

M 190738

วส 122269



รายงานการวิจัย
เรื่อง

การผลิตฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยกอกขนากและยางพารา

Production of Insulation from Small Flower Umbrella Plant Fiber and Rubber.



ปริญ นิลแสงรัตน์

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

สำนักวิทยบริการฯ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
วันรับ.....
วันลงทะเบียน..... 16 พ.ค. 2558
เลขทะเบียน..... ๖๓. 249931
เลขเรียกหนังสือ..... 697.9 ป/ว3ก

2558

๖-๑

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
2558

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

(งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม ปีงบประมาณ 2558)

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จได้ด้วยดีจากความอนุเคราะห์ทุนอุดหนุนจากสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

ขอขอบพระคุณสาขาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม สนับสนุนในการดำเนินการต่างๆ ให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านในสาขาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม ที่ให้คำปรึกษาและแนะนำในการทำงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณครอบครัวสำหรับทุกสิ่งทุกอย่างที่ได้ช่วยเหลือ ดูแลและให้กำลังใจตลอดช่วงเวลาการทำงานวิจัยนี้

ปริญ นิลแสงรัตน์

2559



มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

หัวข้อวิจัย การผลิตฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยกกขนากและยางพารา
ผู้ดำเนินการวิจัย ปริญ นิลแสงรัตน์
หน่วยงาน หลักสูตร วท.บ.ฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
ปี พ.ศ. 2559

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการผลิตฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยกกขนากและยางพารา โดยใช้เส้นใยกกขนากผสมกับน้ำยางพาราหล่อแบบในอัตราส่วน 1:4 1:6 และ 1:8 คุณสมบัติการนำความร้อนของฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยกกขนากและยางพาราศึกษาโดยใช้เครื่องวัดค่าการนำความร้อน ตามมาตรฐาน ASTM C177-97 คุณสมบัติอัตราการลามไฟของฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยกกขนากและยางพาราทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 635-98 และหาความหนาแน่นของฉนวนกันความร้อนจากกกขนากและยางพาราโดยใช้หลักของอาร์คิมิดีส

ผลการวิจัยพบว่าการนำความร้อนของฉนวนกันความร้อนจากกกขนากและยางพาราสูงขึ้น เมื่อปริมาณของเส้นใยกกขนากในน้ำยางพาราเพิ่มขึ้น อัตราการลามไฟฉนวนกันความร้อนจากกกขนากและยางพาราจะลดลงเมื่อปริมาณของเส้นใยกกขนากในน้ำยางพาราเพิ่มขึ้น และความหนาแน่นของฉนวนกันความร้อนจากกกขนากและยางพารามีค่าใกล้เคียงกัน ถึงแม้ว่าปริมาณของเส้นใยกกขนากในน้ำยางพาราจะมีการเปลี่ยนแปลงก็ตาม

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

Research Title	Production of Insulation from Small Flower Umbrella Plant Fiber and Rubber.
Researcher	Pariya Nilsaengrat
Organization	Program in Physics (B.S.), Faculty of Science and Technology Rajabhat Maha Sarakham University
Year	2016

ABSTRACT

This research is to study the production of insulation from small flower umbrella plant fibers and rubber. By using small flower umbrella plant fiber mixed with rubber molding in the ratio 1:4, 1:6 and 1: 8. Thermal conductivity properties of insulation small flower umbrella plant fibers and rubber studied using the measure thermal conductivity according to standard ASTM C177. -97. Fire spread of insulation small flower umbrella plant fibers and rubber tested according to ASTM D 635-98. And density of insulation from small flower umbrella plant fibers and rubber tested using principle of Archimedes.

The results showed that the thermal conductivity of insulation from small flower umbrella plant fibers and rubber is higher when the amount of small flower umbrella plant fiber in the rubber increases. The fire spread of insulation small flower umbrella plant fibers and rubber decreased when of small flower umbrella plant fiber in the rubber increases. And the density of small flower umbrella plant fiber in the rubber has similar values. Although the amount of small flower umbrella plant fiber in the rubber to changed.

RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
ความเป็นมาและความสำคัญ	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
ขอบเขตการวิจัย	2
สมมติฐานการวิจัย	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎี เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 กกชนาก	3
2.2 ยางพาราธรรมชาติ	4
2.3 เส้นใยธรรมชาติ	5
2.4 การดัดแปรเส้นใย	7
2.5 วัสดุผสม	8
2.6 คุณสมบัติเชิงความร้อน	10
2.7 ฉนวนความร้อน	15
2.8 การเผาไหม้	16
2.9 สารหน่วงไฟ	21
2.10 บอแรกซ์	22
2.11 อัตรากลามไฟ	23
2.12 หลักของอาร์คมีดีส	25
2.13 การทดสอบสมบัติเชิงความร้อน	26
2.14 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	27

	หน้า
บทที่ 3	
วิธีดำเนินการวิจัย	29
3.1 วัสดุและอุปกรณ์	29
3.2 วิธีดำเนินการวิจัย	32
บทที่ 4	
ผลการวิจัย	34
4.1 ผลการศึกษาการนำความร้อนของฉนวนกันความร้อนจากกกขนาก และยางพารา	34
4.2 ผลการศึกษาอัตราการลามไฟของฉนวนกันความร้อนจากกกขนาก และยางพารา	35
4.3 ผลการศึกษาความหนาแน่นของฉนวนกันความร้อนจากกกขนาก และยางพารา.....	36
บทที่ 5	
สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	38
สรุปผลการวิจัย	38
อภิปรายผล	38
ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้	38
ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป	38
บรรณานุกรม	39
บรรณานุกรมภาษาไทย	39
บรรณานุกรมภาษาต่างประเทศ	40
ภาคผนวก	41
ภาคผนวก ก	42
ภาคผนวก ข	44
ภาคผนวก ค	46
ภาคผนวก ง	48
ภาคผนวก จ	50
ภาคผนวก ฉ	52
ภาคผนวก ช	54
ประวัติผู้วิจัย	56

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ตัวอย่างสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k)	12
2.2 ตัวอย่างจุดวาบไฟของเชื้อเพลิงต่าง ๆ	17
2.3 แสดงค่าความสามารถในการนำความร้อนของสารบางชนิด	18
4.1 แสดงผลค่าการนำความร้อนของฉนวนกันความร้อนจากกกขนากและยางพารา ในอัตราส่วนที่กำหนด	34
4.2 ผลการหาอัตราการลามไฟของฉนวนกันความร้อนจากกกขนากและยางพารา ในอัตราส่วนที่กำหนด	36
4.3 ผลการหาความหนาแน่นของฉนวนกันความร้อนจากกกขนากและยางพารา ในอัตราส่วนที่กำหนด	37



มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 กกขนาก	3
2.2 ลักษณะต่างๆของเฟสที่กระจายตัวอยู่ที่ส่งผลต่อสมบัติสุดท้ายของวัสดุผสม	9
2.3 แผนผังการแบ่งประเภทของวัสดุผสม	10
2.4 สามเหลี่ยมองค์ประกอบของการเกิดไฟ	17
2.5 แสดงการส่งผ่านความร้อน โดยการนำความร้อน	19
2.6 แสดงการส่งผ่านความร้อนจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง โดยการพาความร้อน	19
2.7 แสดงการส่งผ่านความร้อนโดยการแผ่รังสี ซึ่งจะเกิดขึ้นทุกทิศทุกทาง	20
2.8 ขนาดของแรงลอยตัวเท่ากับขนาดน้ำหนักของของเหลวที่วัตถุแทนที่	25
2.9 หลักการทำงานของเครื่องมือวัดแบบการวัดการถ่ายเทของความร้อน	27
3.1 เครื่องซังดิจิตอล ความละเอียดทศนิยม 2 ตำแหน่ง รุ่น Scout ProSps (202) ผลิตโดยOHAUS	29
3.2 บล็อกขึ้นรูปขนาด 10x10x1.5 เซนติเมตร	30
3.3 ตู้อบลมร้อนแบบไม่มีพัดลม Oven รุ่น ED53 ผลิตโดย BINDER	30
3.4 เครื่องวัดค่าการนำความร้อนแบบวัดการถ่ายเทความร้อน รุ่น 436 Lambda ผลิตโดย NETZSCH	31
3.5 อุปกรณ์ในการศึกษาการอัตราการลามไฟของฉนวนกันความร้อนจากกกขนาก และยางพารา	31
3.5 ถ้วยยูเรก้า	32
4.1 แสดงค่าการนำความร้อนของฉนวนกันความร้อนจากกกขนากและยางพารา ในอัตราส่วนที่กำหนด	35
4.2 แสดงอัตราการลามไฟของฉนวนกันความร้อนจากกกขนากและยางพารา ในอัตราส่วนที่กำหนด	36
4.3 แสดงค่าความหนาแน่นของฉนวนกันความร้อนจากกกขนากและยางพารา ในอัตราส่วนที่กำหนด	37
ก-1 แผ่นฉนวนกันความร้อนจากกกขนากและยางพาราในอัตราส่วน 1:4	43
ก-2 แผ่นฉนวนกันความร้อนจากกกขนากและยางพาราในอัตราส่วน 1:6	43
ก-3 แผ่นฉนวนกันความร้อนจากกกขนากและยางพาราในอัตราส่วน 1:8	43
ข-1 ตารางค่าการนำความร้อนของแผ่นฉนวนกันความร้อนจากกกขนากและยางพารา ในอัตราส่วนที่กำหนด	45

บทที่ 1 บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญ

ประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตร้อนทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ของทวีปเอเชีย และสภาพอากาศปัจจุบันในประเทศไทยมีแนวโน้มที่สูงขึ้น คนไทยจึงมีการใช้เครื่องปรับอากาศมากขึ้น หากความร้อนเข้าสู่อาคารมาก ๆ จะทำให้เครื่องปรับอากาศทำงานหนัก พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ก็จะสูงตามไปด้วย เมื่ออุณหภูมิจะช่วยป้องกันความร้อนและอุณหภูมิจากแสงอาทิตย์ในตอนกลางวัน อีกทั้งในตอนกลางคืนก็ยังสามารถช่วยให้ความร้อนจากอุณหภูมิภายนอกที่สูงกว่าถ่ายเทเข้าไปในห้องได้น้อยลง พร้อมทั้งเก็บรักษาความเย็นไว้ได้นานอีกด้วย จึงเป็นการลดการทำงานของเครื่องปรับอากาศเท่ากับช่วยประหยัดค่าไฟ และช่วยลดการสึกหรอจากการใช้เครื่องปรับอากาศให้สามารถใช้งานได้นาน เครื่องปรับอากาศทำหน้าที่ดึงเอาความร้อนจากคนที่อาศัยอยู่ในห้องไม่ถึงร้อยละ 10 แต่จะดึงเอาความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามาตามฝาผนัง ฝ้าเพดาน หน้าต่างกระจก และรอยรั่วของประตูหน้าต่างถึงประมาณร้อยละ 80-90

ดังนั้นการสร้างบ้านเรือนจึงจำเป็นต้องสร้างให้เหมาะกับสภาพอากาศ เพื่อต่อการอยู่อาศัย โดยหาวิธีป้องกันความร้อนจากแสงอาทิตย์ที่จะเข้าสู่ภายในตัวอาคารบ้านเรือนตลอดจนการป้องกันอันตรายจากความร้อนและช่วยประหยัดพลังงานไฟฟ้า จากการใช้เครื่องปรับอากาศ ซึ่งจะช่วยให้อุณหภูมิภายในตัวอาคารลดลง ผู้คนจึงหาแนวทางในทางแก้ปัญหาโดยนำแผ่นฉนวนกันความร้อนแบบใยแก้วมาติดบนฝ้าเพดานซึ่งมีราคาแพง เพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุธรรมชาติมาพัฒนาเป็นฉนวนกันความร้อน จึงได้นำกากขี้เถ้าซึ่งอยู่มากในท้องถิ่นมาเป็นวัสดุผสมกับยางพารามาผลิตฉนวนกันความร้อน

กกขนาก เรียกอีกชื่อว่า หล้าดอกต่อ หรือฝ่อน้อย เป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยว อายุปีเดียวหรือหลายปีลำต้นสีเขียวเป็นสามเหลี่ยม (ซึ่งต่างกับพืชวงศ์หญ้าที่ลำต้นส่วนใหญ่กลมและกลวง) พืชชนิดนี้สามารถเจริญได้ดีในที่ชื้นและมีน้ำขัง พบกระจายทางตอนใต้ของยุโรป แอฟริกา เอเชีย และออสเตรเลีย ในประเทศไทยพบมากในบริเวณดินชื้นแฉะ เช่น นาหว่านน้ำตม นาตาและนาหว่านข้าวแห้ง เหลียวมองท้องนาอันเขียวขจีในช่วงฤดูฝน ความสวยงามและสีส้มของต้นข้าวที่เริ่มเจริญ เติบโตมีผสมปนเปกับพืชอีกนานาชนิดที่มักสร้างปัญหาให้กับชาวนาเป็นอย่างมาก กกขนากก็เป็นพืชอีกชนิดหนึ่งที่จัดเป็นวัชพืชนาข้าวซึ่งมีแนวโน้มทำให้ความสูงของต้นข้าวลดลง หรืออย่างร้ายแรงถึงกับทำให้ต้นข้าวล้มส่งผลให้ผลผลิตตกต่ำได้ ในบางท้องถิ่นได้เริ่มนำกกขนากมาใช้ประโยชน์โดยพัฒนาจากผลิตภัณฑ์ง่ายๆ อย่างเช่น การทำเสื่อ หรือกระดาษที่มีกนิยมนำพืชไร่ค้ำมาเพิ่มมูลค่าและคุณค่าได้ กกขนากจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจเป็นอย่างยิ่งในการแปรรูปเป็นฉนวนกันความร้อน

ยางพาราเป็นไม้ต้นผลัดใบ มีน้ำยางสีขาว ใบอ่อนสีออกม่วงแดงเป็นมัน เปลี่ยนเป็นสี น้ำตาลปนส้มหรือแดง ใบเรียงเวียน ใบประกอบแบบนี้มี 5-7 ใบ รูปรีแกมรูปใบหอกหนาเหมือนแผ่นหนัง ดอกสีขาวปนเหลือง มีกลิ่นหอม ผลแห้งแตกขนาดใหญ่ รูปทรงกลม มี 3 เมล็ด เมื่อผลแก่เต็มที่จะแตกออกมีเสียงดัง ปัจจุบันประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกยางทั้งประเทศประมาณ 12 ล้านไร่ กระจายกันอยู่ในภาคใต้ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือซึ่งเป็นแหล่งปลูกยางใหม่ การพัฒนาอุตสาหกรรมยางของประเทศได้เจริญรุ่งเรืองเรื่อยมาจนทำให้ประเทศไทยเป็นประเทศที่ผลิตและส่งออกยางได้มากที่สุดในโลก ยางพาราถือเป็นพืชเศรษฐกิจใหม่สำหรับพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ คุณสมบัติของน้ำยางพารา คือ มีน้ำหนักเบาและมีความยืดหยุ่นสูง สามารถขึ้นรูปได้ง่าย น้ำยางสดที่กรี๊ดได้จากสวนยาง สามารถนำไปแปรรูปได้หลากหลายชนิดทั้งในรูปแบบ

ยางชั้นและยางแห้ง ซึ่งได้แก่ ยางแท่ง ยางแผ่นดิบ ยางแผ่นรมควัน ยางก้อนถ้วย ยางเครพ เป็นต้น ปัจจุบันมีการพัฒนาเทคนิคต่างๆ จนสามารถนำยางไปใช้ประโยชน์ได้มากมาย เช่น ฝ้ายางกันน้ำ เสื้อกันฝน ลูกบอล รองเท้า ยางรถยนต์ สายไฟ สายเคเบิล เป็นต้น

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1) เพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผสมเส้นใยกกขนากกับยางพารา
- 2) เพื่อศึกษาการนำความร้อนของวัสดุผสมเส้นใยกกขนากและยางพารา
- 3) เพื่อศึกษาการลามไฟของวัสดุผสมเส้นใยกกขนากและยางพารา

ขอบเขตการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาคุณสมบัติการนำความร้อนของวัสดุผสมเส้นใยกกขนากและยางพารา โดยจะใช้กกขนากในพื้นที่ อ.เมือง จ.มหาสารคาม ผสมกับน้ำยางพาราหล่อแบบหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผสมเส้นใยกกขนากกับยางพารา และนำไปศึกษาการนำความร้อน ในศึกษาการลามไฟจะนำวัสดุผสมเส้นใยกกขนากและยางพารามาเปรียบเทียบกับของวัสดุผสมกกขนาก ยางพาราและสารหน่วงไฟเชิงค้บอเรท

สมมติฐานการวิจัย

ฉนวนกันความร้อนที่ผลิตจากเส้นใยกกขนากและยางพารามีสภาพนำความร้อนใกล้เคียงกับฉนวนกันความร้อนในท้องตลาดซึ่งผลิตจากใยแก้ว

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ทราบกระบวนการผลิตฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยกกขนากและน้ำยางพารา
- 2) ทราบคุณสมบัติเชิงความร้อนของฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยกกขนากและน้ำยางพารา
- 3) ทราบอัตราการลามไฟของฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยกกขนากและน้ำยางพารา
- 4) เพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุธรรมชาติในท้องถิ่น
- 5) เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการพัฒนาฉนวนกันความร้อนที่ผลิตจากวัสดุธรรมชาติไปใช้ประโยชน์

เช่น ใช้เป็นฉนวนกันความร้อนแทนใยแก้วบริเวณใต้หลังคาบ้าน

บทที่ 2

ทฤษฎี เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 กกขนาก

การจำแนกชั้นทางวิทยาศาสตร์

ชื่อวิทยาศาสตร์: *Cyperus difformis* L.

ชื่ออื่น: small flower umbrella plant หญ้าดอกต่อ, ฝื่อน้อย

อาณาจักร: Plantae

หมวด: Magnoliophyta

ชั้น: Monocotyledoneae

อันดับ: Poales

วงศ์: Cyperaceae

สกุล: Cyperus

สปีชีส์: *Cyperus difformis*

ประเภท/ชีพจักร: กก/อายุปีเดียว

ลักษณะเด่น: ลำต้นสามเหลี่ยมเว้าลึก ดอกเป็นแฉกทรงกลมสี่เหลี่ยม

ส่วนขยายพันธุ์: เมล็ด

สภาพที่เหมาะสม: ดินชื้นแฉะ



ภาพที่ 2.1 กกขนาก

ที่มา (สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว กระทรวงเกษตร
และสหกรณ์, 2553)

กกขนาก (ชื่อวิทยาศาสตร์: *Cyperus difformis* L.) เป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวอยู่ในวงศ์กก เป็นพืชจำพวกไม้ล้มลุก มีอายุไม่เกินหนึ่งปี ขึ้นเป็นกอสูง 10-70 เซนติเมตร ลักษณะลำต้นเป็นเหลี่ยมมีผิวเกลี้ยง มีสันชัดเจน กาบใบเรียงซ้อนกันที่โคนกอ ใบของกกขนากมีรูปขอบขนานแคบ ปลายแหลมยาว 10-20 เซนติเมตร กว้าง 2-6 เซนติเมตร ไม่แยกเป็นก้านใบและแผ่นใบ ดอกออกเป็นช่อแน่นกลมคล้ายร่มที่ซ้อนกัน ออกดอกตลอดปี ช่อดอกย่อยจำนวนมากรวมกันเป็นกระจุก ดังภาพที่ 2.1 ก้านชูดอกสูง 30-40 เซนติเมตร บริเวณปลายก้านกาบช่อย่อยเป็นแผ่นเยื่อบางสีน้ำตาล รูปรี มีเกสรเพศผู้ 3 อัน ผลของกกขนากมีสีเหลืองแกมเขียว มีลักษณะเป็นผลแห้ง เมื่อแก่แล้วจะไม่แตก มีขนาดเล็กและเป็นรูปรีหรือรูปไข่กลับ ไข่มล็ดในการแพร่พันธุ์

กกขนากพบได้ในเขตร้อนและเขตเส้นศูนย์สูตรของทวีปเอเชีย นอกจากนี้ยังถือว่าเป็นวัชพืชชนิดหนึ่งซึ่งมักขึ้นในนาข้าวและตามแหล่งน้ำทั่วไป โดยเฉพาะในดินชื้นแฉะและในนาหว่านน้ำตม นาดำและนาหว่านข้าวแห้ง ชอบขึ้นในที่ชื้นแต่ไม่ออกใต้น้ำ กกขนากที่งอกออกมาใหม่ จะมีลักษณะเหมือนปลายมีดแหลมโผล่ขึ้นจากผิวดินและมีสีเขียวอ่อน งอกขึ้นแข่งต้นข้าวได้อย่างรุนแรง เพราะต้นจะสูงกว่าและมีอายุสั้น อาจทำให้ต้นข้าวล้มและผลผลิตลดลงได้ จากการทดลองพบว่า กกขนาก 100 ต้นต่อตารางเมตร จะทำให้ผลผลิตข้าวลดลง 49-84 % แต่ถ้ามีถึง 300 ต้นต่อตารางเมตร จะทำให้ผลผลิตลดลงถึง 57-90% นอกจากนี้ความเสียหายจะเพิ่มมากขึ้น หากดินมีความอุดมสมบูรณ์สูง

2.2 ยางพาราธรรมชาติ

ยางพาราเป็นพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจตั้งแต่ปี 2534 ประเทศไทยเป็นผู้ผลิตและส่งออกยางพาราเป็นอันดับ 1 ของโลก รัฐบาลจึงได้พยายามขยายเนื้อที่ปลูกยางพาราในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เนื่องจากเกษตรกรมีรายได้ไม่แน่นอนจากความแปรปรวนของราคาผลผลิตการเกษตร ช่วยดึงแรงงาน กลับคืนถิ่น ลดปัญหาการว่างงานและแรงงานอพยพ เพิ่มพื้นที่สีเขียวและช่วยลดสภาวะโลกร้อนแสดงได้

