



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การศึกษากำลังรับแรงอัดและกำลังรับแรงดึงแบบผ่าซีกของคอนกรีตมวลเบาอบไอน้ำผสม
เพอร์ไลต์และเสริมแรงด้วยเส้นใยสังเคราะห์หลังการเผาไหม้

**A study of compressive and splitting tensile strength of autoclaved aerated concrete
(AAC) mixed perlite and synthetic fiber subjected to elevated temperatures**

ผศ.ดร.บวร อิศรางกูร ณ อยุธยา

สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ

กระทรวงวิทยาศาสตร์ฯ

กันยายน 2557

ส่วนที่ 1

รายละเอียดโครงการวิจัย

ชื่อโครงการ การศึกษากำลักรับแรงอัดและกำลักรับแรงดึงแบบผ่าซีกของคอนกรีตผสม
เพอร์ไลต์และเสริมแรงด้วยเส้นใยสังเคราะห์หลังการเผาไหม้

A study of compressive and splitting tensile strength of concrete mixed
perlite and synthetic fiber subjected to elevated temperatures

ชื่อผู้วิจัย ผศ.ดร.บวร อิศรางกูร ณ อยุธยา

หน่วยงาน ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

โทรศัพท์ 02-913-2500 ต่อ 8625



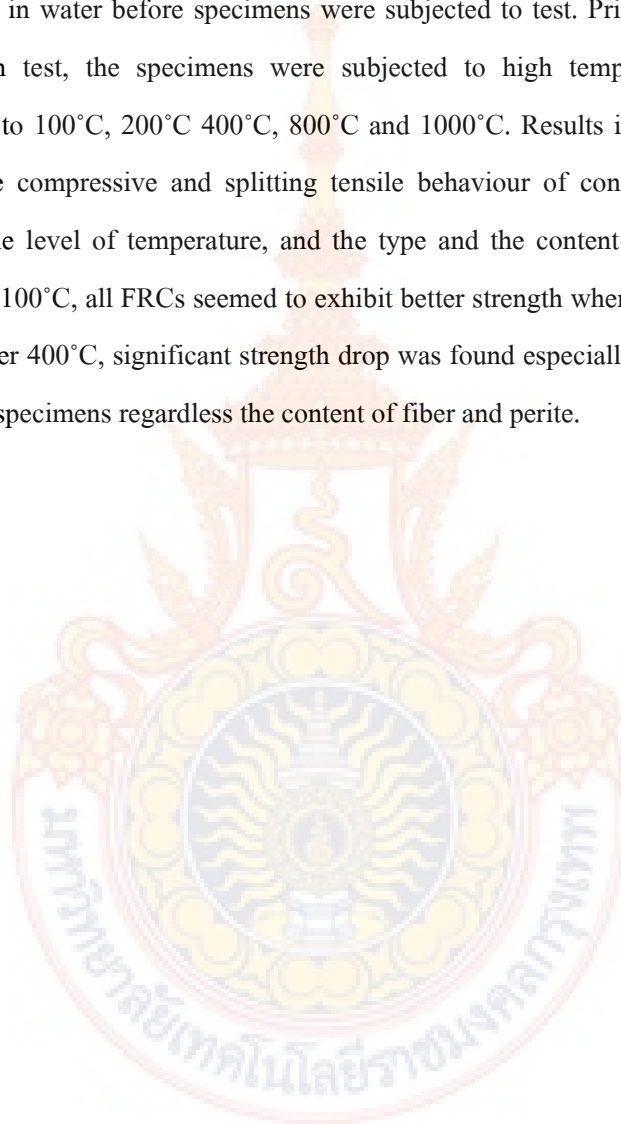
บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยเป็นการศึกษาถึงพฤติกรรมการรับแรงอัดและแรงดึงแบบผ่าซีกของ คอนกรีตผสมเพอร์ไลต์และเส้นใยที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิที่แตกต่างกัน โดยตัวอย่างคอนกรีตที่ใช้ทดสอบนี้ ประกอบไปด้วย คอนกรีตผสมเส้นใยพลาสติกสังเคราะห์ ชนิดเส้นใยโพลีพรอพิลีน (PPFRC) โดยจะผสม เส้นใยในปริมาณร้อยละ 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 โดยปริมาตร และผสมเพอร์ไลต์ทดแทนทรายที่ปริมาณร้อยละ 15 20 และ 30 โดยหล่อเป็นตัวอย่างทรงกระบอกขนาด 10×20 เซนติเมตร จากนั้นจะทำการบ่มด้วยความดัน ที่ 10 บาร์และไอน้ำ ณ อุณหภูมิที่ 200°C จึงนำคอนกรีตไปเผาที่อุณหภูมิ 100°C 200°C 400°C , 800°C และ 1000°C ตามมาตรฐาน ISO/TR834 ก่อนที่นำมาทดสอบหาค่ากำลังรับแรงอัดและดึงแบบผ่าซีก จากผลการ ทดสอบสามารถบอกได้ว่า การผสมเส้นใยเข้าไปในคอนกรีตที่ผสมเพอร์ไลต์ทดแทนทรายละเอียดนั้นส่งผล ต่อคุณสมบัติการรับแรงอัดและแรงดึงแบบผ่าซีกของคอนกรีตแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับปริมาณเส้นใย และ สภาวะอุณหภูมิที่คอนกรีตผสมเพอร์ไลต์นั้นได้รับ โดยหลังการเผาที่อุณหภูมิ 100°C มีผลทำให้คอนกรีต ผสมเพอร์ไลต์และเส้นใย มีค่ากำลังรับแรงอัดและแรงดึงแบบผ่าซีกเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ส่วนหลังการเผาที่ อุณหภูมิ 400°C พบว่าค่ากำลังรับแรงอัดและแรงดึงแบบผ่าซีกนั้นลดลงอย่างรุนแรงในทุกส่วนผสม (เพอร์ไลต์และเส้นใยสังเคราะห์ เพอร์ไลต์ และเส้นใยสังเคราะห์)



Abstract

In this study, the compressive and splitting tensile strength behavior of fiber reinforced concrete mixed perlite after subjected to fire in different temperatures was investigated. The dosages of fiber were at 0.5%, 1.0%, 1.5% and 2.0% by volume fractions. The synthetic fiber type Polypropylene (PPFRC) was used as fiber reinforcement in specimens. The specimens in form of cylindrical with dimension of 10x20 cm. were cast and cured in water before specimens were subjected to test. Prior to the compressive and splitting tensile strength test, the specimens were subjected to high temperature according to the ISO/TR834 standard up to 100°C, 200°C 400°C, 800°C and 1000°C. Results indicated that the effect of high temperature on the compressive and splitting tensile behaviour of concrete mixed with PPFRC depended strongly on the level of temperature, and the type and the content of fiber when sand were replaced with perlite. At 100°C, all FRCs seemed to exhibit better strength when compared with non-fired specimens. However, after 400°C, significant strength drop was found especially in both compressive and splitting tensile strength specimens regardless the content of fiber and perite.



สารบัญ

ส่วนที่ 1 รายละเอียดโครงการวิจัย	ก
บทคัดย่อ	ข
Abstract	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	จ
สารบัญภาพ	ฉ
บทที่ 1	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2	4
2.1 คอนกรีต (Concrete)	4
2.2 พลาสติกสังเคราะห์ (Synthetic Polymers)	6
2.3 คอนกรีตผสมเส้นใย (Fiber Reinforced Concrete)	13
2.4 ลักษณะและพฤติกรรมของอครีกัน	15
2.5 คุณสมบัติของคอนกรีตหลังการเผาไหม้	20
บทที่ 3	23
3.1 วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ	23
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ	23
3.3 อัตราส่วนผสมที่ใช้ทดสอบ	24
3.4 การเตรียมตัวอย่างทดสอบ	25
3.5 การทดสอบ	25
บทที่ 4	27
4.1 พฤติกรรมการรับแรงอัดและแรงดึงแบบผ่าซีกของ FRC ก่อนการเผา	27
4.2 พฤติกรรมการรับแรงอัดและแรงดึงแบบผ่าซีกของ FRC หลังการเผา	30
4.3 ลักษณะพื้นผิวของชิ้นตัวอย่างเมื่อสัมผัสอุณหภูมิ หลังการเผา	39
บทที่ 5	40
บรรณานุกรม	42
ประวัติผู้วิจัย	44

สารบัญตาราง

ตารางที่ 2-1	สัมประสิทธิ์การเปลี่ยนขนาดภายใต้การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ	5
ตารางที่ 2-2	ลักษณะทางกายภาพของ POLYETHYLENE	11
ตารางที่ 2-3	ลักษณะทางกายภาพของ POLYPROPYLENE	13
ตารางที่ 3-1	แสดงคุณสมบัติของเส้นใยผสมคอนกรีตในตัวอย่างการทดลอง	25
ตารางที่ 3-2	สัดส่วนผสมของคอนกรีตต่อ 1 ลบ.ม.	26
ตารางที่ 3-3	รายละเอียดจำนวนตัวอย่างและการทดสอบ	27
ตารางที่ 4-1	กำลังรับแรงอัดและแรงดึงแบบผ่าซีก ของคอนกรีตผสมเปอร์ไลต์ และ PPFRC	29



สารบัญภาพ

ภาพที่ 2-1	โครงสร้างโพลิเมอร์แบบเส้นยาวตลอด	6
ภาพที่ 2-2	โครงสร้างโพลิเมอร์แบบแยกแขนโดยรอบ	7
ภาพที่ 2-3	โครงสร้างโพลิเมอร์แบบแยกเชื่อมโยง	7
ภาพที่ 2-4	เม็ดพลาสติกสังเคราะห์ ชนิดโพลิเอทิลีน	11
ภาพที่ 2-5	เม็ดพลาสติกสังเคราะห์ ชนิดโพลิพรอพิลีน	12
ภาพที่ 2-6	การกระจายตัวของเส้นใย ในลักษณะต่างๆ (a) and (b) Continuous Reinforcement (c) Discrete, Short Fiber 2-D (d) Discrete, Short Fiber 3-D	14
ภาพที่ 2-7	แสดงพฤติกรรมความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาของไฟ	16
ภาพที่ 2-8	เส้นโค้งความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาของ ASTM E119-98	20
ภาพที่ 2-9	เส้นโค้งความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาของ ISO/TR 834	20
ภาพที่ 2-10	เส้นโค้งความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาของ มอก. 1334-2539	21
ภาพที่ 2-11	แสดงพื้นผิวของคอนกรีตที่เปลี่ยนไปตามระดับของอุณหภูมิ	22
ภาพที่ 4-1	กำลังรับแรงอัดคอนกรีต ผสมเส้นใย PPFRC	27
ภาพที่ 4-2	กำลังรับแรงดึงแบบผ่าซีกของคอนกรีต ผสมเส้นใย PPFRC	29
ภาพที่ 4-3	กำลังรับแรงอัดของคอนกรีต ผสมเส้นใย PPFRC ร้อยละ 0	30
	หลังจากการเผา	
ภาพที่ 4-4	กำลังรับแรงอัดของคอนกรีต ผสมเส้นใย PPFRC ร้อยละ 0.5	31
	หลังจากการเผา	
ภาพที่ 4-5	กำลังรับแรงอัดของคอนกรีต ผสมเส้นใย PPFRC ร้อยละ 1.0	31
	หลังจากการเผา	
ภาพที่ 4-6	กำลังรับแรงอัดของคอนกรีต ผสมเส้นใย PPFRC ร้อยละ 2.0	32
	หลังจากการเผา	
ภาพที่ 4-7	กำลังรับแรงดึงแบบผ่าซีกของคอนกรีต ผสมเส้นใย PPFRC	34
	ร้อยละ 0 หลังจากการเผา	
ภาพที่ 4-8	กำลังรับแรงดึงแบบผ่าซีกของคอนกรีต ผสมเส้นใย PPFRC	34
	ร้อยละ 0.5 หลังจากการเผา	
ภาพที่ 4-9	กำลังรับแรงดึงแบบผ่าซีกของคอนกรีต ผสมเส้นใย	35
	PPFRC ร้อยละ 1.5 หลังจากการเผา	

ภาพที่ 4-10	กำลังรับแรงดึงแบบผ่าซีกของคอนกรีต ผสมเส้นใย PPFRC ร้อยละ 2.0 หลังการเผา	35
ภาพที่ 4-11	คอนกรีตผสมเส้นใยโพลีพรอพิลีน (PPFRC-1.0) หลังการเผา	36
ภาพที่ 4-12	สัดส่วนกำลังรับแรงอัดต่อแรงดึงแบบผ่าซีกของคอนกรีต ผสมเส้นใย PPFRC และเพอร์ไลต์ที่ ร้อยละ 0 หลังการเผา	37
ภาพที่ 4-13	สัดส่วนกำลังรับแรงอัดต่อแรงดึงแบบผ่าซีกของคอนกรีต ผสมเส้นใย PPFRC และเพอร์ไลต์ที่ ร้อยละ 15 หลังการเผา	37
ภาพที่ 4-14	สัดส่วนกำลังรับแรงอัดต่อแรงดึงแบบผ่าซีกของคอนกรีต ผสมเส้นใย PPFRC และเพอร์ไลต์ที่ ร้อยละ 20 หลังการเผา	38
ภาพที่ 4-15	สัดส่วนกำลังรับแรงอัดต่อแรงดึงแบบผ่าซีกของคอนกรีต ผสมเส้นใย PPFRC และเพอร์ไลต์ที่ ร้อยละ 30 หลังการเผา	38
ภาพที่ 4-16	ลักษณะผิวของคอนกรีตผสมเส้นใย PPFRC และ เพอร์ไลต์ที่ ร้อยละ 30 หลังการเผา	39



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ทั่วโลกอุตสาหกรรมการก่อสร้างส่วนใหญ่นิยมใช้คอนกรีตเป็นวัสดุหลัก ด้วยเหตุผลที่ว่าคอนกรีตเป็นวัสดุที่สามารถก่อสร้างให้มีรูปร่างลักษณะและขนาดได้ตามต้องการ ไม่ถูกจำกัดเหมือนวัสดุอื่น (เช่น อิฐ ไม้หรือเหล็ก) อีกทั้งยังเป็นวัสดุที่มีความเหมาะสมทั้งทางด้านราคาและมีความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกทุกรูปของกำลังอัดสูง อย่างไรก็ตามพบว่าในปัจจุบันมีอุบัติเหตุที่เกี่ยวข้องกับอาคารขึ้นบ่อยครั้ง หนึ่งในอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นนั้นคือ เพลิงไหม้ อาคารเหล่านี้เมื่อได้รับเพลิงไหม้จะมีการสูญเสียกำลัง ทั้งในส่วนตัวคอนกรีต ตลอดจนแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเหล็กเสริมและคอนกรีต ปัญหาที่ตามมาหลังจากเกิดเพลิงไหม้ก็คือความสงสัยว่าอาคารที่เกิดเพลิงไหม้นั้น ยังพอที่จะเพิ่มเวลาให้ผู้ที่อยู่ในอาคารมีเวลาพอที่จะหลบหนีก่อนที่จะอาคารจะถล่มเนื่องจาก การสูญเสียกำลังจากอุณหภูมิที่สูงและแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเหล็กเสริมและคอนกรีตได้ลดลงลงไปทุกขณะ รวมไปถึงตัวอาคารนั้นยังสามารถใช้งานต่อไปได้หรือไม่

ผลการศึกษาจากหลายแหล่งพบว่า คอนกรีตที่ได้รับอุณหภูมิสูงจะมีคุณสมบัติเปลี่ยนไป เช่น ค่ากำลังรับแรงอัดลดลงเมื่ออุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น โดยค่ากำลังที่ลดลงเป็นผลเนื่องมาจากปริมาณน้ำที่ดึงดูระหว่างอนุภาคของซีเมนต์ไฮดรตระเหยออกไปซึ่งเป็นแรงยึดเหนี่ยวทางเคมีที่เป็นกำลังหลักของซีเมนต์เจล เมื่อปริมาณน้ำระเหยออกไปเรื่อยๆ ส่งผลต่อการหดตัวของชั้น CSH จึงเกิดการแตกร้าวเล็กๆ เพิ่มขึ้นตามปริมาณน้ำที่ระเหยออกไป และเนื่องมาจากการขยายตัวของทราย และหินก่อให้เกิดแรงดึงในคอนกรีตจนเกิดรอยร้าว เมื่อแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเพสต์และมวลรวมลดน้อยลงจึงเกิดช่องว่างเล็กๆ ขึ้นมากมาย มีผลทำให้ค่ากำลังอัดลดลงอย่างมาก (Lau and Anson, 2006)

จากการศึกษาคุณสมบัติของเพอร์ไลต์พบว่ามืองค์ประกอบทางเคมีที่น่าสนใจ คือ เพอร์ไรท์ (perlite) เป็นแหล่งให้ซิลิกา(SiO_2) และอลูมินา (Al_2O_3) ตามธรรมชาติที่เหมาะสม เพราะมีราคาถูกและหาได้ง่าย จึงมีผู้ศึกษาวิจัยนำเอาเพอร์ไลต์ มาสังเคราะห์เป็น zeolite Na-P1 ที่ภาวะอุณหภูมิสูงจากการศึกษาในครั้งนี้ทำให้เกิดแนวความคิดนำเอาเพอร์ไลต์มาประยุกต์ใช้ในคอนกรีต ชั้นคุณภาพ 4 (Autoclave Aerated Concrete ,Class 4.) (มอก.1505-2541) ที่มีค่าการรับแรงอัด เฉลี่ย 5.0 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร ค่าความหนาแน่นแห้ง 510 ถึง 700 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เพื่อเพิ่มการรับกำลังการรับแรงหรือหาคุณสมบัติที่ดีขึ้นของคอนกรีต

เพอร์ไลต์เมื่อมีความร้อนสูงประมาณ 100°C ในสถานะที่เป็นเบส จะเกิดซีโอไลต์ (Zeolite) Na-P1 และที่อุณหภูมิสูง 145°C ในสถานะที่เป็นเบสจะเกิดเป็นอะนอลซิมี (Analcime) ซึ่ง

โครงสร้างทั้งสองชนิดนี้เป็นโครงสร้างที่ทำให้คอนกรีตมวลเบาไม่บอบไอน้ำสามารถรับกำลังอัดได้ในระดับหนึ่ง สำหรับคอนกรีต เมื่อผ่านการอบภายใต้อุณหภูมิและความดันสูง การผสมเพอร์ไลต์เข้าไปในสัดส่วนที่กำหนด จะเข้าไปเกิดปฏิกิริยาเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเพอร์ไลต์ให้เป็นอะนอลซิม ซึ่งเป็นการทำปฏิกิริยาของ SiO_2 และ Al_2O_3 เปลี่ยนแปลงโครงสร้างเป็นรูปทรงสี่หน้า (tetrahedral unit) ของ SiO_4 และ AlO_4 โดยมีการเชื่อมกันด้วยพันธะไอออนิกของอะตอมออกซิเจน และการเกิดปฏิกิริยาเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเป็นโทเบอร์โมไรต์ (tobermorite) ในคอนกรีต โดยการเกิดปฏิกิริยาของ CaO และ SiO_2 ซึ่งเกิดเป็นรูปทรงสี่หน้า ในลักษณะเดียวกัน

สำหรับการศึกษานาตาขององค์ประกอบและระยะเวลาในการอบไอน้ำภายใต้ความดันและความร้อนที่กำหนดก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งในการเพิ่มการรับแรงอัด ดังการรายงานการศึกษาวิจัยของ Isu *et al.* (1995) ได้กล่าวถึงการใช้ขนาดของทรายที่ขนาดทราย 32.3 ไมครอนและเวลาอบภายใต้ความดันไอน้ำที่ 64 ชั่วโมงจะได้โครงสร้างผลึกโทเบอร์โมไรต์ ที่สมบูรณ์ และไม่เกิดการสลายตัวส่งผลให้ค่าการรับแรงอัดเพิ่มกำลังขึ้น

การศึกษาวิจัยครั้งนี้จึงเป็นการศึกษาถึงพฤติกรรมของคอนกรีตผสมเพอร์ไลต์และเสริมแรงด้วยเส้นใยที่ผ่านการเผาไหม้ที่อุณหภูมิที่แตกต่างกัน ในระยะเวลาต่างกัน โดยจะทำการนำคอนกรีตที่ผสมเพอร์ไลต์และเส้นใยไปเผาในเตาเผาที่มีการควบคุมอุณหภูมิตามมาตรฐาน จากนั้นจึงนำมาทดสอบหาค่ากำลังรับแรงอัด และดึงแบบผ่าซีก เพื่อให้ทราบถึงผลกระทบของอุณหภูมิต่อคุณสมบัติของคอนกรีตผสมเพอร์ไลต์และเส้นใยสังเคราะห์

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของคอนกรีตผสมเพอร์ไลต์และเส้นใยสังเคราะห์หลังการเผาไหม้ เปรียบเทียบกับคอนกรีตที่ไม่ใส่เพอร์ไลต์และเส้นใยสังเคราะห์หลังการเผาไหม้
- 1.2.2 เพื่อศึกษาผลกระทบของระดับความร้อนรวมกับระยะเวลาที่สัมผัสต่อคุณสมบัติเชิงกลของคอนกรีตผสมเพอร์ไลต์และเส้นใยสังเคราะห์

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

- 1.3.1 เป็นการศึกษาเฉพาะผลกระทบของอุณหภูมิที่สูงต่อคุณสมบัติเชิงกลของคอนกรีตผสมเพอร์ไลต์และเส้นใยในแง่ของกำลังรับแรงอัดและดึงแบบผ่าซีก
- 1.3.2 เส้นใยที่ใช้เป็นเส้นใยสังเคราะห์จำพวกพลาสติกชนิดเส้นใยโพลีพรอพิลีน
- 1.3.3 ทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตหลังการเผาไหม้
- 1.3.4 ทดสอบกำลังแรงดึงแบบผ่าซีกของคอนกรีตหลังการเผาไหม้

