้วยโปรแกรม LabVIEW 7.1

ข. การวัดค่าความชื้นเฉลี่ยของไม้ขณะอบ

ค่าความชื้นของไม้หาโดยการนำไม้ที่จัดเรียงอยู่ภายในเตาอบออกมาตัด ซึ่งห่างจากปลายไม้ประมาณ 50 มิลลิเมตร ให้มีขนาดความยาว 50 มิลลิเมตร จำนวน 3 ชิ้น (รูปที่ 3.11) แล้วนำมาชั่งน้ำหนักด้วยตาชั่ง (Analog scale ยี่ห้อ AND, Japan รุ่น GF-3000) และนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 104 ± 5 องศาเซลเซียส ด้วยเตาอบไฟฟ้า (Electrical oven ยี่ห้อ Memmert, Germany รุ่น OE-600) (รูปที่ 3.12) จนน้ำหนักคงที่ ซึ่งใช้เวลาประมาณ 24 ชั่วโมง แล้วชั่งน้ำหนักแห้งของไม้เพื่อนำไปคำนวณค่าความชื้น (*MC*) ของไม้ตามสมการที่ 3.1

$$MC\,(\%) = \left(\frac{W_g - W_{od}}{W_{od}} \right) \times 100 \qquad (3.1)$$

เมื่อ W_g และ W_{od} คือ น้ำหนักของไม้ก่อนและหลังอบแห้ง ตามลำดับ



รูปที่ 3.11 รายละเอียดของชิ้นไม้ทดลองสำหรับวัดค่าความชื้นของไม้

รูปที่ 3.12 เตาอบไฟฟ้า (Memmert, Germany) สำหรับอบแห้งชิ้นไม้ทดลอง

3.4 สภาวะการอบที่ใช้ในการทดลองและการควบคุมความเค้นในไม้

สภาวะการอบทั้งหมดจะดำเนินการโดยใช้อุณหภูมิกระเปาะแห้ง 90 องศาเซลเซียส สภาวะการอบชุดควบคุมประกอบด้วยสภาวะการอบแบบ“รุนแรง”ที่อุณหภูมิกระเปาะเปียก 40 องศาเซลเซียส (H1) และสภาวะการอบแบบ“ไม่รุนแรง”ที่อุณหภูมิกระเปาะเปียก 80 องศาเซลเซียส (H2) สภาวะการอบทดลองจะดำเนินการโดยการควบคุมขนาดของแรงไม่ให้มีขนาดมากกว่า -50 นิวตัน ทั้งนี้หากแรงมีขนาดสูงกว่าค่าดังกล่าวเตาอบจะทำการปรับเพิ่มความชื้นในเตาอบโดยการสเปรย์ไอน้ำ (S1) เพื่อศึกษาผลของการสเปรย์ไอน้ำในช่วงต้นของการอบต่อการเกิดความเค้นระหว่างการอบในช่วงหลัง การทดลอง S2, S3 และ S4 จะมีการสเปรย์ไอน้ำเพื่อเพิ่มความชื้นในเตาอบในระดับและระยะเวลาต่างๆ (ตารางที่ 3.1)

โดยสำหรับสภาวะ S2 จะมีการสเปรย์ไอน้ำจนอุณหภูมิกระเปาะเปียกมีค่าเป็น 85 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 4 ชั่วโมง แล้วจึงเร่งการอบโดยการควบคุมขนาดของแรงไม่ให้มีขนาดมากกว่า -50 นิวตันโดยกำหนดให้การอบแบบรุนแรงที่สุดเป็นสภาวะที่อุณหภูมิกระเปาะเปียกมีค่าเป็น 40 องศาเซลเซียส

ในสภาวะ S3 จะมีการสเปรย์ไอน้ำจนอุณหภูมิกระเปาะเปียกมีค่าเป็น 85 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วจึงเร่งการอบโดยการควบคุมขนาดของแรงไม่ให้มีขนาดมากกว่า -50 นิวตันโดยกำหนดให้การอบแบบรุนแรงที่สุดในช่วงนี้เป็นสภาวะที่อุณหภูมิกระเปาะเปียกมีค่าเป็น 65 องศาเซลเซียส

ในสภาวะ S4 จะทำการอบด้วยอุณหภูมิกระเปาะเปียก 80 องศาเซลเซียสโดยการควบคุมขนาดของแรงไม่ให้มีขนาดมากกว่า -50 นิวตันและในสภาวะ S5 จะทำการอบด้วยอุณหภูมิกระเปาะเปียก 80 องศาเซลเซียสจนกว่าความเค้นเกิดการกลับทิศ

โดยในทุกสภาวะการอบจะมีการเร่งการอบภายใต้สภาวะอุณหภูมิกระเปาะเปียก 40 องศาเซลเซียสหลังจากเสร็จสิ้นการอบในช่วงแรกตามเงื่อนไขที่กล่าวแล้วข้างต้น

ตารางที่ 3.1 สภาวะการทดลองเพื่อศึกษาผลของการอบโดยควบคุมแรงที่ค่าต่างๆ

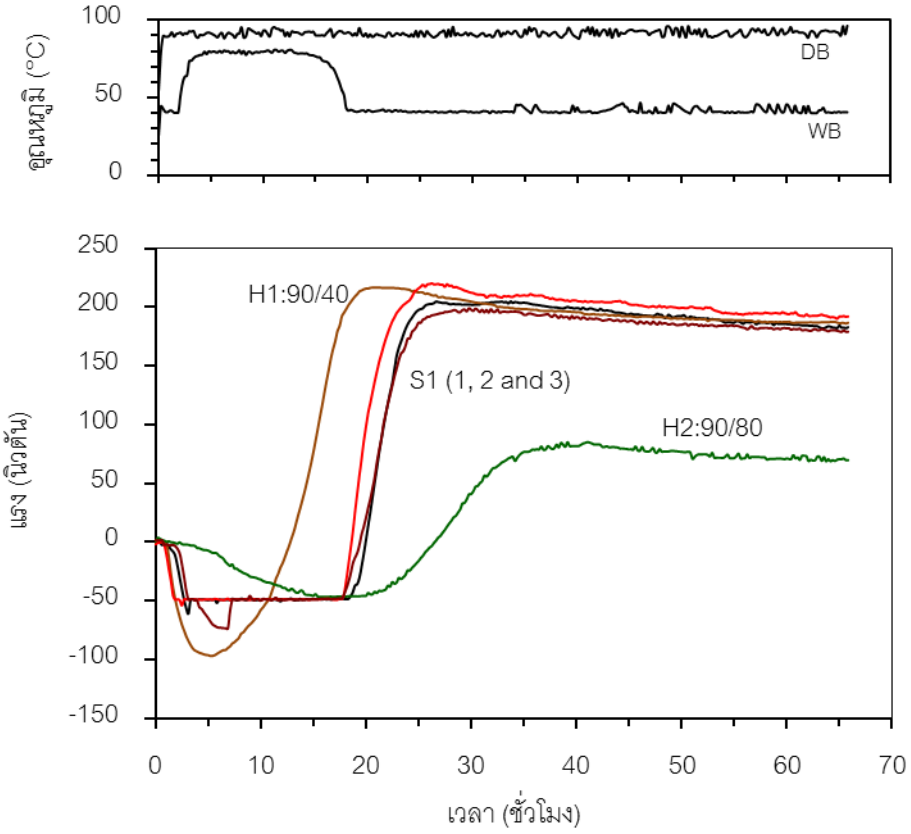
สภาวะทดลอง	การอบช่วงที่ 1 อุณหภูมิกระเปาะแห้ง / เปียก (°C)	การอบช่วงที่ 2 อุณหภูมิกระเปาะแห้ง / เปียก (°C) หรือการควบคุมแรง	การอบช่วงที่ 3 อุณหภูมิกระเปาะแห้ง / เปียก (°C)
H1	90/40	90/40	90/40
H2	90/80	90/80	90/80
S1	90/40	แรง -50 N	90/40
S2	90/85 (4 ชม.)	90/40 หรือ ขนาดของแรง < -50 N	90/40
S3	90/85 (1 ชม.)	90/65 หรือ ขนาดของแรง < -50 N	90/40
S4	90/80	90/80 หรือ ขนาดของแรง < -50 N	90/40
S5	90/80	90/80 (จนกว่ากลับทิศ)	90/40