ยางธรรมชาติมีชื่อทางเคมี คือ cis-1,5-polyisoprene กล่าวคือ มี isoprene (C_5H_8) เนื่องจากส่วนประกอบของยางธรรมชาติเป็นไฮโดรคาร์บอนที่ไม่มีขั้ว ดังนั้นยางจึงละลายได้ดีในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว เช่น เบนซีน เฮกเซน เป็นต้น โดยทั่วไปยางธรรมชาติมีโครงสร้างการจัดเรียงตัวของโมเลกุลแบบอสัณฐาน (amorphous) แต่ในบางสภาวะโมเลกุลของยางสามารถจัดเรียงตัวค่อนข้างเป็นระเบียบที่อุณหภูมิต่ำหรือเมื่อถูกยืด มันจึงสามารถเกิดผลึก (crystallize) ได้การเกิดผลึกเนื่องจากอุณหภูมิต่ำ (low temperature crystallization) จะทำให้ยางแข็งมากขึ้น แต่ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นยาง ก็จะอ่อนลงและกลับสู่สภาวะเดิม ในขณะที่การเกิดผลึกเนื่องจากการยืดตัว (strain induced crystallization) ทำให้ยางมีสมบัติเชิงกลดี นั่นคือยางจะมีความทนทานต่อแรงดึง (tensile strength) ความทนทานต่อการฉีกขาด (tear resistance) และความทนทานต่อการขัดสี (abrasion resistance) สูง ลักษณะเด่นอีกอย่างของธรรมชาติคือความยืดหยุ่น (elasticity) ยางธรรมชาติมีความยืดหยุ่นสูง เมื่อแรงภายนอกที่มากระทำกับมันหมดไป ยางก็จะกลับคืนสู่รูปร่างและขนาดเดิม (หรือใกล้เคียง) อย่างรวดเร็ว ยางธรรมชาติยังมีสมบัติดีเยี่ยมด้านการเหนียวติดกัน (tack) ซึ่งมีสมบัติสำคัญของการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ต้องอาศัยการประกอบ (assemble) ชิ้นส่วนต่างๆ เข้าด้วยกันเช่นยางรถยนต์ เป็นต้น

อย่างไรก็ตามยางดิบตามลำพังจะมีขีดจำกัดในการใช้งานเนื่องจากคุณสมบัติเชิงกลต่ำและลักษณะทางกายภาพจะไม่เสถียรขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิมาก กล่าวคือยางจะอ่อนแ่ยมและเหนียวเหนอะหนะเมื่อร้อน แต่จะแข็งเปราะเมื่ออุณหภูมิต่ำ ด้วยเหตุนี้ การใช้ประโยชน์จากยางจำเป็นต้องมีการผสมยางกับสารเคมีต่างๆ เช่น กำมะถันผงเขม่าดำ และสารตัวเร่งต่างๆ เป็นต้น หลังจากการบดผสม ยางผสมหรือยาง

คอมพาวด์ (rubber compound) ที่ได้จะถูกนำไปขึ้นรูปในแม่พิมพ์ภายใต้ความร้อนและความดัน กระบวนการนี้เรียกว่า วุลคาไนเซชัน (vulcanization) ง่ายที่ผ่านการขึ้นรูปนี้เราเรียกว่า “ยางสุกหรือยางคงรูป” (vulcanizate) ซึ่งสมบัติของยางคงรูปที่ได้นี้ จะเสถียร ไม่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิมากนัก และมีสมบัติเชิงกลดีขึ้น ยางธรรมชาติถูกนำไปใช้ ในการผลิตภัณฑ์ต่างๆ มากมาย เนื่องจากยางธรรมชาติมีสมบัติดีเยี่ยมในด้านการทนต่อแรงดึง (tensile strength) แม้ไม่ได้เติมสารเสริมแรงและมีความยืดหยุ่นสูงมากจึงเหมาะที่จะใช้ในการผลิตภัณฑ์บางชนิด เช่น ถุงมือ ยางยานยนต์ ยางรัดของ เป็นต้น ยางธรรมชาติมีสมบัติเชิงพลวัต (dynamic properties) ที่ดีมีความยืดหยุ่น (elasticity) สูง ในขณะที่มีความร้อนภายใน (heat build-up) ที่เกิดขึ้นขณะใช้งานต่ำ และมีสมบัติการเหนียวติดกัน (tack) ที่ดี จึงเหมาะสำหรับการผลิตยางรถบรรทุก ยางล้อเครื่องบิน หรือใช้ผสมกับยางสังเคราะห์ในการผลิตยางรถยนต์ เป็นต้น ยางธรรมชาติมีความต้านทานต่อการฉีกขาด (tear resistance) สูงทั้งที่อุณหภูมิต่ำและอุณหภูมิสูง จึงเหมาะสำหรับการผลิตยางกระเปาะน้ำร้อน ในขณะที่ร้อนยางที่ใช้จึงต้องมีค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดขณะ ความร้อนสูงแม้ว่ายางธรรมชาติจะมีสมบัติที่ดีเหมาะสำหรับการผลิตภัณฑ์ต่างๆ มากมาย แต่ยางธรรมชาติก็มีข้อเสียหลัก คือ การเสื่อมสภาพเร็วภายใต้แสงแดด ออกซิเจน โอโซน และความร้อน เนื่องจากโมเลกุลของยางธรรมชาติมีพันธะคู่ (double bond) อยู่มาก ทำให้ยางไวต่อการทำปฏิกิริยากับออกซิเจนและโอโซนโดยมีแสงแดดและความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ดังนั้นในระหว่างการผลิตจึงต้องมีการเติมสารเคมีบางชนิด (สารในกลุ่มของ antidegradants) เพื่อยืดอายุการใช้งาน นอกจากนี้ยางธรรมชาติยังมีประสิทธิภาพการทนต่อสารละลายไม่มีขี้ น้ำมันและสารเคมีต่ำ จึงไม่สามารถใช้ในการผลิตภัณฑ์ที่ต้องสัมผัสกับต่างๆ ดังกล่าว

น้ำยางพาราหล่อแบบส่วนประกอบของสารเคมีที่เพิ่มลงในน้ำยางธรรมชาติ มีดังนี้

1) โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์	3 กรัม
2) โปแตสเซียมลอเรท	1 กรัม
3) ซัลเฟอร์	4 กรัม
4) ซิงค์ไดเอทิลไดไทโอคาร์บอเนต	2 กรัม
5) วิงสเตย์แอล	2 กรัม
6) ซิงค์ออกไซด์	1.5 กรัม
7) น้ำยางธรรมชาติ	167 กรัม

2.3 เส้นใยธรรมชาติ (Natural fiber)

เส้นใยธรรมชาติเป็นเส้นใยที่มีคุณสมบัติที่ดีหลายประการโดยเฉพาะทางด้านสิ่งแวดล้อมและต้นทุนการผลิตที่ต่ำกว่าเส้นใยสังเคราะห์เส้นใยที่ได้มาจากธรรมชาติ ได้แก่ เส้นใยจากพืชสัตว์และสารอนินทรีย์หรือแร่ธาตุโดยเส้นใยพืชที่ได้มาจากส่วนลำต้น เช่น เส้นใยกล้วย ปอ ลินิน เป็นต้น เส้นใยที่ได้มาจากใบ เช่น เส้นใยครนารายณ์กล้วยเส้นใยที่ได้มาจากผล เช่น เส้นใยมะพร้าวเส้นใยที่ได้มาจากเมล็ด เช่น เส้นใยฝ้ายนุ่นส่วนเส้นใยที่ได้มาจากสัตว์ ได้แก่ ไหมพรมที่มาจากขนแกะ เป็นต้น และในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะเส้นใยที่ได้จากพืชโดยมุ่งเน้นไปที่เส้นใยจากกากกล้วยน้ำว่า

2.3.1 องค์ประกอบทางเคมี

องค์ประกอบทางเคมี ของเส้นใยธรรมชาติมีความหลากหลายกับชนิดของเส้นใยโดยเส้นใยธรรมชาติจะประกอบด้วย พอลิเมอร์ หลัก 4 ชนิดคือเซลลูโลส (Cellulose) เฮมิเซลลูโลส (Hemi-celluloses) เพ

กทิน (Pectin) และลิกนิน (Lignin) สัดส่วนขององค์ประกอบเหล่านี้จะส่งผลถึงสมบัติของเส้นใยขององค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยธรรมชาติชนิดต่าง ๆ

เส้นใย หมายถึง สิ่งที่มีลักษณะเป็นเส้นยาวเรียวยาว องค์ประกอบของเซลล์ส่วนใหญ่ เป็นเซลลูโลส เกิดจากการรวมตัวของพอลิแซคคาไรด์ ของกลูโคส ซึ่งโมเลกุลของเซลลูโลสเรียงตัวกันในผนังเซลล์ของพืชเป็นหน่วยเส้นใยขนาดเล็ก มากเกิดการเกาะจับตัวกันเป็นเส้นใยขึ้นใน ปี ค.ศ.1838 Anselme ศึกษาว่า ผนังเซลล์ของพืชโดย ส่วนใหญ่ ประกอบด้วยเซลลูโลสซึ่งเป็นวัสดุเสริมแรงภายในผนังเซลล์โดยที่เซลลูโลสเป็นพอลิเมอร์ เชิงเส้นส่วนเฮมิเซลลูโลสประกอบด้วยกลุ่มของพอลิแซ็กคาไรด์ เมื่อกำจัดลิกนินออกไป องค์ประกอบที่ยังคงเหลืออยู่กับเซลลูโลส คือ เฮมิเซลลูโลส ซึ่ง สมบัติโดยทั่วไปของเฮมิเซลลูโลสแล้ว คือ มีมวลโมเลกุลต่ำกว่าเซลลูโลส และเนื่องจากมันเป็น พอลิเมอร์ชอบน้ำ ดังนั้นจึงส่งผลต่อสมบัติการสลายตัวตามธรรมชาติการดูดความชื้นและการสลายตัวโดย ความร้อน องค์ประกอบที่สำคัญอีกชนิดหนึ่ง คือ ลิกนิน ซึ่งทำหน้าที่เป็นสารยึดติดภายในผนังเซลล์มีความเสถียรทางความร้อนสูง แต่มีผลกระทบกับการย่อยสลายโดย รังสีอัลตราไวโอเล็ตและ องค์ประกอบสุดท้าย คือ เพกทินเป็นเฮเทอโรพอลิแซ็กคาไรด์ เป็นเมทริกซ์ ภายในผนังเซลล์

2.3.2 โครงสร้างของเส้นใยธรรมชาติ

เส้นใยจากลำต้นพืชเป็นเส้นใยที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นวัสดุเสริมแรงในการผลิตคอมโพสิตเนื่องจากมีความแข็งแรงและความเหนียวที่ดีกว่าเส้นใยที่มาจากส่วนอื่นๆ โดยเฉพาะแฟล็กซ์ (Flax) รามี่ร์ (Ramie) และ กัญชง (Hemp) เป็นต้น ส่วนลำต้นประกอบด้วยแกนซึ่งล้อมรอบด้วยกลุ่มเส้นใยที่ยาวและกลวงกลุ่มของเส้นใยจะเชื่อมเข้าด้วยกันโดย ลิกนิน และเพกทินภายในกลุ่มเส้นใยเหล่านี้จะประกอบด้วยเส้นใยเดี่ยว

สมบัติทางกายภาพของเส้นใยธรรมชาติขึ้นอยู่กับโครงสร้างทางเคมี เช่น

- 1) ปริมาณของเซลลูโลส (Cellulose)
- 2) Degree of polymerization
- 3) การจัดเรียงตัวขององค์ประกอบทางเคมี
- 4) สมบัติการเป็นผลึก

โดยสามารถที่จะปรับปรุงสมบัติของเส้นใยธรรมชาติได้มากมายขึ้นกับชนิดของพืชแหล่งที่มาความแตกต่างของความยาวและขนาดของเส้นใยโดยทั่วไป เส้นใยธรรมชาติเหมาะสำหรับนำมาเสริมแรงพอลิเมอร์เนื่องจากความแข็งแรงความเหนียวและความหนาแน่นต่ำความหนาแน่นของเส้นใยธรรมชาติต่ำกว่าเส้นใยแก้ว ดังนั้นจึงสามารถผลิตคอมโพสิตที่มีน้ำหนักเบาได้อย่างไรก็ตามสมบัติอื่นๆของเส้นใยแก้วก็ยังคงดีกว่าเส้นใยธรรมชาติเช่นความทนแรงดึง (Tensile strength) อัตราร้อยละของการยืด (Percentage of Elongation) และมอดูลัสการยืดหยุ่น (Elastic modulus) อย่างไรก็ตามสามารถปรับปรุงสมบัติของเส้นใยธรรมชาติเพื่อให้มีสมบัติที่ดีขึ้นได้ความแตกต่างของโครงสร้างเส้นใยที่เกิดจากกระบวนการผลิตต่างๆ จะให้ค่ามอดูลัสของยัง (Young's modulus) แตกต่างกันไป

คุณสมบัติที่สำคัญของเส้นใยธรรมชาติคือสมบัติพื้นผิวของเส้นใยเซลลูโลสที่มีคุณสมบัติชอบน้ำและดูดความชื้นเนื่องจากพันธะไฮโดรเจนของโมเลกุลน้ำในผนังเซลล์ปริมาณความชื้นในเส้นใยทำให้เกิดปัญหาการยึดติดของเส้นใยและพอลิเมอร์ในระหว่างการผลิตได้อย่างไรก็ตามการปรับสภาพเส้นใยธรรมชาติด้วยวิธีการทางกายภาพและสารเคมีจะสามารถลดปัญหานี้ได้

2.3.3 ประเภทของเส้นใยจากธรรมชาติ

1) เส้นใยจากพืช ได้แก่ เส้นใยจากเซลลูโลส เป็นเส้นใยที่ประกอบด้วยเซลลูโลส ซึ่งได้จากส่วนต่างๆ ของพืช เช่น ป่าน ปอ ลินิน ไยสับปะรด ไยมะพร้าว ฝ้าย นุ่น ทรนารายณ์ เป็นต้น เซลลูโลส เป็น โพลิเมอร์ ประกอบด้วยโมเลกุลของกลูโคสจำนวนมาก มีโครงสร้างเป็นกิ่งก้านสาขา

2) เส้นใยจากสัตว์ ได้แก่ เส้นใยโปรตีน เช่น ขนสัตว์ (wool) ไหม (silk) ผม (hair) เล็บ เขา ไหม เป็นต้น เส้นใยเหล่านี้ มีสมบัติ คือ เมื่อเปียกน้ำความเหนียวและความแข็งแรงจะลดลงถ้าสัมผัสแสงแดด นานๆ จะสลายตัว

3) เส้นใยจากสินแร่ เช่น แร่ใยหิน (asbestos) ทนต่อการกัดกร่อนของสารเคมี ทนไฟ ไม่นำไฟฟ้า

2.3.4 ประโยชน์ของเส้นใยธรรมชาติ

1) เส้นใยที่ใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ คือ พืชที่ให้เส้นใยที่สามารถนำไปปั่นเป็นด้าย เช่น ฝ้าย ปอแก้ว ปอกระเจา ป่านลินิน ป่านรามี่ กระชง

2) เส้นใยที่ใช้ยัดเป็นไส้ใน เช่น ส่วนของหมอน พูก ที่นอน ผ้านวม ได้แก่ นุ่น ฝ้าย จีว มะพร้าว

3) เส้นใยที่ใช้ทำกระดาษ หรือเยื่อกระดาษ เช่น ปอแก้ว ปอกระเจา ปอแก้วควบา ไม้ ยูคาลิปตัส สน พางข้าว หล้าฯจรจบ

4) เส้นใยที่ใช้ทำเชือกเป็นลักษณะรวมเส้นใย หรือกลุ่มเส้นใยที่มีขนาดใหญ่ ทำเกลียวถัก หรือปั่น ทำเป็นเชือก เช่น ปอแก้ว มะพร้าว ป่านทรนารายณ์

5) ใช้ทำแครง ทอเป็นผืนแบบเสื่อ เช่น ป่านทรนารายณ์ กก มะพร้าว

6) ใช้ทำสิ่งของอื่นๆ เช่น ย่านลิเภา กก ไม้ จักสาน ดันหวาย ซึ่งเป็นตระกูลปาล์ม

2.4 การดัดแปรเส้นใย (Fiber modification)

จากสมบัติการเข้ากันได้ดีกับน้ำของเส้นใยธรรมชาติ ทำให้เกิดปัญหาความไม่เข้ากัน ระหว่างเส้นใยเซลลูโลสกับเมทริกซ์ การยึดเกาะระหว่างผิวของเส้นใยเซลลูโลสกับพอลิเมอร์เกิดได้ไม่ดี การถ่ายเทความร้อน และการกระจายแรงกระทำที่ได้รับจากภายนอก ระหว่างเส้นใยกับเมทริกซ์จึงทำได้ไม่ดีด้วยส่งผลกระทบต่อสมบัติเชิงกลของวัสดุผสม การกำจัดปัญหาดังกล่าวของเส้นใยเซลลูโลสสามารถทำได้โดยการดัดแปรสมบัติของเส้นใย เพื่อเพิ่มสมบัติการต้านทานการดูดซับน้ำ และเพิ่มการยึดเกาะระหว่างผิวของเส้นใยกับพอลิเมอร์ การดัดแปรสมบัติเส้นใยสามารถทำได้ทั้งทางกายภาพ และทางเคมี

2.4.1 การดัดแปรสมบัติทางกายภาพของเส้นใย

จะเป็นการเปลี่ยนแปลงเฉพาะโครงสร้าง และสมบัติทางพื้นผิวของเส้นใยเท่านั้น ไม่ได้ทำการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใย เช่น วิธีทางไฟฟ้า (Electrical discharge และ Corona treatment)

2.4.2 การดัดแปรสมบัติทางเคมีของเส้นใย

1) Alkali treatment เป็นวิธีดั้งเดิมในการปรับสภาพของเส้นใยธรรมชาติโดยใช้สารละลายต่างๆ ซึ่งประสิทธิภาพของวิธีนี้จะขึ้นอยู่กับชนิด ความเข้มข้นของสารละลาย เวลา และอุณหภูมิ โดย Alkali จะไปเปลี่ยนโครงสร้างที่ผิวของเส้นใยคือจะเข้าไปกำจัด Hemicellulose Lignin Pectin และ Wax บางส่วนที่

บริเวณผิวของเส้นใยออกไป ส่งผลให้ผิวของเส้นใยธรรมชาติมีความขรุขระมากขึ้น และทำให้เส้นใยแตกออกเป็นเส้นเล็กๆ อีกทั้งยังช่วยดูดซับความชื้น ทำให้การยึดเชิงกลระหว่างเมทริกซ์ และ เส้นใยธรรมชาติดีขึ้น

2) Impregnation treatment เป็นการชุบเคลือบสารละลายของเมทริกซ์บน เส้นใยธรรมชาติก่อน เพื่อให้มีเมทริกซ์ บางส่วนไปยึดเกาะบนผิวของเส้นใยธรรมชาติก่อนที่จะทำการขึ้นรูปวัสดุผสม วิธีนี้จะช่วยให้เส้นใยธรรมชาติเปียกผิวกับเมทริกซ์ และ ช่วยเพิ่มแรงยึดเชิงกลระหว่างเมทริกซ์ และเส้นใยธรรมชาติ

3) Silene treatment โดย Silene เป็นตัวประสาน (Coupling agent) ระหว่างเมทริกซ์และเส้นใยธรรมชาติที่นิยมใช้กันมาก โครงสร้างโดยทั่วไปของ silene คือ X_3Si-R โดยที่ R เป็น Organic function group เช่น Vinyl ซึ่งเกิดพันธะโคเวเลนต์กับเมทริกซ์ ส่วน X จะเป็นหมู่ Alkoxy group เช่น Methoxy จะเกิดพันธะไฮโดรเจนกับ $-OH$ group ของเซลลูโลส วิธีนี้จะช่วยให้เมทริกซ์และเส้นใยธรรมชาติเปียกผิวกันมากขึ้น

4) Isocyanate tetreatment วิธีการตัดแปรเส้นใยด้วย isocyanate โดยเฉพาะ Polymethylene - Polyphenyl - Isocyanate (PMPPIC) ซึ่ง จะเชื่อมต่อกับเซลลูโลสด้วยพันธะโคเวเลนต์ที่มีความแข็งแรง กลุ่ม $N=C=O$ ใน PMPPIC จะทำปฏิกิริยาอย่างรวดเร็วกับ $-OH$ group ของเซลลูโลสแล้วได้ Urethane form วัสดุผสมที่ผลิตจากวัสดุ Cellulosic อาจจะได้จากการ Precoated ด้วยของผสม Isocyanate-polymer หรือเติม Isocyanate ลงไป โดยตรงในขณะที่ผสมเส้นใยกับพอลิเมอร์

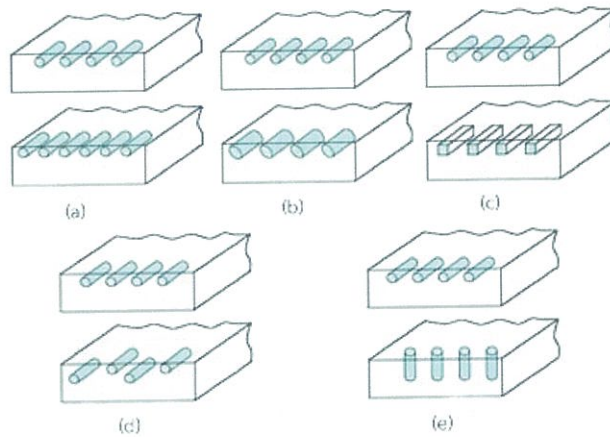
5) Graft copolymerization เป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพที่ใช้ในการปรับปรุงสภาพผิวของเส้นใยธรรมชาติการ Grafting ไปยังเซลลูโลสซึ่งอาจเกิดก่อน หรือระหว่างการเกิดสารประกอบก็ได้ ปฏิกิริยาเริ่มด้วยการเกิด Free radical ในโมเลกุลเซลลูโลสซึ่งเป็นเซลลูโลสที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารละลายน้ำ จากนั้นโมเลกุลเซลลูโลสจะแตก และอยู่ในรูป Radical แล้วถูกปรับสภาพด้วยสารละลาย เช่น Vinyl monomer acrylonitrile, Methylmethacrylate และ Polystyrene ผลที่ได้จะให้ Copolymer ที่มีสมบัติทั้งเซลลูโลสและ Grafted polymer