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 ทราบถึงคุณสมบัติเชิงกลของคอนกรีตผสมเส้นใยหลังการเผาไหม้เปรียบเทียบกับคอนกรีตที่ไม่ใส่เฟอไรโดต์และเส้นใยสังเคราะห์หลังการเผาไหม้
- 1.4.2 เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาสำหรับผู้สนใจการศึกษาวิจัยพัฒนาคุณสมบัติของคอนกรีตต่อไป



บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 คอนกรีต (Concrete)

คอนกรีต คือ วัสดุก่อสร้างชนิดหนึ่งที่ใช้กันอย่างแพร่หลายตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน ทั้งนี้เนื่องจากเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติหลายประการที่เหมาะสม เช่นสามารถหล่อขึ้นรูปได้ตามต้องการ มีความคงทนสูง ตกแต่งผิวให้สวยงามได้ และที่สำคัญคือ มีราคาถูกโดยเฉพาะเมื่อเปรียบเทียบกับราคาเหล็กรูปพรรณ โดยทั่วไป คอนกรีตประกอบด้วยส่วนผสมพื้นฐาน 2 ส่วนคือ ส่วนแรกจะเรียกว่า ซีเมนต์เพสต์ (Cement Paste) ได้แก่ ปูนซีเมนต์ น้ำ และสารผสมเพิ่ม ส่วนที่สองประกอบไปด้วยมวลรวม (Aggregates) ได้แก่ มวลรวมละเอียด หรือทราย และมวลรวมหยาบ หรือหิน หรือกรวด โดยเมื่อนำส่วนผสมต่างๆ เหล่านี้มาผสมกัน จะได้คอนกรีตที่คงสภาพเหลวอยู่ช่วงเวลาหนึ่งพอที่จะนำไปเทลงแบบหล่อที่มีรูปร่างตามต้องการได้ โดยเรียกคอนกรีตในสภาพนี้ว่า “คอนกรีตสด (Fresh Concrete)” หลังจากนั้นคอนกรีตจะเปลี่ยนสภาพไปเป็นของแข็งในเวลาต่อมา โดยจะมีความแข็งแรงมากขึ้นตามอายุที่เพิ่มขึ้น คุณสมบัติของคอนกรีตแข็งตัวผ่านข้อกำหนดด้านการรับแรงตามที่ออกแบบไว้แล้ว จึงสามารถเปิดใช้งานรับน้ำหนักได้ต่อไป ซึ่งเราจะเรียกคอนกรีตสภาพที่เป็นของแข็งแล้วนี้ว่า “คอนกรีตแข็งตัวแล้ว (Hardened Concrete)” คุณสมบัติของคอนกรีตสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ คุณสมบัติเชิงกล และคุณสมบัติทางกายภาพ ซึ่งคุณสมบัติทั้งสองจะมีความสำคัญไปตลอดอายุการใช้งานของโครงสร้างคอนกรีตนั้น อย่างไรก็ตาม ในทางปฏิบัติคุณสมบัติของคอนกรีตทั้งสองลักษณะจะมีผลต่อกันและกัน การทำให้คอนกรีตแข็งตัวแล้วมีคุณสมบัติที่ดีนั้น จะต้องมาจากการเลือกใช้วัสดุ และส่วนผสมคอนกรีต ตลอดจนการทำคอนกรีตที่ดีทุกขั้นตอน เพื่อให้ได้คอนกรีตมีคุณสมบัติตรงตามที่ออกแบบไว้สำหรับการใช้งาน

2.1.1 คุณสมบัติเชิงกลของคอนกรีต (Mechanical Properties of Concrete)

2.1.1.1 กำลังรับแรงอัด (Compressive Strength) กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตเป็นคุณสมบัติทางด้านเชิงกลที่เด่นที่สุดของคอนกรีต โดยกำลังอัดของคอนกรีตขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ได้แก่ สัดส่วนน้ำต่อซีเมนต์ กำลังของมอร์ตาร์ กำลังของมวลรวมหยาบ และแรงยึดเหนี่ยวระหว่างมอร์ตาร์กับมวลรวมหยาบ

2.1.1.2 กำลังรับแรงดึง (Tensile Strength) คอนกรีตจัดเป็นวัสดุเปราะ คือ มีกำลังรับแรงอัดสูงและกำลังรับแรงดึงต่ำประมาณร้อยละ 5 ถึงร้อยละ 15 ของกำลังรับแรงอัด

2.1.1.3 กำลังเฉือน (Shear Strength) กำลังต้านทานแรงเฉือนของคอนกรีตจะมี

ค่าประมาณ ร้อยละ 15 ถึง ร้อยละ 25 ของกำลังรับแรงอัด ค่าความต้านทานแรงเฉือนนี้ขึ้นอยู่กับส่วนผสมของคอนกรีตเช่นเดียวกับค่ากำลังอัดประลัย

- 2.1.1.4 กำลังยึดเหนี่ยว (Bond Strength) กำลังยึดเหนี่ยวเป็นการต้านทานการลื่นไถลของเหล็กเสริมที่หล่ออยู่ภายในเนื้อคอนกรีต แรงต้านทานนี้เกิดจากการยึดติดกันของซีเมนต์เพสต์ที่แข็งตัวแล้ว จากความเสียดทานระหว่างเหล็กเสริมคอนกรีตกับผิวคอนกรีตนั้น ต้องเพียงพอที่กำลังยึดเหนี่ยวกับเนื้อคอนกรีต มาตรฐานการออกแบบมักกำหนดค่าแรงยึดเหนี่ยวเป็นเปอร์เซ็นต์ของกำลังอัดของคอนกรีต และขนาดของเหล็กเสริมที่ใช้ อีกทั้งยังขึ้นอยู่กับชนิดของปูนซีเมนต์ สารผสมเพิ่ม และอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์อีกด้วย

2.1.2 คุณสมบัติด้านกายภาพของคอนกรีต (Physical Properties of Concrete)

- 2.1.2.1 การขยายตัวภายใต้อุณหภูมิ (Thermal Expansive) โดยคุณสมบัติการขยายตัวมักจะแสดงอยู่ในรูปของสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงขนาดภายใต้การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (Coefficient of Thermal Expansion) ซึ่งจะมีค่าแตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2-1 สัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงขนาดภายใต้การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

ชนิดของวัสดุ	ค่าการเปลี่ยนแปลง
ซีเมนต์เพสต์	$18-20 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$
คอนกรีต	$7.5-13 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$
มวลรวมหยาบ (Granite)	$7-9 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$
มวลรวมหยาบ (Basalt)	$6-8 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$
เหล็ก	$11-12 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$

ที่มา: ปิติ สุคนธสุขกุล, 2549

- 2.1.2.2 การนำอุณหภูมิ (Thermal Conductivity) สัมประสิทธิ์การเป็นตัวนำอุณหภูมิ (Coefficient of Thermal Conductivity, K) หมายถึง อัตราการไหลของความร้อนอย่างสม่ำเสมอหนึ่งหน่วย ผ่านวัสดุที่มีความหนาหนึ่งหน่วย และมีพื้นที่หน้าตัดแต่ละด้านเท่ากับหนึ่งหน่วย ซึ่งในซีเมนต์จะมีค่า K อยู่ประมาณ 1-1.5 W/m.K ในส่วนของมวลรวมหยาบ หรือหินทั่วไปจะมีค่า K อยู่ที่ประมาณ 3 W/m.K ค่าสัมประสิทธิ์ของวัสดุมักจะขึ้นอยู่กับตัวแปรหลายตัว แต่ตัวแปรที่สำคัญคือความชื้น เมื่อความชื้นเพิ่มขึ้นก็จะส่งผลให้ค่า K เพิ่มขึ้นไปด้วย ดังสมการที่ใช้ในการหาค่าการนำอุณหภูมิ

2.2 พลาสติกสังเคราะห์ (Synthetic Polymers)

พลาสติกสังเคราะห์หรือโพลิเมอร์สังเคราะห์คือ สารสังเคราะห์(Synthetic Materials) ที่มนุษย์คิดค้นขึ้นมา เกิดจากการรวมตัวของโมเลกุลง่ายๆ หรือโมเลกุลอิสระ(Monomers) โดยผ่านกระบวนการสังเคราะห์ทางเคมีที่เรียกว่า โพลิเมอร์ไรเซชัน (Polymerization) โครงสร้างของโพลิเมอร์หรือลักษณะลำตัวและการจัดรูปร่างโมเลกุลของโพลิเมอร์มีหลายรูปแบบขึ้นอยู่กับประเภทของโพลิเมอร์และกรรมวิธีสังเคราะห์ ซึ่งความแตกต่างของโครงสร้างมีผลต่อคุณสมบัติด้านกายภาพ เช่น ความหนาแน่น ความเหนียว ความเปราะ ความยืดหยุ่น ความแข็ง ความใส เป็นต้น

2.2.1 โครงสร้างของโพลิเมอร์

โพลิเมอร์เป็นสารที่มีโมเลกุลยาวมาก มีน้ำหนักโมเลกุลสูงมากและโมเลกุลเหล่านี้ประกอบด้วยหน่วยที่ซ้ำๆ กัน เป็นจำนวนมาก ซึ่งสามารถแยกโครงสร้างของโพลิเมอร์มีแบบต่างๆ ดังนี้

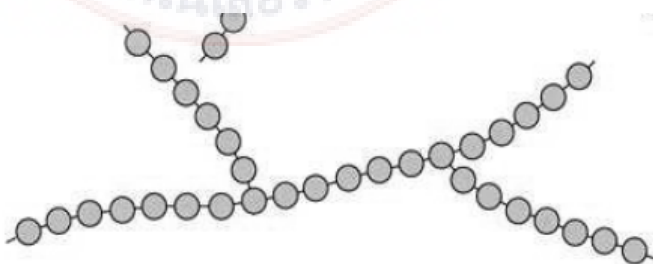
- 2.2.1.1 โพลิเมอร์แบบเส้นยาวตลอด (Linear Shape) ลำตัวยาวจะมีน้ำหนักโมเลกุลสูง มีความแข็งแรงสูง ทนความร้อนได้ดี โครงสร้างแบบนี้เป็นโครงสร้างของพลาสติกประเภทเทอร์โมพลาสติก(Thermoplastics) ดังรูปที่ 2-1



ที่มา: บัญชา สุปรินายก และคณะ , 2542

ภาพที่ 2-1 โครงสร้างโพลิเมอร์แบบเส้นยาวตลอด

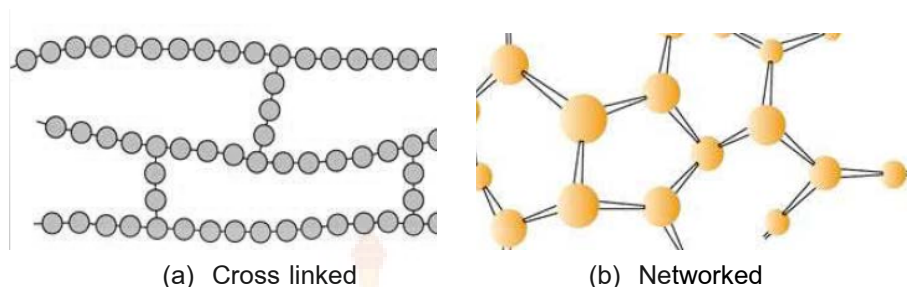
- 2.2.1.2 โพลิเมอร์แบบแยกแขนโดยรอบ (Branched Shape) จากภาพที่ 2-2 โครงสร้างแบบนี้ทำให้โมเลกุลอยู่ห่างกัน จึงทำให้มีความหนาแน่นน้อย โครงสร้างแบบนี้เป็นโครงสร้างของพลาสติกประเภทเทอร์โมพลาสติกอีกประเภทหนึ่ง



ที่มา: บัญชา สุปรินายก และคณะ , 2542

ภาพที่ 2-2 โครงสร้างโพลิเมอร์แบบแยกแขนโดยรอบ

2.2.1.3 โพลีเมอร์แบบเชื่อมโยงหรือร่างแห (Cross linked or Networked) ดังรูปที่ 2-3 โครงสร้างแบบนี้ทำให้โพลีเมอร์มีความหนาแน่นสูง มีความแข็งแรงทนความร้อนได้ดี โครงสร้างแบบนี้ส่วนมากเป็นพลาสติกประเภทเทอร์โมเซตติง (Thermosetting)



ที่มา: บัญชา สุปรินายก และคณะ , 2542

ภาพที่ 2-3 โครงสร้างโพลีเมอร์แบบแยกเชื่อมโยง

2.2.2 ประเภทของพลาสติก

พลาสติกแบ่งออกเป็น 2 ประเภทโดยพิจารณาจากพันธะเคมีที่กระทำกันได้ออกมาเป็นโครงสร้างและมีลักษณะเฉพาะเมื่อทำให้อุ่นหลอมเพิ่มขึ้นได้ดังนี้คือ

2.2.2.1 เทอร์โมเซตติงพลาสติก (Thermosetting Plastic) กลุ่มพลาสติกที่สามารถหลอมเหลวด้วยความร้อนและความดัน การใช้เพียงความร้อนอย่างเดียวไม่สามารถทำให้พลาสติกในกลุ่มนี้เกิดการหลอมเหลว แต่การหลอมสามารถทำได้เพียงครั้งเดียวไม่สามารถนำกลับมาหลอมใหม่ได้ กลุ่มพลาสติกประเภทนี้สามารถคงรูปร่างถาวรได้ด้วยการบ่มด้วยปฏิกิริยาทางเคมีหรือความร้อน และเมื่ออุณหภูมิในการบ่มสูงเกินไปจะส่งผลให้พลาสติกเกิดการหลอมละลายและติดไฟได้ อีกทั้งกลุ่มพลาสติกประเภทนี้ก็มีกระบวนการผลิตที่แตกต่างจากกลุ่มพลาสติกประเภทเทอร์โมพลาสติกซึ่งอาศัยกระบวนการโพลีเมอไรเซชันในการทำปฏิกิริยาระหว่างโมเลกุล ปฏิกิริยาโพลีเมอไรเซชันของพลาสติกประเภทนี้สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ขั้นตอน ขั้นตอนแรกเป็นการปรับปรุงคุณภาพโดยผู้ผลิตและขั้นตอนที่สองเป็นการปรับปรุงคุณภาพโดยผู้ใช้เมื่อต้องการใช้จึงนำเทอร์โมเซตที่ทำปฏิกิริยาบางส่วนนี้มาหล่อหรือขึ้นรูปแล้วให้ความร้อนและความดันกับเทอร์โมเซตนี้ใหม่ ปฏิกิริยาโพลีเมอร์ไรเซชันนี้จะทำให้เกิดการเชื่อมต่อระหว่างโมเลกุลของแต่ละเส้น การให้ความร้อนครั้งแรกเป็นการทำให้วัสดุเกิดการหลอมตัว ส่วนการให้ความร้อนครั้งที่สองเป็นการเพิ่มความร้อนและให้ความดันเป็นผลให้พลาสติกเกิดการแข็งตัวโดยมีการเปลี่ยนแปลงสภาพทางเคมีที่เรียกว่า โพลีเมอไรเซชัน (polymerization) โดยทั่วไปพลาสติกในกลุ่มนี้สามารถทนทานต่อความร้อนและคงรูปได้ดีกว่าพลาสติกในกลุ่มเทอร์โมพลาสติก ดังนั้นจึงนิยมนำไปใช้ในงานโพลีเอสเตอร์ไฟเบอร์ทำเครื่องเรือ เครื่องถ้วยชาม เป็นต้น เทอร์โมเซตติงพลาสติกสามารถแบ่งออกได้เป็น 8 ประเภทใหญ่คือ

- (1) ฟีนอลฟอร์ฟูรัล (Phenol Furfural)
- (2) ฟีนอลฟอร์มัลดีไฮด์ (Phenol Formaldehyde)
- (3) ยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ (Urea Formaldehyde)
- (4) โพลีเอสเตอร์เรซิน (Polyester Resin)
- (5) เมลามีน (Melamine)
- (6) อีพอกซี (Epoxy)
- (7) ซิลิโคน (Silicone)
- (8) โพลียูรีเทน (Polyurethane)

ปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน เกิดขึ้นเมื่อให้ความร้อนหรือความดันหรือทั้งสองอย่างแก่โมเลกุลเริ่มต้นหลายล้านโมเลกุลในเครื่องทำปฏิกิริยา โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยาผสมอยู่ด้วย พันธะคู่ของโมโนเมอร์บางตัวจะแตกออกเป็นพันธะเดี่ยว และพันธะเดี่ยวเหล่านี้รวมกับพันธะอื่นของโมโนเมอร์ตัวอื่นๆ จะต่อเป็นลูกโซ่ต่อกัน ซึ่งจะไปถึงสิ้นสุดเมื่อปลายพันธะเป็นอะตอมของไฮโดรเจน ปฏิกิริยานี้เรียกว่าโพลีเมอไรเซชัน (polymerization) เนื่องจากเทอร์โมพลาสติกส่วนมากได้จากกระบวนการสังเคราะห์ โดยให้โมเลกุลที่มีขนาดเล็กมาเชื่อมต่อกันเป็นลูกโซ่ ด้วยพันธะทางเคมีประเภทโคเวเลนต์เป็นผลให้โมเลกุลมีขนาดความยาวเพิ่มมากขึ้น กล่าวคือ โมเลกุลเริ่มต้นหรือที่เรียกว่า โมโนเมอร์ (monomers) หลายๆ โมเลกุลมาต่อเชื่อมกันเป็นสายลูกโซ่ที่ยาว กระบวนการทางเคมีที่ทำให้เกิดการต่อเชื่อมกันเป็นสายที่ยาวนี้เรียกว่ากลไกแบบต่อสายโซ่ (chain-growth polymerization)

2.2.1.2 เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) กลุ่มเทอร์โมพลาสติกนี้เป็นกลุ่มพลาสติกที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงทางปฏิกิริยาเคมีขณะที่เกิดการหลอมเหลว อีกทั้งยังไม่เกิดการแข็งตัวจากอุณหภูมิ ความร้อนหรือความดันที่สูงขึ้น แต่กลับทำให้เกิดการอ่อนตัวเมื่อได้รับความร้อนหรืออุณหภูมิที่สูงขึ้นและแข็งตัวขึ้นเมื่ออุณหภูมิลดลง อย่างไรก็ตามกลุ่มพลาสติกประเภทนี้สามารถนำมาหลอมละลายกลับมาใช้ใหม่ได้ กลุ่มพลาสติกประเภทนี้แม้ไม่มีการเชื่อมต่อโพลีเมอร์แต่ละตัวเข้าด้วยกัน แต่มีการดึงดูดกันอย่างอ่อนๆ ที่เรียกว่าแรงแวนเดอร์วาล (Van der Waal's Force) แรงระหว่างโมเลกุลประเภทนี้จะมีควมไวต่อความร้อนมาก กล่าวคือ แรงดึงดูดลดลงเมื่อได้รับความร้อนและแรงนี้เพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิลดลง ดังนั้นเมื่อกลุ่มพลาสติกประเภทนี้ได้รับความร้อนจะทำให้โพลีเมอร์แต่ละตัวเคลื่อนออกจากกันได้ง่าย ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างตามลักษณะของแบบหล่อ และเมื่อปล่อยให้เย็นตัวลงแรงระหว่างโมเลกุลจะเพิ่มขึ้นและมีความแข็งแรงพอที่จะคงรูปจากการถูกตัดหรือหล่อไว้แล้วนั้นได้ ความเข้มข้นของแรงระหว่างโมเลกุลจะแปรผันกับระยะทางระหว่างโพลีเมอร์ยกกำลังหก ดังนั้นหากระยะทางระหว่างโมเลกุลลดลงครึ่งหนึ่งจะทำให้แรงระหว่างโมเลกุลเพิ่มขึ้น 64 เท่า เทอร์โมพลาสติกโดยมากประกอบด้วยธาตุไนโตรเจน ออกซิเจน หรือกำมะถันเข้าไปทำพันธะโคเวเลนต์ในโมเลกุลและระหว่างโมเลกุลต่อโมเลกุลจะเกิดพันธะทุติยภูมิ

(Secondary bonds) กันอีกด้วย การเปลี่ยนรูปของเทอร์โมพลาสติกที่สำคัญคือการเปลี่ยนแปลงแบบอีลาสติกและแบบพลาสติก หรืออาจมีการเปลี่ยนแปลงทั้งสองแบบหากอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass transition temperature)

เทอร์โมพลาสติกจะเปลี่ยนรูปแบบอีลาสติกที่อุณหภูมิระหว่าง - 40 ถึง 68 องศาเซลเซียส ซึ่งในช่วงอุณหภูมินี้เทอร์โมพลาสติกจะมีความอ่อนตัวสูงและเมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 68 องศาเซลเซียส เทอร์โมพลาสติกจะมีการเปลี่ยนแปลงเป็นรูปแบบพลาสติกซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงแบบถาวร ดังนั้นเทอร์โมพลาสติกจะมีความเปราะเพิ่มขึ้น กลุ่มพลาสติกประเภทนี้มักจะเป็นผลพลอยได้จากการผลิต ปิโตรเลียม กำมะถัน ถ่านหิน และผลผลิตทางการเกษตร ในการปรับปรุงคุณภาพของพลาสติกให้เป็นไปตามที่ต้องการนั้นอาจมีการเติมส่วนผสมอื่นๆ เข้าไป เช่น ตัวละลายผงสี หรือวัตถุที่เสริมให้แน่น (filler materials) เพื่อลดการหดตัวให้น้อยลงเป็นผลให้ความสามารถต้านทานความร้อนได้ดียิ่งขึ้น หรือการเติมสารละลายที่ช่วยให้ความสามารถของการไหลดีขึ้นในขณะที่มีการเทหล่อ เทอร์โมพลาสติกสามารถแบ่งออกได้เป็น 10 ประเภท คือ

