



รายงานการวิจัย

การเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการอบแห้งไม้ยางพารา
ด้วยพลังงานไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนและระบบลำเลียงอย่างต่อเนื่อง
ด้วยการวิเคราะห์พลังงานและเอ็กเซอจี

โดย

รัฐศักดิ์

พรหมมาศ

ปิยะพงศ์

กีส์วัตต์คอน

กมล

ตรีผอง

สนับสนุนงบประมาณโดย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

ประจำปีงบประมาณ 2557

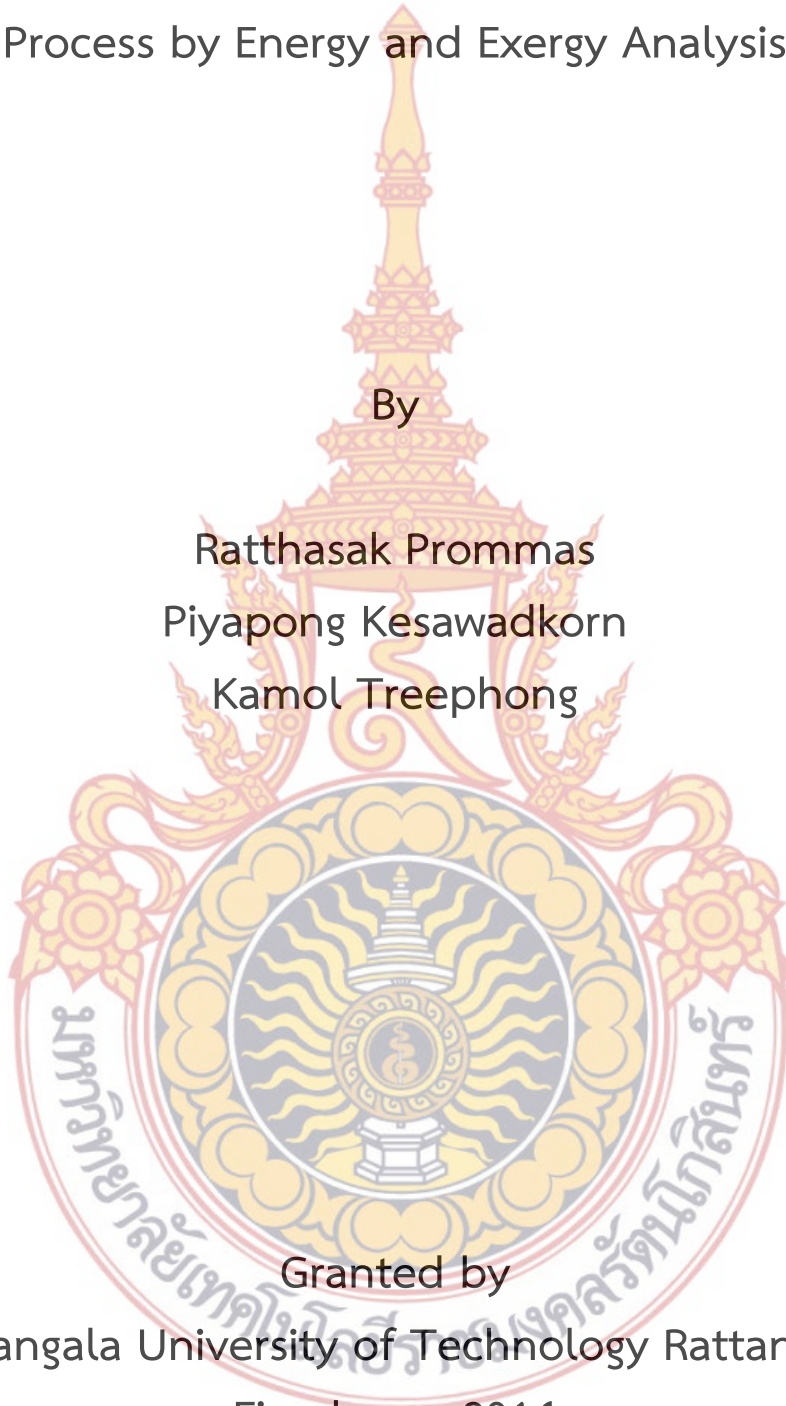
Optimization in rubber wood using a Combined
Microwave, Hot Air and Continuous Conveying Drying
Process by Energy and Exergy Analysis

By

Ratthasak Prommas
Piyapong Kesawadkorn
Kamol Treephong

Granted by

Rajamangala University of Technology Rattanakosin
Fiscal year 2014



กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงบรรลุผลตามวัตถุประสงค์ได้ด้วยดีนั้นผู้จัดทำขอขอบพระคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัยในครั้งนี้ ขอขอบคุณสาขา วิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ที่ใช้สถานที่ ในการวิจัยในครั้งนี้จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี และขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา (สวพ) ที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการเบิกจ่ายและประสานงานด้วยดีเสมอมา

รัฐศักดิ์ พรหมมาศ
กันยายน 2559



บทคัดย่อ

รหัสโครงการ : A27 /2557
 ชื่อโครงการ : การเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการอบแห้งไม้ยางพาราด้วยพลังงานไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนและระบบลำเลียงอย่างต่อเนื่องด้วยการวิเคราะห์พลังงานและเอ็กเซอร์จี
 ชื่อนักวิจัย : นายรัฐศักดิ์ พรหมมาศ, นายปิยะพงศ์ กีสวัสดิ์คอน และนายกมล ตรีผอง

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษการเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการอบแห้งไม้ยางพาราด้วยพลังงานไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนและระบบลำเลียงอย่างต่อเนื่องด้วยการวิเคราะห์พลังงานและเอ็กเซอร์จีเปรียบเทียบกับไม้ยางพารา 3 ส่วนคือ ส่วนปลาย ส่วนกลาง และส่วนโคนของลำต้น โดยการอบสารเคมี 2 ประเภท คือ สารเคมีประเภทน้ำมัน และสารเคมีประเภทละลายในน้ำมันโซล่า ในอัตราส่วน 50: 50 และผ่านการอบไล่ความชื้นด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 °C และผ่านการอบไล่ความชื้นด้วยพลังงานไมโครเวฟที่กำลังวัตต์ 100 W อบให้ความชื้นในเนื้อไม้เหลือ 15 % และนำมาทดสอบหากล้างต้านทานแรงอัด

จากการศึกษาพบว่าไม้ยางพาราส่วนโคนที่ผ่านการอบสารเคมีประเภทน้ำมัน ผ่านการอบไล่ความชื้นด้วยพลังงานไมโครเวฟ ใช้เวลา 9 ชั่วโมง 40 นาที รับกำลังต้านทานแรงอัดในทิศทางตั้งฉากกับเส้นใต้สูงสุดเท่ากับ 17.99 MPa มีกำลังต้านทานเพิ่มขึ้น 62 % และไม้ยางพาราที่ผ่านการอบสารเคมีประเภทละลายในน้ำมันโซล่า ผ่านการอบไล่ความชื้นด้วยลมร้อน ใช้เวลา 24 ชั่วโมง รับกำลังต้านทานแรงอัดในทิศทางขนานกับเส้นใต้สูงสุดเท่ากับ 40.31 MPa มีกำลังต้านทานเพิ่มขึ้น 137 % จากการอบไล่ความชื้นด้วยพลังงานไมโครเวฟ ทำให้ความชื้นภายในออกสู่อากาศของเนื้อไม้โดยใช้เวลา 2-10 ชั่วโมง ต่างกับการอบด้วยลมร้อน ซึ่งจะถ่ายเทความร้อนจากผิวไปสู่ภายในเนื้อไม้ จึงทำให้ใช้เวลาในการอบไล่ความชื้นนานถึง 12-48 ชั่วโมง

คำสำคัญ : ไม้ยางพารา, คลื่นไมโครเวฟ, ปรับปรุงคุณภาพไม้
 E-mail Address : ratthasak.pro@rmutr.ac.th
 ระยะเวลาโครงการ : ตุลาคม 2556 - กันยายน 2557

Abstract

Code of project : A27 /2557
Project name : Optimization in rubber wood using a Combined Microwave, Hot Air and Continuous Conveying Drying Process by Energy and Exergy Analysis.
Researcher : Mr. Ratthasak Prommas, Mr. Piyapong Kesawadkorn and Mr. Kamol Treephong

This research was conducted to study the Optimization in rubber wood using a combined microwave, hot air and continuous conveying drying process by energy and exergy analysis. Three part of para wood, topper part, middle part and base part of the trunk. The chemicals included two types of chemical and diesel in the ratio of 50: 50 and baking moisture in hot air at temperature of 60 ° C and the baking moisture with microwave energy, the wattage 100 W oven to keep the moisture in wood to 15. % and are tested for resistance to compression.

The study found that the base of the para through a chemical bath through a moisture with microwave energy spent nine hours, 40 minutes, receiving a compressive strength in the direction perpendicular to the grain maximum of 17.99 MPa, there was resistance increased 62% and para wood through a chemical to dissolve in . Solar Through baking, hot air moisture takes 24 hours to get a compressive strength in the direction parallel to the grain of 40.31 MPa maximum strength resistance increased 137% from the moisture baked with microwave energy. If the moisture content of the air out of the 'outer surface of the wood' takes 2-10 hours, which 'bottom of the oven with hot air. Which will take the total moisture content of the surface' into the wood, it takes time to bake moisture for up to 12-48 hours.

Keywords : Para Wood, Microwave and Improve Quality.
E-mail Address : ratthasak.pro@rmutr.ac.th
Period of Project : September 2013- October 2014

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	3
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	3
1.4 นิยามศัพท์ที่ใช้ในการวิจัย	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	5
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	21
บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงาน	26
3.1 แผนการดำเนินงาน	26
3.2 การเตรียมข้อมูล	27
3.3 วัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือ	28
3.4 ขั้นตอนการทำและการทดสอบคุณสมบัติของไม้	28
3.5 การอบไล่ความชื้นไม้	31
3.6 การทดสอบหาค่าความหนาแน่น ปริมาณความชื้น และการดูดซึมน้ำยาของไม้	32
3.7 การทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดของไม้ในแนวขนานเสี้ยนและในแนวตั้งฉากกับเสี้ยน	36
3.8 วิเคราะห์ข้อมูล	41

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ 4	อภิปรายผลการทดลอง	หน้า
	4.1 ค่าความหนาแน่นของตัวอย่างไม้ยางพารา	43
	4.2 ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมของตัวอย่างไม้ยางพาราที่ผ่านการอบสารเคมี	44
	4.3 กำลังต้านทานแรงอัด ในทิศทางตั้งฉากกับเส้นและในทิศทางขนานกับเส้น	50
		57
บทที่ 5	สรุป และข้อเสนอแนะ	68
	5.1 สรุปผลการวิจัย	68
	5.2 ข้อเสนอแนะ	69
บรรณานุกรม		70



บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

ปัจจุบันมีการสร้างเครื่องจักรเพื่อพัฒนาการทำงานและประสิทธิภาพมากมาย บางเครื่องจักรจะต้องสร้างในระดับเครื่องทดลองต้นแบบ (Lab scale) เพื่อใช้ในการทดลอง วิเคราะห์ในห้องทดลองก่อนที่จะนำไปสร้างเป็นเครื่องจักรขนาดใหญ่ เพื่อนำไปใช้ในเชิงอุตสาหกรรมต่อไป ซึ่งการวิเคราะห์ และหาประสิทธิภาพของเครื่องจักรที่ทำการทดลองนั้น จะต้องใช้เครื่องมือวัด เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ นำไปคำนวณ เพื่อวิเคราะห์หาค่าพลังงานและประสิทธิภาพ ซึ่งเป็นการไม่สะดวก และสิ้นเปลืองเวลา การสร้างเครื่องจักรในระดับเครื่องทดลองต้นแบบนี้ ในบางครั้งอาจมีปัญหาตามมา คือ เมื่อนำไปผลิตเป็นเครื่องจักรขนาดใหญ่ในภาคอุตสาหกรรมแล้ว ไม่สามารถนำไปผลิตได้จริง คือ ไม่คุ้มทุนกับค่าใช้จ่ายที่ผลิตจริง หรือกว่าจะคุ้มทุนก็ใช้เวลานาน ซึ่งสิ่งสำคัญที่ควรคำนึงถึง คือ ประสิทธิภาพของระบบ และความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ดังนั้นในการจะทำการลงทุนก่อนการสร้างเครื่องจักร ควรมีการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพต้นทุนดังกล่าวก่อน เพื่อใช้ในการตัดสินใจเลือกระบบที่เหมาะสมที่สุดในการติดตั้งในกระบวนการผลิตต่อไป

ดังนั้นจึงควรมีเครื่องมือซึ่งในที่นี้ คือซอฟต์แวร์ ที่สามารถช่วยในการวิเคราะห์และคำนวณหาประสิทธิภาพของเครื่องทดลองต้นแบบที่ออกแบบไว้ ตลอดจนการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ เพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการตัดสินใจออกแบบสร้างเครื่องจักรให้มีความเหมาะสมทั้งทางด้านเศรษฐศาสตร์และทางด้านการใช้พลังงาน และเพื่อหาระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) อัตราผลตอบแทนในการลงทุน (Internal Rate of Return) แนวโน้มความเป็นไปได้ของเครื่องต้นแบบก่อนนำไปใช้จริงในเชิงอุตสาหกรรม เพื่อประหยัดเวลา และงบประมาณในการสร้าง รวมทั้งสามารถช่วยในการตัดสินใจในการผลิตเครื่องจักรต่างๆได้

ในแต่ละระบบมีความคุ้มค่าทางพลังงานและทางเศรษฐศาสตร์ไม่เท่ากัน มีข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกันออกไป ยกตัวอย่างกรณีศึกษา เช่น กระบวนการผลิตไบโอดีเซล ซึ่งสามารถผลิตได้ทั้งจากสับดูดาและน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว ซึ่งการจะนำวัตถุดิบชนิดอะไรมาผลิตนั้น จำเป็นจะต้องมีการศึกษาผลการให้พลังงาน คำนวณต้นทุนการผลิต ค่าบำรุงรักษา ตลอดจนระยะเวลาคืนทุนก่อน อีกกรณีหนึ่งของกรณีศึกษา คือ การติดตั้งเชื้อเพลิงแบบ NGV และ LPG โดยค่าติดตั้งระบบแบบ NGV จะสูงกว่า LPG ประมาณ 3-4 เท่า ในขณะที่ราคาแก๊สต่อกิโลกรัมของระบบแบบ NGV จะถูกกว่าระบบแบบ LPG ประมาณถึง 50% ระบบแบบ LPG จะมีข้อดีที่แรงดันต่ำ จึงสามารถทำถังให้รองรับแรงดันได้มากกว่า มีถึงหลายแบบ หลายขนาดให้เลือก และเมื่อเกิดปัญหา ก็สามารถแก้ไขได้ง่ายกว่า เนื่องจากระบบมีความซับซ้อนน้อยกว่าระบบแบบ NGV เป็นต้น ในกระบวนการผลิตต้องมีการลงทุนด้าน

เครื่องจักรต่างๆ ตลอดจนการวางมาตรฐานการผลิตขั้นต่ำต่อวันที่ผลิตได้ เพื่อนำมาคิดค่าระยะเวลา คำนวณต่อไป ดังนั้นผู้บริโภครู้จำเป็นต้องวิเคราะห์ปัจจัยด้านต่างๆก่อนติดตั้งระบบใดระบบหนึ่ง คำนวณค่าต้นทุนการติดตั้ง ระยะเวลาการใช้งาน ค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุง ตลอดจนข้อดีข้อเสียของการนำไปใช้งาน เพื่อเป็นข้อมูลประกอบการตัดสินใจ ซึ่งระบบที่มีความเหมาะสมที่สุดจะต้องคำนึงถึง อัตราผลตอบแทนสูงสุดในการลงทุน และระยะเวลาคุ้มทุน เป็นสำคัญ

ซึ่งซอฟต์แวร์ที่กล่าวมาแล้วข้างต้น จะสามารถใช้ได้กับทั้งระบบต่างๆไป หรือระบบเฉพาะต่างๆ เช่น ระบบไอน้ำ หรือระบบไมโครเวฟ เป็นต้น มีรูปลักษณะการใช้งานที่สะดวก โดยใส่เพียงพารามิเตอร์ไม่กี่ตัว มีการสร้างส่วนรองรับข้อมูลไว้เพื่อสะดวกและง่ายต่อผู้ใช้ โดยคำนึงถึงความสะดวกของการนำไปใช้งานของผู้ใช้ให้สามารถใช้ได้กับบุคคลทั่วไป ซึ่งจะได้ผลลัพธ์ในการวิเคราะห์พลังงานและในทางเศรษฐศาสตร์ เช่น ประสิทธิภาพการให้พลังงาน ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) หรืออัตราผลตอบแทนในการลงทุน (Internal Rate of Return) ซึ่งควรมีค่าระยะเวลาคืนทุนเร็ว และอัตราผลตอบแทนในการลงทุนควรมีค่าสูงสุด จึงจะเป็นระบบที่มีความเหมาะสมที่สุดในทางเศรษฐศาสตร์ โดยโปรแกรมซอฟต์แวร์ดังกล่าว จะเป็นซอฟต์แวร์แบบแรกในประเทศไทย ที่สามารถคำนวณและวิเคราะห์ทางพลังงาน และเศรษฐศาสตร์สำหรับกระบวนการเชิงอุตสาหกรรม ที่ผู้ใช้จะสามารถตัดสินใจในเบื้องต้นก่อนการผลิตเครื่องจักรในระดับอุตสาหกรรม และเลือกใช้ระบบที่มีข้อแตกต่างกัน

องค์ความรู้ที่ได้โดยเฉพาะในภาคทฤษฎี รวมถึงการทดลองต่างๆ กับโปรแกรมคำนวณที่ประดิษฐ์ขึ้นในโครงการวิจัยครั้งนี้จะเป็นส่วนหนึ่งของโครงการวิจัยที่ครบวงจรในศาสตร์ด้านประสิทธิภาพการใช้พลังงานและวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ นอกจากนี้จะคำนึงถึงความเป็นไปได้ในทางทฤษฎีและสามารถประดิษฐ์อุปกรณ์มาใช้งานเป็นผลสำเร็จแล้วก็ยังมีเหตุผลสำคัญอีกประการหนึ่งที่สำคัญไม่ยิ่งหย่อนกว่ากันคือการคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ซึ่งเราต้องคำนึงถึงเช่นกัน เหตุผลในทางด้านนี้ที่เห็นกันอยู่ในวงการวิจัยมีผลงานเกิดขึ้นอย่างมากมายแต่จะเกิดผลในทางการผลิตให้เป็นอุตสาหกรรมมีน้อยมาก เนื่องจากเหตุผลทางด้านเศรษฐศาสตร์นั่นเอง ในการวิเคราะห์ครั้งนี้ผู้วิจัยจะเสนอแนวคิดเพื่อเป็นทางเลือกที่จะทำให้ผลงานวิจัยในระบบทั่วไปและระบบเฉพาะ นำไปสู่การสร้างเครื่องที่เป็นจริงด้วยเหตุผลที่ได้กล่าวมาข้างต้นนี้

สาเหตุที่ต้องมีการพัฒนาซอฟต์แวร์เพื่อคำนวณสำหรับการวิเคราะห์หาค่าพลังงาน เอกเซอร์จีและการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ของระบบการผลิตเชิงอุตสาหกรรม เพื่อความสะดวกและประหยัดเวลาในการวิเคราะห์และคำนวณหาประสิทธิภาพ ของเครื่องต้นแบบที่ออกแบบโดยไม่ต้องสร้างเครื่องต้นแบบขึ้นมาก่อนและเพื่อศึกษาถึงระยะเวลาคุ้มทุน และดูแนวโน้มความเป็นไปได้ของเครื่องต้นแบบก่อนนำไปใช้จริงในเชิงอุตสาหกรรม เนื่องจากเครื่องจักรที่นำไปใช้ในเชิงอุตสาหกรรม

จะมีขนาดใหญ่ ใช้ระยะเวลาในการสร้างยาวนาน และมีต้นทุนในการผลิตเครื่องจักรสูงมาก ซึ่งถ้าผลิตออกมาแต่ไม่สามารถใช้ได้จริง หรือไม่คุ้มทุนกับเวลา ก็จะเป็นการสิ้นเปลืองเงินทุนโดยเปล่าประโยชน์

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาและวิเคราะห์พลังงานและประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งไม้อย่างพารา โดยใช้พลังงานไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนและระบบลำเลียงอย่างต่อเนื่อง

1.2.2 เพื่อทราบถึงต้นทุน ระยะเวลาคุ้มทุน และความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ตลอดจนความเป็นไปได้ของก่อนนำไปใช้จริงในเชิงอุตสาหกรรม

1.2.3 เพื่อช่วยในการตัดสินใจเบื้องต้นก่อนการผลิตเครื่องจักรในระดับอุตสาหกรรม ให้เหมาะสมและเกิดประโยชน์สูงสุด

1.2.4 เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งไม้อย่างพารา โดยใช้พลังงานไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนและระบบลำเลียงอย่างต่อเนื่อง

1.2.5 เพื่อเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดลอง

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

งานวิจัยและพัฒนาในโครงการนี้ เป็นงานวิจัยเชิงสหวิทยาการที่ครอบคลุมถึงงานวิจัยเชิงทฤษฎีจนถึงงานวิจัยเชิงประยุกต์ที่สามารถต่อยอดและพัฒนาเป็นระบบเชิงอุตสาหกรรมได้ โดยในส่วนของงานวิจัยพื้นฐาน (Basic Research) ผู้วิจัยได้มุ่งเป้าในเชิงวิชาการ (Academic side) ศึกษาทฤษฎีในระบบต่าง ๆ และหลักการคำนวณความคุ้มทุนในเชิงเศรษฐศาสตร์ วิเคราะห์การใช้พลังงาน และประสิทธิภาพของเครื่องต้นแบบที่สร้างขึ้น ในส่วนของงานวิจัยประยุกต์ (Applied Research) ได้ต่อยอดองค์ความรู้จากงานวิจัยพื้นฐาน สามารถนำไปใช้ในเชิงอุตสาหกรรมได้ ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องสำหรับการวิเคราะห์พลังงาน และเศรษฐศาสตร์สำหรับระบบต่างๆ เชิงอุตสาหกรรม เพื่อให้ได้ระบบที่เหมาะสมที่สุด

1.4 นิยามศัพท์ที่ใช้ในการวิจัย

1.4.1 Energy and Exergy หมายถึง energy เป็นคำภาษาอังกฤษ ตรงกันข้ามหรือเป็นสิ่งที่แฝงอยู่กับ matter ในภาษาไทยเรียกว่า พลังงาน กับ วัตถุ สรรพสิ่งในจักรวาลประกอบด้วยสองสิ่งนี้ คือมีวัตถุ และในวัตถุนั้นแฝงไว้ด้วยพลังงาน หรือ/และ พลังงาน ส่วน Exergy เรียกอีกอย่างว่า Availability ซึ่งหมายถึงค่าสูงสุดที่เป็นไปได้ของงาน (useful work) ที่ได้รับจากระบบ ซึ่งค่าสูงสุดของงานนั้น ก็จะได้จาก ระบบที่ย้อนกลับได้ (reversible process) ที่เกิดขึ้นระหว่างสองกระบวนการ

1.4.2 Microwave Drying หมายถึง การอบแห้งไมโครเวฟ โดยการนำคลื่นไมโครเวฟไปใช้ในการให้ความร้อน หรือการทำแห้งนั้น สามารถทำได้เนื่องจากเมื่อคลื่นไมโครเวฟเคลื่อนที่เข้าไป

ในวัสดุต่างๆที่ ประกอบด้วยโมเลกุลที่มีความเป็นขั้ว หรือโมเลกุลที่ประจุบวกและประจุลบมีการกระจายตัวไม่สม่ำเสมอ โมเลกุลเหล่านั้นจะมีการเคลื่อนที่เนื่องจากได้รับแรงกระทำแบบสลับไปมาอย่างรวดเร็วจากสนามไฟฟ้าของคลื่นไมโครเวฟ ซึ่งความถี่ของคลื่นไมโครเวฟสำหรับใช้ในกระบวนการให้ความร้อนอาหารจะเท่ากับ 2.45 GHz ดังนั้นสนามไฟฟ้าของคลื่นไมโครเวฟจะมีการสลับขั้ว 2,450 ล้านครั้งต่อวินาที เมื่อโมเลกุลของน้ำซึ่งเป็นโมเลกุลมีขั้ว (โมเลกุล H₂O มีค่าโมเมนต์ขั้วคู่เท่ากับ 1.1×10^{-29} C.m) ที่มีจำนวนมากที่สุด อยู่ภายใต้อิทธิพลของสนามไฟฟ้าของคลื่นไมโครเวฟ มันจะพยายามหมุนตามการสลับขั้วของสนามไฟฟ้า ก็จะทำให้เกิดการชนกันระหว่างโมเลกุล ซึ่งจะทำให้เกิดเป็นความร้อนขึ้นอย่างรวดเร็ว กระบวนการที่ทำให้เกิดความร้อนขึ้นภายในวัสดุเมื่อได้รับคลื่นไมโครเวฟเรียกว่า Dielectric heating

1.4.3 Block Rubber หมายถึง ยางแท่งเป็นยางธรรมชาติที่ผลิตโดยมีการควบคุมคุณภาพให้ได้ตรงตามมาตรฐานที่กำหนด โดยในการผลิตจะนำยางมาทำให้เป็นก้อนเล็กๆ (เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2-3 มิลลิเมตร) เพื่อให้ง่ายต่อการชำระล้างสิ่งสกปรกและง่ายต่อการทำให้แห้งด้วยการอบ และหลังจากอบยางให้แห้งด้วยอากาศร้อนแล้วก็จะนำยางแท่งที่เป็นก้อนเล็กๆ เหล่านี้ไปอัดให้เป็นแท่งมาตรฐาน 330x670x170 มิลลิเมตร มีน้ำหนักประมาณ 33.33 กิโลกรัม การจัดชั้นของยางแท่งจะพิจารณาจากปริมาณสิ่งสกปรกที่มีอยู่ในยางเป็นสิ่งสำคัญ นอกจากนั้นก็อาจพิจารณาตัวแปรอื่นๆ ร่วมด้วย เช่น ปริมาณเถ้า ดัชนีความอ่อนตัว ฯลฯ ปัจจุบันประเทศไทยมีมาตรฐานยางแท่งเรียกว่า Standard Thai Rubber (STR)

1.4.4 Industrial drying หมายถึงอุตสาหกรรมการอบแห้ง เป็นอุตสาหกรรมหนึ่งที่มีกระบวนการผลิตหลากหลายขั้นตอนและผลผลิตของแต่ละขั้นตอนนั้นยังสามารถนำไปใช้งานต่อได้ในหลากหลายรูปแบบ เช่น สีนค้ำหนึ่ง เมื่อผ่านกระบวนการขึ้นต้นแล้วก็จะสามารถนำไปบริโภคโดยตรงทันที หรือนำไปผ่านกระบวนการปรุง การแปรรูปอย่างง่าย ไปจนถึงการแปรรูปขั้นสูงขึ้นไปได้เช่นเดียวกัน

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

โครงการวิจัยครั้งนี้เป็นประโยชน์อย่างสูงในการช่วยพัฒนาเทคโนโลยีในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ยางพารา นอกจากนี้ยังช่วยในการวิเคราะห์พลังงานและเอ็กเซอจีของกระบวนการอบแห้งไม้ยางพารา โดยใช้พลังงานไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนและระบบลำเลียงอย่างต่อเนื่อง และเป็นแนวทางในการออกแบบสร้างและการพัฒนาเครื่องอบแห้งเชิงพาณิชย์ในการอบแห้งไม้ยางที่มีประสิทธิภาพสูงต่อไปงานทางวิศวกรรมในอีกลักษณะหนึ่ง

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้ เป็นงานวิจัยเชิงสหวิทยาการที่ครอบคลุมถึงงานวิจัยเชิงทฤษฎีจนถึงงานวิจัยเชิงประยุกต์ที่สามารถต่อยอดและพัฒนาเป็นระบบเชิงอุตสาหกรรมได้ โดยในส่วนของงานวิจัยพื้นฐาน (Basic Research) ผู้วิจัยได้มุ่งเป้าในเชิงวิชาการ (Academic side) ศึกษาทฤษฎีในระบบต่าง ๆ และหลักการคำนวณความคุ้มค่าในเชิงเศรษฐศาสตร์ วิเคราะห์การใช้พลังงาน และประสิทธิภาพของเครื่องต้นแบบที่สร้างขึ้น ในส่วนของงานวิจัยประยุกต์ (Applied Research)

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

เป็นที่ทราบกันดีว่าการกระจายตัวของอุณหภูมิภายในวัสดุไดอิเล็กตริกหรือโพล (เช่น อาหาร) ที่ได้รับความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟ จะถูกกำหนดโดยคุณสมบัติทางความร้อนและสมบัติไดอิเล็กตริกของอาหารและอัตราการดูดซับพลังงานไมโครเวฟ (Microwave Absorption) หรือค่ากำลังการดูดซับภายในอาหารนั่นเอง ปริมาณของการดูดซับพลังงานไมโครเวฟนี้ก็ถูกกำหนดโดยสนามไฟฟ้าภายในระบบการทำความร้อนด้วยไมโครเวฟ เช่น ภายในตู้ไมโครเวฟหรือ แอปพลิเคเตออร์ (Applicator) สำหรับบทนี้จะสนใจที่ธรรมชาติของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าภายในตู้ไมโครเวฟหรือ แอปพลิเคเตออร์ ซึ่งค่าสมบัติไดอิเล็กตริกมีอิทธิพลเป็นอย่างมากต่อสนามไฟฟ้าและค่ากำลังการดูดซับภายในวัสดุ ค่ากำลังการดูดซับหรือค่าปริมาณการกำเนิดความร้อนภายใน (Internal heat generation) Q นี้ถือว่าเป็นแหล่งกำเนิดความร้อนของกระบวนการขณะได้รับพลังงานคลื่นไมโครเวฟ ที่จะนำไปสู่การถ่ายเทความร้อนและความชื้นภายในวัสดุ

โดยทั่วไปค่าสมบัติไดอิเล็กตริกสามารถเขียนให้อยู่ในรูปค่าคอมเพล็กซ์เปอร์มิตติวิตี (Complex Permittivity; ϵ) โดยค่านี้แสดงความสัมพันธ์ได้ดังสมการต่อไปนี้

$$\epsilon = \epsilon' + j\epsilon'' = \epsilon_0(\epsilon_r' + j\epsilon_r'') = \epsilon_0\epsilon_r = \epsilon_0\left(\epsilon_r' + j\frac{\sigma}{\omega\epsilon_0}\right) \quad (1)$$

ระยะความลึกเชิงผิว (Skin Depth) เป็นค่าที่บ่งบอกถึงระยะที่สนามแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถแทรกผ่านเข้าภายในวัสดุ ซึ่งนิยามอยู่ในรูปความลึก ขนาดของสนามมีค่าลดทอนลงเท่ากับ $1/e$ เท่าของสนามที่ผิววัสดุนั้น สำหรับคลื่นระนาบที่ตกกระทบบนวัสดุกึ่งอนันต์ โดยที่มีขนาดของสนามตั้งนั้นค่าระยะความลึกเชิงผิว แสดงได้ตามสมการดังต่อไปนี้

$$\delta = \frac{1}{\alpha} \quad (2)$$

สำหรับวัสดุประเภทที่มีความสามารถในการดูดซับสูง (Very Lossy Material) จะมีค่าระยะความลึกเชิงผิวดำ สนามแม่เหล็กไฟฟ้าจะลดลงอย่างรวดเร็วส่งผลทำให้ความร้อนเกิดขึ้นที่บริเวณผิว

เท่านั้น แต่สำหรับวัสดุประเภทที่มีความสามารถในการดูดซับต่ำ (Low Lossy Material) เช่น อาหารแห้งแข็ง ค่าระยะความลึกเชิงผิว จะมีมากขึ้นทำให้สนามสามารถที่จะแทรกผ่านได้มากขึ้นตาม

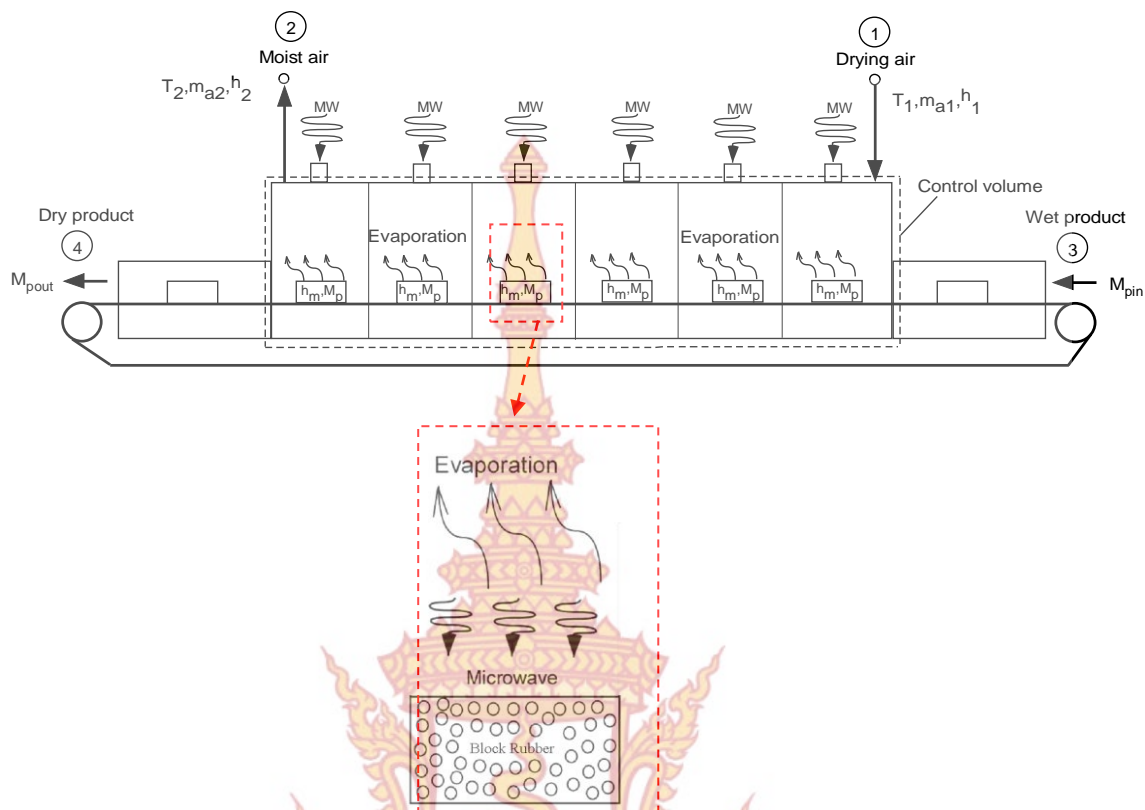
ในระหว่างกระบวนการทำความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟหรือคลื่นไดอิเล็กตริกนั้น แอมพลิจูดของคลื่น (Amplitude) จะมีค่าลดลงเนื่องจากวัสดุได้ดูดกลืนพลังงานของคลื่นไว้บางส่วน ส่วนของคลื่นที่ไม่ได้สะท้อนบริเวณผิวของวัสดุจะมีการทะลุทะลวงเข้าไปในเนื้อวัสดุได้ ความเข้มของสนามแม่เหล็กสนามไฟฟ้าและความหนาแน่นเชิงกำลัง (Power Density) หรือค่ากำลังการดูดซับลดลงอย่างเป็นฟังก์ชันเอกซ์โพเนนเชียล (Exponentially) ตามระยะความลึกจากผิวของวัสดุ ซึ่งระยะความลึกจากผิววัสดุที่ความหนาแน่นเชิงกำลังลดลงเหลือ $1/e$ ($=0.368$) เมื่อเทียบกับค่าบริเวณผิวของวัสดุเราเรียกว่า “ความลึกในการทะลุทะลวงของคลื่น”

สำหรับวัสดุที่ได้รับคลื่นระนาบ พบว่าประมาณ 63 % ของกำลังถูกดูดซับที่สลายตัวภายในระยะความลึกเชิงกำลัง และ 86 % ภายในระยะความลึกเชิงผิว สำหรับวัสดุจำพวกอาหารโดยทั่วไป ไม่มีคุณสมบัติเกี่ยวข้องกับสนามแม่เหล็ก ($\mu_r = 1$) ก็จะได้ค่า D_p ดังสมการต่อไปนี้

$$D_p = \frac{c}{\omega \sqrt{2\epsilon'} \left(\sqrt{1 + (\epsilon''/\epsilon')^2} - 1 \right)^{1/2}} \quad (3)$$

2.1.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับวิเคราะห์กระบวนการถ่ายเทความร้อนและมวลสารในวัสดุพูน

โดยทั่วไปการวิเคราะห์การไหลและการถ่ายเทความร้อนจะอยู่บนพื้นฐานของสมการส่งถ่าย (Transport Equation) ซึ่งเป็นผลลัพธ์มาจากกฎการสมดุลเชิงอนุพันธ์ ในการทำนายพฤติกรรมรวมของกระบวนการ เช่น อัตราการไหล หรือ พลังค์ความร้อน จะต้องอาศัยข้อมูลจากสิ่งแวดล้อมหรือเงื่อนไขขอบเขตของระบบมาช่วยประกอบในการคำนวณ



รูปที่ 1 แผนภาพแสดงปริมาณจำกัดที่ใช้ในการวิเคราะห์กระบวนการอบแห้งอย่างแพร่

เมื่อมีของไหลไหลผ่านโครงสร้างที่ซับซ้อน เช่น วัสดุพูน สมการที่ใช้ในการวิเคราะห์ ยังคงต้องอาศัยสมการเฉพาะตำแหน่งหรือเชิงจุลภาคสำหรับอธิบายพฤติกรรมการไหลภายในช่องว่างหรือรูพูน อย่างไรก็ตามเนื่องจากวัสดุพูนมีรูปร่างเชิงเรขาคณิตของพื้นผิวภายใน (ช่องว่างหรือรูพูน) ที่ประกอบจากส่วนโค้งของอนุภาคของแข็งที่ซับซ้อน ซึ่งผิวดังกล่าวจะห่อหุ้มโดเมนของของไหลภายในวัสดุพูน จากความซับซ้อนของปรากฏการณ์ทางกายภาพภายในวัสดุพูน ทำให้การวิเคราะห์หาคำตอบทั่วไปสำหรับความเร็วและอุณหภูมิเป็นไปได้ยาก ดังนั้นเพื่อความสะดวกในการวิเคราะห์ปรากฏการณ์ทางกายภาพในวัสดุพูนจึงมักจะอธิบายในรูปสมการเชิงมหภาค (Macroscopic Equations) ซึ่งเป็นจริงก็ต่อเมื่อโดเมนที่พิจารณาถือว่าเป็นปริมาตรเชิงเฉลี่ยที่ประกอบมาจากรูพูนหลายๆอัน ซึ่งรากฐานสมการนี้ก็หาได้จากสมการเชิงจุลภาคโดยผ่านเทคนิคปริมาตรเฉลี่ย (Volume Average Technique) [Whitaker, 1977, Whitaker, 1983 และ Ratanadecho, 2002] โดยที่สมการดังกล่าวนี้สามารถใช้ได้จริงสำหรับค่าเฉลี่ยของปริมาณเชิงจุลภาคต่างๆ ปริมาณต่างๆ ที่พบกันบ่อยในการศึกษาเกี่ยวกับวัสดุพูน อาทิเช่น ค่าความพูน (ε) และความเร็วของไหลที่ไหลผ่านรูพูน (U) ซึ่งปริมาณเหล่านี้ถือว่าเป็นค่าเฉลี่ยเท่านั้น

สำหรับสมการที่ใช้ในการอธิบายปรากฏการณ์การถ่ายเทความร้อนและมวลสารในวัสดุพอร์นเสนอไว้โดย Philip [1957] ในปี ค.ศ. 1951 และในช่วงเวลาเดียวกันโดย Luikov [1966] หลังจากนั้นก็มีนักวิจัยหลายท่านเช่น Sherwood [1930] Cealgske [1937] Harmath [1969] และ Huang [1979] ได้พิสูจน์ที่มาของสมการสมดุลเชิงมหภาคในการถ่ายเทความร้อนและมวลสารในกระบวนการอบแห้งโดยอาศัยวิธีปริมาตรเฉลี่ยเช่นกัน

วัตถุประสงค์ของบทนี้เพื่อนำเสนอแบบจำลองเชิงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายเทความร้อนและมวลสารเพื่อใช้อธิบายและวิเคราะห์กระบวนการอบแห้งในวัสดุพอร์น ซึ่งถือว่าเป็นกระบวนการพื้นฐานที่นิยมใช้ในการอธิบายกลไกการถ่ายเทความร้อนและมวลสาร โดยเริ่มต้นจากการนำเสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และการวิเคราะห์ที่ทั่วไปเกี่ยวข้องกับกระบวนการอบแห้งภายใต้สภาวะภายนอกคงที่

สำหรับรายงานวิจัยที่เด่นๆ ที่เกี่ยวกับการวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนและมวลสารในกระบวนการอบแห้งที่อาจจะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่ศึกษาวิจัยเกี่ยวกับกระบวนการอบแห้งในวัสดุพอร์นได้แสดงไว้ในส่วนบรรณานุกรมของบทนี้

สำหรับสมการสมดุลมวลและพลังงานเชิงมหภาคที่ครอบคลุมปรากฏการณ์ที่พิจารณาสามารถแสดงที่มาได้ดังนี้ [Ratanadecho et. al., 2001]

สมการสมดุลเชิงมวล
สถานะของเหลว

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho_l \phi s_l) + \nabla \cdot (\rho_l \vec{u}_l) = -\dot{n} \quad (4)$$

สถานะก๊าซ

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho_g \phi (1 - s_l)) + \nabla \cdot (\rho_g \vec{u}_g) = \dot{n} \quad (5)$$

สถานะไอ

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho_v \phi (1 - s_l)) + \nabla \cdot (\rho_v \vec{u}_g + \vec{J}_v) = \dot{n} \quad (6)$$

สถานะอากาศ

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho_a \phi (1 - s_l)) + \nabla \cdot (\rho_a \vec{u}_g - \vec{J}_v) = 0 \quad (7)$$

โดยที่

t	คือเวลา
ρ_i	คือความหนาแน่นของสารแต่ละสถานะ
\bar{n}_i	คือความเร็วเฉลี่ยเชิงมวล
\bar{J}_v	คือฟลักซ์การกระจายเชิงมวล (Diffusion Mass Flux)
n	คืออัตราการระเหยหรือการกลั่นตัวภายในรูพรุน
ϕ	คือค่าความพรุน (Porosity)
s	คือดีกรีความอิ่มตัว (เป็นสัดส่วนเชิงปริมาตร (Volume Content))

ส่วนตัวห้อยท้าย $i = l, v, g, a, s$ หมายถึง สถานะของ ของเหลว ไอน้ำ ก๊าซ อากาศ และของแข็งตามลำดับ
สมการสมดุลพลังงาน

$$(\rho C_p)_T \frac{\partial T}{\partial t} + (\rho_l C_{pl} \bar{n}_l + \rho_g C_{pg} \bar{n}_g) \cdot \nabla T = -\nabla \cdot \bar{q} - \Delta h_v n + Q \quad (8)$$

เมื่อ $(\rho C_p)_T = \rho_s C_{ps} (1 - \phi) + \rho_l s_l \phi C_{pl} + \rho_g (1 - s_l) \phi C_{pg}$ คือ ค่าความจุความร้อนเชิงปริมาตรเฉลี่ยของวัสดุพรุน

โดยที่

T	คืออุณหภูมิ
C_{pi}	คือค่าความจุความร้อนจำเพาะของสารแต่ละสถานะ
\bar{q}	คือค่าฟลักซ์ความหนาแน่นของการแพร่กระจายความร้อน (Diffusion Heat Flux Density) หรือค่าการนำความร้อน
Δh_v	คือค่าเอนทัลปีของการระเหย
Q	คือค่าปริมาณการกำเนิดความร้อนภายในต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร (Internal Heat Generation Rate) หรือค่ากำลังการดูดซับกัมมันตภาพรังสีหรือความร้อนด้วยไมโครเวฟ

ในสมการสมดุลแต่ละสมการข้างบนนี้ประกอบด้วยเทอมต่างๆ ซึ่งสามารถอธิบายในรายละเอียดได้ ดังนี้

เทอมแรก	หมายถึง อัตราการเปลี่ยนแปลงต่อเวลาของมวลหรือพลังงาน
เทอมที่สอง	หมายถึง การพาเชิงมวลหรือการส่งถ่ายพลังงาน
เทอมที่สาม	หมายถึง การแพร่กระจายเชิงมวล หรือการถ่ายเทพลังงาน
เทอมที่สี่	หมายถึง แหล่งสะสมมวลสารหรือพลังงาน อันเนื่องมาจากกระบวนการระเหยตัวหรือ

กลับตัว

เทอมที่ห้า	หมายถึง อัตราความร้อนภายในที่ผลิตขึ้นต่อหน่วยปริมาตร
------------	--

เพื่อให้ได้สมการที่สมบูรณ์เพื่อใช้วิเคราะห์และทำนายกระบวนการอบแห้งในวัสดุพอรุน จะต้องทำการรวมระบบสมการที่ (4-7) และสมการที่ (8) เข้าด้วยกันโดยผ่านความสัมพันธ์ของข้อกำหนดต่างๆ ต่อไปนี้

กฎข้อต่างๆที่เกี่ยวข้องกับฟลักซ์ความหนาแน่นเชิงมวลเช่น ความเร็วเฉลี่ยเชิงมวล (Average Mass Velocities) ของของสสารสถานะต่างๆ เช่น \bar{u}_l และ \bar{u}_g ฟลักซ์ความหนาแน่นของการกระจายตัวเชิงมวล (Diffusion Mass Flux Density) ในของไหลสถานะก๊าซ (J_v) และฟลักซ์ความหนาแน่นของการแพร่กระจายความร้อน (Diffusion Heat Flux Density) ภายในวัสดุพอรุน (\bar{q}) กฎของสภาวะ (State Law) สำหรับสสารสถานะต่างๆ และสมการเสริมต่างๆ (Complementary Equations) ที่ครอบคลุมถึงสภาวะสมดุลในแต่ละสถานะจากกฎทางกายภาพ (Physical Law) ทั้งหมดที่กล่าวมาข้างต้นสามารถเขียนให้อยู่ในรูปสมการต่างๆดังต่อไปนี้

กฎของดาร์ซี (Darcy 's Law)

$$\bar{u}_l = -\frac{K_l}{\mu_l} \cdot [\nabla p_l - \rho_l \bar{g}] \quad (9)$$

$$\bar{u}_g = -\frac{K_g}{\mu_g} \cdot [\nabla p_g - \rho_g \bar{g}] \quad (10)$$

สมการเหล่านี้จะใช้ได้สำหรับของไหลที่มีลักษณะนิวโตเนียนอัดตัวไม่ได้ (Newtonian Incompressible) และไม่ผสมกันในระหว่างสถานะ (Immiscible) และไม่พิจารณาผลของความเฉื่อยและความหนืด สำหรับ K_l และ K_g คือค่าประสิทธิผลในการซึมผ่านของของเหลว (Effective

Liquid Phase Permeability) และค่าประสิทธิผลในการซึมผ่านของก๊าซ (Effective Gas Phase Permeability) ตามลำดับ

เพื่อสะดวกในการวิเคราะห์เชิงทฤษฎี K_l และ K_g มักจะแสดงในรูปต่อไปนี้ กล่าวคือ $K_l = KK_{rl}$ และ $K_g = KK_{rg}$ เมื่อ K เป็นค่าการซึมผ่านสัมบูรณ์ (Intrinsic Permeability) และ $K_{rl}(s)$ กับ $K_{rg}(s)$ เป็นค่าซึมผ่านสัมพัทธ์ (Relative Permeability) ของของเหลวและก๊าซ ตามลำดับ ซึ่งค่านี้จะแปรเปลี่ยนจาก 0 ถึง 1 โดยปกติค่า K_l และ K_g ยังขึ้นอยู่กับลักษณะการเรียงตัวของโครงสร้างวัสดุพอร์น และขึ้นอยู่กับปริมาณของไหลที่อยู่ในรูพอร์นด้วย เช่นกันมันยังขึ้นอยู่กับโครงสร้างดั้งเดิมของวัสดุพอร์นก่อนที่จะผ่านกระบวนการอบแห้งหรือเพิ่มดีกรีความอึดตัวของของเหลว (ความชื้น) โดยปกติในการวิเคราะห์กระบวนการอบแห้งจะพิจารณาให้ K_l และ K_g เป็นฟังก์ชันของดีกรีความอึดตัวของของเหลว (ความชื้น) และแปรเปลี่ยนไปกับคาบเวลา ซึ่งค่า K_l และ K_g ของวัสดุแต่ละชนิด ปกติจะได้มาจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ หรือจากการทดลองจริงในห้องปฏิบัติการ

2.1.2 การวิเคราะห์พลังงานจากกฎข้อที่หนึ่งของอุณหพลศาสตร์

ในการปรับสภาวะอากาศภายในกระบวนการอบแห้งเกี่ยวข้องกับกระบวนการทำความร้อน กระบวนการทำความเย็น และกระบวนการลดความชื้น ซึ่งในกระบวนการเหล่านี้สามารถพิจารณาให้เป็นกระบวนการไหลแบบสภาวะคงตัว และทำการวิเคราะห์โดยการประยุกต์ใช้กฎการอนุรักษ์มวล (สำหรับอากาศแห้งและความชื้น) และหลักการอนุรักษ์พลังงาน สมการทั่วไปของการอนุรักษ์มวลของอากาศแห้ง (ไม่มีความชื้น) ดังสมการต่อไปนี้

$$\sum \dot{m}_{ai} = \sum \dot{m}_{ao} \quad (11)$$

โดยที่ \dot{m}_{ai} คืออัตราการไหลของมวลอากาศทางเข้า และ \dot{m}_{ao} คืออัตราการไหลของมวลอากาศทางออกของกระบวนการอบแห้ง

จากสมการที่ (11) สำหรับอากาศที่แห้ง (ไม่มีความชื้น) แต่สำหรับในกระบวนการอบแห้งด้วยกระบวนการพาความร้อน

$$\begin{aligned} \sum (\dot{m}_{wi} + \dot{m}_{mp}) &= \sum \dot{m}_{wo} \\ \sum (\dot{m}_{ai}w_i + \dot{m}_{mp}) &= \sum \dot{m}_{ai}w_o \end{aligned} \quad \text{หรือ} \quad (12)$$

โดยที่ \dot{m}_{wi} และ \dot{m}_{wo} คืออัตราการไหลมวลความชื้นของอากาศทางเข้า และทางออกของกระบวนการอบแห้ง ตามลำดับ \dot{m}_{mp} คืออัตราการไหลของมวลความชื้นที่ระเหยออกจากวัสดุ w_i

และ h_o คือความชื้นจำเพาะที่ไหลเข้าและทางออกของกระบวนการอบแห้ง โดยพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของพลังงานจลน์เนื่องจากพัดลม และไม่พิจารณาพลังงานศักย์และพลังงานจลน์ ของกระบวนการอบแห้งตามลำดับ

สมการทั่วไปสำหรับการอนุรักษ์พลังงานสามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$\dot{Q} - \dot{W} = \sum \dot{m}_o \left(h_o + \frac{V_o^2}{2} \right) - \sum \dot{m}_i \left(h_i + \frac{V_i^2}{2} \right) \quad (13)$$

โดยที่ \dot{Q} คือความร้อน \dot{W} คืองาน h คือเอนทาลปี และ V คือความเร็ว ตัวกำกับล่าง i คือ ทางเข้า o คือทางออก

2.1.3 การวิเคราะห์เอ็กเซอร์จี้จากกฎข้อที่สองของอุณหพลศาสตร์

ในการวิเคราะห์เอ็กเซอร์จี้ของกระบวนการอบแห้งวัสดุพูนนั้นอยู่บนพื้นฐานของกฎข้อที่สองของอุณหพลศาสตร์ เพื่อให้ง่ายในการวิเคราะห์จึงจำเป็นต้องกำหนดสถานะและขอบเขตทางเข้าและทางออกของกระบวนการอบแห้ง ดังรูปที่ 3 เพื่อนำไปคำนวณหาเอ็กเซอร์จี้ที่ไหลเข้า (Exergy Intflow) เอ็กเซอร์จี้ที่ไหลออก (Exergy Outflow) และเอ็กเซอร์จี้ที่สูญเสีย (Exergy Loss) โดยเอ็กเซอร์จี้ที่คำนวณได้นั้นจะเป็นเอ็กเซอร์จี้ที่พิจารณาให้อยู่ในสภาวะแบบคงตัว (Steady State) โดยที่ค่าเอ็กเซอร์จี้สามารถคำนวณโดยใช้คุณลักษณะของสารทำงานตัวกลางโดยอาศัยสมการสมดุลพลังงานของกฎข้อที่หนึ่งของอุณหพลศาสตร์ [9] ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการ [10] ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{Exergy} = & (u - u_{\infty}) - T_{\infty}(s - s_{\infty}) + \frac{P_{\infty}}{J}(v - v_{\infty}) + \frac{V^2}{2gJ} + (z - z_{\infty}) \frac{g}{g_c J} \\ & \text{internal energy} \quad \text{entropy} \quad \text{work} \quad \text{momentum} \quad \text{gravity} \\ & + \sum_c (\mu_c - \mu_{\infty}) N_c + E_r A_r F_r (3T^4 - T_{\infty}^4 - 4T_{\infty} T^3) + \dots \end{aligned} \quad (14)$$

โดยที่ ตัวกำกับล่าง ∞ สภาวะอ้างอิง

ในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงเอ็กเซอร์จี้เป็นการวิเคราะห์โดยเทียบกับสภาวะแวดล้อมที่ใช้อ้างอิง โดยทั่วไปแล้วมีการไหลแบบคงตัว (Steady Flow) และในสมการที่ (14) นี้จะตัดอิทธิพลของแรงโน้มถ่วง และไม่พิจารณาเทอมของโมเมนต์ ในส่วนของการเปลี่ยนแปลงความดันในระบบที่เพิ่มเข้ามานี้ก็จะไม่นำมาพิจารณาเนื่องจาก $v \cong v_{\infty}$ ดังนั้นสมการที่ (14) จึงลดรูปเหลือดังนี้

$$Exergy = \bar{c}_p \left[(T - T_\infty) - T_\infty \ln \frac{T}{T_\infty} \right] \quad (15)$$

การประยุกต์ใช้สมการที่ (14) เพื่อวิเคราะห์เอ็กเซอร์จีที่ไหลเข้าและทางออกของกระบวนการรอบแห่งนี้สามารถหาได้จากอุณหภูมิอากาศที่ไหลเข้าและทางออกของห้องอบแห้ง โดยที่การสูญเสียเอ็กเซอร์จี (Exergy Loss) สามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$Exergy\ loss = Exergy\ inflow - Exergy\ outflow$$

$$\sum Ex_L = \sum Ex_i - \sum Ex_o \quad (16)$$

ในการคำนวณเอ็กเซอร์จีที่ไหลเข้าห้องอบแห้งและวัสดุสามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$Ex_{dci} = Ex_{pbi} = \bar{c}_{pda} \left[(T_{dci} - T_\infty) - T_\infty \ln \frac{T_{dci}}{T_\infty} \right] + Ex_{microwave} \quad (17)$$

โดยที่ \bar{c}_{pda} ความร้อนจำเพาะเฉลี่ยของลมร้อน

สำหรับเอ็กเซอร์จีที่ไหลออกจากห้องอบแห้งและวัสดุพูนสามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$Ex_{dco} = Ex_{pbo} = \bar{c}_{pda} \left[(T_{dco} - T_\infty) - T_\infty \ln \frac{T_{dco}}{T_\infty} \right] \quad (18)$$

ปริมาณเอ็กเซอร์จีที่สูญเสียสามารถคำนวณได้โดยใช้สมการที่ (14) ถึง (18) ในการหาประสิทธิภาพเอ็กเซอร์จีของกระบวนการอบแห้งนี้สามารถคำนวณได้จากอัตราส่วนเอ็กเซอร์จีของผลิตภัณฑ์ (หรือเอ็กเซอร์จีที่สูญเสียของห้องอบแห้ง) ต่อเอ็กเซอร์จีที่ไหลเข้าห้องอบแห้ง

ดังนั้นรูปแบบทั่วไปของประสิทธิภาพเอ็กเซอร์จีของกระบวนการอบแห้งสามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$Exergy\ Efficiency = \frac{Exergy\ inf\ low - Exergy\ loss}{Exergy\ inf\ low}$$

$$\eta_{Ex} = 1 - \frac{Ex_L}{Ex_i} \quad (19)$$

จากข้อมูลและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องสำหรับการใช้ในการวิเคราะห์พลังงาน และเอกเซอร์จีสำหรับระบบต่างๆ เชิงอุตสาหกรรม เพื่อให้ได้ระบบที่เหมาะสมที่สุดโดยมีรูปแบบการวิจัยดังนี้

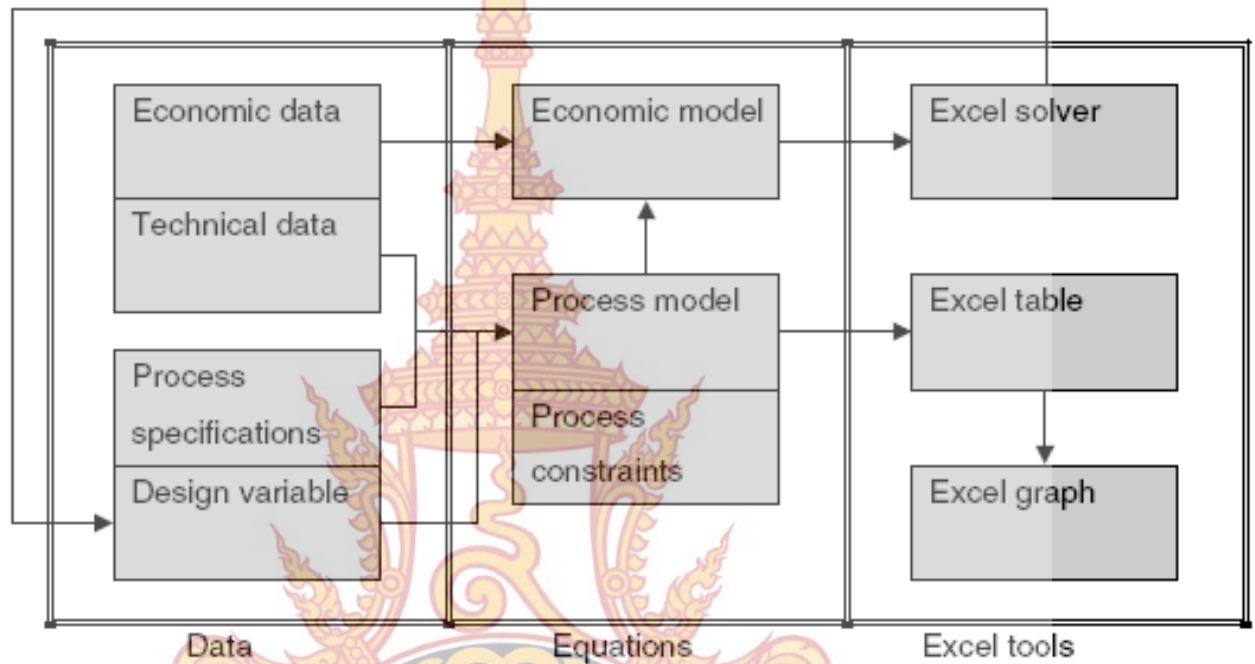
การวิเคราะห์ค่าพลังงานและประสิทธิภาพเครื่องอบแห้งยางแท่งเชิงพาณิชย์โดยใช้พลังงานไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนและระบบลำเลียงอย่างต่อเนื่อง ในปัจจุบันแม้จะมีนักวิจัยบางกลุ่มพยายามพัฒนาใช้เทคโนโลยีไมโครเวฟมาใช้ในอุตสาหกรรม แต่ก็ยังเป็นเพียงแค่ตัดแปลงไมโครเวฟบ้าน (Domestic Microwave Oven) และติดตั้งอุปกรณ์บางตัวเข้าไป ซึ่งพบว่ายังไม่สามารถนำไปใช้ในเชิงพาณิชย์ได้จริง เพราะมีข้อจำกัดเรื่องเทคโนโลยีที่ใช้และมีปัญหาเกี่ยวกับความปลอดภัยโดยเฉพาะการรั่วของรังสี และยังไม่สามารถออกแบบตัวระบบที่มีขนาดใหญ่ได้ นอกจากนี้ระบบไมโครเวฟสำหรับการให้ความร้อนทั่วไปยังจำกัดอยู่ในประเภทที่วัสดุที่นำมาผ่านกระบวนการจะต้องอยู่นิ่ง (Fixed Materials) และมีปริมาณที่ไม่มากนักข้อด้อยของระบบไมโครเวฟที่วัสดุผ่านกระบวนการอยู่นิ่งคือ ทำให้การกระจายตัวของคลื่นหรือความร้อนภายในวัสดุจะไม่สม่ำเสมอ ทำให้เกิดโซนความร้อน (Hot Spot Zone) และโซนเย็น (Cold Zone) ซึ่งไม่มีอันตรกิริยากับคลื่น ส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์

เครื่องอบแห้งยางแท่งเชิงพาณิชย์โดยใช้พลังงานไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนและระบบลำเลียงอย่างต่อเนื่อง สามารถกำจัดข้อด้อยตามที่กล่าวมาข้างต้นกล่าวคือ วัสดุที่นำมาผ่านกระบวนการจะต้องเคลื่อนที่ (Moving Materials) ภายในอุโมงค์ที่มีการป้อนคลื่นไมโครเวฟหลายตำแหน่ง ทำให้ตัวชิ้นงานก็จะได้รับการคลื่นไมโครเวฟอย่างทั่วถึงและมีช่วงเวลารับคลื่นมากหรือรับคลื่นน้อยได้ตามต้องการโดยการปรับความเร็วของสายพาน รวมทั้งมีระบบควบคุมที่มีประสิทธิภาพสูงทำให้กระบวนการทำความร้อนหรืออบแห้งชิ้นงาน หรือกระบวนการเร่งปฏิกิริยาเคมี (Chemical Reaction Acceleration) เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ระบบที่ออกแบบมานี้เหมาะสมกับรูปแบบการทำงานที่ต้องการความต่อเนื่องของกระบวนการ ใช้ในการที่จะผลิตชิ้นงานในปริมาณมาก สามารถที่จะนำตัวชิ้นงานมาผ่านกระบวนการได้อย่างต่อเนื่อง ทำให้มีข้อได้เปรียบในเรื่องของการไม่ต้องเสียเวลาในการที่จะปิดหรือเปิดเครื่องเมื่อทำการให้ความร้อนแก่ชิ้นงาน

สำหรับระบบทำความร้อนด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนที่ใช้ระบบสายพานลำเลียงอย่างต่อเนื่อง มีการใช้ในอุตสาหกรรมในปัจจุบัน อาจแบ่งออกเป็นสอง คือ แบบแรกจะใช้แมกนีตรอนกำลังสูงตัวเดียว (Single High Power Magnetron) ซึ่งเป็นระบบที่ต้องใช้เงินลงทุนเบื้องต้นสูง เพราะราคาของแมกนีตรอนกำลังสูงมีราคาแพง และภายในระบบต้องมีอุปกรณ์ประกอบหลายรายการ ข้อดีของระบบนี้คือการควบคุมดูแลระบบและการบำรุงรักษาทำได้ค่อนข้างง่าย สามารถเดินระบบได้ต่อเนื่องเป็นเวลานานๆ แต่ทั้งนี้หากต้องการหยุดเดินระบบ (Shut Down) อันเนื่องมาจากข้อขัดข้องที่ระบบแหล่งกำเนิดคลื่น ก็จะต้องหยุดเดินเครื่องทั้งระบบ เพราะการมีแมกนีตรอนเพียงตัวเดียว และแบบที่สอง คือ ใช้แมกนีตรอนกำลังต่ำหลายๆ ตัว (Multiple Low Power Magnetrons)

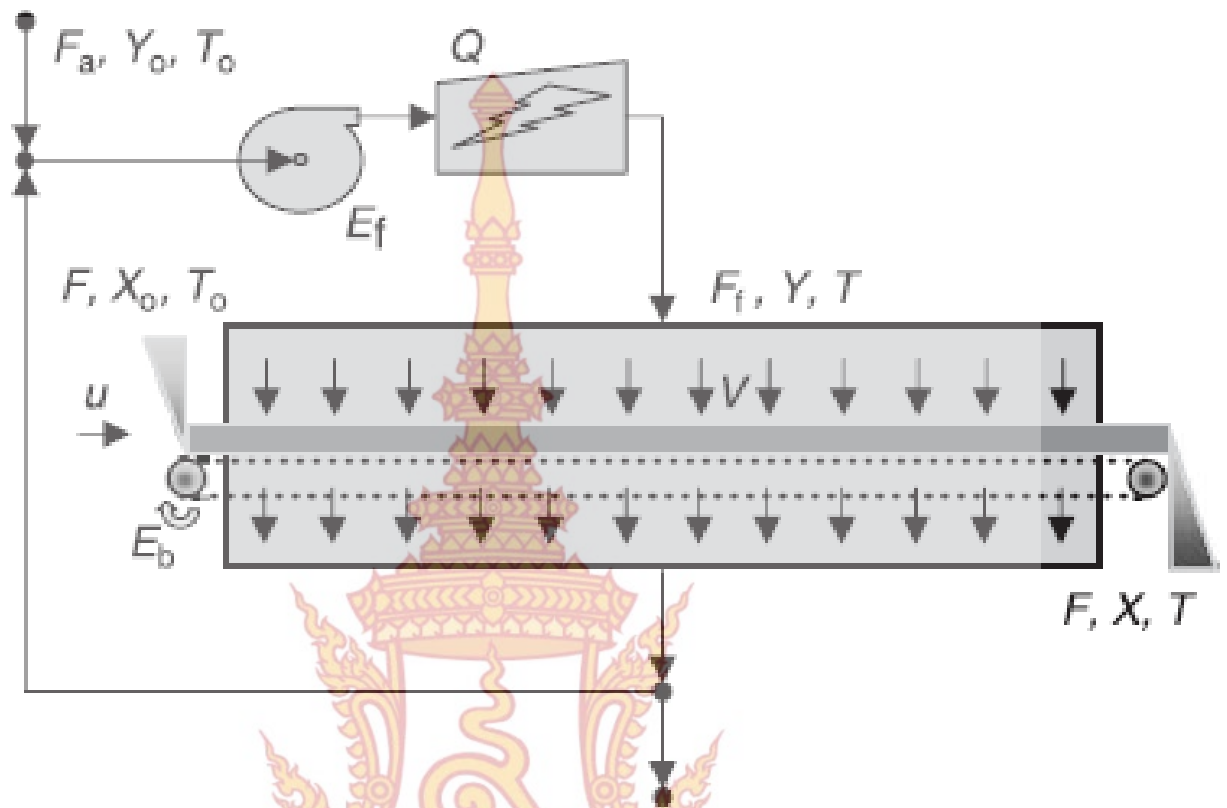
ซึ่งมีข้อดี คือ ราคาไม่สูงมาก การการบำรุงรักษาหรือซ่อมแหล่งกำเนิดคลื่นไมโครเวฟ ทำได้ง่าย และ ไม่จำเป็นจะต้องหยุดเดินเครื่องทั้งระบบ

การสร้างซอฟต์แวร์เพื่อวิเคราะห์ค่าพลังงานและประสิทธิภาพในกระบวนการอบแห้งโดยใช้ สายพานลำเลียงดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 แผนภาพแสดงกระบวนการดำเนินการออกแบบและสร้างซอฟต์แวร์

ก่อนการเขียนซอฟต์แวร์จะต้องมีการจำลองแผนภาพแสดงอุปกรณ์ต่างๆ และขั้นตอนการทำงานภายในระบบ ดังตัวอย่างรูปที่ 3



รูปที่ 3 แผนภาพแสดงกระบวนการอบแห้งโดยใช้สายพานลำเลียง

ไม้ยางพารา นับเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญยิ่งของประเทศ สามารถนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์มากมาย เช่น การก่อสร้างที่ต้องการความสวยงามของไม้ทำเฟอร์นิเจอร์ลิ่งใส่ของหรือแม่แต่ผลิตภัณฑ์ขนาดเล็ก เช่น ก้านไม้ขีดไฟ เป็นต้น ดังนั้นอุตสาหกรรมแปรรูปไม้ยางพาราจึงเป็นอุตสาหกรรมที่มีการขยายตัวอย่างรวดเร็ว มีผลิตภัณฑ์ซึ่งเป็นที่นิยมทั้งในและต่างประเทศอย่างไรก็ตามไม้ยางพารา นับเป็นทรัพยากรที่มีความทนทานตามธรรมชาติต่าง ถูกทำลายด้วยแมลง มอดและราได้ง่าย รวมถึงเป็นไม้ที่มีปริมาณแป้งและน้ำตาลสูง จึงกลายเป็นอาหารของพวกเขาแมลงและเชื้อราซึ่งเป็นปัญหาที่สำคัญของผู้ประกอบการอุตสาหกรรมไม้ยางพารา การป้องกัน การผูกพันจากการเข้าทำลายของแมลง เชื้อราและศัตรูทำลายไม้อื่นๆ ด้วยการนำสารประเภทกำจัดเชื้อราและแมลงเพื่อช่วยยืดอายุการใช้งานของไม้โดยการใช้น้ำยาเคมีซึ่งเป็นสารที่มีประสิทธิภาพในการป้องกันรักษาเนื้อไม้ให้แทรกซึมเข้าไปในเนื้อไม้ได้มากที่สุดและคงทนติดกับเนื้อไม้โดยการอัดน้ำยาด้วยแรงดัน ซึ่งจะช่วยให้ น้ำยา เข้าไปในเนื้อไม้ได้ลึกและทั่วถึงภายในเวลาอันรวดเร็ว การอบไม้ยางพาราเป็นขั้นตอนสำคัญในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์จากไม้ยางพาราเนื่องจากต้องใช้เวลาและพลังงานสูงแต่ผลการศึกษพบว่า

กระบวนการอบยังไม่มีแนวทางการจัดการการอบที่ชัดเจนแต่อาศัยความเชี่ยวชาญจากประสบการณ์เท่านั้นกระบวนการอบไม้ยางพารามีผลต่อทั้งทางด้านคุณภาพไม้และต้นทุนการผลิตจากระยะเวลาที่ใช้ในการอบการศึกษากระบวนการอบไม้ยางพาราเพื่อลดระยะเวลาในการอบจึงเป็นวัตถุประสงค์หลักของงานวิจัยนี้โดยทำการทดลองในโรงงานกรณีศึกษาโดยอบไม้ยางพาราสำหรับทำเฟอร์นิเจอร์และอุปกรณ์เครื่องใช้ต่างๆที่ผ่านการอัดน้ำยามาแล้ว 3 ขนาดซึ่งจะต้องปรับทั้งขนาดและทดลองช่วงอุณหภูมิและควบคุมความชื้นของเนื้อไม้ให้สอดคล้องกับความชื้นของบรรยากาศ ซึ่งเหมาะสมอย่างยิ่งที่ต้องใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิและความชื้น (Temperature & Humidity Chamber)

การหาข้อกำหนดที่ดีในการอบไม้ยางพาราหรือตารางการอบที่เหมาะสมได้จากการสำรวจโรงอบไม้ยางพารา โดยศึกษาวิธีการอบ การจัดเรียงกองไม้ การออกแบบห้องอบและอุปกรณ์ต่างๆ ในห้องอบ การตรวจวัดบรรยากาศในห้องอบได้แก่ อุณหภูมิกระเปาะแห้ง อุปกรณ์กระเปาะเปียก ความเร็วลมและ ความชื้นของไม้ขณะการอบรวมถึงการสังเกตเทคนิคการปรับสภาพในห้องอบโดยการสเปรย์ไอน้ำและระบายความชื้นออกจากห้องอบ จากการสำรวจโรงอบไม้ยางพาราพบว่า เทคนิคการอบไม้ยางพาราทำโดยประสบการณ์ของผู้ควบคุมการอบและยังขาดการตรวจวัดและติดตามข้อมูลการอบ แม้ว่าก่อนการอัดน้ำยาเคมีและก่อนการอบได้มีการคัดแยกไม้เสียบางส่วนออกไปแล้วแต่ก็ยังพบไม้ที่เสียหลังจากการอบ การบิดงอของไม้ (twist) การโค้งตามสันไม้ (crook) และโค้งตามความยาวไม้ (bow) จะพบมากกว่าการบิดงอแบบอื่นๆ แต่รวมแล้วคิดเป็นสัดส่วนเพียง 0.16-0.76% ของไม้ที่อบแห้งทั้งหมด จากการสำรวจการอบไม้ยางพารายังพบการอบไม้ควรอบไปตามตารางการอบโดยเริ่มอบที่อุณหภูมิกระเปาะแห้งสูงกว่า 45 °C หรือ 50 °C ที่ความชื้นสูงขึ้นอยู่กับความหนาและปริมาณไม้ในห้องอบ การสเปรย์ไอน้ำควรทำในช่วงแรกของการอบและช่วงท้ายของตาราง การอบเมื่อความชื้นในไม้ลดลงเหลือ 15% เพื่อคลายความเค้นในเนื้อไม้ เทคนิคการอบไม้ยางพาราที่ดีควรมีการตรวจสอบติดตามเงื่อนไขการอบ มีการตรวจสอบอุปกรณ์เครื่องมือวัดในห้องอบให้ใช้ งานได้อย่างถูกต้องเสมอ รวมถึงการให้ความใส่ใจต่อการจัดเรียงกองไม้ในห้องอบด้วย

2.1.4 การวิเคราะห์เอ็กเซอร์จี

เป็นที่รู้กันว่า หลักการของ Exergy นั้นได้ถูกใช้อย่างแพร่หลายในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของกระบวนการทางอุตสาหกรรมตั้งแต่กระบวนการผลิต จนถึงกระบวนการเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ การวิเคราะห์ในลักษณะดังกล่าวมักถูกเรียกว่าการวิเคราะห์ตามกฎข้อที่ 2 ของอุณหพลศาสตร์ ผลการวิเคราะห์โดยใช้ Exergy (Exergy Analysis) มักให้ข้อมูลที่จำเป็นต่อการปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบตลอดจนการระบุถึงขนาดและจุดที่เกิดการสูญเสียในระบบได้อย่างถูกต้องและแม่นยำมากกว่าการใช้การวิเคราะห์พลังงาน (Energy Analysis) โดยลาฟั้ง หลังจากที่หลักการของ Exergy ได้ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตและระบบต่างๆ

ฐานข้อมูลของค่า Exergy ของ สาร เชื้อเพลิง และ วัสดุชนิดต่างๆซึ่งหมายถึงศักยภาพในการก่อให้เกิดงานที่เป็นประโยชน์ของสิ่งเหล่านี้ได้รับการปรับปรุงและรวบรวมจนมีความครบถ้วนสมบูรณ์ขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งหลักการของ Exergy ได้ถูกนำมาใช้เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์การใช้ทรัพยากร (Resource Accounting Tools) ของประเทศต่างๆตามที่ระบุในงานของ Ertesvag โดยปริมาณการใช้ทรัพยากรประเภทต่างๆถูกวิเคราะห์ภายใต้หน่วยเดียวกันคือหน่วยของ Exergy การใช้หลักการของ Exergy ในการวิเคราะห์การใช้ทรัพยากรในงานวิจัยส่วนมาก เป็นการทาเพื่อวิเคราะห์ถึงประสิทธิภาพการใช้ Exergy ในระดับประเทศ งานวิจัยเหล่านี้วิเคราะห์ถึงปริมาณการใช้ Exergy การสูญเสีย Exergy และ ประสิทธิภาพการใช้ Exergy ของภาคส่วนต่างๆ ในขณะเดียวกัน งานวิจัยบางส่วน มุ่งเน้นในการวิเคราะห์ถึงปริมาณการใช้ Exergy ในระดับประเทศเพื่อนำไปใช้เป็นค่าเปรียบเทียบในการเทียบสม-รณะ (Benchmarking)

นอกจากการใช้หลักการของ Exergy ในการวิเคราะห์ในลักษณะดังกล่าวเพื่อนำไปสู่การบริหารจัดการการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพแล้ว Exergy ยังได้ถูกกล่าวไว้โดยงานวิจัยที่มีมาก่อนหน้านี้ ว่าเป็นเครื่องมือที่เหมาะสมสำหรับการประเมินปริมาณของเสียและมลพิษที่กิจกรรมต่างๆของมนุษย์ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมอีกด้วย

เนื่องจากค่า Exergy ของของเสียและมลพิษในที่นี้เป็นศักยภาพในการก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อม กิจกรรมที่สูญเสีย Exergy สู่สิ่งแวดล้อมในปริมาณมากในรูปของของเสียและมลพิษย่อมเป็นกิจกรรมส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม จนกระทั่งในช่วงเวลาที่ผ่านมาเร็วๆนี้ ลักษณะการนำ Exergy มาใช้เป็นดัชนีชี้วัดด้านผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมขององค์กรได้ถูกนำเสนอภายใต้ชื่อ Exergy Footprint โดยวิธีดังกล่าวเป็นการประเมินปริมาณการใช้ทรัพยากรขององค์กร แล้วนำมาเปรียบเทียบกับปริมาณการใช้ทรัพยากรอ้างอิงซึ่งอาจเป็นปริมาณการใช้ทรัพยากรในระดับภาคส่วน อุตสาหกรรม ระดับภูมิภาค หรือ ในระดับประเทศ

หลักการของ Exergy เป็นที่ยอมรับและถูกใช้อย่างกว้างขวางโดยนักวิทยาศาสตร์และนักวิจัย เนื่องจากเป็นหลักการที่อยู่บนพื้นฐานของวิชาอุณหพลศาสตร์ การใช้หน่วยของ Exergy เป็นหน่วยกลางของทรัพยากรชนิดต่างๆยังทำให้ผลการวิเคราะห์การใช้ทรัพยากรและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเป็นไปอย่างบูรณาการโดยไม่ต้องอาศัยการให้น้ำหนัก (Weighting) ซึ่งเป็นขั้นตอนของการประเมินวัฏจักรชีวิตที่ทาเพื่อรวมผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมประเภทต่างๆให้เป็นค่าผลกระทบสุดท้ายค่าเดียว อย่างไรก็ตาม เนื่องจากคนทั่วไปมักยังไม่มีความคุ้นเคยมากนักกับคำว่า Exergy สิ่งนี้เป็นอุปสรรคสำคัญต่อการนำหลักการ Exergy มาปรับใช้เป็นดัชนีชี้วัดด้านสิ่งแวดล้อมที่สามารถสื่อให้คนทั่วไปเข้าใจได้ และ ที่ผ่านมา ยังไม่มีการคำนวณปริมาณการใช้ทรัพยากรของประเทศไทยด้วยหลักการของ Exergy มาก่อน ด้วยเหตุนี้ งานวิจัยนี้จึงมีขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์หลัก 2 ประการได้แก่ 1) เพื่ออธิบายถึงความหมายของ Exergy ในด้านต่างๆ ตลอดจน แสดงถึงการนำหลักการ Exergy มาใช้

ในการวิเคราะห์การใช้ทรัพยากร นอกจากนับบทความนี้ยังรวบรวมแหล่งข้อมูลค่า Exergy ของทรัพยากรประเภทต่างๆ เพื่อให้ นักวิจัยได้มีความรู้ความเข้าใจและสามารถนำหลักการ Exergy ไปปรับใช้กับงานวิจัยในแขนงอื่นๆได้ และ 2) เพื่อทำการวิเคราะห์การใช้ทรัพยากรของประเทศไทยโดยใช้หลักการของ Exergy ทั้งนี้การวิเคราะห์จะบ่งบอกถึงปริมาณ Exergy ของทรัพยากรที่ใช้ในประเทศไทยทั้งในภาพรวมและตามประเภทของทรัพยากร ค่าการใช้

2.1.5 ความเป็นมาและความหมายของ Exergy

คำว่า Exergy เป็นคำที่ถูกบัญญัติขึ้นภายหลังโดย Zoran Rant ในปี ค.ศ.1956 แต่หลักการของ Exergy นั้นถูกคิดค้นขึ้นมานานแล้วโดย J. Willard Gibbs ในปี ค.ศ. 1873 ตามที่ถูกระบุไว้ในกฎข้อที่ 2 ของอุณหพลศาสตร์ (The 2nd Law of Thermodynamics) โดยคำที่มีความหมายเหมือนกันที่ถูกใช้มาก่อนหน้านี้ตามหลักการของ Gibbs ได้แก่ Availability หรือ Available Energy ข้อแตกต่างระหว่าง Exergy และ หลักการด้านพลังงานของ Gibbs มีเพียงสภาพแวดล้อมอ้างอิงที่แตกต่างกัน โดยในกรณีของ Gibbs (Gibbs Free Energy Analysis) ตัวแปรของสภาพแวดล้อมซึ่งรวมถึง ความดัน และ อุณหภูมิ จะคงที่ ส่วนค่า Exergy ของพลังงานและสสารต่างๆสามารถเปลี่ยนไปตามสภาพแวดล้อมที่ถูกเลือกมาเป็นสภาพแวดล้อมอ้างอิง

ตามกฎข้อที่ 1 ของอุณหพลศาสตร์และกฎการคงมวลของสสาร พลังงานและสสารต่างๆบนโลกนี้ไม่มีวันสูญหายหรือเกิดขึ้นเองได้ แต่พลังงานและสสารสามารถเปลี่ยนไปอยู่ในรูปแบบอื่นได้และทุกครั้งทีพลังงานหรือสสารมีการเปลี่ยนรูปแบบในกรณีของระบบปิด Exergy ซึ่งหมายถึงศักยภาพในการก่อให้เกิดงานที่มีประโยชน์ของพลังงานหรือสสารดังกล่าวจะลดลงจนกระทั่งเป็นศูนย์เมื่อพลังงานหรือสสารนั้นเข้าสู่สมดุลกับสภาพแวดล้อมอ้างอิง การลดลงของ Exergy นี้ส่วนทางกับปริมาณของ Entropy ในระบบที่เพิ่มขึ้น Szargut ได้ให้คำจำกัดความอย่างเป็นทางการของ Exergy ไว้ว่า “Exergy คือปริมาณงานสูงสุดที่สามารถผลิตขึ้นได้จาก ระบบ/สสาร/พลังงาน เมื่อสิ่งต่างๆเหล่านี้เคลื่อนที่เข้าสู่สมดุลกับสภาพแวดล้อมอ้างอิง”

Exergy อาจถูกมองเป็นความแตกต่าง โดยความแตกต่างในที่นี้หมายถึงความแตกต่างระหว่างสถานะภาพของพลังงานหรือสสารกับสถานะภาพของสภาพแวดล้อมที่ใช้อ้างอิงนั่นเอง ยกตัวอย่างเช่นในกรณีของกระแสไฟฟ้าที่ไหลจากระดับที่สูงลงสู่แอ่งน้ำที่อยู่ในระดับต่ำกว่า ความแตกต่างในที่นี้คือความแตกต่างของระดับของกระแสไฟฟ้ากับระดับของแอ่งน้ำที่อยู่ด้านล่าง ยิ่งความแตกต่างมีมากกระแสน้ำดังกล่าวก็มีศักยภาพในการก่อให้เกิดงานที่มีประโยชน์สูงโดยอาจทำการควบคุมให้ไหลผ่านกังหันเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าเป็นต้น โดยทั่วไป ความแตกต่างสามารถแบ่งได้เป็นความแตกต่างของระดับในแนวตั้ง (Potential Exergy) ความเร็วในการเคลื่อนที่ (Kinetic Exergy) ความดันและอุณหภูมิ (Physical Exergy) และ ส่วนประกอบทางเคมี (Chemical Exergy) ยกตัวอย่างในกรณีของอุณหภูมิ เช่น พลังงานความร้อนที่ 2000 °C มีศักยภาพในการก่อให้เกิดงาน

ทางกลสูงสุดที่มากกว่าพลังงานความร้อนที่ 200 °C ถึงแม้พลังงานทั้งสองจะมีอยู่ในปริมาณที่เท่ากัน เพราะพลังงานความร้อนที่ 2000 °C มีค่าความแตกต่างจากอุณหภูมิอ้างอิง(อุณหภูมิห้อง) มากกว่า

นอกจากนี้ Exergy อาจถูกมองเป็นศักยภาพในการเปลี่ยนรูปแบบ สสารหรือพลังงานที่สามารถเปลี่ยนไปเป็นรูปแบบต่างๆได้หลากหลายย่อมมีศักยภาพในการนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ได้สูงกว่าและมีค่า Exergy ที่สูง พลังงานที่มีสัดส่วนของ Exergy สูงเช่นพลังงานไฟฟ้ามีศักยภาพสูงในการนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์เพราะสามารถถูกเปลี่ยนไปเป็นพลังงานรูปแบบอื่นๆได้หลากหลาย เราเรียกพลังงานไฟฟ้าและพลังงานรูปแบบอื่นที่มีค่า Exergy สูงว่าเป็นพลังงานคุณภาพสูงและพลังงานที่มีค่า Exergy ต่ำเช่นพลังงานความร้อนว่าเป็นพลังงานคุณภาพต่ำเพราะมีศักยภาพหรือโอกาสในการนำไปใช้ประโยชน์ที่ค่อนข้างจำกัด ดังที่กล่าวไว้ว่าค่า Exergy จะลดลงเมื่อพลังงานมีการเปลี่ยนรูปแบบ การลดลงของค่า Exergy นี้ขึ้นอยู่กับระดับคุณภาพของพลังงานที่เปลี่ยนไปด้วย พลังงานไฟฟ้าสามารถถูกเปลี่ยนไปเป็นพลังงานกลได้เกือบ 100% เนื่องจากพลังงานทั้งสองประเภทเป็นพลังงานคุณภาพสูง นอกจากนี้ ในการใช้พลังงานให้ได้อย่างมีประสิทธิภาพนั้น พลังงานที่ใช้จะต้องมีระดับคุณภาพของพลังงานที่เหมาะสมกับการใช้งานโดยก่อให้เกิดปริมาณการสูญเสีย Exergy (Exergy Loss) ที่น้อยที่สุด เช่น เราสามารถเลือกใช้พลังงานความร้อนเหลือทิ้ง (Waste Heat) ที่ 70 °C ในการทำน้ำอุ่นที่มีอุณหภูมิ 40 °C แทนการใช้พลังงานไฟฟ้า

โดยทั่วไป หลักการของ Exergy นี้ถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์การใช้ทรัพยากร โดยมีจุดประสงค์เพื่อศึกษาถึงผลกระทบของกิจกรรมต่างๆของมนุษย์ที่มีต่อทรัพยากรธรรมชาติที่มีอยู่อย่างจำกัด โดยทรัพยากรประเภทต่างๆที่ถูกนำมาใช้เพื่อสนองความต้องการในการบริโภคและการจัดการกับของเสียและมลพิษที่เกิดขึ้นสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทได้แก่ 1.ทรัพยากรวัตถุดิบ (Raw Materials) และ 2.ทรัพยากรพลังงาน ปัญหาที่เกิดขึ้นในการรวมทรัพยากรทั้งสองประเภทเข้าด้วยกันคือหน่วยที่แตกต่างกันของทรัพยากรทั้งสองประเภท หน่วยที่ใช้โดยทั่วไปสำหรับทรัพยากรวัตถุดิบคือหน่วยน้ำหนัก ในขณะที่พลังงาน เช่น พลังงานไฟฟ้ามีหน่วยเป็น Watt หรือ Joules การใช้หน่วยเงินซึ่งเป็นราคาของทรัพยากรทั้ง 2 ประเภทเป็นหน่วยกลางสามารถทำได้ แต่การพิจารณาเฉพาะราคาเพียงอย่างเดียวอาจทำให้การแก้ไขปัญหาการขาดแคลนทรัพยากรธรรมชาติเป็นไปในทิศทางที่ไม่สอดคล้องกับปริมาณทรัพยากรที่คงเหลืออยู่บนโลกที่มนุษย์สามารถเข้าถึงได้เนื่องจากยังมีปัจจัยอื่นๆ เช่นปัจจัยทางเศรษฐกิจและสังคมอีกมากมายที่ส่งผลต่อราคาของทรัพยากรประเภทต่างๆ

การใช้ Exergy เป็นหน่วยกลางสามารถทำให้การแสดงผลการวิเคราะห์การใช้ทรัพยากรโดยการรวมทรัพยากรพลังงานและทรัพยากรวัตถุดิบต่างๆเข้าด้วยกันสามารถกระทำได้ หลักการคำนวณค่า Exergy ของทรัพยากรประเภทต่างๆนั้นแตกต่างกันออกไปตามลักษณะการนำไปใช้ประโยชน์ของทรัพยากรแต่ละประเภท อย่างไรก็ตาม โดยปกติแล้ว การวิเคราะห์การใช้ทรัพยากรพิจารณาถึงค่า Chemical Exergy ของทรัพยากรซึ่งหมายถึงความแตกต่างในด้านส่วนประกอบทางเคมีระหว่าง

ทรัพยากรและสภาพแวดล้อมอ้างอิง หรือ ศักยภาพทางเคมีของทรัพยากรประเภทต่าง ๆ นั้นเอง ทรัพยากรทุกอย่างบนโลกนี้ ไม่ว่าจะ

เป็น โลหะ แร่ธาตุ หิน ดิน ทราย หรือ พลังงานที่อยู่ในรูปแบบต่างๆ ล้วนมีค่า Chemical Exergy เป็นของตัวเองโดยสามารถคำนวณได้โดยใช้สมการที่ (1) และ (2) ดังต่อไปนี้

$$\text{Chemical Exergy} = \sum_i m_i Ex_{ch,i} \quad (1)$$

$$Ex_{ch} = \sum_j n_j Ex_{ch,j} \quad (2)$$

โดยที่

m_i = น้ำหนักของสาร i (Kg)

$Ex_{ch,i}$ = ค่า Exergy ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของสาร i (KJ/Kg)

n_j = จำนวนโมลของสาร j ในหนึ่งหน่วยน้ำหนัก (Kg) ของสาร

ex_{ch} = ค่า Exergy มาตรฐานต่อ 1 โมลของสาร

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Fang และคณะ (1995) ได้นำเอ็กเซอร์ยีมาใช้ในการวิเคราะห์พลังงานในการผลิตนมและนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับการวิเคราะห์พลังงานของกฎข้อที่ 1 ของเทอร์โมไดนามิกส์ (หรือ เอนทัลปี) ในกระบวนการผลิตนมมีการใช้พลังงานเป็นจำนวนมาก ซึ่งประกอบด้วยกระบวนการ โฮโมจีไนซ์ และลดอุณหภูมิในกระบวนการต่างๆดังกล่าวนี้จะเกี่ยวข้องกับการรับพลังงานความร้อน และการให้พลังงานความร้อน เมื่อทำการวิเคราะห์พลังงานพบว่าประสิทธิภาพเอนทัลปีมีค่ามากกว่า ประสิทธิภาพเอ็กเซอร์ยี เช่น ในส่วนโฮโมจีไนซ์มีประสิทธิภาพเอนทัลปี 54.9 % แต่มี ประสิทธิภาพเอ็กเซอร์ยีเพียง 6.8 %

สุดสาคร นุ้ยดี (2538) ได้ศึกษาแนวทางการประหยัดพลังงานความร้อนในโรงงานปลาหมึกกระป๋อง โดยอาศัยหลักการเอนทัลปีและเอ็กเซอร์ยี อุปกรณ์หลักในกระบวนการผลิต ประกอบด้วย หม้อไอน้ำ อ่างต้มปลา หม้อนึ่งปลา และหม้อฆ่าเชื้อ จากการวิเคราะห์พบว่าหม้อไอน้ำ มีประสิทธิภาพเอนทัลปีและเอ็กเซอร์ยี มีค่า 40.5 % และ 12.2 % ตามลำดับ อ่างต้มปลามี ประสิทธิภาพเอนทัลปี 44.4 % แต่มีประสิทธิภาพเอ็กเซอร์ยีเพียง 9.2 % ส่วนหม้อนึ่งปลามี ประสิทธิภาพเอนทัลปี 36.1 % และ 19.8 % ตามลำดับ ความแตกต่างของประสิทธิภาพเอนทัลปี และเอ็กเซอร์ยีนั้นมีผลมาจากค่าพลังงานที่ไม่สามารถผันกลับที่เกิดจากช่วงต่างๆของกระบวนการ

สุจิตตา เรื่องรัมย์ (2542) ทำการวิเคราะห์พลังงานด้วยเอนทัลปี และเอ็กเซอร์ยี ใน โรงงานอุตสาหกรรมอาหารประเภทขบเคี้ยว (Snack) โดยมีวัตถุดิบ คือ ถัง และปลา จากการ วิเคราะห์ พลังงานพบว่าบางส่วนมีประสิทธิภาพเอนทัลปีสูงกว่าประสิทธิภาพเอ็กเซอร์ยี เช่น ไล่

ความชื้นมีประสิทธิภาพเอนทัลปี 27.26 % แต่มีค่าประสิทธิภาพเอ็กเซอร์ยีเพียง 4.93 % แต่บางส่วนมีประสิทธิภาพเอนทัลปีและประสิทธิภาพเอ็กเซอร์ยีใกล้เคียงกัน เช่น ประสิทธิภาพเอนทัลปีและเอ็กเซอร์ยีของส่วนเตาทอด มีค่า 98.2 % และ 94.49 ตามลำดับ

Midilli และ (2003) ได้ทำการวิเคราะห์พลังงานและเอ็กเซอร์ยีของกระบวนการอบแห้งของ pistachio ชนิดของเปลือกและไม่ปอกเปลือก เมื่อทำการวิเคราะห์พลังงานโดยกระบวนการทำแห้งใช้เวลา 6 ชั่วโมง พบว่าในการอบแห้งของ pistachio ชนิดปอกเปลือกมีการใช้พลังงานในช่วง 0 – 637 J/s คิดเป็น % EUR (energy utilization ratio) ได้ 0 – 24.9 % ซึ่งทำให้มีน้ำหนักลดลงจาก 100 กรัม ไปเป็น 75.95 กรัม โดยใช้พลังงานในการอบแห้งไป 0 – 891 J/s ซึ่งคิดเป็น % EUR ได้ 0 – 34.8 % และเมื่อทำการวิเคราะห์เอ็กเซอร์ยีในการทำแห้งของ pistachio ทั้งสองชนิดพบว่าการทำแห้ง pistachio ชนิดปอกเปลือกมีประสิทธิภาพเอ็กเซอร์ยี 27.84 – 100 % และมีเอ็กเซอร์ยีที่สูญเสียไประหว่างช่วง 0.07 – 2.64 kJ/kg ส่วนการทำแห้ง pistachio ชนิดไม่ปอกเปลือกมีประสิทธิภาพเอ็กเซอร์ยี 10.86 – 100 % และมีเอ็กเซอร์ยีสูญเสีย 0.13 – 3.24 kJ/kg ซึ่งจากการวิเคราะห์จะเห็นได้ว่าการทำแห้ง pistachio ชนิดปอกเปลือกมีการใช้พลังงานมากกว่าชนิดไม่ปอกเปลือก และมีปริมาณพลังงานที่สูญเสียมากที่สุดจะเกิดขึ้นระหว่างกระบวนการทำแห้ง

กุลพร พุทธิ (2546) ได้ศึกษาการวิเคราะห์การใช้พลังงานพลังงานและเอ็กเซอร์ยีของโรงงานปลากระป๋อง โดยจะเน้นการวิเคราะห์ด้านพลังงานความร้อนเป็นหลัก เมื่อทำการวิเคราะห์พลังงานแล้วพบว่าบางส่วนมีประสิทธิภาพเอนทัลปีสูงกว่าประสิทธิภาพเอ็กเซอร์ยี เช่น หม้อไอน้ำ มีประสิทธิภาพเอนทัลปี และประสิทธิภาพเอ็กเซอร์ยี คือ 39.46 % และ 12.14 % เมื่อพิจารณาค่าพลังงานที่ไม่สามารถผันกลับได้ พบว่ามีค่าสูงถึง 81.69 % เป็นต้น และบางส่วนมีประสิทธิภาพเอนทัลปีและประสิทธิภาพเอ็กเซอร์ยีใกล้เคียงกัน เช่น ส่วนของการฆ่าเชื้อมีค่าประสิทธิภาพเอนทัลปีและเอ็กเซอร์ยี คือ 30.94 % และ 25.17 % โดยมีค่าพลังงานที่ไม่สามารถผันกลับได้ 37.62 %

เมื่อทำการวิเคราะห์พลังงานด้วยเอนทัลปีและเอ็กเซอร์ยีแล้วจะทำให้ทราบค่าประสิทธิภาพเอนทัลปี และประสิทธิภาพเอ็กเซอร์ยี ถ้าทั้งสองค่านี้แตกต่างกันมากๆ แสดงว่าหน่วยการผลิตนั้นมีการใช้พลังงานอย่างไม่มีประสิทธิภาพ ทั้งนี้เนื่องจากค่าพลังงานที่ไม่สามารถผันกลับได้ที่เกิดจากช่วงต่างๆของกระบวนการ ซึ่งการวิเคราะห์ด้วยเอ็กเซอร์ยีสามารถคำนวณค่าพลังงานที่ไม่สามารถผันกลับได้ แต่การคำนวณประสิทธิภาพตามกฎข้อที่ 1 หรือเอนทัลปีไม่สามารถพิจารณาค่าพลังงานผันกลับได้ ถ้าอุปกรณ์ใดมีค่าพลังงานไม่สามารถผันกลับได้สูงก็แสดงว่ามีการใช้พลังงานอย่างไม่มีประสิทธิภาพ

เทพฤทธิ์ ทองซูป ได้ศึกษาเรื่องการคำนวณภาระการทำความเย็นและเลือกขนาดเครื่องทำความเย็นที่เหมาะสม เป็นการเขียนโปรแกรมหาภาระการทำความเย็นและเลือกขนาดที่เหมาะสมและประหยัดพลังงานไฟฟ้า วัตถุประสงค์หลักเพื่อคำนวณค่าของภาระการทำความเย็นที่แท้จริงโดยคำนวณในทุกชั่วโมงในรอบปี และนำมาเลือกขนาดของระบบปรับอากาศเพื่อที่จะสามารถรู้ลักษณะภาระการทำความเย็นของอาคารแต่ละอาคาร ซึ่งขึ้นอยู่กับส่วนประกอบของอาคาร ทรานเวลเวลาที่ภาระการทำความเย็นของอาคารมีค่าสูงสุด และการลดภาระการทำความเย็นที่เวลาดังกล่าวจะทำให้สามารถลดขนาดเครื่องปรับอากาศลดลงได้ ในการควบคุมการทำงานและการเปลี่ยนแปลงขนาดของเครื่องปรับอากาศจะขึ้นอยู่กับภาระการทำความเย็นของแต่ละอาคาร ซึ่งจะมีความแตกต่างกัน การคิดค่าใช้จ่ายทั้งหมดของระบบปรับอากาศจะคิดเฉพาะค่าเครื่องปรับอากาศกับค่าไฟฟ้าเท่านั้น ส่วนค่าใช้จ่ายอื่นไม่นำมาคิด เช่น ค่าบำรุงรักษา และค่าซ่อมแซมซึ่งเป็นค่าที่แปรผันได้ยากต่อการประมาณ

พุลลาภ มณีนิล ได้ศึกษา โปรแกรมสำเร็จรูปเพื่อการวิเคราะห์ภาระความเย็นสำหรับอาคารในประเทศไทย เป็นการวิเคราะห์ภาระการทำความเย็นสูงสุดและคำนวณภาระความเย็นที่แปรเปลี่ยนไปในช่วงเวลาต่างๆของแต่ละวัน และผลที่ได้จากการคำนวณที่ใช้ข้อมูลของภูมิอากาศในกรุงเทพและเชียงใหม่ที่นำมาวิเคราะห์ภาระการทำความเย็น ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐาน ASHRAE ซึ่งในโปรแกรมสามารถคำนวณได้ทั้งหน่วยอังกฤษและหน่วยเมตริก ทางโปรแกรมได้จัดเมนูไว้ เพื่อให้ผู้ใช้สามารถใส่ข้อมูลได้เอง ในส่วนของการคำนวณภาระการวิเคราะห์ภาระการทำความเย็นสามารถแสดงให้เห็นในรูป Bar Graph ซึ่งสามารถนำไปวิเคราะห์เพื่อเลือกใช้เครื่องปรับอากาศและปรับภาระของเครื่องได้ตามภาระการทำความเย็นเพื่อประหยัดพลังงาน

จากงานวิจัยข้างต้นจะสอดคล้องกับงานวิจัยนี้ในการสร้างโปรแกรมสำเร็จรูปเพื่อการวิเคราะห์ภาระความเย็นสำหรับอาคารในประเทศไทย แต่ในงานวิจัยข้างต้นสามารถใช้ได้กับการวิเคราะห์ภาระความเย็นสำหรับอาคารในประเทศไทยเท่านั้น และไม่ได้กล่าวถึงจุดที่เหมาะสมระหว่างด้านพลังงานและเศรษฐศาสตร์

S. Lakshmi ศึกษาประโยชน์ของเตาอบไมโครเวฟในแง่การเป็นเครื่องใช้ในครัว โดยพบว่าเตาอบไมโครเวฟมีประโยชน์หลายๆ อย่างและที่สำคัญคือ สามารถใช้สำหรับหุงข้าวได้ การประเมินการใช้พลังงานก็สามารถทำได้ภายใต้วิธีการหุงข้าวด้วยวิธีปกติกับการหุงข้าวแบบควบคุมด้วยข้าวที่ไม่ต้องแช่น้ำก่อนหุงและข้าวที่แช่น้ำก่อนหุง ในการหุงด้วยเตาอบไมโครเวฟที่มีการเปลี่ยนแปลงระดับของกำลังสำหรับการหุงข้าวแบบควบคุม ทำให้ลดพลังงานได้อย่างแท้จริง ในการหุงข้าวมีสองวิธี วิธีแรกไม่ทำการแช่น้ำข้าวสารก่อนการหุง (14-12 เปอร์เซ็นต์) และวิธีที่สองทำการแช่น้ำข้าวสารก่อนหุง (13-23 เปอร์เซ็นต์) ทำให้เวลาในการหุงลดลง (2 นาที) เมื่อเปรียบเทียบกับการ

หุงวิธีปกติ ผลที่เกิดจากการแช่น้ำข้าวก่อนหุงเมื่อทำการหุงด้วยวิธีปกติก็จะประหยัดพลังงาน (5-11เปอร์เซ็นต์) แต่ถ้าหุงด้วยการควบคุมจะประหยัดกว่า (3-18 เปอร์เซ็นต์) แม้ว่าการดูดซับพลังงานของน้ำจะมีสูงถึง 86-89 เปอร์เซ็นต์ ประสิทธิภาพของการเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานไมโครเวฟก็ได้ประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ สมรรถนะของตูบไมโครเวฟที่สามารถเปรียบเทียบกับการศึกษาในตอนแรกของหม้อหุงข้าวไฟฟ้า (ERC; electric rice cooker) และการหุงด้วยความดัน ในระหว่างการประเมินอุปกรณ์ที่ใช้ในการหุงข้าว หม้อหุงข้าวไฟฟ้าจะมีประสิทธิภาพที่สูง ในขณะที่การหุงข้าวด้วยไมโครเวฟจะใช้เวลาที่สั้นกว่า การหุงข้าวด้วยไมโครเวฟจะทำได้โดยการหุงด้วยความดัน และวิธีนี้มีการทำกันเป็นจำนวนมากในการหุงข้าวซึ่งจะอยู่ในรูปแบบการใช้พลังงาน นอกจากนี้จะประหยัดพลังงานแล้วระยะเวลาที่ใช้ในการหุงก็จะสั้นอีกด้วย

จากงานวิจัยข้างต้นเป็นการประเมินการใช้พลังงานโดยวิธีการหุงข้าว ซึ่งสามารถนำมาศึกษา เพื่อสร้างซอฟต์แวร์ประเมินการใช้พลังงานของเตาอบไมโครเวฟแบบต่างๆ ได้ ซึ่งในงานวิจัยข้างต้นยังไม่แนะนำให้เสนอ

Hironao Ogura ศึกษาการประเมินขีดความสามารถในการประยุกต์ใช้งานแนวใหม่ของฮีทปั๊มทางเคมีในกระบวนการอบแห้งเซรามิกในอุตสาหกรรม มีจุดมุ่งหมายในการประหยัดพลังงานและเงินทุน ในระบบการอบแห้ง โดยใช้ฮีทปั๊มทางเคมีจะอาศัยกระบวนการละลายของสารใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย/การดึงน้ำออก (Hydration/Dehydration) ของสารประกอบ $\text{CaO}/\text{H}_2\text{O}/\text{Ca}(\text{OH})_2$ ในการทดสอบ ความร้อนที่สะสมในระบบการอบแห้งโดยใช้ฮีทปั๊มทางเคมี (CHPD) จะปลดปล่อยความร้อนออกมาในเวลาเดียวกัน ทำให้ความร้อนสูงขึ้นที่ระดับอุณหภูมิที่แตกต่างโดยการใช้ฮีทปั๊มทางเคมีสองชุดที่ทำให้โหมดของความร้อนเพิ่มขึ้น ยิ่งไปกว่านั้นมีการเสนอให้ใช้ฮีทไปป์ทางเคมี (CH Pipe) เพื่อทำให้ประสิทธิภาพของระบบสูงขึ้นซึ่งมีส่วนดีต่อสิ่งแวดล้อมและการเป็นลงทุนที่เหมาะสม ผลลัพธ์ที่ได้จะทำให้สิ้นเปลืองพลังงานและต้นทุนลดลง ในการใช้ฮีทปั๊มทางเคมีที่มีการนำไปใช้กับระบบการอบแห้งโดยใช้ฮีทปั๊มทางเคมี (CHPD) ในกระบวนการอบแห้งเซรามิกในอุตสาหกรรมซึ่งจะเป็นพื้นฐานที่ดีที่จะทำให้พลังงานที่ใช้ลดลงเกินกว่าครึ่งเมื่อเทียบกับกระบวนการอบแห้งแบบปกติที่ใช้หม้อน้ำแบบหลอดไฟและใช้แก๊สเป็นเชื้อเพลิง สำหรับการทดลองในกระบวนการอบแห้งแบบปกตินี้มีประสิทธิภาพของพลังงาน 28.4 เปอร์เซ็นต์ และใช้ต้นทุน 604×10^3 (JPY/month) (JPY : Japanese Yen) ประสิทธิภาพของพลังงานและต้นทุนของระบบกระบวนการอบแห้งเซรามิกในอุตสาหกรรมโดยใช้ฮีทปั๊มทางเคมี คือ 79.7 เปอร์เซ็นต์และ 216×10^3 (JPY/month) ตามลำดับ บนพื้นฐานของการทดลอง

งานวิจัยข้างต้นเป็นการศึกษาการประเมินขีดความสามารถในการประยุกต์ใช้งานแนวใหม่ของฮีทปั๊มทางเคมีในกระบวนการอบแห้งเซรามิกในอุตสาหกรรม ซึ่งสามารถนำมาศึกษา เพื่อสร้างซอฟต์แวร์ประเมินการประหยัดพลังงานและเงินทุนในกระบวนการอบแห้งเซรามิกใน

อุตสาหกรรมได้ ซึ่งในงานวิจัยข้างต้นยังไม่มี โดยมีวัตถุประสงค์ของการศึกษาที่เหมือนกัน คือ ประหยัดพลังงานและเงินทุนในกระบวนการผลิต

จากงานวิจัยที่ผ่านมายังไม่มีกล่าวถึงการวิเคราะห์พลังงานและเอกเซอร์จีในกระบวนการอบแห้งที่ใช้ลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟในระบบสายพานลำเลียงอย่างต่อเนื่องและโดยเฉพาะอย่างยิ่งการสร้างซอฟต์แวร์ที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์ระบบดังกล่าวตั้งนั้นโครงการวิจัยนี้จึงเป็นการสร้างซอฟต์แวร์สำหรับเป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์พลังงานและเอกเซอร์จีของระบบเพื่อใช้ในการออกแบบและพัฒนาระบบได้อย่างเหมาะสม



บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 แผนการดำเนินงาน

งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาถึงการนำเอาไม้เนื้ออ่อนมาพัฒนาและศึกษาพฤติกรรมทางกายภาพและเชิงกลของไม้เนื้ออ่อนให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น ด้วยลมร้อนจากพลังงานไมโครเวฟโดยมุ่งศึกษาเกี่ยวกับการนำพลังงานความร้อน คือ กำลังวัตต์และระยะเวลาที่เหมาะสมมาใช้ในการอบไล่ความชื้นในเนื้อไม้ ที่ได้จากการตัดทิ้งของชาวบ้านและเป็นพันธุ์ไม้ที่มีมากในประเทศไทย โดยการศึกษาครอบคลุมตั้งแต่การจัดเตรียมวัสดุ การทดสอบความหนาแน่น การดูดซึมน้ำ การทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดในแนวขนานกับเส้นและตั้งฉากเส้น โดยมีรายละเอียดและขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้



รูปที่ 1 แผนผังการดำเนินงาน

3.2 การเตรียมข้อมูล

3.2.1 ศึกษาแหล่งข้อมูลจากตำรา วารสาร บทความ รายงานวิจัย และเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.2.2 ศึกษาคุณสมบัติของวัสดุที่จะนำมาพัฒนาไม้เนื้ออ่อน

3.2.2.1 ไม้เนื้ออ่อน ทั้ง 3 ชนิด คือ ไม้ตีนเป็ด ไม้สะเดา และไม้ยางพารา



รูปที่ 4 ตัวอย่างไม้เนื้ออ่อน ทั้ง 3 ชนิด คือ ไม้ตีนเป็ด ไม้สะเดา และไม้ยางพารา

3.2.2.2 สารเคมีประเภทน้ำมัน (Tar-Oil preservatives) ได้แก่ ครีโอสต (creosote), โซลิกนัม (Solignum) สารประเภทนี้ส่วนมากมีความเป็นพิษต่อศัตรูทำลายไม้สูงและคงทนอยู่ในเนื้อไม้ได้ดี แต่ทำให้ไม้มีสีสกปรก มีกลิ่นฉุนไม่สามารถทาสี เซกแลค แลคเกอร์ หรือน้ำมันที่ใช้เคลือบสำหรับผิวตกแต่งไม้ได้ ใช้กับไม้ที่ใช้ประโยชน์ในกลางแจ้งตากแดดตากฝน เช่น เสาไฟฟ้า เสาโทรเลข เสาโทรศัพท์ ไม้คอนสายไฟ ไม้หมอนรองรถไฟ สะพาน เขื่อน รั้ว และคอกปศุสัตว์ ฯลฯ

3.2.2.3 สารเคมีละลายในน้ำมัน (Oil-Soluble Chemicals) เป็นสารเคมีที่ประกอบด้วยดีลตริน 0.5 % และเพ็นตาคลอโรฟินอล 5 % มีอยู่หลายสี เช่น สีน้ำตาลเข้ม สีขาว และแบบไม่มีสีใช้ทาไม้ เช่นเดียวกับการทาสีทั่วไป ปัจจุบันได้มีการเปลี่ยนแปลงตัวสารเคมีจากดีลตรินและเพ็นตาคลอโรฟินอล ซึ่งเป็นสารที่มีฤทธิ์ตกค้างนานและมีผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิต และสภาพแวดล้อม ไปเป็นสารในกลุ่มสารสังเคราะห์ไพรีทรอยด์และสารกันราที่มีประสิทธิภาพดีแต่ปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้น แต่จะยังหาซื้อได้ในชื่อทางการค้าเดิม

3.2.2.4 น้ำมันโซล่า (Oil Solar) เป็นสารไฮโดรคาร์บอน ได้จากน้ำมันดิบมากั่นแยกส่วนในหอกลั่นบรรยากาศหรือส่วนกลั่นตรง (Crude Distillation Unit) โดยอาศัยความแตกต่างของจุดเดือด ซึ่งจุดเดื่อน้ำมันโซล่าอยู่ในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 150-360°C

3.3 วัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือ

- (1) ไม้เนื้ออ่อนได้แก่ ไม้ตีนเป็ด ไม้ยางพาราและไม้สะเดา
- (2) สารเคมีที่ใช้ คือ ประเภทน้ำมัน (Tar-Oil preservatives), ประเภทเกลือเคมีละลายในสารละลายอื่น (Solvent Type Preservatives)
- (3) เครื่องชั่งดิจิตอล
- (4) น้ำมันโซล่า 10 ลิตร
- (5) กระจกตวงน้ำ
- (6) เวอร์เนียคาลิปเปอร์ (Vernier Calipers)
- (7) ไมโครเวฟ
- (8) ตลับเมตร
- (9) ภาชนะสำหรับแช่ชิ้นตัวอย่างทดสอบ
- (10) Compressometer หรือ Dial Gauge ที่มีความละเอียดในการวัดถึง 0.01 mm
- (11) Bearing Plate ขนาดความกว้าง 50 มิลลิเมตร
- (12) ตู้อบชิ้นตัวอย่างทดสอบอบที่อุณหภูมิ 60 °C
- (13) เลื่อย
- (14) ฉาก
- (15) เครื่องทดสอบ

3.4 ขั้นตอนการทำและการทดสอบคุณสมบัติของไม้

3.4.1 จัดเตรียมวัสดุที่จะทำการทดลอง เพื่อพัฒนาให้ไม้เนื้ออ่อนมีประสิทธิภาพในการรับกำลังต้านทานแรงอัดเพิ่มขึ้น ดังนี้

3.4.1.1 สารเคมีประเภทน้ำมัน (Tar-Oil preservatives), และสารเคมีประเภทเกลือเคมีละลายในสารละลายอื่น (Solvent Type Preservatives)

3.4.1.2 นำไม้ตีนเป็ด ไม้สะเดา และไม้ยางพารา มาตัดให้ได้ขนาดตามมาตรฐาน ซึ่งได้กำหนดมาตรฐานไว้ 2 แบบ คือ

3.4.1.2.1 การทดสอบแรงอัดในทิศทางตั้งฉากเสี้ยน ขนาด 50x50x150mm

3.4.1.2.2 การทดสอบแรงอัดในทิศทางขนานเสี้ยน ขนาด 50x50x200 mm

3.4.1.3 นำไม้ตีนเป็ด ไม้สะเดา และไม้ยางพารา มาทำการวัดขนาดด้วยเวอร์เนียคาลิปเปอร์ แล้วอ่านค่าบนเวอร์เนียคาลิปเปอร์ (จดบันทึกผล)

3.4.1.4 นำไม้ตีนเป็ด ไม้สะเดา และไม้ยางพารามาขัดด้วยกระดาษทรายให้สะอาดเรียบสม่ำเสมอโดยจะใช้เหล็กฉากทาบลงบนไม้จนตัวอย่างไม้ได้ฉากตามที่ต้องการ

3.4.1.5 นำไม้ตีนเป็ด ไม้สะเดา และไม้ยางพาราที่ผ่านการขัดให้เรียบแล้วมาทำการชั่ง น้ำหนักเพื่อหาค่าน้ำหนักธรรมชาติ โดยทำการจดบันทึกค่าน้ำหนักของไม้เนื้ออ่อน ทั้ง 3 ชนิด

3.4.2 การอบไม้เนื้ออ่อนด้วยสารเคมี ประเภท น้ำมัน (Tar-Oil preservatives)

3.4.2.1. นำไม้เนื้ออ่อน ทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ ไม้ตีนเป็ด ไม้ยางพารา และไม้สะเดา ที่ผ่านการแปรรูปให้ได้ขนาด 50x50x150 mm , และขนาด 50x50x200 mm มาใส่ลงในกระบะใส่น้ำยา

3.4.2.2 นำสารเคมีประเภทน้ำมัน เทลงในกระบะใส่น้ำยาที่ใส่ไม้เนื้ออ่อน ให้จมน้ำทุกท่อน โดยแช่ไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 การอบสารเคมีประเภทน้ำมัน (Tar-Oil preservatives)

3.4.2.3 นำไม้ตีนเป็ด ไม้ยางพารา และไม้สะเดาขึ้นจากกระบะแช่ แล้วนำไปผึ่งในอากาศอีก 24 ชั่วโมง

3.4.2.4 นำไม้ตีนเป็ด ไม้ยางพารา และไม้สะเดา ไปชั่งน้ำหนัก เพื่อหาค่าหลังแช่ 24 ชั่วโมง (จดบันทึกค่า) ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 การชั่งน้ำหนัก

3.4.3 การอบไม้เนื้ออ่อนด้วยสารเคมี ประเภทละลายน้ำมันโซล่า

3.4.3.1 นำสารเคมีประเภท ผสมน้ำมันโซล่า ในอัตราส่วน 1: 5 ลิตร

3.4.3.2 นำไม้เนื้ออ่อนทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ ไม้ตีนเป็ด ไม้ยางพารา และไม้สะเดา ที่ผ่านการแปรรูปให้ได้ ขนาด 50x50x150 มม. และขนาด 50x50x200 มม. ใส่ลงในกระบะแช่ไว้ 24 ชั่วโมง

3.4.3.3 นำสารเคมีประเภท ผสมน้ำมันโซล่า ในอัตราส่วน 1: 5 ลิตร เทลงในกระบะที่ใส่ไม้เนื้ออ่อน ให้จมทั่วทุกท่อน โดยแช่ไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 การอาบไม้เนื้ออ่อนด้วยสารเคมี ประเภทละลายน้ำมันโซล่า

3.4.3.4 นำไม้ตินเบ็ด ไม้ยางพารา และไม้สะเดาขึ้นจากกระบะแช่ แล้วนำไปผึ่งในอากาศอีก 24 ชั่วโมง ดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 การผึ่งในอากาศ

3.4.3.5 นำไม้ตินเบ็ด ไม้ยางพารา และไม้สะเดา ไปชั่งน้ำหนัก เพื่อหาค่าหลังแช่ 24 ชั่วโมง (จุดบันทึกค่า)

3.5 การอบไล่ความชื้นไม้

การอบไล่ความชื้นไม้เนื้ออ่อน จะต้องอบไล่ความชื้นตัวอย่างไม้เนื้ออ่อนที่ผ่านการอาบน้ำยา เนื่องจากไม้เนื้ออ่อนที่อาบน้ำยา จะมีการดูดซึมน้ำยาและมีน้ำหนักเพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงมีการอบไล่ความชื้นให้น้ำหนักไม้เนื้ออ่อนลดลงหรือใกล้เคียงน้ำหนักธรรมชาติ โดยแบ่งการอบเป็น 2 วิธี ดังนี้

3.5.1 การอบไม้เนื้ออ่อนด้วยพลังคลื่นไมโครเวฟ

3.5.1.1 นำตัวอย่างไม้เนื้ออ่อนที่ผ่านการอาบน้ำยามาอบไล่ความชื้นด้วย พลังงานไมโครเวฟที่ กำลังวัตต์ 100 วัตต์ ดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 การอบด้วยพลังคลื่นไมโครเวฟ

3.5.1.2 อบไปเรื่อยๆครั้งละ 10-15 นาที จนกว่าน้ำหนักไม้จะลดเหลือใกล้เคียงหรือเท่ากับ น้ำหนักของไม้เนื้ออ่อนธรรมชาติ ที่ไม่ผ่านการอบสารเคมี

3.5.1.3 เมื่ออบได้น้ำหนักที่ต้องการแล้ว นำตัวอย่างไม้เนื้ออ่อนไปชั่งน้ำหนักและจดบันทึกค่า และเวลาในการอบด้วยพลังคลื่นไมโครเวฟ

3.5.2 การอบไม้เนื้ออ่อนด้วยลมร้อน



รูปที่ 10 การอบด้วยลมร้อน

3.5.2.1 นำตัวอย่างไม้เนื้ออ่อนที่ผ่านการอาบน้ำยาเสร็จเรียบร้อยแล้ว มาอบไล่ความชื้นด้วย อุณหภูมิความร้อน 60 °C

3.5.2.2 ตั้งเวลาในการอบครั้งละ 6-12 ชั่วโมง แล้วคอยตรวจเช็คน้ำหนัก

3.5.2.3 เมื่ออบได้น้ำหนักที่ต้องการแล้ว นำตัวอย่างไม้เนื้ออ่อนออกจากตู้อบ ผึ่งลมให้เย็นสักครู่ แล้วนำไปชั่งมวลเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการหาค่าปริมาณความชื้น (Moisture Content) ได้ระยะเวลาในการอบตาม ตารางที่ 2 และ ตารางที่ 3

ตารางที่ 2 ระยะเวลาในการอบไม้เนื้ออ่อนที่อบสารเคมีประเภทน้ำมัน

ระยะเวลาในการอบ (ชั่วโมง)				
ชนิดไม้	ขนาด 50x50x200 mm		ขนาด 50x50x150 mm	
	ลมร้อน 60 °C	ไมโครเวฟ 100 W	ลมร้อน 60 °C	ไมโครเวฟ 100 W
ไม้ตีนเป็ด	24	8.20	24	7.20
ไม้ยางพารา	24	6.00	24	5.20
ไม้สะเดา	48	10.20	48	9.40

ตารางที่ 3 ระยะเวลาในการอบไม้เนื้ออ่อนที่อบสารเคมีประเภทละลายในน้ำมันโซล่า

ระยะเวลาในการอบ (ชั่วโมง)				
ชนิดไม้	ขนาด 50x50x200 mm		ขนาด 50x50x150 mm	
	ลมร้อน 60 °C	ไมโครเวฟ 100 W	ลมร้อน 60 °C	ไมโครเวฟ 100 W
ไม้ตีนเป็ด	14.20	5.30	12	3.00
ไม้ยางพารา	24	5.00	15	2.40
ไม้สะเดา	48	8.00	48	8.00

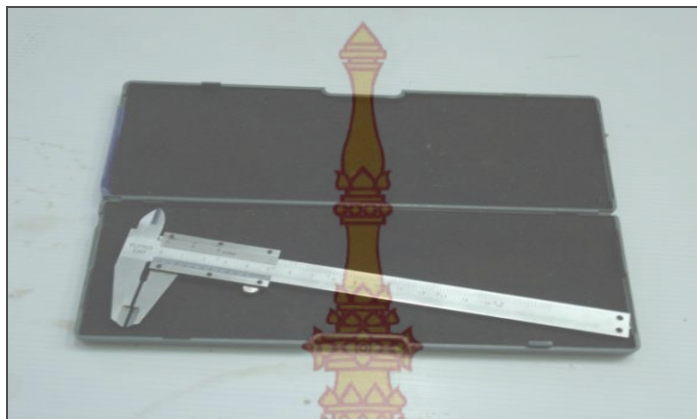
3.6 การทดสอบหาค่าความหนาแน่น ปริมาณความชื้น และการดูดซึมน้ำยาของไม้

(Density, Moisture Content, and Absorption of Wood)

3.6.1 เพื่อศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพเบื้องต้นของไม้เนื้ออ่อน ซึ่งประกอบด้วย ความหนาแน่น (Density, ρ) ,ปริมาณความชื้น (Moisture Content, m),การดูดซึมน้ำ (Absorption)

3.6.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

3.6.2.1 เวอร์เนียคาลิปเปอร์ (Vernier Calipers) ผลิตจากสแตนเลสเนื้อแข็งมีความทนทานสูงคุณภาพได้มาตรฐานความเที่ยงตรงที่สูงมาก ให้ความละเอียดในการวัดถึง 0.01 มิลลิเมตรต่อ 0.0005 นิ้ว ดังรูปที่ 11



รูปที่ 11 เวอร์เนียคาลิปเปอร์ (Vernier Calipers)

3.6.2.2 ตลับเมตร (Tape Rule) คือ เครื่องมือสำหรับการวัดเพื่อบ่งชี้บอกระยะหรือขนาดในการกำหนดตำแหน่ง ตรวจสอบระยะหรือขนาดความกว้าง ความยาว ความสูงหรือความหนาของวัสดุ ชิ้นงาน ฯลฯ ดังรูปที่ 12



รูปที่ 12 ตลับเมตร (Tape Rule)

3.6.2.3 เครื่องชั่งดิจิตอล ความแม่นยำสูง สามารถหักค่าภาชนะรองชั่งได้ (ปุ่มTare) ดังรูปที่ 13



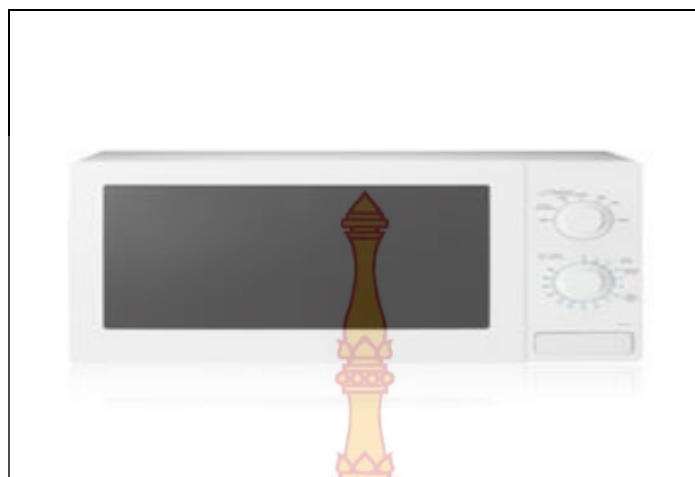
รูปที่ 13 เครื่องชั่งดิจิตอล

3.6.2.4 ตู้อบขึ้นตัวอย่างทดสอบอบ



รูปที่ 14 ตู้อบขึ้นตัวอย่างทดสอบอบที่อุณหภูมิ 60 °C

3.6.2.5 ไมโครเวฟ (Microwave Type) เป็นแหล่งพลังงาน 230V / 50 Hz ให้กำลังไฟออกได้ถึง 800 วัตต์ โดยใช้แผงควบคุมแบบเมนเบรน



รูปที่ 15 ตู้อบไมโครเวฟ (Microwave Type)

3.6.3 วิธีการทดสอบ

3.6.3.1 วัดขนาดและชั่งมวลของตัวอย่างไม้เนื้ออ่อนทดสอบ สังกะสีจุดบกพร่องที่มีอยู่บนตัวอย่างไม้เนื้ออ่อน และบันทึกตำหนิของตัวอย่าง (ถ้ามี)

3.6.3.2 นำตัวอย่างไม้เนื้ออ่อน ที่ผ่านการอบน้ำยา Bondex และน้ำยา Chaidrite ในระยะเวลา 24 ชั่วโมง ไปอบด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 60°C และอบด้วยพลังงานคลื่นไมโครเวฟ ที่กำลังไฟเท่า 100 วัตต์ อบจนกว่าจะได้น้ำหนักคงที่ หรือเท่ากับน้ำหนักธรรมชาติ และจดบันทึกค่าเวลาการอบ

3.6.3.3 นำตัวอย่างออกจากตู้อบ ผึ่งลมให้เย็นสักครู่แล้วนำไปชั่งมวล เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการหาค่าปริมาณความชื้น (Moisture Content) ความหนาแน่น และการดูดซึมน้ำที่เวลา 24 ชั่วโมง

3.6.4 วิธีการคำนวณ

$$3.6.4.1 \text{ วิเคราะห์หาความหนาแน่น, } \rho = \frac{M}{V} \text{ (g/cm}^3\text{)} \quad (3-1)$$

โดยที่ ρ หมายถึงความหนาแน่นของวัตถุมีหน่วยเป็นกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (g/cm³)

M หมายถึง มวล (Mass) มีหน่วยเป็นกรัม (g)

V หมายถึง ปริมาตร (Volume) มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เซนติเมตร (cm³)

$$3.6.4.2 \text{ เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ} = \frac{W_2 - W_1}{W_1} \times 100 \text{ (\%)} \quad (3-2)$$

เมื่อ เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำยาแทน ค่าร้อยละของการดูดซึมน้ำ (% Absorption after 24 hr. Immersion)

W_1 แทน น้ำหนักไม้เนื้ออ่อนที่แห้ง, กรัม (g)

W_2 แทน น้ำหนักไม้เนื้ออ่อนที่ดูดซึมน้ำ, กรัม (g)

$$3.6.4.3 \text{ ปริมาณความชื้น} = \frac{M_2 - M_1}{M_1} \times 100 \text{ (\%)} \quad (3-3)$$

เมื่อ ปริมาณความชื้น แทน ค่าร้อยละของการดูดซึมน้ำ (% Moisture Content)

M_1 แทน น้ำหนักไม้เนื้ออ่อนเริ่มต้น , กรัม (g)

M_2 แทน น้ำหนักไม้เนื้ออ่อนที่อบแห้ง , กรัม (g)

3.6.5 มาตรฐานอ้างอิง

3.6.5.1 ASTM D 2395 – 93, Standard Methods for Specific Gravity of Wood and Wood–Base Materials.

3.6.5.2 ASTM D 2016, Standard Test Methods for Moisture Content of Wood.

3.6.5.3 ASTM D 4442 – 94, Standard Test Methods for Direct Moisture Content Measurement of Wood and Wood – Base Materials.

3.6.5.4 ASTM C 67 – 99, Standard Test Methods for Sampling and Testing Brick and Structural Clay Tile.

3.7 การทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดของไม้ในแนวขนานเส้นและในแนวตั้งฉากกับเส้น

(Compression Test of Woods Parallel, and Perpendicular to Grain)

3.7.1 เพื่อที่จะศึกษาพฤติกรรมทางกล (Mechanical Behavior) และลักษณะการวิบัติ (Modes of Failure) ของไม้ในแนวขนานไปกับเส้นไม้ และในแนวตั้งฉากกับเส้นไม้ เพื่อหาคคุณสมบัติทางกล (Mechanical Properties) ของไม้ภายใต้แรงอัด (Compressive Force) ซึ่งประกอบด้วย

3.7.1.1 หน่วยแรงอัดที่ขีดจำกัดสัดส่วน (Compressive Stress at Proportional Limit)

3.7.1.2 หน่วยแรงอัดที่จุดคลาด (0.05% offset Yielding Compressive Stress)

3.7.1.3 กำลังต้านทานแรงอัดสูงสุด (Ultimate Compressive Strength,)

3.7.1.4 โมดูลัสการยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity, E)

3.7.1.5 ลักษณะการวิบัติของไม้ (Modes of Failure)

3.7.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

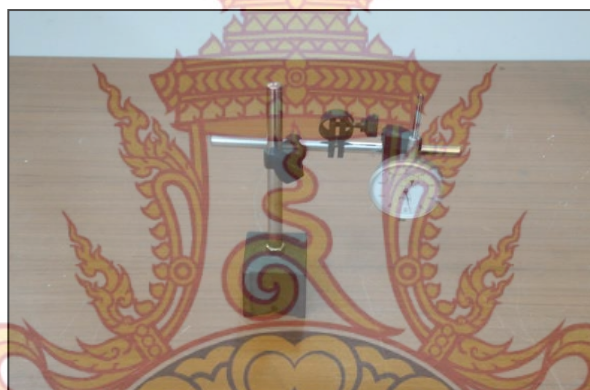
3.7.2.1 เครื่องทดสอบแรงอัด (Compression Machine) ดังรูปที่ 16



รูปที่ 16 เครื่องทดสอบแรงอัด

3.7.2.2 Compressometer หรือ Dial Gauge ที่มีความละเอียดในการวัดถึง 0.01 mm ดัง

รูปที่ 17



รูปที่ 17 Compressometer หรือ Dial Gauge

3.7.2.3 Bearing Plate ขนาดความกว้าง 50 mm ดังรูปที่ 18



รูปที่ 18 Bearing Plate

3.7.2.4 Vernier Caliper ที่มีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 0.05 mm ใช้ในงานวัดขนาด ชิ้นงาน หรือวัสดุที่มี ปริมาตรเล็กๆ ดังรูปที่ 19



รูปที่ 19 Vernier Caliper

3.7.2.5 ตลับเมตร (Tape Rule) คือ เครื่องมือสำหรับการวัดเพื่อบ่งชี้บอกระยะหรือขนาดในการกำหนดตำแหน่ง ตรวจสอบระยะหรือขนาดความกว้าง ความยาว ความสูงหรือความหนาของวัสดุ ชิ้นงาน ฯลฯ ดังรูปที่ 20



รูปที่ 20 ตลับเมตร (Tape Rule)

3.7.3 วิธีการทดสอบ

3.7.3.1 วัดขนาด และชั่งน้ำหนักของตัวอย่างทดสอบ สังเกตจุดบกพร่องที่มีอยู่บนตัวอย่างไม้เนื้ออ่อน ทดสอบพร้อมทั้งวาดรูป และบันทึกตำหนิของตัวอย่าง (ถ้ามี) ดังรูปที่ 21



รูปที่ 21 การวัดขนาดไม้ด้วย Vernier Caliper ที่มีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 0.05 มิลลิเมตร

3.7.3.2 ทำการติดตั้ง Compressometer เข้ากับตัวอย่างทดสอบสำหรับการทดสอบในแนวขนานกับเส้นไม้ แล้วนำตัวอย่างไม้เนื้ออ่อน ติดตั้งเข้ากับเครื่องทดสอบ ส่วนการทดสอบในแนวตั้งฉากกับเส้นไม้ ให้นำตัวอย่างติดตั้งเข้ากับเครื่องทดสอบแล้วนำ Bearing Plate มาวางบนตัวอย่าง แล้วจึงทำการติดตั้ง Dial Gauge ในการติดตั้งตัวอย่างเข้ากับเครื่องทดสอบให้วางในทิศทางที่กำหนดไว้ บน Lower Bearing ดังรูปที่ 22



รูปที่ 22 การติดตั้ง Bearing Plate และการติดตั้ง Dial Gauge

3.7.3.3 เลื่อน Upper Bearing ลงมายังตำแหน่งที่พร้อมทำการทดสอบ จากนั้นทำการปรับ Compressometer หรือ Dial Gauge และค่าแรงอัดจากเครื่องทดสอบไปที่ศูนย์

3.7.3.4 ทำการเพิ่มแรงอัดให้กับตัวอย่างทดสอบอย่างช้าๆ ทีละน้อยด้วยความเร็วคงที่ พร้อมทั้งทำการบันทึกค่าแรงอัดที่ระยะหดตัวของตัวอย่างทดสอบ โดยจะต้องให้มีจุดในการอ่านค่าอย่างน้อยที่สุด 20 จุด ก่อนตัวอย่างทดสอบจะเกิดการวิบัติ ในกรณีของการทดสอบแรงอัดตั้งฉากกับเส้นไม้ นั้นจะไม่มี การวิบัติที่ชัดเจนดังนั้นเราจะทำการทดสอบจนกระทั่งตัวอย่างทดสอบเกิดการหดตัวจนถึง 2.5 mm (0.1 in) ซึ่งในทางทฤษฎีถือว่าวิบัติแล้ว พร้อมบันทึกค่าแรงสูงสุด(กรณีของการทดสอบแรงอัดขนานกับเส้นไม้แนะนำให้บันทึกค่าการหดตัวเมื่อแรงอัดเพิ่มขึ้นทุกๆ 5 kN ส่วนกรณีของการทดสอบแรงอัดตั้งฉากกับเส้นไม้แนะนำให้บันทึกค่าแรงอัดเมื่อระยะหดตัวมีค่าเพิ่มขึ้นทุกๆ (0.1 mm)



รูปที่ 23 การทดสอบกำลังต้านทานแรงอัด ในทิศทางตั้งฉากเส้นและทิศทางขนานกับเส้น

3.7.3.5 นำตัวอย่างทดสอบออกจากเครื่องทดสอบ สังเกต บันทึกตำแหน่ง และลักษณะการวิบัติ พร้อมวาดรูปประกอบ

3.7.4 เอกสารอ้างอิง

3.7.4.1 ASTM D 143 – 94, Standard Methods of Testing Small Clear Specimens of Timber.

3.7.4.2 ASTM D 2555, Standard Test Methods for Establishing Clear Wood Strength Values.

3.7.4.3 ASTM D 2016, Standard Test Methods for Moisture Content of Wood

3.7.4.4 ASTM D 4442 – 94, Standard Test Methods for Direct Moisture Content Measurement of Wood and Wood – Base Materials

3.8 วิเคราะห์ข้อมูล

$$3.8.1.1 \text{ วิเคราะห์หาความหนาแน่น } \rho = \frac{M}{V} \quad (\text{g/cm}^3) \quad (3-4)$$

โดยที่ ρ หมายถึง ความหนาแน่นของวัสดุมีหน่วยเป็นกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (g/cm^3)

$M, W1$ หมายถึง มวล (Mass) หรือน้ำหนักที่แห้ง มีหน่วยเป็นกรัม (g)

V หมายถึง ปริมาตร (Volume) มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เซนติเมตร (cm^3)

$$3.8.1.2 \text{ เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ } = \frac{W2 - W1}{W1} \times 100 \quad (\%) \quad (3-5)$$

เมื่อ เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ แทน ค่าร้อยละของการดูดซึมน้ำ (% Absorption)

W_1 แทน น้ำหนักไม้เนื้ออ่อนที่แห้ง, (N)

W_2 แทน น้ำหนักไม้เนื้ออ่อนที่ดูดซึมน้ำ, (N)

$$3.8.1.3 \text{ ปริมาณความชื้น } = \frac{M2 - M1}{M1} \times 100 \quad (\%) \quad (3-6)$$

เมื่อ ปริมาณความชื้น แทน ค่าร้อยละของการดูดซึมน้ำ (% Moisture Content)

M_1 แทน น้ำหนักไม้เนื้ออ่อนเริ่มต้น, (N)

M_2 แทน น้ำหนักไม้เนื้ออ่อนที่อบแห้ง, (N)

3.8.1.4 วิเคราะห์ข้อมูลคุณลักษณะที่ต้องการด้านลักษณะทั่วไป และความต้านทานแรงอัดใช้สถิติในการหาความต้านทานแรงอัดเฉลี่ย โดยใช้สูตร

$$\text{หน่วยแรงอัด, } \sigma = \frac{P}{A} \quad (\text{Mpa}) \quad (3-7)$$

เมื่อ σ แทน ความต้านทานแรงอัด, นิวตัน ต่อ ตารางมิลลิเมตร

P แทน แรงอัดที่ทำให้ขึ้นทดสอบวิบัติ, กิโลกรัมนิวตัน

A แทน พื้นที่รับแรงอัด, ตารางมิลลิเมตร

$$3.8.1.5 \text{ ความเครียดอัดที่จุดจำกัดสัดส่วน (Compressive Stress at Proportional Limit)} \quad (3-8)$$

$$\sigma_{pl} = \frac{\text{หน่วยแรงอัดที่จุดจำกัดสัดส่วน (นิวตัน)}}{\text{พื้นที่หน้าตัด (ตารางมิลลิเมตร)}}$$

$$3.8.1.6 \text{ ความเครียดที่จุดจำกัดสัดส่วน (Compressive Strain at Proportional Limit)}$$

$$\delta_{pl} = \frac{\text{การเปลี่ยนรูปที่จุดจำกัดสัดส่วน (มิลลิเมตร)}}{\text{ความยาวของตัวอย่างไม้ (มิลลิเมตร)}} \quad (3-9)$$

$$3.8.1.7 \text{ หน่วยแรงอัดที่ยอมให้ (0.05% offset Yielding Compressive Stress)}$$

$$\sigma_y = \frac{\text{หน่วยแรงอัดที่ยอมให้ 0.05% (นิวตัน)}}{\text{พื้นที่หน้าตัด (มิลลิเมตร)}} \quad (3-10)$$

3.8.1.6 หน่วยแรงอัดสูงสุด (Ultimate Compressive Stress)

$$\sigma_u = \frac{\text{หน่วยแรงอัดสูงสุด(นิวตัน)}}{\text{พื้นที่หน้าตัด(มิลลิเมตร)}} \quad (3-11)$$

3.8.1.7 โมดูลัสความยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity)

$$E = \frac{\text{หน่วยแรงอัดที่จุดจำกัดสัดส่วน (เมกะปาสกาล)}}{\text{ความเครียดที่จุดจำกัดสัดส่วน (มิลลิเมตร)}} \quad (3-12)$$



บทที่ 4

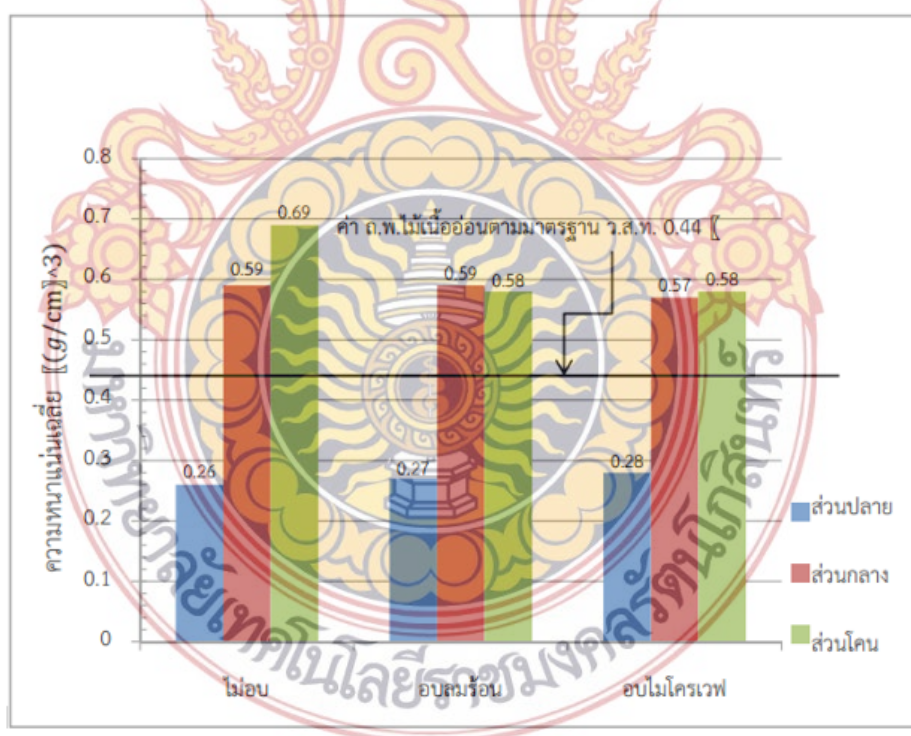
ผลการทดลอง

จากการทดสอบไม้ยางพาราที่ผ่านการอบสารเคมีเป็นเวลา 24 ชั่วโมงและผ่านการอบสารเคมีส่วน สารเคมีละลายในน้ำมัน (Chemical oil soluble) และสารเคมีประเภทน้ำมัน (Chemical fuel type) 24 ชั่วโมง ได้ทำการศึกษาวิธีการ ขั้นตอนการผลิตและการทดสอบคุณสมบัติ ด้าน ความหนาแน่น และปริมาณการดูดซึมน้ำ การทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดทิศทางขนานเสี้ยน และทิศทางตั้งฉากของไม้ยางพาราหลังจากอบไล่ความชื้นด้วยไมโครเวฟ โดยแบ่งไม้ยางพาราออกเป็น 3 ส่วนได้แก่ ไม้ยางพาราส่วนปลาย ไม้ยางพาราส่วนกลาง ไม้ยางพาราส่วนโคน โดยใช้การอบไล่ความชื้นด้วยไมโครเวฟที่กำลังวัตต์ 100 วัตต์ และเตาอบลมร้อน 60 °c และระยะเวลาที่ต่างกัน เช่น ไม้ยางพาราขนาด 50x50x200 mm ที่ผ่านการอบสารเคมีประเภทน้ำมัน: ไม้ยางพาราส่วนปลาย ใช้เวลาในการอบ 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิความร้อน 60 °c ไม้ยางพาราส่วนปลาย ใช้เวลาในการอบ 8 ชั่วโมง 20 นาที ที่อุณหภูมิความร้อน 100 วัตต์ ไม้ยางพาราส่วนกลาง ใช้เวลาในการอบ 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิความร้อน 60 °c ไม้ยางพาราส่วนกลางใช้เวลาในการอบ 6 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิความร้อน 100 วัตต์ ไม้ยางพาราส่วนโคน ใช้เวลาในการอบ 48 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิความร้อน 60 °c ไม้ยางพาราส่วนโคน ใช้เวลาในการอบ 10 ชั่วโมง 20 นาที ที่อุณหภูมิความร้อน 100 วัตต์ ไม้ยางพาราขนาด 50x50x150 mm ที่ผ่านการอบสารเคมีประเภทน้ำมัน ไม้ยางพาราส่วนปลาย ใช้เวลาในการอบ 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิความร้อน 60 °c ไม้ยางพาราส่วนปลาย ใช้เวลาในการอบ 7 ชั่วโมง 20 นาที ที่อุณหภูมิความร้อน 100 วัตต์ , ไม้ยางพาราส่วนกลาง ใช้เวลาในการอบ 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิความร้อน 60 °c ไม้ยางพาราส่วนกลาง ใช้เวลาในการอบ 5 ชั่วโมง 20 นาที ที่อุณหภูมิความร้อน 60 °c ไม้ยางพาราส่วนปลาย ใช้เวลาในการอบ 5 ชั่วโมง 30 นาที ที่อุณหภูมิความร้อน 100 วัตต์ ไม้ยางพาราส่วนกลาง ใช้เวลาในการอบ 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิความร้อน 60 °c ไม้ยางพาราส่วนกลาง ใช้เวลาในการอบ 5 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิความร้อน 100 วัตต์ ไม้ยางพาราส่วนโคน ใช้เวลาในการอบ 48 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิความร้อน 60 °c ไม้ยางพาราส่วนโคนใช้เวลาในการอบ 8 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิความร้อน 100 วัตต์ : ไม้ยางพาราขนาด 50x50x150 mm ที่ผ่านการอบสารเคมีประเภทละลายในน้ำมันโซล่า: ไม้ยางพาราส่วนปลาย ใช้เวลาในการอบ 12 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิความร้อน 60 °c ไม้ยางพาราส่วนปลาย ใช้เวลาในการอบ 3 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิความร้อน 100 วัตต์ , ไม้ยางพาราส่วนกลาง ใช้เวลาในการอบ 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิความร้อน 60 °c ไม้ยางพาราส่วนกลาง ใช้เวลาในการอบ 2 ชั่วโมง 40 นาที ที่อุณหภูมิความร้อน 100 วัตต์ , ไม้ยางพาราส่วนโคน ใช้เวลาในการอบ 48 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิความร้อน 60 °c ไม้ยางพาราส่วนโคน ใช้เวลาในการอบ 8 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิความร้อน 100 วัตต์และนำมาเปรียบเทียบ

4.1 ค่าความหนาแน่นของตัวอย่างไม้ยางพารา

ตารางที่ 4-1 ผลการทดสอบหาค่าความหนาแน่นของตัวอย่างไม้ยางพาราขนาด 50x50x150 mm ทิศทางตั้งฉากกับเส้น

ประเภทสารเคมี	ส่วนของไม้ยางพารา	ความหนาแน่นเฉลี่ย (g/cm^3)		
		ไม้อบ	อบลมร้อน	อบไมโครเวฟ
สารน้ำมัน	ส่วนปลาย	0.26	0.28	0.29
	ส่วนกลาง	0.59	0.59	0.57
	ส่วนโคน	0.69	0.58	0.58
สารละลายในน้ำมัน	ส่วนปลาย	0.31	0.36	0.33
	ส่วนกลาง	0.61	0.61	0.57
	ส่วนโคน	0.74	0.61	0.60

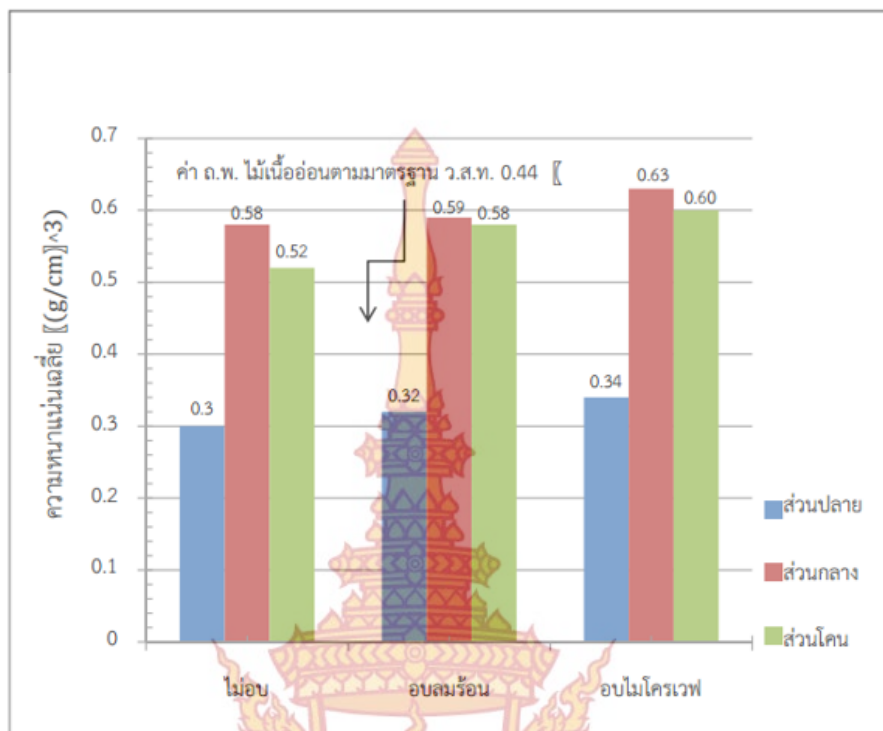


รูปที่ 4.1 ความหนาแน่นของไม้ยางพาราที่ไม่ผ่านการอบสารเคมีประเภทน้ำมัน ทิศทางตั้งฉากกับเส้น

จากรูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นของไม้ตัวอย่างทั้ง 3 ส่วน ได้แก่ ไม้ยางพาราส่วนปลาย ไม้ยางพาราส่วนกลาง และไม้ยางพาราส่วนโคนที่ผ่านการอบสารเคมี ประเภทน้ำมัน 24 ชั่วโมง โดยใช้กำลังความร้อนจากเตาอบที่อุณหภูมิความร้อน 60 °c และกำลังความร้อนจากไมโครเวฟที่อุณหภูมิ 100 วัตต์ แล้วนำค่าความหนาแน่นของไม้ยางพาราทั้ง 3 ส่วน ที่อบสารเคมีประเภทน้ำมันมาเปรียบเทียบกับค่าตามตารางคุณสมบัติของไม้เนื้ออ่อนของ ซึ่งมีความหนาแน่นเท่ากับ 0.44 (g/cm³) พบว่า ไม้ยางพาราส่วนกลาง และไม้ยางพาราส่วนโคน ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานค่าความหนาแน่นของไม้ยางพารา ส่วนไม้ยางพาราส่วนปลายมีค่าความหนาแน่นน้อยที่สุดและไม่ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานค่าความหนาแน่นของไม้ยางพารา โดยที่ไม้ยางพาราทั้ง 3 ส่วน ที่ผ่านการอบสารเคมีประเภทน้ำมัน และอบไล่ความชื้นด้วยลมร้อนและพลังงานจากเตาอบไมโครเวฟ โดยใช้ระยะเวลาที่ต่างกัน ไม้ยางพาราส่วนโคนที่ไม่ผ่านการอบไล่ความชื้น มีค่าความหนาแน่นเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 0.69 (g/cm³) เมื่อนำค่าความหนาแน่นมาเปรียบเทียบกับไม้ยางพาราส่วนโคนที่ผ่านการอบไล่ความชื้นทั้ง 2 วิธี

ตารางที่ 4-2 ผลการทดสอบการหาค่าความหนาแน่นของตัวอย่างไม้ยางพาราขนาด 50x50x200 mm ทิศทางขนานกับเส้น

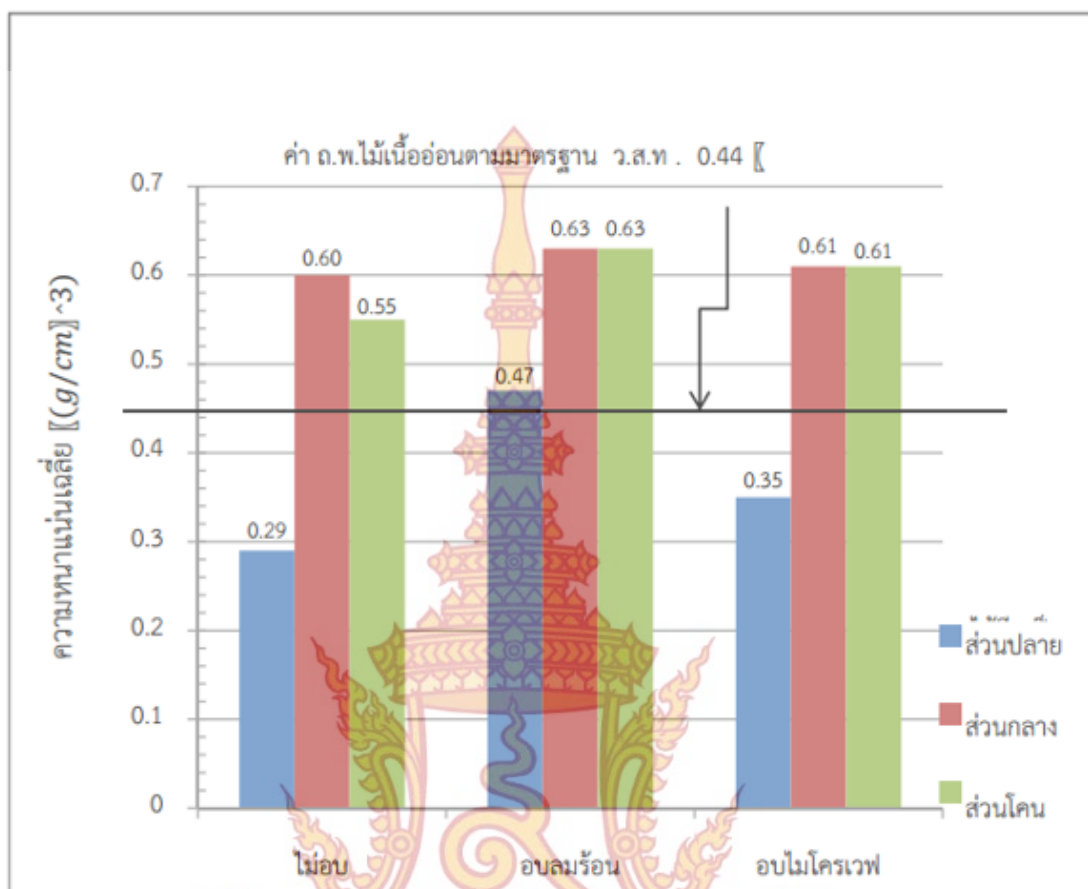
ประเภทสารเคมี	ส่วนของไม้ยางพารา	ความหนาแน่นเฉลี่ย (g/cm ³)		
		ไม้อบ	อบลมร้อน	อบไมโครเวฟ
สารน้ำมัน	ส่วนปลาย	0.3	0.32	0.34
	ส่วนกลาง	0.58	0.59	0.63
	ส่วนโคน	0.52	0.58	0.60
สารละลายในน้ำมัน	ส่วนปลาย	0.29	0.47	0.35
	ส่วนกลาง	0.60	0.63	0.61
	ส่วนโคน	0.55	0.63	0.61



รูปที่ 4.2 ความหนาแน่นของไม้ยางพาราที่ผ่านการอบสารเคมีประเภทน้ำมันในทิศทางขนานเส้น

จากรูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นของไม้ตัวอย่างทั้ง 3 ส่วน ได้แก่ ไม้ยางพาราส่วนปลาย ไม้ยางพาราส่วนกลาง และไม้ยางพาราส่วนโคน ที่ผ่านการอบสารเคมีประเภทน้ำมัน 24 ชั่วโมง โดยใช้ความร้อนจากเตาอบที่อุณหภูมิความร้อน 60°C และความร้อนจากไมโครเวฟ ที่อุณหภูมิ 100 วัตต์ แล้วนำค่าความหนาแน่นของไม้ยางพาราทั้ง 3 ส่วน ที่อบสารเคมีประเภทน้ำมันมาเปรียบเทียบกับค่าตามตารางคุณสมบัติของไม้เนื้ออ่อน ซึ่งมีความหนาแน่นเท่ากับ $0.44 \text{ (g/cm}^3\text{)}$ เมื่อนำค่าตัวอย่างความหนาแน่นเฉลี่ยของตัวอย่างไม้ยางพาราทั้ง 3 ส่วน ที่ผ่านการอบสารเคมีประเภทน้ำมัน แล้วผ่านการอบไล่ความชื้นด้วยลมร้อนและพลังงานจากเตาอบไมโครเวฟ เปรียบเทียบกันพบว่า ตัวอย่างไม้ยางพาราทั้ง 3 ส่วนที่นำมาทดสอบความหนาแน่น ไม้ยางพาราส่วนกลาง และไม้ยางพาราส่วนโคน ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานค่าความหนาแน่นของไม้ยางพารา ส่วนไม้ยางพาราส่วนปลายมีค่าความหนาแน่นน้อยที่สุด และไม่ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานค่าความหนาแน่นของไม้ยางพารา โดยที่ไม้ยางพาราทั้ง 3 ส่วน ที่ผ่านการอบสารเคมีประเภทน้ำมัน 5 ลิตร และอบไล่ความชื้นด้วยลมร้อนและพลังงานจากเตาอบไมโครเวฟ โดยใช้ระยะเวลาที่ต่างกัน ไม้ยางพาราส่วนกลางที่ผ่านการอบสารเคมีประเภทน้ำมัน และผ่านการอบไล่ความชื้นด้วยเตาอบไมโครเวฟ มีค่าความหนาแน่นเฉลี่ยสูงสุด เท่ากับ $0.63 \text{ (g/cm}^3\text{)}$ เมื่อนำค่าความหนาแน่นมาเปรียบเทียบกับ ไม้ยางพาราส่วนกลางที่ผ่าน

การอบสารเคมีประเภทน้ำมัน 5 ลิตร อบด้วยลมร้อน มีค่าความหนาแน่นเฉลี่ยลดลงเท่ากับ $0.59 \text{ (g/cm}^3\text{)}$ และมีค่าความหนาแน่นเฉลี่ยใกล้เคียงกันกับไม้ยางพาราส่วนกลางที่ไม่ผ่านการอบเท่ากับ $0.58 \text{ (g/cm}^3\text{)}$ ซึ่งเห็นได้ว่าเมื่อนำไม้ยางพาราส่วนกลางที่ผ่านการอบสารเคมีประเภทน้ำมันมาอบไล่ความชื้นด้วยลมร้อนและเตาอบไมโครเวฟ ทำให้ความหนาแน่นสูงขึ้นไม้ยางพาราส่วนโคนที่ผ่านการอบสารเคมีประเภทน้ำมัน 5 ลิตรผ่านการอบด้วยเตาอบไมโครเวฟจะมีค่าความหนาแน่นเฉลี่ยเท่ากับ $0.60 \text{ (g/cm}^3\text{)}$ จะมีค่าความหนาแน่นเฉลี่ยลดลงรองลงมาเป็นไม้ยางพาราส่วนกลางที่ไม่ผ่านการอบ และไม้ยางพาราส่วนกลางที่ผ่านการอบด้วยลมร้อนมีค่าความหนาแน่นเฉลี่ยเท่ากับ $0.58 \text{ (g/cm}^3\text{)}$ เมื่อนำเปรียบเทียบกับไม้ยางพาราส่วนกลางที่ไม่ผ่านการอบด้วยพลังงานความร้อนด้วยลมร้อนไมโครเวฟมีค่าความหนาแน่นเฉลี่ยเท่ากับ $0.52 \text{ (g/cm}^3\text{)}$ พบว่าไม้ยางพาราส่วนกลางที่ผ่านการอบสารเคมีประเภทน้ำมันและนำมาอบไล่ความชื้น จะมีค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้น เมื่อได้รับความร้อนจากเตาอบไมโครเวฟและลมร้อนส่วนไม้ยางพาราส่วนปลายที่ผ่านการอบสารเคมีประเภทน้ำมันและผ่านการอบด้วยเตาอบไมโครเวฟ มีค่าความหนาแน่นเฉลี่ย เท่ากับ $0.34 \text{ (g/cm}^3\text{)}$ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าความหนาแน่นเฉลี่ยของไม้ยางพาราส่วนปลายที่ผ่านการอบสารเคมีประเภทน้ำมันและไม่ผ่านการอบมีค่าความหนาแน่นเฉลี่ยเท่ากับ $0.30 \text{ (g/cm}^3\text{)}$ และไม้ยางพาราส่วนปลายที่ผ่านการอบสารเคมีประเภทน้ำมันและอบด้วยลมร้อนมีค่าความหนาแน่นเฉลี่ยเท่ากับ $0.32 \text{ (g/cm}^3\text{)}$ พบว่าไม้ยางพาราส่วนปลายที่ผ่านการอบสารเคมีประเภทน้ำมันและผ่านการอบด้วยลมร้อนและเตาอบไมโครเวฟจะมีค่าความหนาแน่นเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นจากค่าความหนาแน่นของไม้ยางพาราส่วนปลายที่ไม่ผ่านการอบจากรูปที่ 4-3 จะเห็นได้ว่า ไม้ยางพาราทั้ง 3 ส่วนที่นำมาทดสอบจะมีค่าความหนาแน่นเฉลี่ยใกล้เคียงกันและเพิ่มขึ้นเมื่อโดนความร้อน คือ ไม้ยางพาราส่วนกลาง ไม้ยางพาราส่วนโคน และไม้ยางพาราส่วนปลายซึ่งเกิดมาจากน้ำหนักของตัวอย่างไม้ยางพาราที่อบสารเคมีประเภทน้ำมัน และนำไปอบไล่ความชื้นด้วยลมร้อนและเตาอบไมโครเวฟ ที่ใช้ระยะเวลาและอุณหภูมิความร้อนต่างกัน ไม้ยางพาราส่วนใดมีค่าน้ำหนักของตัวอย่างไม้ทดสอบสูงกว่าก็จะทำให้ค่าความหนาแน่นของไม้สูงขึ้นตามไปด้วย



รูปที่ 4.3 ความหนาแน่นของไม้ยางพาราที่ผ่านการอบสารเคมีประเภทละลายในน้ำมันโซล่า

ทิศทางตั้งฉากเสี้ยน

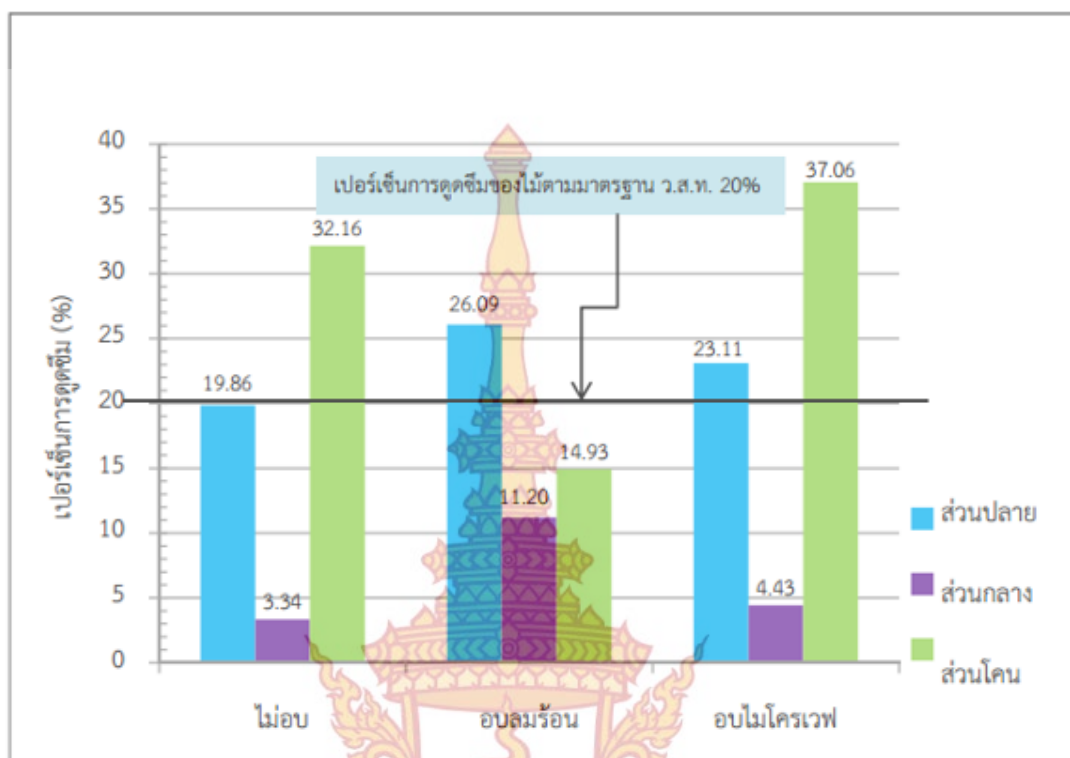
จากรูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นของไม้ตัวอย่างทั้ง 3 ส่วน ได้แก่ ไม้ยางพาราส่วนปลาย ไม้ยางพาราส่วนกลาง และไม้ยางพาราส่วนโคนที่ผ่านการอบสารเคมีประเภทน้ำมัน 24 ชั่วโมง โดยใช้กำลังความร้อนจากเตาอบที่อุณหภูมิความร้อน 60°C , และกำลังความร้อนจากไมโครเวฟที่อุณหภูมิ 100 วัตต์ แล้วนำค่าความหนาแน่นของไม้ยางพาราทั้ง 3 ส่วน ที่อบสารเคมีประเภทละลายน้ำมันโซล่ามาเปรียบเทียบกับค่าตามตารางคุณสมบัติของไม้เนื้ออ่อน ของ สุธเดช จันทรานุรักษ์ ซึ่งมีความหนาแน่นเท่ากับ $0.44 \text{ (g/cm}^3\text{)}$ เมื่อนำค่าตัวอย่างความหนาแน่นเฉลี่ยของตัวอย่างไม้ยางพาราทั้ง 3 ส่วน ที่ผ่านการอบสารเคมีประเภทละลายในน้ำมันโซล่า อบด้วยความชื้นด้วยลมร้อนและพลังงานจากเตาอบไมโครเวฟ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกัน พบว่า ตัวอย่างไม้ยางพาราทั้ง 3 ส่วนที่นำมาทดสอบความหนาแน่น ไม้ยางพาราส่วนกลาง และไม้ยางพาราส่วนโคน ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานค่าความหนาแน่นของไม้ยางพารา ส่วนไม้ยางพาราส่วนปลายมีค่าความหนาแน่นน้อยที่สุด และไม่ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานค่าความหนาแน่นของไม้ยางพาราโดยที่ไม้ยางพารา

ทั้ง 3 ส่วน ที่ผ่านการอบสารเคมีประเภทละลายในน้ำมันโซล่า และอบไล่ความชื้นด้วยลมร้อนและพลังงานจากเตาอบไมโครเวฟ โดยใช้ระยะเวลาที่ต่างกัน ไม้ยางพาราส่วนโคนและไม้ยางพาราส่วนกลางที่ผ่านการอบสารเคมีประเภทละลายในน้ำมันโซล่า อบไล่ความชื้นด้วยลมร้อนมีค่าความหนาแน่นเฉลี่ยสูงสุดเท่ากัน เท่ากับ $0.63 \text{ (g/cm}^3\text{)}$ ไม้ยางพาราส่วนโคนและไม้ยางพาราส่วนกลางที่ผ่านการอบสารเคมีประเภทละลายในน้ำมันโซล่า อบด้วยเตาอบไมโครเวฟมีค่าความหนาแน่นเฉลี่ยเท่ากันเท่ากับ $0.61 \text{ (g/cm}^3\text{)}$ เมื่อนำค่าความหนาแน่นมาเปรียบเทียบกับไม้ยางพาราส่วนโคน และไม้ยางพาราส่วนกลางที่ผ่านการอบสารเคมีประเภทละลายในน้ำมันโซล่า 1/5 ลิตรไม่ผ่านการอบไล่ความชื้นด้วยลมร้อนและอบด้วยเตาอบไมโครเวฟจะมีค่าความหนาแน่นเฉลี่ย ไม้ยางพาราส่วนกลางเท่ากับ $0.60 \text{ (g/cm}^3\text{)}$ ไม้ยางพาราส่วนโคน เท่ากับ $0.55 \text{ (g/cm}^3\text{)}$ พบว่าเมื่อไม้ยางพาราส่วนกลางและไม้ยางพาราส่วนโคนได้ผ่านการอบสารเคมีประเภทละลายในน้ำมันโซล่า 1/5 ลิตร ตัวอย่างไม้มีค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้นเมื่อนำมาอบไล่ความชื้นด้วยลมร้อนและเตาอบไมโครเวฟ ส่วนไม้ยางพาราส่วนปลายที่ผ่านการอบสารเคมีประเภทน้ำมันและผ่านการอบด้วยลมร้อน มีค่าความหนาแน่นเฉลี่ยสูงสุดและผ่านเกณฑ์มาตรฐานค่ามาตรฐานของไม้ยางพารา เท่ากับ $0.47 \text{ (g/cm}^3\text{)}$ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าความหนาแน่นเฉลี่ย ของไม้ยางพาราส่วนปลายที่ผ่านการอบสารเคมีประเภทละลายในน้ำมันโซล่า และไม่ผ่านการอบ มีค่าความหนาแน่นเฉลี่ย เท่ากับ $0.29 \text{ (g/cm}^3\text{)}$ และไม้ยางพาราส่วนปลายที่ผ่านการอบสารเคมีประเภทน้ำมัน และอบด้วยเตาอบไมโครเวฟ มีค่าความหนาแน่นเฉลี่ย เท่ากับ $0.35 \text{ (g/cm}^3\text{)}$ พบว่า ไม้ยางพาราส่วนปลายที่ผ่านการอบสารเคมีประเภทละลายในน้ำมันโซล่า และผ่านการอบด้วยลมร้อนและ เตาอบไมโครเวฟ จะมีค่าความหนาแน่นเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นจากค่าความหนาแน่นของไม้ยางพาราส่วนปลายที่ไม่ผ่านการอบ รูปที่ 4-4 จะเห็นได้ว่าในแต่ละส่วนของไม้ยางพาราที่นำมาทดสอบจะมีค่าความหนาแน่นเฉลี่ยใกล้เคียงกันและสูงขึ้น เมื่อนำมาอบด้วยความร้อน ส่วนไม้ยางพาราส่วนปลายที่ผ่านการอบสารเคมีประเภทน้ำมัน และไม่อบจะมีค่าความหนาแน่นเฉลี่ยน้อยสุด เมื่อเทียบกับไม้ยางพาราส่วนกลางและไม้ยางพาราส่วนโคน แต่เมื่อนำไม้ยางพาราส่วนปลายที่ผ่านการอบสารเคมี มาอบด้วยลมร้อน และเตาอบไมโครเวฟ จะมีค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้น ซึ่งเกิดมาจากน้ำหนักของตัวอย่างไม้ยางพาราที่อบสารเคมีประเภทละลายในน้ำมันโซล่า นำไปอบไล่ความชื้นด้วยลมร้อนและเตาอบไมโครเวฟ ที่ใช้ระยะเวลาและอุณหภูมิความร้อนต่างกัน ไม้ยางพาราส่วนใดมีค่าน้ำหนักของตัวอย่างไม้ทดสอบสูงกว่าก็จะทำให้ค่าความหนาแน่นของไม้สูงขึ้นตามไปด้วย

4.2 ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมของตัวอย่างไม้ยางพาราที่ผ่านการอบสารเคมี

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบหาค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมของตัวอย่างไม้ยางพารา ขนาด 50x50x150 mm ทิศทางตั้งฉากกับเส้น

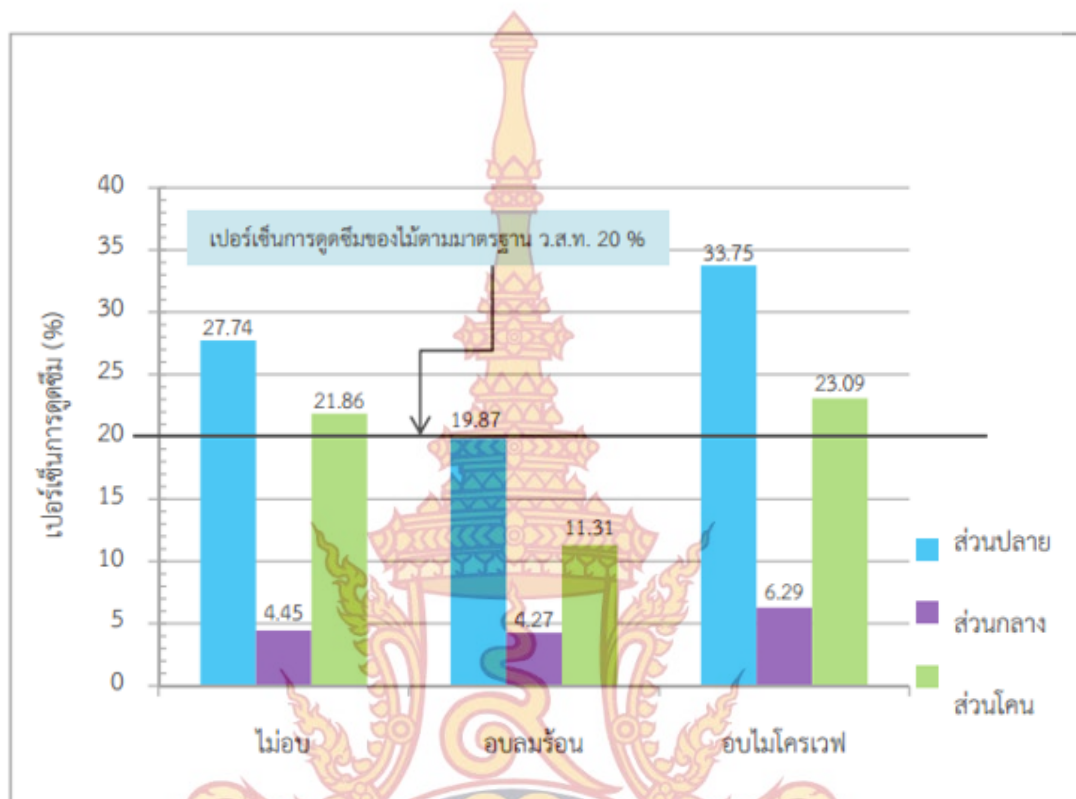
ประเภทสารเคมี	ชนิดไม้	ค่าการดูดซึมเฉลี่ย (%)		
		ไม่อบ	อบลมร้อน	อบไมโครเวฟ
สารน้ำมัน	ไม้ยางพารา ส่วน ปลาย	19.86	26.09	23.11
	ไม้ยางพารา ส่วนกลาง	3.34	11.20	4.43
	ไม้ยางพารา ส่วนโคน	32.16	14.93	37.06
สารละลายในน้ำมัน	ไม้ยางพารา ส่วน ปลาย	27.74	19.87	33.75
	ไม้ยางพารา ส่วนกลาง	4.45	4.27	6.29
	ไม้ยางพารา ส่วนโคน	21.86	11.31	23.09



รูปที่ 4.4 การดูดซึมน้ำของไม้ที่ผ่านการอบสารเคมีสารเคมีประเภทน้ำมัน ทิศทางตั้งฉากเส้น

จากรูปที่ 4.4 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของไม้ที่ผ่านการอบสารเคมีประเภทน้ำมัน ที่มีผลต่อไม้ 3 ส่วนโดยที่ไม้อย่างพาราส่วนโคนที่อบสารเคมีประเภทน้ำมัน และผ่านการอบไล่ความชื้นด้วยเตาอบไมโครเวฟ มีการดูดซึมน้ำที่สูงสุดเท่ากับ 37.06 % และไม้อย่างพาราส่วนโคนที่ผ่านการอบสารเคมีประเภทน้ำมัน ไม่ผ่านการอบ มีการดูดซึมน้ำเท่ากับ 32.16 % และไม้อย่างพาราส่วนปลายที่ผ่านการอบสารเคมีประเภทน้ำมัน และอบด้วยลมร้อน มีการดูดซึมน้ำเท่ากับ 26.09 % ไม้อย่างพาราส่วนปลายที่ผ่านการอบสารเคมีประเภทน้ำมัน และอบด้วยเตาอบไมโครเวฟ มีการดูดซึมน้ำเท่ากับ 23.11 % ส่วนไม้อย่างพาราส่วนกลางที่ผ่านการอบสารเคมีประเภทน้ำมัน และอบด้วยเตาอบไมโครเวฟ มีการดูดซึมน้ำเท่ากับ 4.43 % และไม้อย่างพาราส่วนกลางที่ผ่านการอบสารเคมีและไม่ผ่านการอบ มีค่าการดูดซึมน้ำที่ต่ำสุดเท่ากับ 3.34 % จากรูปที่ 4-5 จะเห็นว่าค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของไม้อย่างพาราทั้ง 3 ส่วน มีการดูดซึมน้ำที่ต่างกัน เนื่องจากในแต่ละส่วนไม้อย่างพาราจะมีช่องว่างและรูพรุนที่ต่างกัน จะสังเกตเห็นได้ว่าไม้อย่างพาราส่วนโคนที่มีการดูดซึมน้ำมากที่สุด มากกว่าไม้ส่วนอื่นที่นำมาทดสอบ ที่ผ่านการอบสารเคมี

ไม้ยางพาราทั้ง 3 ส่วน ที่นำมาทดสอบจะมีเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำที่ไม่แตกต่างกันมาก การดูดซึมน้ำจะสูงขึ้นๆ อยู่กับปริมาณน้ำหนักของตัวอย่างไม้ที่ทดสอบ



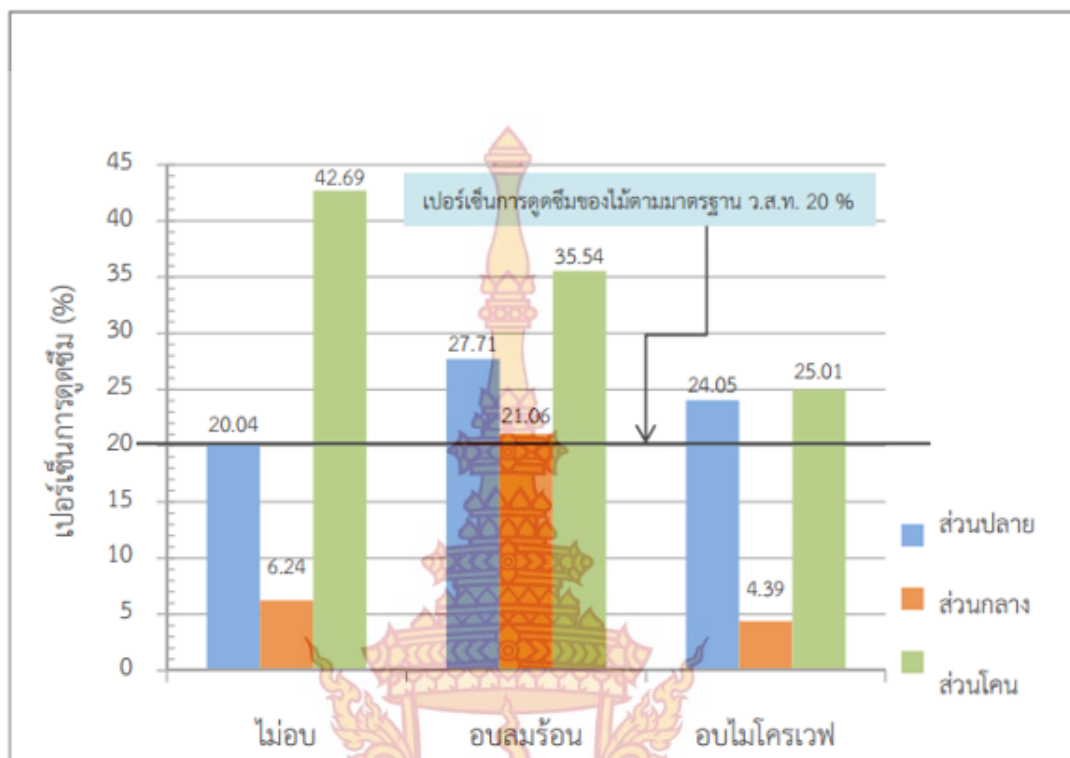
รูปที่ 4.5 การดูดซึมน้ำของไม้ที่ผ่านการอบสารเคมีประเภทละลายในน้ำมันโซล่า 0.5 ลิตร
ทิศทางตั้งฉากเสี้ยน

จากรูปที่ 4.5 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำสารเคมีประเภทละลายในน้ำมันโซล่า 1/5 ลิตร ที่มีผลต่อไม้ยางพาราทั้ง 3 ส่วนโดยที่ไม้ยางพาราส่วนปลายที่อบสารเคมีประเภทละลายในน้ำมันโซล่า 1/5 ลิตร และผ่านการอบไล่ความชื้นด้วยเตาอบไมโครเวฟ มีการดูดซึมน้ำสารเคมีที่สูงสุดเท่ากับ 33.75 % และไม้ยางพาราส่วนปลายที่ผ่านการอบสารเคมีประเภทละลายในน้ำมันโซล่า ไม่ผ่านการอบมีการดูดซึมน้ำเท่ากับ 27.74 % ไม้ยางพาราส่วนปลายที่ผ่านการอบสารเคมีประเภทละลายในน้ำมันโซล่าและอบด้วยลมร้อน มีการดูดซึมน้ำเท่ากับ 19.87 % รองลงมาเป็นไม้ยางพาราส่วนโคนที่ผ่านการอบสารเคมีประเภทละลายในน้ำมันโซล่า และอบด้วยเตาอบไมโครเวฟ มีการดูดซึมน้ำเท่ากับ 23.09 % ไม้ยางพาราส่วนโคนที่ผ่านการอบสารเคมีประเภทละลายในน้ำมันโซล่า ไม่ผ่านการอบ มีการดูดซึมน้ำเท่ากับ 21.86 % ส่วนไม้ยางพาราส่วนกลางที่ผ่านการอบสารเคมีประเภทละลายในน้ำมันโซล่า และอบด้วยลมร้อน มีการดูดซึมน้ำเท่ากับ 11.31 % ไม้ยางพาราส่วนกลางที่ผ่านการอบสารเคมีประเภทละลายในน้ำมันโซล่า และอบด้วยเตาอบไมโครเวฟ มีการดูดซึมน้ำเท่ากับ 6.29% และไม้ยางพาราส่วนกลางที่ผ่านการอบสารเคมี และไม่ผ่านการอบ มีค่าการดูดซึมน้ำที่เท่ากับ 4.45 % และไม้ยางพาราส่วนกลางที่

ผ่านการอบสารเคมี อบด้วย มีค่าการดูดซึมน้ำที่ต่ำสุดมีการดูดซึมน้ำ เท่ากับ 4.27% จากรูปที่ 4-6 จะเห็นได้ว่าค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของไม้ยางพาราทั้ง 3 ส่วน มีการดูดซึมน้ำสารเคมีประเภทละลายในน้ำมันโซล่า ที่แตกต่างกัน เนื่องจากในแต่ละส่วนไม้ยางพาราจะมีช่องว่างและรูพรุนที่ต่างกัน จะสังเกตเห็นได้ว่าไม้ยางพาราส่วนโคนมีการดูดซึมน้ำสารเคมีประเภทละลายในน้ำมัน มากกว่าไม้ส่วนอื่นที่นำมาทดสอบที่ผ่านการอบสารเคมี ไม้ยางพาราทั้ง 3 ส่วน ที่นำมาทดสอบจะมีเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำที่ไม่แตกต่างกันมาก การดูดซึมน้ำจะสูงขึ้นๆ อยู่กับปริมาณน้ำหนักของตัวอย่างไม้

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบหาค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของตัวอย่างไม้ยางพาราขนาด 50x50x200 mm ทิศทางขนานกับเส้น

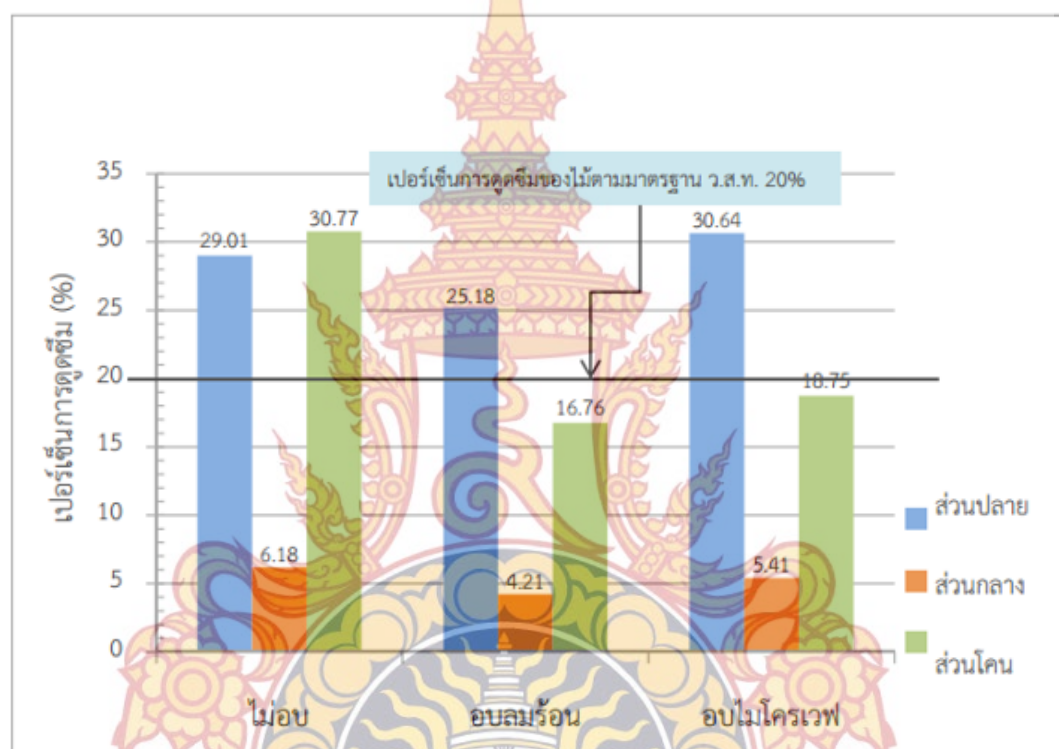
ประเภทสารเคมี	ชนิดไม้	ค่าการดูดซึมน้ำเฉลี่ย (%)		
		ไม้อบ	อบลมร้อน	อบไมโครเวฟ
สารน้ำมัน	ไม้ยางพารา ส่วนปลาย	20.04	27.71	24.05
	ไม้ยางพารา ส่วนกลาง	6.24	21.06	4.39
	ไม้ยางพารา ส่วนโคน	42.69	35.54	25.01
สารละลายในน้ำมัน	ไม้ยางพารา ส่วนปลาย	29.01	25.18	30.64
	ไม้ยางพารา ส่วนกลาง	6.18	4.21	5.41
	ไม้ยางพารา ส่วนโคน	30.77	16.76	18.75



รูปที่ 4.6 การดูดซึมน้ำของไม้ยางพาราที่ผ่านการอบสารเคมีประเภทน้ำมัน

จากกราฟเป็นกราฟการหาค่าการดูดซึมของไม้ตัวอย่าง ขนาด 50x50x200 mm ทั้ง 3 ส่วน ได้แก่ ไม้ยางพาราส่วนปลาย ไม้ยางพาราส่วนกลาง และไม้ยางพาราส่วนโคน ที่ผ่านการอบสารเคมีประเภทน้ำมัน โดยที่ไม้ยางพาราส่วนโคนที่ผ่านการอบสารเคมีประเภทน้ำมัน ไม่ผ่านการอบ มีเปอร์เซ็นต์การดูดซึมสูงสุด เท่ากับ 42.69 % และไม้ยางพาราส่วนโคนที่ผ่านการอบสารเคมีประเภทน้ำมัน และผ่านการอบด้วยลมร้อน มีเปอร์เซ็นต์การดูดซึมเท่ากับ 35.54 % และไม้ยางพาราส่วนโคนที่ผ่านการอบสารเคมีประเภทน้ำมัน และผ่านการอบด้วยเตาอบไมโครเวฟ มีเปอร์เซ็นต์การดูดซึมเท่ากับ 25.01 % รองลงมาเป็นไม้ยางพาราส่วนปลายที่ผ่านการอบสารเคมีประเภทน้ำมัน ผ่านการอบด้วยลมร้อน มีเปอร์เซ็นต์การดูดซึมเท่ากับ 27.71 % ไม้ยางพาราส่วนปลายที่ผ่านการอบสารเคมีประเภทน้ำมัน ผ่านการอบด้วยเตาอบไมโครเวฟ มีเปอร์เซ็นต์การดูดซึมเท่ากับ 24.05 % และไม้ยางพาราส่วนปลายที่ผ่านการอบสารเคมีประเภทน้ำมัน ไม่ผ่านการอบ มีเปอร์เซ็นต์การดูดซึมเท่ากับ 20.04 % ส่วนไม้ยางพาราส่วนกลาง มีเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้อยที่สุด และไม้ยางพาราส่วนกลางที่ผ่านการอบสารเคมีประเภทน้ำมันอบด้วยลมร้อน มีเปอร์เซ็นต์การดูดซึมเท่ากับ 21.06 % ไม้ยางพาราส่วนกลางที่ผ่านการอบสารเคมีประเภทน้ำมัน ไม่ผ่านการอบ มีเปอร์เซ็นต์การดูดซึมเท่ากับ 6.24 % และไม้ยางพาราส่วนกลางที่ผ่านการอบสารเคมีประเภทน้ำมัน อบด้วยเตาอบไมโครเวฟ 4.39 % จากรูปที่ 4-7 จะเห็นว่าค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมของไม้ยางพาราส่วนโคนที่ผ่านการอบสารเคมีประเภทน้ำมัน มีการดูด

ซิมสารเคมีประเภทน้ำมัน ที่สูงกว่าตัวอย่างไม้ส่วนอื่น ที่นำมาทดสอบ เนื่องจากไม้ยางพาราส่วนโคน จะมีช่องว่างและรูพรุนในเนื้อไม้มาก จึงทำให้เปอร์เซ็นต์การดูดซิมสารเคมีประเภทน้ำมันที่สูงกว่า ตัวอย่างไม้ส่วนอื่น จะสังเกตเห็นได้ว่า ไม้ยางพาราส่วนโคนที่ผ่านการอบสารเคมีประเภทน้ำมัน จะมีค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซิมที่มากกว่า ไม้ยางพาราส่วนกลางและไม้ยางพาราส่วนปลาย ต่างก็ขึ้นอยู่กับน้ำหนักของไม้ยางพาราทั้ง 3 ส่วน ตัวอย่างไม้ที่มีน้ำหนักมากจะมีเปอร์เซ็นต์การดูดซิมที่น้อยและถ้า ตัวอย่างไม้มีน้ำหนักน้อยก็จะมีเปอร์เซ็นต์การดูดซิมสูงขึ้นด้วย



รูปที่ 4.7 การดูดซิมน้ำของไม้ยางพาราที่ผ่านการอบสารเคมีสารเคมีประเภทละลายในน้ำมัน 0.5 ลิตร

จากกราฟเป็นกราฟการหาค่าการดูดซิมของไม้ตัวอย่าง ขนาด 50x50x200 mm ทั้ง 3 ส่วน ได้แก่ ไม้ยางพาราส่วนปลาย ไม้ยางพาราส่วนกลาง โดยที่ไม้ยางพาราส่วนโคนที่ผ่านการอบสารเคมีประเภทละลายในน้ำมันโซล่า และไม้ผ่านการอบมีเปอร์เซ็นต์การดูดซิมสูงสุด เท่ากับ 30.77 % และไม้ยางพาราส่วนโคนที่ผ่านการอบสารเคมีประเภทละลายในน้ำมันโซล่า อบด้วยไมโครเวฟ มีเปอร์เซ็นต์การดูดซิมเท่ากับ 18.75 % และไม้ยางพาราส่วนโคนที่ผ่านการอบสารเคมีประเภทละลายในน้ำมันโซล่าอบด้วยลมร้อนอบไมโครเวฟ มีเปอร์เซ็นต์การดูดซิมเท่ากับ 16.76 % รองลงมาเป็นไม้ยางพาราส่วนปลายที่ผ่านการอบสารเคมีประเภทละลายในน้ำมันโซล่าอบด้วยเตาอบไมโครเวฟมีเปอร์เซ็นต์การดูดซิมเท่ากับ 30.64% ไม้ยางพาราส่วนปลายที่ผ่านการอบสารเคมีประเภทละลายในน้ำมันโซล่า ไม้ผ่าน

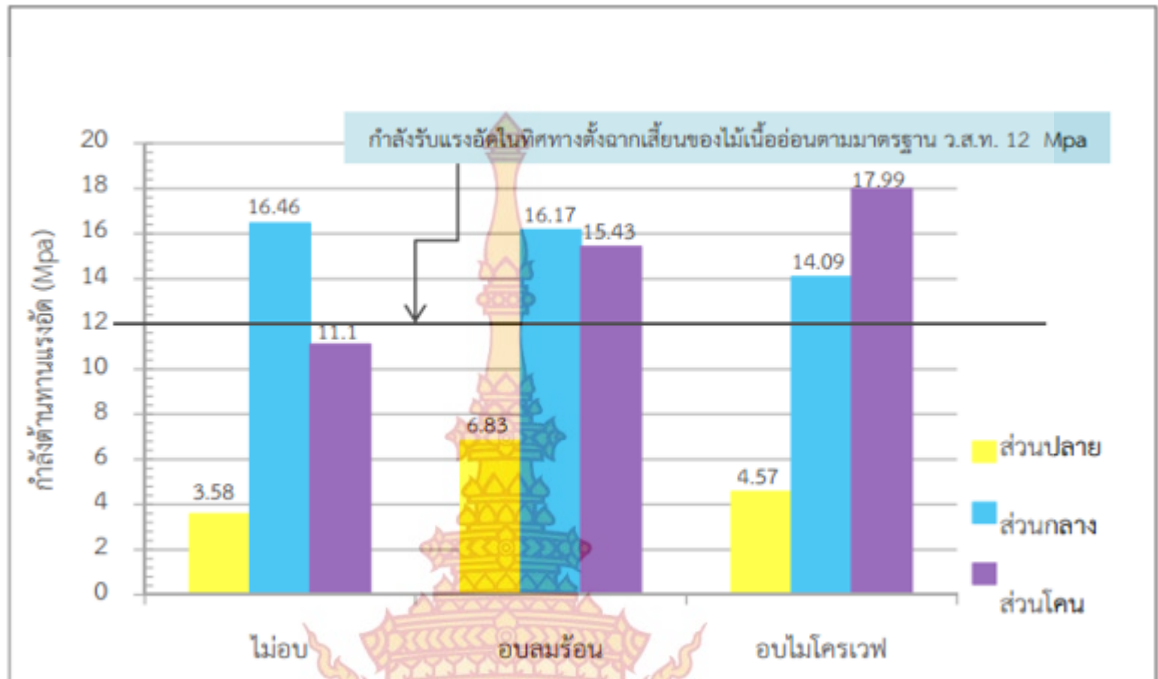
การอบ มีเปอร์เซ็นต์การดูดซึมเท่ากับ 29.01 % และไม้ยางพาราส่วนปลายที่ผ่านการอบสารเคมีประเภทละลายในน้ำมันโซล่าอบด้วยลมร้อน มีเปอร์เซ็นต์การดูดซึมเท่ากับ 25.18 % ส่วนไม้ยางพาราส่วนกลาง มีเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้อยสุด และไม้ยางพาราส่วนกลางที่ผ่านการอบสารเคมีประเภทละลายในน้ำมันโซล่าไม่ผ่านการอบมีเปอร์เซ็นต์การดูดซึมเท่ากับ 6.18 % ไม้ยางพาราส่วนกลางที่ผ่านการอบสารเคมีประเภทละลายในน้ำมันโซล่า อบด้วยไมโครเวฟ มีเปอร์เซ็นต์การดูดซึมเท่ากับ 5.41 % และไม้ยางพาราส่วนกลางที่ผ่านการอบสารเคมีประเภทละลายในน้ำมันโซล่า อบด้วยลมร้อน 4.21 % จากรูปที่ 4-8 จะเห็นได้ว่าค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมของไม้ยางพาราส่วนโคนและไม้ยางพาราส่วนปลายที่ผ่านการอบสารเคมีประเภทละลายในน้ำมันโซล่า มีการดูดซึมสารเคมีประเภทละลายในน้ำมันโซล่าที่สูงกว่าตัวอย่างไม้ยางพาราส่วนกลาง เนื่องจากไม้ยางพาราส่วนโคนและไม้ยางพาราส่วนปลาย มีช่องว่างและรูพรุนในเนื้อไม้มาก จึงทำให้เปอร์เซ็นต์การดูดซึมสารเคมีประเภทละลายในน้ำมันโซล่าที่สูงจะสังเกตเห็นได้ว่า ไม้ยางพาราส่วนโคนและไม้ยางพาราส่วนปลายที่ผ่านการอบสารเคมีประเภทละลายในน้ำมันโซล่า จะมีค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมที่มากกว่าไม้ยางพาราส่วนกลางเปอร์เซ็นต์การดูดซึมจะขึ้นอยู่กับน้ำหนักของไม้ยางพาราทั้ง 3 ส่วนตัวอย่างไม้ส่วนใดที่มีน้ำหนักมากจะมีเปอร์เซ็นต์การดูดซึมที่น้อย ซึ่งต่างจากตัวอย่างไม้ที่มีน้ำหนักน้อยก็จะมีเปอร์เซ็นต์การดูดซึมสูงขึ้นด้วย



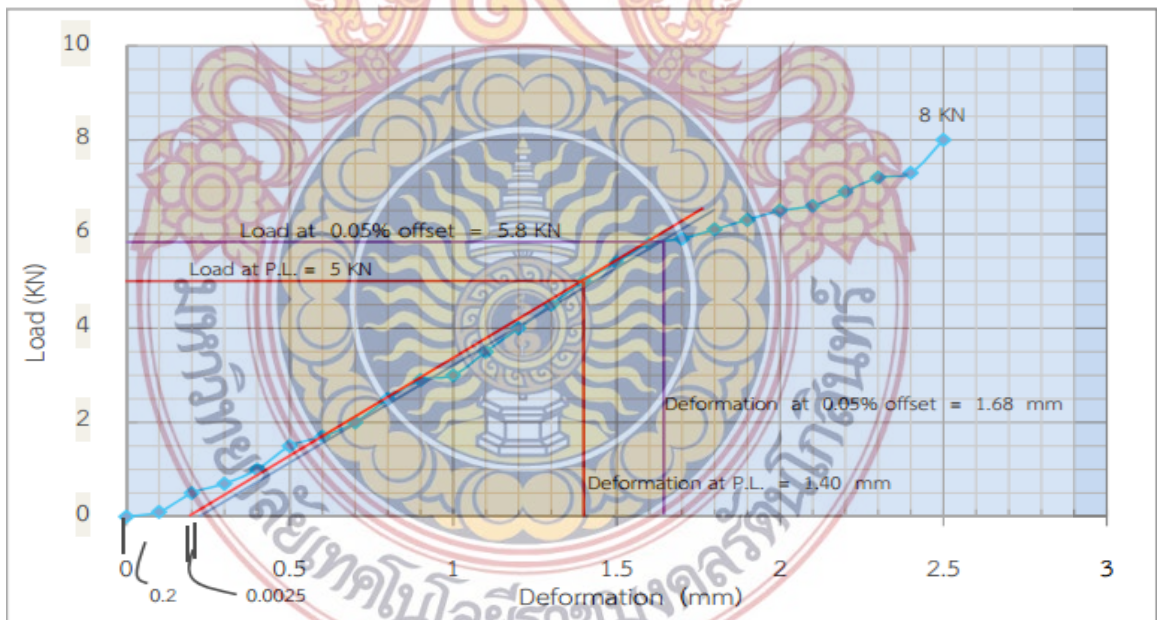
4.3 กำลังต้านทานแรงอัด ในทิศทางตั้งฉากกับเสี้ยนและในทิศทางขนานกับเสี้ยน

ตารางที่ 4-5 กำลังต้านทานแรงอัดในทิศทางตั้งฉากกับเสี้ยน

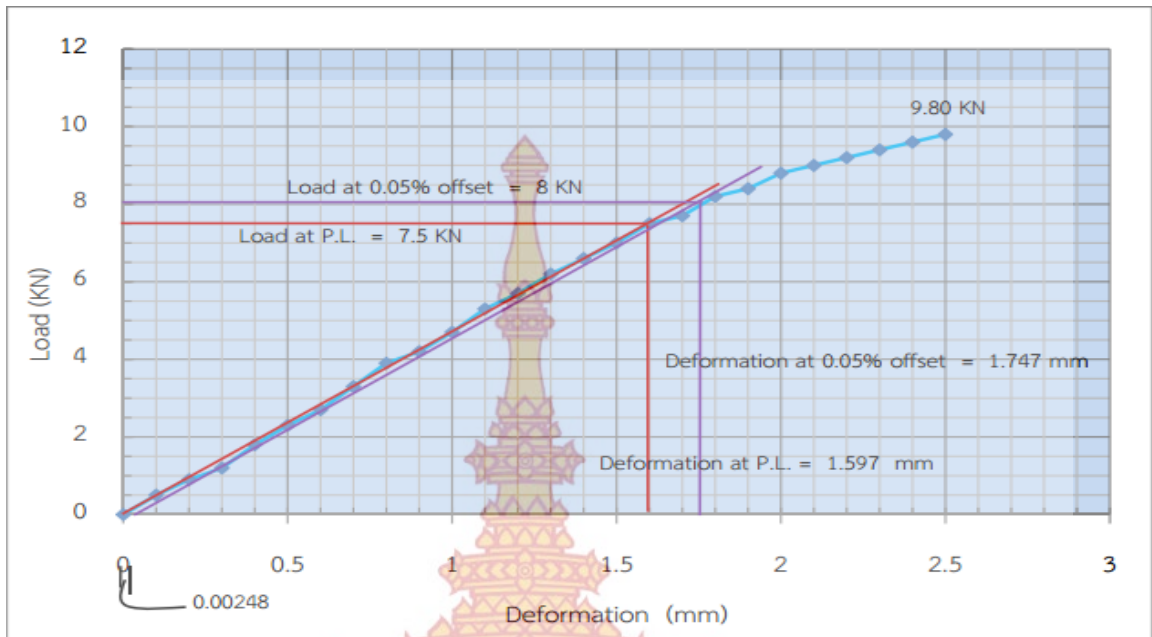
ประเภทสารเคมี	ชนิดไม้	กำลังต้านทานแรงอัดในทิศทางตั้งฉากกับเสี้ยน (MPa)		
		ไม้อบ	อบลมร้อน	อบไมโครเวฟ
สารน้ำมัน	ไม้ยางพารา ส่วนปลาย	3.58	6.83	4.57
	ไม้ยางพารา ส่วนกลาง	16.46	16.17	14.09
	ไม้ยางพารา ส่วนโคน	11.1	15.43	17.99
สารละลายในน้ำมัน	ไม้ยางพารา ส่วนปลาย	3.54	6.05	6.00
	ไม้ยางพารา ส่วนกลาง	14.74	15.17	16.60
	ไม้ยางพารา ส่วนโคน	12.99	12.39	15.79



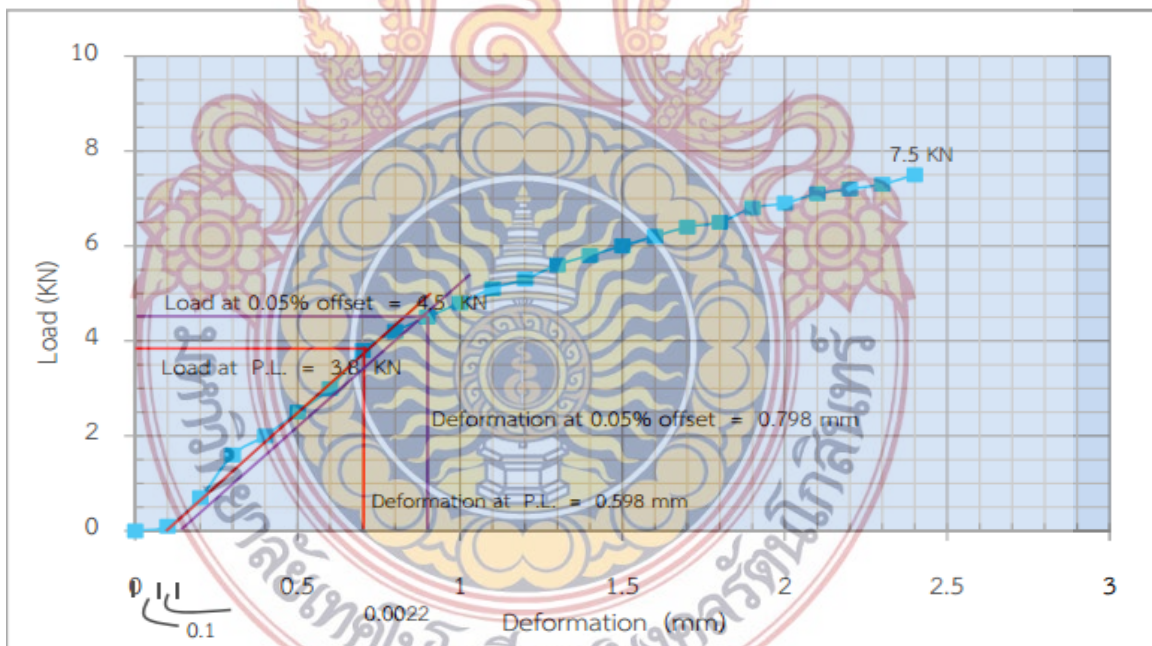
รูปที่ 4.8 กําลังต้านทานแรงอัด ในทิศทางตั้งฉากกับเส้น ที่ผ่านการอบสารเคมี



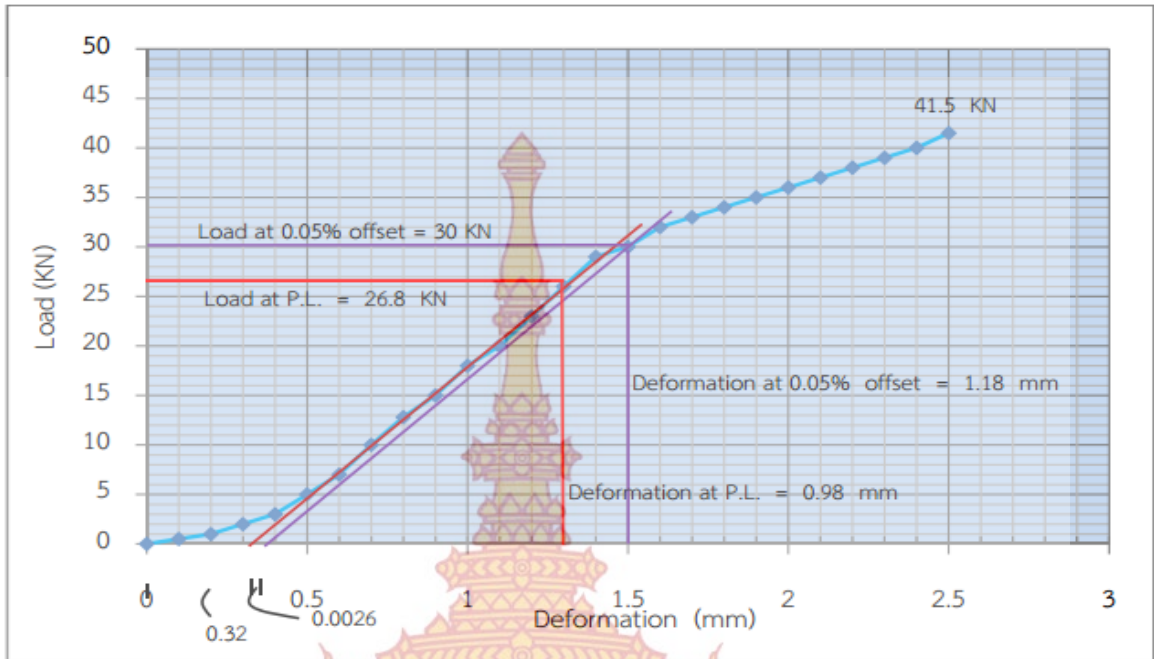
รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักและการเปลี่ยนรูปในทิศทางตั้งฉากกับเส้น ที่ผ่านการอบสารเคมีประเภทน้ำมัน และไม้ออบไมโครเวฟของตัวอย่างไม้ยางพาราส่วนปลาย ชั้นที่ 1



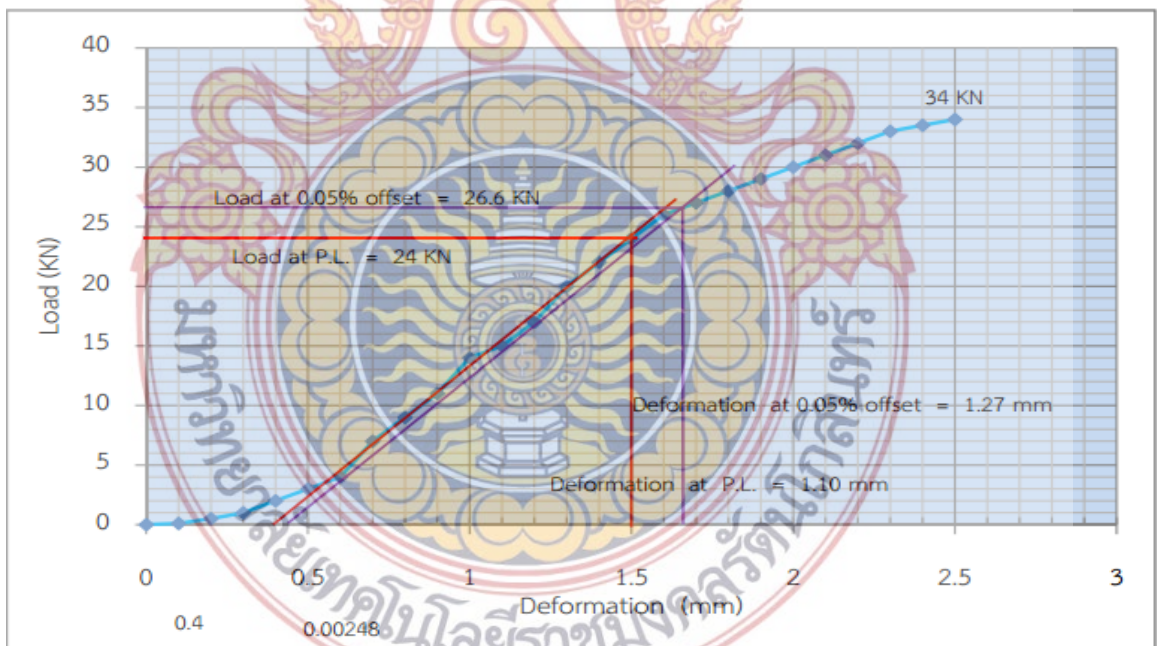
รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักและการเปลี่ยนรูปในทิศทางตั้งฉากเส้น ที่ผ่านการอบสารเคมีประเภทน้ำมัน และไม่ผ่านการอบของตัวอย่างไม้ยางพาราส่วนปลาย ชั้นที่ 2



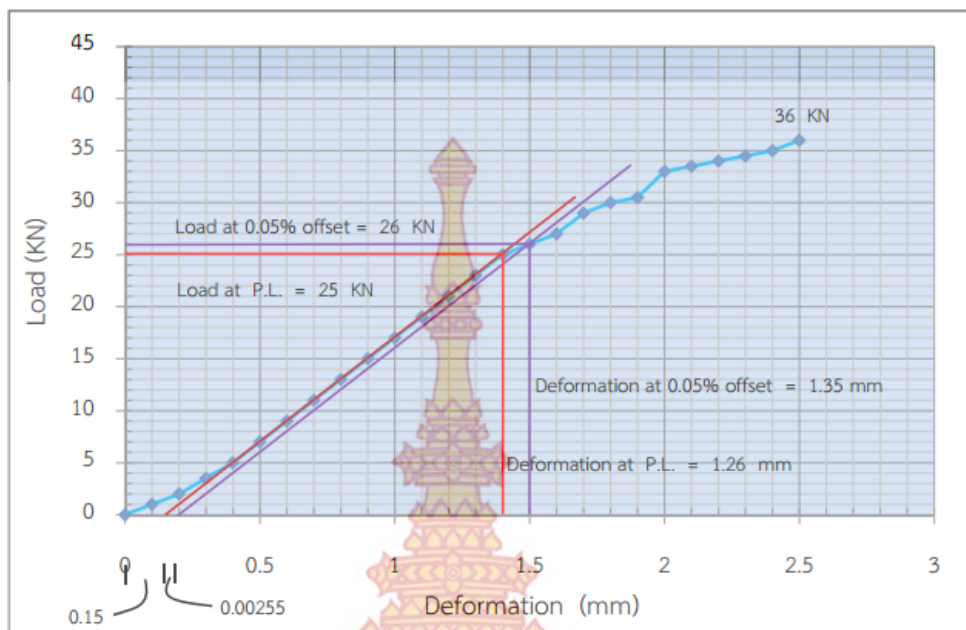
รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักและการเปลี่ยนรูปในทิศทางตั้งฉากเส้น ที่ผ่านการอบสารเคมีประเภทน้ำมัน และไม่ผ่านการอบของตัวอย่างไม้ยางพาราส่วนปลายชั้นที่ 3



รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักและการเปลี่ยนรูปในทิศทางตั้งฉากเส้น ที่ผ่านการอบสารเคมีประเภทน้ำมัน และไม่ผ่านการอบของตัวอย่างไม้ยางพาราส่วนกลาง ชั้นที่ 1



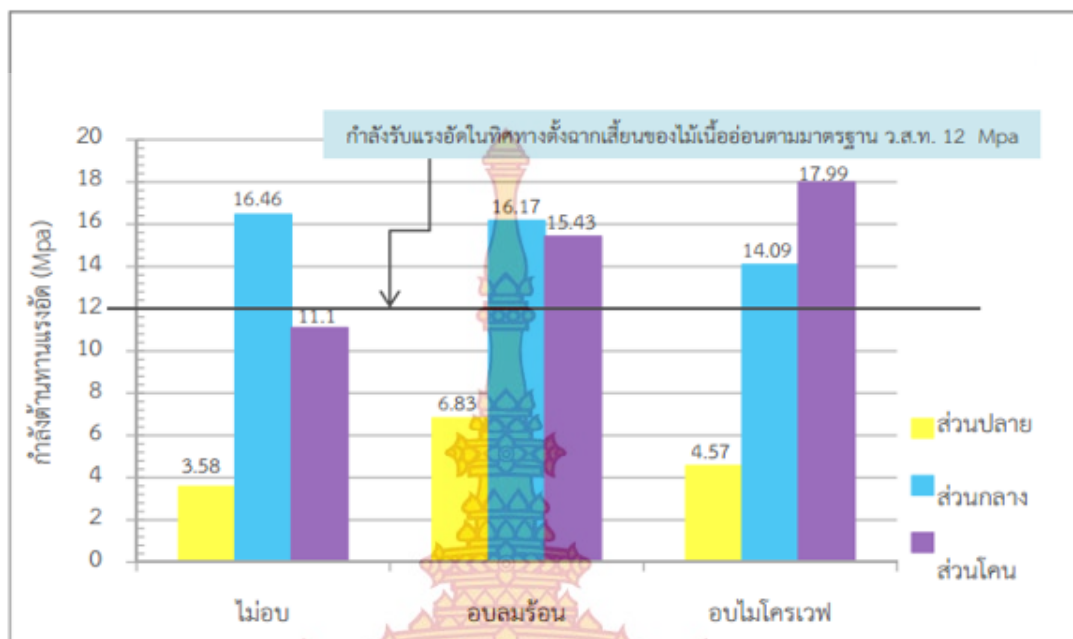
รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักและการเปลี่ยนรูปในทิศทางตั้งฉากเส้น ที่ผ่านการอบสารเคมีประเภทน้ำมัน และไม่ผ่านการอบของตัวอย่างไม้ยางพาราส่วนกลาง ชั้นที่ 2



รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักและการเปลี่ยนรูปในทิศทางตั้งฉากเส้น ที่ผ่านการอบสารเคมีประเภทน้ำมัน และไม่ผ่านการอบของตัวอย่างไม้ยางพาราส่วนกลาง ชั้นที่ 3

ตารางที่ 4.6 กำลังต้านทานแรงอัดในทิศทางขนานกับเส้น

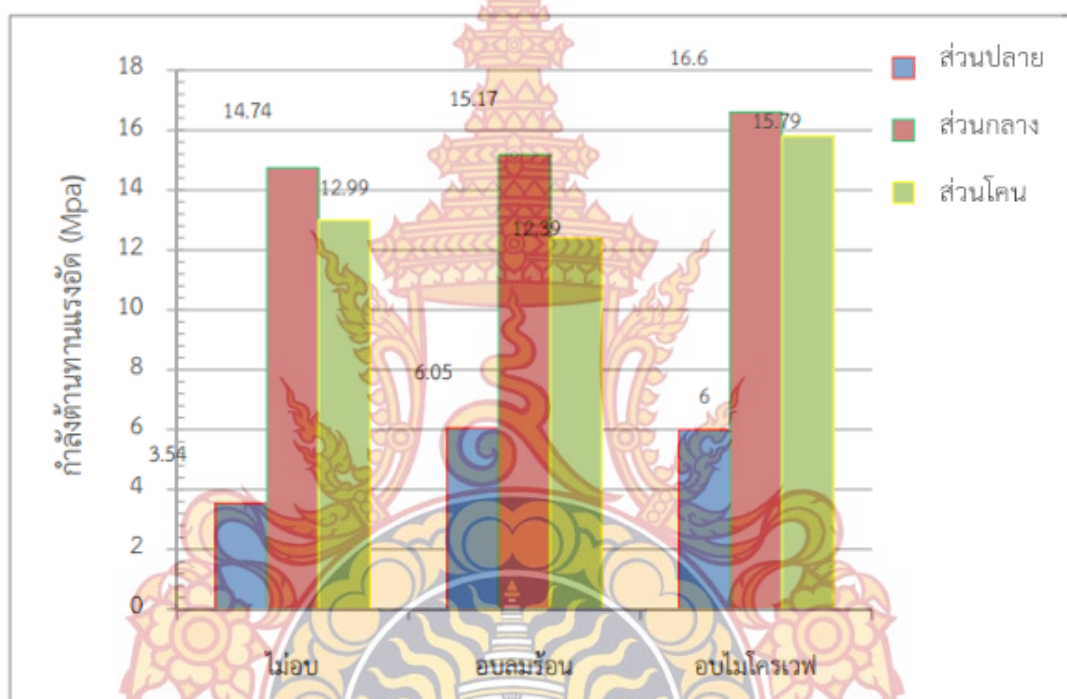
ประเภทสารเคมี	ชนิดไม้	กำลังต้านทานแรงอัดในทิศทางขนานเส้น (MPa)		
		ไม้อบ	อบลมร้อน	อบไมโครเวฟ
สารน้ำมัน	ไม้ยางพารา ส่วนปลาย	14.47	16.31	16.66
	ไม้ยางพารา ส่วนกลาง	28.26	26.97	29.1
	ไม้ยางพารา ส่วนโคน	19.23	31.16	30.69
สารละลายในน้ำมัน	ไม้ยางพารา ส่วนปลาย	15.77	16.8	18.54
	ไม้ยางพารา ส่วนกลาง	16.98	40.31	38.67
	ไม้ยางพารา ส่วนโคน	21.09	36.05	37.37



รูปที่ 4.15 ค่าก้ำลิ่งต้านทานแรงอัดในทิศทางตั้งฉากกับเสี้ยนที่ผ่านการอบสารเคมีประเภทน้ำมัน

จากกราฟแสดงค่าเฉลี่ยผลการทดสอบหาค้ำลิ่งต้านทานแรงอัดในทิศทางตั้งฉากกับเสี้ยนทั้ง 3 ส่วนได้แก่ ไม้ยางพาราส่วนปลาย ไม้ยางพาราส่วนกลาง และไม้ยางพาราส่วนโคน ที่ผ่านการอบสารเคมีประเภทน้ำมัน โดยใช้ก้ำลิ่งความร้อนจากเตาอบที่อุณหภูมิความร้อน 60°C และก้ำลิ่งความร้อนจากไมโครเวฟที่อุณหภูมิ 100 วัตต์ และไม้ยางพาราที่ไม่ผ่านการอบไล่ความชื้น จะเห็นได้ว่าตัวอย่างไม้ที่ผ่านการอบสารเคมีประเภทน้ำมัน และไม่ผ่านการอบไล่ความชื้น โดยที่วิธีใด ไม้ยางพาราส่วนกลางรับก้ำลิ่งต้านทานแรงอัดในทิศทางตั้งฉากกับเสี้ยนได้เท่ากับ 16.46 MPa ไม้ยางพาราส่วนโคนรับก้ำลิ่งต้านทานแรงอัดในทิศทางตั้งฉากกับเสี้ยนได้เท่ากับ 11.10 MPa และไม้ยางพาราส่วนปลาย รับก้ำลิ่งต้านทานแรงอัดในทิศทางตั้งฉากกับเสี้ยนเท่ากับ 3.58 MPa เมื่อนำตัวอย่างไม้ที่ผ่านการอบสารเคมีและผ่านการอบไล่ความชื้นด้วยลมร้อน ที่อุณหภูมิความร้อน 60°C ไม้ยางพาราส่วนกลางรับก้ำลิ่งต้านทานแรงอัดในทิศทางตั้งฉากกับเสี้ยนได้ลดลงเท่ากับ 16.17MPa ไม้ยางพาราส่วนโคนรับก้ำลิ่งต้านทานแรงอัดในทิศทางตั้งฉากกับเสี้ยนได้เพิ่มขึ้นเท่ากับ 15.43 MPa และไม้ยางพาราส่วนปลาย รับก้ำลิ่งต้านทานแรงอัดในทิศทางตั้งฉากกับเสี้ยนได้เพิ่มขึ้นเท่ากับ 6.83 MPa และตัวอย่างไม้ที่ผ่านการอบสารเคมีประเภทน้ำมัน และผ่านการอบไล่ความชื้นด้วยไมโครเวฟที่อุณหภูมิ 100 วัตต์ ไม้ยางพาราส่วนโคนรับก้ำลิ่งต้านทานแรงอัดในทิศทางตั้งฉากกับเสี้ยนได้เพิ่มขึ้นและมากที่สุดเท่ากับ 17.99 MPa ในขณะที่ไม้ยางพาราส่วนกลาง รับก้ำลิ่งต้านทานแรงอัดในทิศทางตั้งฉากกับเสี้ยนได้ลดลงเหลือเท่ากับ 14.09MPa และไม้ยางพาราส่วนปลาย รับก้ำลิ่งต้านทานแรงอัดในทิศทางตั้งฉากกับเสี้ยนได้ลดลงเท่ากับ 4.57MPa โดยจากกราฟแสดงให้เห็นได้ว่า ไม้ยางพาราส่วนโคน

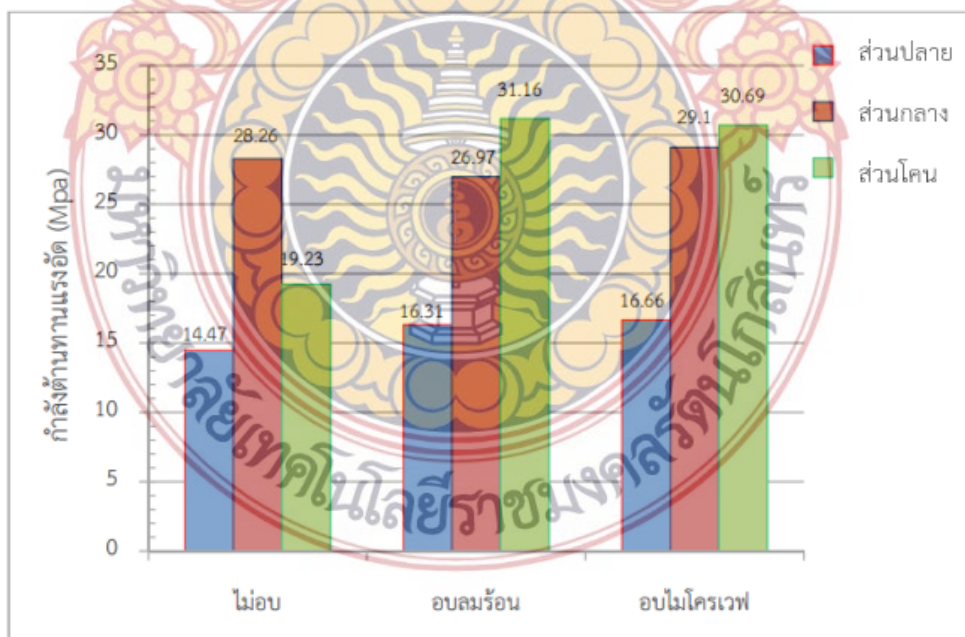
และไม้ยางพาราส่วนปลายที่ผ่านการอบสารเคมีประเภทน้ำมันแล้ว นำมาอบไล่ความชื้นด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 °C ตัวอย่างไม้จะมีการพัฒนาและมีความแข็งแรงและเพิ่มกำลังอัดขึ้น เมื่อ นำมาอบไล่ความชื้นด้วยไมโครเวฟ ไม้ยางพาราส่วนโคนมีกำลังอัดเพิ่มขึ้น และไม้ยางพาราส่วนปลายสามารถรับกำลังอัดได้น้อยลง ซึ่งต่างจากไม้ยางพาราส่วนกลางจะสามารถรับกำลังอัดได้สูงเมื่อนำมาอบสารเคมี และเมื่อนำมาอบไล่ความชื้นด้วยวิธีต่างๆพบว่าตัวอย่างไม้ยางพาราส่วนกลางมีค่ากำลังอัดลดลง เนื่องจากการนำตัวอย่างไม้มาอบสารเคมี สารเคมีสามารถแทรกซึมเข้าไปในช่องว่างของเนื้อไม้ ทำให้เนื้อไม้ที่มีความแข็งแรงเกิดการเกร็งตัวของเส้นใย จึงทำให้ไม้ที่มีความแข็งแรงและเกิดการพัฒนา



รูปที่ 4.16 กำลังต้านทานแรงอัดในทิศทางตั้งฉากกับเส้นที่ผ่านการอบสารเคมีประเภทละลายในน้ำมันโซล่า

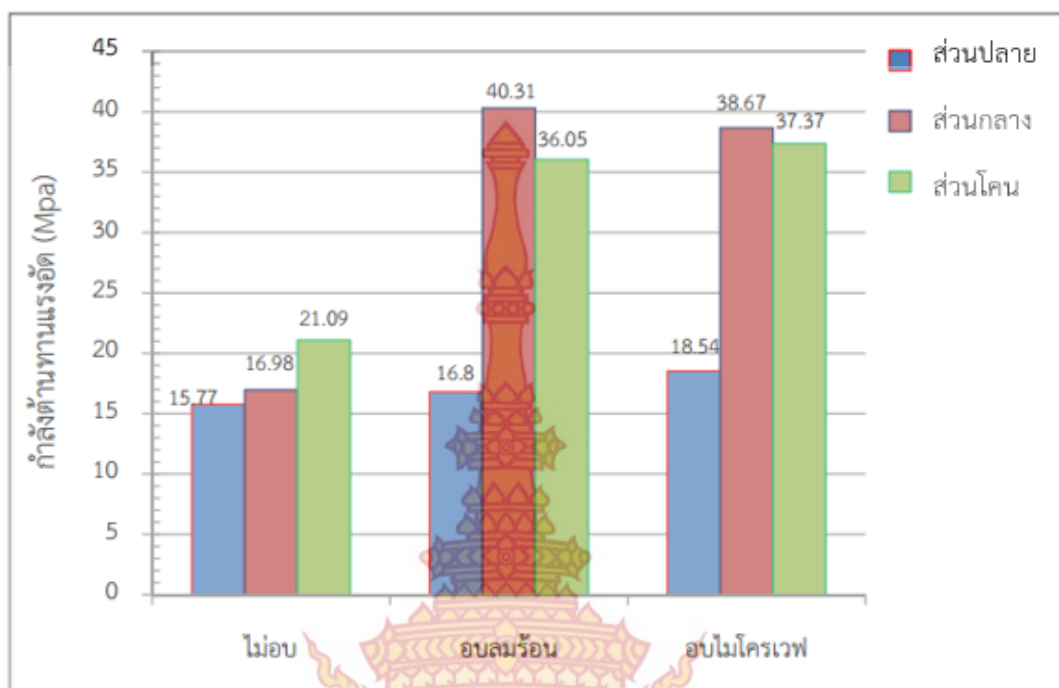
จากกราฟแสดงค่าเฉลี่ยผลการทดสอบหาค่ากำลังต้านทานแรงอัดในทิศทางตั้งฉากกับเส้นทั้ง 3 ส่วนได้แก่ ไม้ยางพาราส่วนปลาย ไม้ยางพาราส่วนกลาง และไม้ยางพาราส่วนโคน ที่ผ่านการอบสารเคมีประเภทละลายในน้ำมันโซล่า โดยใช้กำลังความร้อนจากเตาอบที่อุณหภูมิความร้อน 60 °C และกำลังความร้อนจากไมโครเวฟที่อุณหภูมิ 100 วัตต์ และไม้ยางพาราที่ไม่ผ่านการอบไล่ความชื้น จะเห็นได้ว่าตัวอย่างไม้ที่ผ่านการอบสารเคมีประเภทละลายในน้ำมันโซล่า และไม่ผ่านการอบไล่ความชื้น โดยที่วิธีใด ไม้ยางพาราส่วนกลางรับกำลังต้านทานแรงอัดในทิศทางตั้งฉากกับเส้นได้เท่ากับ 14.74MPa ไม้ยางพาราส่วนโคนรับกำลังต้านทานแรงอัดในทิศทางตั้งฉากกับเส้นได้เท่ากับ 12.99MPa และไม้ยางพาราส่วนปลาย รับกำลังต้านทานแรงอัดในทิศทางตั้งฉากกับเส้นได้น้อยสุด

เท่ากับ 3.54 MPa เมื่อนำตัวอย่างไม้ที่ผ่านการอบสารเคมีและผ่านการอบไล่ความชื้นด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 °c ไม้ยางพาราส่วนกลางรับกำลังต้านทานแรงอัดในทิศทางตั้งฉากกับเสี้ยนได้เพิ่มขึ้นเท่ากับ 15.17 MPa ไม้ยางพาราส่วนโคนรับกำลังต้านทานแรงอัดในทิศทางตั้งฉากกับเสี้ยนได้ลดลงเท่ากับ 12.39 MPa และไม้ยางพาราส่วนปลาย รับกำลังต้านทานแรงอัดในทิศทางตั้งฉากกับเสี้ยนเพิ่มขึ้นเท่ากับ 6.05 MPa และตัวอย่างไม้ที่ผ่านการอบสารเคมีประเภทน้ำมัน และผ่านการอบไล่ความชื้นด้วยไมโครเวฟที่อุณหภูมิ 100 วัตต์ ไม้ยางพาราส่วนกลางรับกำลังต้านทานแรงอัดในทิศทางตั้งฉากกับเสี้ยนได้เพิ่มขึ้นมากที่สุดเท่ากับ 16.60MPa และไม้ยางพาราส่วนโคนรับกำลังต้านทานแรงอัดในทิศทางตั้งฉากกับเสี้ยนเพิ่มขึ้นได้เท่ากับ 15.79MPa และไม้ยางพาราส่วนปลาย รับกำลังต้านทานแรงอัดในทิศทางตั้งฉากกับเสี้ยนได้ลดลงเท่ากับ 6.0MPa โดยจากกราฟแสดงให้เห็นได้ว่า ไม้ยางพาราส่วนกลางและไม้ยางพาราส่วนปลายที่ผ่านการอบสารเคมีประเภทละลายในน้ำมันโซล่าแล้ว มาอบไล่ความชื้นด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 °c ตัวอย่างไม้จะเกิดการพัฒนาและมีความแข็งแรงและมีกำลังอัดเพิ่มขึ้น ซึ่งต่างกับไม้ยางพาราส่วนโคนที่รับกำลังอัดในทิศทางตั้งฉากกับเสี้ยนได้น้อยและ ตัวอย่างไม้ที่ผ่านการอบสารเคมีประเภทละลายในน้ำมันโซล่าและอบไล่ความชื้นด้วยไมโครเวฟที่อุณหภูมิ 100 วัตต์ ไม้ยางพาราส่วนกลางและ ไม้ยางพาราส่วนโคนมีกำลังอัดเพิ่มขึ้น ซึ่งต่างจากไม้ตีเปิดสามารถรับกำลังอัดได้น้อยลง จะเห็นได้ว่าตัวอย่างไม้ที่อบสารเคมีสารเคมีจะแทรกซึมเข้าไปในช่องว่างของเนื้อไม้ ทำให้เนื้อไม้ที่มีความแข็งแรงเกิดการเกร็งตัวของเสี้ยนไม้ จึงทำให้ไม้ที่มีความแข็งแรงและเกิดการพัฒนา แต่ในทางกลับกันความร้อน ก็จะทำให้เสี้ยนที่มีความแข็งแรงอ่อนแอลงได้เช่นกัน



รูปที่ 4.17 กำลังต้านทานแรงอัดในทิศทางขนานกับเสี้ยนที่ผ่านการอบสารเคมีประเภทน้ำมัน

จากกราฟแสดงค่าเฉลี่ยผลการทดสอบหาค่ากำลังต้านทานแรงอัดในทิศทางขนานกับเส้นยั้ง 3 ส่วนได้แก่ ไม้ยางพาราส่วนปลาย ไม้ยางพาราส่วนกลาง และไม้ยางพาราส่วนโคน ที่ผ่านการอบสารเคมีประเภทน้ำมัน โดยใช้กำลังความร้อนจากเตาอบที่อุณหภูมิความร้อน 60 °c และกำลังความร้อนจากไมโครเวฟที่อุณหภูมิ 100 วัตต์ และไม้ยางพาราที่ไม่ผ่านการอบไล่ความชื้น จะเห็นได้ว่า ตัวอย่างไม้ที่ผ่านการอบสารเคมีประเภทน้ำมัน และไม่ผ่านการอบไล่ความชื้น โดยที่วิธีใด ไม้ยางพาราส่วนกลางรับกำลังต้านทานแรงอัดในทิศทางขนานกับเส้นยั้งได้มากที่สุดเท่ากับ 20.26 MPa ไม้ยางพาราส่วนโคนรับกำลังต้านทานแรงอัดในทิศทางขนานกับเส้นยั้งได้เท่ากับ 19.23 MPa และไม้ยางพาราส่วนปลาย รับกำลังต้านทานแรงอัดในทิศทางขนานกับเส้นยั้งได้น้อยสุดเท่ากับ 14.47 MPa เมื่อนำตัวอย่างไม้ที่ผ่านการอบสารเคมีและผ่านการอบไล่ความชื้นด้วยลมร้อน ไม้ยางพาราส่วนโคนรับกำลังต้านทานแรงอัดในทิศทางขนานกับเส้นยั้งได้เพิ่มขึ้นมากที่สุดเท่ากับ 31.16MPa ไม้ยางพาราส่วนกลางรับกำลังต้านทานแรงอัดในทิศทางขนานกับเส้นยั้งได้เท่ากับ 26.97 MPa และไม้ยางพาราส่วนปลาย รับกำลังต้านทานแรงอัดในทิศทางขนานกับเส้นยั้งได้น้อยสุดและรับกำลังอัดในทิศทางขนานเส้นยั้งได้เพิ่มขึ้นเท่ากับ 16.31 MPa และตัวอย่างไม้ที่ผ่านการอบสารเคมีประเภทน้ำมัน และผ่านการอบไล่ความชื้นด้วยไมโครเวฟที่อุณหภูมิ 100 วัตต์ ไม้ยางพาราส่วนโคนรับกำลังต้านทานแรงอัดในทิศทางขนานกับเส้นยั้งได้มากที่สุดเท่ากับ 30.69 MPa ไม้ยางพาราส่วนกลาง รับกำลังต้านทานแรงอัดในทิศทาง ขนานกับเส้นยั้งได้เพิ่มขึ้นเท่ากับ 29.10 MPa และไม้ยางพาราส่วนปลาย รับกำลังต้านทานแรงอัดในทิศทางขนานกับเส้นยั้งได้น้อยสุดเท่ากับ 16.66 MPa โดยจากกราฟแสดงให้เห็นได้ว่า ไม้ยางพาราส่วนโคนและไม้ยางพาราส่วนปลายที่ผ่านการอบสารเคมีประเภทน้ำมันแล้ว นำมาอบไล่ความชื้นด้วยลมร้อน ตัวอย่างไม้จะมีการพัฒนาและมีความแข็งแรงและกำลังอัดเพิ่มขึ้น เมื่อตัวอย่างไม้ที่ผ่านการอบสารเคมี นำมาอบไล่ความชื้นด้วยไมโครเวฟ ไม้ยางพาราส่วนโคนมีกำลังอัดเพิ่มขึ้น แต่ไม้ยางพาราส่วนปลายสามารถรับกำลังอัดได้น้อยลงซึ่งต่างจากไม้ยางพาราส่วนกลางจะสามารถรับกำลังอัดได้สูงเมื่อนำมาอบสารเคมี และเมื่อนำมาอบไล่ความชื้นด้วยวิธีต่างๆพบว่าตัวอย่างไม้ยางพาราส่วนกลางมีค่ากำลังอัดลดลง เมื่อนำตัวอย่างไม้มาอบสารเคมี สารเคมีสามารถแทรกซึมเข้าไปในช่องว่างของเนื้อไม้ ทำให้เนื้อไม้ที่มีความแข็งแรงเกิดการเกร็งตัวของเส้นใย จึงทำให้ไม้ที่มีความแข็งแรงและเกิดการพัฒนา แต่ในทางกลับกันความร้อน ก็จะทำให้เส้นใยที่มีความแข็งแรงอ่อนแอลงได้เช่นกัน



รูปที่ 4.18 กำลังต้านทานแรงอัดในทิศทางขนานกับเส้นที่ผ่านการอบสารเคมีประเภทละลายในน้ำมันโซล่า

จากกราฟกำลังต้านทานแรงอัดในทิศทางตั้งฉากกับเส้นทั้ง 3 ส่วนได้แก่ ไม้ยางพาราส่วนปลาย ไม้ยางพาราส่วนกลาง และไม้ยางพาราส่วนโคน ที่ผ่านการอบสารเคมีประเภทละลายในน้ำมันโซล่า โดยใช้กำลังความร้อนจากเตาอบที่อุณหภูมิความร้อน 60°C และกำลังความร้อนจากไมโครเวฟที่อุณหภูมิ 100 วัตต์ และไม้ยางพาราที่ไม่ผ่านการอบไล่ความชื้น จะเห็นได้ว่าตัวอย่างไม้ที่ผ่านการอบสารเคมีประเภทน้ำมัน และไม่ผ่านการอบไล่ความชื้น โดยที่วิธีใด ไม้ยางพาราส่วนกลางรับกำลังต้านทานแรงอัดในทิศทางตั้งฉากกับเส้นได้มากที่สุดเท่ากับ 14.74 MPa ไม้ยางพาราส่วนโคนรับกำลังต้านทานแรงอัดในทิศทางตั้งฉากกับเส้นได้น้อยสุดเท่ากับ 12.99 MPa และไม้ยางพาราส่วนปลาย รับกำลังต้านทานแรงอัดในทิศทางตั้งฉากกับเส้นได้น้อยสุดเท่ากับ 3.54 MPa เมื่อนำตัวอย่างไม้ที่ผ่านการอบสารเคมีและผ่านการอบไล่ความชื้นด้วยลมร้อน ไม้ยางพาราส่วนกลางรับกำลังต้านทานแรงอัดในทิศทางตั้งฉากกับเส้นได้มากที่สุดและเพิ่มขึ้นเท่ากับ 15.17 MPa ไม้ยางพาราส่วนโคนรับกำลังต้านทานแรงอัดในทิศทางตั้งฉากกับเส้นลดลงได้เท่ากับ 12.39 MPa และไม้ยางพาราส่วนปลายรับกำลังต้านทานแรงอัดในทิศทางตั้งฉากกับเส้นเพิ่มขึ้นและได้น้อยสุดเท่ากับ 6.05 MPa และตัวอย่างไม้ที่ผ่านการอบสารเคมีประเภทน้ำมัน และผ่านการอบไล่ความชื้นด้วยไมโครเวฟที่อุณหภูมิ 100 วัตต์ ไม้ยางพาราส่วนกลางรับกำลังต้านทานแรงอัดในทิศทางตั้งฉากกับเส้นได้มากที่สุดเท่ากับ 16.60 MPa และไม้ยางพาราส่วนโคนรับกำลังต้านทานแรงอัดในทิศทางตั้งฉากกับเส้นเพิ่มขึ้นได้เท่ากับ 15.79

MPa และไม้ยางพาราส่วนปลาย รับกำลังต้านทานแรงอัดในทิศทางตั้งฉากกับเส้นใยได้น้อยสุดและลดลงเท่ากับ 6.0 MPa โดยจากกราฟแสดงให้เห็นได้ว่า ไม้ยางพาราส่วนกลางและไม้ยางพาราส่วนโคนที่ผ่านการอบสารเคมีประเภทละลายในน้ำมันโซล่าแล้ว มาอบไล่ความชื้นด้วยลมร้อน ตัวอย่างไม้จะมีการพัฒนาและมีความแข็งแรงและกำลังอัดเพิ่มขึ้น เมื่อตัวอย่างไม้ที่ผ่านการอบสารเคมี และเมื่อนำมาอบไล่ความชื้นด้วยไมโครเวฟ ไม้ยางพาราส่วนกลาง ไม้ยางพาราส่วนโคนรับกำลังอัดได้เพิ่มขึ้น ซึ่งต่างจาก ไม้ยางพาราส่วนโคนจะสามารถรับกำลังอัดได้สูงขึ้น เมื่อนำมาอบสารเคมีประเภทละลายในน้ำมันโซล่า และอบไล่ความชื้นด้วยเตาอบลมร้อน และตัวอย่างไม้ยางพาราส่วนปลายรับกำลังอัดได้ลดลงเมื่อนำมาอบด้วยไมโครเวฟ จะเห็นได้ว่าตัวอย่างไม้มาอบสารเคมี สารเคมีจะแทรกซึมเข้าไปในช่องว่างของเนื้อไม้ ทำให้เนื้อไม้ที่มีความแข็งแรงเกิดการเกร็งตัวของเส้นใย จึงทำให้ไม้ที่มีความแข็งแรงและการพัฒนา แต่ในทางกลับกัน ความร้อน

ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับคุณสมบัติทางกล ของตัวอย่างไม้ขนาด 50x50x150 mm และ 50x50x200 mm ทั้ง 3 ส่วนได้แก่ ไม้ยางพาราส่วนปลาย ไม้ยางพาราส่วนกลางและไม้ยางพาราส่วนโคน จะมีค่าความหนาแน่นต่างกัน ขึ้นอยู่กับประเภทและส่วนของพันธุ์ไม้ เมื่อไม่มีการดูดซึมสารเคมีเข้าไปแทนที่ ทำให้เส้นใยเกิดการเกร็งตัวจึงทำให้ตัวอย่างไม้มีน้ำหนักและความหนาแน่นมากขึ้น จะเห็นได้ว่า ตัวอย่างไม้ที่มีการดูดซึมน้ำได้มากจะมีความหนาแน่นน้อย ซึ่งแตกต่างตัวอย่างไม้ที่ดูดซึมน้ำได้น้อยจะมีความหนาแน่นมากจะมีผลต่อคุณสมบัติทางกลของไม้ เมื่อตัวอย่างไม้มีการดูดซึมมาก จะทำให้ไม้เกิดการพองตัวและหดตัว ทำให้ไม้เกิดการแตกร้าวเมื่อนำมาอบแห้งอบด้วยเตาอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 °C ตัวอย่างไม้ที่ดูดซึมสารเคมี จะถูกความร้อนจากเตาอบลมร้อน ทำให้ตัวอย่างไม้ที่มีการดูดซึมสารเคมีอย่างอิมตัว มีการคลายตัวและละลายของความชื้นที่มีอยู่ในเนื้อไม้ซึ่งการอบตัวอย่างไม้ด้วยวิธีนี้ จะใช้หลักการถ่ายเทความร้อนโดยอาศัยความแตกต่างของอุณหภูมิที่ผิวนอกและผิวภายในของตัวอย่างไม้ ด้วยการให้ความร้อนจากผิวด้านนอกถ่ายเทเข้าสู่เนื้อชิ้นในความชื้นจะถูกไล่ออกมาที่ผิว ทำให้ที่ผิวตัวอย่างไม้มีอุณหภูมิสูงและแห้ง ในขณะที่ภายในยังคงมีความชื้นเหลืออยู่ ซึ่งผิวนอกที่แห้งจะเกิดการหดตัวทำให้ความชื้นถ่ายเทออกมาที่ผิวลดลง เนื่องมาจากอิทธิพลความดันก๊าซภายในตัวอย่างไม้หรือการหดตัวของโครงสร้างของตัวอย่างไม้นอกจากนั้นแล้ว สีของตัวอย่างไม้จะเปลี่ยนแปลงง่ายและอาจเกิดรอยไหม้ได้ ซึ่งแตกต่างจากการอบโดยใช้พลังงานไมโครเวฟที่อุณหภูมิ 100 วัตต์ นั้น ความร้อนที่เกิดขึ้นจะขึ้นอยู่กับตัวอย่างไม้และคุณสมบัติทางไดอิเล็กตริกเนื่องจากไม้เป็นวัสดุไดอิเล็กตริกหรือวัสดุกึ่งฉนวนที่มีขั้วทางไฟฟ้า (Dipole) จะสามารถดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟและเปลี่ยนเป็นความร้อน ลักษณะการเกิดความร้อนจะเกิดจากแรงเสียดสีระหว่างการจัดเรียงตัวใหม่ของโมเลกุลนั้นเมื่อดูดกลืนคลื่น ส่งผลให้เกิดเป็นความร้อนขึ้นภายในทั่วทั้งเนื้อไม้ ความร้อนและความชื้นจะถูกถ่ายเทจากภายในออกสู่ผิวนอกของตัวอย่างไม้ ซึ่งแตกต่างไปจากการอบแห้งด้วยเตาอบลมร้อนซึ่งจะถ่ายเทความร้อนจากผิวเข้าไปสู่ภายในตัวอย่างไม้ เนื่องจากการระเหยของความชื้น

บทที่ 5

สรุป และข้อเสนอแนะ

จากการพิจารณา การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของไม้ยางพารา ที่อบด้วยสารเคมีประเภทน้ำมันและสารเคมีประเภทละลายในน้ำมันโซล่าในอัตราส่วน 1 : 5 ลิตรและผ่านการอบไล่ความชื้นด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 °c และพลังงานคลื่นไมโครเวฟที่กำลังวัตต์ 100 วัตต์ เพื่อหาระยะเวลาในการอบ และกำลังความร้อนที่เหมาะสม สำหรับการอบไม้ยางพาราโตเร็วโดยการทดสอบหาลำกำลังต้านทานแรงอัดในทิศทางขนานกับเส้น และในทิศทางตั้งฉากกับเส้น

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการวิเคราะห์ข้อมูลผลการทดสอบและกราฟแสดงความสัมพันธ์ ของไม้ยางพาราที่นำมาทดสอบ พบว่าไม้ยางพาราส่วนโคนที่อบสารเคมีประเภทน้ำมันอบด้วยเตาอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 °c ใช้เวลา 24 ชั่วโมง รับกำลังต้านทานแรงอัดในทิศทางตั้งฉากกับเส้นได้สูงสุดเท่ากับ 6.83 Mpa. มีการดูดซึมของสารเคมีร้อยละ 26.09% มีความหนาแน่นของเนื้อไม้เท่ากับ 0.25 (g/cm³) ส่วนไม้ยางพาราส่วนโคนที่อบสารเคมีประเภทละลายน้ำมันโซล่าอบด้วยเตาอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 °c ด้วยเวลา 12 ชั่วโมง สามารถต้านทานแรงอัดในทิศทางตั้งฉากกับเส้นได้สูงสุดเท่ากับ 6.05 Mpa. มีการดูดซึมของสารเคมีร้อยละ 19.87% มีความหนาแน่นเท่ากับ 0.36 (g/cm³) และไม้ยางพาราส่วนกลางที่อบน้ำยาประเภทน้ำมันแล้วปล่อยให้แห้งตามในอากาศ รับกำลังต้านทานแรงอัดในทิศทางตั้งฉากกับเส้นได้สูงสุดเท่ากับ 16.46 Mpa. มีการดูดซึมของสารเคมีร้อยละ 3.34% มีความหนาแน่นเท่ากับ 0.59 (g/cm³) ส่วนไม้ยางพาราส่วนกลางที่อบสารเคมีประเภทละลายน้ำมันโซล่าอบด้วยไมโครเวฟอุณหภูมิ 100 วัตต์ ด้วยเวลา 2 ชั่วโมง 40 นาที รับกำลังต้านทานแรงอัดในทิศทางตั้งฉากกับเส้นได้สูงสุด 16.60 Mpa. มีการดูดซึมของสารเคมีร้อยละ 6.29% และความหนาแน่นเท่ากับ 0.57 (g/cm³) และไม้ยางพาราส่วนโคนที่อบด้วยสารเคมีประเภทน้ำมันอบด้วยเตาอบไมโครเวฟที่อุณหภูมิ 100 วัตต์ ด้วย Mpa. มีการดูดซึมของสารเคมีร้อยละ 37.06% มีความหนาแน่นเท่ากับ 0.58 (g/cm³) ส่วนไม้ยางพาราส่วนโคนที่อบด้วยสารเคมีประเภทละลายน้ำมันโซล่าอบด้วยไมโครเวฟที่อุณหภูมิ 100 วัตต์ด้วยเวลา 8 ชั่วโมง รับกำลังต้านทานแรงอัดในแนวตั้งฉากกับเส้นได้สูงสุดเท่ากับ 15.79 Mpa. มีการดูดซึมของสารเคมีร้อยละ 23.09% มีความหนาแน่นเท่ากับ 0.60 (g/cm³) ไม้ยางพาราส่วนโคนที่อบด้วยสารเคมีประเภทน้ำมันอบด้วยเตาไมโครเวฟอุณหภูมิ 100 วัตต์ ด้วยเวลา 8 ชั่วโมง 20 นาทีรับกำลังต้านทานแรงอัดในทิศทางขนานกับเส้นได้สูงสุดเท่ากับ 16.66 Mpa. มีการดูดซึมของสารเคมีร้อยละ 24.05% มีความหนาแน่นเท่ากับ 0.34 (g/cm³) และไม้ยางพาราส่วนโคนที่อบด้วยสารเคมีประเภทน้ำมันอบด้วยเตาไมโครเวฟอุณหภูมิ 100 วัตต์ ด้วยเวลา 8 ชั่วโมง รับกำลังต้านทานแรงอัดในทิศทางขนานกับเส้นได้สูงสุดเท่ากับ 18.54 Mpa. มีการดูดซึมของสารเคมีร้อยละ 30.64 % มีความหนาแน่นเท่ากับ 0.35 (g/cm³) ไม้ยางพาราส่วนกลางที่อบด้วยสารเคมีประเภท

น้ำมันอบด้วยเตาไมโครเวฟอุณหภูมิ 100 วัตต์ ด้วยเวลา 6 ชั่วโมงรับกำลังต้านทานแรงอัดในทิศทางขนานกับเส้นใยได้สูงสุดเท่ากับ 29.10 Mpa. มีการดูดซึมของสารเคมีร้อยละ 4.39% มีความหนาแน่นเท่ากับ $0.63 \text{ (g/cm}^3\text{)}$ ไม้ยางพาราส่วนกลางที่อบด้วยสารเคมีประเภทละลายในน้ำมันโซล่าอบด้วยเตาลมร้อนที่อุณหภูมิความร้อน 60°C ด้วยเวลา 24 ชั่วโมงรับกำลังต้านทานแรงอัดในทิศทางขนานกับเส้นใยได้สูงสุดเท่ากับ 40.31 Mpa. มีการดูดซึมของสารเคมีร้อยละ 4.21% มีความหนาแน่นเท่ากับ $0.61 \text{ (g/cm}^3\text{)}$ และไม้ยางพาราส่วนโคนที่อบด้วยสารเคมีประเภทน้ำมัน อบด้วยเตาลมร้อนที่อุณหภูมิความร้อน 60°C ด้วยเวลา 6 ชั่วโมงด้วยเวลา 48 ชั่วโมงรับกำลังต้านทานแรงอัดในทิศทางขนานกับเส้นใยได้สูงสุดเท่ากับ 31.16 Mpa. มีการดูดซึมของสารเคมีร้อยละ 35.54% มีความหนาแน่นเท่ากับ $0.63 \text{ (g/cm}^3\text{)}$ และไม้ยางพาราส่วนโคนที่อบด้วยสารเคมีประเภทละลายในน้ำมันโซล่าอบด้วยเตาลมร้อนที่อุณหภูมิความร้อน 60°C ด้วยเวลา 8 ชั่วโมงรับกำลังต้านทานแรงอัดในทิศทางขนานกับเส้นใยได้สูงสุดเท่ากับ 37.37 Mpa. มีการดูดซึมของสารเคมีร้อยละ 18.75% มีความหนาแน่นเท่ากับ $0.60 \text{ (g/cm}^3\text{)}$ จากผลการทดสอบจะเห็นได้ว่าตัวอย่างไม้ที่นำมาทดสอบทั้ง 3 ชนิด มีความหนาแน่นและการดูดซึมที่ต่างกันในแต่ละชนิดไม้ จะมีการรับกำลังต้านทานแรงอัดในทิศทางตั้งฉากกับเส้นใยขนานกับเส้นใยเพิ่มขึ้นเมื่อมีการดูดซึมสารเคมีเข้าไปในเนื้อไม้ สารเคมีจะเข้าไปแทนที่ช่องว่างในตัวอย่างไม้และทำการเคลือบเส้นใย ทำให้เส้นใยเกิดการเกร็งตัวจึงทำให้ไม้มีความสามารถในการรับกำลังต้านทานและอุณหภูมิความร้อนที่เหมาะสม

5.2 ข้อเสนอแนะ

- 1) ควรศึกษาคุณภาพและคุณสมบัติของไม้ยางพาราและสารเคมี ก่อนจะทำการทดสอบให้ดี เพื่อจะได้ไม้ยางพาราที่มีคุณสมบัติที่ดี และเหมาะสมในการทำการทดสอบ
- 2) ผลการทดสอบที่ได้จากการอบสารเคมีประเภทน้ำมัน และสารเคมีประเภทละลายในน้ำมันโซล่าในอัตราส่วน 1 : 5 ลิตร และนำมาอบไล่ความชื้นด้วยลมร้อนและพลังงานไมโครเวฟที่อุณหภูมิความร้อนที่เหมาะสมเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับไม้ยางพาราที่มีการอบสารเคมีและไม่อบไล่ความชื้นไม้ที่อบสารเคมี และผ่านการไล่ความชื้นด้วยลมร้อนและพลังงานไมโครเวฟ สามารถรับกำลังได้เพิ่มขึ้น
- 3) ควรเพิ่มระยะเวลาในอบน้ำยาให้กับไม้ยางพารา จาก 24 ชั่วโมง เป็น 7 วัน หรือ 1 เดือน เพื่อให้ได้ค่าการทดสอบที่เหมาะสมมากขึ้น

บรรณานุกรม

- กนกวรรณ บัวผุด. “การอบไม้ยางด้วยไอน้ำร้อนยิ่งยวด”. ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่, 2546.
- กุลยทศ บุญเซ่ง และคณะ การปรับปรุงกระบวนการอบไม้ยางพารา มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2548
- กองวิจัยผลิตผล. ข้อกำหนดเกี่ยวกับไม้ที่ใช้ในการก่อสร้าง. กรมป่าไม้, 2517
- ฐานันดรศักดิ์ เทพญา. ข้อกำหนดเทคนิคที่ดีในการอบไม้ยางแปรรูป. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่, 2541.
- ฐานันดรศักดิ์ เทพญา. ข้อกำหนดเทคนิคที่ดีในการอบไม้ยางพารา ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 2541
- นิรันดร มาแทน, บุญนำ เกี่ยวข้อง. ผลของความชื้นต่อคุณสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกลของ แก่นไม้ยางอายุน้อย ผู้เชี่ยวชาญมหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์. 2550
- บางรักษ์ เชษฐสิงห์. ไม้เนื้อแข็งของประเทศไทย นักวิชาการป่าไม้. 2538
- บุญนำ เกี่ยวข้อง และมยุรี ดวงเพชร. คู่มือปฏิบัติการทดสอบเชิงกลของไม้. สำนักวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและทรัพยากร มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์, 2543.
- สมศักดิ์ วงษ์ประดับไชย, วิโรจน์ จินดารัตน์ และผดุงศักดิ์ รัตนเดโช การอบแห้งไม้ด้วยคลื่นไมโครเวฟ ร่วมกับลมร้อนโดยใช้ท่อนำคลื่นรูปทรงสี่เหลี่ยม หน่วยวิจัยเพื่อการใช้ประโยชน์จากไมโครเวฟในงานวิศวกรรม (R.C.M.E.) ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต, 2552
- หนังสือกรมป่าไม้ที่ กส 0702/6679 ลงวันที่ 3 พฤษภาคม 2517 เรื่อง ข้อกำหนดเกี่ยวกับไม้ที่ใช้ในการก่อสร้างในส่วนราชการกรมป่าไม้
- Bengtsson, C. and Kliger, “Bending Creep of High Temperature Dried Spruce Timber”, *Holzforschung*. (2003): 95-100.
- Bjork, H. and Rasmuson, “Moisture Equilibrium of Wood and Bark Chips in Superheated” *Steam, Fuel*.74 (1995): 1887-1890.
- Bousquet, D. “Lumber Drying: An Overview of Current Process. *Extension Forest Resources Specialist*”, University of Vermont Extension and School of Natural Resources. 2000.
- Johansson, A., Fyhr, C and Rasmuson, “High Temperature Convective Drying of Wood Chips with Air and Superheated Steam” ,*Int, J. Heat Mass Transfer*.40 (12), (1997) 2843-2858.
- Kilmann, W. and Hong, L.T. “Rubberwood the Success of and Agricultural By Product, *Unasylva* 201.51 (2000): 66-72.

- Matan, N. and Kyoking, “Effect of Moisture Content on Some Physical and Mechanical Properties of Juvenile Rubberwood”, Songklanakarin Journal Science Technology.25(3), (2003): 327-340.
- Moreira R. G., et al. “Superheated Steam Impingement Drying of Tortilla Chips”, Drying Technology. 17 (1999): 191-213.
- Moreira, R. G. “Impingement Drying of Food using Hot Air and Superheated Steam”, Journal of Food Engineering.49, (2001): 291-295
- Pang, S. “Some Consideration In Simulation of Superheated Steam Drying of Softwood Lumber”, Drying Technology.15 (1997): 651-670.
- Pang, S. and Dakin, M. “Drying Rate Temperature Profuse of Superheated Steam Vacuum Drying and Moisture Air Drying of Soft Wood Lumber”, Drying Technology. 17, (1999): 1135-1147.
- Rebb, J. E. “Drying Wood. College of Agriculture”, University of Kentucky. United State of America. 1997.
- Simpson, W.T., et al. “Dry Kiln Operator’s Manual”. Handbook No. 188, U.S. Dept. of Agriculture. (1991): 227-232.
- Thiam, M., Milota, M.R. and Leichti, R. J. Effect of High Temperature Drying on Bending and Shear Strengths of Western Hemlock Lumber, Forest Product Journal.52(4), (2002): 64-68.
- Wengert, E. M. Techniques for Equalizing and Conditioning Lumber. Department of Forest Ecology and Management, School of Natural Resources, University of Wisconsin-Madison. (1992).