2.5 วัสดุผสม

2.5.1 วัสดุผสม (Composites)

วัสดุผสม คือ วัสดุที่มีองค์ประกอบทางเคมีหรือโครงสร้างต่างกันตั้งแต่สองชนิดขึ้นไปมาผสมกันซึ่งวัสดุที่ได้จะมีสมบัติของวัสดุเริ่มต้นรวมกัน โดยทั่วไปแล้ววัสดุผสมจะประกอบด้วยวัสดุตัวหนึ่งทำหน้าที่เป็นเนื้อหลักหรือเมทริกซ์ (Matrix) และวัสดุที่ทำหน้าที่เป็นเฟสที่กระจายตัวอยู่ (Dispersed phase) ในเมทริกซ์นั้น หรืออาจเรียกว่าเป็นเฟสเสริมแรง (Reinforced phase) ยกตัวอย่างวัสดุผสมที่พบในธรรมชาติ เช่น ไม้ซึ่งเป็นวัสดุเชิงประกอบระหว่างลิกนิน (Lignin) กับเส้นใยเซลลูโลส (Cellulose fibre) หรือกระดูกซึ่งเป็นวัสดุผสมระหว่างแร่อะพาไทต์ (Apatite) กับโปรตีนคอลลาเจน (Collagen) เป็นต้น

ในส่วนของวัสดุผสมสังเคราะห์นั้นจะถูกเตรียมขึ้นมา เพื่อให้มีสมบัติที่ติดเหมาะกับการใช้งานเฉพาะทางโดยสมบัติของวัสดุผสมที่ได้จะขึ้นอยู่กับสมบัติของวัสดุเริ่มต้นอัตราส่วนของวัสดุเริ่มต้นแต่ละชนิดและลักษณะของเฟสที่กระจายตัวอยู่ ดังภาพที่ 2.2 แสดงถึงลักษณะต่างๆของเฟสที่กระจายตัวอยู่ซึ่งส่งผลต่อสมบัติของวัสดุผสมจะเห็นได้ว่าถึงแม้จะเป็นวัสดุผสมที่เกิดจากเมทริกซ์และเฟสที่กระจายตัวอยู่ชนิดเดียวกัน แต่ถ้ามีความเข้มข้น (ปริมาณ) ขนาด รูปร่าง ลักษณะการกระจาย หรือการจัดเรียงตัวของเฟสที่กระจายตัวอยู่แตกต่างกันแล้วสุดท้ายวัสดุผสมที่ได้ก็จะมีสมบัติที่ไม่เหมือนกัน



ภาพที่ 2.2 ลักษณะต่างๆของเฟสที่กระจายตัวอยู่ที่ส่งผลต่อสมบัติสุดท้ายของวัสดุผสม
 (a) ความเข้มข้น (ปริมาณ) (b) ขนาด (c) รูปร่าง
 (d) การกระจาย (e) การจัดเรียงตัว
 ที่มา (สุภาสินี ลิ้มปานภาพ, 2554)

2.5.2 องค์ประกอบของวัสดุผสม

2.5.2.1 เมทริกซ์ (Matrix) วัสดุผสมเมทริกซ์ที่เราใช้นั้นอาจเป็นพวกเทอร์โมเซต (Thermoset) หรือเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) โดยที่เมทริกซ์มีหน้าที่ดังต่อไปนี้

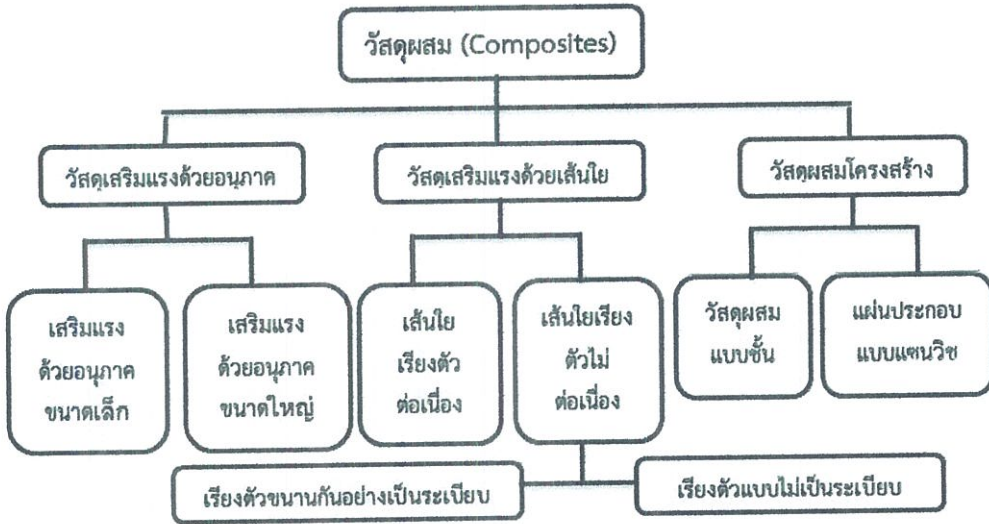
- 1) ให้เส้นใยหรืออนุภาคกระจายตัวและยึดเกาะตามทิศทางที่ต้องการ
- 2) ป้องกันไม่ให้เส้นใยหรืออนุภาคเกิดความเสียหายจากสิ่งแวดล้อม
- 3) ถ่ายเทแรงกระทำจากภายนอกไปสู่เส้นใยหรืออนุภาค
- 4) ช่วยกำหนดรูปร่างของวัสดุผสม
- 5) ต้องเชื่อมด้วยตัวเสริมแรงได้

2.5.2.2 ตัวเสริมแรง (Reinforcement) ได้แก่พวกที่เป็นอนุภาคหรือเส้นใยส่วนใหญ่นิยมใช้เป็นตัวเสริมแรงซึ่งเส้นใยที่นิยมใช้โดยทั่วไปคือ เส้นใยแก้ว (Glass fiber) เส้นใยคาร์บอน (Carbon fiber) และเส้นใยอะรามิด (Aramid fiber) หน้าที่ของตัวเสริมแรงดังต่อไปนี้

- 1) เพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้กับวัสดุผสม
- 2) เพื่อสามารถรับแรงกระทำจากภายนอกโดยแรงกระทำจะถูกถ่ายทอดไปตามเส้นใยหรืออนุภาค

2.5.3 ประเภทของวัสดุผสม

วัสดุผสมสามารถแบ่งออกได้ 3 ประเภทใหญ่ๆ คือ วัสดุผสมเสริมแรงด้วยอนุภาค (Particle-reinforced composite) วัสดุผสมเสริมแรงด้วยเส้นใย (Fiber-reinforced composite) และวัสดุผสมโครงสร้าง (Structural composite) นอกจากนี้แล้ววัสดุผสมแต่ละประเภทยังสามารถเป็นประเภทย่อยๆ ได้อีกแสดงได้ดังภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 แผนผังการแบ่งประเภทของวัสดุผสม
ที่มา (สุภาสินี ลิมปานุภาพ, 2554)

2.6 คุณสมบัติเชิงความร้อน (Thermal properties)

ความร้อนเป็นพลังงานที่ถ่ายเทจากวัสดุหนึ่งไปสู่อีกวัสดุหนึ่ง เนื่องจากมีความแตกต่างของอุณหภูมิ และการถ่ายเทความร้อนจะหยุดลงเมื่อวัสดุทั้งสองมีอุณหภูมิเท่ากัน ซึ่งการถ่ายเทความร้อนจะถ่ายเทจากแหล่งหรือวัสดุที่มีอุณหภูมิสูง ไปสู่แหล่งหรือวัสดุที่มีอุณหภูมิต่ำ สมบัติทางความร้อนที่สำคัญมี 3 ลักษณะ คือ

1) ความจุความร้อน (Heat Capacity) คือ ค่าปริมาณความร้อนที่ใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิให้กับวัสดุ มีหน่วยเป็น แคลอรี ต่อโมล - องศาเซลเซียส ในบางครั้งรายงานเป็นค่าความร้อนจำเพาะ (Specific Heat) มีหน่วยเป็น แคลอรี ต่อกรัม - องศาเซลเซียส

2) ค่าการนำความร้อน (Thermal Conductivity) คือ ค่าที่แสดงการส่งผ่าน หรือ การไหลผ่านของความร้อนในวัสดุนั้น มีหน่วยเป็น วัตต์ต่อเมตร-เคลวิน โดยโลหะจะมีค่าการนำความร้อนสูง ส่วนอัลลอยด์ของโลหะ เซรามิกส์ และวัสดุสารอินทรีย์ เรานี้จะมีค่าการนำความร้อนต่ำกว่า ซึ่งค่าการนำความร้อนจะบอกได้ว่าผลิตภัณฑ์นั้นเป็นฉนวนความร้อน กรณีที่มีค่าการนำความร้อนต่ำ หรือจะเป็นตัวนำความร้อนหากมีค่าการนำความร้อนสูง

3) ค่าการขยายตัวทางความร้อน (Thermal Expansion) คือ ค่าการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของวัสดุ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ รายงานผลเป็นค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อน มีหน่วยเป็น เซนติเมตรต่อเซนติเมตร-องศาเซลเซียส ค่าการขยายตัวทางความร้อนเกิดขึ้นจากการสั่นของโมเลกุลเมื่อได้รับพลังงานเพิ่มขึ้น ผลิตภัณฑ์เซรามิกส์จะมีค่าการขยายตัวทางความร้อนต่ำกว่าโลหะ และวัสดุสารอินทรีย์

การถ่ายเทความร้อน (Heat transfer) ผ่านวัตถุที่เป็นของแข็งเรียกว่า การนำความร้อน จะก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงพลังงานในระดับโมเลกุลของวัตถุ การแผ่รังสีความร้อน (radiation) เป็นขบวนการเคลื่อนย้ายพลังงานโดยแผ่รังสีโฟตอน (photon) จากพื้นผิวหนึ่งไปยังอีกพื้นผิวหนึ่ง การแผ่รังสีความร้อนนี้สามารถส่งผ่านบริเวณสุญญากาศได้ และไม่ได้ขึ้นอยู่กับตัวกลางใดๆ ที่เชื่อมระหว่างพื้นผิวทั้งสอง ส่วนการพา

ความร้อน (convection) ขึ้นอยู่กับการนำความร้อนที่บริเวณผิวของแข็งไปยังของไหลรอบข้าง และของไหลนั้นเคลื่อนตัวไปตามผิว หรือเคลื่อนตัวออกไป แต่อย่างไรก็ตามการถ่ายเทความร้อนทั้งสาม ก็มีลักษณะร่วมที่เหมือนกัน คือ ต่างก็ขึ้นกับอุณหภูมิ และขนาดของวัตถุที่พิจารณา

2.6.1 การนำความร้อน (Heat conduction) คือ ปรากฏการณ์ที่พลังงานความร้อนถ่ายโอนความร้อนภายในวัตถุหนึ่งๆ หรือระหว่างวัตถุสองชิ้นที่สัมผัสกัน โดยมีทิศทางของการเคลื่อนที่ของพลังงานความร้อนจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า โดยที่ตัวกลางไม่มีการเคลื่อนที่การนำความร้อนเป็น กระบวนการที่เกิดขึ้นบนชั้นอะตอมของอนุภาคเป็นหนึ่งในกระบวนการถ่ายเทความร้อนในโลหะ การนำความร้อนเป็นผลมาจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอิสระ (คล้ายการนำไฟฟ้า) ในของเหลวและของแข็งที่มีสภาพการนำความร้อนต่ำเป็นผลมาจากการสั่นของโมเลกุลข้างเคียง ในก๊าซ การนำความร้อนเกิดขึ้นผ่านการสั่นสะเทือนระหว่างโมเลกุลหรือกล่าวคือการนำความร้อนเป็นลักษณะการถ่ายเทความร้อนผ่าน โดยตรงจากวัตถุหนึ่งไปยังอีกวัตถุหนึ่งโดยการสัมผัสกัน เช่น การเอามือไปจับกาน้ำร้อน จะทำให้ความร้อนจากกาน้ำถ่ายเทไปยังมือ จึงทำให้รู้สึกร้อน เป็นต้น วัสดุใดจะนำความร้อนดีหรือไม่ดี ขึ้นอยู่กับสัมประสิทธิ์ การนำความร้อน (k) การนำความร้อน เป็นการถ่ายโอนความร้อนที่เกิดขึ้นในวัตถุที่เป็นตัวกลางทึบแสง เมื่อมีความลาดชันของอุณหภูมิสามารถเกิดได้ในของแข็ง ของเหลว และแก๊ส เนื่องจากการไหลหมุนเวียนเกิดขึ้นในของเหลวและแก๊ส แต่ในของแข็งทึบแสงจะไม่มีการเคลื่อนไหวภายในวัสดุจะมีแต่การถ่ายโอนความร้อนด้วยการนำเพียงอย่างเดียว

จากการสังเกตปรากฏการณ์ธรรมชาติ และการพิจารณาอย่างมีเหตุผลเป็นขั้นตอน ทำให้เราสามารถสร้างสมการนำความร้อนขึ้นมาได้ จากการพิจารณาถึงพลังงานความร้อนที่ถ่ายเทในแท่งวัตถุแข็ง พบว่าเป็นสัดส่วนผกผันกับความยาว Fourier ได้สร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์ขึ้นมาสำหรับกระบวนการเช่นนี้ เป็นปัญหาหนึ่งมิติ สมการการนำความร้อน คือ

$$q = -kA \frac{\Delta T}{L} \quad (2.1)$$

- เมื่อ q คือ อัตราการนำความร้อน (W)
 A คือ พื้นที่หน้าตัดขวาง (m^2)
 ΔT คือ ความแตกต่างอุณหภูมิ (K)
 L คือ ความยาว (m)
 k คือ ค่าการนำความร้อน ($W/m.K$)

ค่า k นี้จะเป็นลักษณะเฉพาะตัวของวัตถุแต่ละชนิด และอัตราส่วน k/L จะถูกเรียกว่า "Conductance"

ค่าการนำความร้อนซึ่งเป็นตัวบอกลักษณะความสามารถในการนำความร้อนของวัตถุนี้ จะขึ้นอยู่กับโครงสร้างโมเลกุลของวัตถุนั้นๆ วัตถุที่มีโครงสร้างโมเลกุลแน่นหนา เช่น พวกโลหะการส่งถ่ายพลังงานระหว่างโมเลกุล ก็จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วกว่าวัตถุที่มีโครงสร้างโมเลกุลไม่แน่นหนา สะเปะสะปะ เช่น พวกอโลหะ จำนวนอิเล็กตรอนอิสระ (free electron) ในโลหะ ก็จะส่งผลต่อการเพิ่มค่าการนำความร้อนขึ้นเช่นกัน ดังนั้น สำหรับวัตถุที่มีการนำไฟฟ้าที่ดีก็มักจะมีการนำความร้อนที่ดี เช่น กัน ค่าการนำความร้อนของของแข็งพวกสารอนินทรีย์มักจะทำกว่าพวกโลหะ ส่วนวัตถุพวกสารอินทรีย์ หรือสารเส้นใยต่างๆ ยังมีค่าต่ำลง

ไปอีก และในสารโลหะในสภาพของเหลว ก็จะมีค่าต่ำกว่าในสภาพของแข็ง เช่นเดียวกับแก๊สในบรรยากาศก็มีค่าต่ำเช่นกันแสดงได้ ดังตารางที่ 2.1 แสดงค่าของการนำความร้อนของวัสดุต่างๆ

สมการการนำความร้อนมีดังนี้

$$q = -kA \frac{dT}{dx} \quad (2.2)$$

เมื่อ q คือ อัตราการนำความร้อน (W)

k คือ ค่าการนำความร้อน ($W/m.K$)

A คือ พื้นที่ในการถ่ายโอนความร้อน (m^2)

dT คือ ความแตกต่างของอุณหภูมิ (K)

dx คือ ระยะทางในการเคลื่อนที่ของความร้อน (m)

เนื่องจากความร้อนจะเกิดการถ่ายโอนจากจุดที่มีอุณหภูมิสูงไปยังจุดที่มีอุณหภูมิต่ำ ซึ่ง จะทำได้ $\frac{dT}{dx}$ มีเครื่องหมายเป็นลบ ดังนั้น เพื่อให้อัตราการนำความร้อนในระยะทาง x มีค่าเป็นบวกจึงมีการเติมเครื่องหมายลบไว้ด้านขวามือ ในสมการนำความร้อน

ค่าการนำความร้อน (Thermal Conductivity) คือ ความสามารถในการนำความร้อนของสาร ซึ่งเป็นคุณสมบัติทางกายภาพของตัวกลางที่มีความร้อนเคลื่อนที่ผ่านแสดงได้ ตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k)

วัสดุ	การนำความร้อน (k) ($W/m.K$)
อากาศ (ที่ความดันบรรยากาศ)	0.026
อะลูมิเนียม	237
คอนกรีต	1.82
ทองแดง	401
เพชร	2300
น้ำแข็ง	2.2
กระดาษ	0.05
ไม้	0.1-0.35
เงิน	429
ยิปซัม	0.191

ที่มา (นฤทธิ์ กล่อมพงษ์, 2552)

ค่าการนำความร้อนขึ้นอยู่กับ

- 1) พื้นที่ซึ่งความร้อนเกิดการถ่ายเท
- 2) ผลต่างอุณหภูมิซึ่งมีความร้อนผ่าน
- 3) ระยะเวลาที่ใช้ในการถ่ายเทความร้อน
- 4) ความหนาของวัสดุที่ความร้อนผ่าน

5) ชนิดของวัสดุ

ถ้าพื้นที่และผลต่างของอุณหภูมิมากกว่าจะเกิดการถ่ายเทมากดังนั้นการนำความร้อนจึงเป็นส่วน โดยตรงกับพื้นที่และผลต่างอุณหภูมิถ้าวัสดุหนามากกว่าความร้อนที่ถ่ายโอนจะน้อยกว่า ดังนั้นการนำความร้อนจึงเป็นส่วนผกผันกับความหนา

2.6.1.1 สมบัติการนำความร้อน การนำความร้อนคือการเคลื่อนที่ของพลังงานโดยการสั่นของ โมเลกุล หากวัสดุชนิดใดยอมให้ พลังงานความร้อนผ่านได้ง่ายวัตถุ นั้นก็จะมีค่าการนำความร้อน มาก หมายถึง นำความร้อนดี และวัสดุชนิดใดยอมให้พลังงานความร้อนผ่านได้ยาก วัสดุนั้นก็จะมีค่าการนำความร้อนต่ำ หมายถึง นำความร้อนน้อย นั้นเองค่าการนำความร้อนจะขึ้นอยู่กับสถานะของมวลสารของวัตถุ ซึ่งแบ่งออก ได้ 3 สถานะ คือ ของแข็ง ของเหลว และก๊าซ สารชนิดใดมีการนำความร้อนสูง เรียกว่า ตัวนำ เช่นสารจำพวก โลหะจะมีค่าการนำความร้อนสูง และสารใดมีความสามารถในการนำความร้อนที่ต่ำ เช่น สารจำพวกอโลหะจะมีค่าการนำความร้อนที่ต่ำ จึงเรียกลำเหล่านี้ว่า ฉนวน

2.6.1.2 สมบัติการนำความร้อนของเส้นใย เนื่องจากเส้นใยเป็นวัสดุพิเศษกว่าวัสดุชนิดอื่น คือ มี เนื้อของวัสดุที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกันไม่ว่าจะผ่านกระบวนการใดก็ตาม กล่าวคือเส้นใยด้ายหรือฝ้ายก็เป็นวัสดุที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน มีช่องว่างให้อากาศไหลผ่านได้เสมอ เส้นใยนับเป็นสารที่เป็นของแข็งจำพวกอโลหะ คือ ไม่นำความร้อนจึงมีค่าการนำความร้อนที่ต่ำกว่าวัสดุจำพวกอโลหะ ดังนั้นจึงสามารถเก็บรักษาพลังงานให้ถ่ายเท สู่อากาศภายนอกที่ร้อนที่สุด

เส้นใยธรรมชาติ เป็นเส้นใยฉนวนความร้อนโดยธรรมชาติ เนื่องจากมีเส้นใยเซลลูโลส และเส้นใย โปรตีน เป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่งไม่นำความร้อน และมีช่องว่างเล็กๆ ภายในเส้นใยซึ่งช่องว่างทำ หน้าที่เก็บ อากาศไว้มีสภาพคล้ายเป็นฉนวนกันความร้อน เนื่องจากความร้อนส่งผ่านตัวกลางที่เป็นอากาศได้น้อย

ค่าการนำความร้อนจะได้รับการทดสอบตามมาตรฐาน EN และ มาตรฐาน ASTM หรือมาตรฐาน อื่นๆ ทั้งในต่างประเทศ ด้วยเหตุนี้สิ่งที่จะใช้ชี้วัดคุณภาพของฉนวนกันความร้อนที่ดีคือการนำค่าการนำความร้อน ค่าความต้านทานความร้อน (R) ของวัตถุ และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของตัวอาคารมาวัด ค่ารวมกัน ค่าความต้านทานความร้อนของวัตถุแปรผันตามมวลความหนาและค่าการนำความร้อนของวัตถุ ค่า ความต้านทานความร้อนมีหน่วยเป็น $m^2 K / W$

$$R = \frac{d}{k} \quad (2.3)$$

เมื่อ R คือ ค่าความต้านทานความร้อน ($m^2 K / W$)

d คือ ค่าความหนาของวัตถุ (m)

k คือ ค่านำความร้อน ($W / m.K$)