- (1) โพลีไวนิลอะซิเตท (Polyvinyl Acetate)
- (2) โพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (Polyvinyl Alcohol)
- (3) โพลีไวนิลคลอไรด์ (Polyvinyl Chloride)
- (4) โพลีไวนิลคลอไรด์ อะซิเตท (Polyvinyl Chloride Acetate)
- (5) โพลีโพรพิลีน (Polypropylene)
- (6) โพลีเอไมด์ (Polyamides)
- (7) โพลีเอทิลีน (Polyethylene)
- (8) อะคริลิกเรซิน (Acrylic Resins)
- (9) อะซีทัล (Acetals)
- (10) เซลลูโลสเดอร์ิวทีฟ (Cellulose Derivatives)

2.2.3 พลาสติกโพลิโอเลฟิน (Polyolefins)

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงเฉพาะพลาสติกที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย โดยพลาสติกแบ่งออกเป็น 2 ชนิดใหญ่ๆ คือ

- 2.2.3.1 โพลีเอทิลีน (Polyethylene) โดยทั่วไปมีลักษณะใสเมื่อเป็นแผ่นบาง และจะมีสีขุ่นเมื่อความหนาเพิ่มขึ้น สามารถทำเป็นสีต่างๆ ได้ตามต้องการ คุณสมบัติมีน้ำหนักเบา คือมีความถ่วงจำเพาะ 0.92 เท่านั้น สามารถพับงอได้ในรูปของเส้นใยรับแรงดึงได้ 5,600 ksc. มีความยืดตัวได้สูงถึง 5 เท่าตัว นิคมขาคายก มี

ลักษณะคล้ายขี้ผึ้ง ไม่เกาะติดน้ำ เป็นฉนวนได้ดีมาก ทนความร้อนได้น้อย แต่ทนความเย็นได้มากถึง -73°C โดยไม่ทำให้คุณสมบัติทางกายภาพเปลี่ยนแปลง ทนกรดและด่างอ่อน แต่จะเกิดปฏิกิริยาอย่างช้าๆกับ Oxidizing Acids ไม่ทนน้ำมันและไขมัน และในขณะที่มีอุณหภูมิสูง แม้ว่าจะไม่ดูดซึมความชื้นแต่ยอมให้ก๊าซผ่านได้ การใช้ประโยชน์ นิยมใช้เป็นบรรจุภัณฑ์อาหาร ขวดบรรจุของเหลว แผ่นกันความชื้นในอาคาร และนำกลับมารีไซเคิลเป็นของใช้ราคาถูก พลาสติกในชนิดนี้ที่เมื่อแยกออกตามกรรมวิธีการผลิตและส่วนผสมจะมีหลายประเภท ซึ่งแต่ละประเภท จะมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันออกไป ยกตัวอย่าง เช่น

- โพลีเอทิลีนเทเรฟทาเลต (Polyethylene Terephthalate, PET, PETE) ใช้ทำขวดบรรจุน้ำดื่ม ขวดบรรจุของดอง ขวดน้ำมันพืช สามารถนำมารีไซเคิลเป็นเส้นใย สำหรับทำเสื้อกันหนาว พรม ใยสังเคราะห์สำหรับยัดหมอน ถุงหูหิ้ว กระเป๋า ขวด
- โพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High Density polyethylene, HDPE) ใช้ทำขวดนม น้ำผลไม้ โยเกิร์ต บรรจุภัณฑ์สำหรับน้ำยาทำความสะอาด แชมพู สระผม แป้งเด็ก และถุงหูหิ้ว สามารถนำมารีไซเคิลเป็นขวดใส่น้ำยาซักผ้า ขวดน้ำมันเครื่อง ท่อ ลังพลาสติก ไม้เทียมเพื่อใช้ทำรั้วหรือม้านั่งในสวน
- โพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (Low Density polyethylene, LDPE) ใช้ทำฟิล์มห่ออาหารและห่อของ ถุงใส่ขนมปัง ถุงเย็บสำหรับบรรจุอาหาร สามารถนำมารีไซเคิลเป็นถุงดำสำหรับใส่ขยะ ถุงหูหิ้ว ถังขยะ กระเบื้องปูพื้น เฟอร์นิเจอร์ แท่งไม้เทียม



ภาพที่ 2-4 เม็ดพลาสติกสังเคราะห์ ชนิดโพลีเอทิลีน

ตารางที่ 2-2 ลักษณะทางกายภาพของ POLYETHYLENE

ลักษณะทางกายภาพ	Low Density	Intermediate Density	High Density
ความถ่วงจำเพาะ	0.91-0.925	0.925-0.926	0.941-0.965
ทนแรงดึง (ksc.)	70-162	84-246	218-387
ทนแรงกระแทก	ไม่นิกขาด	0.5-16.0	0.8-2.0
ทนความร้อน °C	82-100	104-121	121
ความดูดซึมน้ำ (24 ชม.)	0.015	0.01	0.01
ความง่ายต่อการติดไฟ	2.64	2.59	2.59
ทนกรดอ่อน	ไม่ดี	ได้	ได้
ทนกรดแก่	ไม่ทน Oxidizing Acids	จะถูกทำลายอย่างช้าๆจาก Oxidizing Acids	
ทนด่างอ่อน – แก่	ได้	ได้	ได้
ทนสารละลาย	ได้ถ้าต่ำกว่า 60 °C		ได้ ถ้าต่ำกว่า 77°C

ที่มา: พิชัย เลี่ยมพิพัฒน์, 2542

2.2.3.2 โพลีพรอพิลีน (Polypropylene) โดยทั่วไปมีลักษณะคล้ายโพลิเอทิลีนดังภาพที่ 2-5 แต่คุณสมบัติดีกว่า ทนทานและแข็งแรงกว่า มีความถ่วงจำเพาะ 0.91 ซึ่งน้อยกว่า ทนความร้อนได้ดีกว่า สามารถใช้งานในอุณหภูมิสูงถึง 140°C ในรูปของเส้นใยรับแรงดึงได้ถึง 7,000 ksc. ทดสอบอย่างง่ายคือใช้เล็บขูด หากเป็นโพลิเอทิลีนจะขูดออก หากเป็นโพลีพรอพิลีนจะขูดไม่ออกเพราะแข็งแรงกว่า การใช้ประโยชน์ใช้ทำภาชนะบรรจุอาหาร เช่น กล่อง ขาม จาน ถัง ตะกร้า กระบอกใส่น้ำแช่เย็น ขวดซอส แก้วโยเกิร์ต ขวดบรรจุยา โดยจะสามารถนำพลาสติกเหล่านี้มารีไซเคิลเป็นกล่องเบดเตอร์ในรถยนต์ ชิ้นส่วนรถยนต์ เช่น กันชนและกรวยสำหรับน้ำมัน ไฟท้าย ไม่กวาดพลาสติก แปรง เป็นต้น



ภาพที่ 2-5 เม็ดพลาสติกสังเคราะห์ ชนิดโพลิพรอพิลีน

ตารางที่ 2-3 ลักษณะทางกายภาพของ POLYPROPYLENE

ลักษณะทางกายภาพ	Unmodified	Copolymer	Impact Type
ความถ่วงจำเพาะ	0.904	0.90	0.91
ทนแรงดึง (ksc.)	387	317	310
ทนแรงอัด (ksc.)	562	462	491
ทนแรงกระแทก	1.5	10	15
ทนความร้อน (°C)	135	104	102
ความใส	โปร่งใส	โปร่งใส	ทึบ
ทนแสงแดด	พอใช้	พอใช้	พอใช้
ทนกรดอ่อน	ไม่ดี	ได้	ได้
ทนกรดแก่	จะถูกทำลายอย่างช้าๆจาก Oxidizing Acids		
ทนด่าง	ได้	ได้	ได้
ทนสารละลาย	ได้ถ้าต่ำกว่า 80 °C		ถูกทำลายโดย Hydrocarbons

ที่มา: พิชัย เลี่ยมพิพัฒน์, 2542

2.3 คอนกรีตผสมเส้นใย (Fiber Reinforced Concrete)

คอนกรีตถึงแม้จะมีกำลังการรับแรงอัดที่ดี แต่ก็จัดว่าเป็นวัสดุที่มีความเปราะ (Brittle Material) มีคุณสมบัติในการรับแรงดึงที่ต่ำโดยทั่วไปจะอยู่ที่ประมาณร้อยละ 10 ของกำลังรับแรงอัด การที่จะทำให้คอนกรีตมีความเหนียว (Ductility) นั้นจำเป็นต้องใส่วัสดุเสริมกำลังเข้าไปในเนื้อคอนกรีต

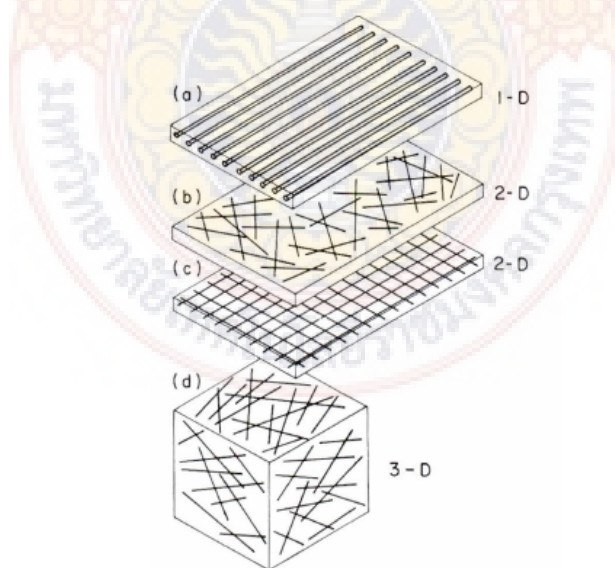
เส้นใยถือว่าเป็นวัสดุที่นิยมนำมาผสมลงในคอนกรีตเพื่อเสริมคุณสมบัติดังกล่าว เป็นที่รู้จักกันในชื่อ คอนกรีตผสมเส้นใยไฟเบอร์ FRC (Fiber Reinforced Concrete) ซึ่งคอนกรีตโดยทั่วไปที่มีการเติมเส้นใยที่มีลักษณะกระจายตัวออกจากกันแบบไม่ต่อเนื่องกัน (Discontinuous Discrete Fiber) เข้าไประหว่างการผสม ทั้งเส้นใยไฟเบอร์ที่ได้จากธรรมชาติ เช่น ใยหิน ฟางข้าว ป่าน ปอ เป็นต้น หรือเส้นใยที่ได้จากการสังเคราะห์ เช่น เส้นใยเหล็ก เส้นใยเซรามิก เส้นใยคาร์บอน เส้นใยไนลอน และเส้นใยโพลีโพรพิลีน เป็นต้น

2.3.1 โครงสร้างของคอนกรีตผสมเส้นใย (Fiber Reinforced Concrete) (Bentur and Mindess, 1990)

ประกอบไปด้วยองค์ประกอบหลัก 2 ส่วน คือ

- Matrix ได้แก่ มอร์ตาร์
- Reinforcement ได้แก่ เส้นใย

สำหรับคอนกรีตผสมเส้นใย (Fiber Reinforced Concrete; FRC) จัดเป็นวัสดุผสมเส้นใยชนิดไม่ต่อเนื่อง (Discontinuous Fibrous Composite Material) คือเส้นใยที่ผสมลงไปจะมีการกระจายตัวไปในทิศทางที่ไม่แน่นอนอยู่ทั่วไปในเนื้อคอนกรีตดังแสดงในภาพที่ -2 6



ที่มา: Bentur and Mindess, 1990

ภาพที่ 2-6 การกระจายตัวของเส้นใย ในลักษณะต่างๆ [8] (a) and (c) Continuous Reinforcement
(b) Discrete, Short Fiber 2-D (d) Discrete, Short Fiber 3-D

2.3.2 หลักการทำงานของเส้นใย

หน้าที่หลักของไฟเบอร์ขนาดเล็กที่กระจายตัวอยู่ในเนื้อคอนกรีตคือการทำหน้าที่ยึดรั้งรอยแตกร้าวให้การเปิดหรือการเคลื่อนที่ไปข้างหน้าของรอยร้าวเป็นไปได้อย่างช้าและยากขึ้น โดยเมื่อคอนกรีตได้รับแรงกระทำจนกระทั่งเกิดการแตกร้าว ถ้าเป็นคอนกรีตธรรมดาที่ไม่มีส่วนผสมของไฟเบอร์ ด้วยการเป็นวัสดุเปราะการแตกร้าวนี้จะนำไปสู่การวิบัติในระยะเวลาอันรวดเร็ว ในกรณีที่มีการผสมเส้นใย ทันทีที่คอนกรีตแตกร้าว เส้นใยเล็กๆจำนวนมากก็จะเริ่มทำหน้าที่ยึดรั้งรอยร้าวนี้ไม่ให้ขยายตัวออกได้โดยง่ายหรือในบางกรณีอาจจะทำให้รอยร้าวนั้นหยุดลง (Crack Arrest) นำไปสู่การเกิดของรอยร้าวใหม่ (Crack Branching) ซึ่งการทำให้เกิดรอยร้าวใหม่จำเป็นต้องมีการใส่พลังงานหรือแรงกระทำเพิ่มเข้าไปในวัสดุ ดังนั้น ถ้าพิจารณาการวิบัติของคอนกรีตผสมเส้นใยเทียบกับคอนกรีตธรรมดาคะพบว่าจำนวนรอยร้าวของคอนกรีตผสมเส้นใยจะมีมากกว่าคอนกรีตธรรมดา จำนวนรอยร้าวที่มากแสดงให้เห็นถึงระดับพลังงานหรือแรงกระทำที่มากกว่าที่ใช้ในการทำให้คอนกรีตเสริมเส้นใยเกิดการวิบัติเกิดรอยร้าวใหม่

2.3.3 คุณสมบัติของคอนกรีตผสมเส้นใย

2.3.3.1 ความสามารถในการเทได้ (Workability) การผสมเส้นใยลงในคอนกรีตมีผลทำให้ความสามารถในการเทคอนกรีตลดลงตามปริมาณการใส่ที่สูงขึ้น การศึกษาเปรียบเทียบคอนกรีตธรรมดากับคอนกรีตที่ผสมเส้นใยเหล็ก พบว่า การใส่เส้นใยเหล็กลงในคอนกรีตมีผลทำให้ค่าการยุบตัวลดลง

2.3.3.2 กำลังรับแรงอัด (Compressive Strength) โดยทั่วไปการผสมเส้นใยลงในคอนกรีตไม่ได้มีวัตถุประสงค์ในการเพิ่มกำลังรับแรงอัดโดยตรง แต่อาจมีผลทำให้กำลังรับแรงอัดสูงขึ้นเล็กน้อย สำหรับเส้นใยเหล็กอาจทำให้กำลังอัดสูงขึ้นได้ประมาณร้อยละ 10-25 แต่ถ้าใช้ในปริมาณมากเกินไปจะมีผลทำให้กำลังอัดลดลงเนื่องจากปริมาณเส้นใยที่มากมีผลทำให้ค่าการยุบตัวของคอนกรีตที่ต่ำ การอัดแน่นจึงทำได้ยาก (Bentur and Mindess, 1990)

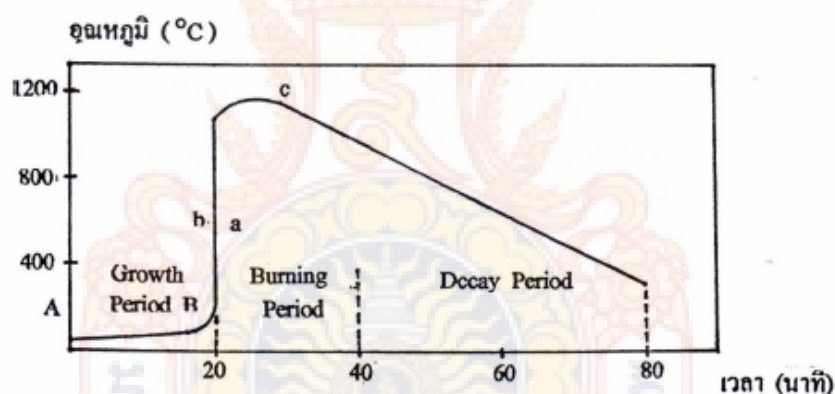
2.3.3.3 กำลังรับแรงดึง (Tensile Strength) การผสมเส้นใยลงในคอนกรีตจะทำให้คอนกรีตมีคุณสมบัติในด้านกำลังรับแรงดึงดีขึ้นอย่างชัดเจน เนื่องจากตัวเส้นใยมีความเหนียว และรับแรงดึงได้ดีกว่าคอนกรีต ในสถานะที่แรงดึงกระทำกับคอนกรีตเกิดการแตกร้าว หน้าที่ของเส้นใยไฟเบอร์คือยับยั้งการขยายตัวของรอยแตก สำหรับการผสมเส้นใยลงในคอนกรีตจะทำให้กำลังรับแรงดึงเพิ่มขึ้น ทั้งนี้การเรียงตัวของเส้นใยมีผลมากกับกำลังรับแรงดึง หากเส้นใยเรียงตัวอยู่ในแนวเดียวกับทิศทางการรับแรงดึงอาจสูงถึงร้อยละ 133 สำหรับการผสมเส้นใยชนิดตรงในปริมาณร้อยละ 5

2.3.3.4 กำลังรับแรงดัด (Flexural Strength) การผสมเส้นใยลงในคอนกรีตจะมีผลทำให้กำลังรับแรงดัดสูงขึ้นมากกว่าของค่ากำลังรับแรงอัดและกำลังรับแรงดึง ทั้งนี้พบว่าค่ากำลังดัดเพิ่มขึ้นมากถึงร้อยละ 30- 100 ขึ้นกับปริมาณเส้นใยและค่าอัตราส่วนความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใย (Aspect Ratio) จะทำให้ค่ากำลังรับแรงดัดสูงขึ้น ซึ่งความสามารถในการรับแรงดึงและแรงดัดจะดีขึ้นมากเท่าใดขึ้นอยู่กับปัจจัยที่สำคัญ เช่น การเรียงตัวของเส้นใย แรงยึดเหนี่ยวระหว่างผิวสัมผัสของเส้นใย กำลังของซีเมนต์เพสต์ รวมทั้งชนิดของเส้นใย รูปร่างของเส้นใย และปริมาณเส้นใยที่ใช้ในการผสม เป็นต้น

2.4 ลักษณะและพฤติกรรมของอัคคีภัย

2.4.1 ลักษณะการเผาไหม้

จากการทดลอง โดย Lie (1972) ศึกษาพฤติกรรมของไฟในแบบความสัมพันธ์ของอุณหภูมิกับเวลาภายในห้องหนึ่งๆ ซึ่งมีวัสดุที่ติดไฟได้จำนวนหนึ่ง และมีการถ่ายเทอากาศแบบหนึ่งได้ผลดังแสดงในภาพที่ -2 7



ที่มา: Lie, 1972

ภาพที่ 2-7 แสดงพฤติกรรมความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาของไฟ

ช่วง A-B จะใช้เวลาประมาณ 20 นาที ช่วงที่จะเกิดเพลิงไหม้หมดทั้งห้องและเราเรียกช่วงนี้ว่า“ ช่วงการก่อตัวของไฟ” (Growth Period) เมื่อเวลาผ่านไปก็จะเข้าสู่“ ช่วงการเผาไหม้” (Burning period) เมื่อเข้าสู่ช่วง B-C ภายในห้องนั้นได้เกิดเพลิงไหม้จนทั่วหมดแล้ว และช่วงนี้เองถือว่าการพัฒนาตัวของไฟได้เกิดขึ้นเต็มที่ อุณหภูมิในห้องจะสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว จนเมื่อเวลาผ่านไปเมื่อวัสดุได้ติดไฟและเผาไหม้จนหมด อุณหภูมิ เมื่อผ่านช่วงจุด C นี้ อัตราการเผาไหม้จะลดลง อุณหภูมิภายในห้องก็จะลดลง ซึ่งจะเข้าสู่“ ช่วงการสลายตัว” (Decay period) แม้ว่าอุณหภูมิเริ่มจะลดลงแต่อุณหภูมิในช่วงนี้ยังสูงมาก ซึ่งอาจทำให้เกิดการพังทลายของโครงสร้างได้ หากได้รับการ

เผาไหม้เป็นเวลานานติดต่อกันหลายชั่วโมง และในระหว่างช่วงการเผาไหม้หรือช่วงของการสลายตัวนั้น อาจมีการส่งผ่านความร้อนหรือมีการกระจายของไฟจากห้องหนึ่งไปยังอีกห้องหนึ่งได้ หรืออาจมีการแผ่เปลวไฟไปยังอาคารข้างเคียงได้อีกด้วย

■ ช่วงการก่อตัวของไฟ (Growth Period)