บทที่ 4

ผลและวิเคราะห์ผลการทดลอง

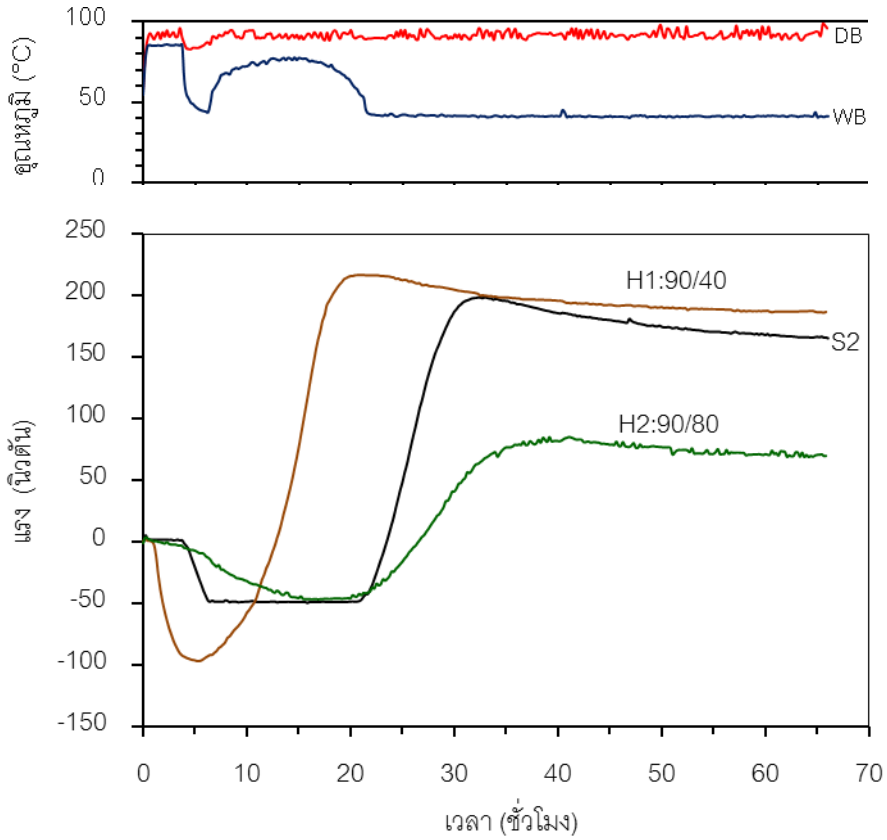
4.1 การเปลี่ยนแปลงความเค้น

ผลการทดสอบพบว่าระบบสามารถควบคุมค่าแรงดึงสูงสุดให้มีค่าไม่เกินค่าแรง -50 นิวตันที่ได้กำหนดไว้ (รูปที่ 4.1) โดยระบบจะปรับค่าของอุณหภูมิกระเปาะเปียกให้เหมาะสม ในช่วงเริ่มต้นของการอบระบบจะปรับสภาวะอุณหภูมิกระเปาะเปียก 40 องศาเซลเซียส เพื่อเร่งอัตราการแห้งของไม้ให้มากที่สุด จะเห็นว่าค่าแรงซึ่งมีค่าเป็นลบจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เป็นไปในลักษณะเดียวกันกับสภาวะการอบแบบรุนแรงตลอดการอบ (H1) จนค่าแรงลดลงถึงค่าที่กำหนดไว้ ระบบจึงปรับค่าของอุณหภูมิกระเปาะเปียกให้เพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ เพื่อทำให้อัตราการแห้งของไม้ลดลงเพื่อควบคุมค่าแรงไม่ให้เกินค่าแรงดึงสูงสุดที่กำหนดไว้ หลังจากนั้นค่าของอุณหภูมิกระเปาะเปียกจะลดลงจนถึง 40 องศาเซลเซียส และความเค้นจะเปลี่ยนทิศในช่วงการอบระยะที่สอง ซึ่งอุณหภูมิกระเปาะเปียก 40 องศาเซลเซียส และค่าแรงอัดสูงสุดที่วัดได้มีค่าเข้าใกล้สภาวะการอบแบบรุนแรงตลอดการอบ (H1)



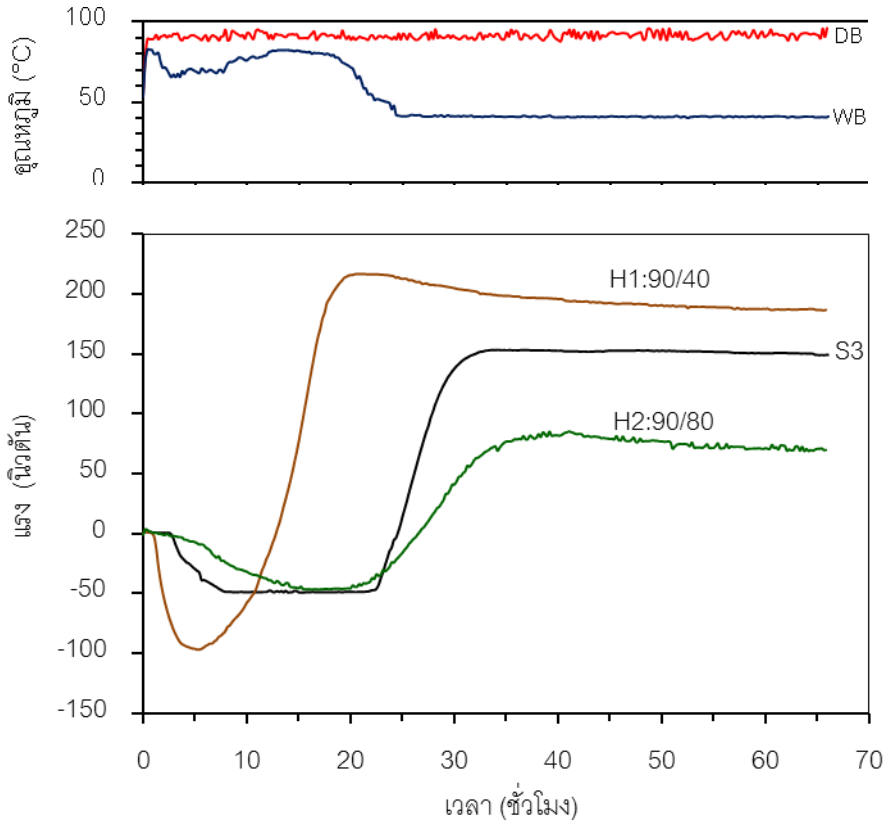
<u>รูปที่ 4.1</u> การเปลี่ยนแปลงของแรงที่วัดได้และอุณหภูมิกระเปาะเปียกจากสภาวะการทดลอง S1 (ควบคุมแรงดึง -50 นิวตัน) จำนวน 3 ซ้ำ ที่อุณหภูมิกระเปาะแห้ง 90 องศาเซลเซียส

จากการสเปรย์ไอน้ำจนอุณหภูมิกระเปาะเปียกมีค่าเป็น 85 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 4 ชั่วโมง แล้วจึงเร่งการอบโดยการควบคุมขนาดของแรงไม่ให้มีขนาดมากกว่า -50 นิวตัน ก่อนที่จะเปลี่ยนอุณหภูมิกระเปาะเปียกเป็น 40 องศาเซลเซียส (S2) แรงเริ่มมีค่าเป็นลบเมื่อเวลาผ่านไป 4 ชั่วโมง ในขณะที่แรงคงที่อยู่ที่ -50 นิวตันนั้น อุณหภูมิกระเปาะเปียกจะมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 74 องศาเซลเซียส เวลาที่แรงเปลี่ยนทิศ 23 ชั่วโมง และแรงกดสูงสุด 198 นิวตัน (รูปที่ 4.2) เมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะการทดลอง H1 (อุณหภูมิกระเปาะแห้ง 90 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิกระเปาะเปียก 40 องศาเซลเซียส) พบว่าแรงกดสูงสุดมีค่าใกล้เคียงกับสภาวะการทดลอง H1 แต่เวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนทิศจะนานกว่า ดังนั้นการสเปรย์ไอน้ำตามด้วยการอบแบบรุนแรงในช่วงแรกไม่สามารถลดขนาดของแรงที่เกิดขึ้นในช่วงหลังภายใต้การอบแบบรุนแรงได้



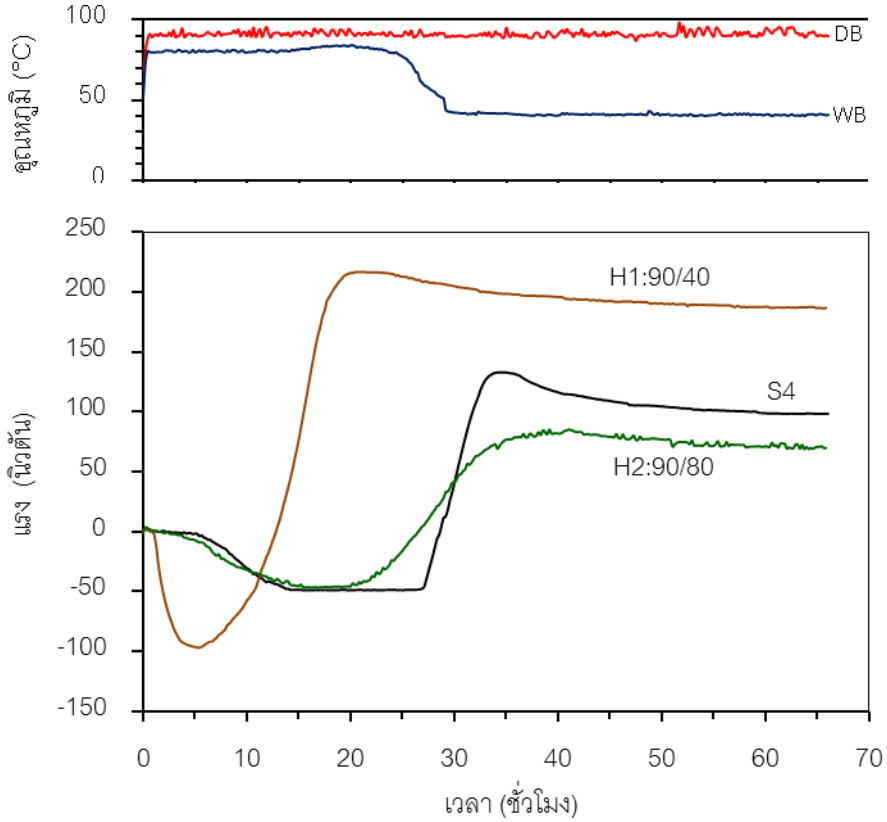
<u>รูปที่ 4.2</u> การเปลี่ยนแปลงของแรงที่วัดได้และอุณหภูมิกระเปาะเปียกจากสภาวะการทดลอง S2 (มีการสเปรย์ไอน้ำจนอุณหภูมิกระเปาะเปียกมีค่าเป็น 85 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 4 ชั่วโมง แล้วจึงเร่งการอบโดยการควบคุมขนาดของแรงไม่ให้มีขนาดมากกว่า -50 นิวตันโดยกำหนดให้การอบแบบรุนแรงที่สุดเป็นสภาวะที่อุณหภูมิกระเปาะเปียกมีค่าเป็น 40 องศาเซลเซียส) ที่อุณหภูมิกระเปาะแห้ง 90 องศาเซลเซียส

จากการสเปรย์ไอน้ำจนอุณหภูมิกระเปาะเปียกมีค่าเป็น 85 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วจึงเร่งการอบโดยการควบคุมขนาดของแรงไม่ให้มีขนาดมากกว่า -50 นิวตันโดยกำหนดให้การอบแบบรุนแรงที่สุดในช่วงนี้เป็นสภาวะที่อุณหภูมิกระเปาะเปียกมีค่าเป็น 65 องศาเซลเซียส (S3) แรงเริ่มมีค่าเป็นลบเมื่อเวลาผ่านไป 2.5 ชั่วโมง ในขณะที่แรงคงที่อยู่ที่ -50 นิวตันนั้น อุณหภูมิกระเปาะเปียกจะมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 75 องศาเซลเซียส เวลาที่แรงเปลี่ยนทิศ 24 ชั่วโมง และแรงกดสูงสุด 153 นิวตัน (รูปที่ 4.3) เมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะการทดลอง H1 พบว่าแรงกดสูงสุดมีค่าน้อยกว่าสภาวะการทดลอง H1 ดังนั้นการสเปรย์ไอน้ำตามด้วยการอบแบบไม่รุนแรงมากนักในช่วงแรกสามารถลดขนาดของแรงที่เกิดขึ้นในช่วงหลังภายใต้การอบแบบรุนแรงได้



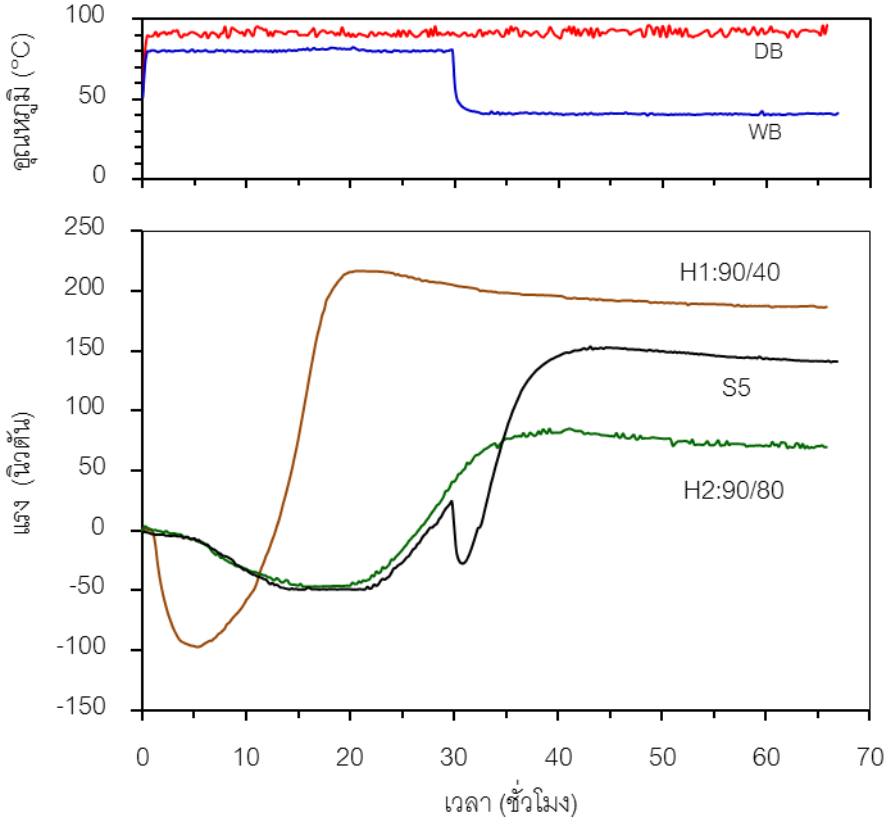
รูปที่ 4.3 การเปลี่ยนแปลงของแรงที่วัดได้และอุณหภูมิกระเปาะเปียกจากสภาวะการทดลอง S3 (การสเปรย์ไอน้ำจนอุณหภูมิกระเปาะเปียกมีค่าเป็น 85 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วจึงเร่งการอบโดยการควบคุมขนาดของแรงไม่ให้มีขนาดมากกว่า -50 นิวตันโดยกำหนดให้การอบแบบรุนแรงที่สุดในช่วงนี้เป็นสภาวะที่อุณหภูมิกระเปาะเปียกมีค่าเป็น 65 องศาเซลเซียส) ที่อุณหภูมิกระเปาะแห้ง 90 องศาเซลเซียส

จากการอบด้วยอุณหภูมิกระเปาะเปียก 80 องศาเซลเซียสและการควบคุมขนาดของแรงไม่ให้มีขนาดมากกว่า -50 นิวตันในช่วงแรก (S4) แรงเริ่มมีค่าเป็นลบเมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 5 ชั่วโมง ในขณะที่แรงคงที่อยู่ที่ -50 นิวตันนั้น อุณหภูมิกระเปาะเปียกจะมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 80 องศาเซลเซียส เวลาที่แรงเปลี่ยนทิศ 28 ชั่วโมง และแรงกดสูงสุด 132 นิวตัน (รูปที่ 4.4) เมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะการทดลอง H1 พบว่าแรงกดสูงสุดมีค่าน้อยกว่าสภาวะการทดลอง H1 มาก โดยมีค่าเข้าใกล้ค่าที่ได้จากการอบด้วยสภาวะที่ไม่รุนแรง H2 (อุณหภูมิกระเปาะแห้ง 90 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิกระเปาะเปียก 80 องศาเซลเซียส) ดังนั้นการอบด้วยสภาวะที่ไม่รุนแรงอย่างต่อเนื่องตั้งแต่เริ่มต้นการอบในช่วงแรกสามารถลดขนาดของแรงที่เกิดขึ้นในช่วงหลังภายใต้การอบแบบรุนแรงได้อย่างมาก



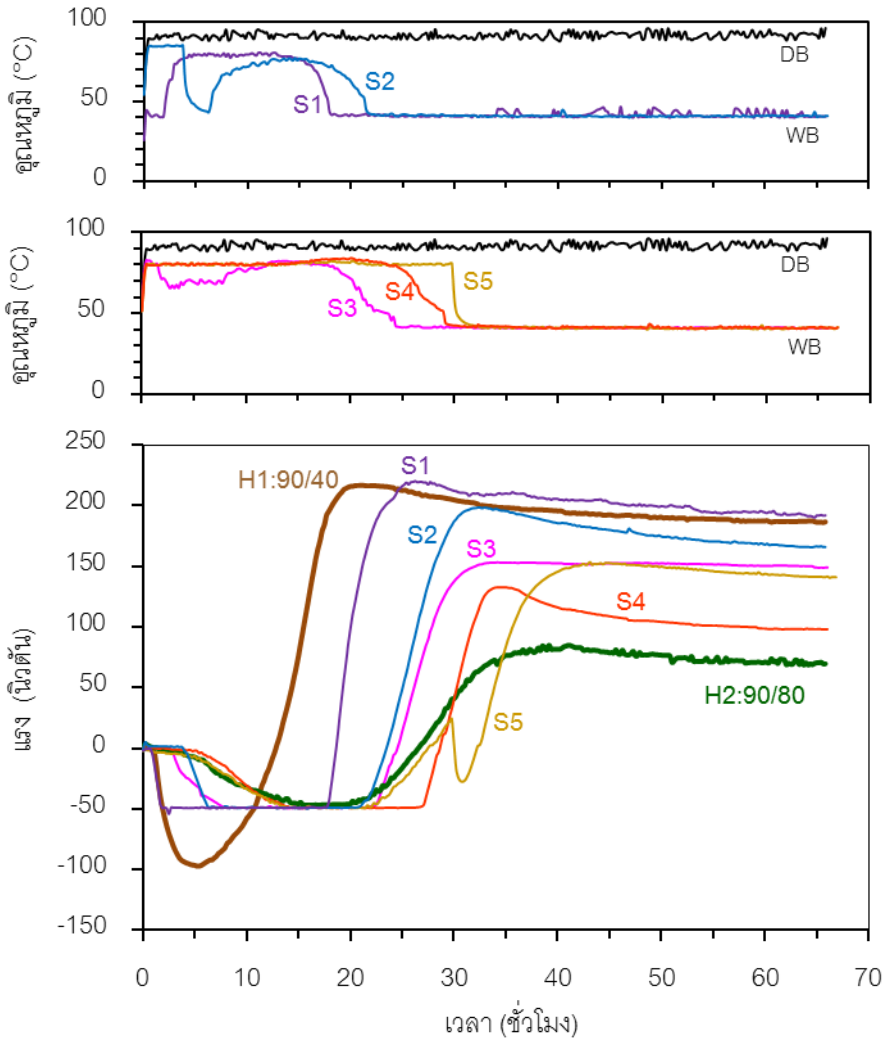
รูปที่ 4.4 การเปลี่ยนแปลงของแรงที่วัดได้และอุณหภูมิกระเปาะเปียกจากสภาวะการทดลอง S4 โดยทำการอบด้วยอุณหภูมิกระเปาะเปียก 80 องศาเซลเซียสและการควบคุมขนาดของแรงไม่ให้มีขนาดมากกว่า -50 นิวตันในช่วงแรก ที่อุณหภูมิกระเปาะแห้ง 90 องศาเซลเซียส

จากการอบด้วยอุณหภูมิกระเปาะเปียก 80 องศาเซลเซียสจนความเค้นกลับทิศในช่วงแรก (S5) แรงเริ่มมีค่าเป็นลบเมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 5 ชั่วโมง เวลาที่แรงเปลี่ยนทิศ 28 ชั่วโมง โดยมีค่าแรงกดสูงสุดประมาณ 150 นิวตัน (รูปที่ 4.5) ซึ่งจะเห็นได้ว่าถึงแม้จะมีการอบแบบไม่รุนแรงในช่วงแรก แต่เนื่องจากการเปลี่ยนสภาวะการอบมีการลดค่าของอุณหภูมิกระเปาะเปียกด้วยอัตราที่สูง ทำให้แรงกลับไปมีค่าติดลบอีกครั้งและเป็นสาเหตุทำให้แรงที่เกิดขึ้นในช่วงท้ายของการอบภายใต้การอบแบบรุนแรงมีค่าแรงเพิ่มขึ้นสูงกว่าการอบในรูปแบบ S4 (รูปที่ 4.4)



<u>รูปที่ 4.5</u> การเปลี่ยนแปลงของแรงที่วัดได้และอุณหภูมิกระเปาะเปียกจากสภาวะการทดลอง S5 โดยทำการอบด้วยอุณหภูมิกระเปาะเปียก 80 องศาเซลเซียสจนความเค้นกลับทิศ ที่อุณหภูมิกระเปาะแห้ง 90 องศาเซลเซียส

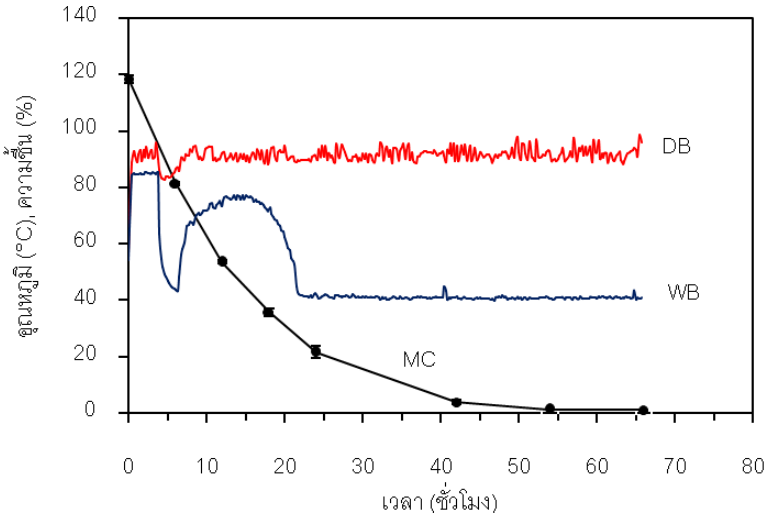
เมื่อเปรียบเทียบผลจากสภาวะการทดลอง S1-S5 (รูปที่ 4.6) สามารถสรุปได้ว่า ในช่วงแรกของการอบอัตราการเปลี่ยนแปลงค่าความชื้นสัมพัทธ์ในเตาอบไม่ควรมีค่าสูงเกินไป เพราะจะทำให้อัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าแรงในช่วงนี้มีค่าสูง (มีความชันมาก) ซึ่งจากการสังเกตจะพบว่าค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าแรงที่สูงในช่วงแรกจะมีผลต่อค่าแรงสูงสุดในช่วงที่สองของการอบภายใต้สภาวะการอบแบบรุนแรง โดยจะทำให้ค่าแรงในช่วงที่สองมีค่าสูงขึ้น



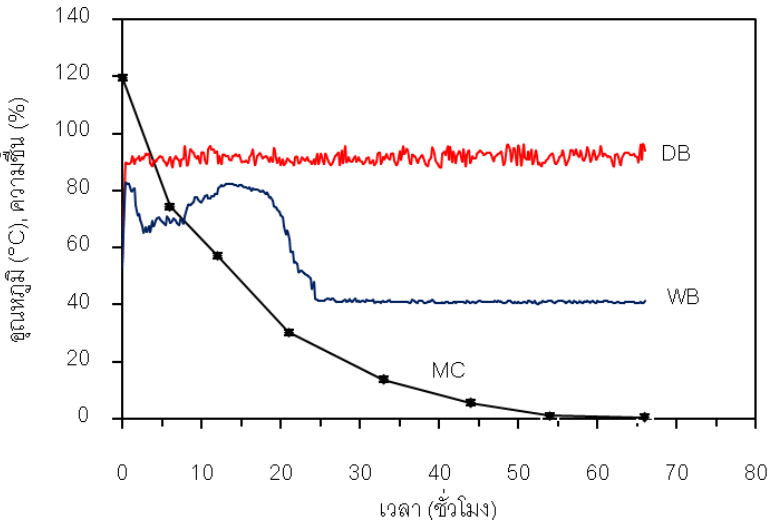
รูปที่ 4.6 การเปลี่ยนแปลงของแรงที่วัดได้และอุณหภูมิกระเปาะเปียกจากสภาวะการทดลอง S1-S5 ที่อุณหภูมิกระเปาะแห้ง 90 องศาเซลเซียส

4.2 การเปลี่ยนแปลงความชื้น

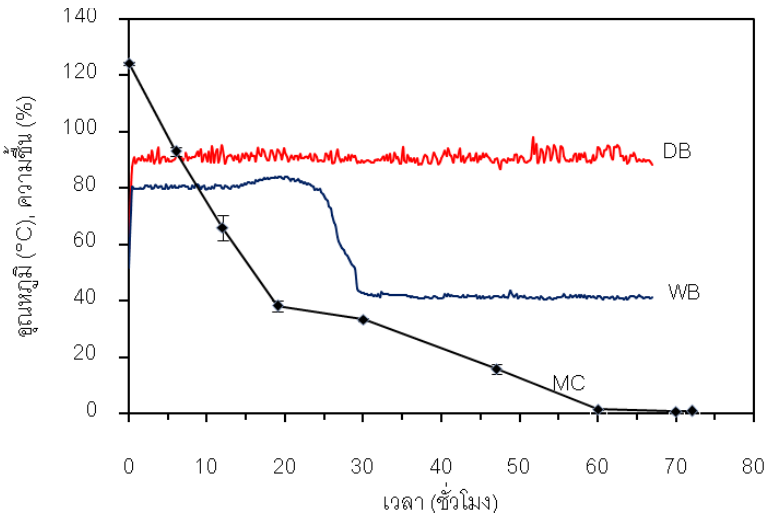
การเปลี่ยนแปลงความชื้นในไม้ของสภาวะการทดลอง S2-S4 แสดงในรูปที่ 4.7-4.9 หากเปรียบเทียบระยะเวลาที่ใช้ในการลดความชื้นในไม้ลงมาจนถึงจุดหมาด (ประมาณ 30%) พบว่าสภาวะการทดลอง S2 ทำให้ความชื้นในไม้ลดลงได้เร็วที่สุด เนื่องจากการอบประกอบด้วยช่วงที่มีความชื้นสัมพัทธ์อากาศต่ำ (อุณหภูมิกระเปาะเปียก 40 องศาเซลเซียส) เป็นระยะเวลานานกว่าสภาวะอื่น และสภาวะการทดลอง S4 ทำให้ความชื้นไม้ลดลงได้ช้าที่สุด เพราะการอบประกอบด้วยช่วงที่มีความชื้นสัมพัทธ์อากาศสูง (อุณหภูมิกระเปาะเปียก 80 องศาเซลเซียส) เป็นระยะเวลานานกว่าสภาวะอื่น เมื่อความชื้นไม้มีค่าต่ำกว่าจุดหมาดอัตราการลดลงของความชื้นในไม้มีค่าน้อยลงกว่าในระยะแรกมาก เนื่องจากการเคลื่อนตัวของน้ำออกจากไม้ถูกควบคุมด้วยกระบวนการแพร่ทั้งหมด (Perré, 2007)



รูปที่ 4.7 ค่าการเปลี่ยนแปลงความชื้นในไม้ยางพาราภายใต้สภาวะการอบ S2 ที่อุณหภูมิกระเปาะแห้ง 90 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.8 ค่าการเปลี่ยนแปลงความชื้นในไม้ยางพาราภายใต้สภาวะการอบ S3 ที่อุณหภูมิกระเปาะแห้ง 90 องศาเซลเซียส

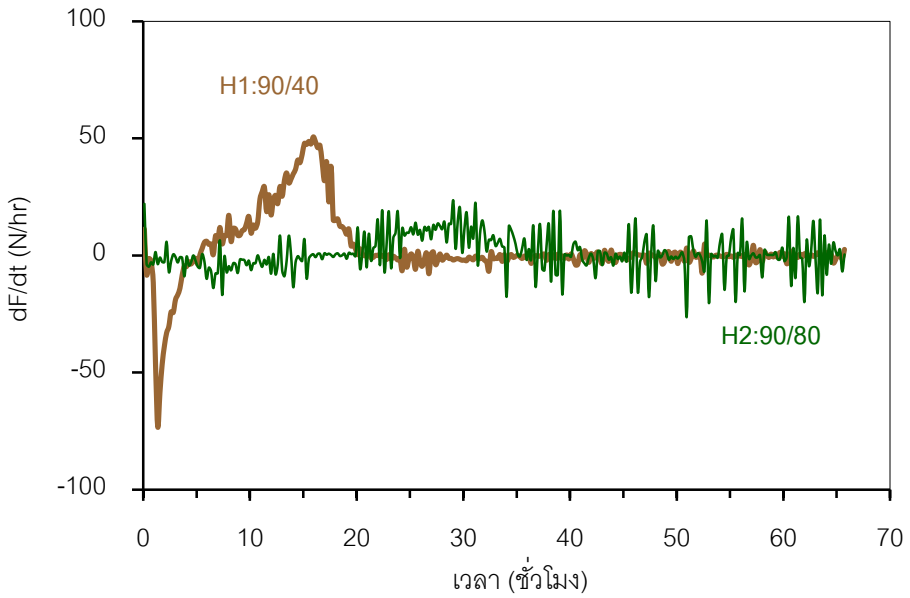


รูปที่ 4.9 ค่าการเปลี่ยนแปลงความชื้นในไม้ยางพาราภายใต้สภาวะการอบ S4 ที่อุณหภูมิกระเปาะแห้ง 90 องศาเซลเซียส

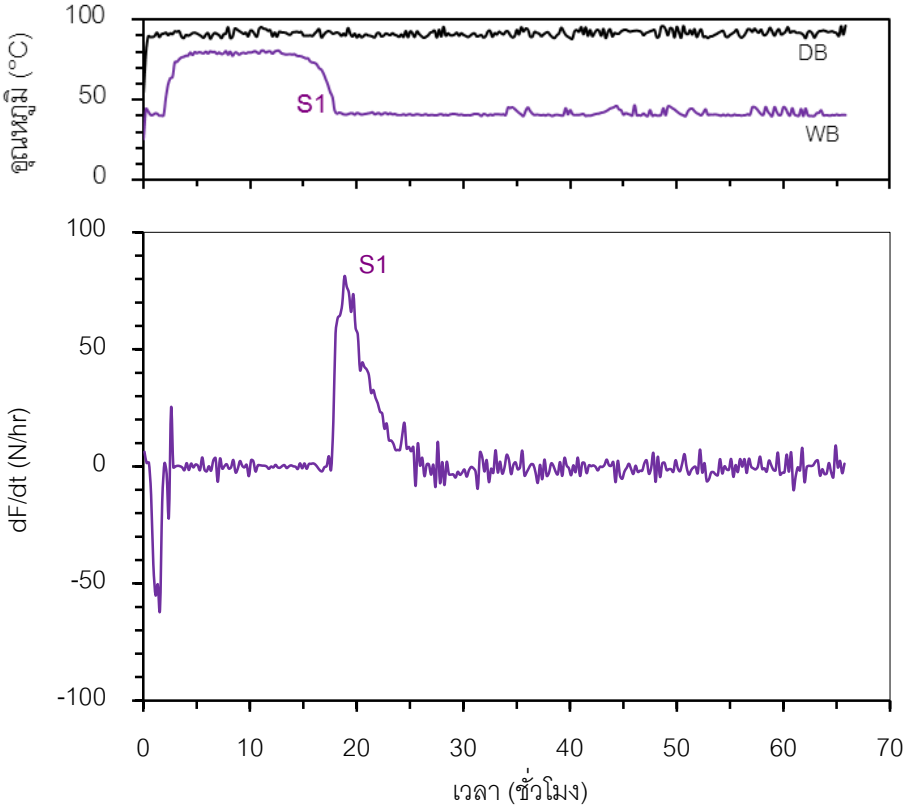
4.3 การพัฒนาอัลกอริทึมสำหรับควบคุมความเค้นในไม้

การควบคุมความเค้นในไม้จะแบ่งออกเป็นสองช่วงคือในช่วงแรกของการอบก่อนความเค้นกลับทิศและในช่วงที่สองของการอบหลังจากความเค้นกลับทิศแล้ว โดยในช่วงแรกของการอบจะควบคุมขนาดของแรงที่วัดได้จากชิ้นไม้ตัวอย่างไม่ให้มีขนาดเกินค่าที่ตั้งไว้ โดยหากแรงมีขนาดสูงกว่าค่าดังกล่าวเตาอบจะทำการปรับเพิ่มความชื้นในเตาอบโดยการสเปรย์ไอน้ำโดยอัตโนมัติจนกระทั่งขนาดของแรงมีค่าต่ำกว่าค่าที่ตั้งไว้ ในทางตรงข้ามหากขนาดของแรงมีค่าต่ำกว่าค่าที่ตั้งไว้ปล่องระบายอากาศจะเปิดออกเพื่อลดความชื้นภายในเตาอบเพื่อเร่งให้การอบเกิดได้รวดเร็วขึ้น

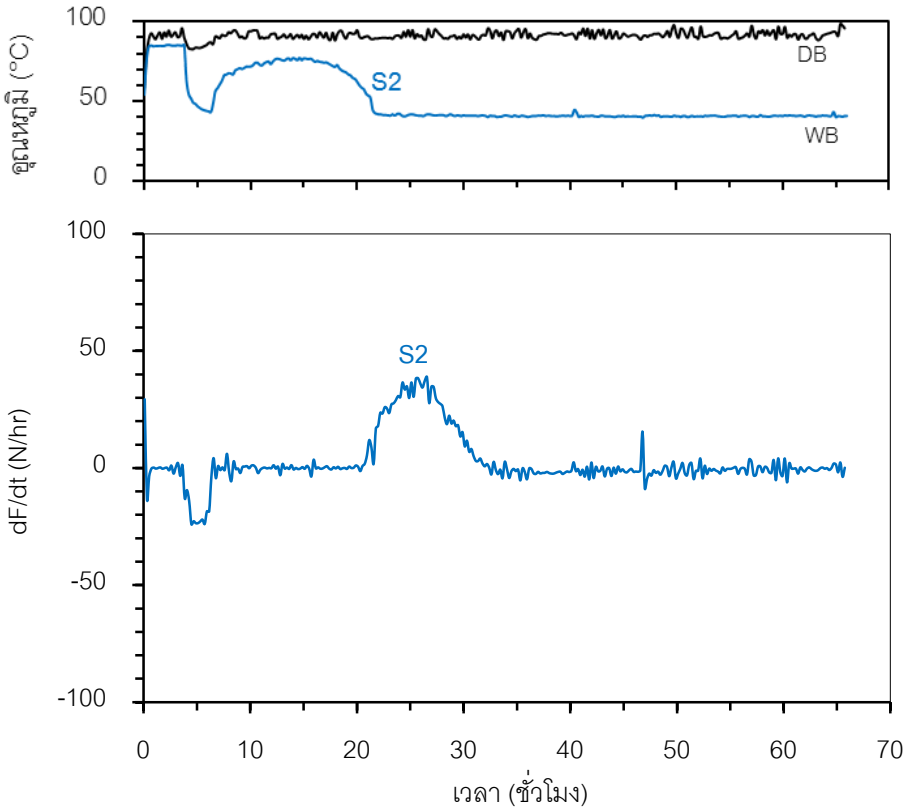
อย่างไรก็ตามผลการศึกษาจากงานวิจัยนี้พบว่าสภาวะการอบในช่วงก่อนที่จะมีการควบคุมแรงนั้นมีผลต่อความความเค้นสุดท้ายที่เกิดขึ้นในไม้เป็นอย่างมาก โดยการอบที่รุนแรงถึงแม้จะไม่ทำให้แรงมีขนาดสูงกว่าค่าที่ตั้งไว้แต่ก็มีผลต่อค่าความเค้นสุดท้ายที่จะเกิดขึ้นในไม้ในช่วงที่สองของการอบ ดังนั้นจึงเป็นไปได้ว่าไม่เฉพาะค่าของแรงเท่านั้นแต่อัตราการเปลี่ยนแปลงของแรงเทียบกับเวลาน่าจะมีผลต่อค่าแรงสุดท้ายที่วัดได้เมื่อสิ้นสุดการอบด้วย ดังนั้นเพื่อตรวจสอบสมมุติฐานดังกล่าว จึงได้เขียนกราฟรูปที่ 4.10-4.15 ซึ่งแสดงค่าอนุพันธ์ลำดับที่หนึ่งของแรงเทียบกับเวลาที่ระยะเวลาต่างๆตลอดการอบด้วยสภาวะต่างๆ (H1, H2, S1, S2, S3, S4, S5) ซึ่งจะเห็นได้ชัดว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของแรงที่สูงในช่วงต้นนั้นทำให้เกิดค่าแรงในช่วงที่สองซึ่งมีการลดความชื้นเพื่อเร่งการอบให้สูงด้วย เช่นในกรณีสภาวะการอบ S1 (รูปที่ 4.11), S2 (รูปที่ 4.12) และ S5 (รูปที่ 4.15) แต่หากอัตราการเปลี่ยนแปลงของแรงในช่วงต้นมีค่าต่ำก็จะทำให้ค่าแรงที่เกิดขึ้นในช่วงที่สองมีค่าลดลงด้วย เช่นในกรณีสภาวะการอบ S3 (รูปที่ 4.13) และ S4 (รูปที่ 4.14)



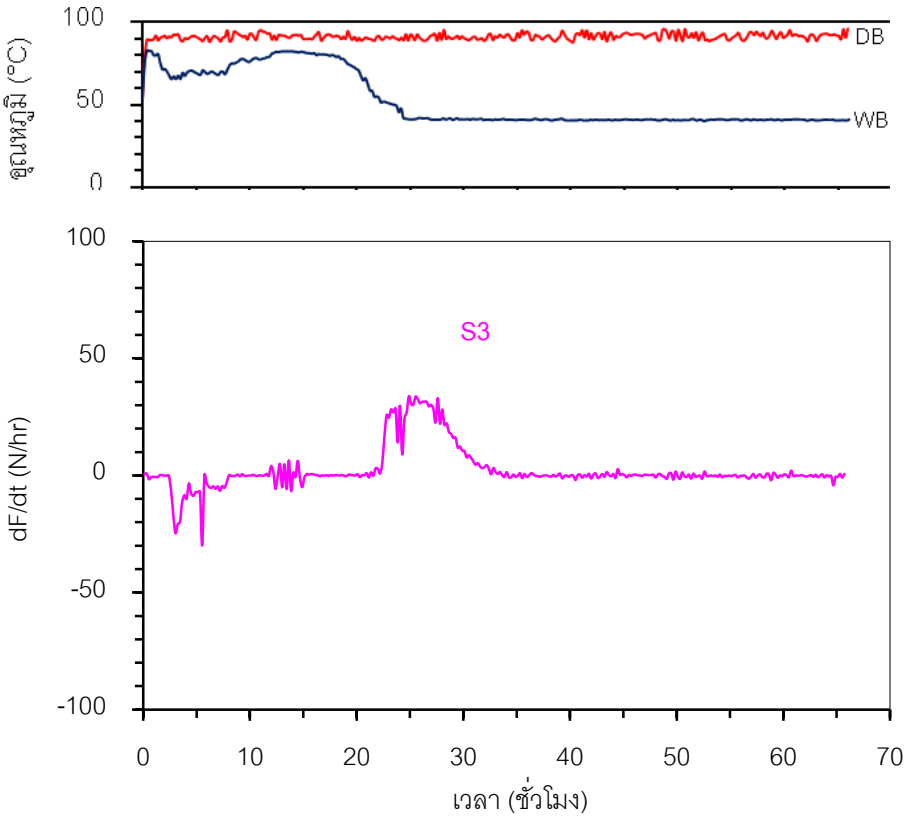
รูปที่ 4.10 ค่าอนุพันธ์ลำดับที่หนึ่งของแรงเทียบกับเวลาที่ระยะเวลาต่างๆตลอดการอบด้วยสภาวะรุนแรง H1 ที่อุณหภูมิกระเปาะแห้ง 90 องศาเซลเซียสและอุณหภูมิกระเปาะเปียก 40 องศาเซลเซียส และสภาวะไม่รุนแรง H2 ที่อุณหภูมิกระเปาะแห้ง 90 องศาเซลเซียสและอุณหภูมิกระเปาะเปียก 80 องศาเซลเซียส



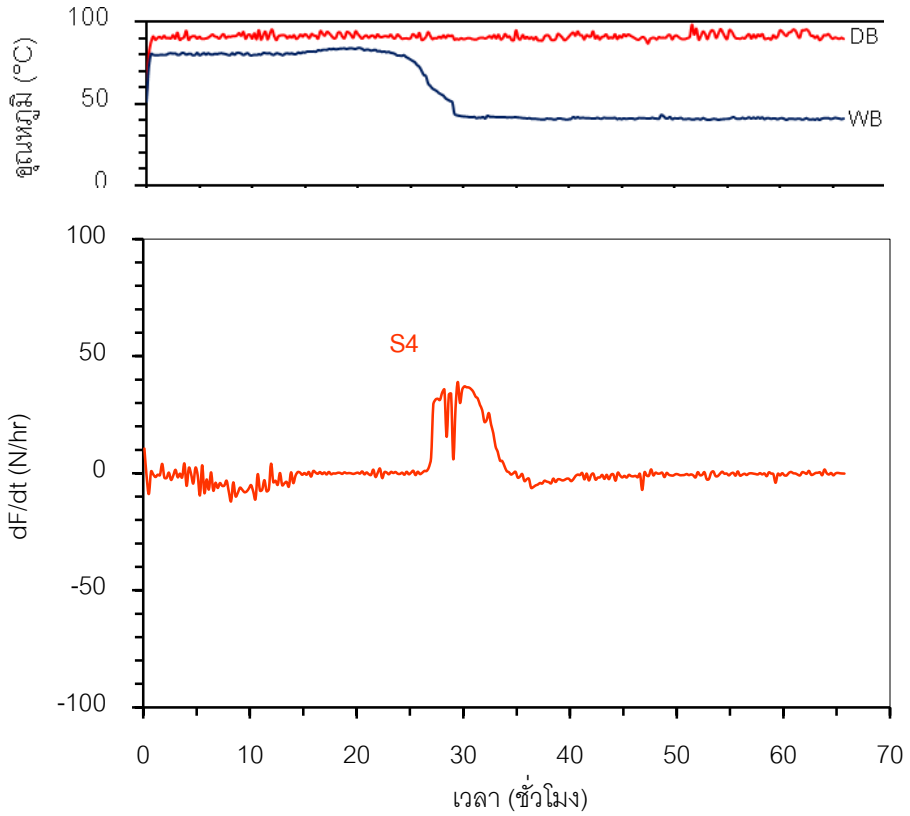
รูปที่ 4.11 ค่าอนุพันธ์ลำดับที่หนึ่งของแรงเทียบกับเวลาที่ระยะเวลาต่างๆตลอดการอบด้วยสภาวะ S1



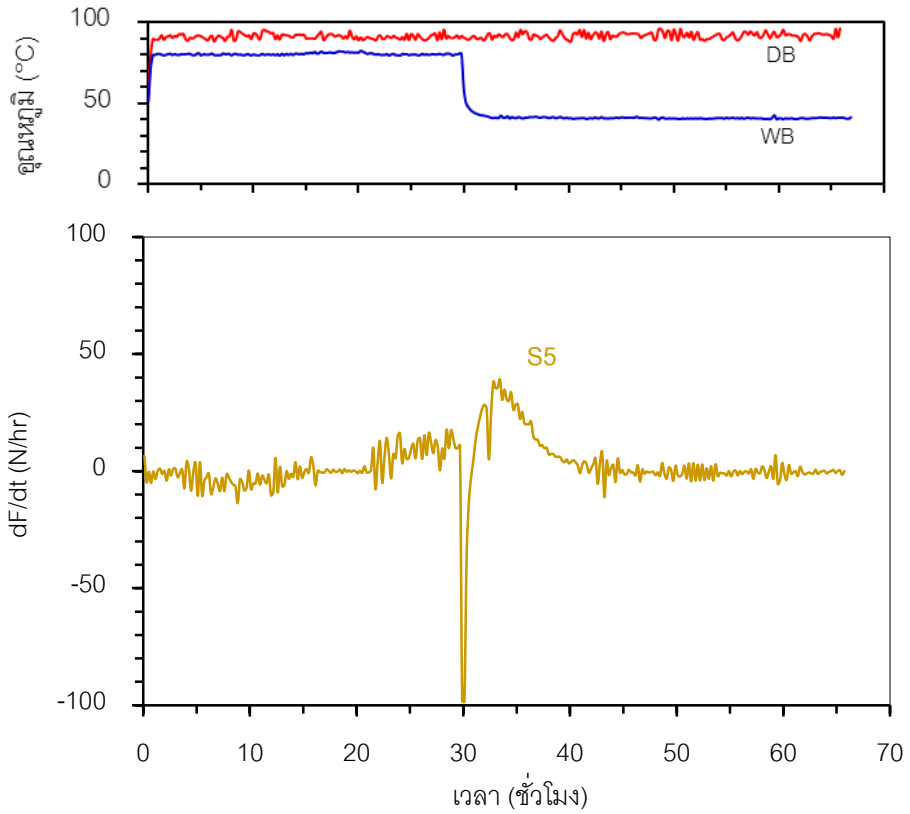
รูปที่ 4.12 ค่าอนุพันธ์ลำดับที่หนึ่งของแรงเทียบกับเวลาที่ระยะเวลาต่างๆตลอดการอบด้วยสภาวะ S2



รูปที่ 4.13 ค่าอนุพันธ์ลำดับที่หนึ่งของแรงเทียบกับเวลาที่ระยะเวลาต่างๆตลอดการอบด้วยสภาวะ S3



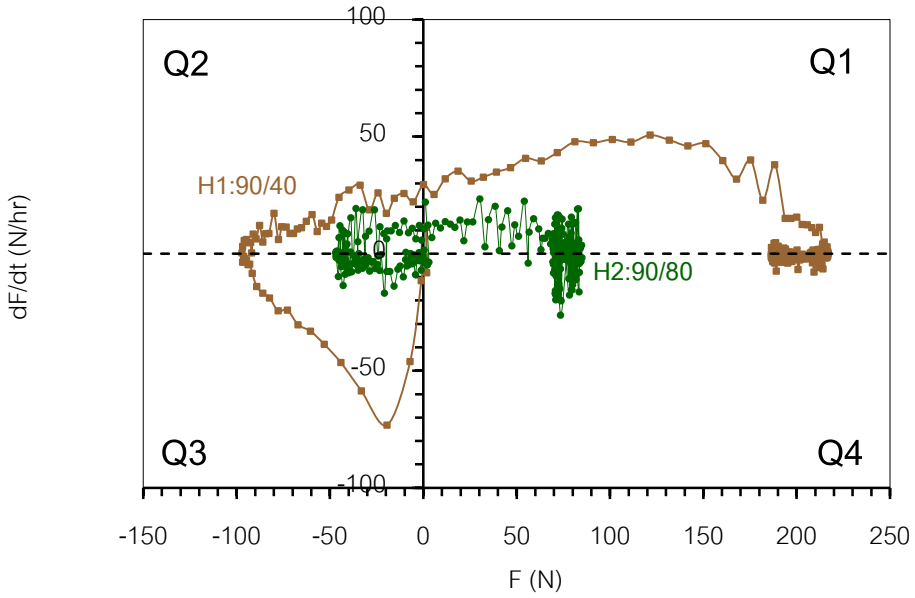
<u>รูปที่ 4.14</u> ค่าอนุพันธ์ลำดับที่หนึ่งของแรงเทียบกับเวลาที่ระยะเวลาต่างๆตลอดการอบด้วยสภาวะ S4



<u>รูปที่ 4.15</u> ค่าอนุพันธ์ลำดับที่หนึ่งของแรงเทียบกับเวลาที่ระยะเวลาต่างๆตลอดการอบด้วยสภาวะ S5

อนึ่งเพื่อศึกษาในลักษณะการเปลี่ยนแปลงของแรงเทียบกับเวลาที่สภาวะแรงค่าต่างๆ กราฟรูปที่ 4.16-4.15 ซึ่งแสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าอนุพันธ์ลำดับที่หนึ่งของแรงเทียบกับเวลากับค่าแรงที่วัดได้ตลอดการอบด้วยสภาวะต่างๆ (H1, H2, S1, S2, S3, S4, S5) โดยการเปลี่ยนแปลงสามารถแบกออกได้เป็นสี่ส่วนดังนี้คือ ส่วน Q1: ค่าอนุพันธ์ลำดับที่หนึ่งของแรงเทียบกับเวลามีค่าเป็นบวกและค่าแรงมีค่าเป็นบวก Q2: ค่าอนุพันธ์ลำดับที่หนึ่งของแรงเทียบกับเวลามีค่าเป็นบวกแต่แรงมีค่าเป็นลบ Q3: ค่าอนุพันธ์ลำดับที่หนึ่งของแรงเทียบกับเวลามีค่าเป็นลบและแรงมีค่าเป็นลบ และ Q4: ค่าอนุพันธ์ลำดับที่หนึ่งของแรงเทียบกับเวลามีค่าเป็นลบแต่แรงมีค่าเป็นบวก (รูปที่ 4.16)

สำหรับการอบโดยใช้สภาวะการอบคงที่ H1 และ H2 ลำดับการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่เริ่มต้นไปจนเสร็จสิ้นจะมีการเปลี่ยนแปลงจาก Q3 เป็น Q2 และ Q1 ตามลำดับ โดยจะยุติที่บนเส้นที่ค่าอนุพันธ์ลำดับที่หนึ่งของแรงเทียบกับเวลามีค่าเป็นศูนย์หรือไม่มีการเปลี่ยนแปลงของแรงเทียบกับเวลาอีกต่อไป (เส้นรอยต่อของ Q1 กับ Q4) โดยค่าในแนวนอนจะเป็นค่าแรงสุดท้ายที่วัดได้เมื่อสิ้นสุดการอบ สำหรับการอบด้วยสภาวะที่รุนแรงตลอดการอบ H1 จะเห็นว่าค่าอนุพันธ์ลำดับที่หนึ่งของแรงเทียบกับเวลามีค่าลบมากและค่าแรงก็มีค่าลบมากในช่วงต้น (Q3) ซึ่งส่งผลให้ค่าแรงสุดท้ายก่อนสิ้นสุดการอบ (Q1) มีค่าสูงถึงประมาณ 200 นิวตัน แต่สำหรับการอบด้วยสภาวะที่ไม่รุนแรง H2 ค่าอนุพันธ์ลำดับที่หนึ่งของแรงเทียบกับเวลามีค่าลบน้อยและค่าแรงก็มีค่าลบน้อยในช่วงต้น (Q3) ซึ่งส่งผลให้ค่าแรงสุดท้ายก่อนสิ้นสุดการอบ (Q1) มีค่าต่ำเพียงประมาณ 80 นิวตันเท่านั้น อย่างไรก็ตามการอบด้วยสภาวะ H2 นั้นทำให้อัตราการแห้งของไม้ช้าเกินไป ในการพัฒนาการอบจึงเป็นการเพิ่มอัตราการแห้งของไม้โดยการอบด้วยสภาวะที่รุนแรงมากขึ้น แต่พยายามควบคุมให้ความเค้นในไม้มีค่าไม่สูงจนเกินไป

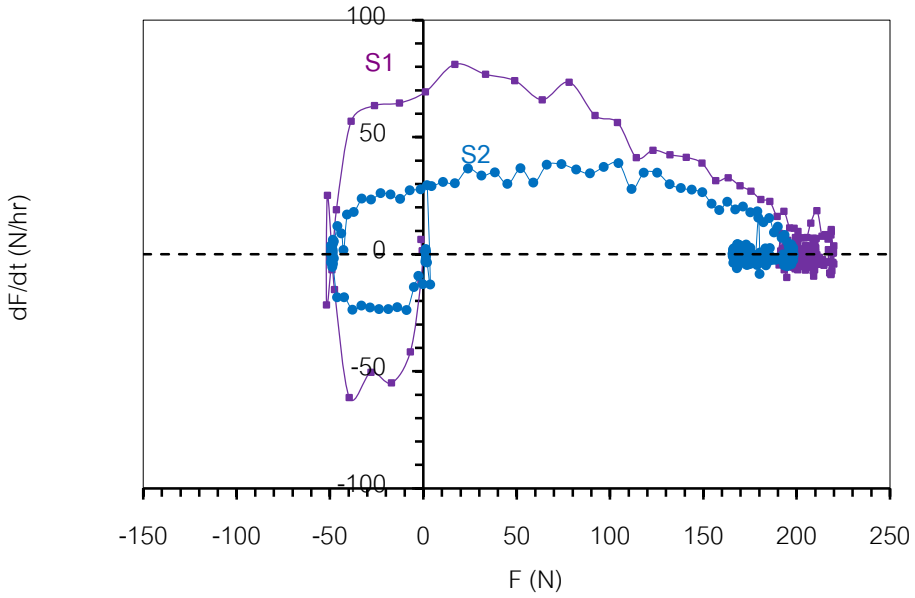


รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอนุพันธ์ลำดับที่หนึ่งของแรงเทียบกับเวลากับค่าแรงที่วัดได้ตลอดการอบด้วยสภาวะรุนแรง H1 ที่อุณหภูมิกระเปาะแห้ง 90 องศาเซลเซียสและอุณหภูมิกระเปาะเปียก 40 องศาเซลเซียส และสภาวะไม่รุนแรง H2 ที่อุณหภูมิกระเปาะแห้ง 90 องศาเซลเซียสและอุณหภูมิกระเปาะเปียก 80 องศาเซลเซียส

ในการควบคุมการอบด้วยสภาวะ S1 นั้น จะมีการควบคุมค่าแรงไม่ให้มีขนาดค่าลบมากกว่า -50 นิวตัน ดังนั้นจากรูปที่ 4.17 จะเห็นว่าค่าแรงต่ำสุดมีค่าเท่ากับ -50 นิวตัน อย่างไรก็ตามในกระบวนการอบไม่ได้มี

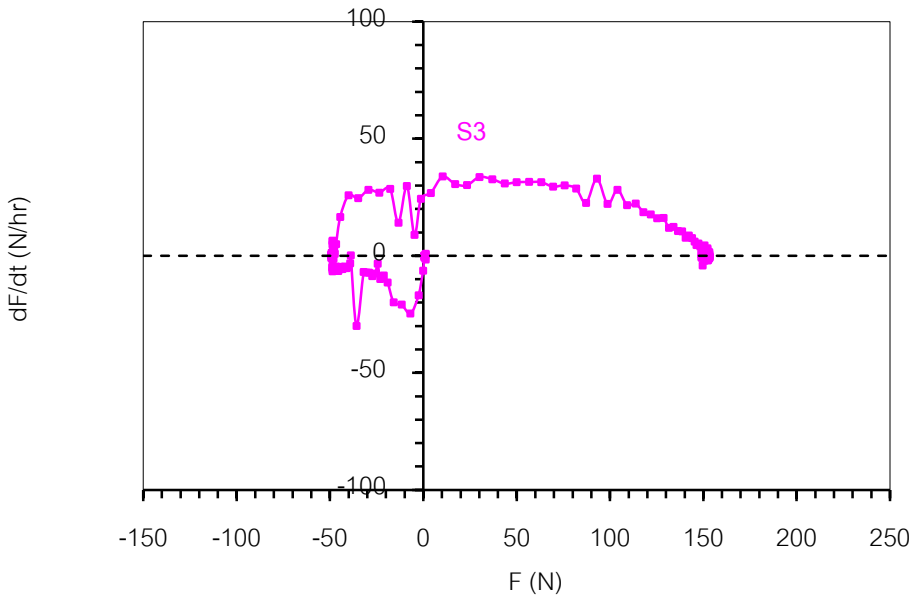
การควบคุมอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าแรงในช่วงแรกในส่วน Q3 ซึ่งส่งผลให้การเร่งการอบด้วยสภาวะรุนแรงในช่วงหลังนั้นเกิดความเค้นตกค้างในไม้สูงซึ่งสังเกตได้จากค่าแรงสุดท้ายที่ไม่ได้ลดลงจากค่าที่ได้จากสภาวะการอบแบบรุนแรงตลอดการอบ H1 เลย

ในสภาวะการอบ S2 จึงได้มีการปรับลดอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าแรงในช่วงแรกในส่วน Q3 ลง (รูปที่ 4.17) โดยการสเปรย์ไอน้ำในช่วงแรกของการอบ ซึ่งจะเห็นว่าการเร่งการอบด้วยสภาวะรุนแรงในช่วงหลังจะทำให้ได้ค่าแรงสุดท้ายซึ่งแสดงค่าความเค้นตกค้างในไม้หลังการอบที่ลดลงแต่ในปริมาณที่ยังไม่มาก ดังนั้นจึงเป็นไปได้ว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าแรงในช่วงแรกมีผลต่อค่าความเค้นตกค้างในไม้หลังจากการอบด้วยสภาวะการอบที่รุนแรงในช่วงที่สองของการอบ

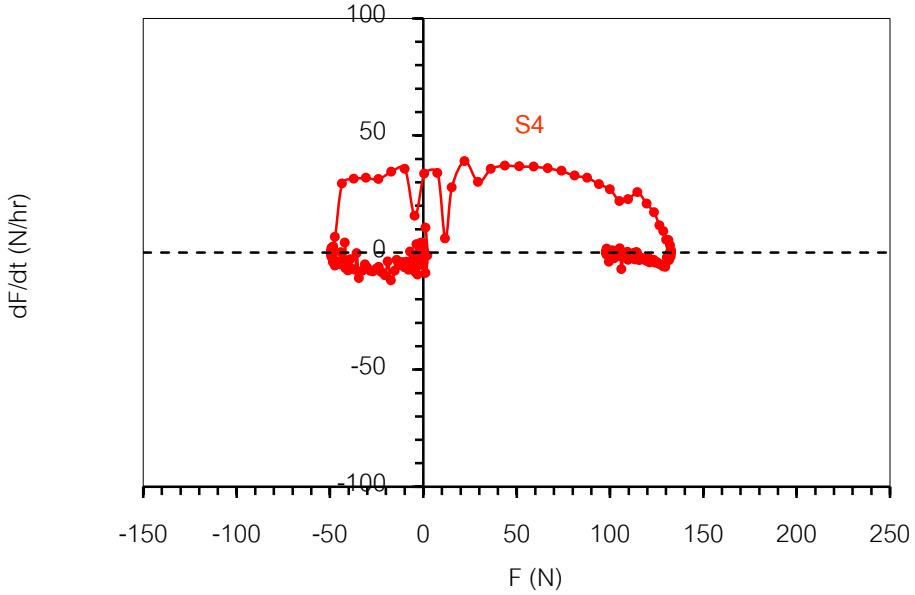


รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอนุพันธ์ลำดับที่หนึ่งของแรงเทียบกับเวลากับค่าแรงที่วัดได้ตลอดการอบด้วยสภาวะ S1 และ S2

ในสภาวะการอบ S3 ได้มีการปรับลดอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าแรงในช่วงแรกในส่วน Q3 ลงไปอีกด้วยการสเปรย์ไอน้ำที่มากขึ้น (รูปที่ 4.18) ซึ่งจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าการเร่งการอบด้วยสภาวะรุนแรงในช่วงหลังทำให้ได้ค่าแรงสุดท้ายซึ่งแสดงค่าความเค้นตกค้างในไม้หลังการอบที่ลดลงในปริมาณที่มากขึ้น และเมื่อปรับลดอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าแรงในช่วงแรกในส่วน Q3 ลงไปอีกในสภาวะการอบ S4 ซึ่งใช้ค่าอุณหภูมิกระเปาะเปียกในช่วงเริ่มต้นเท่ากับ 80 องศาเซลเซียส (สภาวะเดียวกันกับการอบแบบไม่รุนแรง) จะพบว่าค่าแรงสุดท้ายซึ่งแสดงค่าความเค้นตกค้างในไม้หลังการอบมีค่าประมาณ 90 นิวตัน (รูปที่ 4.19) สูงกว่าการอบแบบไม่รุนแรงตลอดการอบเพียงเล็กน้อยเท่านั้น (สภาวะ H2 ในรูปที่ 4.16) ทั้งนี้จากการอบด้วยสภาวะ S3 และ S4 จะพบว่าการเร่งการอบในส่วน Q2 และ Q1 ซึ่งทำให้อัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าแรงในส่วนดังกล่าวสูงขึ้นนั้นไม่ได้มีผลต่อค่าแรงสุดท้ายซึ่งแสดงค่าความเค้นตกค้างในไม้หลังการอบมากนัก

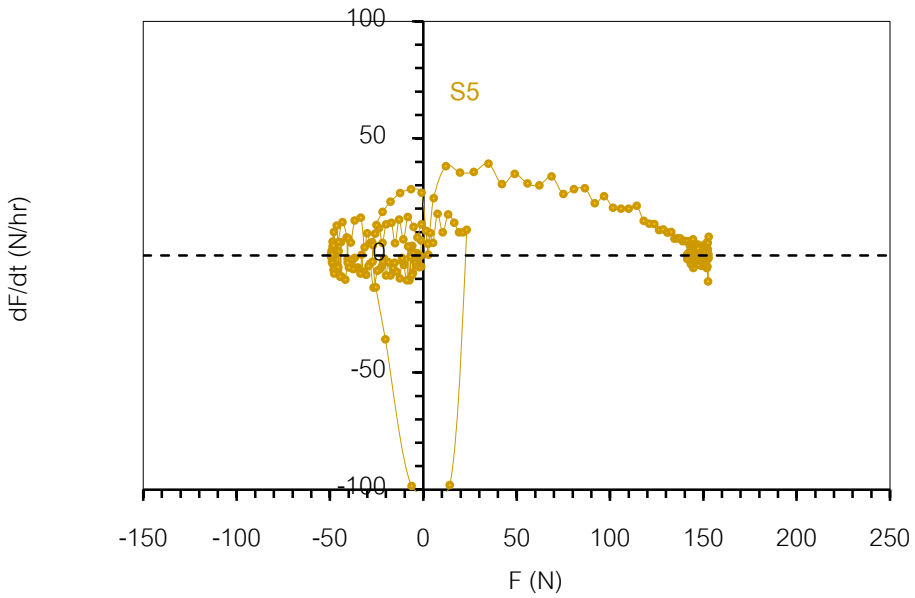


รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอนุพันธ์ลำดับที่หนึ่งของแรงเทียบกับเวลากับค่าแรงที่วัดได้ตลอดการอบด้วยสภาวะ S3



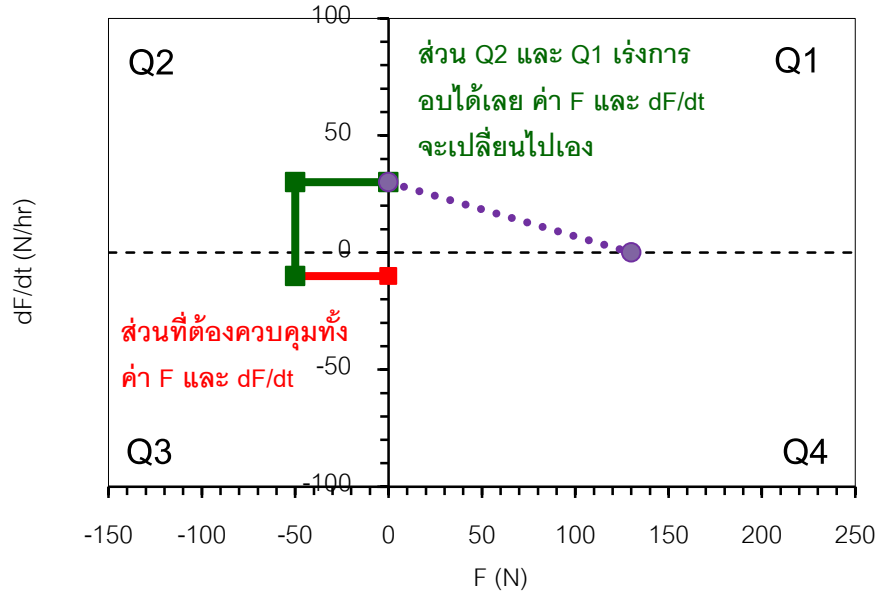
รูปที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอนุพันธ์ลำดับที่หนึ่งของแรงเทียบกับเวลากับค่าแรงที่วัดได้ตลอดการอบด้วยสภาวะ S4

ในสภาวะการอบ S5 (รูปที่ 4.20) ซึ่งใช้ค่าอุณหภูมิกระเปาะเปียกในช่วงเริ่มต้น Q1 และ Q2 เท่ากับ 80 องศาเซลเซียส (สภาวะเดียวกันกับการอบแบบไม่รุนแรง)ไปตลอด หลังจากที่ค่าแรงมีค่าเป็นบวกจึงได้เร่งการอบด้วยสภาวะรุนแรง ซึ่งผลจากการกระทำดังกล่าวจะเห็นว่าทำให้ค่าแรงและค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงค่าแรงกลับไปมีค่าเป็นลบ ซึ่งส่งผลให้ค่าแรงสุดท้ายซึ่งแสดงค่าความเค้นตกค้างในไม้หลังการอบมีค่าสูงกว่าสภาวะการอบแบบ S3 และ S4



รูปที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอนุพันธ์ลำดับที่หนึ่งของแรงเทียบกับเวลากับค่าแรงที่วัดได้ตลอดการอบด้วยสภาวะ S5

ดังนั้นโดยสรุปจะเห็นได้ว่าอัลกอริทึมสำหรับการอบไม้นั้นจะต้องควบคุมทั้งขนาดของแรงและอัตราการเปลี่ยนแปลงของแรงในส่วน Q3 ในช่วงแรกของการอบ เพราะค่าดังกล่าวจะมีผลต่อค่าแรงสุดท้ายซึ่งแสดงค่าความเค้นตกค้างในไม้หลังการอบเมื่อทำการอบเร่งด้วยสภาวะการอบแบบรุนแรงเพื่อเร่งการแห้งของไม้ในช่วงหลัง โดยในส่วนของ Q2 และ Q1 นั้นสามารถเร่งการอบโดยค่าแรงจะมีการเปลี่ยนแปลงไปเอง ซึ่งหากค่าในส่วน Q3 มีค่าน้อย ค่าแรงสุดท้ายในส่วนนี้จะมีค่าน้อยด้วย (รูปที่ 4.21)



รูปที่ 4.21 อัลกอริทึมสำหรับควบคุมการอบไม้เพื่อควบคุมค่าความเค้นที่เกิดขึ้นในเนื้อไม้ระหว่างการอบ

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

จากผลการวิจัยสามารถสรุปประเด็นสำคัญที่ค้นพบได้ดังนี้

1) ระบบควบคุมการอบที่ออกแบบและสร้างขึ้นสามารถควบคุมขนาดของแรงไม่ให้มีค่าเกินขนาดที่กำหนดในช่วงแรกของการอบก่อนการกลับทิศของความเค้นได้ โดยการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในเตาอบโดยระบบจะมีการเปิดปล่องระบายอากาศหากขนาดของแรงมีค่าต่ำกว่าค่าที่ตั้งไว้ ในทางตรงข้ามระบบจะมีการสเปรย์ไอน้ำหากขนาดของแรงมีค่าสูงกว่าค่าที่ตั้งไว้

2) ในการอบแบบสองขั้นตอนที่มีการควบคุมขนาดของแรงในช่วงแรกก่อนการกลับทิศของความเค้นแล้วตามด้วยการอบแบบรุนแรงในช่วงที่สอง พบว่าค่าความเค้นสุดท้ายที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับสภาวะการอบแบบรุนแรงตลอดการอบ

3) ในช่วงแรกของการอบก่อนการกลับทิศของความเค้นพบว่าถึงแม้จะมีการควบคุมขนาดของแรงแล้วก็ตาม แต่หากค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในบางช่วงมีค่าต่ำเกินไป จะทำให้อัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าแรงในช่วงนี้มีค่าสูง ซึ่งพบว่าจะมีผลต่อค่าแรงสูงสุดในช่วงที่สองของการอบภายใต้สภาวะการอบแบบรุนแรง โดยจะทำให้ค่าแรงในช่วงที่สองมีค่าสูงขึ้น

4) ผู้วิจัยได้นำเสนออัลกอรึทึมสำหรับการอบไม้ซึ่งต้องควบคุมทั้งขนาดของแรงและอัตราการเปลี่ยนแปลงของแรงในช่วงแรกของการอบในส่วน Q3 โดยค่าดังกล่าวจะมีผลต่อค่าความเค้นตกค้างในไม้หลังการอบหลังจากทำการอบเร่งด้วยสภาวะการอบแบบรุนแรงของไม้ในช่วงหลัง โดยในส่วนของ Q2 และ Q1 นั้นสามารถเร่งการอบได้โดยค่าแรงและอัตราการเปลี่ยนแปลงของแรงไม่มีผลต่อค่าความเค้นตกค้างในไม้หลังการอบ (รูปที่ 4.21)

5) ความชื้นไม้มีค่าลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงแรกของการอบโดยอัตราการแห้งจะมีค่าน้อยลงเมื่อไม้มีความชื้นต่ำกว่าจุดหมาด อัตราการแห้งของไม้โดยรวมจะขึ้นอยู่กับค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในเตาอบ สภาวะการอบที่ประกอบด้วยช่วงที่มีค่าความชื้นสัมพัทธ์อากาศสูงเป็นระยะเวลานานๆจะทำให้การแห้งของไม้ช้าลง ดังนั้นการควบคุมความเค้นในไม้จึงต้องพิจารณาอัตราการแห้งของไม้ควบคู่ไปด้วย

ผลผลิต

ผลงานตีพิมพ์และเผยแพร่ระดับนานาชาติ

1. Tomad J, Juntawee S, Matan N (2016) Internal stress controlled drying of rubberwood lumber. Drying Technology (in preparation)

เอกสารอ้างอิง

Allegretti O (2004) Non symmetrical tests-experimental results for free and constrained samples of Beech wood. Proc COST E15 conference, Athens, Greece: pp 22-24

Brandao A, Perré P (1996) The Flying wood – A quick test to characterize the drying behavior of tropical woods. Proc 5th International IUFRO Wood Drying Conference, Quèbec, Canada: pp 315-324

Diawanich P, Matan N, Kyokong B (2010) Evolution of internal stress during drying, cooling and conditioning of rubberwood lumber. European Journal of Wood and Wood Product 68(1):1-12

Diawanich P, Tomad S, Matan N, Kyokong B (2012) Novel assessment of casehardening in kiln dried lumber. Wood Science and Technology 46:101-114

European Committee for Standardization (2002) Sawn timber – Method for assessment of case-hardening. CEN standard ENV 14464:2002

Fuller J (2000) Determining the source of changing shrinkage during kiln drying. Drying Technology 18(1&2):261–278

McMillen J (1963) Stresses in wood during drying. Report 1651, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. Madison, WI

Pang S (2004) Airflow reversals for kiln drying of softwood lumber: application of a kiln-wide drying model and a stress model. Proc 14th International Drying Symposium, Sao Paulo, Brazil, B:1369-1376

Perré P (1999) How to get a relevant material model for wood drying simulation? Cost action E15: Advances in drying of wood (1999-2003), 1st workshop: State of the art for kiln drying, Edinburgh

Perré P (2007) Fundamentals of wood drying. European COST A.R.BO.LOR., Nancy, France

Simpson WT (1991) Dry kiln operator's manual. Agric.Handbook AH-188. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. Madison, WI

Tarvainen V, Ranta-Maunus A, Hanhijarvi A et al (2006) The effect of drying and storage conditions on case hardening of scots pine and Norway spruce timber. Maderas Cienc tecnol 8(1):3-14

Tomad S, Matan N, Diawanich P, Kyokong B (2012) Internal stress measurement during drying of rubberwood lumber: effects of wet-bulb temperature in various drying strategies. Holzforschung 66: 645-654

บุญนำ เกี่ยวข้อง ประเวศร์ เดี่ยววานิช และ นิรันดร มาแทน สิทธิบัตรเรื่อง ชุดวัดความเค้นในไม้แบบต่อเนื่อง คำขอสิทธิบัตรเลขที่ 0801002605 วันที่ 26 พฤษภาคม 2551