2.6.2 การแผ่รังสีความร้อน (Radiation) พลังงานในการแผ่รังสีความร้อนเป็นผลจากโฟตอน เคลื่อนย้ายจากพื้นผิวหนึ่งไปสู่อีกพื้นผิวหนึ่ง เมื่อโฟตอนเคลื่อนมาถึงพื้นผิว โฟตอนอาจถูกดูดกลืนไว้โดยพื้นผิว สะท้อนกลับหรือส่งทะลุผ่านพื้นผิวนั้นๆ ไปพลังงานในการแผ่รังสีจากพื้นผิวนี้จะถูกนิยามอยู่ในรูปของ emissive power ซึ่งเราสามารถแสดงโดยผลทางเทอร์โมไดนามิกส์ได้ว่า emissive power จะเป็นสัดส่วน

โดยตรงกับอุณหภูมิสมบูรณ์ยกกำลังสี่ สำหรับวัตถุที่เป็นตัวแผ่รังสีได้อย่างสมบูรณ์ ซึ่งมักเรียกว่า blackbody ค่า emissive power (E) (W/m) จะมีค่าเท่ากับ

$$E_b = \sigma T^4 \quad (2.4)$$

เมื่อ σ คือ ค่าคงที่สเตฟาน-โบลทซ์มันน์ มีค่าเท่ากับ $5.67 \times 10^{-8} W/m^2K^4$

T คือ อุณหภูมิสมบูรณ์ (K)

เนื่องจากในการแผ่รังสีความร้อนนั้นเกิดขึ้นในลักษณะกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอออกไปทั่วทุกทิศทาง รอบพื้นผิว ดังนั้นความสัมพันธ์ในทางเรขาคณิตศาสตร์ระหว่างพื้นผิวก็จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงพลังงานในรูปการแผ่รังสีระหว่างแผ่นผิวสีดำ 2 แผ่น ขนาด 1×1 เมตร วางขนานกันในระยะห่าง 1 เมตร โดยมีอุณหภูมิสมบูรณ์ 1000 K และ 300 K ตามลำดับ จะมีค่า 1.13 kW ถ้าเราเคลื่อนระยะห่างออกไปเป็น 2 เมตร จะเหลือค่า 0.39 kW แต่ถ้าเราจัดวางตั้งฉากกันที่ขอบใดขอบหนึ่ง จะมีค่า 1.13 kW

2.6.3 การพาความร้อน (Convection) เกิดขึ้นระหว่างผิวสัมผัสของไหลกับวัตถุ กลไกที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของความร้อนโดยการพาเกิดจากผลรวมของการนำความร้อน การสะสมพลังงานและการเคลื่อนที่ของของไหล การพาแบ่งเป็น การพาความร้อนแบบอิสระ (free convection) และการพาความร้อนแบบบังคับ (forced convection)

การพาความร้อนแบบอิสระ คือ การเคลื่อนที่ของความร้อนระหว่างผิวของของแข็งและของไหล โดยที่ไม่มีกลไกใดๆ ที่ทำให้ของไหลเคลื่อนที่ แต่ของไหลที่อยู่ใกล้กับผิวของของแข็งอาจเคลื่อนที่ได้โดยแรงลอยตัวของของไหลเอง แรงลอยตัวนี้เกิดจากความแตกต่างของความหนาแน่นของของไหล เมื่อเกิดความแตกต่างของอุณหภูมิในชั้นของของไหลขึ้น

การพาความร้อนแบบบังคับ คือ การเคลื่อนที่ของความร้อนระหว่างผิวของของแข็งและของไหล โดยที่ของไหลถูกบังคับให้เคลื่อนที่ไปสัมผัสกับผิวของของแข็ง โดยกลไกภายนอก เช่น พัดลม หรือ เครื่องสูบน้ำ สมการการถ่ายเทความร้อนแบบการพานี้ ถูกนำเสนอโดยนิวตัน (Newton) ในปี พ.ศ. 2244 อัตราการนำความร้อนจากการพาหาได้จาก

$$q = h_c A (T_s - T_f) \quad (2.5)$$

เมื่อ q คือ อัตราการนำความร้อน (W)

A คือ พื้นที่หน้าตัดขวาง (m^2)

h_c คือ สัมประสิทธิ์ของการพาความร้อน ($W / m^2 K$)

T_s คือ อุณหภูมิที่พื้นผิว (K)

T_f คือ อุณหภูมิของกรไหล (K)

2.7 ฉนวนความร้อน

ฉนวนความร้อน คือ วัสดุหรือวัสดุที่มีความสามารถในการสกัดกั้นความร้อนไม่ให้ส่งผ่านจากด้านใดด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่งได้ง่าย ฉนวนกันความร้อนที่ดีจะทำหน้าที่ต้านทานหรือป้องกันมิให้พลังงานความร้อนส่งผ่านจากด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่งได้สะดวก

2.7.1 คุณสมบัติที่ดีของวัสดุความเป็นฉนวนกันความร้อน

- 1) น้ำหนักเบา และมีค่าความหนาแน่นน้อย
- 2) มีค่าการนำความร้อนต่ำ คือการให้ความร้อนไหลผ่านฉนวนได้ยาก
- 3) มีความคงทนต่อแรงอัดและแรงดึงได้เป็นอย่างดี
- 4) มีอัตราการดูดซับความชื้นที่ต่ำหรือไม่มีเลยยิ่งเป็นการดีมาก
- 5) มีความสามารถต้านทานการกัดกร่อนได้ดี
- 6) เปลี่ยนรูปได้ยาก และมีความคงตัวสูง
- 7) มีความทนต่อการติดไฟได้ดี (ไม่ติดไฟ)
- 8) สามารถใช้ได้กับอุณหภูมิที่กว้างหรือทุกระดับได้
- 9) ติดตั้งง่ายและสะดวก

2.7.2 คุณสมบัติของฉนวนกันความร้อนแต่ละชนิด

- 1) วัสดุฉนวนอลูมิเนียมฟอยล์ มีความมันวาวของผิวแผ่นฟอยล์ มีสมบัติในการสะท้อนความร้อน ข้อดีคือทนความชื้น ไม่ติดไฟและไม่ลามไฟ ไม่มีกลิ่นฉุน
- 2) วัสดุฉนวนแบบโฟม เช่น โพลีสไตรีนโฟม โฟมพอลิเอทิลีน มีข้อดีคือ สามารถคงสภาพเดิมได้แม้จะโดนน้ำหรือความชื้น ทนทานต่อกรดและด่าง
- 3) วัสดุฉนวนใยแก้ว หรือที่รู้จักกันในชื่อทางการค้าว่า ไมโครไฟเบอร์ มีโพรงอากาศเล็กๆ จำนวนมหาศาล ซึ่งแทรกอยู่ระหว่างเส้นใยแก้ว จะทำหน้าที่เก็บกักความร้อนไว้ และลดการส่งถ่ายความร้อนจากด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่ง นอกจากนี้โพรงอากาศเล็กๆ เหล่านี้สามารถลดทอน พลังงานเสียงที่ผ่านเข้ามา ให้เหลือพลังงาน ที่สะท้อนออกไปน้อยลง วัสดุฉนวนใยแก้วจัดเป็น ฉนวนกันความร้อนและดูดซับเสียงที่มีประสิทธิภาพ มีความอ่อนตัว และคืนตัวดี สามารถทนไฟได้ประมาณ 300 องศาเซลเซียส ปัจจุบันยังพิสูจน์ไม่ได้ว่าใยแก้วเป็นอันตรายต่อสุขภาพหรือไม่ จึงยังคงเป็นที่นิยมใช้กันอยู่ทั่วไป

2.7.3 ประโยชน์ที่ได้รับจากการติดตั้งฉนวนกันความร้อน

- 1) สามารถลดความร้อนหรือลดอุณหภูมิภายในอาคารลงได้มากกว่า 90 % จากการพ่นฉนวนกันความร้อนโพลีสไตรีนโฟม หรือฉนวนป้องกันความร้อน
- 2) สามารถลดค่าใช้จ่ายในเรื่องค่ากระแสไฟฟ้าลงได้อย่างมากต่อปี ถ้ามีการติดตั้งฉนวนป้องกันความร้อนหรือฉนวนป้องกันร้อน
- 3) ความคุ้มค่าต่อการลงทุนในระยะยาว เมื่อติดตั้งแผ่นฉนวนกันความร้อน โพลีสไตรีนโฟม หรือฉนวนป้องกันความร้อน / ฉนวนป้องกันร้อน

2.7.4 การเลือกใช้ฉนวน มีหลักพิจารณาดังนี้

- 1) ช่วงอุณหภูมิใช้งาน ที่ฉนวนใช้ได้โดยไม่เสียหายหรือเสื่อมคุณภาพ

- 2) ค่าการนำความร้อน ค่าที่ต่ำกว่าจะลดการสูญเสียพลังงานได้ดีกว่า
- 3) กำลังการอัดบีบ ควรเลือกฉนวนที่ไม่เสียรูปทรงมาก โดยเปรียบเทียบจากปริมาณการเสียรูปทรงของฉนวนต่างๆ ที่ค่าเดียวกันว่ารับ กำลังการอัดบีบได้เท่าไร
- 4) ความทนทานต่อการติดไฟ
- 5) โครงสร้างเซลล์ ซึ่งจะเป็นสิ่งกำหนดว่าฉนวนจะดูดซับความชื้นยากง่ายเพียงไร
- 6) รูปแบบของฉนวน มีความหนาและรูปทรงของฉนวนจะเป็นตัวกำหนดได้ว่า ฉนวนนั้นมีความเหมาะสมในการนำมาใช้งานหรือไม่แล้วทำให้เป็นเส้นใยด้วย วิธีบลาสต์ (blast method) วิธีหมุนเหวี่ยง (centrifugal method) วิธีร็อด (rod method) หรือวิธีพอด (pot method) วิธีใดวิธีหนึ่งหรือหลายวิธีรวมกัน โดยใช้สารยึด (binding agent) ช่วยยึดเส้นใยแก้วให้เกาะเป็นแผ่น (glass wool board) ม้วน ท่อ (glass wool pipe) หรือรูปแบบอื่นๆ โดยมีวัสดุที่เหมาะสมปิดทับผิวหน้าด้วยหรือไม่ก็ได้

2.8 การเผาไหม้ (Combustion)

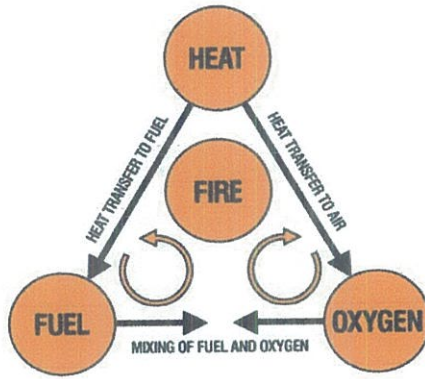
การเผาไหม้ คือ ปฏิกิริยาเคมีชนิดหนึ่งที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วระหว่างออกซิเจนกับสารเผาไหม้ได้ (Combustible Element) ของเชื้อเพลิงชนิดหนึ่งๆ ซึ่งสารเผาไหม้ ได้หลัก 3 ตัว คือ คาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) และซัลเฟอร์ (S) แล้วจะปลดปล่อยพลังงานความร้อนออกมาพร้อมกับการเปลี่ยนแปลงทางเคมีซึ่งเป็นการรวมตัวของออกซิเจนเข้ากับคาร์บอน ไฮโดรเจน และซัลเฟอร์เกิดสารประกอบใหม่ คือ คาร์บอนไดออกไซด์ ไอน้ำและซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ปฏิกิริยาออกซิเดชันของคาร์บอนจะช้าที่สุดและเกิดยากกว่าของไฮโดรเจนและกำมะถันจุดติดไฟ คือ 407 องศาเซลเซียส โดยปกติในการเผาไหม้โดยทั่วไปมักจะสมมุติว่าไฮโดรเจนและกำมะถัน จะเผาไหม้หมดก่อนคาร์บอน ซึ่งจะค่อยๆ ทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในขั้นแรกเกิดเป็นคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) จากนั้นจึงรวมตัวกับออกซิเจนต่อไปอีกกลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ ฉะนั้นในการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแข็ง ถ้าปฏิกิริยาเกิดไม่สมบูรณ์ ท้ายที่สุดจะสมมุติว่าองค์ประกอบที่เหลืออยู่ก็คือคาร์บอนที่ยังไม่ถูกเผาไปอย่างเดียว

เชื้อเพลิงนั้นมีองค์ประกอบส่วนใหญ่ คือ คาร์บอนคงที่ ฉะนั้น เมื่อเผาไหม้สารระเหยง่ายและกำมะถัน จะทำปฏิกิริยาไปจนหมดก่อน เหลือคาร์บอนเผาไหม้ไปเรื่อยๆ จะถึงจุดสมบูรณ์หรือไม่ขึ้นกับปริมาณอากาศและเวลาทำปฏิกิริยาโดยทั่วไปมักพบว่ามีส่วนของคาร์บอนหลงเหลืออยู่กับขี้เถ้าด้วยเสมอ

2.8.1 เชื้อเพลิงและการเผาไหม้ หมายถึง สารที่สามารถเผาไหม้ได้โดยง่ายเมื่อทำปฏิกิริยากับอากาศหรือออกซิเจน และความร้อนที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้นั้นสามารถนำมาใช้งานอย่างได้คุ้มค่าทางเศรษฐกิจ ดังนั้นการจะนำสิ่งใดมาใช้เป็นเชื้อเพลิงได้นั้นจำเป็นต้องสามารถผลิตได้เป็นจำนวนมากสามารถจัดหามาใช้ได้ อย่างสะดวกแก่รักษาขนส่งและใช้งานได้ง่ายนอกจากนี้สารที่เกิดจากการเผาไหม้ (เช่น ไอเสียขี้เถ้าเป็นต้น) ต้องไม่ทำให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมเช่นทางอากาศทางน้ำ ฯลฯ เชื้อเพลิงสามารถแบ่งออกได้ตามสภาพทางกายภาพเป็นเชื้อเพลิงก๊าซเชื้อเพลิงเหลวและเชื้อเพลิงแข็ง

2.8.2 ทฤษฎีการเกิดเพลิงไหม้

ธรรมชาติของไฟ ไฟหรือการเผาไหม้สันดาป เป็นปฏิกิริยาเคมีในการเติมออกซิเจนของสารใดสารหนึ่ง ซึ่งทำให้เกิดความร้อนขึ้นอย่างมากมาย มีแสงสว่าง และสภาพการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ เกิดขึ้นด้วยจะเห็นว่าไฟจะเกิดขึ้นได้ต้องประกอบด้วยองค์ ประกอบสามอย่างได้แสดงได้ ดังภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 สามเหลี่ยมองค์ประกอบของการเกิดไฟ
ที่มา (สุภัทร สันติภิรมย์กุล, 2542)

1) เชื้อเพลิงไม่ว่าจะอยู่ในสถานะใด เช่น เป็นวัตถุเชื้อเพลิง เชื้อเพลิงเหลว หรือ ก๊าซ (ภายใต้ความดัน)

ต้องเปลี่ยนจากสถานะเดิมเป็นไอหรือก๊าซก่อน

ความร้อนที่ทำให้เชื้อเพลิงเปลี่ยนสถานะเป็นไอ หรือก๊าซเข้าผสมกับอากาศในสัดส่วนที่เหมาะสม และพร้อมที่จะลุกไหม้ได้ เรียกว่า ความร้อนถึงจุดวาบไฟ (Flash Point) ตัวอย่างจุดวาบไฟของเชื้อเพลิงต่างๆ แสดงไว้ในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ตัวอย่างจุดวาบไฟของเชื้อเพลิงต่าง ๆ

เชื้อเพลิง	จุดวาบไฟ (°C)
เบนซิน	-43
น้ำมันก๊าด	38
น้ำมันหมู	4
กระดาษ	66 - 149
ไม้	177 - 204

ที่มา (สุภัทร สันติภิรมย์กุล, 2542)

2) ความร้อนจะเป็นต้นเหตุแห่งการติดไฟต้องสูงพอที่จะยกอุณหภูมิของสิ่งที่เป็นเชื้อเพลิงให้จุดไฟติดเชื้อเพลิงนั้นๆ ความร้อนถึงจุดไฟติดจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีอย่างรวดเร็ว เกิดเป็นไฟและการเผาไหม้ขึ้น จุดไฟติดของเชื้อเพลิงต่างๆ จะสูงกว่าจุดวาบไฟมาก หรือน้อยแล้วแต่ลักษณะทางสารสมบัติของเชื้อเพลิง

3) อากาศ(ออกซิเจน)ได้แก่อากาศในบรรยากาศที่มีออกซิเจนอยู่ในอัตราประมาณร้อยละ 21 ออกซิเจนเป็นก๊าซที่ช่วยให้ไฟติด อัตราส่วนของออกซิเจนถ้าลดต่ำกว่าร้อยละ 15 แล้วไฟจะไหม้ช้าลง หรือดับมอด อย่างไรก็ตามแม้แต่ออกซิเจนมีส่วนช่วยอย่างสำคัญในการเผาไหม้ แต่ต้องมีส่วนผสมกับไอ หรือก๊าซของเชื้อเพลิงแต่ละอย่างในระหว่างร้อยละ 1.4 ถึง 7.6 หมายความว่า โอน้ำมันต้องไม่น้อยกว่า 1.4 และมีอากาศ

ไม่มากกว่า 98.6 โดยประมาณ และไอน้ำมันต้องไม่มากกว่า 7.6 และมีอากาศไม่น้อยกว่า 92.4 มิฉะนั้นจะไม่สามารถจุดติดได้ เพราะไอน้ำอาจเจือจางไปหรือหนาแน่นมากเกินไป

2.8.3 ผลของการเผาไหม้ จะทำให้เกิดความร้อน และบางครั้งอาจทำให้เกิดการเผาไหม้อย่างต่อเนื่องได้ การเผาไหม้อย่างต่อเนื่อง เกิดมาจากผลจากความร้อนที่ส่งกลับมาจากไฟสู่เชื้อเพลิง ทำให้เชื้อเพลิงนั้นลุกไหม้อย่างต่อเนื่อง เนื่องความร้อนที่ส่งกลับมานั้นเกิดขึ้น โดยกระบวนการส่งผ่านความร้อน (Heat Transfer) และจากการสัมผัสโดยตรงของเปลวไฟ (Direct Flame Contact)

2.8.4 การส่งผ่านความร้อน เป็นกระบวนการอย่างหนึ่งในอัตราการลามไฟ (Fire Spread) จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง

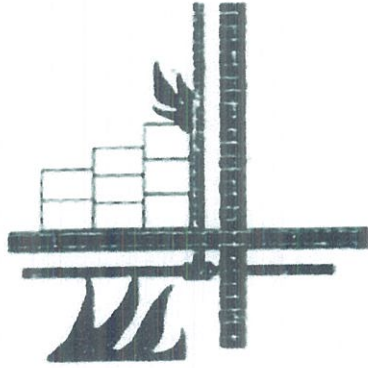
2.8.4.1 การนำความร้อน เป็นการส่งผ่านของความร้อนสัมผัสโดยตรงของสิ่งหนึ่งกับอีกสิ่งหนึ่ง ความสามารถในการนำความร้อน ของวัสดุต่างๆ จะมีค่าการนำความร้อนน้อยแต่ จะมีค่าการนำความร้อนสัมพันธ์มาก ขึ้นอยู่กับการนำความร้อนของสารบางชนิดแสดงได้ ในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 แสดงค่าความสามารถในการนำความร้อนของสารบางชนิด

Material	Thermal Conductivity (W/m.K)	Relative Conductivity
Copper	0.92	4842
Steel	0.11	579
Lead	0.80	421
Fibre Glass	0.03-0.04	23.4
Concrete	0.0022	11.6
Brick	0.0015	7.9
Cement	0.0007	3.7
Wood	0.0003	1.6

ทีมา (สุภัทร สันติภิรมย์กุล, 2542)

จะเห็นว่าพวกโลหะนำความร้อนได้ดีกว่าโลหะ โดยเฉพาะทองแดงนั้น มีค่านำความร้อนสูงมาก ดังนั้นจึงใช้เป็นตัวนำความร้อนที่ตีเหมาะสำหรับทำสายไฟ เหล็กนำความร้อนได้ดีกว่าอิฐ ซีเมนต์ และคอนกรีต ส่วนไม้เป็นตัวนำความร้อนที่เลว และลูกไหม้ช้า ดังนั้นคนจึงใช้ไม้เนื้อแข็งมาประตู่ เพื่อประโยชน์ในการป้องกันไฟ ตัวอย่างการนำความร้อนแสดงได้ ดังภาพที่ 2.5

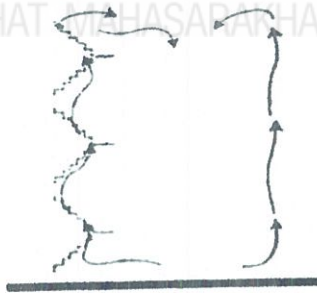


ภาพที่ 2.5 แสดงการส่งผ่านความร้อน โดยการนำความร้อน
ที่มา (สุภัทร สันติภิรมย์กุล, 2542)

รูปที่ 2.5 แสดงการลุกไหม้ของเพลิงที่ชั้นล่าง ท่อโลหะที่เดินพาดผ่านจากชั้นล่างขึ้นไปชั้นบนจะเป็นตัวนำความร้อนไปทำให้วัสดุที่ลุกติดไฟได้ง่าย ซึ่งวางอยู่ใกล้กับท่อโลหะบนชั้นที่ 2 ลุกไหม้ขึ้นอีกจุดหนึ่ง