อุณหภูมิในช่วงนี้จะค่อนข้างต่ำอยู่ดังนั้นจึงไม่ค่อยมีผลต่อโครงสร้างเท่าใดนัก เวลาของช่วงนี้จะสำคัญกว่าช่วงอื่นๆ ทั้งนี้เนื่องจากถ้าเวลาช่วงนี้นั้นนาน ก็ยังพอมีเวลาหลบหนีออกมาจากห้องหรือตัวอาคารได้อย่างปลอดภัย และยังสามารถดับไฟได้ทันทั่วทั้งที่อีกด้วย เวลาช่วงนี้จะนานเท่าใดนั้นขึ้นอยู่กับชนิดและจำนวนของเชื้อเพลิง ยิ่งถ้าเชื้อเพลิงติดไฟได้ไว ความร้อนของช่วงนี้ก็จะมาก ทำให้ความร้อนของช่วงนี้ก็จะน้อยตามลงไปด้วย พื้นที่ผิวของกำแพง เพดาน มีผลกระทบเช่นเดียวกันถ้าพื้นที่ผิวใหญ่กว้างมากก็จะทำให้ช่วงการก่อตัวของไฟเกิดได้เร็ว เพราะความร้อนสามารถส่งผ่านหรือเคลื่อนตัวได้อย่างต่อเนื่อง นอกจากนี้ยังมีตัวประกอบอื่นๆ อีกก็คือ ขนาดและตำแหน่งของแหล่งกำเนิดไฟ ขนาดและตำแหน่งของช่องเปิดภายในห้อง ทิศทางและความเร็วของลม ขนาดและรูปร่างของห้อง ระยะห่างของวัสดุที่สามารถติดไฟได้ภายในห้อง รวมทั้งขนาดและปริมาณของของวัสดุที่สามารถติดไฟได้ภายในห้อง

■ ช่วงการเผาไหม้ (Burning Period)

ระหว่างที่กำลังมีการเผาไหม้อยู่ นั้น ความร้อนที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้รวมทั้งก๊าซต่างๆ จะมีการเคลื่อนตัวลอยสูงขึ้นและออกไปทางส่วนบนของช่องเปิดหรือทางหน้าต่าง ส่วนอากาศที่เย็นกว่าภายนอกจะเคลื่อนตัวเข้ามาแทนที่ทางส่วนล่างของช่องเปิดและเข้าร่วมในการเผาไหม้ต่อไป เหตุการณ์นี้ก็เนื่องมาจากการเกิดความแตกต่างระหว่างความหนาแน่นของอากาศร้อนภายในและอากาศเย็นภายนอกนั่นเอง ตัวการที่มีส่วนช่วยให้เกิดการเผาไหม้ได้ดีก็คือ ปริมาณของเชื้อเพลิงและขนาดของช่องเปิดภายในห้องนั้น ถ้าช่องเปิดภายในมีขนาดใหญ่ อัตราการเผาไหม้จะยิ่งสูง แต่ความจริงแล้วพื้นที่ผิวของสิ่งที่ติดไฟก็เป็นตัวควบคุมการเผาไหม้ด้วย และสิ่งที่เป็วัสดุที่ติดไฟได้ในอาคารส่วนใหญ่จะเป็นพวกเฟอร์นิเจอร์ ซึ่งในแต่ละห้องก็จะมีจำนวนที่แตกต่างกันไป อย่างไรก็ตามภายในอาคารหลายๆ แห่งจะมีพื้นที่ผิวของเฟอร์นิเจอร์อย่างเพียงพอที่จะเผาไหม้จนทำให้เกิดการลุกลามไปยังห้องหรืออาคารข้างเคียงได้หากได้รับการถ่ายเทอากาศที่ดี สรุปแล้วอัตราการถ่ายเทอากาศภายในห้องจะเป็นตัวควบคุมอัตราการเผาไหม้ที่มีผลมากกว่าตัวแปรอื่นๆ

ดังนั้นจะเห็นได้ว่าจากกระบวนการพัฒนาตัวเองของไฟ อุณหภูมิที่เกิดขึ้นขณะเกิดไฟไหม้ การกระจายตัวของไฟ ช่วงเวลาที่เกิดไฟไหม้ ความรุนแรงของไฟ และอื่นๆ อีกนั้นจะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง ซึ่งถ้าพิจารณาเฉพาะกรณีที่เกิดเพลิงไหม้ในอาคารจะมีดังนี้

1. ปริมาณของไฟ
2. ตำแหน่งที่อยู่ของปริมาณไฟ
3. ชนิด รูปร่างและขนาดของเชื้อเพลิงหรือวัสดุที่ติดไฟได้

4. พื้นที่ของช่องเปิดภายในอาคารที่อากาศสามารถถ่ายเทได้
5. อุณหภูมิ ความดันและความชื้นสัมพัทธ์
6. ขนาดของห้อง
7. การนำความร้อนของโครงสร้าง
8. ระดับการแผ่กระจายของไฟ

จากการศึกษาและวิจัยพบว่าตัวแปรต่างๆ ดังที่กล่าวมาข้างต้นนั้น เป็นตัวแปรที่สำคัญที่มีอิทธิพลมากที่สุดที่ทำให้ไฟมีลักษณะที่แตกต่างกันก็คือ ปริมาณของไฟ และพื้นที่ของช่องเปิด

ก. ปริมาณของไฟ (Fire Load)

ปริมาณของไฟนิยามว่าเป็นปริมาณความร้อนที่วัดได้จากวัสดุที่ติดไฟได้ในห้องๆ หนึ่งหรืออาจจะนิยามปริมาณไฟว่าเป็น ปริมาณความร้อนของวัสดุซึ่งติดไฟต่อพื้นที่หนึ่งตารางหน่วย ถ้าพูดถึงความหนาแน่นของปริมาณไฟนั้นก็ถือ การวัดปริมาณความร้อนของวัสดุซึ่งติดไฟในปริมาตรปิดนั่นเอง

ในประเทศต่างๆ ได้เก็บข้อมูลเกี่ยวกับปริมาณของไฟไหม้ภายในอาคารกันอย่างกว้างขวาง โดยทั่วไปแล้วปริมาณความร้อนของวัสดุซึ่งติดไฟนั้นจะอยู่ในรูปของน้ำหนักของไม้ที่ทำให้ความร้อนออกมาเท่าๆ กันกับปริมาณความร้อนของวัสดุนั้นเอง ปริมาณไฟสามารถเปลี่ยนแปลงได้ โดยขึ้นอยู่กับการกระจายตัวของวัสดุที่ติดไฟได้ในอาคารหรือตำแหน่งของวัสดุ ชนิดของห้องภายในอาคาร เป็นต้น จากข้อมูล que เก็บมาจากหลายๆ อาคารก็ได้มีการลงความเห็นกันว่าค่าเฉลี่ยของความน่าจะเป็นของปริมาณไฟในอาคารควรจะมีความไม่น้อยกว่า 10 ปอนด์ต่อพื้นที่หนึ่งตารางฟุตต่อหนึ่งชั่วโมง ซึ่งค่านี้ได้ถูกนำไปใช้กำหนดมาตรฐานเพื่อใช้ในการทดสอบซึ่งจะกล่าวต่อไป

ข. พื้นที่ของช่องเปิด (Opening Area)

พื้นที่ของช่องเปิดมีอิทธิพลอย่างมากต่อการลุกลามไหม้ของไฟ ถ้าพื้นที่ของช่องเปิดมีมาก ก็จะทำให้อากาศร้อนภายในลอยตัวออกไปแล้วอากาศเย็นภายนอกเข้ามาแทนที่ ทำให้ไฟมีการลุกลามไหม้ได้อย่างสมบูรณ์ และยังสามารถกระจายไปยังห้องหรืออาคารข้างเคียงได้ง่าย โดยพื้นที่ของช่องเปิดในที่นี้ไม่ใช่หมายถึงพื้นที่ของหน้าต่างและประตูเพียงอย่างเดียวเท่านั้น แต่ยังรวมถึงพื้นที่ที่อากาศสามารถผ่านเข้าออกภายในห้องได้อีกด้วย

จากการศึกษาตัวแปรต่างๆ ดังกล่าวข้างต้นแล้วนั้น ก็สามารถเลียนแบบพฤติกรรมของการเกิดเพลิงไหม้ได้โดยอยู่ในรูปของความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับอุณหภูมิ และเมื่อสามารถเลียนแบบพฤติกรรมของเพลิงไหม้ได้แล้วนั้นก็สามารถที่จะกำหนดเป็นมาตรฐานเพื่อใช้ในการทดสอบหาพฤติกรรมต่างๆ ของวัสดุที่ต้องสัมผัสกับไฟโดยตรงหรือทางอ้อม และวัสดุที่มีโอกาสสัมผัสกับไฟโดยตรงจากอุบัติเหตุ ดังจะกล่าวในหัวข้อถัดไปแนวความคิดเกี่ยวกับปริมาณไฟ (Fire Load Concept)

การที่จะทราบว่าองค์อาคารที่ถูกไฟไหม้ไปแล้วนั้น จะมีพฤติกรรมอย่างไร จะสามารถต้านทานไฟได้มากน้อยเพียงใดนั้นก็ต้องมาจากการเลียนแบบพฤติกรรมหรือการทดสอบทั้งสิ้น จากข้อมูลที่เกิดขึ้นจริงๆ ในอาคารที่มีการค้นคว้าเพื่อหามาตรฐานขึ้นมาใช้ ดังนั้นจึงได้มีการค้นคว้ากันในหลายๆ ประเทศ และสถาบันต่างๆ อาทิเช่น ISO, ASTM , มอก. และอื่นๆ อีก โดยได้มีการนำมาตรฐานไฟขึ้นมาใช้ทดสอบโดยอยู่ในรูปของความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลา (Temperature–Time Relation) เพื่อเลียนแบบพฤติกรรมเพลิงไหม้ที่เกิดขึ้นจริงในอาคาร นักวิจัยชาวอเมริกันชื่อ Ingberg (1975) ได้เสนอความคิดในการสร้างเส้นโค้งมาตรฐานไฟโดยเรียกว่า “แนวความคิดเกี่ยวกับปริมาณไฟ (Fire Load Concept)”

แนวความคิดเกี่ยวกับปริมาณไฟมีข้อสมมติฐานที่สำคัญดังนี้คือ

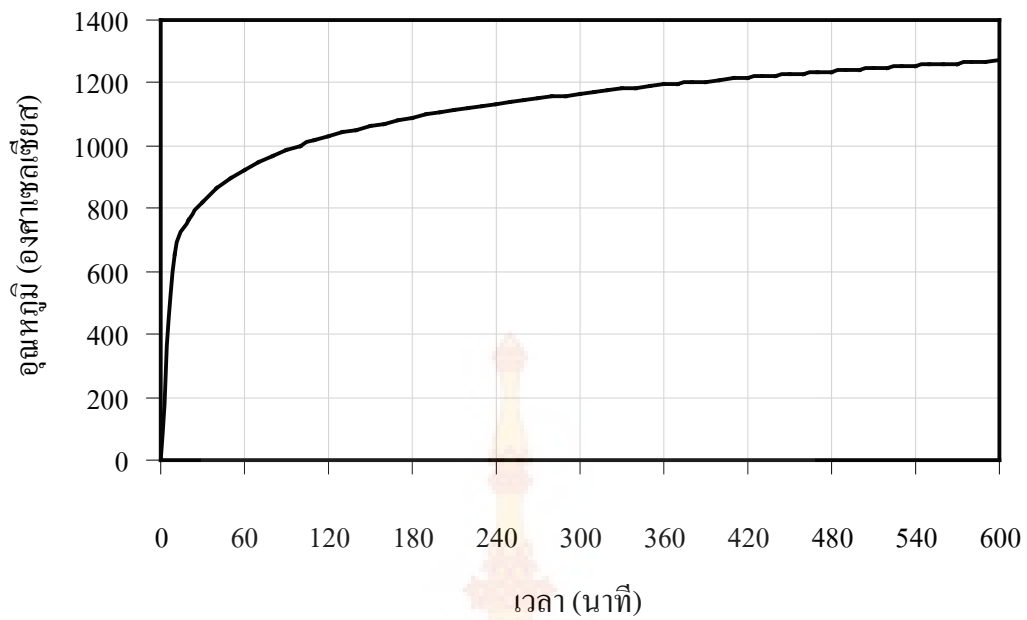
ก. ความทนทานไฟขององค์อาคาร ขึ้นอยู่กับความรุนแรงของไฟเพียงอย่างเดียวเท่านั้น ความรุนแรงของไฟสำหรับอาคารหรือเตาไฟที่ใช้ในการทดสอบซึ่งลอกเลียนแบบไฟจริง ๆ นั้นก็คือ พื้นที่ใต้กราฟระหว่างอุณหภูมิกับเวลา

ข. ความรุนแรงของไฟ ขึ้นอยู่กับความเข้มของปริมาณไฟอย่างเดียวเท่านั้น

ข้อสมมติฐานดังกล่าวนี้ง่ายและไม่ถูกต้องเท่าไรนัก เนื่องจากความรุนแรงของไฟไม่ได้ขึ้นอยู่กับความเข้มของปริมาณไฟแต่เพียงอย่างเดียวจริงๆ แต่ยังขึ้นอยู่กับพื้นที่ของช่องเปิด ชนิดและน้ำหนักของเชื้อเพลิง เป็นต้น แม้กระนั้นก็ตาม ก็ถือว่าปัจจัยเหล่านั้นมีผลน้อยกว่าเมื่อเทียบกับความเข้มของปริมาณไฟ จนถึงบัดนี้ก็ยังไม่มีแนวความคิดอื่นที่สามารถเลียนแบบพฤติกรรมของไฟใกล้เคียงได้เท่านี้ ดังนั้นแนวความคิดเกี่ยวกับปริมาณไฟนี้ยังคงใช้กันอยู่ และยังเป็นพื้นฐานในการสร้างเส้นโค้งมาตรฐานระหว่างอุณหภูมิกับเวลาด้วย

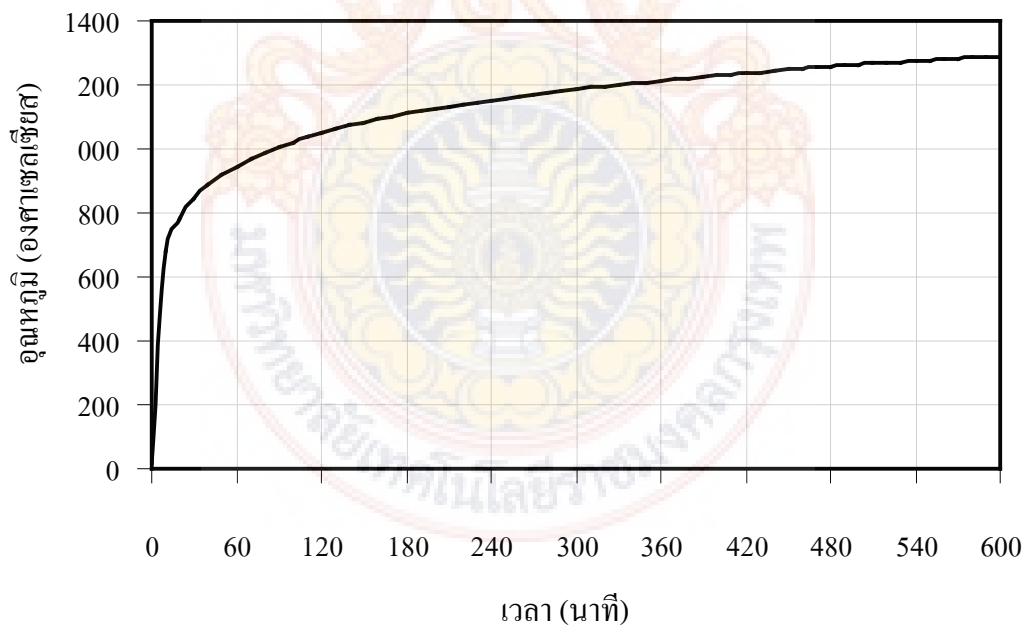
2.4.2 เส้นโค้งมาตรฐานระหว่างอุณหภูมิกับเวลา (Standard Temperature–Time Curve)

ASTM E 119 (ASTM, 2007) ได้เสนอเส้นโค้งมาตรฐานระหว่างอุณหภูมิกับเวลาที่มีความเข้มของปริมาณไฟใกล้เคียงกับไฟที่เกิดขึ้นจริงๆ ซึ่งใกล้เคียงกับทาง International Organization of Standardization ก็ได้สร้างมาตรฐาน ISO/TR 834 (ISO, 1999) สำหรับเป็นมาตรฐานของการทนไฟ สำหรับชิ้นส่วนวัสดุก่อสร้าง หรือแม้แต่ในประเทศไทยเองได้มีมาตรฐานของสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ทางด้านการทดสอบความทนไฟ-ชิ้นส่วนต่างๆ ของโครงสร้างอาคาร มอก.1334-2539 (มอก.2539) ซึ่งได้เสนอเส้นโค้งมาตรฐานเช่นกัน เมื่อเปรียบเทียบกันแล้วจะเห็นได้ว่ามีค่าใกล้เคียงกันมาก ดังแสดงในภาพที่ 2-8 ถึง 2-10



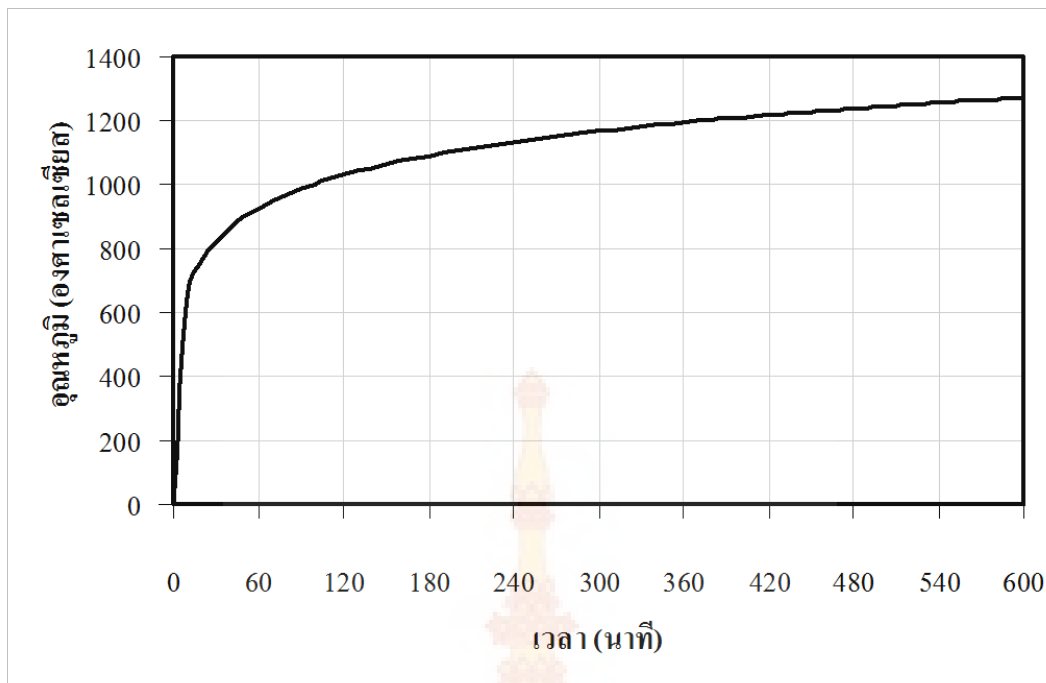
ที่มา: ASTM (E119-98), 2007

ภาพที่ 2-8 เส้นโค้งความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาของ ASTM E119-98



ที่มา: ISO, 1999

ภาพที่ 2-9 เส้นโค้งความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาของ ISO/TR 834



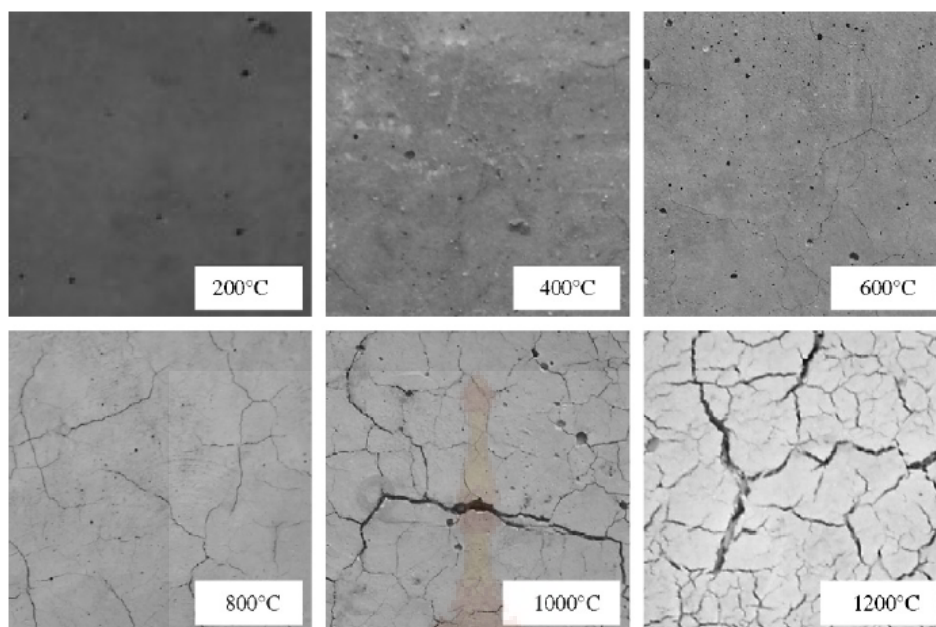
ที่มา: มอก. 2539

ภาพที่ 2 -10 เส้นโค้งความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาของ มอก .1334-2539

