บทที่ 1

บทนำ

บทนำต้นเรื่อง

ปัจจุบันไม้ยางจัดได้ว่าเป็นวัตถุดิบที่มีมูลค่าและสร้างรายได้ให้ประเทศกว่า 28,000 ล้านบาทต่อปี และนับวันจะมีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศไทยเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากมีการขยายพื้นที่เพาะปลูกอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นจึงมีการพัฒนาพันธุ์ยางที่ให้ผลผลิตเนื้อไม้สูง จากการสำรวจของสถาบันวิจัยยางเมื่อปี พ.ศ. 2548 พบว่าประเทศไทยมีพื้นที่ประมาณ 12 ล้านไร่ โดยเขตภาคใต้มีพื้นที่เพาะปลูกถึง 9.97 ล้านไร่ หรือคิดเป็น 83% ของพื้นที่เพาะปลูกทั้งหมด

เมื่อยางพาราเมื่อมีอายุมากขึ้นปริมาณการให้น้ำยางจะลดลง จำเป็นต้องมีการโค่นเพื่อปลูกทดแทน การนำไม้ยางมาใช้ประโยชน์จึงเริ่มต้นขึ้นและเป็นที่นิยมมากขึ้นเนื่องจากมีราคาถูก, มีจำนวนมากและเนื้อไม้มีสีขาวสวย โดยเหตุผลของการอบแห้งไม้มีดังนี้ เช่น เพิ่มความสามารถในการนำไปใช้งานได้ดีขึ้น, ลดต้นทุนการขนส่ง, เพิ่มความแข็งแรงของไม้, ลดความว่องไวจากการถูกแมลงทำลาย, เก็บรักษาได้ง่ายขึ้นและเพิ่มมูลค่าแก่ไม้ยางที่ผ่านการอบแล้ว เป็นต้น

วิธีการอบแห้งไม้ยางในประเทศไทยส่วนมากเป็นการอบแห้งไม้ยางด้วยอากาศร้อนซึ่งเป็นการอบแห้งไม้ยางแบบดั้งเดิม เวลาในการอบแห้งนาน 7-8 วันและมีประสิทธิภาพไม่สูงนัก ดังนั้นจึงเป็นที่มาของการเริ่มต้นความคิดในการใช้วิธีอบแห้งแบบผสมผสานระหว่างไอน้ำยิ่งยวดกับลมร้อนแทนเนื่องจากไอน้ำยิ่งยวดมีประสิทธิภาพในการให้พลังงานสูงและอาจจะนำพลังงานกลับมาใช้ใหม่ได้ ตัวกลางส่งผ่านความร้อนได้ดีจึงช่วยลดเวลาในการอบแห้งไม้ยาง ซึ่งมีผู้ทำวิจัยไว้ก่อนแล้ว โดยผลของการศึกษาการอบแห้งด้วยวิธีอบแห้งไม้ยางแบบผสมผสานระหว่างไอน้ำยิ่งยวดกับลมร้อนเพื่อลดเวลาในการอบและศึกษาผลกระทบต่อคุณสมบัติเชิงกายภาพและเชิงกลของไม้ยาง ในกระบวนการอบแห้งจะต้องอบจนกระทั่งไม้ยางมีความชื้นน้อยกว่า 15% มาตรฐานแห้ง (dry basis)โดยให้สภาวะในห้องอบมีอุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส ที่ความดัน 1 บรรยากาศ จากการศึกษาได้เงื่อนไขการอบแห้งที่เหมาะสมคือ (1) ใช้ไอน้ำร้อนอิ่มตัวในชั่วโมงแรกๆของการอบแห้ง เพื่อปรับให้ไม้มีความชื้นใกล้เคียงกันและป้องกันการแตกของไม้ยางจากอุณหภูมิการอบแห้งที่สูงในช่วงไอน้ำยิ่งยวดต่อไป (2) ใช้ไอน้ำยิ่งยวดที่อุณหภูมิ 105 และ 110

องศาเซลเซียส สลับกับลมร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ในช่วงการอบแห้งหลัก (3) ใช้ลมร้อนอบแห้งอย่างต่อเนื่องในช่วงท้ายของการอบแห้งเพื่อลดความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องและดึงน้ำในผนังเซลล์ (bound water) ที่เหลือออกจากไม้ยาง ผลจากการอบแห้งสามารถลดเวลาในการอบแห้งให้เหลือ 41 ชั่วโมง โดยปราศจากไม้เสีย แม้ว่าคุณสมบัติเชิงกลของไม้ยางที่ได้จะลดลงเล็กน้อย (6-30%) เมื่อเปรียบเทียบกับไม้ยางที่อบแห้งแบบปกติในโรงงานอุตสาหกรรม แต่ก็อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้และเวลาที่ใช้ในการอบแห้งลดลงอย่างมีนัยสำคัญ (จาก 7-8 วัน ลดเหลือ 2 วัน) เป็นการแสดงให้เห็นถึงศักยภาพในการลดค่าใช้จ่าย ค่าพลังงานและค่าใช้จ่ายด้านการดำเนินการเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการอบแห้งแบบลมร้อน ส่วนโครงการวิจัยนี้เป็นโครงการวิจัยที่ศึกษาต่อเนื่องมาจากโครงการวิจัยก่อนแล้วซึ่งเป็นการวิจัยในระดับห้องปฏิบัติการ ซึ่งโครงการวิจัยนี้ได้ได้ขยายขนาดของการทดลองเป็นระดับโรงงานอุตสาหกรรมจำลอง เพื่อเพิ่มความถูกต้องในการนำไปใช้งานในระดับโรงงานอุตสาหกรรมได้ถูกต้องมากขึ้น

ตรวจเอกสาร

ทฤษฎีและหลักการ

1.1 ลักษณะทั่วไปของเนื้อไม้ยาง

ไม้ยาง เป็นพืชใบเลี้ยงคู่มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า Hevea brasilliensis Muell.Arg. ลักษณะทั่วไปของเนื้อไม้ยาง ส่วนของกระพี้และแก่นจะมีสีไม่แตกต่างกันโดยมีสีครีมถึงสีครีมอมชมพู เนื้อไม้มีน้ำหนักเบาถึงปานกลาง โดยมีความหนาแน่น 560-640 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร ที่ความชื้น 15% มาตรฐานแห้ง เนื้อไม้มีเสี้ยนตรงบางครั้งอาจพบว่าเป็นเสี้ยนสนบ้าง ส่วนองค์ประกอบหลักทางเคมีภายในเนื้อของไม้ยางประกอบด้วยเซลลูโลส (cellulose), เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) และลิกนิน (lignin)

1.2 การตัดฟันไม้ยาง

การทำสวนยางในเมืองไทยมีจุดประสงค์เพื่อกรีดเอาน้ำยางเป็นหลัก โดยผลพลอยได้หลังจากทำสวนยางคือไม้ยาง ในอดีตต้นยางถูกตัดโค่นส่วนใหญ่ ถูกเผาทิ้ง ทำฟืน การนำไปใช้ประโยชน์ค่อนข้างจำกัด เพราะไม้ยางมีความทนทานตามธรรมชาติค่อนข้างต่ำ แมลงและเห็ดราเข้าไปทำลายเนื้อไม้ได้ง่ายและรวดเร็ว ต่อมาเมื่อทรัพยากรป่าไม้ขาดแคลน ไม้คุณภาพดีที่เคยหาได้ง่ายและราคาถูกเริ่มหายาก และมีราคาแพง ดังนั้นจึงได้พยายามหาวิธีที่จะนำไม้ยางมาใช้ประโยชน์

จนประสบความสำเร็จ ปัจจุบันผลิตภัณฑ์จากไม้ยางเป็นที่ต้องการของต่างประเทศ ทำให้เกิดอาชีพการทำไม้ยางขึ้นในพื้นที่ที่มีการปลูกยางพาราทั้งในภาคใต้ ภาคตะวันออก และเกือบทั่วทุกภาคของประเทศไทย

จากการสำรวจพบว่า สวนยางที่มีอายุตั้งแต่ 18 ปี ขึ้นไปจะขายไม้ยางยกสวน หลังตัดโค่นแล้วไม้ท่อนที่มีขนาดโตเกิน 6 นิ้ว ถูกหมายทอน กิ่งขนาดเล็กและใบจะถูกริบสุมเผา หลังจากหมายทอนท่อนแล้วนำท่อนไม้ยางขนาดยาว 1.0-1.3 เมตร ใส่รถยนต์บรรทุกไปขายยังโรงงานแปรรูปไม้ โดยกระบวนการตัดโค่นจนถึงการขนส่งไปยังโรงงานแปรรูปไม้นิยมทำให้ เร็วที่สุดเพียง 1 วัน และไม่เกิน 3 วัน เพื่อลดการทำลายจากเชื้อราและแมลงเจาะทำลาย

1.3 โรงงานแปรรูปไม้ยาง

ปัจจุบันการใช้ไม้ยางแพร่หลายไปทั่วทุกภาคของประเทศ โรงงานแปรรูปไม้ยางส่วนใหญ่อยู่ในภาคใต้เนื่องจากมีพื้นที่ปลูกสวนยางประมาณ 85% ของพื้นที่ปลูกยางของประเทศ โรงงานแปรรูปขนาดเล็กส่วนใหญ่ไม่มีเตาอบและอุปกรณ์อัดน้ำยาไม้ของตนเองทำให้ไม้แปรรูปที่ได้ด้อยคุณภาพ ส่วนโรงงานขนาดใหญ่มีอุปกรณ์ที่ค่อนข้างทันสมัย

ในโรงงานจะมีพื้นที่สำหรับกองไม้ โดยมีทั้งพื้นแบบคอนกรีตและพื้นแบบลูกรัง การกองไม้ส่วนมากไม่เป็นระเบียบ ทับซ้อนกัน มีเพียงบางโรงเท่านั้นที่มีการจัดเรียงไม้ท่อนก่อนเข้าเรื่อยอย่างเป็นระเบียบ การเรียงไม้ช่วยให้การเลื่อยไม้รวดเร็ว เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีแรก การสำรวจไม่พบการคัดขนาดของไม้ท่อนก่อนเข้าเลื่อย แต่อย่างใดมีเพียงบางโรงงานเท่านั้นที่คัดแยกตามขนาด ความโตก่อนส่งเข้าเลื่อย ไม้ท่อนควรคัดขนาดและขนาดโตเกินกว่า 30 เซนติเมตร ส่งเข้าปลอกเป็นไม้บาง กองให้เป็นระเบียบ

1.4 อัตราการแปรรูปไม้ยาง

อัตราการแปรรูปไม้ยาง หมายถึง สัดส่วนของปริมาตรไม้แผ่นที่ได้จากการแปรรูปต่อปริมาตรของไม้ท่อนที่เข้าแปรรูป คิดเป็นเปอร์เซนต์ หรือเขียนเป็นสูตรได้ดังนี้

อัตราการแปรรูปไม้ = ปริมาตรไม้แปรรูป × 100% ปริมาตรไม้ท่อนที่เลื่อย

โรงงานแปรรูปไม้ทั่วไปนิยมซื้อไม้ท่อนหน้าโรงงาน เป็นหน่วยน้ำหนักกิโลกรัมหรือเป็นตัน (1,000 กิโลกรัม) บางแห่งไม่มีเครื่องชั่งรับซื้อเป็นหน่วยปริมาตร โดยใช้การกองไม้ท่อน

ให้ได้ความ กว้าง 1 เมตร × ยาว 1 เมตร × สูง 1 เมตร มักเรียกเป็นหลา (1 ลูกบาศก์เมตร) โดยคิดเทียบน้ำหนักไม้ท่อน 1 ตัน มีปริมาตร 1.3 ลูกบาศก์เมตร

ภาพประกอบที่ 1-1 การแปรรูปไม้ยางโดยเลื่อยให้มีขนาดตามความต้องการ
ที่มา: www.108wood.com/index.php.

1.5 การอาบน้ำยาไม้และอบไม้

หลังจากแปรรูปไม้ยางให้มีขนาดตามต้องการแล้วจึงนำไม้มาผ่านกระบวนการอัดน้ำยารักษาเนื้อไม้

1.5.1 การอาบน้ำยาไม้ เพื่อป้องกันการทำลายของเชื้อราและแมลงหลังการแปรรูป โดยทำการอัดน้ำยาจำพวกบอร์เร็กซ์ โดยการอัดเข้าเนื้อไม้แบบเต็มเซลล์ก่อนอบไม้ ไม้ยางเป็นไม้ที่มีความทนทานตามธรรมชาติต่ำ เกิดเชื้อราและการทำลายของแมลงได้ง่าย พบว่าการอาบน้ำยาแบบใช้แรงอัด ขนาดความจุของถังอัดตั้งแต่ 3.5-8.0 ลูกบาศก์เมตร โดยใช้เวลาในการอัดต่อครั้งประมาณ 1.5-2 ชั่วโมง โดยใช้ความดัน 150-200 ปอนด์/ตารางนิ้ว

1.5.2 สารป้องกันรักษาเนื้อไม้ สามารถแบ่งออกเป็นสองกลุ่มใหญ่คือ สารป้องกันรักษาเนื้อไม้ที่ใช้น้ำมันเป็นตัวทำละลาย (oilborne preservatives) ตัวอย่างของสารกลุ่มนี้ เช่น เพนตะคลอโรฟีนอล (PCP) และสารป้องกันรักษาเนื้อไม้ที่น้ำเป็นตัวทำละลาย (waterborne

preservative) มักใช้กับไม้ที่ต้องการโชว์ลวดลายหรือนำไปย้อมสีต่อ ข้อดีของสารนี้คือ ต้านทานต่อการชะล้างได้ดี นำไปใช้งานง่าย สามารถใช้ได้ทั้งไม้แปรรูป, ไม้ท่อน, เสา, เสาเข็ม และไม่มีกลิ่นเหม็น

ภาพประกอบที่ 1-2 เครื่องอัดน้ำยาไม้ยาง

ที่มา: www.108wood.com/index.php.

1.6 เตาอบไม้

ไม้ยางหลังจากไม้อัดน้ำยาแล้วจะนำมาอบแห้ง ลักษณะเตาอบไม้ที่พบเป็นแบบใช้ไอน้ำทั้งสิ้น การอบไม้ต้องอาศัยความชำนาญหรือจากประสบการณ์ อบไม้ให้มีความชื้น 8-12% มาตรฐานแห้ง เวลาในการอบแห้งประมาณ 7-15 วัน เตาอบไม้ด้วยไอน้ำขึ้นอยู่กับขนาดของเตาอบ ความหนาและความชื้นของไม้ยางก่อนเข้าอบ จำนวนเตาอบไม้ของแต่ละโรงงานโดยเฉลี่ยมีประมาณ 8-10 เตา มีความจุระหว่าง 20-30 ลูกบาศก์เมตร/เตา

ภาพประกอบที่ 1-3 เตาอบไม้ยางในโรงงานอุตสาหกรรม
ที่มา: www.108wood.com/index.php.

1.7 ทฤษฎีและข้อปฏิบัติของการอบไม้

ไม้ยางสดอาบน้ำยาจะถูกอบแห้งจนกระทั่งถึงความชื้นภายในไม้สุดท้ายมีค่าประมาณระหว่างช่วงของความชื้นที่คาดหวังเอาไว้กับความชื้นของสิ่งแวดล้อม ซึ่งปริมาณความชื้นภายในสุดท้ายของไม้ที่อบแห้งจะมีค่าแปรเปลี่ยนไปตามผลิตภัณฑ์ที่ต้องการผลิต, ลักษณะทางภูมิศาสตร์และแนวโน้มการนำผลิตภัณฑ์ไปใช้งาน

1.8 ปัญหาที่พบในการอบไม้ยาง

ในขั้นตอนของการอบแห้งไม้มีข้อเสียที่เกิดขึ้นดังนี้

1.8.1 ผลกระทบเนื่องจากอุณหภูมิที่ใช้สำหรับอบแห้ง

อุณหภูมิที่สูงจะทำให้ความแข็งแรงของไม้ลดลงสองประการ ประการแรกทำให้เกิดผลแบบฉับพลันและย้อนกลับได้ ตัวอย่างเช่นไม้จะมีการอ่อนตัวเมื่อมีการให้ความร้อน แต่ว่าความแข็งแรงของไม้จะคืนมาเมื่อทำให้อุณหภูมิเย็นตัวเท่าเดิม ประการที่สองผลกระทบจากการเกิดที่เวลานานเกินไปและทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างถาวร เมื่อมีการให้ความร้อนแก่ไม้เป็นเวลานานและที่อุณหภูมิสูงๆ ทำให้ไม้อ่อนตัวลงและเมื่อไม้เย็นตัวลงก็ไม่ทำให้ความแข็งแรงคืนกลับมาอีกครั้ง ผลกระทบกับไม้ทั้งสองประการจะมีผลกระทบต่อไม้ที่มีปริมาณความชื้น

ภายในไม้สูง มากกว่าไม้ที่มีปริมาณความชื้นภายในไม้ต่ำกว่า ผลกระทบที่เกิดแบบถาวรมีสาเหตุมาจากปัจจัยหลายปัจจัยรวมกันคือ เวลา, อุณหภูมิ และความชื้นภายใน ความแข็งแรงของไม้จะลดลงเมื่อปัจจัยใดปัจจัยหนึ่งมีค่าเพิ่มขึ้น

การเกิดผลแบบฉับพลันและย้อนกลับได้ที่อุณหภูมิการอบแห้งสูง มีผลต่อการเกิดตำหนิที่เกิดขึ้นจาการอบซึ่งเป็นผลมาจากเซลล์ของเนื้อไม้แตกตัว เมื่อความเค้นที่เกิดจากการอบมีค่าสูงกว่าความแข็งแรงภายในไม้จะทำให้ไม้เกิดตำหนิเสียหาย นี่คือสาเหตุที่ว่าทำให้การอบแห้งโดยอุณหภูมิสูงๆจะทำให้ไม้เสียหายได้ง่าย ผลกระทบที่เล็กน้อยจากการอบที่อุณหภูมิสูงควบคู่กับปริมาณความชื้นสูงทำให้ไม้ที่อบเกิดการแตกหัก การอบโดยอุณหภูมิสูงเป็นเวลานานๆ โดยเฉพาะที่สภาวะความชื้นสูงอาจจะไม้ทำให้ไม้แตกหักแต่ว่าทำให้ไม้สูญเสียความแข็งแรงไปถาวรและคุณสมบัติเชิงกลอื่นๆ ด้วย จึงมีผลต่อผลิตภัณฑ์ที่นำไม้ไปแปรรูปใช้ประโยชน์ โดยทั่วไป ค่าความแข็งตึงจะลดลงไม่มากเมื่อทำการอบที่อุณหภูมิสูง แต่ค่าความแข็งแรงในการดัดสถิตย์จะลดลง 20% (Simson, W.T., et al., 1991)

1.8.2 การแตกบริเวณขอบ (End Check) และการแตกตามแนวเสี้ยน (Splits)

การแตกบริเวณขอบของไม้เกิดขึ้นเนื่องจากน้ำที่อยู่ในไม้มีการเคลื่อนตัวออกจากไม้ในแนวตามยาวของไม้มากกว่าแนวตัดขวางไม้ ทำให้บริเวณขอบของไม้แห้งมากกว่าบริเวณตรงกลางไม้และเกิดความเค้นขึ้นมา บริเวณขอบไม้ เมื่อเกิดการแตกของบริเวณขอบไม้แล้วไม่ควรที่จะทำให้ไม้เปียกหรือสัมผัสกับความชื้นสัมพัทธ์ที่สูงก่อนทำการอบต่อไป

ส่วนการแตกตามแนวเสี้ยนจะเกิดเนื่องมาจากการขยายออกของการแตกบริเวณขอบไม้ วิธีที่จะลดการขยายการแตกตัวของบริเวณขอบไม้โดยโดยการติดตัวยึดบริเวณขอบไม้ การแตกตัวขนานกับเสี้ยนแสดงถึงการเกิดความเค้นในไม้เพิ่มขึ้นและทำให้ไม้เกิดตำหนิ

1.8.3 การบิดโค้งงอของไม้ (Warp)

การโค้งงอของไม้คือไม้มีการเปลี่ยนแปลงของพื้นผิวหรือขอบของท่อนไม้จากแผ่นราบเรียบตอนแรกเริ่มเกิดเป็นมุมที่ไม่ต้องการเมื่อเทียบกับผิวไม้ที่อยู่ใกล้เคียง ทำให้คุณภาพไม้ลดลง โดยสาเหตุของการบิดโค้งของไม้มีสาเหตุหลักสองสาเหตุคือ สาเหตุแรกเกิดจากการหดตัวในแนวรัศมีและการหดตัวในแนวสัมผัสรัศมี สาแหตุที่สองคือ ความเค้นในไม้มีมากขึ้น การเกิดการโค้งงอส่วนมากมีสาเหตุมาจากความแตกต่างในการหดตัวของไม้ซึ่งจะสามารถลดการโค้งงอของไม้ได้โดยการจัดวางไม้สำหรับอบแห้งให้เหมาะสม

1.8.4 การเปลี่ยนแปลงสีของไม้ (Discoloration)

ผลิตภัณฑ์ไม้ที่ผ่านการอบแห้งแล้วหากมีการเปลี่ยนแปลงของสีไม้จะทำให้ไม้ยางมีมูลค่าลดลงโดยเฉพาะเมื่อนำไปใช้เพื่อแปรรูปทำผลิตภัณฑ์ต่างๆ การเปลี่ยนแปลงสีไม้

สามารถเกิดขึ้นได้เมื่อไม้พื้นผิวของไม้อบแล้วสัมผัสกับแสง, น้ำ หรือเกิดปฏิกิริยาเคมีขึ้น การเปลี่ยนแปลงของสีไม้ขณะทำการอบสามารถแบ่งแบบดั้งเดิมได้โดยมีสาเหตุมาจากเห็ดราหรือสารเคมีในเนื้อไม้

รูปแบบของสีที่ไม้ต้องการนั้นจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของไม้แต่ละชนิด, ชนิดของเนื้อเยื่อไม้และสภาวะของการอบไม้ การจะประสบความสามสำเร็จในการควบคุมการเปลี่ยนแปลงสีขึ้นอยู่กับความสามารถของพนักงานที่ดูแลการอบแห้งไม้ต้องวิเคราะห์ความต่างของคุณภาพไม้แต่ละชนิดและปัจจัยจากสิ่งแวดล้อมที่สภาวะก่อนอบแห้งไม้

การป้องกันการเปลี่ยนแปลงสี พนักงานที่ดูแลการอบแห้งไม้จะต้องรู้เกี่ยวกับสายพันธุ์ของไม้และชนิดของไม้ (เปลือกไม้, แกนในเนื้อไม้และความชื้นไม้) ส่วนขั้นตอนที่ยากที่สุดคือการหาสารเคมีองค์ประกอบในเนื้อไม้และจุลินทรีย์ภายในเนื้อไม้ ดังนั้นในบางครั้งเป็นความจำเป็นทางเศรษฐศาสตร์ที่ต้องขจัดสีที่เกิดออก โดยการใช้สารฟอกสีให้เนื้อไม้ขาวขึ้น ซึ่งในการฟอกสีจะต้องลองผิดลองถูกเพื่อหาประสิทธิภาพสูงสุดในการฟอกสี กระบวนการฟอกสีเป็นต้นทุนส่วนหนึ่งของการจัดการและการอบแห้ง

1.9 ความสัมพันธ์ระหว่างไม้และความชื้น

ปริมาณความชื้นภายในเนื้อไม้หมายถึง น้ำหนักของน้ำที่มีอยู่ในเนื้อไม้มักคิดเป็นสัดส่วนหรือร้อยละ (เปอร์เซ็นต์) ของน้ำหนักไม้อบแห้ง เช่น ไม้ชิ้นหนึ่งมีความชื้น 12% มาตรฐานแห้ง หมายความว่าไม้ชิ้นนั้นมีน้ำอยู่ 12 หน่วย ต่อน้ำหนักไม้ชิ้นนั้นอบแห้ง 100 หน่วย
ความชื้นในเนื้อไม้ มีอยู่ 2 รูปแบบคือ

1.9.1 น้ำนอกผนังเซลล์ (free water) คือ น้ำที่อยู่ในช่องเซลล์ (cell lumens) และช่องว่างระหว่างเซลล์ของเนื้อไม้ (cell cavities) อาจอยู่ในรูปของเหลวหรือไอน้ำ ซึ่งขึ้นอยู่กับอุณหภูมิหรือความดันรอบๆ ความชื้นในรูปนี้ไม่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการยืดและหดตัวของไม้แต่อย่างใด เพียงแต่ทำให้ไม้มีน้ำหนักเพิ่มขึ้นเท่านั้น

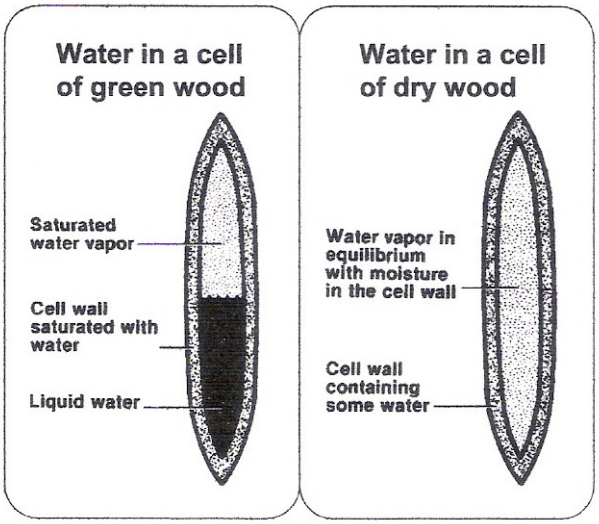
1.9.2 น้ำในผนังเซลล์ (bound water) คือ น้ำที่อยู่ในผนังเซลล์ (cell walls) ของเนื้อไม้ ความชื้นส่วนนี้มีผลต่อการยืดและหดตัวของเนื้อไม้ตลอดจนสมบัติอื่นๆเช่น ความแข็งแรง น้ำที่มีอยู่ในผนังเซลล์นี้มีอยู่ 3 ลักษณะ คือ

1.9.2.1 น้ำที่อยู่ในรูปของส่วนประกอบของสารอินทรีย์ที่ประกอบขึ้นเป็นผนังเซลล์ (water of contitution) ไม่สามารถที่จะทำให้ระเหยออกมาได้ นอกจากจะมีการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบทางเคมีของผนังเซลล์ น้ำที่อยู่ในลักษณะนี้ไม่มีความสำคัญในแง่ของความสัมพันธ์ระหว่างน้ำและเนื้อไม้

1.9.2.2 น้ำที่อยู่ในผนังเซลล์ (surface bound water) จะระเหยออกไปได้ง่าย โดยเป็นโมเลกุลของแถวแรกที่อยู่ในส่วนของผลึกหรืออสัณฐาน (crystallites or amorphous region) มีความถ่วงจำเพาะประมาณ 1.30

1.9.2.3 น้ำที่อยู่เป็นครั้งคราวในช่องว่างในส่วนของอสัณฐาน (capillary condensed water) ถัดจากชั้นแรกออกมา มีความถ่วงจำเพาะประมาณ 1.0

ในการอบแห้งไม้นั้นน้ำอิสระ (free water) จะออกไปจากไม้ก่อนจนกระทั่งไม่มีน้ำในช่องเซลล์แต่ผนังเซลล์ยังอิ่มตัวไปด้วยน้ำ ที่สภาวะนี้เป็นค่าที่จุดหมาด (fiber saturation point) มักจะถือเอาปริมาณความชื้นประมาณ 28-30% ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดและชิ้นไม้นั้นๆด้วยที่ปริมาณความชื้นต่ำกว่าจุดหมาดนี้พบว่าคุณสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของไม้เริ่มเปลี่ยนแปลง ซึ่งปริมาณความชื้นดังกล่าวเป็นฟังชั่นของความชื้นสัมพัทธ์ (relative humidity) และอุณหภูมิของอากาศโดยรอบ ดังภาพประกอบที่ 1-4



ภาพประกอบที่ 1-4 แสดงลักษณะของน้ำในเซลล์ไม้

ที่มา: Haygreen, J.G. and J.L. Bowyer. 1996.“Forest Product and Wood Science.” Iowa State Univ. Press, Ames, IA. 484 pp.

1.9.3 คำจำกัดความปริมาณความชื้นในเนื้อไม้

มี 2 รูปแบบ คือ

1.9.3.1 เปรียบเทียบกับน้ำหนักแห้ง (dry basis)

Moisture content (percent)

$$= \frac{Weight\ of\ water\ in\ wood}{Weight\ of\ tatal\ dry\ wood} \times 100 \qquad (1\text{-}1)$$

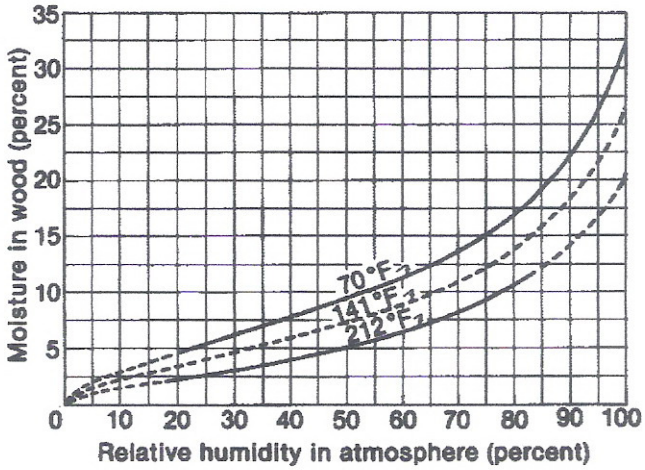
1.9.3.2 เปรียบเทียบกับน้ำหนักเปียก (wet basis)

Moisture content (percent)

$$= \frac{Weight\ of\ water\ in\ wood}{Weight\ of\ tatal\ dry\ wood\ and\ water} \times 100 \qquad (1\text{-}2)$$

1.9.4 ปริมาณความชื้นสมดุล (Equilibrium Moisture Content; EMC)

คือปริมาณความชื้นของเนื้อไม้ที่สมดุลกับความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิระดับหนึ่งระดับใดบรรยากาศที่อยู่ล้อมรอบทำให้เนื้อไม้ไม่ดูดหรือคายความชื้น



ภาพประกอบที่ 1-5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสมดุลของไม้กับความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศที่อุณหภูมิ 3 ระดับ

ที่มา: Simpson, W.T., et al. 1991. "Dry Kiln Operator's Manual." Agric. Handbook No. 188, U.S. Dept. of Agriculture. 274 pp.

ปกติแล้วเมื่อปล่อยให้ไม้แห้ง การระเหยของน้ำจะเริ่มต้นที่ผิวก่อนโดยน้ำในส่วนเนื้อไม้จะเคลื่อนที่ออกมาสู่ผิว แล้วระเหยไปสู่อากาศเรื่อยๆ จนกระทั่งไม้มีปริมาณความชื้นเท่ากับความชื้นของบรรยากาศ การระเหยของน้ำออกจากไม้ก็หยุดลงที่จุดนี้ไม้ไม่มีการคายความชื้นหรือดูดความชื้นเรียกว่าความชื้นสมดุล จากภาพประกอบที่ 1-5 สามารถอธิบายได้ดังนี้ถ้าอุณหภูมิของอากาศเป็น 141 องศาฟาเรนไฮต์ และความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศเป็น 75% แล้วหากปล่อยให้ไม้แห้งค่าความชื้นไม้จะมีค่าประมาณ 12.5%

1.10 ปรากฏการณ์ถ่ายโอนระหว่างกระบวนการอบแห้ง

หลักการที่ใช้ในการอบแห้งไม้ยางหลักการที่ใช้ในการอบแห้งไม้ยางคือ การถ่ายโอนความร้อน (heat transfer) และการถ่ายโอนมวลสาร (mass transfer)

1.10.1 การถ่ายโอนความร้อน (Heat Transfer)

การถ่ายโอนความร้อนจะมีการถ่ายโอนสองลักษณะคือการนำความร้อนและการพาความร้อน

1.10.1.1 การนำความร้อน (Heat Conduction)

การนำความร้อนจะเกิดขึ้นภายในเนื้อไม้ ความร้อนจะเคลื่อนที่จากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า ในกระบวนการอบไม้ด้วยไอน้ำร้อนยิ่งยวดนี้ความร้อนจากไอน้ำยิ่งยวดจะเคลื่อนที่เข้ามาในเนื้อไม้ที่ทำการอบ การนำความร้อนจะเกิดภายในเนื้อไม้ โดยความร้อนบริเวณผิวสัมผัสจะเกิดความร้อนจนสูงสุด แล้วจะมีค่าลดลงเมื่อระยะทางการเคลื่อนที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นบริเวณใจกลางไม้จะมีอุณหภูมิต่ำที่สุดดังสมการของการนำความร้อนดังนี้

$$Q = -kA\frac{dT}{dX} \tag{1-3}$$

เมื่อ k คือ ค่าการนำความร้อน (thermal conductivity) ของสารที่ความร้อนเคลื่อนที่ผ่าน (W/m°C)

A คือ พื้นที่ที่ตั้งฉากกับการเคลื่อนที่ของความร้อน (m^2)

$\frac{dT}{dX}$ คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเทียบกับระยะทาง

1.10.1.2 การพาความร้อน (Heat Convection)

เป็นการถ่ายเทความร้อนระหว่างของไหลและพื้นที่ผิวของของแข็ง โดยการเคลื่อนที่ของความร้อนส่วนใหญ่จะเกิดจากอนุภาคของไหลได้รับความร้อนมาแล้วเคลื่อนที่พา

ความร้อนไปยังที่อื่น ในกระบวนการอบไม้ด้วยไอร้อนยิ่งยวดนี้จะเกิดการพาความร้อนจากไอร้อนยิ่งยวดจะเคลื่อนที่ผ่านผิวสัมผัสของไม้เข้ามาภายในไม้ รูปแบบของสมการที่ใช้คำนวณอัตราการเคลื่อนที่ของความร้อนดังนี้

$$Q = hA(T_h - T_c) \tag{1-4}$$

เมื่อ h คือ ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของของไหล ($W/m^2°C$)

A คือ พื้นที่ผิวของของแข็งที่สัมผัสกับของเหลว (m^2)

T_h คือ อุณหภูมิที่สูงกว่า (°C)

T_c คือ อุณหภูมิที่ต่ำกว่า (°C)

1.10.2 การถ่ายโอนมวล (Mass Transfer)

การถ่ายโอนมวลของน้ำมีปัจจัยสำคัญหลายปัจจัยคือปัจจัยภายในและปัจจัยภายนอก ปัจจัยภายในได้แก่ ลักษณะทางกายภาพของไม้ยางและความชื้นภายในไม้ยาง ส่วนปัจจัยภายนอกได้แก่ อุณหภูมิ, ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ, อัตราการไหลของอากาศและพื้นที่ผิวของไม้ยาง

1.10.2.1 ปัจจัยภายในต่อการถ่ายโอนมวลภายในเนื้อไม้

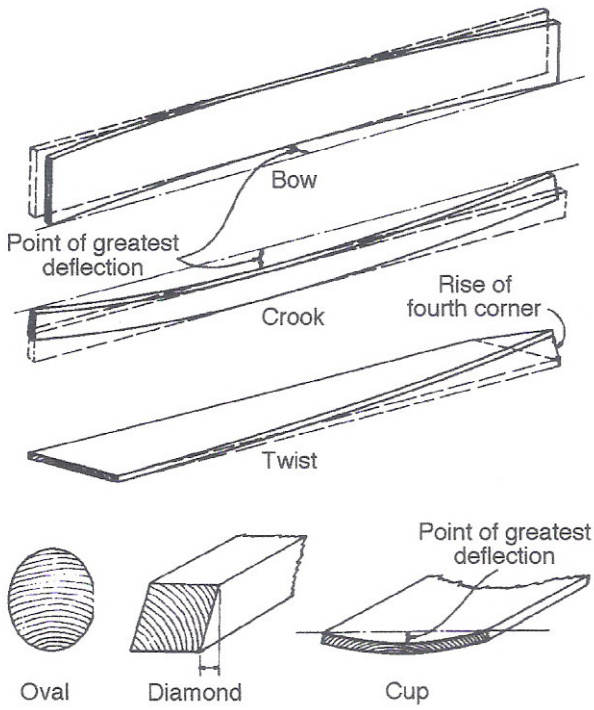
ผลของการถ่ายโอนความร้อนทำให้เกิดความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างภายในไม้กับผิวของไม้ ทำให้เกิดการระเหยของน้ำที่บริเวณผิวไม้ออกไปสู่ภายนอก ปริมาณน้ำบริเวณผิวไม้ลดลงมีปริมาณน้ำน้อย (ความเข้มข้นสูง) และน้ำที่มีอยู่ภายในไม้ที่มีน้ำมาก (ความเข้มข้นต่ำ) จะเคลื่อนที่เข้ามาแทนที่น้ำที่ระเหยออกไป

การถ่ายโอนมวลน้ำเกิดเนื่องจากกลไกการแพร่ (diffusion), การซึม (capillary flow) หรือความดันภายในที่เกิดจากการหดตัวของเนื้อไม้ในขณะอบแห้ง กลไกเหล่านี้จะมีความสำคัญกับการอบไม้ในช่วงการอบที่ต่างกัน เช่นในช่วงเริ่มต้นของการอบอิทธิผลจากการซึม (capillary flow) จะมากกว่าอิทธิพลจากการแพร่ แต่ในช่วงต่อไปการแพร่อาจมีอิทธิพลมากกว่าการซึม แต่ผลรวมของทุกกลไกทำให้เกิดความแตกต่างของความชื้นตลอดระยะความหนาของไม้น้ำจะเกิดการระเหยออกไปเรื่อยๆจนกระทั่งปริมาณความชื้นภายในไม้กับปริมาณความชื้นของบรรยากาศของห้องอบไม้ที่อยู่โดยรอบ

ขนาดของไม้ที่อบแห้งจะไม่เปลี่ยนแปลงหากความชื้นภายในเนื้อไม้ยังมีค่าสูงกว่าจุดหมาด หากว่าความชื้นในเนื้อไม้ลดลงต่ำกว่าจุดหมาดจะทำให้ขนาดรูปร่างไม้มีการ

เปลี่ยนแปลง การที่ไม้สูญเสียน้ำจนกระทั่งน้ำในส่วนที่เกิดพันธะกับผนังเซลล์สูญเสียออกไป ทำให้ไม้มีคุณสมบัติเปลี่ยนแปลง เช่น ความแข็งแรง, ความสามารถในการนำความร้อน, และความสามารถในการนำไฟฟ้า เป็นต้น โดยสิ่งที่สำคัญของการสูญเสียน้ำจากผนังเซลล์จนต่ำกว่าจุดหมาดจะทำให้เกิดการหดตัวของไม้

รูปแบบการหดตัวของไม้มีหลายรูปแบบด้วยกันขึ้นอยู่กับว่ามีการหดตัวในทิศทางใดคือ การหดตัวในส่วนของผนังลำปล้อง (tangential shrinkage) เป็นการหดตัวที่ขนานกับวงปี, การหดตัวในแนวรัศมี (radial shrinkage) เป็นการหดตัวในแนวรัศมีของลำและการหดตัวในแนวแกน (longitudinal shrinkage) เป็นการหดตัวในแนวเสี้ยนซึ่งเป็นการหดตัวในแนวตั้งในไม้ที่ยืนต้นอยู่



ภาพประกอบที่ 1-6 ลักษณะความเสียหายของไม้หลังอบแห้ง

ที่มา: Simpson, W.T., et al. 1991.“Dry Kiln Operator’s Manual.” Agric. Handbook No. 188, U.S. Dept. of Agriculture. 274 pp.

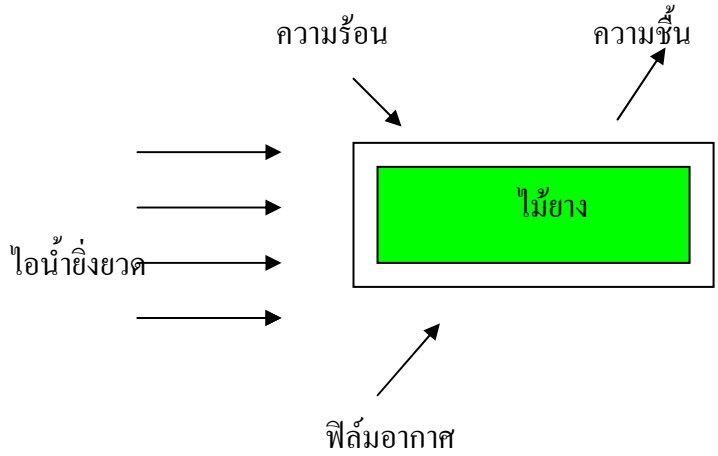
ไม้ที่อบแห้งจะมีการหดตัวของไม้จากการเปลี่ยนแปลงความชื้นภายในเนื้อไม้ เมื่อความชื้นมีการเปลี่ยนแปลงจะทำให้เกิดการความเครียดขึ้น ความเครียดที่เกิดชักจูงให้เกิดความเค้น (stress) เมื่อความรุนแรงมากจะทำให้เกิดการหดตัว (warp) และการแตกตัวของไม้ (fracture)

ส่วนรูปแบบที่เฉพาะการแตกของไม้คือการแตกบริเวณขอบ (end check), การแตกตามแนวเสี้ยน (splits) และการบิดโค้งงอของไม้ (warp) ดังแสดงในภาพประกอบที่ 1-6

ในการอบแห้งไม้ที่ต้องการความชื้นสุดท้ายต่ำๆ จะต้องอบแห้งไม้เป็นเวลานานจึงเกิดความแตกต่างของความชื้นระหว่างภายในและที่ผิวของไม้ ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดการหดตัวของไม้ยางที่ผิวไม้กับภายในไม่เท่ากันส่งผลให้เกิดการแตกร้าวขึ้น จำเป็นต้องไม่ให้เกิดความแตกต่างของความชื้นสูง โดยการเพิ่มความชื้นที่ผิวของไม้ขณะอบโดยไอน้ำที่มีความชื้นพอเหมาะ แต่ในขณะเดียวกันก็จำเป็นต้องอบแห้งไม้ด้วยอุณหภูมิสูงด้วยเพื่อทำให้เกิดอัตราการถ่ายเทความร้อนสูง

10.2.2 ปัจจัยภายนอกที่มีผลต่อการถ่ายโอนมวลในเนื้อไม้

ปัจจัยภายนอกที่สำคัญได้แก่ อุณหภูมิ, ความชื้นของอากาศ, อัตราการไหลของอากาศ, ทิศทางการไหลของอากาศ, พื้นที่ผิวของไม้ยางและลักษณะการวางเรียงตัวของไม้ยางในการอบแห้ง เป็นต้น ในช่วงเริ่มต้นของการอบแห้งไม้จะมีความชื้นสูงและมีอัตราการระเหยน้ำที่ผิวสูง การระเหยของน้ำที่ผิวจำเป็นต้องมีการแพร่ของไอน้ำจากไม้สู่อากาศรอบๆ ที่เป็นแผ่นฟิล์มสัมผัสอยู่กับผิวของไม้ ดังแสดงในภาพประกอบ 1-7



ภาพประกอบที่ 1-7 กลไกลการแห้งของไม้ขณะอบแห้ง

ชั้นภายในของฟิล์มอากาศที่สัมผัสกับผิวของไม้จะอิ่มไปด้วยไอน้ำและทำให้ผิวไม้มีไอน้ำห่อหุ้มอยู่ ความแตกต่างของความดันไอน้ำ (vapor pressure) ระหว่างผิวไม้กับชั้นนอกของฟิล์มอากาศและอัตราการแพร่ของไอน้ำผ่านฟิล์มอากาศจะมีผลต่ออัตราการระเหยไอน้ำจากผิวไม้ อัตราการแพร่ (diffusion rate) ของไอน้ำผ่านฟิล์มอากาศหรืออัตราการระเหย

(evaporation rate) ความชื้นจากผิวไม้จะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับพื้นที่ผิวของไม้และความแตกต่างระหว่างความดันไอน้ำอิ่มตัว (saturated vapor pressure) ที่อุณหภูมิของฟิล์มด้านในกับความดันของไอน้ำในอากาศโดยรอบ แต่มีความสัมพันธ์ผกผันกับความหนาของแผ่นฟิล์มอากาศ

1.11 ประเภทการอบแห้งไม้ (Drying Method)

การอบไม้แบ่งออกเป็น 3 ประเภทใหญ่ๆคือ

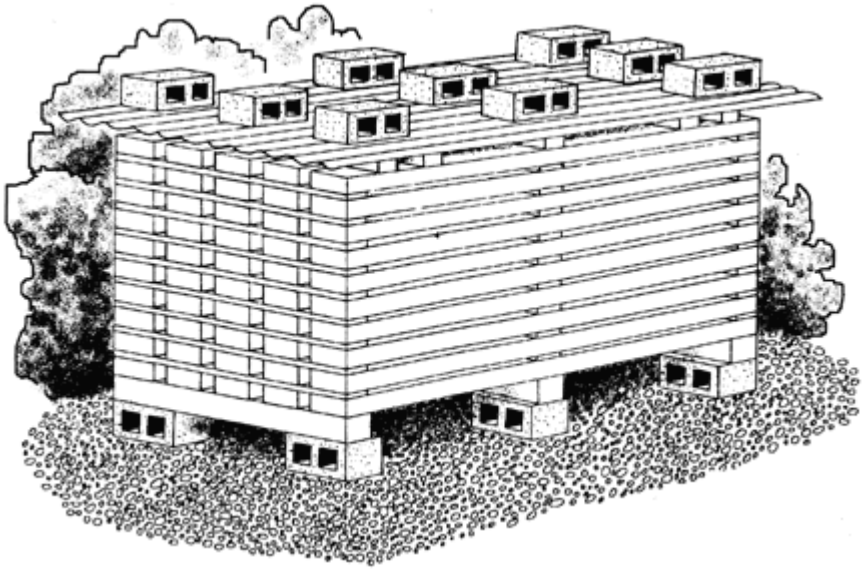
1.11.1 การผึ่งแห้งในกระแสอากาศ (Air Drying)

มีวัตถุประสงค์เพื่อระเหยน้ำที่มีอยู่มากในไม้สดก่อนที่จะนำเข้าสู่เตาอบ เมื่อผ่านขั้นตอนนี้ไม้จะมีปริมาณความชื้น 20-25% มาตรฐานแห้ง

ข้อดีของวิธีการนี้คือ ช่วยลดพลังงานและต้นทุนในการอบไม้ลง นอกจากนี้ยังช่วยลดขนาดของเตาอบให้เล็กลงได้ด้วย แต่วิธีนี้มีข้อจำกัดหลายอย่างคือ ไม่สามารถควบคุมสภาพการแห้งของไม้ให้เป็นไปตามความต้องการได้ พบว่าอากาศที่ร้อนและแห้งเกินไปจะทำให้ไม้หดตัวมากกว่าปกติ เกิดรอยแตกที่ผิวหน้าและปลายไม้ ส่วนอากาศที่อุ่นมีความชื้นสัมพัทธ์สูงและไม่มีลมพัดผ่าน จะทำให้เกิดเชื้อราทำลายเนื้อไม้หรือการเสียสีเนื่องจากปฏิกิริยาเคมี กองไม้สำหรับผึ่งแห้งในอากาศดูภาพประกอบที่ 1-8

1.11.2 การผึ่งในกระแสอากาศที่มีความเร็วสูง (Accelerate Air Drying and Pre-drying)

เป็นการพัฒนารูปแบบการผึ่งไม้ในกระแสอากาศให้ดีขึ้น โดยการใช้พัดลมเพื่อเร่งให้มีอากาศเคลื่อนที่ผ่านกองไม้ วิธีการนี้จะช่วยป้องกันความเสียหายของไม้ที่เกิดจากสภาวะอากาศทั่วไปและช่วยปรับปรุงการหมุนเวียนของอากาศให้ดียิ่งกว่าวิธีแรก บางครั้งพบว่ามีการให้ความร้อนเล็กน้อยเพื่อลดความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศโดยรอบลง วิธีการดังกล่าวสามารถเร่งและควบคุมอุณหภูมิ, ความชื้นสัมพัทธ์และการหมุนเวียนของกระแสอากาศได้ดียิ่งขึ้น การควบคุมสภาวะดังกล่าวสามารถทำได้โดยใช้อุณหภูมิประมาณ 27-38 องศาเซลเซียส ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 65-85% โดยไม้หลังผึ่งจะเหลือความชื้นสุดท้ายประมาณ 20-25% มาตรฐานแห้ง



ภาพประกอบที่ 1-8 กองไม้สำหรับผึ่งแห้งในอากาศ

ที่มา: www.ca.uky.edu/agc/pubs/for/for55.htm

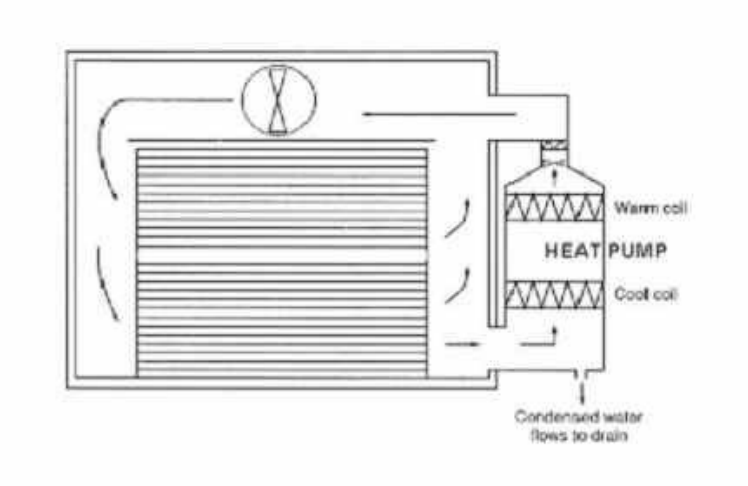
1.11.3 การอบด้วยเตาอบ (Kiln Drying)

การใช้เตาอบไม้ภายในเตาอบไม้มีการใช้อุณหภูมิสูงและการหมุนเวียนของกระแสอากาศที่เร็วขึ้นเพื่อเพิ่มอัตราการแห้งของไม้ เมื่อไม้ผ่านการอบแล้วน้ำอิสระ (free water) ทั้งหมดจะถูกขจัดออก ส่วนน้ำในผนังเซลล์ (bound water) ส่วนมากจะถูกขจัดออกจากไม้ กระบวนการอบแห้งวิธีนี้ใช้ระยะเวลาสั้น การอบด้วยเตาอบถูกนำมาใช้อบไม้เพื่อการพาณิชย์ ก่อนนำไม้ที่ได้ไปผลิตแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ การอบวิธีนี้แบ่งเป็นวิธีย่อยได้ดังนี้

1.11.3.1 การอบแบบหมุนเวียนพลังงานมาใช้ใหม่ (Dehumidification Dry Kiln)

รูปแบบการอบวิธีนี้จะใช้อุณหภูมิอบแห้งต่ำ ใช้กับการอบไม้ได้หลากหลายชนิด ณ อัตราการอบแห้งสูงสุด ไม้ที่อบจะมีความชื้นเหลืออยู่ 5-6% มาตรฐานแห้ง กระบวนการอบแห้งเริ่มจากความชื้นในเตาอบถูกขจัดโดยถูกควบแน่นเป็นน้ำด้วยขดลวดหล่อเย็น ขดลวดหล่อเย็นใช้สารหล่อเย็นคือ ฟรีอ้อนเหลว ซึ่งมีการหมุนเวียนในระบบ ด้วยปั๊มความร้อน น้ำที่ควบแน่นเป็นของเหลวสามารถหมุนเวียนนำพลังงานที่ได้ไปใช้ในกระบวนการอบไม้ต่อได้อีก ส่วนฟรีอ้อนเหลวเมื่อได้รับความร้อนจากไอความชื้นจะเปลี่ยนสถานะเป็นไอ แล้วไหลเข้าสู่ปั๊มเพื่ออัดให้เป็นของเหลวอีกครั้ง กระบวนการนี้เกิดที่อุณหภูมิ 118 องศาเซลเซียส

การอบแห้งไม้ด้วยวิธีนี้ไม่จำเป็นต้องมีท่อระบายอากาศส่วนเกินออกจากเตาอบเหมือนเตาอบแบบไอน้ำร้อน ท่อระบายอากาศส่วนเกินนำมาใช้การควบคุมพิเศษคือช่วยควบคุมอุณหภูมิในวัฏจักรการอบแห้ง



ภาพประกอบที่ 1-9 รูปแบบของห้องอบแบบหมุนเวียนพลังงานกลับมาใช้ใหม่
ที่มา: www.ca.uky.edu/agc/pubs/for/for55

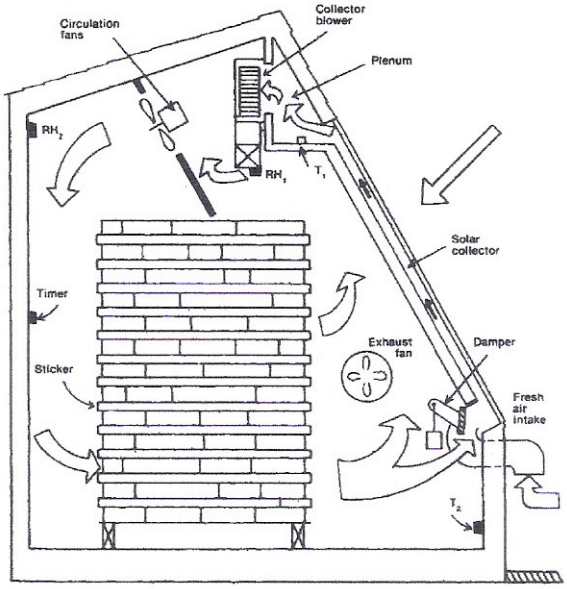
1.11.3.2 การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Drying Kiln)

ข้อดีคือเป็นพลังงานที่ไม่เสียค่าใช้จ่ายและมีอย่างอุดมสมบูรณ์หาได้ง่าย แต่ข้อเสียคือราคาขออุปกรณ์เก็บพลังงานงานมีราคาสูง พลังงานแสงอาทิตย์มีความเข้มข้นของพลังงานต่ำและยังมีข้อจำกัดในเรื่องอุณหภูมิที่ใช้ในการปฏิบัติงานอยู่ที่ 54 องศาเซลเซียส นอกเสียจากว่ามีตัวเก็บพลังงานแสงอาทิตย์คุณภาพสูงใช้งาน ประโยชน์อื่นๆของเตาอบพลังงานแสงอาทิตย์คือ มีขนาดเล็ก,รูปแบบง่ายๆ ไม้ซับซ้อน, ราคาเตาอบไม่แพงและระดับความเหมาะสมของเทคโนโลยีใช้งานได้ดีในการปฏิบัติงานขนาดเล็ก

1.11.4 การอบแห้งด้วยพลังงานไอน้ำร้อน (Steam Kiln Drying)

เตาอบแบบใช้ไอน้ำร้อนจะใช้พัดลมในการหมุนเวียนกระจายอากาศ โดยใช้พัดลมที่ความเร็ว 2 เมตร/วินาที อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งสูงสุดประมาณ 82 องศาเซลเซียส ความร้อนได้มาจากหม้อต้มน้ำ (boiler) พลังงานน้ำมัน, ก๊าซ หรือเศษไม้

การอบแห้งวิธีนี้มีค่าใช้จ่ายของพลังงานที่ใช้สูง ดังนั้นการใช้แหล่งเชื้อเพลิงจากเศษไม้ในกระบวนการอบไม้มีความเหมาะสมในการลดต้นทุนด้านพลังงานได้ดี อุณหภูมิและความชื้นคือสิ่งที่ต้องสนใจเป็นพิเศษในวัฏจักรของการอบแห้ง โดยจะต้องใช้ตารางแผนการอบแห้งเฉพาะไม้แต่ละชนิด, ขนาด และสภาวะการอบแห้ง



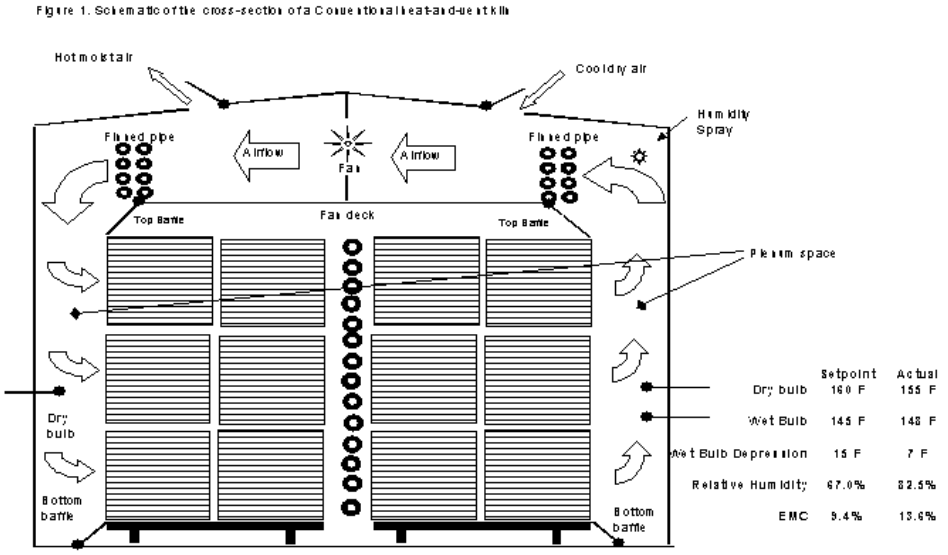
ภาพประกอบที่ 1-10 เตาอบไม้พลังงานแสงอาทิตย์

ที่มา: Simpson, W.T., et al. 1991. "Dry Kiln Operator's Manual." Agric. Handbook No. 188, U.S. Dept. of Agriculture. 274 pp.

อากาศร้อนจะหมุนเวียนกระจายอยู่เหนือไม้ น้ำที่อยู่บนผิวไม้เกิดการระเหย ความชื้นภายในอากาศจะเพิ่มขึ้น เมื่อความชื้นในอากาศเกินกว่าระดับที่กำหนดไว้ในตารางปฏิบัติการอบแห้ง อากาศที่อุ่นและมีความชื้นสูงจะถูกระบายออกทางด้านนอกเตาอบ แล้วอากาศที่ร้อนและแห้งจะไหลเข้ามาแทนที่ แต่ละครั้งของการระบายอากาศชื้นออกไปจากเตาอบจะเกิดการสูญเสียพลังงานรวมของหม้อต้มน้ำ (boiler) ทำให้การนำไอที่มีความชื้นมาใช้ใหม่คิดเป็น 80% ของพลังงานที่ต้องการในการอบไม้

1.11.5 การอบแห้งระบบสุญญากาศ (Vacuum Drying)

การอบแห้งไม้โดยใช้สุญญากาศไม่ได้เป็นวิธีการอบแบบใหม่แต่อย่างใดในความเป็นจริงความคิดที่ใช้วิธีนี้เริ่มมีตั้งแต่ศตวรรษที่แล้ว แต่ไม่เป็นที่นิยมเพราะความไม่เหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์ หลักการสำคัญของการอบไม้ด้วยวิธีนี้คือ การทำให้เกิดสภาวะสุญญากาศขึ้นในระหว่างการอบไม้ ซึ่งที่สภาวะสุญญากาศจุดเดือดของน้ำจะต่ำกว่าปกติที่ความดันบรรยากาศ ทำให้ให้น้ำอิสระ (free water) ที่อยู่ภายในเนื้อไม้ระเหยและเคลื่อนตัวออกมานอกไม้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส ซึ่งจะเร็วกว่าการอบที่สภาวะบรรยากาศ อัตราการอบแห้งจะเพิ่มขึ้นโดย

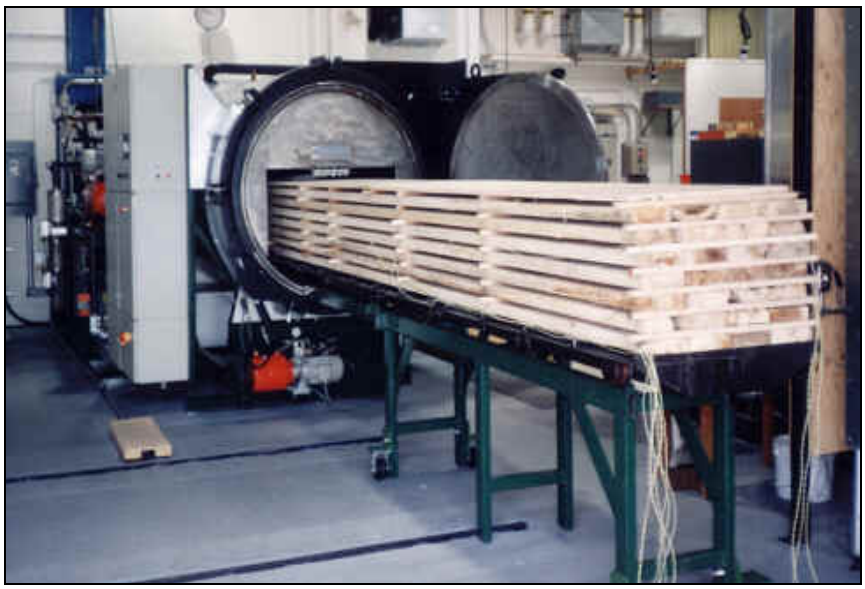


ภาพประกอบที่ 1-11 เตาอบแห้งด้วยพลังงานไอน้ำร้อน

ที่มา: www.ca.uky.edu/agc/pubs/for/for55

ปราศจากไม้ที่เสียหายจึงเหมาะสำหรับการอบไม้ที่ต้องใช้อุณหภูมิเกิน 100 องศาเซลเซียส ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1970 เมื่อต้นทุนที่เพิ่มขึ้นของการอบไม้พบว่าเกิดขึ้นจากเวลาการอบแห้งที่ยาวนาน โดยเฉพาะการอบแห้งไม้ที่หนา ใช้อุณหภูมิสูงในการอบและมีราคาแพง สามารถที่จะใช้การอบแบบสุญญากาศที่ใช้ระยะเวลาในการอบน้อยกว่าการอบแห้งแบบปกติมาก

รูปแบบการอบแบบสุญญากาศมีหลายรูปแบบโดยมีความแตกต่างกันตรงความร้อนที่ถ่ายโอนเข้าสู่ไม้ รูปแบบแรกคือ มีการใช้วัฏจักรของสุญญากาศและวัฏจักรความดันบรรยากาศ การให้ความร้อนแก่ไม้จะมีการถ่ายโอนความร้อนโดยการพาความร้อน ณ ความดันบรรยากาศปกติ หลังจากนั้นเมื่อมีการดึงน้ำออกจากไม้จะใช้สภาวะสุญญากาศ โดยวิธีนี้จะมีการสลับสาวะตลอดการอบไม้ รูปแบบที่สองการอบแห้งโดยใช้เตาอบแบบสุญญากาศ จะใช้สภาวะสุญญากาศตลอดการอบแห้ง การถ่ายโอนความร้อนไปยังไม้จะใช้วิธีให้ความร้อนสัมผัสกับไม้โดยตรงด้วยแผ่นจานความร้อนหรือโลหะคลุมไม้ใช้ความร้อนจากไฟฟ้า รูปแบบสุดท้ายจะมีการให้ความร้อนแก่ไม้โดยพลังงานไฟฟ้าความถี่สูง ในทุกรูปแบบของการอบแห้งจะขจัดน้ำออกจากภาชนะอบแห้งด้วยปั๊ม



ภาพประกอบที่ 1-12 การอบแห้งระบบสุญญากาศ
ที่มา: www.ca.uky.edu/agc/pubs/for/for55

1.11.6 การอบแห้งไม้ที่อุณหภูมิสูง (High-Temperature Dry Kilns)

เตาอบอุณหภูมิสูงจะปฏิบัติงานที่อุณหภูมิ 93-116 องศาเซลเซียส ความเร็วลมที่ 4 เมตร/วินาที การอบรูปแบบนี้ใช้สำหรับอบไม้เนื้ออ่อนในเชิงพาณิชย์ วิธีนี้สามารถอบไม้ปริมาณมากๆ ได้ใน 1 วัน นอกจากนี้ยังสามารถอบแห้งไม้เนื้อแข็งได้บางชนิด

1.11.7 การอบแห้งด้วยไอน้ำยิ่งยวด (Superheated Steam Drying)

การใช้ไอน้ำยิ่งยวดเพื่อเป็นตัวกลางถ่ายโอนความร้อนในกระบวนการอบแห้งมีข้อดีหลายประการดังนี้

1.11.7.1 การใช้ไอน้ำยิ่งยวดในการอบสามารถลดพลังงานกว่า 50-80% เมื่อเทียบกับการใช้อากาศร้อน การลดลงของพลังงานที่ต้องการใช้มีสาเหตุมาจากค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนที่สูงขึ้นกว่าเดิมและการเพิ่มขึ้นของอัตราการอบแห้งในคาบเวลาอบที่คงที่ อัตราการอบแห้งที่สูงขึ้นจะเพิ่มประสิทธิภาพของการปฏิบัติการนำไปสู่การลดขนาดของอุปกรณ์ที่ใช้ปฏิบัติงานและการเพิ่มขึ้นของผลิตผลที่ได้ นอกจากนี้ยังมีการนำพลังงานไอน้ำที่ปล่อยทิ้งกลับมาใช้ประโยชน์อีกครั้งคือนำมาให้ความร้อนแก่ไอน้ำร้อนให้มีอุณหภูมิเหมาะสมกับการอบแห้ง

1.11.7.2 การใช้ไอน้ำยิ่งยวดเป็นตัวกลางสำหรับการอบแห้งแทนอากาศร้อนทำให้มีออกซิเจนอิสระในสภาพแวดล้อมขณะอบแห้ง ดังนั้นจะไม่มีปฏิกิริยาการเผาไหม้หรือปฏิกิริยา

การใช้ออกซิเจนในขณะอบแห้ง (ไม่เกิดอันตรายจากไฟหรือการระเบิด) และออกซิเจนอิสระที่มีอยู่ในสภาพแวดล้อมการอบจะเพิ่มประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้

1.11.7.3 อุปกรณ์สำหรับอบไม้ด้วยไอน้ำยิ่งยวดถูกออกแบบมาเป็นระบบปิด ส่วนของไอน้ำยิ่งยวดส่วนเกินที่ระบายออกจากภาชนะทางท่อระบายไอจะถูกเก็บไว้ ทำให้สารพิษและสารปรกอบที่มีราคาแพงไม่แพร่กระจายออกสู่สิ่งแวดล้อมภายนอก เป็นการลดมลพิษทางอากาศ และในลักษณะเดียวกันฝุ่นผงที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตก็จะถูกกักเก็บเอาไว้ การผลิตไอน้ำยิ่งยวดสามารถในไปใช้ประโยชน์ด้านอื่นๆได้อีก เช่น การฟอกสี, การปนการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนสูงและกระบวนการขจัดกลิ่นของผลิตภัณฑ์อาหารขณะอบแห้ง การใช้ประโยชน์ของไอน้ำยิ่งยวดเพื่อเป็นตัวกลางถ่ายโอนความร้อนระหว่างการอบแห้งยังไม่แพร่หลายเพราะว่าการขาดความเข้าใจเกี่ยวกับไอน้ำยิ่งยวดและผลกระทบที่เกิดกับผลิตภัณฑ์ขณะอบแห้ง

1.11.7.4 ลักษณะของการอบแห้งด้วยไอน้ำยิ่งยวด

กระบวนการอบแห้งด้วยไอน้ำยิ่งยวดสามารถแบ่งขั้นตอนได้ 3 ช่วงหลักดังนี้

- ช่วงแรก เริ่มเมื่อไอน้ำยิ่งยวดเข้ามาสัมผัสกับผลิตภัณฑ์เพื่ออบแห้ง ไอน้ำยิ่งยวดจะเพิ่มอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ถึงจุดเดือดของน้ำ ณ ความดันของกระบวนการอบแห้ง

- ช่วงที่สอง เป็นช่วงอัตราคงที่ เมื่อความต้านทานภายในต่อการแพร่ของความชื้นมีค่าน้อยกว่าความต้านทานภายนอกที่มีต่อไอน้ำที่ระเหยจากผิวของผลิตภัณฑ์ ในการอบแห้งด้วยอากาศร้อน อัตราแพร่จะขึ้นกับการพาความร้อนของความร้อนจากอากาศไปยังผลิตภัณฑ์และการแพร่ของความชื้นจากผลิตภัณฑ์ไปยังอากาศโดยผ่าน เบาดารี่เลเยอที่ล้อมรอบผลิตภัณฑ์เอาไว้ อย่างไรก็ตามการอบด้วยไอน้ำยิ่งยวด ความชื้นจะไม่มีความต้านทานจากการแพร่เมื่อความชื้นเคลื่อนที่ผ่าน เบาดารี่เลเยอ ความชื้นจะเคลื่อนที่ด้วยแรง เบ้าโฟลว์ (bulk flow) เพียงอย่างเดียว ส่วนการระเหยของน้ำไปยังไอน้ำยิ่งยวดจะมากกว่าระเหยสู่อากาศร้อนปกติยกเว้นว่าอุณหภูมิของไอน้ำยิ่งยวดมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิไอน้ำอิ่มตัว การอบแห้งด้วยไอน้ำยิ่งยวดนี้ช่วงอัตราคงที่จะยาวนานกว่าของการอบด้วยอากาศร้อนภายใต้สภาวะการอบเดียวกัน

- ช่วงที่สาม เป็นช่วงที่อัตราลดลงช่วงนี้เริ่มเมื่ออัตราการอบแห้งลดลงและอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์เพิ่มสูงขึ้นเท่าๆกับอุณหภูมิของไอน้ำยิ่งยวด ในช่วงนี้ความต้านทานภายในที่มีต่อการแพร่ของความชื้นจะมีค่ามากกว่าความต้านทานภายนอก การอบแห้งด้วยไอน้ำยิ่งยวดมีอัตราการอบแห้งของมากกว่าแบบการอบด้วยอากาศร้อนเพราะว่าอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ที่สูงกว่าทำให้เกิดการแพร่ของความชื้นภายในผลิตภัณฑ์มากกว่า การอบด้วยด้วยไอน้ำยิ่งยวดนี้ผลิตภัณฑ์จะมีความพรุนมากกว่าและผิวด้านนอกของผลิตภัณฑ์อาจไม่แข็งเกินไป ข้อจำกัดอย่าง

หนึ่งของการอบด้วยไอน้ำยิ่งยวดคือผลิตภัณฑ์จะไม่ว่องไวต่ออุณหภูมิเพราะว่าในกระบวนการอบใช้อุณหภูมิที่สูง

1.12 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Eugene M. Wegert (1992) ได้ศึกษาปรับปรุงคุณภาพกระบวนการอบแห้งไม้เนื้อแข็งโดยศึกษากระบวนการปรับความชื้นไม้ให้มีค่าใกล้เคียงกัน (equalizing) เริ่มต้นเมื่อความชื้นของไม้ชิ้นที่แห้งสุดมีค่าต่ำกว่าความชื้นเป้าหมาย 2 เปอร์เซ็นต์ แล้วเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์อากาศในห้องอบจนมีค่าความชื้นสมดุลเท่ากับความชื้นไม้ชิ้นที่แห้งสุด ใช้อุณหภูมิการอบที่ 170 องศาฟาเรนไฮต์ คงสภาวะการอบจนกระทั่งความชื้นไม้มีความชื้นเท่ากับความชื้นเป้าหมาย และการลดความเค้นในไม้เนื้อแข็งระหว่างกระบวนการอบแห้ง (conditioning) จะทำหลังกระบวนการปรับความชื้นไม้ให้เท่ากันทำโดยการปรับค่าความชื้นสัมพัทธ์ให้เพิ่มขึ้นจนมีความชื้นสมดุลเท่ากับความชื้นเป้าหมายบวกสี่เปอร์เซ็นต์ ใช้อุณหภูมิอบที่ 180 องศาฟาเรนไฮต์ คงสภาวะจนกระทั่งความเค้นไม้หมดไป ทดสอบได้โดยการทดสอบแบบซี่ส้อม

Bjork และ Rasmuson (1995) ได้ศึกษากลไกของน้ำของตัวกลางให้ความร้อนในการอบแห้งสองชนิดคือลมร้อนกับไอน้ำยิ่งยวด พบว่ากลไกของน้ำในตัวกลางทั้งสองไม่ต่างกัน ในกลไกของสภาวะความชื้นสมดุลของไอน้ำยิ่งยวดถูกศึกษาโดยการกำหนดอุณหภูมิอบแห้งอยู่ที่ 140 และ 160 องศาเซลเซียส และปรับเปลี่ยนวัสดุที่อบแห้งหลายชนิดสรุปว่าความชื้นสมดุลจะขึ้นอยู่กับ กลไกของน้ำในตัวกลางน้ำความร้อนคือไอน้ำยิ่งยวด, อุณหภูมิ และชนิดของวัสดุที่ถูกอบแห้ง

Johansson, Fyhr และ Rasmuson (1997) ศึกษาการพาความร้อนของตัวอย่างชิ้นไม้ที่อบแห้งด้วยลมร้อนและไอน้ำยิ่งยวด แล้วรายงานผลของความแตกต่างของการอบแห้งระหว่างลมร้อนกับไอน้ำยิ่งยวด ช่วงแรกของการอบแห้ง (initial drying rate) ความชื้นภายในไม้จะเคลื่อนที่จากด้านในมายังที่ผิวไม้ด้วยแรงคาพิลารีแล้วเกิดการระเหยไป ช่วงของการอบแห้งในช่วงอัตราการอบคงที่ (constant drying rate) ของการอบแห้งด้วยลมร้อนจะใช้เวลาน้อยกว่าไอน้ำยิ่งยวด การอบแห้งด้วยลมร้อนพบว่าอัตราการอบแห้ง (drying rate) จะสูงกว่าและใช้เวลาอบน้อยกว่า โดยสังเกตจากค่าฮีตฟลักซ์ต่อชิ้นไม้จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณลมร้อนที่ใช้อบแห้ง ในช่วงสุดท้ายของการอบแห้ง (falling drying rate) สามารถแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ อัตราการอบแห้งขึ้นกับความชื้นของตัวกลางอบแห้งหรือไม้มีความสัมพันธ์ต่อกัน

Pang (1997) ศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้งไม้เนื้ออ่อนที่อุณหภูมิสูงด้วยลมร้อนและไอน้ำยิ่งยวด พบว่าอัตราการถ่ายโอนมวลภายนอกของการอบแห้งด้วยไอน้ำยิ่งยวดจะมีค่าสูงกว่าแบบอบแห้งด้วยลมร้อนในขณะที่สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนของทั้ง 2

วิธีเท่าๆกัน กระนั้นก็ตามสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนของการอบแห้งด้วยไอน้ำยิ่งยวดจะเพิ่มขึ้นตามความดันไอ

Pang และ Dankin (1999) ทำการศึกษาอุณหภูมิและอัตราการอบแห้งแบบสุญญากาศด้วยไอน้ำยิ่งยวดกับการ อบด้วยอากาศร้อนชื้นในไม้เนื้ออ่อน (pinus radiata) พบว่าอัตราการอบแห้งด้วยไอน้ำยิ่งยวดเร็วกว่าการอบด้วยอากาศร้อนชื้น

Aly (1999) ได้ศึกษากระบวนการลดการใช้พลังงานในการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยิ่งยวดแทนการใช้การอบด้วยอากาศซึ่งน้ำที่ระเหยออกจากวัสดุจะถูกอัดด้วยเครื่องอัดไอ (mechanical vapor compressor; MVC) ไอที่ถูกอัดจะทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นแล้วหมุนเวียนไปทางเข้าของตู้อบซึ่งสามารถลดการใช้พลังงานในโรงงานได้

Moreira (2001) ได้ศึกษาการอบอาหารด้วยลมร้อนและไอน้ำยิ่งยวดพบว่าที่อุณหภูมิมากกว่า 130 องศาเซลเซียส การอบแห้ง tortilla chip ด้วยไอน้ำยิ่งยวดใช้เวลาน้อยกว่าการอบแห้งด้วยอากาศร้อน(ที่สภาวะเดียวกัน) อีกทั้งทำให้ potato chip สูญเสียคุณค่าอาหาร (วิตามินซี) และสีมีการเปลี่ยนแปลงน้อยลง ดังนั้นการอบด้วยไอน้ำยิ่งยวดที่อุณหภูมิ 140-180 องศาเซลเซียส อาจจะไม่ทำให้สีของไม้ยางเปลี่ยนแปลงไป

Thiam, Milota และ Leichti (2002) ได้ศึกษาผลกระทบต่อคุณสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของไม้ Westren Hemlock ขนาด 38 มิลลิเมตร × 140 มิลลิเมตร เมื่ออบแห้งด้วยด้วยอุณหภูมิสูงเปรียบเทียบกับการอบแห้งแบบทั่วไป พบว่าเวลาที่ใช้อบแห้งที่อุณหภูมิสูง 24 ชั่วโมง ในขณะที่เวลาที่ใช้อบแห้งแบบปกติ 48 ชั่วโมง การอบแห้งที่อุณหภูมิสูงสามารถลดเวลาลง 50% ส่วนทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของไม้หลังอบแห้งด้วยอุณหภูมิสูงแล้วพบว่าไม่มีความแตกต่างกันกับการอบแห้งแบบทั่วไป

Bengtsson และ Kliger (2003) ศึกษาการดัดสถิตย์ของ spruce wood ที่อบแห้ง แล้วทำการเปรียบเทียบอุณหภูมิระหว่าง 115 องศาเซลเซียส และ 70 องศาเซลเซียส พบว่าไม้ที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงจะมีการเสียรูปเนื่องจากแรงดัดสถิตย์น้อยกว่าไม้ที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิต่ำกว่า

ฐานันดร์ศักดิ์ เทพญา (1998) ได้กล่าวถึงการหาข้อกำหนดเทคนิคที่ดีในการอบไม้ยางหรือตารางการอบที่เหมาะสม มีการสำรวจข้อมูลจากโรงงานไม้ยาง 6 แห่ง มีการศึกษาวิธีการอบ การจัดเรียงไม้ การออกแบบห้องอบและอุปกรณ์ต่างๆในห้องอบ การตรวจวัดบรรยากาศในห้องอบ ได้แก่ อุณหภูมิกระเปาะแห้ง อุณหภูมิกระเปาะเปียก ความเร็วลม และความชื้นของไม้ในขณะอบ ได้มีการสังเกตเทคนิคการปรับสภาพในห้องอบด้วยพ่นไอน้ำและระบายความชื้นออกจากห้องอบ ซึ่งการควบคุมกระบวนการอบไม้ยังคงใช้คนงานคอยควบคุมการเปิดและปิดวาล์ว และได้กล่าว

สรุปว่า เทคนิคหรือข้อกำหนดที่ดีในการอบไม้ยาง เป็นแนวปฏิบัติที่ไม่เหมือนกันของโรงอบไม้แต่ละแห่งเนื่องจากลักษณะเตาอบที่ต่างกัน การปรับปรุงหรือคิดหาวิธีการอบที่ดีได้จากการทดลองทำหรือลองผิดลองถูกและเทคนิคของแต่ละโรงอบจะใช้ได้ดีกับโรงอบของตัวเองไม่สามารถนำไปใช้กับอีกโรงอบหนึ่งได้ทั้งหมด

นิรันดร มาแทน และ บุญนำ เกี่ยวข้อง (2003) ได้ทำการศึกษาผลของความชื้นต่อคุณสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกลของแก่นไม้ยางอายุน้อย โดยค่าความชื้นปรากฏที่จุดหมาดมีค่าเท่ากับ 23$\pm$4% โดยที่ความชื้นสูงกว่าสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกลของไม้ยางจะมีค่าคงที่และสมบัติทางกลซึ่งได้แก่ ความเค้นอัดตามเสี้ยนสูงสุด, ความเค้นเฉือนทางเสี้ยนสูงสุด, โมดูลัสของการอัดและโมดูลัสของการเฉือนจะเพิ่มขึ้นแบบเอกโปเนนเชียลเมื่อความชื้นในไม้ลดลงต่ำกว่าจุดหมาด (fiber saturation point) ส่วนค่าความเครียดเฉือนที่จุดแตกหักจะมีค่าเพิ่มขึ้น

กนกวรรณ บัวผุด (2003) ได้ศึกษากระบวนการอบไม้ยางด้วยไอน้ำร้อนยิ่งยวดเพื่อลดเวลาในการอบไม้และศึกษาผลกระทบต่อคุณสมบัติเชิงกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของไม้ยาง ได้สภาวะการอบแห้งที่เหมาะสมคืออบด้วยไอน้ำยิ่ง ยวดที่ 105-110 องศาเซลเซียส อบจนกว่าไม้จะแห้งแล้วทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพด้วยสายตาและการทดสอบแบบซี่ส้อม (prong test) ส่วนคุณสมบัติเชิงกลของไม้จะลดลงเล็กน้อย (6-30%) และเวลาที่ใช้ในการอบลดลงอย่างมีนัยสำคัญ (จาก 7-8 วัน ลดเหลือ 2 วัน)

1.13. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.13.1 ศึกษาและออกแบบห้องอบแห้งไม้ยาง

1.13.2 ดำเนินการสร้างห้องอบแห้งไม้ยางและศึกษาวิธีการอบแห้งไม้ยางแบบผสมผสานระหว่างไอน้ำยิ่งยวดกับลมร้อน

1.13.3 วิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของไม้ยางหลังผ่านกระบวนการอบแห้งแบบผสมผสานระหว่างไอน้ำยิ่งยวดกับลมร้อน

1.14 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.14.1 ได้ต้นแบบระดับห้องปฏิบัติการของชุดอบแห้งไม้ยาง

1.14.2 ได้หลักการของการอบแห้งไม้ยางด้วยวิธีผสมผสานระหว่างไอยิ่งยวดกับลมร้อน , กระบวนการถ่ายเทความร้อนและการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของไม้ยางต่อการอบแห้ง

1.14.3 ได้ข้อสรุปสภาวะที่เหมาะสมในการอบแบบผสมผสานระหว่างไอน้ำยิ่งยวด

1.14.4 ได้ข้อเปรียบเทียบการอบแห้งระหว่างการใช้อากาศร้อนและวิธีผสมผสานระหว่างไอน้ำ ยิ่งยวดกับลมร้อน

1.14.5 เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ในการออกแบบห้องอบไม้ยางในระดับอุตสาหกรรม เพื่อลดปัญหาการโค้งงอและบิดเบี้ยวของไม้จึงช่วยลดปริมาณการสูญเสีย

1.15 ขอบเขตของการวิจัย

1.15.1 ศึกษากระบวนการอบแห้งไม้ยางเพื่อหาเทคนิคการอบแห้งและปรับปรุงวิธีการออกแบบการอบแห้งไม้ยาง

1.15.2 ทบทวนเอกสารเกี่ยวกับการอบแห้งไม้ยางแบบใช้ลมร้อน,ไอน้ำและแบบผสมผสานระหว่างไอน้ำยิ่งยวดกับลมร้อน

1.15.3 ออกแบบห้องอบแห้งไม้ยาง

1.15.4 ศึกษาการทำงานของเครื่องอบแห้งและวิเคราะห์กระบวนการอบที่เหมาะสมที่สุด

1.15.5 วัดค่าคุณสมบัติเชิงกลของไม้ยางที่ผ่านการอบแห้ง

1.15.6 วิเคราะห์การอบแห้งที่เหมาะสม ใช้เวลาน้อยที่สุดและไม่ลดค่าความแข็งหรือลักษณะปรากฏของไม้ยาง

1.15.7 วิเคราะห์จุดคุ้มทุนทางเศรษฐศาสตร์ของกระบวนการอบแห้งไม้ยาง