2.8.4.2 การพาความร้อน เป็นการเคลื่อนตัวของพาความร้อนโดยมี อากาศเป็นกลางในการพาความร้อนเคลื่อนที่โดยจะเกิด การหมุนเวียนของอากาศร้อนกับอากาศที่เป็น ผลผลิตของการเผาไหม้ เนื่องจาก ก๊าซที่ร้อนจะมีคุณสมบัติ เบากว่าอากาศที่อยู่รอบๆ ดังนั้น ความร้อนจึงแพร่ขึ้นทางด้านบนออกไป ตามช่องต่างๆ เช่น หน้าต่าง ประตู ช่องระบายอากาศท่อแอร์ ช่องบันได ปล่องไฟ ฯลฯ และเป็นสาเหตุให้เกิดเพลิงลุกไหม้ในห้องอื่นหรือชั้นอื่นๆ ด้วย ตัวอย่างการพาความร้อนแสดงได้ ดังภาพที่ 2.6

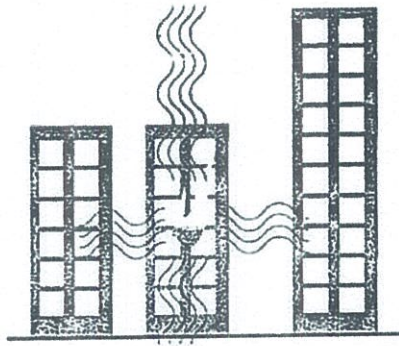
มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY



ภาพที่ 2.6 แสดงการส่งผ่านความร้อนจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง โดยการพาความร้อน
ที่มา (สุภัทร สันติภิรมย์กุล, 2542)

2.8.4.3 การแผ่รังสี เป็นรูปแบบของการส่งผ่านความร้อน ซึ่งเป็นการเดินทาง ของพลังงานผ่านช่องว่างหรือ วัตถุด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เช่น แสง คลื่นเสียง หรือเอกซเรย์ เป็นต้น ตัวอย่าง ลักษณะการส่งผ่านความร้อนโดยการแผ่รังสี เช่น การที่เราใช้มือไปอังไฟ ที่ดวงเทียนด้าน ข้างจะมีความรู้สึกว่ามีมืออุ่น หรือร้อนนั้น ทั้งนี้เนื่องจากการส่งผ่านความร้อน โดยการแผ่รังสี โดยที่ความร้อนจากดวงเทียนจะกระจายตัวไปโดยรอบเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทำให้สิ่งที่อยู่ ใกล้เคียงได้รับความร้อน ซึ่งความร้อนที่วัตถุได้รับจากการแผ่รังสี

ความร้อน จะขึ้นอยู่กับระยะทางระหว่างแหล่ง กำเนิดความร้อนกับวัตถุ ปริมาณความร้อนที่วัตถุได้รับจะเป็น ปรากฏการณ์ผกผันกับกำลังสองของระยะทาง 100 หน่วย วัตถุที่อยู่ห่างออกไป 2 ฟุต จากไฟจะรับปริมาณความร้อนได้เพียง 25 หน่วย และถ้าเชื้อเพลิงอยู่ห่างออกไป 10 ฟุต จะรับปริมาณความร้อนได้เพียง 1 หน่วยโดยที่ จำนวนหน่วยความร้อนที่วัตถุได้รับ จะแปรผันตามความรุนแรงของแหล่งกำเนิด ความร้อนแต่อัตราการลดลง ของปริมาณความร้อนจะเป็นไปในอัตราเดียวกัน ตัวอย่างการแผ่รังสี แสดงได้ดังภาพที่ 2.7



ภาพที่ 2.7 แสดงการส่งผ่านความร้อนโดยการแผ่รังสี ซึ่งจะเกิดขึ้นทุกทิศทุกทาง
ทีมา (สุภัทร สันติภิรมย์กุล, 2542)

ตัวอย่างการลุกไหม้อย่างต่อเนื่องที่เกิดจากความร้อนที่ส่งกลับมา โดยกระบวนการส่งผ่านความร้อน (Heat Transfer) เช่น กรณีของการจุดเทียนติดไฟแล้วความร้อน จากการแผ่รังสีโดยรอบของเปลวไฟ และจากการนำความร้อนของไส้เทียนไข ทำให้ไขของเทียนละลายกลายเป็นไอ เมื่อไอลอยขึ้นไปถูกกับเปลวไฟของเทียน จะทำให้มีการลุกไหม้เกิดเป็นเปลวไฟขึ้น แล้วเปลวไฟนั้นก็แผ่รังสีลดลงมา ทำให้ไขของเทียนละลายกลายเป็นไอลอยขึ้นไปถูกกับเปลวไฟของเทียน วนเวียนอยู่ เช่น นี้จนกระทั่งเทียนหมดแท่ง

การสัมผัสโดยตรงของเปลวไฟ (Direct Flame Contact) หมายถึง กรณีที่เปลวไฟไปสัมผัสกับเชื้อเพลิง นั้นโดยตรง และสร้างให้เกิดไอออกมาแล้วก็ถูกจุดโดยเปลวไฟที่กระทบนั้น ตัวอย่างของการลุกไหม้อย่าง ต่อเนื่องในลักษณะของ Direct Flame Contact นี้ เช่น การที่เพลิงไหม้เสาไม้จะสัมผัสกับส่วนที่อยู่ถัดไปขึ้นไป จะทำให้ไม้ส่วนนั้น สร้างไอออกมา เมื่อไอนั้นถูกกลับเปลวไฟไปสัมผัสก็เกิดลุกไหม้ขึ้น อย่างต่อเนื่องไป จนกระทั่งเพลิงไหม้เสาหมดทั้งต้น

2.8.5 สรุปประเด็นเกี่ยวกับการเผาไหม้

- 1) ออกซิเจน เชื้อเพลิง และอุณหภูมิหรือความร้อน คือ องค์ประกอบของการติดไฟ
- 2) เชื้อเพลิงจะลุกไหม้ต่อเนื่องได้เมื่อได้รับความร้อนในระดับหนึ่ง
- 3) ความต่อเนื่องของการลุกไหม้ ขึ้นอยู่กับความร้อนที่ไหลย้อนกลับมาเพิ่ม อัตราการเปลี่ยนเป็นไอของเชื้อเพลิง
- 4) การลุกไหม้จะต่อเนื่องจนกระทั่ง เชื้อเพลิงหมดไป หรือ สัดส่วนของออกซิเจนกับเชื้อเพลิงไม่เหมาะสม หรือ ความร้อนที่เผาไหม้ สามารถย้อนกลับมาเพิ่มอัตราเร่งของการลุกไหม้

2.9 สารหน่วงไฟ (Fire retardant)

สารเคมีหน่วงไฟมีมากมายหลายชนิดและสามารถแบ่งได้กว้างๆเป็น 2 ประเภทตามลักษณะคุณสมบัติในการหน่วงไฟ

2.9.1 สารหน่วงไฟทางเคมี (Chemical agent) สารเคมีดังกล่าวจะมีคุณสมบัติในการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติในการติดไฟของเชื้อเพลิง หรือเข้าไปรบกวนขั้นตอนในขบวนการสันดาป ทำให้อัตราการสันดาปช้าลง หรือขบวนการสันดาปหยุดชะงักลง สารเคมีที่มีคุณสมบัติในการหน่วงไฟที่ดีที่สุด ได้แก่ ฟอสฟอรัส แอนติโมนีคลอไรด์โบรโมน โบรอน และไนโตรเจน ซึ่งอยู่ในรูปสารประกอบที่แตกต่างกัน โดยสารประกอบที่ใช้เป็นสารหน่วงไฟในการดับไฟป่าที่เป็นที่รู้จักกันดีและใช้งานกันอย่างกว้างขวาง ได้แก่ แอมโมเนียมซัลเฟต (AS) $[NH_4)_2SO_4]$ และได้แอมโมเนียมฟอสเฟต (DAP) $[NH_4)_2H_2 PO_4]$ สารประกอบทั้งสองชนิดนี้ได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก ส่วนหนึ่งเนื่องจากมีประสิทธิภาพในการหน่วงไฟสูงและอีกส่วนหนึ่งเนื่องจากเป็นสารที่มีองค์ประกอบใกล้เคียงกับปุ๋ยเคมีที่ใช้ในการเกษตรจึงหาได้ง่ายมีราคาถูก และมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมไม่มากนัก สารหน่วงไฟทั้งสองชนิดมีผลรบกวนขบวนการสันดาปทั้งทางกายภาพและทางเคมี โดยส่วนที่เป็นน้ำจะช่วยลดอุณหภูมิของเชื้อเพลิงและลักษณะที่เป็นวุ้นหนาคือห่อหุ้มผิวเชื้อเพลิงที่กำลังทำปฏิกิริยาลุกไหม้ ในขณะที่เกลืออนินทรีย์สารจะรบกวนขั้นตอนการลุกไหม้ทำให้เกิดก๊าซที่ไม่ติดไฟแทนที่จะเป็นก๊าซที่ติดไฟในขบวนการลุกไหม้ตามปกติ เมื่อก๊าซที่ติดไฟได้มีน้อยลง ความร้อนที่ปลดปล่อยออกมาจากการลุกไหม้ก็ลดลง มีผลให้อัตราการลุกลามของไฟลดลงตามไปด้วย

ปัญหาสำคัญของสารหน่วงไฟที่เป็นเกลืออนินทรีย์สาร คือความเป็นพิษ เช่นสารเคมีที่ใช้ในยุคแรกๆ คือ โซเดียม คลอไรด์โบรอน ซึ่งเลิกใช้ไปแล้ว เนื่องจากพบว่าเมื่อใช้ในปริมาณมาก จะมีผลทำให้ดินหมดความอุดมสมบูรณ์ลงโดยสิ้นเชิง สำหรับสารเคมีที่ยังนิยมใช้กันอยู่ คือ แอมโมเนียมซัลเฟต และไดแอมโมเนียมฟอสเฟต ซึ่งถึงแม้จะมีองค์ประกอบใกล้เคียงกับปุ๋ยเคมีการเกษตรมาก แต่หากใช้ในปริมาณมาก โดยเฉพาะเมื่อลงไปสะสมอยู่ในแหล่งน้ำ ฟอสเฟตจะทำให้น้ำเสีย มีผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ

2.9.2 สารหน่วงไฟทางกายภาพ (Physical agent) น้ำถือเป็นสารหน่วงไฟทางกายภาพที่มีประสิทธิภาพมาก โดยเฉพาะเมื่อเป็นไอจะมีความสามารถในการดูดซับความร้อนสูงและนำความร้อนออกไปจากพื้นที่ทำให้บริเวณที่ไฟไหม้และเชื้อเพลิงมีอุณหภูมิลดลง อย่างไรก็ตามน้ำมีแรงตึงผิวสูงมากจึงมักรวมเป็นหยดและกลิ้งออกไปจากเชื้อเพลิงเร็วมากก่อนที่จะดูดซับความร้อนได้เต็มตามปริมาณความจุความร้อนที่รับได้ ดังนั้นในช่วงคริสต์ทศวรรษที่ 30 และ 40 จึงได้เริ่มมีการทดลองใช้โฟมเพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของน้ำในการดับไฟ ต่อมาในปี.ศ. 2511 จึงเริ่มใช้โฟมในการดับไฟป่า ซึ่งปรากฏว่าไม่ได้ผลเท่าที่ควรประกอบกับความจำเป็นต้องใช้เครื่องมือพิเศษในการทำให้เกิดโฟมและคนยังให้ความสนใจน้อย ดังนั้นจึงยังไม่มีการผลิตเพื่อพัฒนาการใช้โฟมในการดับไฟป่าอย่างจริงจัง จนกระทั่งถึงปี.ศ. 2528 ประเทศแคนาดาจึงได้มีการพัฒนาโฟมชนิดใหม่จากสารประกอบไนโตรคาร์บอนซึ่งต่อมาได้รับความนิยมใช้จากหน่วยงานดับไฟป่าเกือบทุกแห่ง ทั้งในประเทศแคนาดาและสหรัฐอเมริกาโดยสามารถใช้ดับไฟทางภาคพื้นดินและดับไฟทางอากาศ ได้เป็นอย่างดี โฟมมีคุณสมบัติในการลดแรงตึงผิวของน้ำ ทำให้น้ำกระจายครอบคลุมเชื้อเพลิงได้เนื้อที่มากกว่าเดิม และซึมลึกลงไปในรูพรุนเล็กๆของเชื้อเพลิง นอกจากนั้นยังติดอยู่บนเชื้อเพลิงนานขึ้นทำให้น้ำมีโอกาสดูดซับความร้อนจากเชื้อเพลิงได้เต็มตามปริมาณความจุความร้อนที่รับได้ นอกจากนั้นสีขาวของโฟมที่ปกคลุมเชื้อเพลิงยังช่วยสะท้อนความร้อนจากภายนอก ทำให้อุณหภูมิของเชื้อเพลิงไม่เพิ่มขึ้นไปจากเดิม กับทั้งยังช่วย

สร้างมานะองน้ำกันระหว่างเชื้อเพลิงกับไฟอีกด้วย อย่างไรก็ตาม โฟมก็มีข้อเสียพอสมควร คือ อาจสร้างความระคายเคืองต่อตาและผิวหนัง ทำให้โลหะบางชนิดเป็นสนิม ลดอายุการใช้งานของเครื่องหนัง เช่น รองเท้าหนังและอาจเป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมถ้าใช้ในปริมาณมาก

2.9.3 สารหน่วงไฟที่จำแนกตามความคงทน

1) สารหน่วงไฟประเภทไม่คงทน (Nondurable flame retardants) สารหน่วงไฟประเภทนี้ได้แก่ กรดอินทรีย์ เช่น กรดบอริก กรดฟอสฟอริกและซิงค์คลอไรด์ หรือเบส เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ และ โพแทสเซียมคาร์บอเนต แต่เนื่องจากกรดและเบสจะทำให้เกิดปัญหาการกัดกร่อน ดังนั้นในทางปฏิบัติแล้ว มักนิยมใช้สารหน่วงไฟในรูปของเกลือมากกว่า เช่น แอมโมเนียมฟอสเฟตไดแอมโมเนียมฟอสเฟต ยูเรียฟอสเฟต และแอมโมเนียมซัลฟาเมต

2) สารหน่วงไฟประเภทกึ่งคงทน (Semidurable flame retardants) สารหน่วงไฟประเภทนี้ ได้แก่ เกลือของกรดอินทรีย์ที่ไม่ละลายน้ำ เช่น เกลือฟอสเฟตหรือเกลือบอเรต ของโลหะดีบุก สังกะสี อะลูมิเนียม รวมทั้งเกลือที่มีไอออนของพอลิฟอสเฟตน้ำหนักโมเลกุลสูง สารหน่วงไฟประเภทนี้ยังมีความคงทนภายหลังการซักล้าง 20 ครั้ง ดังนั้นจึงเหมาะที่จะใช้ตกแต่งผลิตภัณฑ์ที่ไม่จำเป็นต้องผ่านการซักล้างบ่อย เช่น ผลิตภัณฑ์ผ้า ผูก เคหะสิ่งทอ และพรม เป็นต้น

3) สารหน่วงไฟประเภทมีความคงทนสูง (Durable flame retardant) สารหน่วงไฟประเภทนี้มี ฟอสฟอรัส หรือฮาโลเจนเป็นองค์ประกอบหรือเป็นสารประกอบประเภท(Organophosphorus) สารหน่วงไฟประเภทนี้มีความคงทนภายหลังการซัก 50 ครั้ง ดังนั้นจึงเหมาะที่จะใช้ตกแต่งผลิตภัณฑ์ที่จำเป็นต้องผ่านการซักล้างบ่อย เช่น ผลิตภัณฑ์เสื้อผ้า

2.9.4 สารหน่วงไฟที่จำแนกจากองค์ประกอบ

- 1) สารหน่วงไฟประเภทฮาโลเจน
- 2) สารหน่วงไฟประเภทฟอสฟอรัส
- 3) สารหน่วงไฟประเภทอินทรีย์ เช่น อะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ (aluminumhydroxide, Al_2O_3) แมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ และ สารประกอบโบรอนเป็นต้น
- 4) สารหน่วงไฟประเภทไนโตรเจน

2.10 บอแรกซ์ (Borax)

บอแรกซ์ เป็นสารเคมีที่เป็นเกลือของสารประกอบโบรอน มีชื่อทางเคมีว่า โซเดียมบอเรต โซเดียมเตตราบอเรต โซเดียมไบบอเรต โซเดียมพัยโรบอเรต โซเดียมเตตราบอเรตเดคาไฮเดรตและไดโซเดียมเตตราบอเรตเดคาไฮเดรต

มีสูตรทางเคมีว่า $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$ มีน้ำหนักโมเลกุล 381.4 มีลักษณะไม่มีกลิ่นเป็นผลึก ละเอียดหรือผงสีขาวละลายน้ำได้ดี ไม่ละลายในแอลกอฮอล์ 95 เปอร์เซ็นต์บอแรกซ์ มีชื่ออื่นๆทางการค้าว่า น้ำประสานทอง ผงกรอบ ผงเนื้อนิ่ม สารข้าวตอก ผงกันบูด และเพ่งแซ

แหล่งที่พบบอแรกซ์ เป็นสารเคมีที่มีการนำมาใช้ประโยชน์ในทางอุตสาหกรรมหลายชนิดเช่น ใช้ในอุตสาหกรรมทำแก้ว เพื่อช่วยให้เกิดความเหนียวแข็งแรง ใช้เป็นส่วนผสมในการฉาบภาชนะเครื่องเคลือบดินเผา ให้มีความมันและแวววาว ใช้ในเครื่องสำอาง เป็นวัตถุกันเสียช่วยหยุดยั้ง การเจริญเติบโตของเชื้อราใน

แป็งทาตัว ใช้ในทางยา เป็นยาฝาดสมาน (Astringent) ใช้เป็นส่วนผสมในยาทารักษาโรคผิวหนัง ยาฆ่าเชื้อโรค ยากลั้วคอ ยาล้างตา นอกจากนี้ ยังใช้เป็นสารประสานในการเชื่อมทอง ใช้ในอุตสาหกรรมฟอกหนัง ใช้เป็นยาฆ่าแมลง ยาฆ่าเชื้อราเพื่อรักษาเนื้อไม้ ยากำจัดตะไคร่น้ำในสระว่ายน้ำ ใช้ทำอุปกรณ์ไฟฟ้า ใช้ชุบและเคลือบโลหะ ใช้ในการผลิตถ่านไฟฉาย ใช้ทำสบู่ น้ำยาดัดผม ทำปุ๋ย ฯลฯ

เนื่องจากสารบอแรกซ์ มีคุณสมบัติให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อน (Complex compound) กับสารประกอบอินทรีย์โพลีไฮดรอกซี (Organic polyhydroxy compound) ทำให้เกิดลักษณะหยุ่น กรอบ และยังมีคุณสมบัติเป็นวัตถุกันเสีย จึงทำให้เกิดการนำเอาสารบอแรกซ์มาผสมลงไปในลูกหมุย

ทอดมัน ไม้กรอก แป้งกรุป ลอดช่อง ผงวุ้น ทับทิมกรอบ มะม่วงดอง ผักกาดดอง ผักกาดเค็ม เพื่อให้อาหารเหล่านั้น มีลักษณะกรอบ แข็ง คงตัวอยู่ได้นาน และยังพบว่า มีการนำเอาสารบอแรกซ์ไปละลายน้ำ แล้วทาหรือชุบลงในเนื้อหมู เนื้อวัว เพื่อให้ดูสดตลอดเวลา นอกจากนี้ยังใช้ปลอมปนใน ผงชูรส เนื่องจากบอแรกซ์มีลักษณะภายนอกเป็นผลึกคล้ายคลึงกับผลึกของผงชูรส

กลไกการเกิดพิษของบอแรกซ์ สารประกอบโบรอนที่นิยมใช้กันมากคือ กรดบอริก (Boric Acid) และบอแรกซ์ (Borax) ซึ่งสามารถก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้ที่ได้รับเป็นประจำได้ พิษของบอแรกซ์ มีผลต่อเซลล์ของร่างกายเกือบทั้งหมด เมื่อร่างกายได้รับเข้าไป ทำให้เกิดความผิดปกติ รุนแรงมากขึ้นขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของบอแรกซ์ที่ร่างกายได้รับและเกิดการสะสมในอวัยวะนั้น โดยเฉพาะไตเป็นอวัยวะที่ได้รับผลกระทบมากที่สุด อาการจะปรากฏให้เห็นภายใน 1 สัปดาห์ ส่วนกระเพาะอาหาร และลำไส้ จะอักเสบ ตับถูกทำลาย สมอ บวมซ้ำ และมีการคั่งของเลือด อาการทั่วไป มีไข้ ผิวหนังมีลักษณะแตกเป็นแผล บวมแดงคล้ายถูกน้ำร้อนลวก อาจมีปัสสาวะออกน้อย หรือไม่ออกเลย เนื่องจากสมรรถภาพการทำงานของไตล้มเหลว

สารประกอบโบรอนที่เข้าสู่ร่างกายโดยการรับประทาน จะถูกดูดซึมได้เกือบทั้งหมดจากทางเดินอาหาร ส่วนกลไกทางชีวเคมีในร่างกาย ซึ่งทำให้เกิดอาการพิษนั้น พบว่าบอแรกซ์ที่รับประทานเข้าไปนั้น ไปสะสมในสมองส่วนกลาง (Central Nervous System) และไปลด Oxygen uptake, Ammonia Formation, Glutamic Synthetic และ Oxidation ของ Adrenalin บอแรกซ์นั้นมีพิษต่อเซลล์ของร่างกายเกือบทั้งหมด และมีผลโดยตรงต่ออวัยวะของร่างกาย บอแรกซ์จะถูกขับผ่านไตออกมากับปัสสาวะ มีส่วนน้อยเท่านั้น ที่ขับออกมากับเหงื่อ ส่วนที่ถูกขับทิ้งผ่านไตนั้น จะใช้เวลาหลายวันกว่าจะขับถ่ายหมด ถึงแม้จะได้รับสารประกอบโบรอนเข้าไปเพียงครั้งเดียว โดยจะขับถ่ายได้มากที่สุดในช่วง 2-3 วันแรก และขับถ่ายออกจากร่างกายทางปัสสาวะได้ช้ามากกว่า 7 วันในกรณีที่ได้รับสารประกอบโบรอนครั้งเดียวจำนวนมากๆ หรือได้รับติดต่อกันหลายครั้ง จะพบการสะสมของโบรอนได้ในสมองและตับ ระบบประสาทส่วนกลางถูกรบกวน (Central Nervous System Irritation) สมอ บวมซ้ำ มีการคั่งของโลหิต ตับถูกทำลาย