2.5 คุณสมบัติของคอนกรีตหลังการเผาไหม้

Chi และคณะ (Chi *et al.*, 2001) ศึกษากำลังและความทนทานที่ได้รับความเสียหายจากการบ่มด้วยไฟ จากการทดลองพบว่า หลังจากการบ่มด้วยไฟประมาณ 800 °C – 900 °C ด้วยคอนกรีตที่ต่างชนิดกัน การบ่มด้วยอย่างคอนกรีตจะถูกเก็บไว้ในสถานะที่ต่างกัน อุณหภูมิเปิด และวิธีการ ซึ่งหากนำคอนกรีตไปบ่มด้วยไฟแล้ว จะทำให้น้ำในคอนกรีตที่ยังคงอยู่ในกระบวนการไฮเดรชันระเหยออกไป ส่งผลให้เกิดช่องว่างในคอนกรีต และกำลังในด้านต่างๆ ลดลงไป

Omer (Omer, 2007) ศึกษาผลกระทบของระดับอุณหภูมิต่อคุณสมบัติของคอนกรีต โดยวิเคราะห์ความแตกต่างของความร้อน จากการทดลองพบว่าพื้นผิวของคอนกรีตที่ผ่านอุณหภูมิถึง 400°C ไม่พบรอยร้าวจนสามารถเห็นได้ชัดเจนแต่เมื่อสังเกตสีผิวจะเริ่มเปลี่ยนไปเนื่องจากปริมาณน้ำในคอนกรีตได้ระเหยออก เมื่อเพิ่มถึง 600°C เมื่อสังเกตจะสามารถพบรอยร้าวเล็กๆ กระจายไม่มากนัก เมื่ออุณหภูมิถึง 800°C รอยแตกร้าวจะชัดเจน และยิ่งชัดเจนมากขึ้นเมื่อยืระยะเวลาและเพิ่มอุณหภูมิไปที่ 1000°C สุดท้ายที่อุณหภูมิ 1200°C คอนกรีตจะไม่สามารถยึดเหนี่ยวกันได้ โดยคอนกรีตนั้นจะแยกตัวออกจากกันตามรอยร้าว ดังภาพที่ 2-11



ที่มา: Omer, 2007

ภาพที่ 2 -11 แสดงพื้นผิวของคอนกรีตที่เปลี่ยนไปตามระดับของอุณหภูมิ

Lau and Mason (Lau and Mason, 2006) ศึกษาผลกระทบจากอุณหภูมิสูงของคอนกรีตผสมเส้นใยเหล็ก จากการทดลองพบว่า เมื่อผสมเส้นใยเหล็กในปริมาณร้อยละ 1 เมื่อคอนกรีตไปเผาตามเส้นโค้งมาตรฐาน BS476: Part20: 1987 เมื่อคอนกรีตและ คอนกรีตผสมเส้นใยเหล็กอยู่ภายใต้ อุณหภูมิต่ำกว่า 400 °C ผลปรากฏว่า มีผลต่อค่ากำลังอัดน้อยมาก เนื่องจากปริมาณน้ำที่ระเหยออกไปนั้นเป็นน้ำอิสระที่มาจากช่องว่างขนาดใหญ่หรือช่องว่างแคพิลลารี ส่วนระดับน้ำในซีเมนต์เจลมีผลน้อยมากเนื่องแรงดึงดูดระหว่างอนุภาคไฮเดรตซีเมนต์ยังคงยึดเหนี่ยวน้ำเอาไว้ได้

เมื่อคอนกรีตได้รับความร้อนมากขึ้นเกินกว่า 400 °C ค่ากำลังจะลดลงตามปริมาณน้ำที่คอนกรีตอุ้มน้ำไว้ โดยคอนกรีตที่อุ้มน้ำไว้ร้อยละ 100 จะมีค่าต่ำที่สุด รองลงมาคือร้อยละ 60 และ ร้อยละ 20 ตามลำดับ และค่าจะลดลงอีกตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น โดยค่ากำลังที่ลดลงเป็นผลเนื่องมาจากปริมาณน้ำที่ดึงดูดระหว่างอนุภาคของซีเมนต์ไฮเดรตระเหยออกไปซึ่งเป็นแรงยึดเหนี่ยวทางเคมีที่เป็นกำลังหลักของซีเมนต์เจล เมื่อปริมาณน้ำระเหยออกไปเรื่อยๆ จึงส่งผลต่อการหดตัวของชั้น CSH จึงเกิดการแตกร้าวเล็กๆ เพิ่มขึ้นตามปริมาณน้ำที่ระเหยออกไป เมื่อส่วนที่มีความชื้นหายไปหมดจะไหม้สังเกตจากสีในคอนกรีตที่เปลี่ยนไป และคอนกรีตผสมเส้นใยเหล็กเมื่อได้รับอุณหภูมิสูงจะยังคงสามารถรับแรงได้ดีกว่าคอนกรีตที่ไม่ผสมเส้นใย

Gai *et al.* (Gai, et al.,2006) ศึกษาผลการแตกหักและคุณสมบัติเชิงกลของคอนกรีตกำลังสูงผสมเส้นใยหลังอุณหภูมิสูง เพื่อความสัมพันธ์ระหว่างการแตกหักกับคุณสมบัติเชิงกลที่เหลือของคอนกรีตผสมเส้นใยหลังผ่านการนำเข้าไปในเตาหลอมโลหะด้วยไฟฟ้า จากการทดสอบหาค่ากำลังอัด

พบว่า คอนกรีตกำลังสูงผสมเส้นใยเหล็ก ของกลุ่มตัวอย่างที่ผ่านอุณหภูมิ 400 °C เมื่อเทียบกับ คอนกรีตผสมเส้นใยเหล็กที่อุณหภูมิปกติแล้วมีค่ากำลังอัดเพิ่มขึ้นร้อยละ 20 เนื่องมาจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะเร่งปฏิกิริยาไฮเดรชันของเม็ดปูนขนาดใหญ่กว่า 50 ไมโครเมตรที่ต้องอาศัยเวลาในการทำปฏิกิริยามากขยายตัวไปยังช่องว่างระหว่างเส้นใยเหล็กกับซีเมนต์เฟสท์ จึงส่งผลให้คอนกรีตมีค่ากำลังอัดเพิ่มขึ้น

เมื่อเพิ่มอุณหภูมิตั้งแต่ 600°C -800 °C ผลปรากฏว่า มีค่ากำลังอัดลดลงอย่างมากเมื่อเทียบกับ คอนกรีตผสมเส้นใยเหล็กในอุณหภูมิปกติ เนื่องจากอุณหภูมิภายในสูงพอที่ทำให้ไอน้ำระเหยออกไปจนมีรอยร้าวเกิดขึ้นจากการหดตัวของซีเมนต์เฟสท์ จึงทำให้มีความหนาแน่นและค่ากำลังอัดลดลงอย่างมาก



บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

ในบทที่ 3 นี้จะกล่าวถึง รายละเอียดในการดำเนินงานวิจัยซึ่งครอบคลุมไปถึง วัสดุที่ใช้ในการเตรียมตัวอย่างทดสอบ สัดส่วนผสม โปรแกรมการทดสอบ และวิธีการเตรียมตัวอย่างทดสอบ

3.1 วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

- 3.1.1 ปูนซีเมนต์ (Cement) ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (Ordinary Portland Cement) มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 3.15 และมีคุณสมบัติตามมาตรฐาน มอก.15.
- 3.1.2 มวลรวมละเอียด (Fine Aggregate) ใช้ทรายแม่น้ำร้อนผ่านตะแกรงเบอร์ 4 ที่มีขนาดละเอียดตามมาตรฐาน ASTM C 33 มีค่าโมดูลัสความละเอียด (F.M.) เท่ากับ 2.51, ค่าร้อยละการดูดซึมเท่ากับ 1.30, ค่าร้อยละความชื้นผิวเท่ากับ 4.00 และความถ่วงจำเพาะ เท่ากับ 2.65
- 3.1.3 เพอร์ไลต์ (Perite) ขนาดเล็กที่สุดผ่านตะแกรงเบอร์ 4
- 3.1.4 น้ำ ใช้น้ำประปาสะอาดผสมคอนกรีต (Water) มีความขุ่นไม่เกิน 2000 ppm. ปราศจากกรด ด่าง น้ำมัน และอินทรีย์สารอื่น ๆ ในปริมาณที่จะเป็นอันตรายต่อคอนกรีต
- 3.1.5 เส้นใยผสมคอนกรีต (Fiber) คือ
 - 3.1.5.1 เส้นใยพลาสติกสังเคราะห์ ชนิดเส้นใยโพลิพรอพิลีน ลักษณะเรียบตลอดเส้น ความยาวประมาณ 40 มิลลิเมตร ความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 0.91

ตารางที่-3 1 แสดงคุณสมบัติของเส้นใยผสมคอนกรีตในตัวอย่างการทดลอง

Type of Fibers	Mat.	SG	Shape	L (mm)	Section (mm)	Dia. (mm)	Aspect Ratio (l/d)	Tensile Strength (N/mm ²)
CR 58	PP	0.91		40	Rect. 1.0x0.5	-	52	450

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

- เครื่อง UTM ทดสอบกำลังดัดของกานคอนกรีต
- แบบหล่อคอนกรีตขึ้นตัวอย่าง ขนาด ทรงกระบอก 10×20 เซนติเมตร
- เครื่องชั่งน้ำหนักความละเอียด 0.1 กิโลกรัม
- เครื่องผสมคอนกรีตแบบลูกข่างขนาด 200 ลิตร
- เตาเผามาตรฐาน สำหรับการเพิ่มอุณหภูมิมาตรฐาน ISO/TR834

3.3 อัตราส่วนผสมที่ใช้ทดสอบ

สัดส่วนผสมคอนกรีตที่ใช้ในการวิจัยได้ถูกออกแบบตามการแนะนำของ ACI 211.1-91 โดยออกแบบให้มีอัตราส่วน ปูนซีเมนต์ : น้ำ : ททราย : หิน เท่ากับ 1 : 0.43 : 2.4 : 2.9 โดยน้ำหนัก

ตารางที่ 3-2 สัดส่วนผสมของคอนกรีตต่อ 1 ลบ.ม.

Designation	เส้นใย (ร้อยละ)	ปูนซีเมนต์ (ร้อยละ)	ทราย (ร้อยละ)	เพอร์ไลต์ (ร้อยละ)	หิน (ร้อยละ)	น้ำ (ร้อยละ)	Plastic fiber
	kg/m ³						
PPFRC-0.5	0.5	360	864	0	1044	155	4.55
PPFRC-1.0	1.0	360	864	0	1044	155	9.10
PPFRC-1.5	1.5	360	864	0	1044	155	13.65
PPFRC-2.0	2.0	360	864	0	1044	155	18.2
PPFRC-0.5	0.5	360	864	15	1044	155	4.55
PPFRC-1.0	1.0	360	864	15	1044	155	9.10
PPFRC-1.5	1.5	360	864	15	1044	155	13.65
PPFRC-2.0	2.0	360	864	15	1044	155	18.2
PPFRC-0.5	0.5	360	864	20	1044	155	4.55
PPFRC-1.0	1.0	360	864	20	1044	155	9.10
PPFRC-1.5	1.5	360	864	20	1044	155	13.65
PPFRC-2.0	2.0	360	864	20	1044	155	18.2
PPFRC-0.5	0.5	360	864	30	1044	155	4.55
PPFRC-1.0	1.0	360	864	30	1044	155	9.10
PPFRC-1.5	1.5	360	864	30	1044	155	13.65
PPFRC-2.0	2.0	360	864	30	1044	155	18.2

Note

PPFRC หมายถึง คอนกรีตผสมเส้นใยชนิดเส้นใยโพลิพรอพิลีน

ตัวเลขต่อท้าย หมายถึง ปริมาณเส้นใยเป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของคอนกรีต 1 ลบ.ม.

3.4 การเตรียมตัวอย่างทดสอบ

การทดสอบกำลังรับแรงอัดและดึงแบบผ่าซีก ทรงกระบอกขนาด 10×20 เซนติเมตรในขั้นตอนการผสมส่วนผสมของ OPC จะเริ่มต้นโดยผสม หิน ทราย ปูนซีเมนต์ในโมผสมให้เข้ากันก่อน คลุกเคล้าส่วนผสมทั้งหมดให้เข้าโดยใช้เวลาประมาณ 3-5 นาที จากนั้นทำการเทคอนกรีตดังกล่าวลงในแบบหล่อที่เตรียมไว้โดยนำเพอร์ไลต์ตามสัดส่วนต่าง ๆ มาใช้แทนทรายในกระบวนการผลิตคอนกรีต ในอัตราส่วนร้อยละ 15, 20 และ 30% หลังจากนั้นทิ้งให้เกิดปฏิกิริยาประมาณ 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นถอดชุดทดสอบจากแบบหล่อ ทดลองนำบ่มด้วยวิธีการบ่มแบบเปียก

3.5 การทดสอบ

การทดสอบกำลังรับแรงอัด ดำเนินการตามมาตรฐาน ASTM C39 / C39M - 12a (Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens) และดึงแบบผ่าซีก ASTM C496/C496M-11 (Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens) เครื่อง UTM ขนาด 2000 kN โดยใช้คอนกรีตผสมเส้นใยที่ผ่านสภาวะการเผาที่อุณหภูมิ 100, 200, 400°C, 800°C และ 1,000°C ตามมาตรฐาน ISO/TR 834 ซึ่งรายละเอียดจำนวนตัวอย่างและการทดสอบสรุปได้ดังตารางที่ 3-3

ตารางที่ 3-3 รายละเอียดจำนวนตัวอย่างและการทดสอบ

Type of Specimens		Fire Temperature (°C)					Total
		Number of specimen					
	Unheated	100°C	200°C	400°C	800°C	1000°C	
Perlite (0%)							
Control mix	3	3	3	3	3	3	18
PPFRC-0.5	3	3	3	3	3	3	18
PPFRC-1.0	3	3	3	3	3	3	18
PPFRC-1.5	3	3	3	3	3	3	18
PPFRC-2.0	3	3	3	3	3	3	18
Perlite (15%)							
Control mix	3	3	3	3	3	3	18
PPFRC-0.5	3	3	3	3	3	3	18
PPFRC-1.0	3	3	3	3	3	3	18
PPFRC-1.5	3	3	3	3	3	3	18
PPFRC-2.0	3	3	3	3	3	3	18
Perlite (20%)							
Control mix	3	3	3	3	3	3	18
PPFRC-0.5	3	3	3	3	3	3	18
PPFRC-1.0	3	3	3	3	3	3	18
PPFRC-1.5	3	3	3	3	3	3	18
PPFRC-2.0	3	3	3	3	3	3	18
Perlite (30%)							
v	3	3	3	3	3	3	18
PPFRC-0.5	3	3	3	3	3	3	18
PPFRC-1.0	3	3	3	3	3	3	18
PPFRC-1.5	3	3	3	3	3	3	18
PPFRC-2.0	3	3	3	3	3	3	18

บทที่ 4

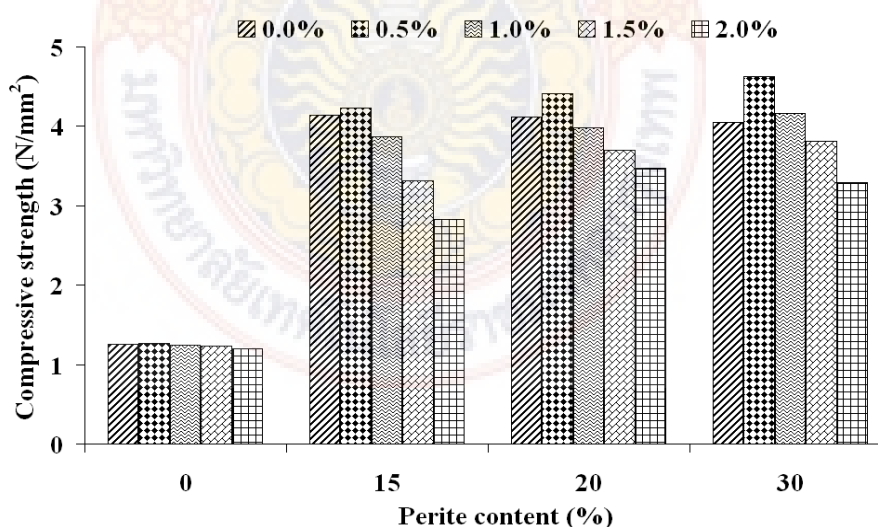
ผลการวิจัยและการวิเคราะห์ผล

ในเนื้อหาในบทที่ 4 นี้ จะกล่าวถึง ผลการทดสอบรวมทั้งการวิเคราะห์เปรียบเทียบ คุณสมบัติเชิงกลของคอนกรีตผสมเปอร์ไลต์และเส้นใยที่ต่างปริมาณกัน ก่อนและหลังการเผา

4.1 พฤติกรรมการรับแรงอัดและแรงดึงแบบผ่าซีกของ PPFRC ก่อนการเผา

4.1.1 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมเส้นใยพลาสติกสังเคราะห์ ชนิด PPFRC

รูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างแรงอัด แรงดึงแบบผ่าซีกและปริมาณของเปอร์ไลต์จากข้อมูลในภาพที่ 4-1 และตารางที่ 4-1 พบว่า ชิ้นตัวอย่างทดสอบที่มีปริมาณเปอร์ไลต์ร้อยละ 0 มีค่ากำลังรับแรงอัดที่ใกล้เคียงกันไม่ว่าจะมีปริมาณเส้นใยมากหรือน้อย แต่กำลังรับแรงอัดของชิ้นตัวอย่างทดสอบจะมีความแตกต่างกันขึ้นเมื่อปริมาณเปอร์ไลต์เพิ่มขึ้น จากผลการทดลองพบว่า กำลังรับแรงอัดของชิ้นตัวอย่างทดสอบนั้นเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณของเปอร์ไลต์เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม ค่ากำลังรับแรงอัดจะเพิ่มเมื่อปริมาณเส้นใยเพิ่มขึ้นไม่เกินร้อยละ 0.5 กำลังรับแรงอัดของชิ้นตัวอย่างทดสอบจะตกลงอย่างรวดเร็วขึ้นอยู่กับปริมาณของเส้นใยที่ผสม ชิ้นตัวอย่างทดสอบที่ผสมเส้นใยร้อยละ 2.0 จะให้ค่ากำลังจะตกลงมามากที่สุด รองลงมาคือร้อยละ 1.0 และร้อยละ 0.5 ตามลำดับ



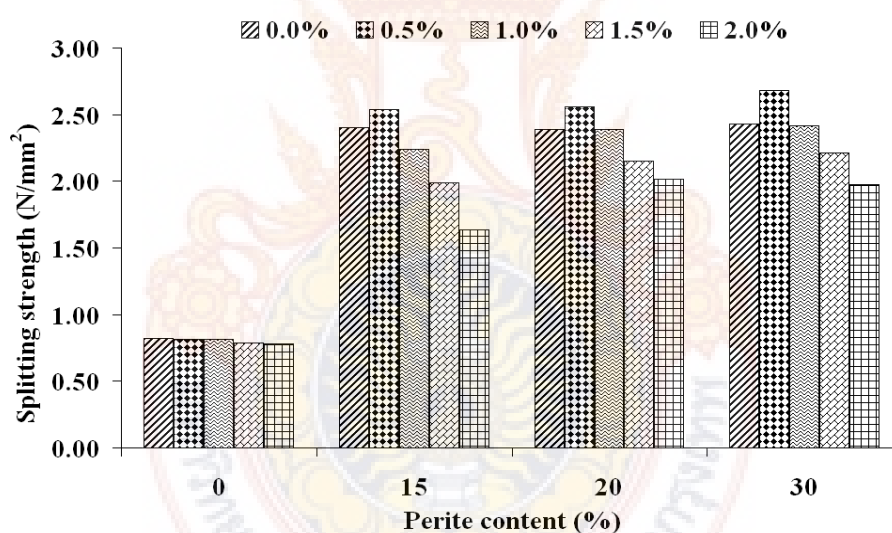
ภาพที่ 4-1 กำลังรับแรงอัดคอนกรีต ผสมเส้นใย PPFRC

ตารางที่ 4-1 กำลังรับแรงอัดและแรงดึงแบบผ่าซีก ของคอนกรีตผสมเพอร์ไลต์และเส้นใย PP

Mix (% fiber)	Applied temperature (°C)	Control mix		Concrete mixed perlite					
				15% replacement		20% replacement		30% replacement	
		Compressive strength (N/mm ²)	Splitting strength (N/mm ²)	Compressive strength (N/mm ²)	Splitting strength (N/mm ²)	Compressive strength (N/mm ²)	Splitting strength (N/mm ²)	Compressive strength (N/mm ²)	Splitting strength (N/mm ²)
0	Unheated	1.26	0.82	4.14	2.40	4.12	2.39	4.05	2.43
	100	1.33	0.87	4.16	2.41	4.32	2.59	4.45	2.58
	200	1.33	0.86	3.92	2.35	4.13	2.39	4.17	2.42
	400	1.27	0.82	3.52	2.04	3.74	2.17	3.84	2.23
	800	0.20	0.13	0.15	0.09	0.14	0.08	0.20	0.12
	1,000	0.19	0.12	0.14	0.08	0.13	0.07	0.15	0.09
0.5	Unheated	1.27	0.81	4.23	2.54	4.42	2.56	4.62	2.68
	100	1.39	0.90	4.40	2.55	4.64	2.69	4.74	2.84
	200	1.36	0.87	4.16	2.41	4.48	2.60	4.38	2.54
	400	1.29	0.84	3.36	1.95	3.52	2.04	3.94	2.28
	800	0.22	0.14	0.17	0.10	0.13	0.07	0.14	0.08
	1,000	0.21	0.14	0.16	0.09	0.11	0.06	0.13	0.07
1.0	Unheated	1.25	0.81	3.86	2.24	3.98	2.39	4.17	2.42
	100	1.36	0.88	3.12	1.81	4.16	2.41	4.33	2.51
	200	1.34	0.87	2.88	1.73	3.76	2.18	4.18	2.42
	400	1.28	0.83	2.64	1.53	3.28	1.97	3.44	2.00
	800	0.21	0.13	0.14	0.08	0.14	0.08	0.14	0.08
	1,000	0.20	0.13	0.14	0.08	0.14	0.08	0.15	0.09
1.5	Unheated	1.23	0.79	3.31	1.99	3.70	2.15	3.82	2.21
	100	1.33	0.86	3.04	1.76	3.92	2.27	4.08	2.37
	200	1.32	0.85	2.56	1.48	3.36	1.95	3.60	2.16
	400	1.29	0.84	2.32	1.35	3.04	1.76	3.12	1.81
	800	0.21	0.13	0.14	0.08	0.15	0.09	0.16	0.09
	1,000	0.19	0.12	0.13	0.07	0.14	0.08	0.14	0.08
2	Unheated	1.20	0.78	2.82	1.64	3.47	2.01	3.30	1.98
	100	1.29	0.83	2.64	1.58	3.28	1.97	3.60	2.16
	200	1.29	0.84	2.24	1.30	3.04	1.76	3.28	1.90
	400	1.27	0.83	2.16	1.25	2.56	1.48	2.88	1.67
	800	0.19	0.13	0.15	0.09	0.15	0.09	0.15	0.09
	1,000	0.17	0.11	0.13	0.07	0.13	0.07	0.09	0.05