2.10.1 อาการเป็นพิษของบอแรกซ์

การที่ได้รับสารบอแรกซ์ในปริมาณมากๆ ในคนจะมีอาการเฉียบพลันเกิดขึ้น ดังต่อไปนี้

- 1) คลื่นไส้ อาเจียน ปวดท้อง และกระเพาะอาหาร เกิดการระคายเคือง อูจจาระร่วง
- 2) บางครั้ง อาจมีเลือดปนออกมากับอุจจาระ
- 3) อ่อนเพลีย ปวดศีรษะ หงุดหงิด มีอาการทางประสาท อาจชัก หมดสติได้ เนื่องจากประสาทส่วนกลางถูกกด และตายได้
- 4) ผิวหนังอักเสบ เป็นผื่นแดง คัน ผมร่วง
- 5) หัวใจเต้นเร็ว ความดันโลหิตลดลง อาจมีอาการช็อค (Shock) หมดสติได้

- 6) ตับ และไต อักเสบ ปัสสาวะน้อย จนกระทั่ง ไม่มีปัสสาวะในกรณีที่ได้รับสารบอแรกซ์ในปริมาณไม่มาก และได้รับบ่อยๆ เป็นเวลานานๆ จะมีอาการเรื้อรัง เกิดขึ้น ดังต่อไปนี้
- 7) อ่อนเพลีย เบื่ออาหาร คลื่นไส้ อาเจียน ปากเปื่อย เยื่อเมือกภายในปากแห้ง
 - 8) ผิวหนังแห้ง อักเสบ เป็นผื่นแดง คัน ผม่ว่ง
 - 9) หนังตาบวม เยื่อตาอักเสบ
 - 10) ระบบสืบพันธุ์เสื่อมสภาพ
 - 11) ตับ และไต อักเสบ ปัสสาวะน้อย จนกระทั่งไม่มีปัสสาวะ

ขนาดของบอแรกซ์ที่เป็นอันตราย ขนาดที่ทำให้เกิดพิษ 5-10 กรัมในผู้ใหญ่ ขนาดที่ทำให้ตาย 15-30 กรัมในผู้ใหญ่ ขนาดที่ทำให้เกิดพิษและตาย 4.5-14 กรัมในเด็กการตายจะเกิดขึ้นภายใน 1-3 วัน

การขับถ่ายบอแรกซ์ออกจากร่างกาย บอแรกซ์ที่เข้าสู่ร่างกายโดยการรับประทานนั้น จะถูกดูดซึมได้เกือบทั้งหมด ที่ทางเดินอาหาร การขับถ่ายส่วนใหญ่ ผ่านทางไต ออกมากับปัสสาวะ มีส่วนน้อยเท่านั้นที่ออกมากับเหงื่อ ปริมาณครึ่งหนึ่งของบอแรกซ์ ที่ร่างกายได้รับ จะถูกขับออกมากับปัสสาวะ ภายในเวลา 12 ชั่วโมงแรก จากนั้น ในช่วง 2-3 วันแรก จะถูกขับออกมาได้มากที่สุด และใช้เวลานานกว่า 7 วัน จึงจะขับถ่ายออกหมด ถึงแม้ว่าจะได้รับสารประกอบโบรอน (บอแรกซ์) เข้าไปเพียงครั้งเดียวก็ตาม และจะตรวจพบโบรอนในปัสสาวะ โดยวิธีทดสอบ ด้วยกระดาษขมิ้น ซึ่งเป็นการตรวจทางคุณภาพ

2.10.2 การแก้พิษเมื่อได้รับบอแรกซ์ในปริมาณสูงเข้าสู่ร่างกาย

- 1) การขับไล่อบแรกซ์ออกจากทางเดินอาหาร โดยการล้างท้อง หรือทำให้อาเจียน
- 2) ถ้าล้างท้องไม่ทัน เพิ่มการขับถ่ายโดยวิธี Diuresis ก่อนที่จะมีการทำลาย renal tubular epithelium โดยใช้ 0.45 เปอร์เซ็นต์ saline in D₅W iv พร้อมกับ diuretic และอาจใช้ peritoneal dialysis และ hemodialysis กำจัด borax ออกจากกระแสโลหิตของร่างกาย
- 3) ยังไม่มี antidote ที่เหมาะสมแต่ถ้าผู้ป่วย shock ให้ isotonic fluid เข้าทางร่างกายถ้าผู้ป่วยชักให้ diazepamiv ทางผิวหนังให้ระวัง secondaryinfection โดยล้างด้วยสบู่อ่อน ถ้าเข้าตาให้ล้างตา และให้ผู้ป่วยได้รับอากาศบริสุทธิ์โดยนำไปสู่ที่โล่ง อากาศถ่ายเทได้ดี

บอแรกซ์เป็นสารเคมีที่ใช้ในทางอุตสาหกรรมหลายประเภท เช่น ในอุตสาหกรรมทำแก้ว ช่วยให้เกิดความเหนียว แข็งแรง ใช้เป็นส่วนผสมในการฉาบภาชนะเครื่องเคลือบดินเผา ทำให้มีความมันวาว ใช้เป็นสารประสานในการเชื่อมทอง ใช้เป็นส่วนผสมของยารักษาโรคโดยเฉพาะยาภายนอกในร่างกาย ยาฆ่าแมลง ยาฆ่าเชื้อราและใช้เป็นสารหน่วงไฟ

บอแรกซ์เป็นสารพิษร้ายแรงที่กฎหมายห้ามใส่ในอาหารทุกชนิด บอแรกซ์ทำอันตรายทุกอวัยวะในร่างกาย โดยเฉพาะตับ ไต และสมอง อาการที่เกิดขึ้นเฉียบพลัน ถ้าได้รับสารบอแรกซ์ไม่มากนักจะทำให้คลื่นไส้ ปวดท้อง และมีอาการอาเจียนเป็นเลือด อาจมีเลือดปนมากับอุจจาระ หากได้รับบ่อยๆ เป็นเวลานาน จะทำให้อ่อนเพลีย มีไข้ เบื่ออาหาร หนังตาบวม ผิวหนังแตกเป็นแผล บวมแดง คล้ายถูกน้ำร้อนลวก ปัสสาวะไม่ออก ตับและสมองอาจอักเสบได้ ความดันโลหิตต่ำ ชัก หมดสติ และเสียชีวิตในเวลาไม่นาน ปริมาณบอแรกซ์ที่ทำให้เกิดพิษและตายได้ในเด็ก คือ 4.5-14 กรัม ในผู้ใหญ่ คือ 5-30 กรัม

2.11 อัตราการลามไฟ (Fire Spread)

เมื่อเกิดเพลิงไหม้การลามของเปลวไฟที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวของ ของแข็งเป็นสาเหตุหลักประการหนึ่งที่ทำให้ความรุนแรงหรือความเสียหายเพิ่มมากขึ้นการเข้าใจถึงพฤติกรรมของการลามไฟที่เกิดขึ้นดังกล่าวมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งต่อการป้องกันอัคคีภัยการศึกษาครั้งนี้มุ่งเน้นถึงการเข้าใจพฤติกรรมของการลามไฟ โดยศึกษาในรูปแบบของการสร้างและทดสอบ (Experimental Study) โดยการศึกษาที่ใช้แผ่น PMMA ความหนา 2 มิลลิเมตร ความกว้างของแผ่น 10 เซนติเมตร และความยาว 30 เซนติเมตร เป็นวัสดุระยะของการทดสอบการลามไฟของการทดสอบมีระยะทาง 15 เซนติเมตร ความเร็วของการลามของไฟสามารถคำนวณได้จากความสัมพันธ์พื้นฐานระหว่างระยะทางและเวลาที่ใช้ในการลามไฟ

สมการการหาอัตราการลามไฟคือ

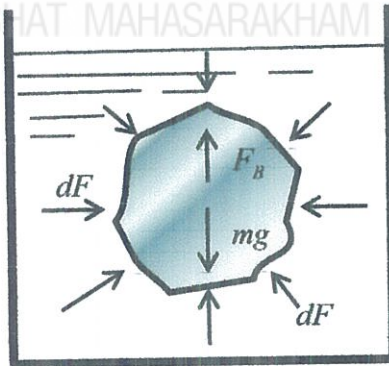
$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} \quad (2.6)$$

เมื่อ v คือ อัตราการลามไฟ (m/s)
 Δt คือ เวลาที่ใช้ในการลามไฟ (s)
 Δs คือ ระยะทางของการลามไฟ (m)

2.12 หลักของอาร์คิมิดีส (Archimedes)

เมื่อวัตถุทั้งก้อนหรือเพียงบางส่วนจมในของเหลว ดังภาพที่ 2.8 ของเหลวจะออกแรงในทิศขึ้นกระทำต่อวัตถุมีขนาดเท่ากับน้ำหนักของของเหลวซึ่งถูกแทนที่ แรงนี้เรียกว่าแรงลอยตัว (buoyant force)

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
 RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY



ภาพที่ 2.8 ขนาดของแรงลอยตัวเท่ากับขนาดน้ำหนักของของเหลวที่วัตถุแทนที่

จากภาพที่ 2.8 แรงลอยตัวของของไหลคือ

$$F_B = \rho Vg \quad (2.7)$$

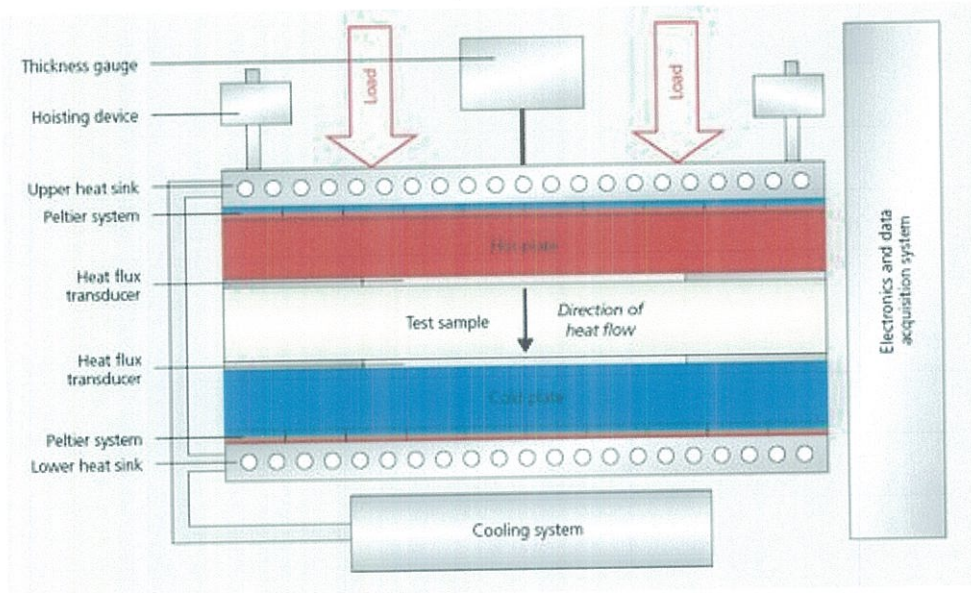
- เมื่อ F_B คือ แรงลอยตัว (N)
 ρ คือ ความหนาแน่นของของไหล (kg/m^3)
 V คือ ปริมาตรส่วนจมของก้อนวัตถุในของไหล (m^3)
 g คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง ($9.8m/s^2$)

2.13 การทดสอบสมบัติเชิงความร้อน

การทดสอบสมบัติเชิงความร้อนเป็นการทดสอบที่สำคัญที่สุดของการผลิตแผ่นฉนวนกันความร้อน ซึ่งมาตรฐานการทดสอบหาค่าการนำความร้อน ของฉนวนกันความร้อน สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 วิธีหลักๆ คือ ใช้เครื่องวัดค่าการนำความร้อนแบบคุมแผ่นให้ความร้อน (Guarded Hot Plate; GHP) และใช้เครื่องวัดค่าการนำความร้อนแบบวัดการถ่ายเทของความร้อน (Heat Flow Meter; HFM) หลายปีที่ผ่านมาวิธีการวัดค่าการนำความร้อนนิยมใช้การวัดแบบคุมแผ่นให้ความร้อน ซึ่งเป็นการวัดตามมาตรฐาน ASTM C177-97 (American Society for Testing and Materials, 2010) และ ISO8302 ข้อดีของการวัดแบบนี้ คือ มีช่วงอุณหภูมิของการวัดกว้าง โดยอยู่ในช่วง 160-700 องศาเซลเซียส และมีความแม่นยำสูง แต่ข้อเสีย คือ ใช้เวลาในการทดสอบต่อหนึ่งชิ้นตัวอย่างนาน ดังนั้นปัจจุบันเทคนิคการวัดค่าการถ่ายเทของความร้อน จึงได้เข้ามามีบทบาทมากขึ้น

เครื่องวัดค่าการนำความร้อนที่ใช้ในงานวิจัยนี้ เป็นเครื่องวัดค่าการนำความร้อนแบบวัดการถ่ายเทความร้อน ของ NETZSCH รุ่น 436 วัดค่าการนำความร้อนอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM C177-97 Standard Test Method for Steady-State Thermal Transmission Properties by Means of The Heat Flow Meter Apparatus

เครื่องมือนี้ใช้หลักการนำความร้อนถ่ายเทจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า ดังภาพที่ 2.9 แผ่นทดสอบจะถูกวางอยู่ระหว่างแผ่นความร้อน (hot plate) และแผ่นความเย็น (cold plate) มีตัวระบายความร้อน (heat sink) ซึ่งได้รับความเย็นจากระบบให้ความเย็น (cooling system) และทำงานในระบบเพลเทีย (peltier system) ระบบเพลเทียนี้ เป็นระบบระบายความร้อน โดยจะมีด้านหนึ่งที่เย็น และอีกด้านหนึ่งที่ร้อน มีประสิทธิภาพในการทำให้อุณหภูมิของแผ่นทดสอบลดลง และเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ระบบจะถูกตั้งค่าอุณหภูมิที่แตกต่างกันระหว่างแผ่นอุณหภูมิทั้งสอง โดยมีฉนวนล้อมรอบตลอดแนวความหนาของแผ่นอุณหภูมิและแผ่นทดสอบ เพื่อให้ระบบเกิดสภาวะคงที่ (steady-state condition) เครื่องจะวัดแรงดันไฟฟ้าที่ออกมาจากฟลักซ์ความร้อนทรานสดิวเซอร์ (heat flux transducer) ที่ติดอยู่กับผิวของแผ่นอุณหภูมิทั้งสอง ซึ่งฟลักซ์ความร้อนทรานสดิวเซอร์นี้เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับแปลงพลังงานความร้อนเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยการวัดการไหลของความร้อนและอุณหภูมิที่ต่างกันระหว่างแผ่นทั้งสอง เมื่อระบบอยู่ในสภาวะคงตัวเครื่องจะสามารถวัดค่าการนำความร้อนของแผ่นทดสอบได้



ภาพที่ 2.9 หลักการทำงานของเครื่องมือวัดแบบการวัดการถ่ายเทของความร้อน
ที่มา (Netzsch Operating Instructions, 2014)

2.14 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สมเจตน์ พัชรพันธ์ และคณะ(2546) ได้ศึกษาเกี่ยวกับกระบวนการผลิตและสมบัติทางความร้อนของ
ฉนวนความร้อนจากเส้นใยหญ้าแฝกและน้ำยางธรรมชาติ โดยการนำเส้นใยหญ้าแฝกสายพันธุ์ราชบุรีผ่าน
กระบวนการปั่นเคลือบประสานเส้นใยหญ้าแฝกด้วยน้ำยางธรรมชาติ แล้วทำการขึ้นรูปเป็นฉนวนความร้อนขนาด
กว้าง 20 cm ยาว 20 cm และหนา 1.5 cm มีความหนาแน่น 180 kg/m^3 ค่าการนำความร้อนของฉนวนที่
ผลิตได้มีค่า 0.0564 W/m.K ซึ่งใกล้เคียงกับฉนวนความร้อนที่นิยมใช้ในท้องตลาด ผลการศึกษาเบื้องต้นแสดง
ให้เห็นว่า มีความเป็นไปได้อย่างยิ่งในการนำเส้นใยหญ้าแฝกและน้ำยางธรรมชาติมาผลิตเป็นฉนวนความร้อน
เพื่อทดแทนฉนวนความร้อนที่ผลิตจากเส้นใยสังเคราะห์

วิศิษฐ์ โล้เจริญรัตน์(2548) ได้ทำการทดลองผลิตฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยฟางข้าวและน้ำยาง
ธรรมชาติผลที่ได้คือ อัตราที่เหมาะสมระหว่างเส้นใยฟางข้าวกับน้ำยางธรรมชาติคือ 1:3 การนำความร้อนของ
ฉนวนที่ได้อยู่ในช่วง $0.04\text{-}0.05 \text{ W/m.K}$ สามารถปรับปรุงการต้านทานการลามไฟโดยเจือจางน้ำยางธรรมชาติ
ด้วยน้ำที่อัตราส่วน 1:3 แฉฟางข้าวในบอแรกซ์ 10%wt ผสมซิงค์บอแรก 40%wt ในน้ำยางธรรมชาติ ลด
โพรงอากาศภายในแผ่นฉนวน ซึ่งทำให้แผ่นฉนวนกันความร้อนชนิดหน่วงไฟที่ผลิตได้มีอัตราการลามไฟ 2-3
mm/นาที่ และสามารถดับเองได้ สารหน่วงไฟที่ผสมเข้าไปไม่มีผลต่อการนำความร้อน

ธนัญชัย ปุณณวรกิจ และคณะ (2549) ศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติความเป็นฉนวนกันความร้อนที่
ผลิตจากขังข้าวโพดกับต้นมันสำปะหลัง ในระดับความหนาแน่นที่ต่างกัน เพื่อหาความหนาแน่นที่สามารถลด

การถ่ายเทความร้อนได้ดีที่สุด ซึ่งพบว่า ฉนวนกันความร้อนที่ผลิตจากขังข้าวโพดสามารถลดการถ่ายเทความร้อนได้ไม่ด้อยกว่า ฉนวนกันความร้อนที่ผลิตจากต้นมันสำปะหลังที่มีความหนาแน่นน้อยจะมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำกว่าฉนวนชนิดเดียวกันที่มีความหนาแน่นสูงกว่า โดยฉนวนกันความร้อนที่ผลิตจากต้นมันสำปะหลัง ความหนาแน่น 200 kg/m^3 หนา 10 mm จะมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน เท่ากับ 0.059 W/m.K ซึ่งสามารถลดอุณหภูมิภายในให้ต่ำลงประมาณ 2.3 องศาเซลเซียส จึงมีความเป็นไปได้ในการนำมาใช้เป็นฉนวนอาคาร และฉนวนกันความร้อนที่ผลิตจากต้นมันสำปะหลัง ความหนาแน่น 800 kg/m^3 หนา 10 mm มาทำแผ่นผนังภายในแทนการใช้ไม้อัด พบว่าสามารถลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารได้ดีกว่าไม้อัด 3.03 องศาเซลเซียส และมีต้นทุนวัสดุที่ถูกลงกว่ามาก

จักรกริษฐ์ พิสุตรเสียง(2553) ทำงานวิจัยเปรียบเทียบประสิทธิภาพความร้อนที่ผลิตจากไบอยาพารา กับฉนวนความร้อนที่นิยมใช้กันโดยทั่วไป ในการศึกษาได้ออกแบบห้องขนาด 3.50 m ยาว 5.00 m สูง 2.50 m ภายในแบ่งเป็นห้องทดลองขนาด $1.00 \times 2.00 \text{ m}$ จำนวน 4 ห้องทดลองถูกป้องกันความร้อนด้านทิศเหนือ ทิศตะวันออก และทิศตะวันตก ที่ติดตั้งวัสดุทดลอง ห้องทดลองมีสภาพแวดล้อมที่ใกล้เคียงกับฉนวนไบอยาพารา หนา 1 นิ้ว และอีก 3 ห้องทดลองติดตั้งฉนวนใยแก้วหนา 2 นิ้ว และฉนวนโพลียูรีเทนโฟมหนา 1 นิ้ว ตามลำดับ การเก็บข้อมูลใช้เครื่องวัดอุณหภูมิ เก็บข้อมูลทุกๆ 2 นาที เป็นเวลา 2 วัน จากการทดลองพบว่า ฉนวนกันความร้อนที่ผลิตจากป้องกันการถ่ายเทความร้อนได้ใกล้เคียงกับฉนวนใยแก้วที่ความหนา 2 นิ้ว

สืบศิริ แซ่ลี และคณะ(2555) ได้ศึกษาคุณลักษณะของเส้นใยธรรมชาติ พบว่า กล้วย้า กล้วยชีและกระถินยักษ์มีความเหนียวอยู่ในตัวเหมาะสมที่จะพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ ซึ่งสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ เช่นทำ สีส ทำกลืน และนำไปผลิวิธีการถักทอ การอัดเป็นแผ่น ปั่นและการหล่อขึ้นรูป ในด้านการพัฒนาแผ่นผ้าและฉนวนกันความร้อน พบว่า ตัวประสานที่เหมาะสม คือ ลาเท็กซ์น้ำยางพารา ถือเป็นวัสดุประสานที่มีความโปร่งใส มีน้ำหนักเบา กันน้ำ กันแมลง ส่วนกรรมการหล่อขึ้นรูป สำหรับแผ่นผ้าและฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยพืชที่ได้จากการวิเคราะห์และทดสอบสมบัติของวัสดุต้านแรงดึงสูงสุด พบว่า วัสดุเส้นใยพืชผสมกับยูรีเทน มีค่าเฉลี่ยความต้านแรงดึง 0.84 Mpa และมีค่าเฉลี่ยการยืดตัว ณ จุดขาดร้อยละ 3.36 วัสดุเส้นใยพืชผสมกับยางพารา มีค่าเฉลี่ยความต้านแรงดึงสูงสุด 1.00 Mpa และมีค่าเฉลี่ยการยืดตัว ณ จุดขาด 5.22 วัสดุเส้นใยพืชผสมกับกาวลาเท็กซ์ มีค่าเฉลี่ยความต้านแรงดึงสูงสุด 1.06 Mpa และมีค่าเฉลี่ยตัว ณ จุดขาดร้อยละ 6.50 และการวิเคราะห์และทดสอบสมบัติของวัสดุสภาพนำความร้อน พบว่า วัสดุ มีค่าเฉลี่ยร้อนอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ในช่วง 23.56 W/m.K และมีค่าเฉลี่ยสภาพนำความร้อน ณ อุณหภูมิร้อยละ 0.043

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วัสดุและอุปกรณ์

3.1.1 วัสดุและสารเคมีในการเตรียมฉนวนกันความร้อนจากกกขนาทและยางพารา

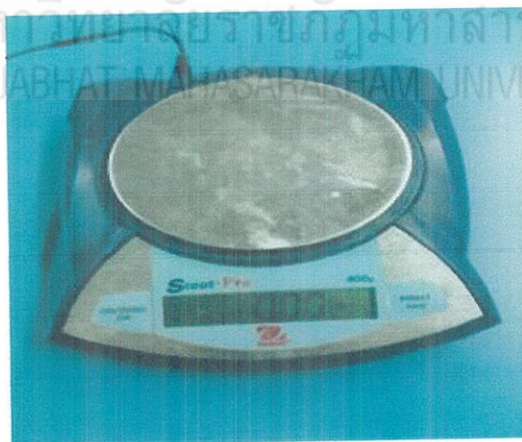
- 1) เส้นใยกกขนาท
- 2) น้ำยางหล่อแบบ
- 3) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)
- 4) บอแรกซ์

3.1.2 อุปกรณ์ในการเตรียมฉนวนกันความร้อนจากกกขนาทและยางพารา

- 1) เครื่องปั่น รุ่น HR 2100 400 ผลิตโดย PHILTPS
- 2) เวอร์เนีย ความยาว 0-150 mm ความละเอียดที่อ่านได้ 0.02 mm
- 3) เครื่องชั่งดิจิตอล ความละเอียดทศนิยม 2 ตำแหน่ง รุ่น Scout ProSps (202) ผลิตโดย OHAUS

แสดงดังภาพที่ 3.1

- 4) บล็อกขึ้นรูปขนาด 10x10x1.5 เซนติเมตร แสดงดังภาพที่ 3.2
- 5) ปีกเกอร์
- 6) ตู้อบลมร้อนแบบไม่มีพัดลม Oven รุ่น ED53 ผลิตโดย BINDER แสดงดังภาพที่ 3.3
- 7) โกร่งบดสาร



ภาพที่ 3.1 เครื่องชั่งดิจิตอล ความละเอียดทศนิยม 2 ตำแหน่ง รุ่น Scout ProSps (202) ผลิตโดย OHAUS



ภาพที่ 3.2 บล็อกขึ้นรูปขนาด 10x10x1.5 เซนติเมตร



ภาพที่ 3.3 ตู้อบลมร้อนแบบไม่มีพัดลม Oven รุ่น ED53 ผลิตโดย BINDER

3.1.3 อุปกรณ์ในการศึกษาการนำความร้อนของฉนวนกันความร้อนจากกกขนากและยางพารา

เครื่องทดสอบค่าการนำความร้อน รุ่น 436 Lambda ผลิตโดย NETZSCH แสดงดังภาพที่ 3.4



ภาพที่ 3.4 เครื่องวัดค่าการนำความร้อนแบบวัดการถ่ายเทความร้อน รุ่น 436 Lambda ผลิตโดย NETZSCH ที่มา (Netzsch Operating instructions, 2014)

3.1.4 อุปกรณ์ในการศึกษาอัตราการลามไฟของฉนวนกันความร้อนจากกกขนากและยางพารา

- 1) ตะเกียงแอลกอฮอล์
- 2) ที่ยึดฉนวนกันความร้อน
- 3) นาฬิกาจับเวลา รุ่น 16-170 ผลิตโดย ALBA
- 4) เครื่องวัดความชื้น และอุณหภูมิแบบจอภาพ รุ่น Testo 615 ผลิตโดย Testo



ภาพที่ 3.5 อุปกรณ์ในการศึกษาการอัตราการลามไฟของฉนวนกันความร้อนจากกกขนากและยางพารา

3.1.5 อุปกรณ์ในการหาความหนาแน่นของฉนวนกันความร้อนจากกกขนากและยางพารา

- 1) เครื่องชั่งดิจิตอล ความละเอียดทศนิยม 2 ตำแหน่ง รุ่น Scout ProSps (202) ผลิตโดย OHAUS
- 2) ถ้วยยูเรการ์ ดังภาพที่ 3.5
- 3) ปีกเกอร์ 50 ml



ภาพที่ 3.5 ถ้วยยูเรการ์

3.2 วิธีดำเนินการวิจัย

3.2.1 การเตรียมฉนวนกันความร้อนจากกกขนากและยางพารา

ตอนที่ 1 เตรียมเส้นใยกกขนาก

- 1) หั่นส่วนของลำต้นกกขนากด้วยมีดให้มีความยาวประมาณ 1 นิ้ว
- 2) นำส่วนของลำต้นกกขนากที่หั่นแล้วมาปั่นด้วยเครื่องปั่นเพื่อให้เป็นฝอยจะได้เส้นใยกกขนาก
- 3) นำเส้นใยกกขนากไปต้มด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 โมลาร์ เพื่อให้ได้เส้นใยที่มีลักษณะอ่อนนุ่มเป็นเส้นเรียวยาว ซึ่งใช้คุณสมบัติในการต้มเส้นใย 80 องศาเซลเซียสและเวลาในการต้มเส้นใย 10 นาที
- 4) จากนั้นนำเส้นใยไปล้างด้วยน้ำจนสะอาดแล้วนำไปวัดค่า pH จนกว่าค่า pH จะเป็นกลาง แล้วนำไปตากแดดให้แห้ง

ตอนที่ 2 เตรียมน้ำยางหล่อแบบผสมสารหน่วงไฟ

- 1) ในงานวิจัยนี้เลือกบอแรกซ์เป็นสารหน่วงไฟ นำบอแรกซ์มาบดด้วยโม่บดสารจนละเอียด
- 2) ผสมในน้ำยางพาราหล่อแบบกับบอแรกซ์ ซึ่งจะใช้บอแรกซ์ 10 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของแผ่น

ฉนวนกันความร้อน

ตอนที่ 3 การขึ้นรูปแผ่นฉนวนกันความร้อนจากกกขนากและยางพารา ในงานวิจัยนี้จะกำหนดอัตราส่วนของเส้นใยกกขนากต่อน้ำยางหล่อแบบทั้งหมด 3 อัตราส่วน ได้แก่ 1:4 1:6 และ 1:8 ซึ่งมีขั้นตอนการขึ้นรูปดังนี้

- 1) เทน้ำยางลงบนถาดขึ้นรูปขนาด 10x10x1.5 เซนติเมตร เพื่อรองพื้นเส้นใย
- 2) นำเส้นใยกกขนากในอัตราส่วนที่กำหนดไว้ มาโรยเป็นชั้นบางๆบนถาด

- 3) เทน่ายางพาราหล่อแบบลงบนเส้นใยกกขนาก โดยระวังให้เส้นกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอบนภาค
- 4) จากนั้นโรยเส้นใยกกขนากทับลงไปอีกชั้นและเทน่ายางพาราหล่อแบบทับ ทำซ้ำเช่นนี้จนได้ความหนาประมาณ 1.5 เซนติเมตร

- 5) นำแผ่นฉนวนที่ได้ไปตากแดดทิ้งไว้เป็นเวลา 30 นาที เพื่อให้น่ายางหล่อแบบเกิดการคงรูป
- 6) นำแผ่นฉนวนไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 45 นาที เพื่อให้น่ายางคงรูปอย่างสมบูรณ์

3.2.2 ศึกษาการนำความร้อนของฉนวนกันความร้อนจากกกขนากและยางพารา

นำแผ่นฉนวนกันความร้อนจากกกขนากและยางพาราทั้ง 3 อัตราส่วน ขนาด $10 \times 10 \times 1.5$ เซนติเมตร

ไปวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้เครื่องวัดค่าการนำความร้อน รุ่น 436 Lambda ผลิตโดย NETZSCH ตามมาตรฐาน ASTM C177-97 ที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

3.2.3 ศึกษาอัตราการลามไฟของฉนวนกันความร้อนจากกกขนากและยางพารา

ในการทดสอบอัตราการลามไฟของแผ่นฉนวนกันความร้อนจากกกขนากและยางพาราทั้ง 3

อัตราส่วน ต้องดำเนินการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 635-98 โดยทำการทดสอบภายในห้องทดสอบ ซึ่งมีอุณหภูมิประมาณ 23-25 องศาเซลเซียส และมีความชื้นสัมพัทธ์ 50-55 เปอร์เซ็นต์ ใช้ก๊าซหุงต้ม (C_3H_8) เป็นเชื้อเพลิงในการทดสอบ และทำการควบคุมเชื้อเพลิง โดยเริ่มจ่ายเปลวไฟที่ปลายชิ้นงานตัวอย่างขนาด $1.5 \times 1.5 \times 10$ เซนติเมตร เป็นเวลา 30 วินาที แล้วจึงเริ่มทำการจับเวลาและดึงเปลวไฟออก ปล่อยให้เปลวไฟลามไปบนชิ้นงานตัวอย่างและหยุดทำการจับเวลาเมื่อเหลือชิ้นงานตัวอย่าง 15 มิลลิเมตร นับจากปลายอีกข้างหนึ่งของชิ้นงานหรือจนกว่าไฟดับแสดงได้ แล้วนำไปหาค่าอัตราการลามไฟ (v) จากสมการที่ (2.10)

3.2.4 หาค่าความหนาแน่นของฉนวนกันความร้อนจากกกขนากและยางพารา

1) นำแผ่นฉนวนกันความร้อนจากกกขนากและยางพาราทั้ง 3 อัตราส่วนมาชั่งบนเครื่องชั่งดิจิตอลเพื่อหามวลแผ่นฉนวน

2) นำแผ่นฉนวนกันความร้อนจากกกขนากและยางพาราที่ชั่งหามวลเรียบร้อยแล้วไปวางในถ้วยยูเรก้าที่เติมน้ำไว้แล้ว จากนั้นนำถ้วยยูเรก้าที่ถูกแทนที่ด้วยแผ่นฉนวนจะล้นออกมายังบีกเกอร์ ซึ่งปริมาตรของน้ำที่ล้นออกมาก็คือปริมาตรของแผ่นฉนวนนั่นเอง

3) เมื่อทราบมวล (m) และปริมาตร (V) ของแผ่นฉนวนกันความร้อนจากกกขนากและยางพารา

สามารถคำนวณหาค่าความหนาแน่นของฉนวนได้จาก $\rho = \frac{m}{V}$

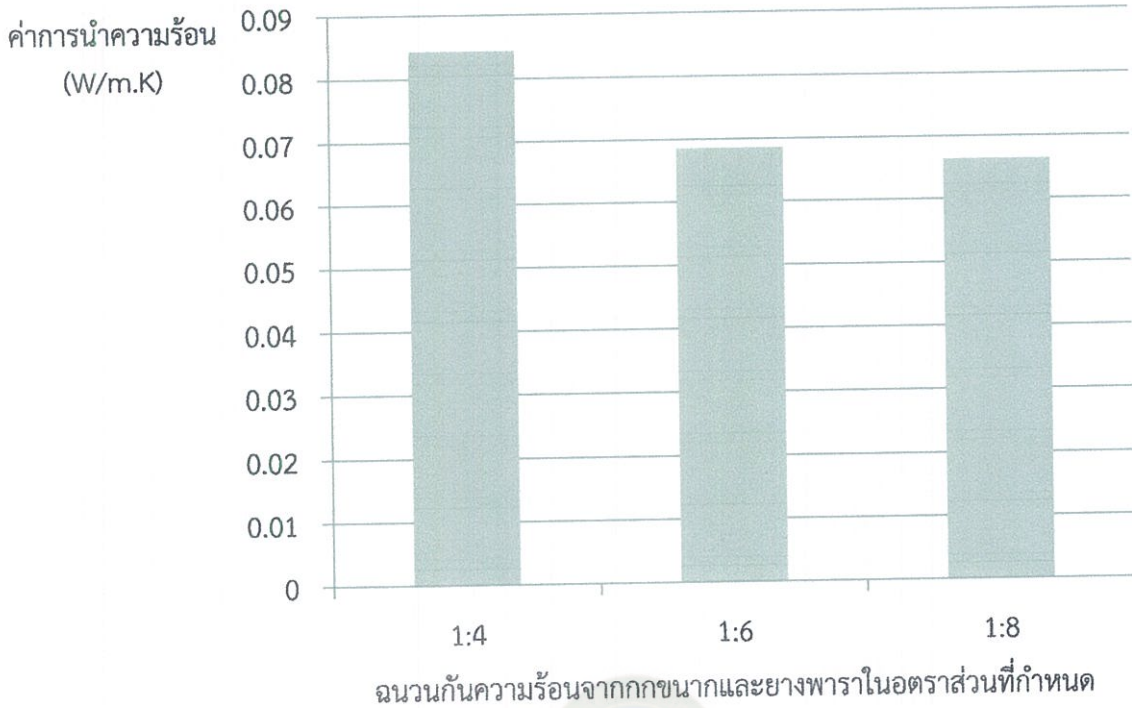
บทที่ 4 ผลการวิจัย

4.1 ผลการศึกษาการนำความร้อนของฉนวนกันความร้อนจากกกชนากและยางพารา

ผลทำการทดสอบการนำความร้อนของฉนวนกันความร้อนจากกกชนากและยางพาราในอัตราส่วนที่กำหนดโดยทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C177-97 โดยใช้ Hot plate และ Cold plate ทำจากทองแดง มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว หนา 0.125 นิ้ว ให้อุณหภูมิของ Hot plate เท่ากับ 37.7 องศาเซลเซียส และให้อุณหภูมิของ Cold plate เท่ากับ 10 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิภายในห้องขณะทำการทดสอบเท่ากับ 25–26 องศาเซลเซียส ชิ้นงานทดสอบมีขนาดกว้าง 10 เซนติเมตร ยาว 10 เซนติเมตร หนาไม่เกิน 1.5 เซนติเมตร แสดงได้ดังตารางที่ 4.1 และภาพที่ 4.1 แสดงค่าการนำความร้อนของฉนวนกันความร้อนจากกกชนากและยางพาราในอัตราส่วนที่กำหนด

ตารางที่ 4.1 แสดงผลค่าการนำความร้อนของฉนวนกันความร้อนจากกกชนากและยางพาราในอัตราส่วนที่กำหนด

ฉนวนกันความร้อนจากกกชนากและยางพารา (เส้นใยกกชนาก : น้ำยางหล่อแบบ)	ความหนา (m)	ค่าการนำความร้อน (k) ($W/m.K$)	ค่าความต้านทาน (R) ($m^2 K/W$)
1:4	0.0127	0.0845	0.1503
1:6	0.0133	0.0686	0.1939
1:8	0.0131	0.0665	0.1970



ภาพที่ 4.1 แสดงค่าการนำความร้อนของฉนวนกันความร้อนจากกอกขนากและยางพาราในอัตราส่วนที่กำหนด

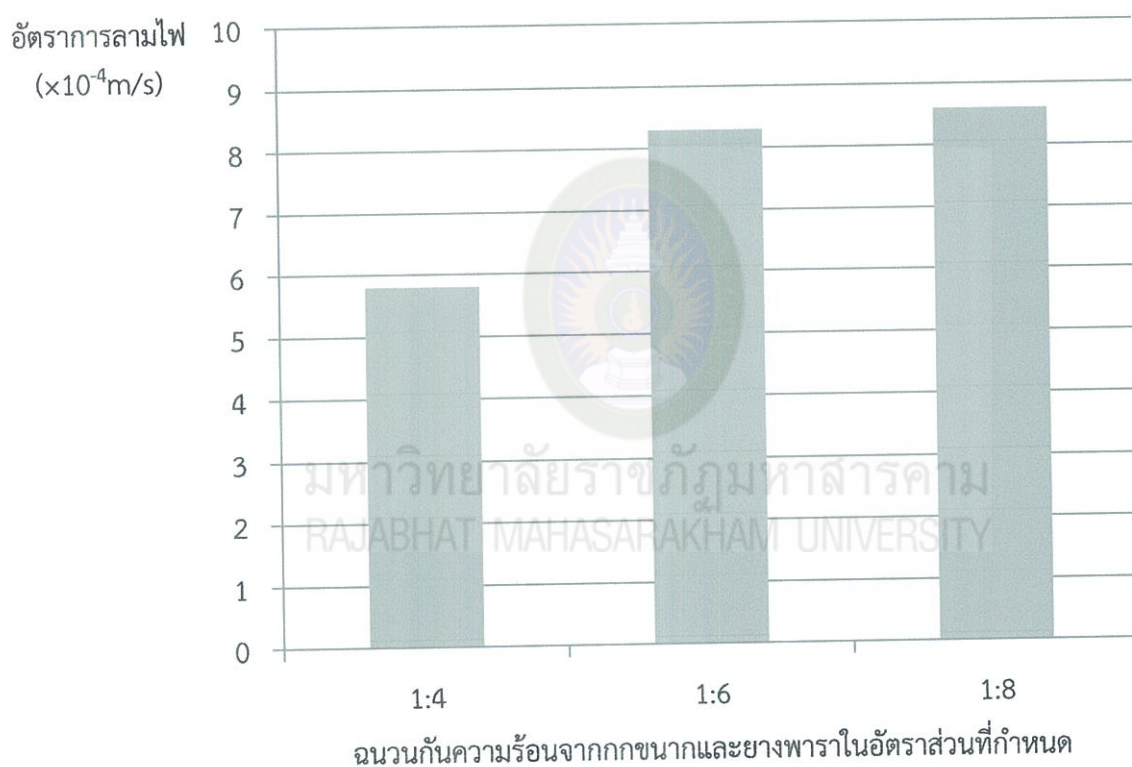
จากภาพที่ 4.1 จะเห็นว่าเมื่อปริมาณเส้นใยกอกขนากคงเดิมแต่ปริมาณน้ำยางพาราเพิ่มขึ้น ค่าการนำความร้อนจะลดลงแสดงว่าปริมาณเส้นใยกอกขนากในน้ำยางพารามีผลต่อค่าการนำความร้อน

4.2 ผลการศึกษาอัตราการลามไฟของฉนวนกันความร้อนจากกอกขนากและยางพารา

ผลการหาอัตราการลามไฟของฉนวนกันความร้อนจากกอกขนากและยางพาราในอัตราส่วนที่กำหนด โดยทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 635-98 โดยทำการทดสอบภายในห้องทดสอบ ที่มีอุณหภูมิ 24.4°C และความชื้นสัมพัทธ์ 58.1% โดยการทดสอบฉนวน 3 อัตราส่วนๆละ 3 ชิ้น ซึ่งสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการทำอัตราการลามไฟของฉนวนกันความร้อนจากกกชนากและยางพาราในอัตราส่วนที่กำหนด

ฉนวนกันความร้อนจากกกชนากและยางพารา (เส้นใยกกชนาก : น้ำยางหล่อแบบ)	เวลาในการลามไฟเฉลี่ย (s)	อัตราการลามไฟ (m/s)
1:4	147.67	5.8×10^{-4}
1:6	102.33	8.3×10^{-4}
1:8	98.33	8.6×10^{-4}



ภาพที่ 4.2 แสดงอัตราการลามไฟของฉนวนกันความร้อนจากกกชนากและยางพาราในอัตราส่วนที่กำหนด

จากภาพที่ 4.2 จะเห็นว่าเมื่อปริมาณเส้นใยกกชนากคงเดิมแต่ปริมาณน้ำยางพาราเพิ่มขึ้น อัตราการลามไฟจะเพิ่มขึ้น แสดงว่าปริมาณเส้นใยกกชนากมีผลต่ออัตราการลามไฟ

4.3 ผลการศึกษาความหนาแน่นของฉนวนกันความร้อนจากกกขนาทและยางพารา

ผลการหาความหนาแน่นของฉนวนกันความร้อนจากกกขนาทและยางพาราในอัตราส่วนที่กำหนดโดยใช้หลักของอาร์คิมิดีส ซึ่งสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลการหาความหนาแน่นของฉนวนกันความร้อนจากกกขนาทและยางพาราในอัตราส่วนที่กำหนด

ฉนวนกันความร้อนจากกกขนาทและยางพารา (เส้นโยกขนาท : น้ำยางหล่อแบบ)	ความหนาแน่น (kg/m ³)
1:4	0.8434×10^3
1:6	0.7892×10^3
1:8	0.8143×10^3



ภาพที่ 4.3 แสดงค่าความหนาแน่นของฉนวนกันความร้อนจากกกขนาทและยางพาราในอัตราส่วนที่กำหนด

จากภาพที่ 4.3 จะเห็นว่าเมื่อปริมาณเส้นโยกขนาทคงเดิมแต่ปริมาณน้ำยางพาราเพิ่มขึ้น ความหนาแน่นของฉนวนกันความร้อนจากกกขนาทและยางพารามีค่าใกล้เคียงกัน

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

สรุปผลการวิจัย

ผลทำการทดสอบการนำความร้อนของฉนวนกันความร้อนจากกกขนากและยางพาราแสดงให้เห็นว่า เมื่อปริมาณของเส้นใยกกขนากเพิ่มขึ้นทำให้ฉนวนนำความร้อนได้มากขึ้น