4.1.2 กำลังรับดึงแบบผ่าซีกของคอนกรีตผสมเส้นใยพลาสติกสังเคราะห์ ชนิด PPFRC

จากข้อมูลตารางที่ 4-1 และภาพที่ 4-2 ของ PPFRC แสดงรูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างแรงและปริมาณของเพอร์ไลต์และเส้นใย ในหัวข้อนี้พบว่าพฤติกรรมที่เกิดขึ้นนั้นคล้ายกันกับหัวข้อ 4.1.1 แต่ข้อที่แตกต่างกันคือ ค่ากำลังรับแรงดึงแบบผ่าซีกของชิ้นตัวอย่างทดสอบที่มีสัดส่วนผสมของเส้นใยเท่ากัน นั้นมีค่ากำลังรับแรงดึงแบบผ่าซีกเพิ่มสูงขึ้นเล็กน้อยตามปริมาณเพอร์ไลต์ที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้ เมื่อเทียบขนาดและ Aspect Ratio ของเส้นใยชนิดนี้แล้วพบว่า เส้นใย PPFRC จะให้ปริมาณเส้นใยที่สูงมากกว่าของ ชิ้นตัวอย่างที่ไม่ใส่เส้นใย ส่งผลให้จำนวนของเส้นใยที่ยึดจับบริเวณรอยร้าวมีจำนวนมากกว่าเส้นใยชนิดอื่น จึงทำให้ค่าของจุดเริ่มการรับแรงของเส้นใย PPFRC สูงกว่า ชิ้นตัวอย่างที่ไม่ใส่เส้นใย และค่ากำลังรับแรงดึงแบบผ่าซีกของชิ้นตัวอย่างทดสอบที่ผสมเพอร์ไลต์ที่ร้อยละ 30 และปริมาณเส้นใยที่ร้อยละ 0.5 ให้การรับแรงสูงสุดเช่นเดียวกับค่ากำลังรับแรงอัด อีกทั้ง ค่ารับแรงจะลดลงอย่างต่อเนื่อง เมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยเป็นร้อยละ 1.0 1.5 และ 2.0 ตามลำดับ



ภาพที่ 4-2 กำลังรับแรงดึงแบบผ่าซีกของคอนกรีต ผสมเส้นใย PPFRC

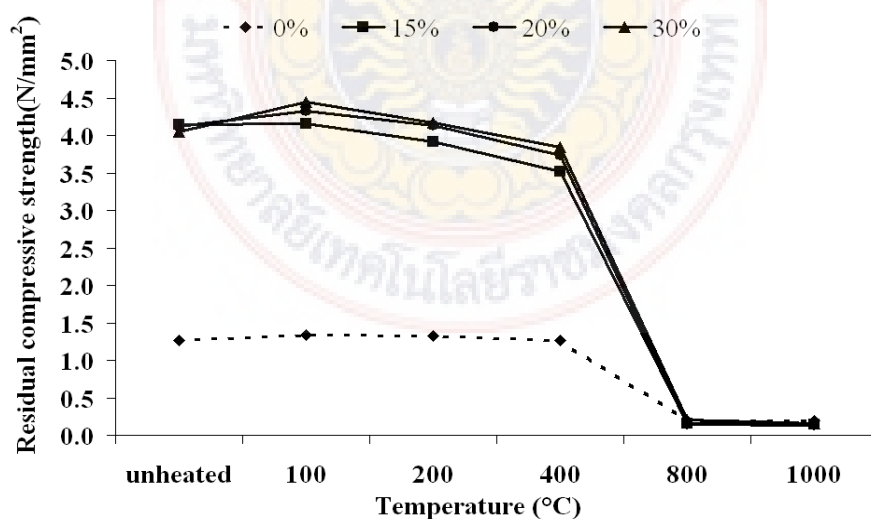
4.2 พฤติกรรมการรับแรงอัดและดึงแบบผ่าซีกของ FRC หลังการเผา

4.2.1 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมเส้นใยพลาสติกสังเคราะห์ ชนิด PPFRC

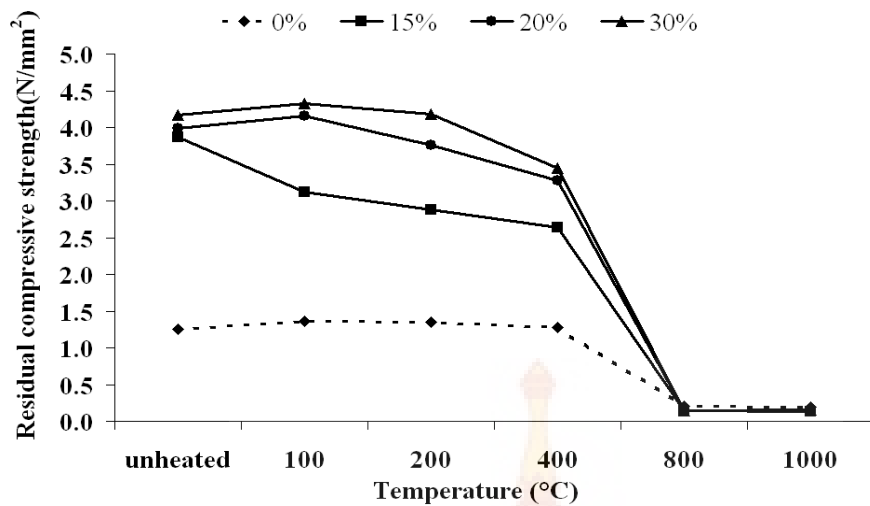
พฤติกรรมของ PPFRC หลังการเผามีผลการทดสอบเรียงตามปริมาณเส้นใยที่ผสมลงในคอนกรีตจากร้อยละ 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 4-3 ถึง 4-6

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า หลังจากที่ PPFRC ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 100 °C 200 °C 400°C 800°C และ 1000°C แล้วนั้น พบว่าค่ากำลังรับแรงอัดของ PPFRC มีค่าสูงขึ้น ณ อุณหภูมิการเผาที่ 200°C เมื่อเทียบกับตัวอย่างที่ไม่ได้เผาทั้งนี้เนื่องจากเส้นใยพลาสติกสังเคราะห์ชนิดนี้ประเภทเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic Plastic) เมื่อโดนความร้อนระดับหนึ่งจะอ่อนตัวมากหรือละลายเป็นของเหลวชนิดเปลี่ยนรูปร่างได้ แต่เมื่อเย็นตัวก็จะกลับมาแข็งตัวได้อีกพร้อมทั้งผิวพลาสติกที่ละลายไปเล็กน้อยก็จะทำให้ได้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างพลาสติกและคอนกรีตที่ห่อหุ้มเพิ่มขึ้นจึงทำให้มีค่าสูงกว่าค่ารับกำลังก่อนการแตกร้าว อย่างไรก็ตาม ที่อุณหภูมิ 400°C ขึ้นไปพบว่าค่ากำลังรับแรงอัดของ PPFRC ลดลงต่ำอย่างรวดเร็วอย่างเห็นได้ชัด เนื่องมาจากรอยร้าวคอนกรีตเพิ่มขึ้นรวมกับการระเหิดไปของเส้นใยเนื่องจากอุณหภูมิภายในสูงเกิน 200°C

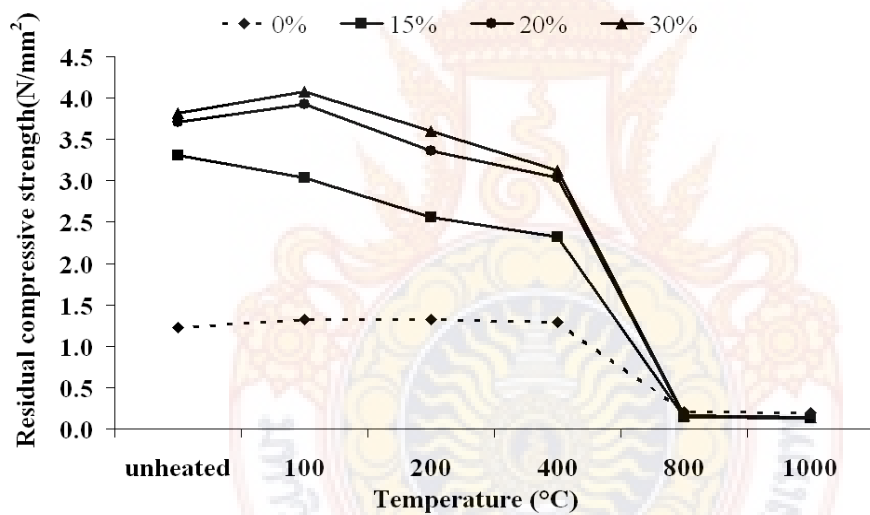
นอกจากนี้ยังพบว่าเนื่องจากการกระจายตัวของอุณหภูมิภายในที่ไม่สม่ำเสมอทำให้เส้นใยบางส่วนอาจจะได้รับอุณหภูมิสูงและต่ำไม่เท่ากัน เส้นใยที่สัมผัสความร้อนเกินกว่า 200 °C เป็นผลทำให้เส้นใยเกิดการระเหิดหายไปในขณะที่บริเวณที่มีความหนาแน่นของคอนกรีตสูง (มีปริมาณความพรุนต่ำ) ส่งผลให้เส้นใยยังคงอยู่แต่รูปร่างเกิดการหดตัวเสียรูปร่างเดิม ยกเว้นที่ผิวภายนอกที่สังเกตพบว่าเส้นใยได้ระเหิดหายไปของเส้นใย (ภาพที่ 4-7)



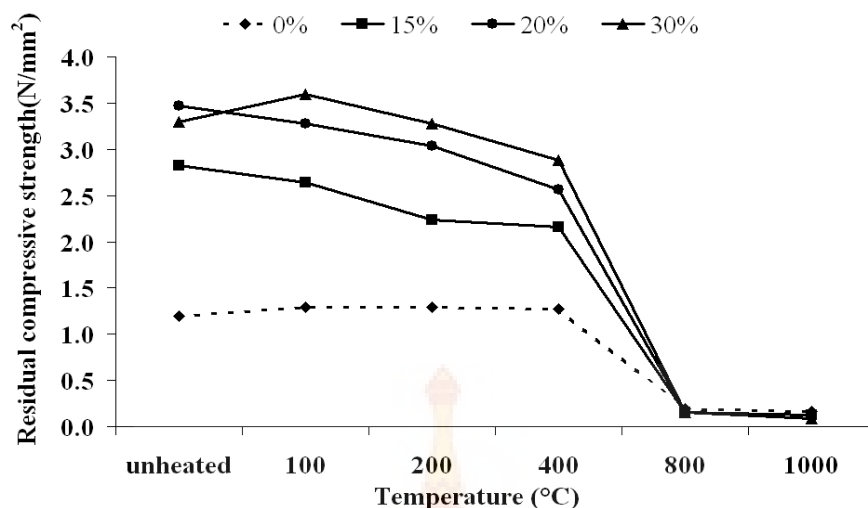
ภาพที่ 4-3 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีต ผสมเส้นใย PPFRC ร้อยละ 0
หลังจากการเผา



ภาพที่ 4-4 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีต ผสมเส้นใย PPFRC ร้อยละ 0.5
หลังจากการเผา



ภาพที่ 4-5 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีต ผสมเส้นใย PPFRC ร้อยละ 1.0
หลังจากการเผา



ภาพที่ 4-6 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีต ผสมเส้นใย PPFRC ร้อยละ 2.0
หลังจากการเผา

ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงอัด และอุณหภูมิที่คอนกรีตผสมเพอร์ไลต์และเส้นใยนั้นได้รับ โดยแยกตามปริมาณเส้นใยที่ผสมนำมาสรุปเป็นไปดังภาพที่ 4-2 ถึง 4-7 เพอร์ไลต์มีผลทำให้กำลังรับแรงอัดของชิ้นตัวอย่างเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นตัวอย่างที่ไม่ผสมเพอร์ไลต์ กำลังรับแรงอัดของชิ้นตัวอย่างที่ผสมเพอร์ไลต์ร้อยละ 15 เพิ่มขึ้นเมื่อชิ้นตัวอย่างได้ผ่านการเผาจากอุณหภูมิปกติมาเป็น 100°C อย่างไรก็ตามเมื่ออุณหภูมิที่เผาสูงกว่า 200°C พบว่า กำลังรับแรงอัดเริ่มลดลงอย่างเห็นได้ชัด ในขณะที่กำลังรับแรงอัดของชิ้นตัวอย่างที่ไม่ผสมเพอร์ไลต์เพิ่มขึ้นเล็กน้อย และพฤติกรรมนี้จะยังคงดำเนินต่อไปจนอุณหภูมิของการเผานั้นถึง 400°C โดย คอนกรีตที่ผสม PPFRC ที่ผสมเส้นใยร้อยละ 0.5 มีค่ากำลังรับแรง มากที่สุด รองลงมาคือ การผสมเส้นใยในปริมาณร้อยละ 1.0 และร้อยละ 2.0 ตามลำดับ

จากนั้นเมื่อทำอุณหภูมิการเผาให้สูงขึ้นกว่า 400°C ผลปรากฏว่า ค่ากำลังรับแรงอัด ลดลง แต่ยังคงมีค่าที่สูงกว่าชิ้นตัวอย่างที่ไม่ได้ผ่านการเผา สำหรับค่ากำลังรับแรงอัดที่ลดลงนั้น เป็นผลเนื่องมาจากการเกิดรอยปริร้าวจากการขยายตัวของช่องว่างที่มีน้ำเป็นแรงดัน สำหรับที่ 800°C พบว่า ค่ากำลังรับแรงอัดลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องมาจาก เกิดรอยร้าวอย่างมากจากผลของอุณหภูมิที่สูงและเส้นใยพลาสติกกระเหิดไปจากความร้อนภายในคอนกรีตที่สูงมากเกิน 190°C

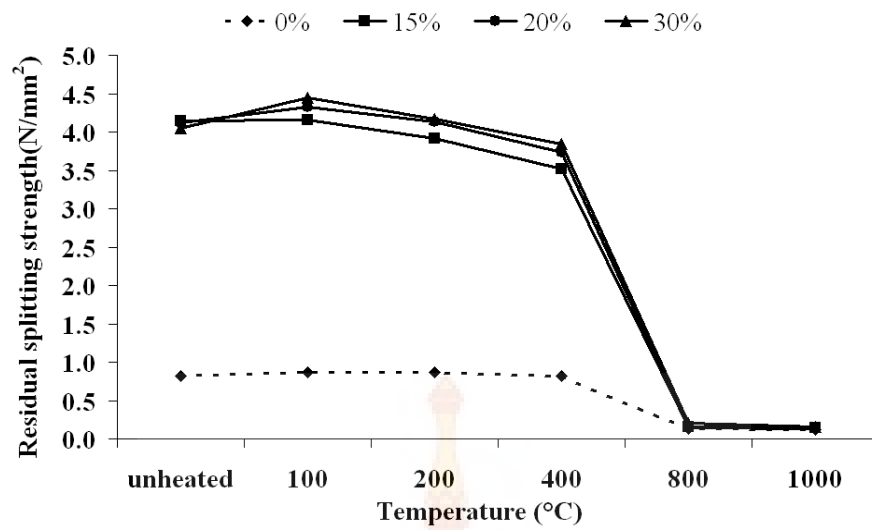
4.2.2 กำลังรับแรงดึงแบบผ่าซีกของคอนกรีตผสมเส้นใยพลาสติกสังเคราะห์ ชนิด PPFRC

ภาพที่ 4-7 ถึง 4-10 แสดงพฤติกรรมของ PPFRC หลังการเผาตามปริมาณเส้นใยที่ผสมลงในคอนกรีตจากร้อยละ 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 ตามลำดับ จากการทดสอบพบว่า PPFRC ที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 100 °C 200 °C 400°C 800 °C และ 1000°C มีค่ากำลังรับแรงดึงแบบผ่าซีกเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะหลังการเผาที่อุณหภูมิ 100°C ค่ากำลังรับแรงดึงนั้นสูงขึ้นอย่างชัดเจน เนื่องจาก เมื่อความร้อนภายในคอนกรีตสูงขึ้นจนถึงจุดที่เส้นใยจนอ่อนตัวมาก เมื่อเย็นตัวก็จะกลับมาแข็งตัว ในขณะที่แข็งตัว จากผิวของเส้นใยชนิดนี้ที่ราบเรียบ ก็จะมีผิวสัมผัสที่ขรุขระขึ้นตามช่องว่างที่เกิดขึ้นจากการระเหยของน้ำ สังเกตได้จากเส้นใยที่ลักษณะแตกบริเวณปลายซึ่งเกิดจากรูดออกของเส้นใยผ่านผิวสัมผัสที่มีแรงเสียดทานสูงขึ้นนั่นเอง

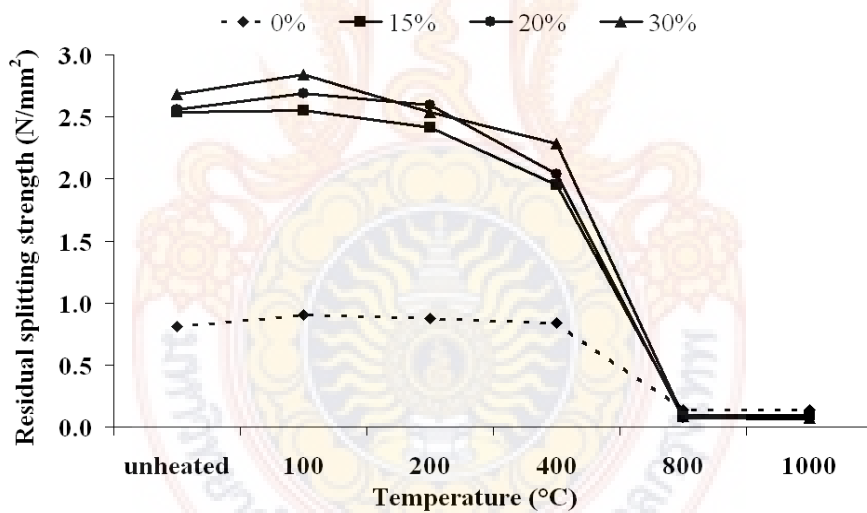
อย่างไรก็ตามค่ากำลังรับแรงดึงแบบผ่าซีกของ ชิ้นตัวอย่างที่ผสม PPFRC มีค่าลดลงเมื่อผ่านการเผาอุณหภูมิเกิน 200°C เมื่อเทียบกับชิ้นตัวอย่าง PPFRC ที่ไม่ได้ผ่านการเผา และหลังจากการเผาที่อุณหภูมิ 400°C มีค่ากำลังรับแรงดึงแบบผ่าซีกลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากการเผาที่อุณหภูมิ 400°C มีผลต่อการระเหยออกของน้ำส่วนเกิน แต่ปริมาณน้ำที่อยู่ตามช่องว่างระหว่างเพสต์กับเส้นใยและอุณหภูมิที่สูงขึ้นจากการสะสมอุณหภูมิของเส้นใยมีผลทำให้เม็ดปูนที่มีขนาดใหญ่กว่า 50 ไมโครเมตรที่ยังไม่เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน (เนื่องจากขนาดที่ใหญ่ทำให้ต้องอาศัยเวลาในการทำปฏิกิริยา) สามารถเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันได้ทันทีและขยายตัวไปสู่ช่องว่างที่เหลืออยู่ทำให้คอนกรีตมีกำลังสูงขึ้น ส่งผลทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตกับเส้นใยมากขึ้น

อีกทั้งหลังการเผาที่อุณหภูมิ 400°C พบว่าค่ากำลังรับแรงดึงแบบผ่าซีกมีค่าลดลงเนื่องจากรอยร้าวจากการหดตัวของเพสต์ภายในคอนกรีต (อันเนื่องจากการระเหยของน้ำ) และความเค้นภายในจากการขยายตัวของมวลรวม (ทำให้เกิดรอยร้าวภายใน) ส่งผลให้ค่าการยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตและเส้นใยเหล็กลดลง

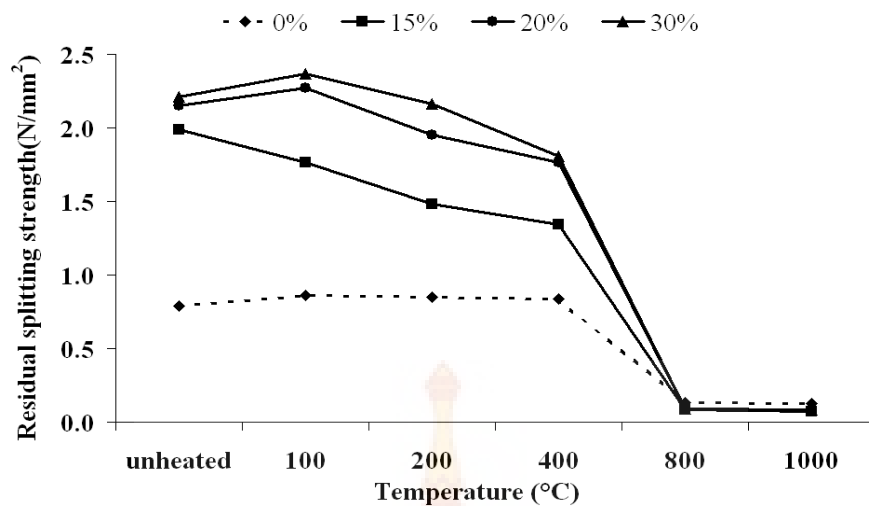
ส่วนหลังการเผาที่อุณหภูมิ 800°C และ 1000 °C พบว่าค่ากำลังรับแรงดึงแบบผ่าซีกลดลงเป็นอย่างมาก โดยพิจารณาจากหน้าตัดของคานพบว่าเส้นใยได้ระเหิดหายไปหมด (ภาพที่ 4-11) คาดว่าอุณหภูมิภายในน่าจะสูงเกิน 400°C



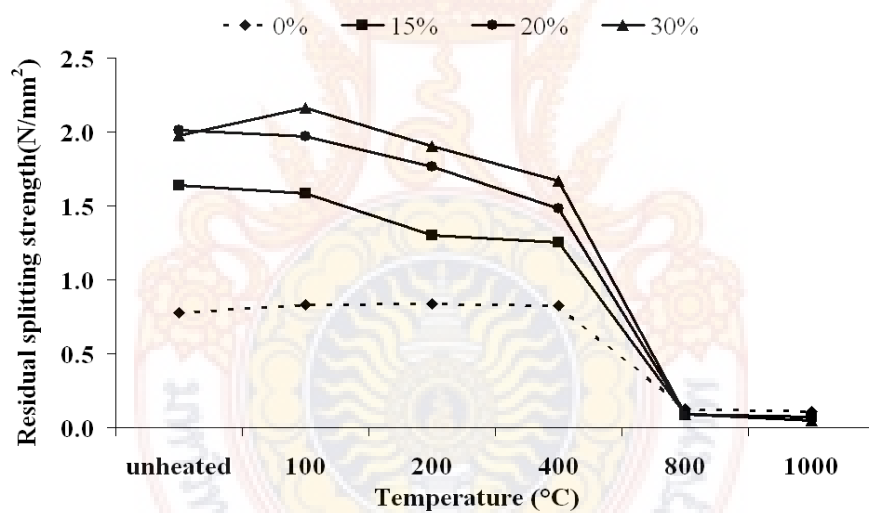
ภาพที่ 4-7 กำลังรับแรงดึงแบบผ่าซีกของคอนกรีต ผสมเส้นใย PPFRC ร้อยละ 0 หลังการเผา



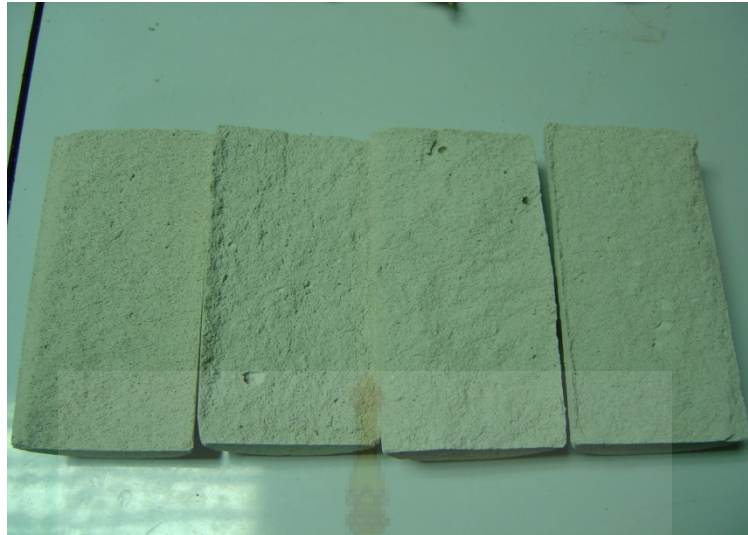
ภาพที่ 4-8 กำลังรับแรงดึงแบบผ่าซีกของคอนกรีต ผสมเส้นใย PPFRC ร้อยละ 0.5 หลังการเผา



ภาพที่ 4-9 กำลังรับแรงดึงแบบผ่าซีกของคอนกรีต ผสมเส้นใย
PPFRC ร้อยละ 1.5 หลังจากการเผา



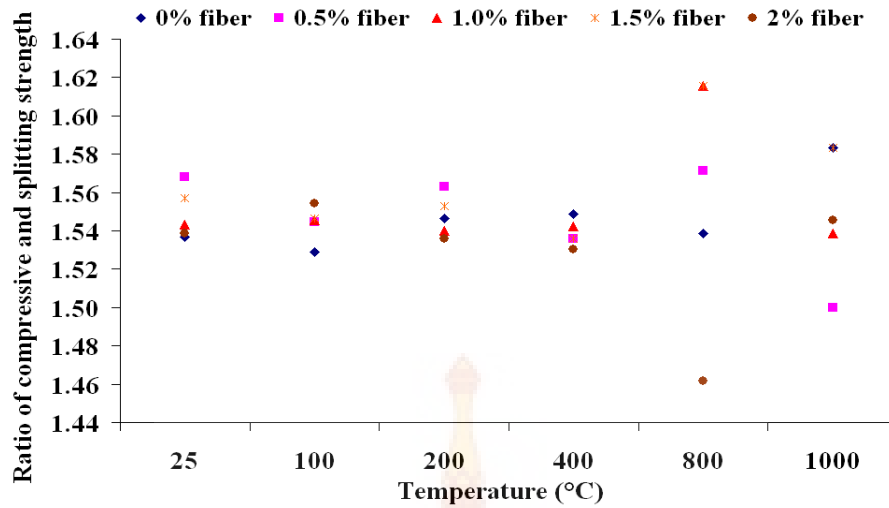
ภาพที่ 4-10 กำลังรับแรงดึงแบบผ่าซีกของคอนกรีต ผสมเส้นใย
PPFRC ร้อยละ 2.0 หลังจากการเผา



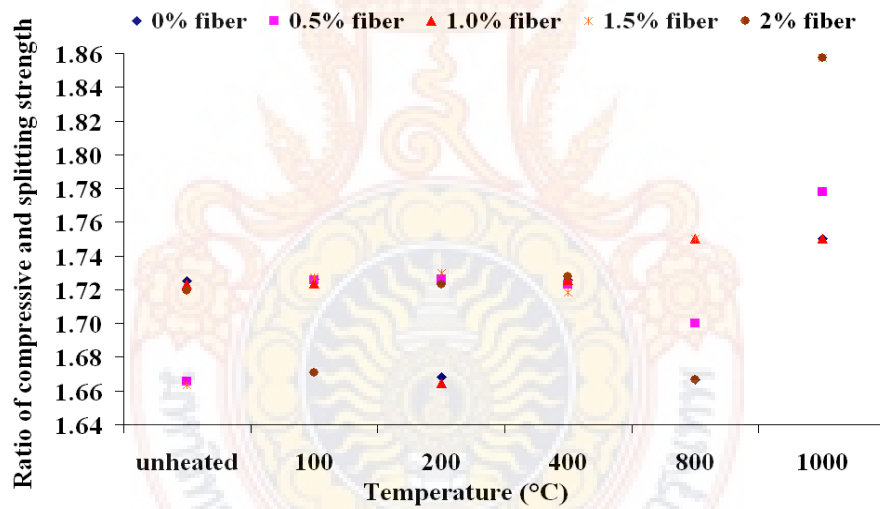
ภาพที่ 4-11 คอนกรีต ผสมเพอร์ไลต์และเส้นใยโพลีพรอพิลีน
(PPFRC-1.0) หลังการเผา

4.2.3 การเปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดและแรงดึงแบบผ่าซีกของคอนกรีตผสมเพอร์ไลต์และเส้นใยพลาสติกสังเคราะห์ ชนิด PPFRC

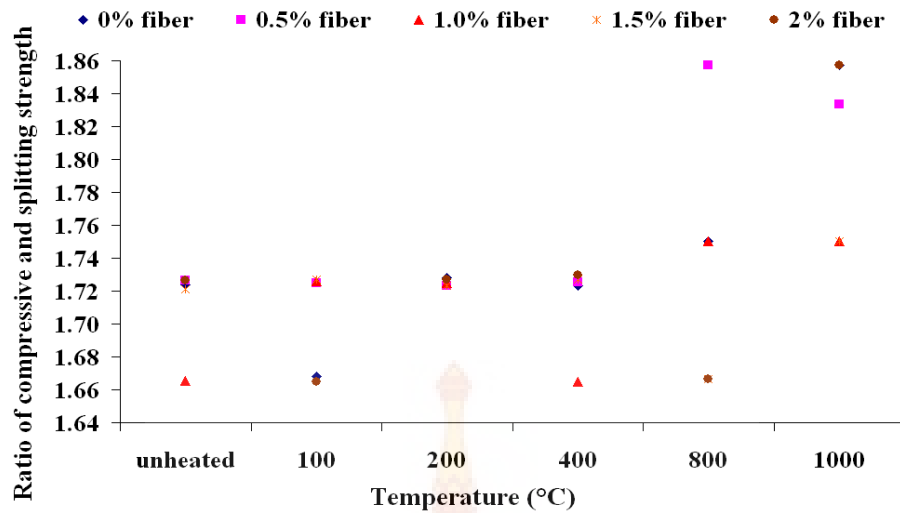
เมื่อนำความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงอัดและดึงแบบผ่าซีก และอุณหภูมิมาเขียนเป็นกราฟดังแสดงในภาพที่ 4-12, 4-13, 4-14 และ 4-15 พบว่า PPFRC ที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิให้สัดส่วนระหว่างค่ากำลังรับแรงอัดต่อกำลังรับแรงดึงแบบผ่าซีก สูงขึ้นกว่า PPFRC ที่ไม่ได้ผ่านการเผา แต่เมื่ออุณหภูมิในการเผาสูงขึ้นเป็น 800°C และ 1000 °C พบว่าอัตราส่วนระหว่างกำลังรับแรงอัดต่อกำลังรับแรงดึงแบบผ่าซีกนั้นมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากไม่มีไฟเบอร์เหลืออยู่ในเนื้อคอนกรีต ซึ่งเป็นเกิดจากรอยร้าวภายในคอนกรีตจากอุณหภูมิที่สูงและเส้นใยระเหิดไปเนื่องจากความร้อนภายในคอนกรีตที่สูงมากเกินไป 190°C



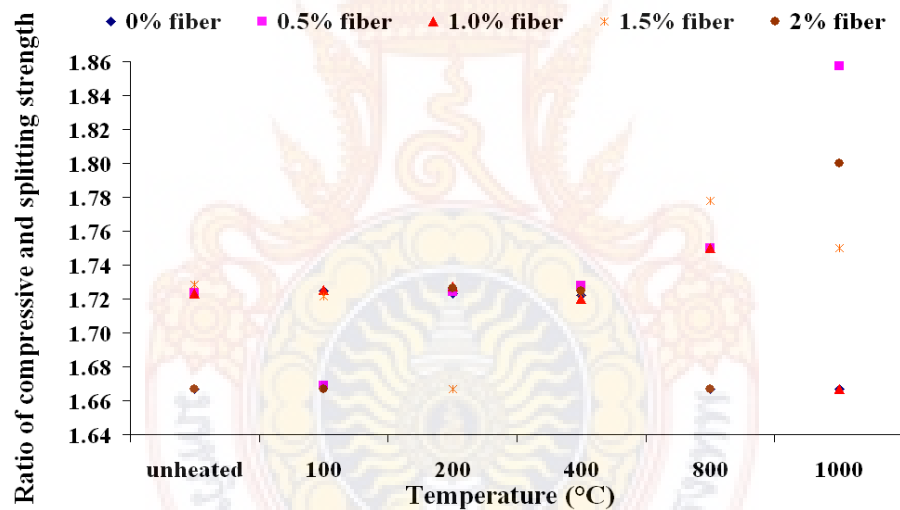
ภาพที่ 4-12 สัดส่วนกำลังรับแรงอัดต่อแรงดึงแบบผ้าชีกของคอนกรีตผสมเส้นใย PPFRC และเพอร์ไลต์ที่ ร้อยละ 0 หลังจากการเผา



ภาพที่ 4-13 สัดส่วนกำลังรับแรงอัดต่อแรงดึงแบบผ้าชีกของคอนกรีตผสมเส้นใย PPFRC และเพอร์ไลต์ที่ ร้อยละ 15 หลังจากการเผา



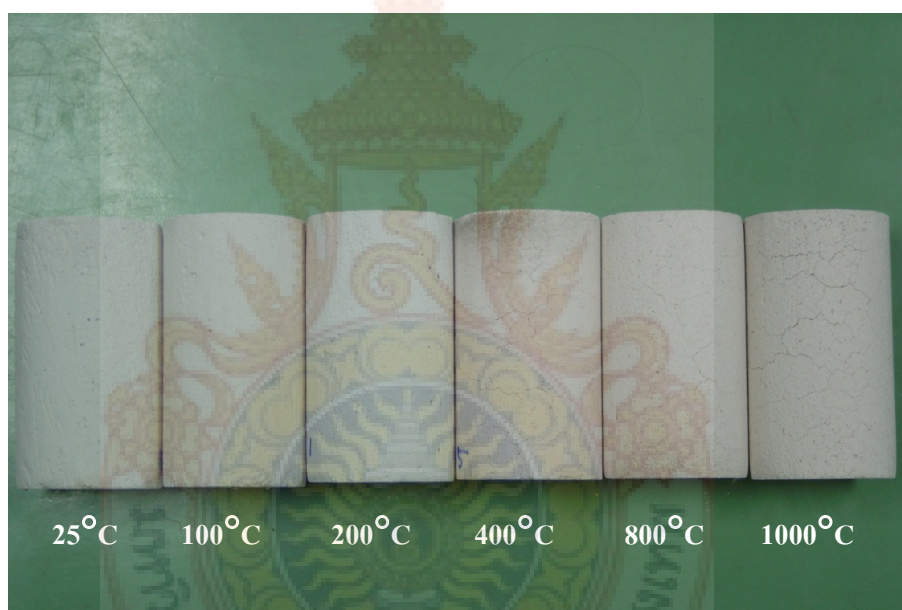
ภาพที่ 4-14 สัดส่วนกำลังรับแรงอัดต่อแรงดึงแบบผ้าชีกของคอนกรีตผสมเส้นใย PPFRC และเพอร์ไลต์ที่ ร้อยละ 20 หลังจากการเผา



ภาพที่ 4-15 สัดส่วนกำลังรับแรงอัดต่อแรงดึงแบบผ้าชีกของคอนกรีตผสมเส้นใย PPFRC และเพอร์ไลต์ที่ ร้อยละ 30 หลังจากการเผา

4.3 ลักษณะพื้นผิวของชิ้นตัวอย่างเมื่อสัมผัสอุณหภูมิ หลังการเผา

ภาพที่ 4-16 แสดงลักษณะผิวของชิ้นตัวอย่างที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 100°C 200°C 400°C 800°C และ 1000°C แสดงให้เห็นว่ารอยเริ่มแสดงให้เห็นได้ชัดเจนเมื่ออุณหภูมิของการเผาเพิ่มขึ้นเกินกว่า 400°C ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากชิ้นตัวอย่างทดสอบยังมีความชื้นสะสมอยู่เป็นผลทำให้ น้ำที่สะสมอยู่ในชิ้นตัวอย่างนั้นเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอ ซึ่งจะมีความดันทุกทิศทางเกิดขึ้นซึ่งความดันนี้ทำให้เกิดรอยร้าวขึ้นบริเวณผิวของชิ้นตัวอย่าง อีกทั้งเมื่ออุณหภูมิของการทดสอบเพิ่มขึ้นสีของผิวของชิ้นตัวอย่างจะเปลี่ยนจากสีขาวกลายเป็นสีเหลืองอ่อนและจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเข้มเมื่ออุณหภูมิของการทดสอบสูงกว่า 800°C และ 1000°C อย่างไรก็ตามปริมาณของเพอร์ไลต์ไม่ส่งผลต่อสีของผิวชิ้นตัวอย่างทดสอบ



ภาพที่ 4-16 ลักษณะผิวของคอนกรีตผสมเส้นใย PPFRC และ เพอร์ไลต์ที่ ร้อยละ 30 หลังจากการเผา

บทที่ 5

สรุป

ก่อนการเผา คอนกรีตผสมเพอร์ไลต์และเส้นใยสังเคราะห์ มีพฤติกรรมการรับแรงแตกต่างกันไปตามปริมาณของเส้นใย เส้นใยพลาสติกจะมีความยืดหยุ่นตัวสูง นอกจากนี้ยังพบว่าพฤติกรรม การรับแรงดึงแบบผ่าซีกแปรผันตามปริมาณเส้นใยเช่นกัน โดยเมื่อเส้นใยมีปริมาณ มากขึ้น

จากการทดลองพบว่าอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นมีผลต่อกำลังรับแรงของคอนกรีตผสมเพอร์ไลต์ และเส้นใยสังเคราะห์ กล่าวคือกำลังรับแรงของคอนกรีตผสมเพอร์ไลต์และเส้นใยสังเคราะห์ ลดลง เมื่ออุณหภูมิของการเผาเพิ่มสูงขึ้น เมื่ออุณหภูมิของการเผาเกินกว่า 400°C กำลังของชิ้นตัวอย่าง ทดสอบลดลงอย่างรวดเร็ว

การใช้ปริมาณของเส้นใยที่ร้อยละ 0.5 โดยปริมาตรนั้นทำให้ได้กำลังของคอนกรีตผสม เพอร์ไลต์สูงสุด อย่างไรก็ตามกำลังรับแรงของคอนกรีตผสมเพอร์ไลต์ลดลงเมื่อปริมาณของเส้นใย เพิ่มขึ้นเกินกว่าร้อยละ 0.5 โดยปริมาตร

การลดปริมาณทรายละเอียดที่ใช้ผสมคอนกรีตโดยใช้เพอร์ไลต์ทดแทนนั้นทำให้กำลังรับ แรงอัดและรับแรงดึงแบบผ่าซีกของชิ้นตัวอย่างทดสอบที่ผสมเส้นใยเพิ่มสูงขึ้น โดยปริมาณของ เพอร์ไลต์ที่ร้อยละ 30 นั้นจะให้กำลังรับแรงอัดและแรงดึงแบบผ่าซีกสูงสุด อย่างไรก็ตามกำลังรับ แรงของชิ้นตัวอย่างที่ไม่มีเส้นใยผสมอยู่นั้น กำลังรับแรงอัดเมื่อปริมาณเพอร์ไลต์เพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผล จากการปริมาณการเปลี่ยนแปลงสภาพผลึกของโทเบอร์โมไรต์ อีกทั้งการจากการทดลองพบว่าการ เพิ่มปริมาณของเพอร์ไลต์นั้นส่งผลต่อปริมาณน้ำที่ใช้ผสมคอนกรีตด้วย กล่าวคือเมื่อปริมาณของ เพอร์ไลต์เพิ่มขึ้น อัตราการดูดซึมของเพอร์ไลต์จะเพิ่มสูงขึ้นด้วย เนื่องจากความละเอียดของเพอร์ไลต์

กำลังของชิ้นตัวอย่างจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิของการเผาเริ่มจากอุณหภูมิ 25°C ไปยัง อุณหภูมิที่ 100°C แต่กำลังของชิ้นตัวอย่างจะลดลงเมื่ออุณหภูมิในการเผานั้นเกินกว่า 200°C ไม่ว่า จะมีปริมาณของเส้นใยหรือเพอร์ไลต์เท่าใด ณ อุณหภูมิของการเผาที่ 100°C กำลังรับแรงของชิ้น ตัวอย่างทั้งกำลังรับแรงอัดและกำลังรับแรงดึงแบบผ่าซีกนั้นเพิ่มขึ้น ประมาณร้อยละ 5-9 เมื่อ เปรียบเทียบกับชิ้นตัวอย่างที่ไม่ผ่านการเผาและไม่ใส่เส้นใย

ส่วนที่อุณหภูมิ 800°C และ 1,000°C พบว่าค่ากำลังอัดและดึงแบบผ่าซีกลดลงอย่างรุนแรง โดยเฉพาะคอนกรีตที่ผสมเส้นใยพลาสติกสังเคราะห์หลังการเผาเส้นใยได้ระเหิดหายไปจนหมด

ณ อุณหภูมิที่ 1,000°C กำลังรับแรงอัดและแรงดึงแบบผ่าซีกของชิ้นตัวอย่างจะลดลง ประมาณร้อยละ 500-600 เมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นตัวอย่างที่ไม่ได้ผ่านการเผา ซึ่งแสดงผลมา จากการเกิดรอยร้าวทั้งภายในและบริเวณผิวหน้าของชิ้นตัวอย่าง ซึ่งเกิดจากการขยายตัวของน้ำและ ความชื้นที่คงเหลือและสะสมอยู่ในช่องว่างต่างๆ

อย่างไรก็ตาม จากผลการทดสอบนั้นไม่เพียงพอในการยืนยันว่ากำลังรับแรงอัดและแรงดึงแบบผ่าซิกนั้นเพิ่มขึ้นเมื่อใช้เพอร์ไลต์และเส้นใยสังเคราะห์ที่ปริมาณเหมาะสม

รอยร้าวที่เกิดขึ้นบริเวณผิวหน้าของชิ้นตัวอย่างนั้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ลักษณะคือ ณ อุณหภูมิ 200°C ผิวของชิ้นตัวอย่างเป็นสีขาว ณ อุณหภูมิสูงกว่า 400°C สีผิวของชิ้นตัวอย่างเป็นสีน้ำตาล-เหลืองอ่อน และ ณ อุณหภูมิเกิน 800°C สีผิวของชิ้นตัวอย่างเป็นสีน้ำตาลอ่อน



บรรณานุกรม

1. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.1334-2539 การทดสอบความทนไฟ-ชิ้นส่วนต่างๆ ของโครงสร้างอาคาร. กรุงเทพฯ : กระทรวงอุตสาหกรรม, 2539.
2. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมชิ้นส่วนคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ, มอก.1505 – 2541.สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม.
3. ชูชัย สุจิรวงศ์. แรงยึดเหนี่ยวของไฟเบอร์เส้นเดี่ยวบิดเกลียวที่ฝังในวัสดุประสานซีเมนต์. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 9., 2547 : MAT 1-MAT 6.
4. ปิติ สุคนธ์สุขกุล และ สุรัชย์ สุทธิธรรมมา. ดรรชนีความเหนียวคอนกรีตผสมเส้นใยไฟเบอร์เหล็กและพลาสติกสังเคราะห์โดยการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM และ JSCE. การประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปี ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : 2549, ตุลาคม.
5. ปิติ สุคนธ์สุขกุล. คอนกรีตชั้นพื้นฐาน. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : ศูนย์ผลิตตำราเรียนสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2549
6. พิชัย เลี่ยมพิพัฒน์. พลาสติก. พิมพ์ครั้งที่ 14. กรุงเทพฯ : ห.จ.ก.ป.สัมพันธพาณิชย์, 2540
บัญชา สุปรินายก และคณะ. พฤติกรรมของคอนกรีตผสมเส้นใยเหล็กและเส้นใยโพลีโพรพิลีน, วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2542.
7. American Concrete Institute. “ACI 211.1-91: Standard Practice for Selecting Proportion for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete, ACI Manual of Concrete Practice.” ACI Manual of Concrete Practice.: Part 1, Michigan, 2000.
8. American Society for Testing and Materials. “ASTM C 39 / C39M - 12a (Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens) Annual Book of ASTM Standard. Vol. 04.02, Easton, MD, USA, 1997.
9. American Society for Testing and Materials. “ASTM C 143: A Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete.” Annual Book of ASTM Standard. Vol. 04.02, Easton, MD, USA, 1997.
10. American Society for Testing and Materials. “ASTM C 496: A Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens.” Annual Book of ASTM Standard. Vol. 04.02, Easton, MD, USA, 1997.

11. American Society for Testing and Materials. "ASTM E 119-98: Standard Test Methods for Fire tests of Building Construction and Materials." Annual Book of ASTM Standard. Vol. 04.07, Easton, MD, USA, 1997. 513-535.
12. International Organization of Standardization. "ISO/TR 834." Fire Resistance Test – Element of Construction. Vienna, Austria, 1999
13. Bentur A. and Mindess S., "Fiber Reinforced Cementitious Composites.", J. Cement and Concrete Research 20 (1990). : 324-340.
14. Chi-Sun Poon, Salman Azhar, Mike Anson and Yuk-Lung Wong. "Strength and durability recovery of fire-damaged concrete after post-fire-curing." J. Cement and Concrete Research 31 (2001). : 1307-1318.
15. Gai-Fei Peng., Wen-Wu Yang., Jie Zhao., Ye-Feng Liu., Song-Hua Bian and Li-Hong Zhao. "Explosive spalling and residual mechanical properties of fiber-toughened high-performance concrete subjected to high temperatures." J. Cement and Concrete Research 36 (2006). : 723-727.
16. Ingberg, S.H., et al, "Combustible Content in Buildings." BMS 149, National Bureau of Standard, Washington, DC, July 1957.
17. Isu, N., Ishida, H., and Mitsuda, T. (1995). Influence of quartz particle size on the chemical and mechanical properties of autoclaved aerated concrete (I) tobermorite formation. Cement and Concrete Research, 25(2), 243-248.
18. Lau, A and Anson, M. (2006) Effect of high temperatures on high performance steel fibre reinforced concrete." Journal of Cement and Concrete Research, 36, 1698-1707.
19. Lie, T.T., Fire and Buildings., National Research Council of Canada, 1972
20. Omer Ario. "Effects of elevated temperature on properties of concrete." Fire Safety Journal (2007). : 516-522.
21. Tangkawanit, S. and Rangsiwatananon, K. (2007) Synthesis and kinetic study of Zeolite from Lopburi perlite. Suranaree Journal of Science and Technology, 14(4), 367-379.
22. Rapoport. J *et al.*, "Permeability of Cracked Steel Fiber-Reinforced Concrete", Technical Report Number 115 of National Institute of Statistical Sciences USA., Jan 2001.

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ บวร อิศรางกูร ณ อยุธยา
ตำแหน่ง ผู้ช่วยศาสตราจารย์
เกิด 6 ธันวาคม 2515
สถานที่ทำงาน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
เลขที่ 2 ถนนนางลิ้นจี่ แขวงทุ่งมหาเมฆ เขตสาทร 10120
โทรศัพท์ 02-287-9638, 02-287-9600 ต่อ 2225 โทรสาร 02-287-9638
มือถือ : 081-838-1112
อีเมลล์ : ayudhya2003@yahoo.com borvorn.i@rmutk.ac.th

ประวัติจบการศึกษา

- 2539 ปริญญาตรี (B.Eng) สาขาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยลอนดอน (Queen Mary College, University of London) ประเทศอังกฤษ
- 2542 ปริญญาโท (M.Sc) สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา (โครงสร้าง) มหาวิทยาลัยเซอร์เรย์ (University of Surrey) ประเทศอังกฤษ
- 2549 ปริญญาเอก (Ph.D) สาขาวิศวกรรมโยธา (บริหารงานก่อสร้างและระบบสาธารณูปโภค) มหาวิทยาลัยโตเกียว (University of Tokyo) ประเทศญี่ปุ่น

ประวัติการทำงาน

- 2542-ปัจจุบัน อาจารย์ประจำ (ข้าราชการ) คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
- 2549-ปัจจุบัน ที่ปรึกษากรรมการฝ่ายบริหารนโยบายการเงิน บริษัท Oriental flair international limited, ประเทศสิงคโปร์ (สำนักงานใหญ่)
- 2550-ปัจจุบัน กรรมการพิจารณาข้อเสนองานวิจัยและกรรมการประเมินผลความเป็นไปได้ของโครงการงานวิจัย สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
- 2554-ปัจจุบัน ที่ปรึกษาประธานกรรมการ บริษัท Phuket Land Resort จำกัด
- 2550-2555 กรรมการตรวจการจ้างอาคารตึกก่อสร้าง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

- 2550-2553 กรรมการจัดทำหลักสูตรครุศาสตรบัณฑิต (การจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
- 2550-2552 กรรมการคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
- 2550 คณะทำงานและจัดทำแผนพัฒนาอุดมศึกษาระยะยาว ฉบับที่ ๒ -๒๕๕๐.ศ.พ)
๒๕๖๔ (สำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษา(สกอ.)

การบรรยายพิเศษ

1. วิทยากร โครงการฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการการเขียนโครงการการวิจัย จัดโดยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ 16-17 สิงหาคม 2549 อ.ปากช่อง จ.นครราชสีมา
2. วิทยากร โครงการฝึกอบรมโปรแกรมทางด้านวิศวกรรมโยธา จัดโดยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ 18 สิงหาคม 2549 กรุงเทพมหานคร

วิชาที่รับผิดชอบในการสอน

1. กลศาสตร์วิศวกรรม
2. คอนกรีตเทคโนโลยี
3. ปฏิบัติการทดสอบวัสดุ
4. วิศวกรรมการบริหารงานก่อสร้าง

ความถนัดและความเชี่ยวชาญ

1. ระบบการจ่ายเงินในงานก่อสร้างระหว่างประเทศและภายในประเทศ
2. สัญญาข้อตกลงในการกู้เงินเพื่องานก่อสร้างจากแหล่งเงินกู้ระหว่างประเทศ (JBIC, ADB, IBRD, KFW)
3. สัญญางานก่อสร้างระหว่างประเทศ (FIDIC) และภายในประเทศ
4. วิเคราะห์ความเสี่ยงที่เกิดขึ้นภายในโครงการงานก่อสร้าง
5. วัสดุคอนกรีตและวัสดุทดแทน เช่น Metakaolin เถ้าลอย วัสดุอินทรีย์ แก้ว สารผสมเพิ่ม และFRP (Aramid, Carbon fiber)
6. ความทนทานของคอนกรีตและการกัดกร่อนของคอนกรีตเสริมเหล็ก

การอบรมวิชาการ/วิชาชีพ

1. หลักสูตร Policy of industrial safety and health ระหว่างวันที่ 30 กันยายน- 1 พฤศจิกายน 2551 จัดโดย Japan International Cooperation Agency (JICA) ณ กรุงโตเกียว ประเทศญี่ปุ่น

ผู้ทรงคุณวุฒิ

1. ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์เรื่อง กรอบแนวคิดการกำหนดมาตรฐานการปฏิบัติวิชาชีพสถาปัตยกรรมด้านงานบริหารการก่อสร้าง :กรณีศึกษาโครงการบ้านจัดสรรราคาปานกลาง คณะสถาปัตยกรรมและผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2550
2. ผู้ทรงคุณวุฒิประเมินบทความเพื่อตีพิมพ์ในวารสารวิชาการระดับนานาชาติ Journal of Soil and Environmental Management (มิถุนายน 2553)
3. ผู้ทรงคุณวุฒิประเมินบทความเพื่อตีพิมพ์ในวารสารวิชาการระดับนานาชาติ Construction Management and Economic, Taylor and Francis Journal Group, (พฤษภาคม 2554)
4. ผู้ทรงคุณวุฒิประเมินบทความเพื่อตีพิมพ์ในวารสารวิชาการระดับประเทศ Engineering Journal (คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย) (กุมภาพันธ์ 2555)
5. ผู้ทรงคุณวุฒิประเมินบทความเพื่อตีพิมพ์ในวารสารวิชาการระดับประเทศ Engineering Journal (คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย) (พฤษภาคม 2555)
6. ผู้ทรงคุณวุฒิประเมินบทความเพื่อตีพิมพ์ในวารสารวิชาการระดับประเทศ Engineering Journal (คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย) (สิงหาคม 2555)
7. ผู้ทรงคุณวุฒิประเมินบทความเพื่อตีพิมพ์ในวารสารวิชาการระดับประเทศ Engineering Journal (คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย) (กุมภาพันธ์ 2556)
8. ผู้ทรงคุณวุฒิประเมินบทความเพื่อตีพิมพ์ในวารสารวิชาการระดับนานาชาติ Journal of Civil Engineering and Management, Taylor and Francis Journal Group, (มีนาคม 2556)
9. ประธานกลุ่มย่อยดำเนินงานประชุมวิชาการ (Session Chair) ในงานประชุมวิชาการต่างประเทศ, International Conference on Sustainable Design and Construction Engineering, Cape Town, 29-31, January, 2010
10. ประธานกลุ่มย่อยดำเนินงานประชุมวิชาการ (Session Chair) ในงานประชุมวิชาการต่างประเทศ, 3rd Rajamangala University of Technology International Conference (3rd RMUTIC), Pattaya, 14-16 December, 2011

วารสารวิชาการตีพิมพ์

1. Israngkura Na Ayudhya, B and Kunishima, M (2009) The performance of disbursement procedures in highway works in Thailand. *International Journal of Engineering, Science and Technology*, 1(3), pp 136-145.
2. Israngkura Na Ayudhya, B and Ungkoon, Y (2010) Bond performance of fiber reinforced polymer (FRP) bars in autoclaved aerated concrete (AAC). *Journal of Civil Engineering and Architecture*, 4 (8), pp 37-48.
3. Israngkura Na Ayudhya, B Ungkoon, Y and Jangtawong, P (2010) Study of hydrothermal performance of autoclaved aerated concrete mixed with sugar sediment and autoclaved aerated concrete walls under climate of Bangkok. *Ladkrabang Engineering Journal*, 27(4), pp 19-24.
4. Jangtawong P, Ungkoon, Y and Israngkura Na Ayudhya, B (2010) Study of roof concrete solar chimney of house model under hot humid climate of Thailand. *Journal of Science Ladkrabang*, 19(2), pp.23-32.
5. Israngkura Na Ayudhya, B Ungkoon, Y and Jangtawong, P (2010) Study of mechanical properties of autoclaved aerated lightweight concrete element containing microfiber. *Journal of Science Ladkrabang*, 19(2), pp 59-68.
6. Chantawong, P Wimanjang, W Yupandee, S Ungkoon, Y and Israngkura Na Ayudhya, B (2011) Study and development of thermal performance of glazed solar cells chimneys walls under the climatic conditions of Thailand. *The Journal of King Mongkut's University of Technology North Bangkok*, 21(1), pp 61-71.
7. Israngkura Na Ayudhya ,B Ungkoon, Y and Jangtawong, P (2011) Study of mechanical properties of autoclaved aerated concrete mixed with microfiber. *The Journal of King Mongkut's University of Technology North Bangkok*, 21(2), pp 266-271.
8. Israngkura Na Ayudhya, B (2011) Compressive and splitting tensile strength of autoclaved aerated concrete (AAC) containing perlite aggregate and polypropylene fiber subjected to high temperatures. *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, 33(5), pp 555-563.

9. Israngkura Na Ayudhya, B (2011) Common disputes related to public work projects in Thailand. *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, 33(5), pp 565-573.
10. Israngkura Na Ayudhya, B (2011) Appraisal of common dispute problems on public works projects in Thailand. *Journal of Civil Engineering and Architecture*, 5(10), pp 928-936.
11. Israngkura Na Ayudhya, B (2011) Evaluation of common delay problems in building projects; Singapore as study case. *Journal of Civil Engineering and Architecture*, 5(11), pp 1027-1034.
12. Israngkura Na Ayudhya, B Jangtawong, P and Ungkoon, Y (2012) Study of mechanical properties of autoclaved aerated concrete mixed with water hyacinth fiber. *Ladkrabang Engineering Journal*, 25(1), pp 43-48.
13. Israngkura Na Ayudhya, B Ungkoon, Y and Jangtawong, P (2012) A comparison between autoclaved aerated concrete mixed with sugar sediment and autoclaved aerated concrete mixed with microfiber walls on indoor conditions of a house model. *The Journal of King Mongkut's University of Technology North Bangkok*, 22(1), pp 31-38.
14. Jangtawong P, Israngkura Na Ayudhya, B and Ungkoon, Y (2012) Natural Ventilation of Houses by a Roof Autoclaved Aerated Concrete Solar Chimney Under Hot Humid Climate of Bangkok, *KKU science journal*, 40(1), pp 83-94.
15. Israngkura Na Ayudhya B, (2012) Risk factors influencing international funded public infrastructure projects in Thailand. *Suranaree Journal of Science and Technology (SJST)*, 19(2), pp 143-155.
16. Israngkura Na Ayudhya B, Jangtawong, P and Ungkoon, Y (2012) Heat and moisture transfer in constructed houses with autoclaved aerated concrete mixed with microfiber and non - autoclaved aerated concrete walls. *Journal of Science Ladkrabang*, 20(2), pp 1-12.
17. Israngkura Na Ayudhya B, Ungkoon, Y and Jangtawong, P (2012) Study of cooling load of air - conditioned buildings with autoclaved aerated concrete and autoclaved aerated concrete mixed with sugar sediment walls. *KKU science journal*, 40(2), pp 599-611.

18. Israngkura Na Ayudhya B, Ungkoon, Y and Jangtawong, P (2012) Study of heat transfer and moisture in houses with autoclaved aerated concrete mixed with microfiber and none-autoclaved aerated concrete. *The Journal of King Mongkut's University of Technology North Bangkok*, 20(2), pp.1-12.
19. Wiwatrojanagul, P Israngkura Na Ayudhya, B and Sahamitmongkol, R (2012) NSM FRP Shear Strengthening of RC Beams with Internal Stirrups. *Thammasat International Journal of Science and Technology*, 17(1), pp.16-30.
20. Israngkura Na Ayudhya, B and Ungkoon, Y and Jangtawong, P (2013) A Study of Compressive, flexural, Heat Humidity and Heat transfer of Autoclaved Aerated Concrete Mixed Polypropylene Fiber Under Climate of Bangkok, *Journal of Civil Engineering and Architecture*, (paper accepted)
21. Israngkura Na Ayudhya, B (2014) Comparison of compressive and splitting tensile strength of autoclaved aerated concrete (AAC) containing water hyacinth and polypropylene fibre subjected to elevated temperatures. *Suranaree Journal of Science and Technology (SJST)*, (paper accepted)

บทความประชุมวิชาการ

1. Israngkura Na Ayudhya, B and Kunishima, M (2005) Study of payment procedures of public works in Thailand, *Proceeding of the 23rd Annual Forum on Construction Management Issues*, (23), Kyoto, pp 147-150.
2. Israngkura Na Ayudhya B, Ungkoon, Y Mayata, V and Jatipatranat, W (2008) Application of textile for reinforcement in autoclaved aerated concrete (AAC). *4th Annual Concrete Conference*, 20-22 October, Ubonrathani. Mat. 72-76.
3. Israngkura Na Ayudhya B, Ungkoon, Y Sanitboon, P and Jatipatranat, W (2008) Study of perlite application in autoclaved aerated concrete (AAC). *4th Annual Concrete Conference*, 20-22 October, Ubonrathani. Mat.77-82.
4. Israngkura Na Ayudhya B, Ungkoon, Y and Jatipatranat, W (2009) A study of bond strength of autoclaved aerated concrete (AAC) reinforced with synthetic fiber rods. *5th Annual Concrete Conference*, 20-22 October, Nakornratchsima. Mat.232-240.

5. Israngkura Na Ayudhya B, Ungkoon, Y and Jatipatranat, W (2009) A study of flexural strength of autoclaved aerated concrete beam reinforced with geo- synthetic grid. *5th Annual Concrete Conference*, 20-22 October, Nakornratchsima. Mat.276-284.
6. Israngkura Na Ayudhya, B and Kunishima, M (2010) The performance of disbursement procedures in public works in Thailand. *International Conference on Sustainable Design and Construction Engineering*, Cape Town, 29-31, January. pp 155-162.
7. Israngkura Na Ayudhya, B and Ungkoon, Y (2010) Bond strength of fiber reinforced polymer (FRP) bars in autoclaved aerated concrete (AAC). *CICE 2010 - The 5th International Conference on FRP Composite in Civil Engineering*, Beijing, 27-29, September, pp 585-588.
8. Wiwatrojanagul, P Israngkura Na Ayudhya, B and Sahamitmongkol, R (2010) *Shear Strengthening of RC Beams by Near Surface Mounted FRP Rods*. *6th Annual Concrete Conference*, 20-22 October, Phetchaburi, pp 505-510.
9. Israngkura Na Ayudhya B, Ungkoon, Y and Jangtawong, P (2010) Study of hydrothermal performance of autoclaved aerated concrete wall mixed with sugar sediment and autoclaved aerated concrete wall under hot humid climate of Thailand. *6th Annual Concrete Conference*, 20-22 October, Phetchaburi, pp 563-568.
10. Israngkura Na Ayudhya, B (2011) Common of delay factors in building construction projects- A case study in Singapore. *16th National Conventional on Civil Engineering*, 18-20 May, Pattaya, CEM11.
11. Israngkura Na Ayudhya, B (2011) Common claim factors in building construction projects- A case study in Hong Kong. *16th National Conventional on Civil Engineering*, 18-20 May, Pattaya, CEM13.
12. Israngkura Na Ayudhya, B (2011) Appraisal of common dispute problems over residential building projects in Hong Kong. *International Federation of Surveyors (FIG) FIG Working Week 2011-Briding the gap between cultures*, 18-22 May, Marrakech, No.4788.

13. Israngkura Na Ayudhya B, (2012) Factors causing delay in payment of residential building projects in Thailand. *International Federation of Surveyors (FIG) FIG Working Week 2012-Knowing to manage the territory, protect the environment, evaluate the cultural heritage*, 6-10 May, Rome, No. 5480.
14. Israngkura Na Ayudhya, B (2013) Compressive and splitting tensile strength of autoclaved aerated concrete (AAC) mixed perlite under high temperatures. *New Developments in Structural Engineering and Construction*. Yazdani, S. and Singh, A. (eds.) ISEC-7, Honolulu, June 18-23, pp.589-594.
15. Israngkura Na Ayudhya B, Ungkoon, Y and Jangtawong, P (2014) A Study of Mechanical Strength of Concrete Mixed Cotton Dust Ash as Replacement of Ordinary Portland Cement. 4th Annual International Conference on Civil Engineering, Structural Engineering and Mechanics, 26-29 May 2014, Athens, Greece . (paper accepted).