ผลการหาอัตราการลามไฟของฉนวนกันความร้อนจากกกขนากและยางพาราแสดงให้เห็นว่าเมื่อ ปริมาณของเส้นใยกกขนากเพิ่มขึ้นทำให้ฉนวนมีอัตราการลามไฟที่ลดลง

ความหนาแน่นของฉนวนกันความร้อนจากกกขนากและยางพารามีค่าใกล้เคียงกัน ถึงแม้ว่าปริมาณ ของเส้นใยกกขนากในน้ำยางพาราจะมีการเปลี่ยนแปลงก็ตาม

อภิปรายผล

คุณสมบัติของฉนวนที่ดีจะต้องมีคือ ค่าการนำความร้อนจะต้องน้อย ไม่ติดไฟ และน้ำหนักเบา จาก คุณสมบัติดังกล่าวฉนวนกันความร้อนจากกกขนากและยางพาราในอัตราส่วน 1:8 ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่มีปริมาณ เส้นใยกกขนากในน้ำยางพาราน้อยที่สุดจะเป็นฉนวนที่ดีที่สุดเมื่อเทียบกับอีกสองอัตราส่วน และเมื่อเทียบกับ ผลิตภัณฑ์ในท้องตลาดที่เป็นที่นิยมและราคาค่อนข้างสูง นั่นคือแผ่นฉนวนใยแก้วซึ่งมีค่าการนำความร้อน ประมาณ 0.035 W/m.K จะเห็นว่าค่าการนำความร้อนที่น้อยที่สุดในงานวิจัยนี้เท่ากับ 0.0665 W/m.K ยังไม่ ใกล้เคียงกับแผ่นฉนวนใยแก้ว แต่ถ้าเปรียบเทียบกับแผ่นยิปซัมที่มีค่าการนำความร้อนประมาณ 0.191 W/m.K ซึ่งเป็นแผ่นฉนวนอีกชนิดหนึ่งที่นิยม ฉนวนกันความร้อนจากกกขนากและยางพาราสามารถกันความร้อนได้ดีกว่าแผ่นยิปซัม

ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

ฉนวนกันความร้อนจากกกขนากและยางพาราสามารถไปใช้เป็นฝ้าหรือบุทับฝ้าจากทำจากวัสดุชนิด อื่นได้

ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

- 1) มีการศึกษาการนำความร้อนของฉนวนกันความร้อนจากพืชชนิดอื่น
- 2) ในงานวิจัยนี้แผ่นจะมีส่วนผสมของสารบอแรกซ์เพื่อเป็นสารหน่วงไฟ สารบอแรกซ์เป็นสารที่มี ต่อมนุษย์หากเกิดการเผาไหม้ควรมีการศึกษาสารหน่วงไฟชนิดอื่นที่ให้ผลในการหน่วงไฟใกล้เคียงกันหรือดีกว่า แต่เป็นอันตรายน้อยกว่า

บรรณานุกรม

บรรณานุกรมภาษาไทย

- จักรกริศน์ พิสุตรเสียง. (2553). **ประสิทธิภาพการป้องกันของฉนวนใยยางพารา**. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ตระการ ก้าวกลีกรรม. (2537). **คู่มือฉนวนกันความร้อน**. กรุงเทพฯ: เอ็มแอนด์อี.
- ธนัญชัย ปุคณวรกิจ และคณะ. (2549). **ประสิทธิภาพการป้องกันความร้อนของฉนวนอาคารจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร**. โครงการทุนวิจัยมหาบัณฑิต สกว. สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.
- นฤทธิ์ กล่อมพงษ์. (2552). การจำลองเชิงตัวเลขของการถ่ายโอนความร้อนในดินโดยระเบียบวิธีผลต่างอันดับขั้น. วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ, 12 (2), 1-9.
- ฟิลิกส์, ภาควิชา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. (2550). **ฟิลิกส์ 1 (พิมพ์ครั้งที่ 12)**. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- เกสัชเคมี, ภาควิชา คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัย. (ม.ป.ป.). **บอแรกซ์**. 17 ธันวาคม 2557. <http://oldweb.pharm.su.ac.th/Chemistry-in-Life/d037.html>
- วิศิษฐ์ ไส้เจริญรัตน์. (2548). การผลิตฉนวนความร้อนจากเส้นใยพางข้าวและน้ำยางธรรมชาติ. วิศวกรรมสาร มก. 19 (57). 32-45.
- วีระศักดิ์ อุดมกิจเดชา. (2543). **วิทยาศาสตร์เส้นใย (Fiber Science)**. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สมเจตน์ พัชรพันธ์ และคณะ. (2546). การผลิตฉนวนความร้อนจากเส้นใยหญ้าแฝกและน้ำยางธรรมชาติ. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 41. กรุงเทพฯ: เกษตรศาสตร์. 525-531.
- สมบัติ ทิมทรัพย์. (2531). **หลักการพื้นฐานของวิศวกรรม**. กรุงเทพฯ: ยูไนเต็ด์บุ๊ค.
- สืบศิริ แซ่ลี และศักดิ์ชาย ลีขา. (2555). การพัฒนาผลิตภัณฑ์แผ่นผ้าและผนังฉนวนกันความร้อนจากพืชในเขตพื้นที่ประเทศไทย. วารสารวิชาการศิลปะสถาปัตยกรรมศาสตร์. พิษณุโลก: นครสวรรค์. 3(1). 15-24
- สุภาสินี ลิ้มปานานภาพ. (2554). **เอกสารประกอบการสอนวิชา 315205 วัสดุศาสตร์ขั้นแนะนำ**. ขอนแก่น: ขอนแก่น.
- สุภัทร สันติภิรมย์กุล. (2542). **เอกสารประกอบการบรรยายโครงการอบรม “ผู้บริหารความปลอดภัยด้านอัคคีภัย”**. กรุงเทพฯ: พิษณุ คอนซัลแตนท์.
- อนุสรณ์ สุขเกษม. (2550). การศึกษาเกี่ยวกับการถ่ายเทความร้อนโดยการพาของครีบบัฟเฟอร์. กรุงเทพฯ: ศรีนครินทร์วิโรฒ.
- วิจัยและพัฒนาข้าว, สำนัก กรมการข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (2553). **กขขนาด**. 20 พฤศจิกายน 2557. <http://www.brrd.in.th/rkb/weed/index.php-file=content.php&id=47.htm>

บรรณานุกรมภาษาต่างประเทศ

ASTM International. (1997). **ASTM C177-97, Standard Test Method for Steady-State Heat Flux Measurements and Thermal Transmission Properties by Means of the Guarded-Hot-Plate Apparatus**. Pennsylvania: West Conshohocken.

ASTM International. (1998). **ASTM D635-98 : Standard Test Method for Rate of Burning of plastics in Horizontal Position**. Pennsylvania: West Conshohocken.

Netzsch Operating Instructions. **Heat Flow Meter - HFM 436, Method, Technique, Applification**. Retrieved October 10,2014. <https://www.netzsch-thermal-analysis.com/en/products-solutions/thermal-diffusivity-conductivity/hfm-436-lambda/>



มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY



ภาคผนวก

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY



ภาคผนวก ก

ภาพแผ่นฉนวนกันความร้อนจากกกขนากและยางพาราในอัตราส่วนที่กำหนด

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY



ภาพที่ ก-1 แผ่นฉนวนกันความร้อนจากกกขนากและยางพาราในอัตราส่วน 1:4



ภาพที่ ก-2 แผ่นฉนวนกันความร้อนจากกกขนากและยางพาราในอัตราส่วน 1:6



ภาพที่ ก-3 แผ่นฉนวนกันความร้อนจากกกขนากและยางพาราในอัตราส่วน 1:8



ภาคผนวก ข

ตารางค่าการนำความร้อนของแผ่นฉนวนกันความร้อนจากกกขนากและยางพาราในอัตราส่วน
ที่กำหนด

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY



ที่ ศธ 5810/58392-2

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี สำนักวิจัยและบริการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

126 ถนนประชาธิปไตย แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140
โทรศัพท์ 0-2470-9671-3, 0-2470-9664-7 โทรสาร 0-2428-3374 <http://www.kmutt.ac.th>

27 พฤษภาคม 2558

เรื่อง แจ้งผลการวิเคราะห์และทดสอบคุณลักษณะทางกายภาพของตัวอย่างฉนวนกันความร้อน จำนวน 7 ตัวอย่าง
เรียน นางสาวพันธิริรา พงษ์ขจร (มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม)

สำนักวิจัยและบริการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ได้ทำการวิเคราะห์และทดสอบคุณลักษณะทางกายภาพของตัวอย่างฉนวนกันความร้อน จำนวน 7 ตัวอย่าง เสร็จเรียบร้อยแล้ว โดยทำการวิเคราะห์/ทดสอบ ตามมาตรฐาน ASTM C 177 ดังรายงานผลใน เอกสารแนบท้าย

ลำดับที่	รายการตัวอย่าง	ความหนาชิ้นงาน (มิลลิเมตร)	ผลการทดสอบ
			ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน, K, (W/m ² K)
1.	นํ้ายางหล่อแบบ	11.50	0.0625
2.	เส้นใยดักก : นํ้ายางหล่อแบบ ตามอัตราส่วน 1 : 4	12.70	0.0845
3.	เส้นใยดักก : นํ้ายางหล่อแบบ ตามอัตราส่วน 1 : 6	13.30	0.0686
4.	เส้นใยดักก : นํ้ายางหล่อแบบ ตามอัตราส่วน 1 : 8	13.10	0.0665

สภาวะในการทดสอบ

- อุณหภูมิแผ่นร้อน = 37.7 องศาเซลเซียส
- อุณหภูมิแผ่นเย็น = 10.0 องศาเซลเซียส
- อุณหภูมิห้อง = 25.0 - 26.0 องศาเซลเซียส
- เวลาที่ใช้ในการทดสอบ = 10 นาที

จึงเรียนมาเพื่อทราบ


(นายอนัน นนทพงษ์)
ผู้วิเคราะห์/นักวิทยาศาสตร์


(นายอนัน นนทพงษ์)
หัวหน้าห้องปฏิบัติการทดสอบ

ขอแสดงความนับถือ


(ผศ. นิตี บุรณจันทร์)
ผู้อำนวยการ

สำนักวิจัยและบริการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

รายงานผลที่ส่งมาจะถือเป็นฉบับร่าง กรุณาตรวจสอบหาข้อผิดพลาดและแก้ไขก่อนส่งคืน
รายงานนี้ใช้ได้เป็นชิ้นเดียวสำหรับการทดสอบเท่านั้น ผลการทดสอบตามรายการนี้ใช้ไม่ได้กับวัสดุอื่น หรือผลิตภัณฑ์อื่นฯ ผลผลิตจากงานวิจัยนี้สงวนลิขสิทธิ์

ภาพที่ ข-1 ตารางค่าการนำความร้อนของแผ่นฉนวนกันความร้อนจากกอกขนากและยางพาราในอัตราส่วนที่กำหนด

ภาคผนวก ค

การคำนวณหาปริมาณกษณาและน้ำยาพาราหล่อแบบที่ใช้ทำแผ่นฉนวนในอัตราส่วนที่
กำหนด

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

การคำนวณหาอัตราส่วนในการขึ้นรูปแผ่นฉนวนกันความร้อนจากกอกขนากและยางพาราในอัตราส่วนที่กำหนด

1) อัตราส่วน 1:4 สามารถคำนวณได้ดังนี้

ในอัตราส่วนนี้จะถูกแบ่งเป็นเส้นโยกกขนาก 1 ส่วน น้ำยางพาราหล่อแบบ 4 ส่วน รวมเป็น 5 ส่วนด้วยกัน ถ้าต้องการน้ำหนักของแผ่นฉนวนทั้งหมด 120 g

$$\text{จะได้ 1 ส่วน เท่ากับ } \frac{120g}{5} = 24g$$

$$\text{ดังนั้นจะต้องใช้ เส้นโยกกขนาก } 1 \times 24 = 24g$$

$$\text{น้ำยางพาราหล่อแบบ } 4 \times 24 = 96g$$

2) อัตราส่วน 1:6 สามารถคำนวณได้ดังนี้

ในอัตราส่วนนี้จะถูกแบ่งเป็นเส้นโยกกขนาก 1 ส่วน น้ำยางพาราหล่อแบบ 6 ส่วน รวมเป็น 7 ส่วนด้วยกัน ถ้าต้องการน้ำหนักของแผ่นฉนวนทั้งหมด 120 g

$$\text{จะได้ 1 ส่วน เท่ากับ } \frac{120g}{7} = 17.14g$$

$$\text{ดังนั้นจะต้องใช้ เส้นโยกกขนาก } 1 \times 17.14 = 17.14g$$

$$\text{น้ำยางพาราหล่อแบบ } 6 \times 17.14 = 102.86g$$


3) อัตราส่วน 1:8 สามารถคำนวณได้ดังนี้

ในอัตราส่วนนี้จะถูกแบ่งเป็นเส้นโยกกขนาก 1 ส่วน น้ำยางพาราหล่อแบบ 8 ส่วน รวมเป็น 9 ส่วนด้วยกัน ถ้าต้องการน้ำหนักของแผ่นฉนวนทั้งหมด 120 g

$$\text{จะได้ 1 ส่วน เท่ากับ } \frac{120g}{9} = 13.33g$$

$$\text{ดังนั้นจะต้องใช้ เส้นโยกกขนาก } 1 \times 13.33 = 13.33g$$

$$\text{น้ำยางพาราหล่อแบบ } 8 \times 13.33 = 106.67g$$



ภาคผนวก ง

การคำนวณหาปริมาณสารบอแรกซ์ที่ใช้เป็นสารหน่วงไฟในแผ่นฉนวนกันความร้อนจาก

กกขนากและยางพารา

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ในงานวิจัยนี้จะใช้สารบอแรกซ์เพื่อเติมลงในน้ำยาล้างปราห่อแบบที่ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ถ้าต้องการน้ำหนักของแผ่นฉนวนทั้งหมด 120 g จะต้องใช้สารบอแรกซ์ คือ

$$\frac{10}{100} \times 120 = 12g$$

ดังนั้นต้องใช้สารบอแรกซ์ 12 g



มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ภาคผนวก จ

การคำนวณหาต้านทานความร้อนของแผ่นฉนวนกันความร้อนจากกอกขนากและยางพารา

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

การคำนวณหาค่าต้านทานความร้อน (R) ของแผ่นฉนวนกันความร้อนจากกอกขนากและยางพารา สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\text{จากสมการ} \quad R = \frac{d}{k} \quad (2.3)$$

เมื่อ

R คือ ค่าความต้านทานความร้อน (m^2K/W)

d คือ ค่าความหนาของวัสดุ (m)

k คือ ค่าการนำความร้อน ($W/m.K$)

1) อัตราส่วนที่ 1:4

เมื่อ ค่าความหนาของวัสดุ $d = 0.0127 \text{ m}$

ค่าการนำความร้อน $k = 0.0845 \text{ W/m.K}$

แทนค่าในสมการที่ (2.3) จะได้

$$R = \frac{d}{k} = \frac{0.0127m}{0.0845W/m.K} = 0.1503m^2K/W$$

ดังนั้น ค่าความต้านทานความร้อน เท่ากับ $0.1503 \text{ m}^2K/W$

2) อัตราส่วนที่ 1:6

เมื่อ ค่าความหนาของวัสดุ $d = 0.0133 \text{ m}$

ค่าการนำความร้อน $k = 0.0686 \text{ W/m.K}$

แทนค่าในสมการที่ (2.3) จะได้

$$R = \frac{d}{k} = \frac{0.0133m}{0.0686W/m.K} = 0.1939m^2K/W$$

ดังนั้น ค่าความต้านทานความร้อน เท่ากับ $0.1939 \text{ m}^2K/W$

3) อัตราส่วนที่ 1:8

เมื่อ ค่าความหนาของวัสดุ $d = 0.0131 \text{ m}$

ค่าการนำความร้อน $k = 0.0665 \text{ W/m.K}$

แทนค่าในสมการที่ (2.3) จะได้

$$R = \frac{d}{k} = \frac{0.0131m}{0.0665W/m.K} = 0.1970m^2K/W$$

ดังนั้น ค่าความต้านทานความร้อน เท่ากับ $0.1970 \text{ m}^2K/W$

ภาคผนวก ฉ

การคำนวณหาอัตราการลามไฟของแผ่นฉนวนกันความร้อนจากกกชนากและยางพารา

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

การคำนวณหาอัตราส่วนการลามไฟ (v) ของแผ่นฉนวนกันความร้อนจากกกชนาทและยางพาราในอัตราส่วนที่กำหนด

จากสมการ
$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} \quad (2.6)$$

เมื่อ v คือ อัตราการลามไฟ (m/s)

Δt คือ เวลาที่ใช้ในการลามไฟ (s)

Δs คือ ระยะทางของการลามไฟ (m)

1) อัตราส่วนที่ 1:4

สามารถคำนวณได้ดังนี้

เมื่อ เวลาที่ใช้ในการลามไฟ $\Delta t = 147.76 \text{ s}$

ระยะทางของการลามไฟ $\Delta s = 0.085 \text{ m}$

แทนค่าในสมการที่ (2.6) จะได้

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{0.085 \text{ m}}{147.76 \text{ s}} = 5.8 \times 10^{-4} \text{ m/s}$$

ดังนั้น อัตราการลามไฟ เท่ากับ $5.8 \times 10^{-4} \text{ m/s}$

2) อัตราส่วนที่ 1:6

สามารถคำนวณได้ดังนี้

เมื่อ เวลาที่ใช้ในการลามไฟ $\Delta t = 102.33 \text{ s}$

ระยะทางของการลามไฟ $\Delta s = 0.085 \text{ m}$

แทนค่าในสมการที่ (2.6) จะได้

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{0.085 \text{ m}}{102.33 \text{ s}} = 8.3 \times 10^{-4} \text{ m/s}$$

ดังนั้น อัตราการลามไฟ เท่ากับ $8.3 \times 10^{-4} \text{ m/s}$

3) อัตราส่วนที่ 1:8

สามารถคำนวณได้ดังนี้


เมื่อ เวลาที่ใช้ในการลามไฟ $\Delta t = 98.33 \text{ s}$

ระยะทางของการลามไฟ $\Delta s = 0.085 \text{ m}$

แทนค่าในสมการที่ (2.6) จะได้

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{0.085 \text{ m}}{98.33 \text{ s}} = 8.6 \times 10^{-4} \text{ m/s}$$

ดังนั้น อัตราการลามไฟ เท่ากับ $8.6 \times 10^{-4} \text{ m/s}$



ภาคผนวก ซ

การคำนวณหาความหนาแน่นของแผ่นฉนวนกันความร้อนจากกกชนากและยางพารา

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

การคำนวณหาค่าความหนาแน่น (ρ) ของแผ่นฉนวนกันความร้อนจากกกขนาทและยางพาราในอัตราส่วนที่กำหนด สามารถหาได้จากสมการ

$$\text{จากสมการ} \quad \rho = \frac{m}{v} \quad (\text{ฉ-1})$$

เมื่อ

ρ คือ ความหนาแน่น (kg/m^3)

m คือ มวล (kg)

V คือ ปริมาตร (m^3)

1) อัตราส่วนที่ 1:4

สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\text{เมื่อ มวล } m = 18.07 \times 10^{-3} \text{ kg}$$

$$\text{ปริมาตร } V = 21.5 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

แทนค่าในสมการที่ (ฉ-1) จะได้

$$\rho = \frac{m}{v} = \frac{18.07 \times 10^{-3} \text{ kg}}{21.5 \times 10^{-6} \text{ m}^3} = 0.8434 \text{ kg/m}^3$$

ดังนั้น ความหนาแน่น เท่ากับ 0.8434 kg/m^3

2) อัตราส่วนที่ 1:6

สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\text{เมื่อ มวล } m = 18.58 \times 10^{-3} \text{ kg}$$

$$\text{ปริมาตร } V = 24 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

แทนค่าในสมการที่ (ฉ-1) จะได้

$$\rho = \frac{m}{v} = \frac{18.58 \times 10^{-3} \text{ kg}}{24 \times 10^{-6} \text{ m}^3} = 0.7892 \text{ kg/m}^3$$

ดังนั้น ความหนาแน่น เท่ากับ 0.7892 kg/m^3

3) อัตราส่วนที่ 1:8

สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\text{เมื่อ มวล } m = 17.28 \times 10^{-3} \text{ kg}$$

$$\text{ปริมาตร } V = 21.5 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

แทนค่าในสมการที่ (ฉ-1) จะได้

$$\rho = \frac{m}{v} = \frac{17.28 \times 10^{-3} \text{ kg}}{21.5 \times 10^{-6} \text{ m}^3} = 0.8134 \text{ kg/m}^3$$

ดังนั้น ความหนาแน่น เท่ากับ 0.8143 kg/m^3

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ- นามสกุล นายปรีชา นิลแสงรัตน์

ตำแหน่ง /หน่วยงานที่สังกัด

อาจารย์ประจำสาขาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

ที่อยู่ หมายเลขโทรศัพท์ติดต่อ

99 หมู่ 8 ต.กลาง อ.เสลภูมิ จ.ร้อยเอ็ด 45120 โทร 0891547748

e – mail : pariya_nil@hotmail.co.th

ประวัติการศึกษา

ปีสำเร็จการศึกษา	ระดับปริญญา	สาขาวิชา	สถาบันการศึกษา
2549	ปริญญาตรี (วท.บ.)	ฟิสิกส์	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
2552	ปริญญาโท (วท.ม.)	ฟิสิกส์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ประสบการณ์ด้านการวิจัยและเผยแพร่ผลงานวิจัย

Chiangga, S. Suttiri, N. and Nilsaengrat, P. (2009). Effect of Temperature on Carbon Nanotubes Growth on Thin Iron Film by Thermal Chemical Vapor Deposition Method under The Low Pressure. Physics Procedia. 2. 107-111

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY