



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (เทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม)

ปริญญา

เทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม

วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การพัฒนาบล็อกคอนกรีตผสมผงยางเป็นวัสดุกันความร้อนและกันลื่น

Development of Concrete Block Mixed with Rubber Crumb for Insulating and Skidproof Material

นามผู้วิจัย นางสาววีรยา สิงห์โต

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์จักรกฤษณ์ มหัจฉริยวงศ์, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์จักรกฤษณ์ มหัจฉริยวงศ์, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

สิงสิงห์ มทาวินยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การพัฒนาบล็อกคอนกรีตผสมยางเป็นวัสดุกันความร้อนและกันลื่น

Development of Concrete Block Mixed with Rubber Crumb for Insulating
and Skidproof Material

โดย

นางสาววีรยา สิงห์โต

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม)

พ.ศ. 2554

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วีรยา สิงห์โต 2554: การพัฒนาบล็อกคอนกรีตผสมผงยางเป็นวัสดุกันความร้อนและกัน
ลื่น ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม) สาขาวิชา
เทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม อาจารย์
ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์จักรกฤษณ์ มหัจฉริยวงศ์, Ph.D. 94 หน้า

การนำสมบัติพิเศษของผงยางด้านความเป็นฉนวนความร้อนและการลดการลื่นของ
พื้นผิวมาใช้ประโยชน์เป็นแนวทางหนึ่งในการนำของเหลือทิ้งมาใช้ประโยชน์ในรูปของวัสดุ
บล็อก-คอนกรีตเป็นวัสดุก่อสร้างชนิดหนึ่งที่เหมาะสมในการนำสมบัติของผงยางมาประยุกต์ใช้
งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์บล็อกคอนกรีตผสมผงยางจากยาง
รถยนต์ใช้แล้วและการทดสอบสมบัติในการใช้งานก่อสร้างและตกแต่งภายนอก ผลการศึกษา
พบว่ามีความเป็นไปได้สูงในการพัฒนาบล็อกคอนกรีตผสมผงยางที่มีสมบัติเด่นและสามารถ
แข่งขันได้ คือมีค่าความหนาแน่นแห้งน้อยกว่าทำให้มีน้ำหนักเบากว่าซึ่งเป็นการลดต้นทุนในการ
ขนส่งโดยค่ากำลังรับแรงอัดผ่านเกณฑ์มาตรฐานเมื่อทำการผสมผงยางให้เป็นสัดส่วนร้อยละ 5
ซึ่งจะรักษาคุณภาพในการใช้งานได้ และค่าความต้านทานการลื่นไถลซึ่งเป็นสมบัติพิเศษในการ
ป้องกันการลื่นไถล รวมทั้งคุณสมบัติในการนำความร้อนที่ต่ำซึ่งสามารถนำไปพัฒนาเป็นวัสดุ
เพื่อการอนุรักษ์พลังงานได้อีกแนวทางหนึ่ง บล็อกคอนกรีตผสมผงยางที่ใช้สัดส่วนผสมของผง
ยางขนาด 12 และ 16 เมช ที่ปริมาณร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก เป็นบล็อกคอนกรีตผสมผงยางที่มีความ
เหมาะสมในการนำไปประยุกต์ใช้ต่อไป

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร. จักรกฤษณ์ มหัจฉริยวงศ์ ประธานกรรมการที่ปรึกษา
วิทยานิพนธ์ ที่ให้คำปรึกษาในการเรียน การค้นคว้าวิจัย เพื่อให้วิทยานิพนธ์มีความครบถ้วนสมบูรณ์
และอาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมทุกท่านที่ได้อบรมสั่งสอน และมอบความรู้อันเป็น
ประโยชน์อย่างยิ่ง ที่จะนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชา
วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมทุกท่าน ที่ได้ให้การช่วยเหลือและให้คำแนะนำต่างๆ

งานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของทุนที่ได้รับอุดหนุนจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย
(สกว.) สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ภายใต้โครงการเชื่อมโยงภาคการผลิตกับงานวิจัย
ทุน สกว.- อุตสาหกรรม และ ความเห็นในรายงานผลการวิจัยเป็นของผู้รับทุน สำนักงานกองทุน
สนับสนุนการวิจัย ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ตุลวิทย์ สถาปจารุ อาจารย์ประจำภาควิชา
วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และอาจารย์ ยงศักดิ์ ขจรผดุง
กิตติ อาจารย์ประจำสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต ที่ให้
ความกรุณาเป็นประธานกรรมการ และผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก ในการสอบปากเปล่าขั้นสุดท้าย
และให้คำแนะนำ ตรวจสอบ และแก้ไขวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณบิดา มารดา พี่ๆ น้องๆ และเพื่อนๆ รวมทั้งผู้มีพระคุณที่มีได้เอื้อนนามไว้ ณ
ที่นี้ทุกท่าน สำหรับการสนับสนุน ความห่วงใยและกำลังใจที่ดีเสมอมา จนสามารถทำทุกอย่างได้
ตามที่มุ่งหวัง รวมทั้งการวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

วีริยา สิงห์โต

เมษายน 2554

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	27
อุปกรณ์	27
วิธีการ	28
ผลและวิจารณ์	39
สรุปและข้อเสนอแนะ	63
สรุป	63
ข้อเสนอแนะ	65
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	66
ภาคผนวก	69
ภาคผนวก ก ขั้นตอนการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุ	70
ภาคผนวก ข ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุก่อสร้างชนิดต่างๆ	85
ภาคผนวก ค ขั้นตอนวิธีการทดสอบมาตรฐาน ASTM C 177-97 (Standard Test for Steady-State Heat Flux Measurements and Thermal Transmission Properties by Mean of the Guarded-Hot- Plate Apparatus) การหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุ	89
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	94

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ข้อได้เปรียบและเสียเปรียบของคอนกรีต	11
2	ค่าการต้านทานการลื่นไถลน้อยที่สุดที่ยอมรับให้ตามมาตรฐาน TRRL	31
3	ส่วนผสมคอนกรีตต่อปริมาตร 1 ลูกบาศก์เมตร	32
4	อัตราส่วนการผสมบล็อกคอนกรีต	33
5	จำนวนตัวอย่างบล็อกคอนกรีตที่ทำการทดสอบที่มีอายุ 28 วัน	37
6	ผลการทดสอบหาความถ่วงจำเพาะของผงยางเบอร์ 6	40
7	ผลการทดสอบหาความถ่วงจำเพาะของผงยางเบอร์ 20	40
8	ผลการทดสอบหาความถ่วงจำเพาะของหินเกล็ด	40
9	ผลการทดสอบหาความถ่วงจำเพาะของทรายละเอียด	40
10	ผลการทดสอบขนาดคละของผงยาง	41
11	โมดูลัสความละเอียดของผงยาง	42
12	เปรียบเทียบค่ากำลังรับแรงอัดของบล็อกคอนกรีตผสมผงยางในอัตราส่วนต่างๆ	44
13	เปรียบเทียบหน่วยน้ำหนักของบล็อกคอนกรีตผสมผงยางในอัตราส่วนต่างๆ	49
14	เปรียบเทียบการดูดซึมน้ำของบล็อกคอนกรีตผสมผงยางในอัตราส่วนต่างๆ	50
15	เปรียบเทียบความต้านทานการลื่นไถลของบล็อกคอนกรีตผสมผงยางในอัตราส่วนต่างๆ	56
16	เปรียบเทียบสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของบล็อกคอนกรีตผสมผงยางในอัตราส่วนต่างๆ	60

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
ก1	ความถ่วงจำเพาะและร้อยละการดูดซึ่มของมวลรวมละเอียด	71
ก2	ความถ่วงจำเพาะและร้อยละการดูดซึ่มของมวลรวมหยาบ	72
ก3	ความถ่วงจำเพาะและร้อยละการดูดซึ่มของผงยางเบอร์ 6	73
ก4	ความถ่วงจำเพาะและร้อยละการดูดซึ่มของผงยางเบอร์ 20	74
ก5	ผลการทดสอบหาขนาดคละและ โมดูลัสความละเอียดของผงยางเบอร์ 6	75
ก6	ผลการทดสอบหาขนาดคละและ โมดูลัสความละเอียดของผงยางเบอร์ 20	76
ก7	ผลการทดสอบหาขนาดคละและ โมดูลัสความละเอียดของผงยางเบอร์ 6และเบอร์ 20	77
ก8	ผลการทดสอบหาหน่วยน้ำหนักและการดูดซึ่มน้ำของ mix Control	78
ก9	ผลการทดสอบหาหน่วยน้ำหนักและการดูดซึ่มน้ำของ mix 6	79
ก10	ผลการทดสอบหาหน่วยน้ำหนักและการดูดซึ่มน้ำของ mix 20	80
ก11	ผลการทดสอบหาหน่วยน้ำหนักและการดูดซึ่มน้ำของ mix 6และ 20	81
ก12	ผลการทดสอบกำลังอัดก่อนบดื้อกคอนกรีตตัวอย่างลูกบาศก์ที่มีอายุ 28 วัน	82
ก13	ผลการทดสอบการต้านทานการสิ้นเปลือง	83
ก14	ผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน	84
ข1	แสดงค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (K) ของวัสดุก่อสร้าง	86

สารบัญญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 การเรียกชื่อองค์ประกอบต่างๆของคอนกรีต	5
2 องค์ประกอบของการผลิตคอนกรีต	13
3 แสดงโครงสร้างของยางรถยนต์	19
4 แสดงส่วนประกอบของหน้ายางรถยนต์	19
5 แสดงส่วนประกอบของยางรถยนต์	20
6 ตัวอย่างผงยางเบอร์ 6 (ก) และเบอร์ 20 (ข)	28
7 เครื่องทดสอบแบบ British Pendulum	30
8 การทดสอบเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน	31
9 ก้อนตัวอย่างบล็อกคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์ ขนาด 5×5×5 ลูกบาศก์เซนติเมตร	35
10 ตัวอย่างสำหรับการทดสอบเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน	35
11 ตัวอย่างสำหรับการทดสอบหาหน่วยน้ำหนัก	36
12 ตัวอย่างสำหรับการทดสอบเพื่อหาค่าความต้านทานการลื่นไถล	36
13 ชุดทดสอบความถ่วงจำเพาะ	39
14 เปรียบเทียบขนาดผลของผงยาง	42
15 การทดสอบกำลังรับแรงอัด	43
16 ค่ากำลังรับแรงอัดของบล็อกคอนกรีตผสมผงยางเบอร์ 6	45
17 ค่ากำลังรับแรงอัดของบล็อกคอนกรีตผสมผงยางเบอร์ 20	45
18 ค่ากำลังรับแรงอัดของบล็อกคอนกรีตผสมผงยางเบอร์ 6 และเบอร์ 20	46
19 ค่ากำลังรับแรงอัดของบล็อกคอนกรีตผสมผงยาง	46
20 ค่ากำลังรับแรงอัดของบล็อกคอนกรีตเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานอุตสาหกรรม	47
21 รูปแบบการวิบัติของก้อนบล็อกคอนกรีตตัวอย่างรูปลูกบาศก์	47
22 เปรียบเทียบหน่วยน้ำหนักของบล็อกคอนกรีตผสมผงยางเบอร์ 6	51
23 เปรียบเทียบหน่วยน้ำหนักของบล็อกคอนกรีตผสมผงยางเบอร์ 20	51
24 เปรียบเทียบหน่วยน้ำหนักของบล็อกคอนกรีตผสมผงยางเบอร์ 6 และเบอร์ 20	52
25 เปรียบเทียบหน่วยน้ำหนักของบล็อกคอนกรีตผสมผงยาง	52
26 เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของบล็อกคอนกรีตผสมผงยางเบอร์ 6	53

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
27	เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของบล็อกคอนกรีตผสมผงยางเบอร์ 20	53
28	เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของบล็อกคอนกรีตผสมผงยางเบอร์ 6 และเบอร์ 20	54
29	เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของบล็อกคอนกรีตผสมผงยาง	54
30	ความต้านทานการลื่นไถลของบล็อกคอนกรีตผสมผงยางเบอร์ 6	57
31	ความต้านทานการลื่นไถลของบล็อกคอนกรีตผสมผงยางเบอร์ 20	57
32	ความต้านทานการลื่นไถลของบล็อกคอนกรีตผสมผงยางเบอร์ 6 และเบอร์ 20	58
33	ความต้านทานการลื่นไถลของบล็อกคอนกรีตผสมผงยาง	58
34	สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของบล็อกคอนกรีตผสมผงยางเบอร์ 6	61
35	สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของบล็อกคอนกรีตผสมผงยางเบอร์ 20	61
36	สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของบล็อกคอนกรีตผสมผงยางเบอร์ 6 และ 20	62
37	สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของบล็อกคอนกรีตผสมผงยาง	62
ภาพผนวกที่		
ค1	การจัดการทั่วไปของส่วนประกอบชุดทดสอบ	92
ค2	ลักษณะการถ่ายเทความร้อนภายในระบบขณะทำการทดสอบ	92

การพัฒนาบล็อกคอนกรีตผสมยางเป็นวัสดุกันความร้อนและกันลื่น

Development of Concrete Block Mixed with Rubber Crumb for Insulating and Skidproof Material

คำนำ

ประเทศไทยเป็นฐานการผลิตรถยนต์ที่สำคัญของบริษัทชั้นนำของโลก รวมถึงไทยยังมีแหล่งวัตถุดิบ คือ ยางธรรมชาติเป็นจำนวนมาก รวมทั้งมีโรงงาน(ฐานการผลิต) ของผู้ผลิตรถยนต์รายใหญ่ของโลก 3 ราย คือ บริษัท บริดจส โตน จำกัด (ประเทศญี่ปุ่น) บริษัท ฟอร์ด จำกัด (ประเทศสหรัฐอเมริกา) และบริษัท มิตสึบิชิ จำกัด (ประเทศฝรั่งเศส) เพื่อรองรับความต้องการยางรถยนต์ที่เพิ่มขึ้นทุกปี อุตสาหกรรมยางรถยนต์ของประเทศไทยมีการเติบโตอย่างรวดเร็วตามภาวะการขยายตัวของตลาดรถยนต์ภายในประเทศ ในปี 2553 มีปริมาณการใช้ยางในประเทศไทยทุกประเภทผลิตภัณฑ์รวมทั้งสิ้น 71.49 ล้านเส้น เป็นผลิตภัณฑ์จากประเภทยางรถยนต์ 14.73 ล้านเส้น คิดเป็น 20.60% (สถาบันวิจัยยาง, 2544) ซึ่งปัญหาที่ตามมาคือ การกำจัดยางรถยนต์เก่าที่ใช้แล้ว การนำยางรถยนต์ไปเผาเป็นวิธีที่ง่ายและต้นทุนต่ำ แต่จะก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมรวมทั้งควันพิษจากการเผายางรถยนต์ ยางรถยนต์เก่าจึงมักถูกกองรวมกันจนเป็นที่อยู่อาศัยของแมลงและสัตว์บางชนิด และอาจเป็นแหล่งเชื้อเพลิงอย่างดีที่ทำให้เกิดอัคคีภัยได้ นอกจากนี้ยังมีปัญหาการลักลอบขนไปทิ้งอย่างผิดกฎหมาย

เมื่อ 20 ปีก่อนหน้านี้ได้มีการศึกษาการแปรรูปยางเก่าให้เป็นเม็ดขนาดเล็ก เพื่อที่จะนำกลับมาใช้ใหม่ เช่น ในงานทำถนนแอสฟัลท์หรือทำวัสดุป้องกันการซึม โดยพบว่าวัสดุจากยางรถยนต์เก่าสามารถนำมาใช้ได้ ในอัตราส่วนที่ค่อนข้างสูง ยกตัวอย่างเช่น วัสดุยางนั้นสามารถที่จะย่อยเป็นชิ้นเล็กๆและนำไปหลอมใหม่เพื่อใช้งานในด้านการทำถนนลาดยางได้ หรือเส้นลวดเสริมใยเหล็กก็สามารถนำมาหลอมกลับมาใช้ใหม่ได้เช่นกัน พบว่าเม็ดยางเก่า เมื่อผ่านการย่อยสลายเป็นเม็ดเล็กๆและนำมาผสมกับวัสดุแอสฟัลท์นั้น จะได้วัสดุทำผิวถนนที่เรียกว่า แอสฟัลท์ยาง ซึ่งมีคุณสมบัติยืดหยุ่นตัวได้สูง สามารถดูดซับพลังงานและแรงได้มากกว่า เพิ่มความเหนียวและลดการเกิดรอยแตกร้าวและมีอายุการใช้งานนานกว่าปกติ นอกจากนี้ยังมีความหนาที่ลดลงจากถนนแอสฟัลท์แบบเดิม ช่วยในการประหยัดทั้งค่าวัสดุและค่าแรงงาน

ดังนั้นการจัดการกับยางรถยนต์เก่าที่ใช้แล้วอย่างเหมาะสมจะช่วยให้การลดปริมาณขยะและสามารถนำทรัพยากรกลับมาใช้ใหม่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ การศึกษานี้เป็นการนำยางรถยนต์เก่าที่ผ่านการย่อยเป็นชิ้นขนาดเล็กมาประยุกต์ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตวัสดุก่อสร้างประเภทบล็อกคอนกรีตปูทางเท้า

งานวิจัยนี้ได้นำยางรถยนต์เก่าซึ่งย่อยเป็นชิ้นเล็กๆ มาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ในการผสมกับซีเมนต์เพื่อใช้เป็นบล็อกคอนกรีตปูทางเท้า โดยนำผงยางมาแทนที่หินเกล็ดและทรายในอัตราส่วนต่างๆ กัน จากนั้นนำส่วนผสมทั้งหมดที่ได้กำหนดแล้วคือ หินเกล็ด ทราย ปูน ผงยาง และน้ำ นำมาขึ้นรูปเพื่อให้บล็อกคอนกรีตปูทางเท้าแข็งตัว เมื่อครบเวลาที่กำหนดแล้วก็ค่อยนำเอาบล็อกคอนกรีตปูทางเท้าไปทดสอบกำลังรับแรงอัด ทดสอบหาหน่วยน้ำหนักและการดูดซึมน้ำ ทดสอบความต้านทานการลื่นไถล และค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำผงขางจากการรีไซเคิลมาเป็นวัสดุในการผลิตบล็อกคอนกรีต
2. เพื่อทดสอบสมบัติพิเศษที่ได้จากการผสมผงขางในบล็อกคอนกรีต



การตรวจเอกสาร

1. ความรู้เกี่ยวกับคอนกรีต

คอนกรีต คือ วัสดุก่อสร้างชนิดหนึ่งที่ใช้กันอย่างแพร่หลายตั้งแต่อดีตจวบจนปัจจุบัน เพราะเป็นวัสดุที่มีความเหมาะสมทั้งด้านราคาและคุณสมบัติต่างๆ คอนกรีตประกอบด้วยส่วนผสม 2 ส่วน คือ วัสดุประสาน ได้แก่ ปูนซีเมนต์ น้ำ และน้ำยาผสมคอนกรีต ผสมกับวัสดุผสม ได้แก่ ทราย หินหรือกรวด เมื่อนำมาผสมกันจะคงสภาพเหลวอยู่ช่วงเวลาหนึ่ง พอที่จะนำไปเทลงในแบบหล่อที่มีรูปร่างตามต้องการ หลังจากนั้นจะแปรสภาพเป็นของแข็ง มีความแข็งแรงและสามารถรับน้ำหนักได้มากขึ้นตามอายุของคอนกรีตที่เพิ่มขึ้น (ชัชวาลย์, 2542)

คอนกรีต คือ วัสดุก่อสร้างที่เป็นส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์ มวลรวมหยาบ (Coarse Aggregate) หรือหิน, มวลรวมละเอียด (Fine Aggregate) หรือทราย และน้ำผสมรวมกันในอัตราส่วนที่พอเหมาะ คือ ทรายแทรกอยู่ในช่องว่างระหว่างมวลรวมหยาบ และมีส่วนผสมของน้ำกับซีเมนต์ ซึ่งเราเรียกว่า ซีเมนต์เพสต์ เป็นตัวประสานให้มวลรวมละเอียดกับมวลรวมหยาบยึดติดกันแน่น โดยอาศัยปฏิกิริยาของน้ำกับปูนซีเมนต์ ทำให้เกิดการก่อตัวยึดเกาะมวลรวมเป็นก้อนแข็ง (สมปอง, 2534)

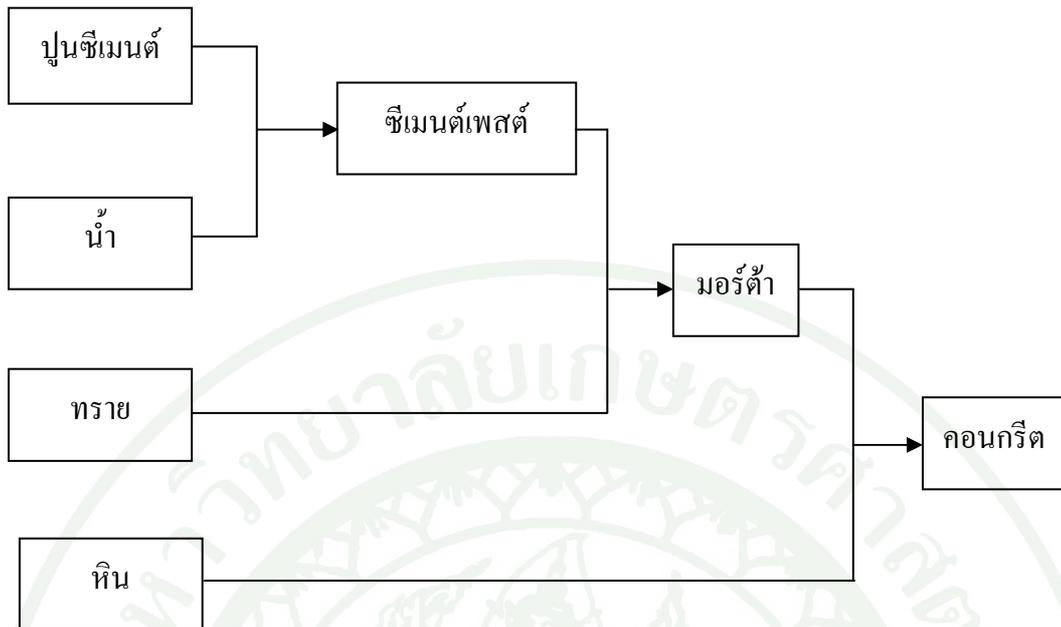
2. องค์ประกอบของคอนกรีต

คอนกรีตประกอบด้วยปูนซีเมนต์ หิน ทราย น้ำ และน้ำยาผสมคอนกรีต โดยเมื่อนำส่วนผสมต่างๆ เหล่านี้มาผสมกันจะมีชื่อเรียกเฉพาะดังนี้

2.1 ปูนซีเมนต์ผสมกับน้ำและน้ำยาผสมคอนกรีต เรียกว่า ซีเมนต์เพสต์ (Cement Paste)

2.2 ซีเมนต์เพสต์ผสมกับทราย เรียกว่า มอร์ต้า (Mortar)

2.3 มอร์ต้าผสมกับหินหรือกรวด เรียกว่าคอนกรีต (Concrete) ซึ่งสามารถนำมาเขียนแผนภูมิได้ดังนี้ (ชัชวาลย์, 2542)



ภาพที่ 1 การเรียกชื่อองค์ประกอบต่างๆของคอนกรีต

ที่มา: ชัชวาลย์ (2542)

3. ส่วนประกอบของคอนกรีต

ทีพีไอคอนกรีต (2551) ส่วนประกอบของคอนกรีต ประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ ทราย หิน น้ำ และน้ำยาผสมคอนกรีต

3.1 ปูนซีเมนต์

3.1.1 วัตถุดิบที่ใช้ผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ได้จากวัตถุดิบที่มีอยู่ภายในประเทศ ซึ่งได้แก่

- ก. ปูนขาว (Lime) ได้จาก หินปูน ดินสอพอง เปลือกหอยและดินปูนขาว
- ข. ซิลิกา (Silica) และอะลูมินา (Alumina) ได้จาก ดินเหนียว หินเชล หินชนวน และกากเตาถลุงเหล็ก

ค. เหล็ก (Iron) ได้จากสินแร่เหล็ก (Iron Ore) ทั่วไป

ง. ยิปซัม (Gypsum) เป็นตัวควบคุมเวลาของการก่อตัวของปูนซีเมนต์

3.1.2 กรรมวิธีการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประกอบด้วยวิธีการดังนี้

ก. การนำวัตถุดิบมาบดละเอียด แล้วผสมกับน้ำให้เข้ากันในอัตราส่วนที่
พอเหมาะ

ข. นำส่วนผสมป้อนเข้าเตาเผารูปทรงกระบอก (Rotary Kilns) ซึ่งมีลักษณะ
เป็นท่อเหล็กกลมขนาดใหญ่เส้นผ่าศูนย์กลาง 12 - 25 ฟุต มีความยาว 300 - 700 ฟุต เตานี้จะวางเอียง
ลาดประมาณ 1/2 นิ้วต่อความยาว 1 ฟุต เชื้อเพลิงที่ใช้ ได้แก่ ถ่านหินบด แก๊ส น้ำมัน ฯลฯ อุณหภูมิที่
เผาประมาณ 2700 - 3000 F° ขณะเผาเผานี้จะหมุนไปด้วยเพื่อคลุกเคล้าวัตถุดิบให้ทั่ว

ค. วัตถุดิบที่เผาแล้วจะได้ปูนเม็ด (Clinker) ปูนเม็ดที่เย็นตัวแล้วจะถูกนำไปผสม
กับยิปซัม (Gypsum)

ง. นำปูนเม็ดที่ผสมกับยิปซัมแล้วเข้าบดละเอียดในโรงบดปูน (Cement Mill)
จะได้ปูนซีเมนต์ผงละเอียดนำไปใช้งานต่อไป

3.1.3 ประเภทของงานปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ และเครื่องหมายการค้าสำหรับ
ปูนซีเมนต์ที่ผลิตขึ้นในประเทศไทย บริษัทผู้ผลิตได้ทดสอบและได้รับตรารับรองจากสำนักงาน
มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (ม.อ.ก. 15 เล่ม 1) และสามารถเทียบได้กับมาตรฐานอเมริกัน
(ASTM = The American Society For Testing Material) และมาตรฐานของอังกฤษ (B.S = British
Standard) ซึ่งแบ่งออกเป็น 5 ประเภทใหญ่ๆ ด้วยกันคือ

ก. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา (Ordinary Portland) ได้รับตรารับรอง ม.อ.ก.
15 เล่ม 1 เทียบได้กับมาตรฐานอเมริกา ASTM C-50 Type 1 และมาตรฐานของอังกฤษ B.S 12 เป็น
ปูนซีเมนต์ ที่ใช้สำหรับงานก่อสร้างทั่วไป แต่ต้องไม่ใช่งานพิเศษ เช่นงานคอนกรีตเสริมเหล็ก
สะพาน พื้นถนน เป็นต้น ปูนประเภทนี้ไม่ต้านทานกับพวกเกลือซัลเฟต ได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ต
แลนด์ตราช้าง ตราพญานาคเศียรเดียว

ข. ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ดัดแปลง (Modified Portland Cement) เป็นปูนซีเมนต์ที่มีความต้านทานพวกเกลือซัลเฟตได้ดีกว่าชนิดแรกและเหมาะสมกับงานคอนกรีตในแถบอากาศร้อน เพราะความร้อนที่เกิดขึ้นขณะทำปฏิกิริยากับน้ำต่ำ งานที่เหมาะสมกับงานคอนกรีตประเภทนี้ เช่น สร้างคลองส่งน้ำ เขื่อนกั้นดิน ตอม่อ ฐานราก ได้แก่ ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ตราพญานาคเจ็ดเศียร

ค. ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์แข็งตัวเร็ว (High - Early Portland Cement) ได้รับความรับรองของ ม.อ.ก. 15 เล่ม 1 เทียบได้กับมาตรฐานอเมริกา ASTM C 150 Type III และมาตรฐานอังกฤษ B.S. 12 เป็นปูนซีเมนต์ที่มีเนื้อละเอียดกว่าปูนซีเมนต์ธรรมดา มีประโยชน์สำหรับงานคอนกรีตที่ต้องการใช้งานเร็ว หรือถอดแบบเร็ว เช่น เสาเข็มคอนกรีต เสาหรือคานที่ต้องการถอดแบบเร็ว ได้แก่ ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ตราอร่าม ตราพญานาคสีแดงและตราสามเพชร

ง. ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์เกิดความร้อนต่ำ (Low - Heat Portland Cement) เป็นปูนซีเมนต์ที่ให้ความร้อนต่ำในขณะก่อตัว ซึ่งเป็นการลดปริมาณการขยายตัวและการหดตัวภายหลังของคอนกรีต เหมาะสำหรับงานสร้างเขื่อนขนาดใหญ่ ประเทศไทยไม่มีผลผลิตออกขายทั่วไป จะผลิตให้กับผู้ที่ตั้งโดยเฉพาะ

จ. ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ทนเกลือซัลเฟตได้สูง (Sulfate - Resistant Portland Cement) ได้รับความรับรองของ ม.อ.ก. 15 เล่ม 1 เทียบได้กับมาตรฐานอเมริกา ASTM C. 150 Type V เป็นปูนซีเมนต์ที่ต้านทานเกลือซัลเฟตได้สูง เหมาะสำหรับงานโครงสร้างที่แช่อยู่ในน้ำ ในบริเวณใกล้ทะเลหรือบริเวณที่มีดินเค็ม ได้แก่ ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ตราปลาฉลาม ส่วนปูนซีเมนต์ตราเสือ ตรานกอินทรี ตรางูเห่า เป็นปูนซีเมนต์ที่นำเอาทรายหรือหินบดให้ละเอียดผสมเข้าไปในปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ธรรมดาประมาณ 25 - 30 % ประเภทนี้เทียบได้กับมาตรฐานของอังกฤษ B.S 12 ผลิตขึ้นเพื่อให้มีคุณสมบัติง่ายต่อการใช้งานคอนกรีตและประหยัด เป็นปูนซีเมนต์ที่เกิดความร้อนน้อยในขณะทำปฏิกิริยาไม่ทำให้เกิดความแตกร้าวง่ายเหมาะสำหรับงานก่อสร้างทั่วไป เช่น สร้างบ้านอาศัยและใช้เป็นส่วนผสมของปูนฉาบปูนก่อได้ดี

3.2 ทราย

ทราย เป็นวัสดุที่สำคัญชนิดหนึ่ง ซึ่งเป็นส่วนผสมของคอนกรีตและมอร์ต้า (Mortar) ที่นำมาใช้ก่อหรือฉาบ ทรายได้จากการแตกตัวของหินก้อนใหญ่ซึ่งเกิดการเปลี่ยนแปลงทาง

ธรรมชาติทำให้ได้หินเม็ดเล็กๆ เรียกว่า ทราย ปัจจุบันเครื่องมือและอุปกรณ์ในการเก็บทราย ได้แก่ เรือดูดทรายสามารถนำทรายขึ้นมาใช้ได้อย่างรวดเร็ว

3.2.1 แหล่งที่เกิดของทราย ทรายธรรมชาติมีแหล่งที่เกิดอยู่ 2 ลักษณะด้วยกัน คือ

ก. ทรายบกหรือทรายบ่อ (Pit Sand or Bank Sand) เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ เกิดจากการแตกแยกเสียหายชำรุดของหินทราย (Sand Stone) จะฝังอยู่ใต้พื้นดินเป็นแหล่งๆ ทรายชนิดนี้นิยมใช้มาก ลักษณะของทรายบก มีลักษณะเป็นเหลี่ยม มีแฉงมุมแข็งแรงดี เป็นทรายที่เหมาะสมแก่การผสมคอนกรีต เพราะการแทรกตัวของทรายจะทำให้เกิดช่องว่างของคอนกรีตลดน้อยลงจะได้คอนกรีตที่ดี ข้อเสีย ทรายบกกนี้มักจะมีดิน ซากพืชซากสัตว์ปะปนอยู่ เวลาจะนำทรายไปใช้งาน จะต้องล้างหรือทำความสะอาดทรายเสียก่อน จะด้วยวิธีใดก็ตาม ปัจจุบันเป็นทรายที่หาได้ยาก

ข. ทรายแม่น้ำ (River Sand) ทรายชนิดนี้ถูกภัยจากปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ พัดพาหรือนำมาจากที่อื่น รวมตัวกันอยู่ในแถบราบลุ่ม ตามท้องแม่น้ำ ลำคลองปัจจุบันใช้ทรายชนิดนี้มากเพราะหาได้ง่ายกว่าทรายบก ลักษณะของทรายแม่น้ำ มีลักษณะกลมเกลี้ยงสะอาด เนื่องจากการพัดพาน้ำ ทำให้สิ่งสกปรกที่ติดอยู่กับทรายตกลงระหว่างทาง นอกจากนี้ขณะที่ถูกพัดพา มากับน้ำนั้น เม็ดทรายจะเกิดการเสียดสีกันจนกระทั่งเป็นทรายที่มีลักษณะกลมเกลี้ยง ข้อเสีย ลักษณะกลมเกลี้ยงของทรายแม่น้ำ ทำให้การประสานกับส่วนผสมของปูนซีเมนต์ไม่ดีเท่าที่ควร ทำให้เกิดช่องว่าง

3.2.2 ชนิดของทราย ในวงการก่อสร้างทั่วไป ทรายที่นิยมใช้กันอยู่แพร่หลายนั้น ได้จากทรายแม่น้ำ มีอยู่ 3 ชนิดด้วยกัน คือ

ก. ทรายหยาบหรือที่เรียกว่า ทรายราชบุรี เป็นทรายเม็ดใหญ่มีเหลี่ยมแฉงมุมแข็งแรงดีเหมาะสำหรับใช้เป็นส่วนผสมของคอนกรีตที่ต้องการต้านทานกำลังสูง เช่น โครงสร้างสะพาน อาคารที่เป็นคอนกรีตเสริมเหล็ก ฐานราก เขื่อนกั้นดิน เป็นต้น ทรายชนิดนี้จะมีเปลือกหอยและเศษหินปะปน เวลาจะใช้ต้องนำไปร่อนด้วยตะแกรงทำความสะอาดเสียก่อน

ข. ทรายกลางหรือที่เรียกว่า ทรายอ่างทอง เป็นทรายที่มีขนาดปานกลาง ไม่หยาบและไม่ละเอียดนัก เหมาะสำหรับงานปูนทั่วไป เช่น นำมาเป็นส่วนผสมของปูนก่อ สำหรับก่อ

อิฐหรือใช้เทพื้นคอนกรีตที่ไม่ต้องการความแข็งแรงมากนัก ทราซชนิดนี้เวลาจะใช้จะต้องร่อนเอาเปลือกหอยและสิ่งอื่นๆที่ไม่ต้องการออกเสียก่อน

ค. ทราซละเอียดหรือที่เรียกว่า ทราซยอชยา เป็นทราซเม็ดละเอียดมาก นำมาใช้กับงานที่ไม่ต้องใช้กำลังมากนัก เหมาะสำหรับนำมาเป็นส่วนผสมของปูนฉาบผิวหน้าทำบัวทำลวดลายต่างๆ ก่อนใช้จะต้องร่อนทราซเพื่อขจัดสิ่งต่างๆ ที่ไม่ต้องการออก

3.3 หิน

เป็นวัสดุก่อสร้างที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ มีความแข็งแรง ทนทาน สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายอย่าง โดยเฉพาะในงานก่อสร้างนำหินมาใช้ประโยชน์โดยไม่ต้องเปลี่ยนแปลงสถานะทางธรรมชาติ

3.3.1 คุณสมบัติของหินที่ใช้ในงานคอนกรีตมีลักษณะดังนี้

- ก. มีความแข็งแรงดีพอ
- ข. มีผิวขรุขระ มีเหลี่ยม เพื่อให้ส่วนผสมที่เป็นปูนซีเมนต์ยึดเกาะและแทรกตัวอยู่ได้
- ค. ต้องมีความสะอาด
- ง. มีขนาดใกล้เคียงกัน
- จ. มีความคงทนต่อปฏิกิริยาเคมี ทนทานต่อการขูดขีดและการสึกกร่อน

3.3.2 ขนาดของหินที่ใช้ในงานก่อสร้าง

หินที่นำมาใช้กันมากในงานก่อสร้าง ได้แก่ หินปูน ทั้งนี้เพราะหาได้ง่ายและราคาถูก ส่วนหินที่มีราคาสูงจะใช้กับงานที่สำคัญ ขนาดของหินในวงการช่างของประเทศไทย นิยมเรียกเป็นเบอร์ ดังนี้

ก. หินฝุ่น	มีขนาด 1/2 นิ้วลงไป	ใช้ทำถนนลาดยาง
ข. หินเบอร์ 1	มีขนาด 1/2 - 1 นิ้ว	ใช้ผสมคอนกรีต
ค. หินเบอร์ 2	มีขนาด 1 - 2 นิ้ว	ใช้ผสมคอนกรีต
ง. หินเบอร์ 3	มีขนาด 2 - 3 นิ้ว	ใช้ผสมคอนกรีต
จ. หินใหญ่	มีขนาด 4 นิ้วขึ้นไป	ใช้ผสมคอนกรีต

3.4 น้ำ

น้ำที่ใช้ผสมคอนกรีต ทำให้เกิดปฏิกิริยากับปูนซีเมนต์ เกิดการก่อและแข็งตัวเป็นคอนกรีตที่มีความแข็งแรงได้และยังมีอิทธิพลที่จะทำให้กำลังของคอนกรีตลดลง ทั้งเป็นตัวที่จะทำให้การก่อตัวของคอนกรีตช้าหรือเร็วขึ้นด้วย จึงนับได้ว่า น้ำมีความสำคัญไม่น้อยต่องานคอนกรีต

3.4.1 คุณสมบัติของน้ำที่ใช้ผสมคอนกรีต

น้ำที่ใช้ผสมคอนกรีตจะต้องเป็นน้ำที่สะอาด ปราศจากจากฝุ่นผง น้ำมัน กรดต่าง และสารอินทรีย์อื่น สิ่งต่างๆ เหล่านี้จะทำให้คุณภาพของคอนกรีตต่ำลง น้ำที่ใช้ควรจะเป็นน้ำจืดหรือน้ำประปา โดยเฉพาะในงานคอนกรีตเสริมเหล็ก ถ้าใช้น้ำเค็มจะทำให้เหล็กเป็นสนิมเกิดความเสียหายแก่งานได้

3.4.2 หน้าที่ของน้ำในงานคอนกรีต โดยทั่วไป น้ำ มีหน้าที่สำคัญดังนี้ คือ

ก. ล้างวัสดุผสม เพื่อทำให้วัสดุผสมสะอาด น้ำที่ใช้ควรมีสารต่างๆที่เป็นอันตรายต่อคอนกรีตผสมอยู่ไม่มากนัก เพราะอาจจะทำให้วัสดุผสมสุกก่อน คอนกรีตแข็งตัวช้า หรือกำลังลดลง ฉะนั้นจึงควรเปลี่ยนน้ำที่ใช้ล้างวัสดุผสมอยู่บ่อยๆ อย่าปล่อยให้หน้าดำเป็นโคลน กลับทำให้วัสดุผสมสกปรกขึ้นด้วย

ข. บ่มคอนกรีต เพื่อให้คอนกรีตแข็งตัวอย่างสมบูรณ์ น้ำที่มีสารต่างๆ เจือปนอยู่ อาจใช้ในการบ่มคอนกรีตได้ ข้อสำคัญน้ำที่ใช้จะต้องไม่ทำให้คอนกรีตเกิดรอยเปื้อนหรือเกิดสีบนผิวของคอนกรีต

ค. ผสมคอนกรีต นำทำหน้าที่ย้ำเข้าไปผสมกับปูนซีเมนต์ ทราบและหินให้เกิดความเหลวสามารถเทเข้าแบบหล่อได้และยังเป็นตัวที่ทำปฏิกิริยาเคมีกับปูนซีเมนต์จะกลายเป็นปูนซึ่งเป็นตัวประสานระหว่างเม็ดของวัสดุ ทำให้ก่อตัวยึดเกาะกันแน่นและแข็งแรงขึ้นเป็นลำดับ

3.5 น้ำยาผสมคอนกรีต

น้ำยาผสมคอนกรีต หน้าที่สำคัญของน้ำยาผสมคอนกรีต คือ ช่วยปรับปรุงคุณสมบัติทั้งคอนกรีตที่เหลว และคอนกรีตที่แข็งตัวแล้วในด้านต่างๆ เช่น เวลาการก่อตัว ความสามารถเทได้ กำลังอัด ความทนทาน เป็นต้น

4. ข้อดีข้อเสียของคอนกรีต

ข้อดีข้อเสียของคอนกรีต คอนกรีตเป็นวัสดุก่อสร้างที่นิยมใช้กันอย่างมาตั้งแต่อดีต เนื่องจากความสามารถในการนำไปใช้งานได้อย่างกว้างขวางแต่การนำคอนกรีตไปใช้งานก็ต้องคำนึงถึงข้อจำกัดบางประการด้วยดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อได้เปรียบและเสียเปรียบของคอนกรีต

ข้อได้เปรียบ	ข้อเสียเปรียบ
1) สามารถหล่อขึ้นรูปร่างตามที่ต้องการได้	1) ความสามารถรับแรงดึงต่ำ
2) ราคาถูก	2) มีการเปลี่ยนแปลงปริมาตร
3) มีความทนทานสูง	3) มีความยึดตัวต่ำ
4) ทนไฟได้ดี	4) อัตรากำลังต่อน้ำหนักต่ำ
5) สามารถเทหล่อได้ในสภาพที่ก่อสร้าง	
6) สามารถทำให้ผิวสวยงามได้	

ที่มา: ชัชวาลย์ (2542)

5. ลักษณะของคอนกรีต

คอนกรีตที่ดีกับคอนกรีตที่ไม่ดี คอนกรีตที่ดีจะเป็นผลจากการที่อนุภาควัสดุผสมแต่ละทุกอนุภาค ในส่วนผสมถูกเคลือบหรือหุ้มด้วยซีเมนต์เพสต์ ซึ่งเป็นส่วนผสมที่เกิดจากปูนซีเมนต์กับน้ำ เกิดปฏิกิริยาทางเคมีที่เรียกว่า ไฮเดรชัน ระหว่างอนุภาคต่างๆ ได้ถูกแทนที่ด้วยซีเมนต์เพสต์ดังนั้นคุณภาพของคอนกรีตจึงขึ้นอยู่กับกำลังของซีเมนต์เพสต์เป็นสำคัญนอกเหนือไปจากความแข็งแรงของวัสดุผสมที่ใช้ คอนกรีตแบ่งออกเป็นสองส่วนใหญ่ๆ คือ เพสต์และมวลรวมที่เป็นแร่ธาตุ อนุภาคแต่ละชิ้นของมวลรวมจะฝังตัวและถูกหุ้มด้วยเพสต์ ปริมาตรของส่วนผสมทั้งหมดเท่ากับ ปริมาตรของเพสต์บวกกับปริมาตรของมวลรวมและปริมาตรของอากาศที่อยู่ในช่องว่าง เกี่ยวกับ ปริมาตรของมวลรวม ซีเมนต์เพสต์ เนื่องจากเพสต์เป็นตัวหุ้มและกั้นอนุภาคของมวลรวมแต่ละเม็ดให้ออกห่างจากกัน กำลังของคอนกรีตจึงขึ้นอยู่กับกำลังของเพสต์นั่นเอง เพสต์จะป้องกันไม่ให้มวลรวมขัดกัน ไม่ได้ช่วยให้คอนกรีตที่แข็งตัวแล้วมีกำลังสูงขึ้นแต่อย่างใด หน่วยแรงต่างๆ ก็ดี น้ำที่ไหลซึมก็ดีหรือสิ่งประกอบต่างๆ ที่เกี่ยวกับลม ฟ้า อากาศจะต้องกระทำผ่านเพสต์นี้

กำลังและความหนาแน่นของเพสต์ส่วนใหญ่ขึ้นอยู่กับปริมาณแรกเริ่มของน้ำซึ่งบรรจุอยู่ในช่องว่างระหว่างเม็ดซีเมนต์และขึ้นอยู่กับขนาดของปฏิกิริยาระหว่างซีเมนต์กับน้ำ ปริมาณน้ำซึ่งบรรจุในช่องว่างนี้ปกติจะอยู่ในรูปอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (Water Cement Ratio C/W) คอนกรีตที่ดี เป็นคอนกรีตที่ต้องมีคุณสมบัติ เป็นที่พอใจทั้งในสภาพคอนกรีตเหลว กล่าวคือ ตั้งแต่การผสม การลำเลียงจากเครื่องผสม การเทลงแบบหล่อ และการอัดแน่น และเป็นพอใจในสภาพคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว

คอนกรีตที่ไม่ดี โดยทั่วไปจะมีความชื้นเหลวไม่เหมาะสมกับการใช้งาน เมื่อแข็งตัวจะมีรูโพรงและไม่เป็นเนื้อเดียวกันทั้ง โครงสร้าง

โดยสรุปการที่จะให้ได้คอนกรีตที่ดีนั้น จำเป็นอย่างยิ่งที่จะเข้าใจองค์ประกอบต่างๆ ดังนี้ มีความรู้ในเรื่องคุณสมบัติของวัสดุและหลักการออกแบบ ทราบถึงสภาพทั่วไปของหน่วยงานก่อสร้าง วัตถุประสงค์ต่างๆ ต้องมีคุณภาพอยู่ในมาตรฐานที่กำหนด มีความระมัดระวังในเรื่อง การชั่งตวง ส่วนผสมทุกชนิด ต้องมีการลำเลียง การผสม การเทลงแบบ การอัดแน่นอย่างเหมาะสม มีการบ่มอย่างถูกต้อง และมีการควบคุมงานคอนกรีตที่ดีทุกขั้นตอน

6. องค์ประกอบของการผลิตคอนกรีตให้ได้คุณภาพ

การที่จะผลิตคอนกรีตให้ได้คุณภาพตามความต้องการนั้น ควรจะทราบองค์ประกอบต่างๆของการผลิตคอนกรีตเป็นอย่างดี ดังแสดงรายละเอียดในภาพต่อไปนี้ (ชัชวาลย์, 2542)



ภาพที่ 2 องค์ประกอบของการผลิตคอนกรีต

ที่มา: ชัชวาลย์ (2542)

7. บล็อกคอนกรีต

ความหมายของบล็อกคอนกรีต คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น ตามมาตรฐาน มอก.827-2531 คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น หมายถึง ก้อนคอนกรีตตันที่สามารถนำมาวางเรียงประสานกันได้อย่างต่อเนื่อง มีสีตามธรรมชาติ หรืออาจมีผงสีเจือปนอยู่ทั้งบล็อกหรืออาจมีเฉดที่ชั้นผิวหน้า และจะมีรูปร่างแบบใดก็ได้ที่เหมาะสมสำหรับใช้ปูพื้น เช่น ถนน ทางเท้า ลานจอดรถ และลานกองเก็บวัสดุ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับกรอบแบบโครงสร้างชั้นพื้นและชั้นรองพื้น ให้สอดคล้องกับสภาพการใช้งาน ชั้นผิวหน้า หมายถึง ชั้นผิวของบล็อกส่วนที่รับการเสียดสี และอาจมีการลบบวมด้วยก็ได้ ความสำเร็จ หมายถึง ความสำเร็จของด้านข้าง โดยรอบกับพื้นผิวล่างของบล็อกและการขนานของพื้นผิวหน้ากับพื้นผิวล่าง (ประณต, 2548)

บล็อกคอนกรีต คือ ก้อนคอนกรีตทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ทราย หินเกล็ด และน้ำ โดยการอัดให้เป็นก้อน

บล็อกคอนกรีตผสมยางรีไซเคิล คือ คอนกรีตบล็อกที่ทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ทราย หินเกล็ด น้ำ และยางรถยนต์เก่าที่ผ่านการย่อยสลายให้เป็นเม็ดเล็ก ในอัตราส่วนต่างกัน โดยทำการอัดเป็นก้อน มีขนาด 70×190×390 มิลลิเมตร สำหรับการปูทางเดินเท้า ที่ออกแบบไม่รับน้ำหนักบรรทุกใดๆ นอกจากตัวน้ำหนักเอง ประสิทธิภาพของบล็อกคอนกรีต คือ ความสามารถที่ทำให้เกิดผลในการทำงาน ณ ที่นี้คือความสามารถในการต้านทานแรงอัด ต้านทานการลื่นไถล และมีความเป็นฉนวนความร้อน

7.1 กระบวนการผลิตบล็อกคอนกรีต (ประณต, 2548) มี 3 ขั้นตอน ดังนี้

7.1.1 การผลิตคอนกรีตที่ถูกต้องนั้น จำเป็นจะต้องประกอบด้วยปัจจัยหลายประการ เป็นต้นว่า อัตราส่วนผสมของคอนกรีตจะต้องถูกต้อง วิธีการผสมจะต้องให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกัน การขนส่งคอนกรีตจะต้องกระทำโดยที่คอนกรีตไม่เกิดการแยกตัวของส่วนผสม และคอนกรีตจะต้องไม่ก่อตัวก่อนเท นอกจากนั้นในการเทคอนกรีตสิ่งที่ต้องตรวจสอบให้แน่ใจก่อนเทได้แก่ พื้นที่ที่จะเท แบบและอุปกรณ์ต่างๆ ที่ฝังในคอนกรีต เมื่อเทคอนกรีตแล้วจะต้องทำให้คอนกรีตแน่น เพื่อจะรับน้ำหนักได้มากขึ้นเมื่อแข็งตัว และหลังผิวของคอนกรีตแห้ง เพียงหมาดๆ ปราศจากรอยแล้วจะต้องทำการบ่มคอนกรีตเพื่อไม่ให้น้ำในคอนกรีตนั้นระเหยออก ซึ่งจะเป็นผลที่จะทำให้คอนกรีตแข็งแรงไม่เต็มที่

7.1.2 การอัดคอนกรีตลงแม่พิมพ์ คอนกรีตที่มีส่วนผสมที่ถูกต้อง มีการขนส่งที่ดี แต่ ถ้าเทเข้าแบบแล้วจะไม่ทำให้คอนกรีตแน่นได้ คอนกรีตจะเป็นรูโพรงเนื่องจากการเทไม่เต็ม หรือมี ฟองอากาศฝังตัวอยู่ในเนื้อคอนกรีต สิ่งต่างๆ เหล่านี้เป็นตัวทำให้กำลังของคอนกรีตลดต่ำลง คอนกรีตที่ผ่านการทำให้แน่นแล้ว ฟองอากาศในเนื้อคอนกรีตจะลดน้อยลงโดยเฉพาะในงาน คอนกรีตเสริมเหล็ก วิธีที่นิยมใช้กันอยู่ได้แก่

ก. การกระทุ้งคอนกรีตด้วยมือ โดยใช้ไม้หรือเหล็กกระทุ้ง

ข. โคนการสั่นหรือเขย่าคอนกรีต โดยใช้เครื่องสั่นคอนกรีต วิธีนี้เป็นที่นิยมใช้กันทั่วไป เพราะสะดวกและง่ายต่อการใช้งาน ข้อสำคัญก่อนใช้เครื่องสั่นควรพิจารณาเกี่ยวกับความ มั่นคงของแบบหล่อด้วย

7.1.3 การบ่มคอนกรีตหรือการรักษาคอนกรีต เป็นการควบคุมและป้องกันมิให้น้ำที่ ผสมในคอนกรีตเพื่อทำปฏิกิริยากับปูนซีเมนต์ระเหยออก ถ้าน้ำแห้งไปก่อนกำหนดในระยะเวลา การแข็งตัวก็จะหยุดอยู่ในระยะนั้นและถ้าอยู่ในระยะเวลาที่มีความแข็งแรงไม่พอที่จะต้านทานการ หดตัวอันเนื่องมาจากอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงแล้ว อาจทำให้เกิดความเสียหายแตกร้าวได้ในเนื้อ คอนกรีตหรือตามผิวคอนกรีต ดังนั้นจึงต้องมีวิธีการบ่มคอนกรีตหลังจากผิวหน้าคอนกรีตแห้ง หมาดๆ ระยะเวลาในการบ่มควรอยู่ในช่วง 7 - 14 วัน (ปูนซีเมนต์ธรรมดา) และ 28 วันเป็นการ ขอมรับว่าคอนกรีตแข็งแรงเต็มที่ วิธีการบ่มคอนกรีต มีอยู่หลายวิธี จะเลือกใช้วิธีใดขึ้นอยู่กับสภาพ การ โดยเฉพาะของคอนกรีตที่สร้างขึ้น อย่างไรก็ตามก็ควรคำนึงถึงวิธีการที่ถูกที่สุดและให้ผลดี เพื่อเป็น การประหยัดรายจ่าย วิธีบ่มคอนกรีตที่นิยมใช้กันมีดังนี้ คือ

ก. การขังน้ำ เป็นวิธีการบ่มที่ให้ผลดี แต่ต้องใช้แรงงานในการก่อบนดินเพื่อขัง น้ำ และต้องมีน้ำเพียงพอขังอยู่ วิธีนี้ใช้ได้เฉพาะงานบนพื้นที่ราบ เช่น พื้นถนน พื้นทางเท้า เป็นต้น

ข. การใช้วัสดุเปียกชื้นคลุม วิธีนี้ใช้ได้ผลดีเช่นกัน อาจจะใช้ผ้าใบ กระจอบ ขี้เถ้า ขี้เถ้าปวงหรือวัสดุอื่น ๆ คลุมให้ทั่วทำการคลุมทันทีที่คอนกรีตแข็งตัวแล้วรดน้ำให้ชุ่ม ตลอดเวลาของการบ่มอยู่วิธีนี้ประหยัดค่าใช้จ่าย ประหยัดเวลา และสามารถคลุมได้ทั้งแนวราบ และในแนวตั้ง

7.2 เครื่องมือผลิตบล็อกคอนกรีต

7.2.1 เครื่องมือผลิตบล็อกคอนกรีตแบบใช้แรงคน ประกอบด้วย เครื่องผสมคอนกรีต และเครื่องอัดบล็อกคอนกรีต

ก. เครื่องผสมคอนกรีต ลักษณะเป็นถังหมุนผสมคอนกรีต ขนาดความจุ 0.31 ลูกบาศก์เมตร ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 5 แรงม้าเป็นต้น

ข. เครื่องอัดบล็อกคอนกรีต ขนาดตัวเครื่องประมาณ 50×80×100 เซนติเมตร ประกอบด้วยกระบะใส่คอนกรีต แม่พิมพ์บล็อกคอนกรีตซึ่งผลิตได้ครั้งละ 2 ก้อนและชุดอัดบล็อกคอนกรีต

7.2.2 เครื่องอัดบล็อกคอนกรีตแบบใช้ไฮดรอลิก ประกอบด้วย เครื่องผสมคอนกรีต สายพานลำเลียงคอนกรีต และเครื่องอัดบล็อกคอนกรีต

ก. เครื่องผสมคอนกรีต ลักษณะเป็นถังหมุนผสมคอนกรีต ขนาดความจุ 0.36 ลูกบาศก์เมตร ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 5 แรงม้าเป็นต้น

ข. สายพานลำเลียงคอนกรีต ทำหน้าที่ลำเลียงคอนกรีตจากเครื่องผสมไปยังกระบะคอนกรีต ซึ่งอยู่ด้านบนของแม่พิมพ์ ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 3 แรงม้าเป็นต้น

ค. เครื่องอัดบล็อกคอนกรีต ขนาดตัวเครื่องประมาณ 80×120×150 เซนติเมตร

8. ยางรถยนต์ (Tire Rubber)

ยางและล้อรถยนต์มีความสำคัญในการขับเคลื่อนอย่างมาก อย่างเช่น การบังคับทิศทางรถ หรือ แม้แต่การประหยัดเชื้อเพลิง ปัจจุบันมีความเจริญก้าวหน้าทางด้านเทคโนโลยีการผลิต ทำให้ยางมีประสิทธิภาพมากขึ้นด้วย โดยทั่วไปยางรถยนต์จะทำหน้าที่คือ การรองรับน้ำหนักรถ และน้ำหนักบรรทุก หรือเรียกว่าเป็นการรับแรงในแนวรัศมีช่วยลดแรงกระแทก ช่วยให้เกิดความนุ่มนวล บังคับทิศทางรถเคลื่อนที่ของรถ (ชัยวุฒิ, 2531)

8.1 ส่วนประกอบหรือสัดส่วนในโครงสร้างของยางรถยนต์

ยางธรรมชาติที่ผลิตได้ในโลกถูกใช้เป็นผลิตภัณฑ์ที่หลากหลายชนิด ซึ่งยางธรรมชาติในรูปร่างแผ่นรมควัน และยางแท่งถึงร้อยละ 70 ที่ผลิตได้ในโลกใช้ในการผลิตยางรถยนต์ โดยในยางรถยนต์แต่ละชนิดจะมีปริมาณยางธรรมชาติในสัดส่วนที่แตกต่างกันระหว่าง ร้อยละ 6 ถึง ร้อยละ 36 ของน้ำหนักผลิตภัณฑ์ ซึ่งในการผลิตยางรถยนต์มีบริษัทใหญ่ 3 บริษัท ที่สามารถสร้างอิทธิพลโดยการจับมือกันซื้อยางรถยนต์จากส่วนกลาง คือ บริษัท บริตส โทน จำกัด (ประเทศญี่ปุ่น) บริษัท มิซลิน จำกัด (ประเทศฝรั่งเศส) และบริษัท กู๊ดเยียร์ จำกัด (ประเทศสหรัฐอเมริกา)

8.2 กระบวนการผลิตยางรถยนต์ ประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆ ดังนี้

8.2.1 การผสม

การผลิตยางรถยนต์เริ่มต้นด้วยการเอายางดิบ และส่วนผสมต่าง ๆ ผสมกันเข้าป้อนจนกระทั่งถึงความร้อนที่กำหนด ยางที่ผสมแล้วจะถูกนำมาปล่อยลงเครื่องบด ซึ่งจะบดยางที่ผสมแล้วออกเป็นแผ่น ๆ และตัดออกเป็นชิ้นยาว ปล่อยขึ้นไปบนสายพานเพื่อให้เย็นลง

8.2.2 การรีดยาง

ยางที่ผสมเสร็จ สำหรับใช้เป็นส่วนนอก และส่วนกลาง จะถูกส่งไปยังที่บด เพื่อให้ร้อนแล้วส่งต่อไปที่เครื่องรีด ในเครื่องรีดจะมีเกลียวหมุน ซึ่งจะผลักดันยางให้ผ่านออกมาตามรูปที่ต้องการและยางที่รีดแล้วจะถูกทำให้เย็นลง ก่อนที่จะตัดเป็นชิ้นตามต้องการ

8.2.3 การเคลือบยาง

การเคลือบยางลงบนผ้าใบไนลอนหรือโพลีเอสเตอร์ เส้นไนลอน หรือโพลีเอสเตอร์ที่ใช้เป็น โครงชั้น ในเป็นเส้นใยทางวิทยาศาสตร์ เส้นใย จะผ่านเข้าไปในลูกกลิ้งของเครื่องอัดยาง และเครื่องอัดยางก็จะอัดยางลงบนเส้นใยทั้งสองหน้า จำนวนของยางที่จะอัดลงบนเส้นใยนี้ จะต้องมีการควบคุม เพราะมีผลต่ออายุการใช้งานของยาง

8.2.4 การตัดผ้าใบ

เมื่อผ้าใบผ่านจากแผนกเคลือบยาง ก็จะถูกส่งมายังแผนกตัด เพื่อตัดออกเป็นชิ้นตามขนาดที่ต้องการ ชิ้นในลอนที่ตัดแล้วจะถูกส่งต่อไปกับผ้าใบ สำหรับหุ้มเพื่อส่งไปประกอบเป็นโครงชั้นในของยางรถ

8.2.5 การทำขอบยาง

ขอบยางเป็นส่วนสำคัญที่สุด เพราะถ้าขอบยางเกิดเสียหาย ก็อาจเกิดความเสียหายตั่งนั้นวัตถุดิบที่ใช้ จะต้องดี และต้องประกอบอย่างดีที่สุด เส้นลวดที่ทำขอบยางเป็นเส้นลวดที่มีความเหนียวแน่นเป็นพิเศษ และถูกฉาบไว้ด้วยทองแดง นำมาพันวงล้อที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางที่กำหนด จนครบจำนวนรอบที่ต้องการ แล้วหุ้มด้วยผ้าใบฉาบยางอีกทีหนึ่ง เพื่อเพิ่มความทนทานให้แก่ขอบยาง และติดสนิทกับโครงชั้นใน

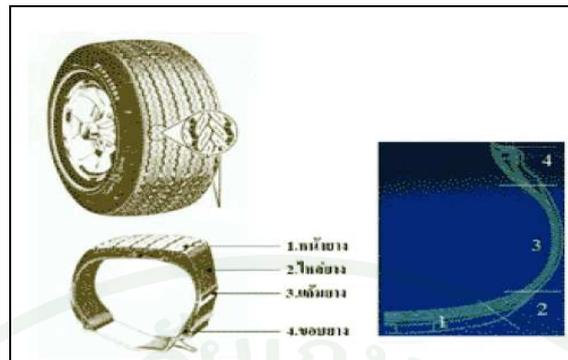
8.2.6 การสร้างยางรถ

จะถูกประกอบขึ้นบนแบบที่หุบ ชิ้นในลอนหรือโพลีเอสเตอร์จะถูกวางทับกันเป็นชั้น ๆ บนแบบ และจะพันกับขอบลวด หลังจากนั้นยางชั้นนอก และส่วนกลางก็จะประกอบเข้ามา เมื่อทำยางเสร็จแล้ว ก็จะหุบแบบเพื่อเอายางดิบออกจากแบบ ยางดิบนี้จะมีรูปร่างเหมือนถึงที่ไม่มีฝาบนและล่าง แล้วยางดิบนี้จะถูกตรวจน้ำหนัก หรือช่อมก่อนที่จะทำให้สุก

8.2.7 การอบยางรถให้สุก

ยางรถดิบจะถูกใส่ลงในแม่พิมพ์ เมื่อแม่พิมพ์ปิดยางรถดิบ ก็จะได้รับแรงอัดจนมีรูปร่างเหมือนยางรถที่เราเห็นกัน ความร้อนจากไอน้ำในแม่พิมพ์ จะทำให้เนื้อยางไหลจนเต็มแบบและความร้อนก็จะทำให้เคมีภัณฑ์ต่าง ๆ ที่ผสมกันอยู่เดิมรวมตัวกันเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน

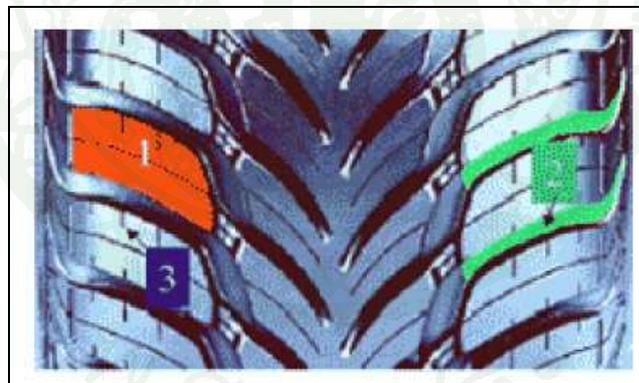
8.3 โครงสร้างยางรถยนต์ (Tire Construction) โครงสร้างของยางรถยนต์ประกอบด้วย ส่วนต่าง ๆ หลายส่วน ดังต่อไปนี้



ภาพที่ 3 แสดงโครงสร้างของยางรถยนต์

ที่มา: ชัยวุฒิ (2531)

หน้ายาง เป็นส่วนสัมผัสถนน หน้ายาง จะทำเป็น 3 ส่วน คือ ดอกยาง ร่องยาง และร่องเล็กบนดอกยาง ไหล่ยาง ทำหน้าที่ในการระบายความร้อน แก้มยาง ทำหน้าที่เพิ่มความยืดหยุ่นให้เกิดความนุ่มนวล และขอบยาง ทำหน้าที่รัดยางกับกระทะล้อ

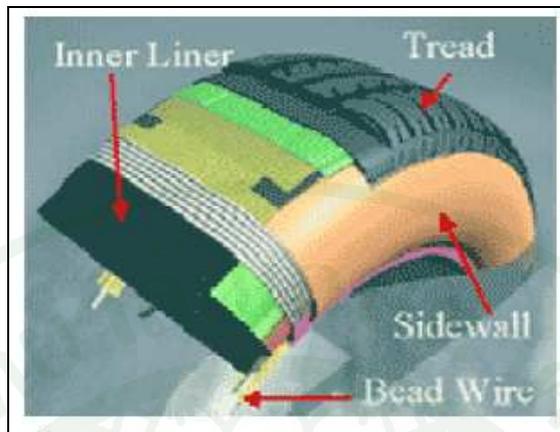


ภาพที่ 4 แสดงส่วนประกอบของหน้ายางรถยนต์

ที่มา: ชัยวุฒิ (2531)

ดอกยาง เป็นส่วนสัมผัสถนนทำหน้าที่ในการยึดเกาะถนน ร่องยาง ทำหน้าที่ในการระบายน้ำ และริค โคลน และร่องเล็กบนดอกยาง ช่วยในการเกาะถนน เพิ่มความยืดหยุ่นในดอกยาง

8.4 ส่วนประกอบของยางรถยนต์



ภาพที่ 5 แสดงส่วนประกอบของยางรถยนต์

ที่มา: ชัยวุฒิ (2531)

ผนังยาง (Sidewall) ทำหน้าที่ในการห่อหุ้มโครงชั้นผ้าใบ ขอบลวด (Bead Wire) ทำหน้าที่ให้ความแข็งแรงในการยึดเข้ากับกระทะล้อ และปลอกใน (Inner Liner) ทำหน้าที่เก็บกักลมเป็นตัวกำหนด Tube Type/Tubeless ดอกยาง (Tread) ทำหน้าที่ในการยึดเกาะถนน

8.5 ประเภทของยางรถยนต์ แบ่งตามการวางของชั้นผ้าใบ สามารถแบ่งได้ 3 แบบ คือ Bias Ply, Bias Belted และ Radial Ply ซึ่งลักษณะของยางแต่ละแบบ สามารถอธิบายได้ดังนี้

8.5.1 ชั้นผ้าใบวางเฉียงสลับกัน หรือ โครงสร้างของยางแบบธรรมดา (Bias Ply)

โครงสร้างภายในของยาง ประกอบด้วยชั้นผ้าใบวางซ้อนกัน แต่ละชั้นของผ้าใบจะวางเฉียงจากขอบข้างหนึ่งไปยังขอบอีกข้างหนึ่ง โดยทำมุม 35 องศา กับแนวเส้นรอบวงขอบยาง และชั้นผ้าใบถัดมาจะวางตั้งฉากกับชั้นผ้าใบชั้นแรก และวางเฉียงอย่างนี้สลับกันไป โครงสร้างแบบนี้จะเป็น โครงสร้างของล้อยางรถยนต์แบบธรรมดา

8.5.2 โครงสร้างยางแบบเรเดียล (Radial Ply Construction)

โครงสร้างยางแบบนี้ จะประกอบด้วยชั้นผ้าใบ เพียง 2 ชั้น (Radial Plies) ซึ่งแต่ละชั้นจะวางเส้นใย ในแนวตั้งฉากกับขอบยาง ดังภาพที่ 2-4 ลักษณะการวางแบบนี้จะไม่มีเส้นใยยึดตามขวางของยางเลย จึงจำเป็นต้องมีชั้นผ้าใบ (Tread Bracing Layers) เป็นลักษณะเข็มขัด รััดตามแนวเส้นรอบวงของยาง 2 ถึง 4 ชั้น แต่ละชั้นทำมุมกัน 10 ถึง 12 องศาจากแนวเส้นรอบวงยาง เส้นใยพวกนี้อาจเป็น ไนลอนผ้า หรือแม้แต่เส้นใยไฟเบอร์กลาส ซึ่งเหนียวและแข็งแรง แต่บางครั้งอาจเป็น ลวดเหล็กเหนียวเส้นเล็ก ๆ ซึ่งใช้กับยางที่ใช้งานหนัก และความเร็วสูง ดังแสดงตัวอย่างของยางเรเดียลที่ใช้ผ้าและลวดเหล็ก เป็นตัวเข็มขัดรััดรอบวงยาง

8.5.3 โครงสร้างยางแบบ (Bias Belted)

ยางแบบ Bias Belted เป็นการนำข้อดีของยางแบบธรรมดา และยางเรเดียลมา รวมกัน โดยโครงสร้างเป็นเหมือนแบบยางธรรมดา คือ มีเส้นใยวางเฉียงเป็นมุม ประมาณ 33 องศา เส้นใยอาจเป็น เรยอง ไนลอน หรือโพลีเอสเตอร์ วางสลับกัน 2 หรือ 4 ชั้น และมีชั้นผ้าใบรััดในแนวเส้นรอบวง เหมือนยางเรเดียล อีก 2 หรือ 4 ชั้น โดยวางเป็นมุม 29-30 องศา

โครงสร้างของยางรถยนต์ในงานวิจัยนี้ เป็น โครงสร้างแบบ (Radial Ply Tire Construction) หรือยางรถบรรทุก (Truck Rubber) เนื่องจากขั้นตอนในการย่อยยางรถยนต์เก่าจะไม่มี ความยุ่งยากเหมือนกับยางรถยนต์นั่งส่วนบุคคลทั่วไป ยางรถบรรทุกส่วนใหญ่ไม่ได้มีการเสริมใยเหล็กมีเฉพาะส่วนที่เป็นเนื้อยางและผ้าใบเท่านั้น ส่วนขั้นตอนการย่อยยางรถยนต์ คือ นำยางรถยนต์เก่ามาผ่านกระบวนการย่อยให้เป็นชิ้นก่อน หลังจากนั้นนำมาแยกผ้าใบออกจากยาง และผ่าน เครื่องจักรที่ใช้สำหรับย่อยยางให้เป็นเม็ดเล็กตามขนาดที่ต้องการ และขั้นตอนสุดท้ายจะนำมาเข้า เครื่องร่อนตามเบอร์ที่ลูกค้าต้องการ (ข้อมูลจากบริษัท ยูเนี่ยนพัฒนากิจ จำกัด)

9. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

9.1 ความถ่วงจำเพาะ หมายถึงอัตราส่วนของน้ำหนักรวมในอากาศเทียบกับน้ำหนักของน้ำ ที่มีปริมาตรเท่ากันที่อุณหภูมิเดียวกัน ความถ่วงจำเพาะแบ่งออกเป็นหลายประเภท (Piti and Chalermphol, 2006) ดังนี้

9.1.1 ความถ่วงจำเพาะสมบูรณ์ หมายถึง อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักแห้งที่ชั่งในอากาศของมวลรวม เทียบกับน้ำหนักของน้ำที่ชั่งในอากาศที่มีปริมาตรเท่ากับมวลรวม โดยไม่รวมช่องว่างในมวลรวม ทั้งที่เป็นช่องว่างชนิดที่น้ำซึมผ่านเข้าไปได้ และชนิดที่น้ำซึมผ่านไม่ได้ ณ อุณหภูมิเดียวกัน ดังนั้นในการหาค่าดังกล่าวจึงต้องทำการบดวัสดุให้ละเอียดก่อน เพื่อป้องกันการนำช่องว่างชนิดที่น้ำซึมผ่านไม่ได้มาคิดแต่การ โดยวิธีดังกล่าว มีความละเอียดเกินไปในงานคอนกรีต ดังนั้นในงานคอนกรีตทั่วไปจะถือว่าช่องว่างในมวลรวมชนิดที่น้ำซึมผ่านไม่ได้นั้นถือเป็นส่วนหนึ่งของมวลรวม โดยช่องว่างในมวลรวมที่จะกล่าวต่อไปสำหรับการทดสอบนี้ คือ ช่องว่างชนิดที่น้ำสามารถซึมผ่านได้

9.1.2 ความถ่วงจำเพาะแท้จริง หมายถึง อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของมวลรวมอบแห้งที่ชั่งในอากาศ เทียบกับน้ำหนักของน้ำที่ชั่งในอากาศที่มีปริมาตรเท่ากับมวลรวม โดยไม่รวมช่องว่างในมวลรวมที่น้ำสามารถซึมผ่านได้ ณ อุณหภูมิ ดังนี้

$$\text{ความถ่วงจำเพาะแท้จริง} = \frac{\text{น้ำหนักมวลรวมอบแห้ง}}{\text{น้ำหนักรูปที่มีปริมาตรเท่ากับ เนื้อมวลรวมที่ไม่รวมช่องว่างในมวลรวม}}$$

9.1.3 ความถ่วงจำเพาะสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง หมายถึง อัตราส่วนน้ำหนักที่ชั่งในอากาศของมวลรวม กับน้ำหนักภายในช่องว่างที่น้ำสามารถซึมผ่านได้ เทียบกับน้ำหนักของน้ำที่ชั่งในอากาศที่มีปริมาตรเท่ากัน ณ อุณหภูมิเดียวกัน ดังนี้

$$\text{ความถ่วงจำเพาะสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง} = \frac{\text{น.น.มวลรวมอบแห้ง} + \text{น.น.น้ำในช่องว่าง}}{\text{น.น.น้ำที่มีปริมาตรเท่ากับเนื้อมวลรวม} + \text{ช่องว่างในมวลรวม}}$$

9.2 กำลังต้านทานแรงอัด (Compressive Strength) เป็นสมบัติที่สำคัญของคอนกรีต เป็นตัวบอกคุณสมบัติอื่นๆ ได้เป็นอย่างดี เพราะค่ากำลังต้านทานหรือรับแรงแบบอื่นเป็นสัดส่วนกำลังต้านทานแรงอัดและด้วยเหตุที่คอนกรีตมีกำลังต้านทานแรงอัดมากกว่าแรงดึงหลายเท่า ดังนั้นในการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก จึงออกแบบโดยพิจารณาให้คอนกรีตรับเฉพาะแรงอัดเพียงอย่างเดียว ส่วนแรงดึงที่เกิดขึ้นให้เหล็กเสริมทำหน้าที่ต้านทาน การหาค่ากำลังต้านทานแรงอัดประลัยของคอนกรีต ทำได้โดยการกดหรืออัดแท่งมาตรฐาน รูปทรงกระบอกหรือรูปลูกบาศก์ ซึ่งบ่มขึ้นตามระยะเวลาที่กำหนด ด้วยเครื่องทดสอบตามวิธีมาตรฐานจนกระทั่งคอนกรีตถูกอัดแตก น้ำหนักกดหรืออัดสูงสุดที่ได้ เมื่อหารด้วยพื้นที่หน้าตัดของแท่งตัวอย่าง จะเป็นค่าความต้านทาน

แรงอัดประลัยของคอนกรีต ค่ากำลังต้านทานแรงอัดนี้ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนผสม ปริมาณน้ำ อายุของ
 แห่งทดสอบ การบ่ม รูปร่างและขนาดของแท่งตัวอย่าง (เฉลิมพล, 2546)

9.3 อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (Water – Cement Ratio) อัตราส่วนระหว่างน้ำต่อ
 ปูนซีเมนต์มีผลกระทบต่อกำลังต้านทานแรงอัดและความทนทานของคอนกรีตมาก ถ้าอัตราส่วน
 ของน้ำต่อซีเมนต์มีค่ามากกำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีตจะต่ำ ถ้าอัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์
 น้อยลงกำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีตจะสูงขึ้น ดังนั้นในการผสมคอนกรีตถ้าสามารถรักษา
 อัตราส่วนนี้คงที่ ถึงแม้ส่วนผสมอื่นจะเปลี่ยนแปลง กำลังของคอนกรีตจะไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก
 จึงอาจกำหนดกำลังต้านทานของคอนกรีตได้จากอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์

9.4 การต้านทานการลื่นไถล (Skid resistance) คือ ความฝืดของผิวทางที่ต้านทานไม่ให้
 ยานพาหนะเกิดการลื่นไถล ซึ่งค่า Skid resistance ที่ได้จากการทดสอบของเครื่องมือ British
 Pendulum Skid Resistance Tester นี้ เรียกว่า (British Pendulum (Tester) Number) ซึ่งค่าที่ได้จะมีค่า
 100 เท่าของค่า Coefficient of Friction

9.5 ความร้อนของคอนกรีต (Thermal Properties of Concrete) เป็นสิ่งที่มีความสำคัญ
 โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal Conductivity) เมื่อมีการเปลี่ยนแปลง
 เกี่ยวกับอุณหภูมิจะทำให้เกิดความเครียดเนื่องจากความร้อน การคั้งงอ และยังทำให้เกิดรอยแตกร้าว
 อย่างรวดเร็วในคอนกรีต และคุณสมบัติในด้านนี้ยังมีส่วนช่วยในการป้องกันมิให้ไฟฟ้าวโดยตรง
 กับการใช้งานในคอนกรีต นอกจากนี้แล้วค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal Conductivity)
 ยังสามารถบอกถึงความเป็นฉนวนกันความร้อน (Thermal Insulation) ที่ดีได้อีกด้วย (Neville, 1995)

9.6 สำนักงานเลขานุการโครงการฉลากเขียว (2540) ฉนวนกันความร้อน (Thermal
 Insulation) หมายถึง วัสดุหรือผลิตภัณฑ์ที่ใช้เพื่อลดการถ่ายเทความร้อนผ่านโครงสร้างจากที่หนึ่ง
 ไปอีกที่หนึ่งโดยที่อุณหภูมิทั้งสองด้านจะต้องแตกต่างกัน

10. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ได้มีการศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้ผงยางรถยนต์เก่าในด้านการศึกษาการใช้ผงยาง
 รถยนต์เก่าในแอสฟัลท์ซีเมนต์ การศึกษาการใช้ผงยางรถยนต์เก่าในงานคอนกรีต และการศึกษาการ
 ใช้วัสดุทดแทนในคอนกรีตบดลือกปูนอน รวมทั้งทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ประกอบด้วยหัวข้อดังนี้

ทรงศิลป์ (2538) ศึกษาถึงการปรับปรุงคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีต เกรด 60/70 ด้วยสาร Ethylene Vinyl Acetate (EVA) และยางล้อรถที่ใช้งานแล้ว พบว่าแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยยางล้อรถที่ใช้งานแล้ว จะทำให้คุณสมบัติทางกายภาพ เช่น ความเหนียว อุณหภูมิจุดอ่อนตัว การคืนตัวภายหลังจากการบิด ความเหนียวและความทนทาน มีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณยางที่เพิ่มขึ้น ยกเว้นค่าการทะลุทะลวงที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ส่วนใหญ่ค่ากำลังรับแรงดึงมีค่าเหมาะสมที่สุดเมื่อใช้ปริมาณยางร้อยละ 5 ผลการทดสอบการเคลือบและการหลุดออก พบว่าแอสฟัลต์ที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยยางล้อรถที่ใช้งานแล้ว จะมีความสามารถในการเคลือบมวลรวมและต้านทานการหลุดออกได้ดีกว่าแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ไม่ได้ปรับปรุงคุณภาพ สำหรับสัดส่วนผสมที่เหมาะสมในงานแอสฟัลต์คอนกรีต ระหว่างแอสฟัลต์ซีเมนต์กับสาร EVA และยางล้อรถที่ใช้งานแล้ว เท่ากับ 100:3:5 โดยน้ำหนักของแอสฟัลต์ซีเมนต์

ธนพร (2544) ศึกษาคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีตที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยยางล้อรถที่ใช้งานแล้ว โดยวิธีการผสมแบบเปียกและแบบแห้ง พบว่าวิธีการผสมแบบเปียกจะเป็นการใส่ยางล้อรถที่ใช้งานแล้วผสมกับแอสฟัลต์ซีเมนต์ก่อน แล้วจึงผสมกับมวลรวม ได้คุณสมบัติที่เหมาะสมที่สุดเมื่อใช้ปริมาณยางล้อรถที่ใช้งานแล้วผสมในอัตราส่วนร้อยละ 15 ถึงร้อยละ 20 ของน้ำหนักแอสฟัลต์ซีเมนต์ และวิธีการผสมแบบแห้งจะเป็นการใส่ยางล้อรถที่ใช้งานแล้วกับมวลรวมก่อน แล้วจึงผสมกับแอสฟัลต์ซีเมนต์ ได้คุณสมบัติที่เหมาะสมที่สุดเมื่อใช้ปริมาณยางล้อรถที่ใช้งานแล้วผสมในอัตราส่วนร้อยละ 1 ถึงร้อยละ 3 ของน้ำหนักมวลรวม จากการเปรียบเทียบคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีตที่ปรับปรุงคุณภาพกับแอสฟัลต์คอนกรีตธรรมดา พบว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยยางล้อรถที่ใช้งานแล้วจะมีคุณสมบัติที่ดีกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตธรรมดา

เฉลิมพล (2546) ศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการใช้ผงกากยางรถยนต์เก่าในคอนกรีตบล็อกปูผิวทาง โดยใช้ผงยางรถยนต์เบอร์ 7 และเบอร์ 20 มาแทนที่หินเกล็ดและทรายหยาบ ในปริมาณร้อยละโดยน้ำหนัก พบว่า พฤติกรรมการรับกำลังอัดของคอนกรีตเปลี่ยนไปตามสัดส่วนผสมของปริมาณยาง และอัตราส่วนผสมที่เหมาะสม คือ การใช้ผงยางรถยนต์เก่าเบอร์ 7 และเบอร์ 20 มาแทนที่หินเกล็ดและทรายหยาบร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ผลการทดลองที่เป็นเช่นนี้น่าจะเป็นผลมาจากการที่มีขนาดคละที่ดีทำให้เกิดการอัดตัวที่ดีคอนกรีตมีความหนาแน่นสูง ส่งผลให้มีกำลังอัดสูงกว่า

Eldin and Senouci (1993) ได้กล่าวถึงยางรถยนต์เก่าที่ถูกเก็บไว้โดยไม่ได้ใช้ประโยชน์จะก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพและเป็นสาเหตุทำให้เกิดไฟไหม้ได้ ในการแก้ปัญหายางรถยนต์เก่านี้ ได้มีการทดลองโดยนำเศษยางมาเป็นส่วนผสมในคอนกรีตปอร์ตแลนด์ การวิจัยนี้เป็นการทดสอบ

คุณสมบัติความแข็งแรงและความทนทานของคอนกรีตซึ่งมีจำนวนของขนาดของเศษยางที่นำมาใช้เป็นส่วนผสมซึ่งแตกต่างกัน ส่วนผสมดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าคุณสมบัติรับแรงอัดและแรงดึงต่ำกว่าคอนกรีตธรรมดา อย่างไรก็ตามก็มีส่วนผสมดังกล่าวไม่ได้ทดสอบเกี่ยวกับเรื่องการพังเนื่องจากความเปราะ และความสามารถในการดูดซึ่มของ Plastic Energy จำนวนมากภายใต้แรงอัดและแรงดึง การอธิบายผลกระทบจากการใช้ส่วนผสมจากยางจะแสดงโดยแบบจำลองคณิตศาสตร์

Huynh *et al.* (1996) การศึกษาความสามารถในการลด Plastic Shrinkage โดยการผสมเศษยางเส้นในคอนกรีต โดยวิธีการที่เป็นไปได้สำหรับการนำยางรถยนต์เก่ามาบดละเอียดและนำมาผสมในคอนกรีต ในการพิจารณาเบื้องต้นจะประเมินคุณสมบัติของมอร์ตาร์ที่นำยางมาผสมโดยบดหรือป่นละเอียด ในการศึกษาจะใช้ยาง 2 ลักษณะเป็นส่วนผสมที่สำคัญในมอร์ตาร์คือ เส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร และบดเป็นผงมี 2 ขนาด คือ 5.5 มม.×1.2 มม. และ 10.8 มม.×1.8 มม. (ความยาว x เส้นผ่านศูนย์กลาง) ซึ่งพบว่าการนำยางมาเป็นส่วนผสมทำให้ความสามารถในการรับแรงอัดและความยืดหยุ่นลดลง แต่ในทางตรงกันข้าม การนำผงยางมาใช้ทำให้คุณสมบัติบางอย่างของมอร์ตาร์ดีขึ้น สำหรับขนาดของรอยแตกที่เกิดขึ้นนั้นจะขึ้นอยู่กับ Plastic Shrinkage ที่ลดลงเมื่อใช้ยางผงขนาด 10.8 มม. ×1.8 มม. โดยเปรียบเทียบกับมอร์ตาร์ที่ไม่มีส่วนผสมยาง มอร์ตาร์ที่ประกอบด้วย Polypropylene Fiber ขนาดยาว 25.4 มม. และเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.015 มม. แสดงให้เห็นว่าความสามารถในการทำงานไม่ดีขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับก้อนมอร์ตาร์ 26 ที่ผสมด้วยยาง การศึกษาในครั้งนี้ต่อไปเป็นสิ่งที่จะเป็นซึ่งจะแสดงว่าการนำยางมาใช้ร่วมกันนั้นทำให้เป็นประโยชน์ต่อการลดรอยแตกที่เกิดจาก Plastic Shrinkage ในมอร์ตาร์ และความน่าจะเป็นไปได้ในการนำมาผสมกับคอนกรีต

Morris and McDonald (1976) แนะนำการใช้เศษยาง (Scrap Rubber) ในแอสฟัลต์เมื่อบรรจุเข้าไปในอัตราร้อยละ 25 โดยมวลรวมของยางล้อรถ (Tire-Tread Rubber) ที่บดละเอียด วัสดุนี้เริ่มแพร่หลายในอเมริกาเพื่อป้องกันรอยแตกจากการสะท้อนผ่านทางผิวทาง การเตรียมการวิธีนี้โดยทั่วไปใช้กับพื้นผิวซีพซีล (Chip-Seal) ซึ่งการเพิ่มยางร้อยละ 20 โดยปริมาตรแอสฟัลต์ซีเมนต์

Bethune (1978) ได้กล่าวถึงการนำเศษยางรถยนต์มาย่อยเป็นก้อนเล็กๆเพื่อใช้ปรับปรุงคุณภาพแอสฟัลต์ซีเมนต์ ในอัตราส่วน 25:75 เรียกว่า Bitumen Scrap Rubber Seal (BSRS) ทำผิวทางซีลโคทปูลาดทับถนนที่เมืองฟินิกซ์ รัฐอริโซนา จากการตรวจสอบพบว่า BSRS สามารถลดรอยแตกที่ผิว มีความต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิได้ดี และมีการเกาะยึดระหว่างแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ปรับปรุงคุณภาพกับวัสดุ ที่ดีกว่าแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ไม่ได้ปรับปรุงคุณภาพ

Eldin and Bollati (1993) ยางรถยนต์เก่าที่ถูกเก็บไว้โดยไม่ได้อายุจะก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพและเป็นสาเหตุทำให้เกิดไฟไหม้ได้ ในการแก้ปัญหาของรถยนต์เก่านี้ได้มีการทดลองโดยนำเศษยางมาเป็นส่วนผสมในคอนกรีตปอร์ตแลนด์ การวิจัยนี้เป็นการทดสอบคุณสมบัติความแข็งแรงและความทนทานของคอนกรีตซึ่งมีจำนวนของขนาดของเศษยางที่นำมาใช้เป็นส่วนผสมซึ่งแตกต่างกัน ส่วนผสมดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าคุณสมบัติรับแรงอัดและแรงดึงต่ำกว่าคอนกรีตธรรมดา อย่างไรก็ตามก็มีส่วนผสมดังกล่าวไม่ได้ทดสอบเกี่ยวกับเรื่องการพังเนื่องจากความเปราะ และความสามารถในการดูดซึมของ Plastic Energy จำนวนมากภายใต้แรงอัดและแรงดึง การอธิบายผลกระทบจากการใช้ส่วนผสมจากยางจะแสดงโดยแบบจำลองคณิตศาสตร์

Khatib *et al.* (1999) การใช้ยางเก่าเป็นส่วนผสมในคอนกรีตปอร์ตแลนด์ (PCC) ซึ่งถูกนำมาศึกษาเพื่อเป็นทางเลือกในการผสมคอนกรีตแบบไม่ธรรมดา (No Conventional PCC) การศึกษานี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อการทำงานด้านการผลิต เช่น การผสมและการประเมินคุณสมบัติทางวิศวกรรม วิธีการทดลองพัฒนาโดยใช้ยาง 2 ชนิด (ยางผงและเศษชิ้นยาง) เป็นส่วนผสม ใช้วิธีการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตแบบ ACI และแบ่งการผสม Rubberized PCC เป็น 3 กลุ่ม ตามการแทนที่โดยใช้ยางเป็นส่วนผสม ยาง 8 ชนิดถูกใช้เป็นส่วนผสมในแต่ละกลุ่ม เมื่อผสมเสร็จแล้วก็นำมาทดสอบคุณสมบัติรับแรงอัดและความยืดหยุ่นตามมาตรฐาน ASTM จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการผสมแบบ Rubberized PCC สามารถนำมาใช้ได้และทำงานได้ในระดับที่น่าพอใจโดยส่วนผสมจะใช้มากกว่าร้อยละ 57 ของปริมาตรส่วนผสมทั้งหมด อย่างไรก็ตามผลการทดสอบนั้นแสดงให้เห็นว่าการลดลงของความแข็งแรงในปริมาณมากๆ จะป้องกันไม่ให้ใช้ยางในปริมาณมากๆ ซึ่งเป็นการชี้ให้เห็นว่าไม่ควรใช้ปริมาณยางเกินร้อยละ 20 ของส่วนผสมทั้งหมด ฟังก์ชันดังกล่าวบอกจำนวนของการลดลงของความแข็งแรงของการผสมแบบ Rubberized ซึ่งสามารถพัฒนาให้เป็นประโยชน์ได้ตามวัตถุประสงค์ของการออกแบบ การผสมแบบ Rubberized Concrete อาจจะเหมาะสมสำหรับโครงสร้างที่ไม่ใหญ่ (Nonstructural) เช่น กำแพงคอนกรีตที่มีน้ำหนักเบา การสร้างหน้ามุขและงานสถาปัตยกรรมซึ่งสามารถใช้เป็นส่วนผสมคอนกรีตในชั้นฐานอยู่ได้ Flexible Pavement อันตรายจากไฟเป็นสิ่งที่จะต้องคำนึงถึงอย่างมากก่อนที่จะมีการปฏิบัติจะมีขึ้น

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดลอง
 - 1.1 เครื่องอัดบล็อกคอนกรีตปูถนน แบบไฮดรอลิก
 - 1.2 เครื่องผสมคอนกรีต
 - 1.3 แบบหล่อแท่งตัวอย่างรูปทรงลูกบาศก์ ขนาด $5 \times 5 \times 5$ เซนติเมตร
 - 1.4 เครื่องชั่งน้ำหนัก ที่มีความละเอียด 0.1 กรัม
 - 1.5 ตู้อบ
 - 1.6 เครื่องทดสอบหาความถ่วงจำเพาะ
 - 1.7 เครื่องทดสอบความสามารถในการต้านทานการลื่นไถล
 - 1.8 เครื่องทดสอบความสามารถในการหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน
 - 1.9 เครื่องทดสอบความสามารถในการรับกำลังอัด (Compressive testing machine)
 - 1.10 ถังสำหรับแช่ตัวอย่าง ขนาด 120×150 เซนติเมตร
 - 1.11 เกรียงเหล็ก
 - 1.12 นาฬิกาจับเวลา
 - 1.13 ถังมือยาง
 - 1.14 เวอร์เนีย

วัสดุ

1. วัสดุที่ใช้ในการเตรียมตัวอย่าง
 - 1.1 ปูนซีเมนต์ (Cement) ใช้ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (Ordinary Portland Cement) ปูนซีเมนต์ตราช้าง ของบริษัท ปูนซีเมนต์ไทย จำกัด (มหาชน)
 - 1.2 มวลรวมละเอียด (Fine Aggregate) ใช้ทรายที่มีขนาดประมาณ 0.3 - 0.6 มิลลิเมตร
 - 1.3 มวลรวมหยาบ (Coarse Aggregate) ใช้หินขนาดใหญ่สุดไม่เกิน 10 มิลลิเมตร
 - 1.4 น้ำผสมคอนกรีต (Water) ใช้น้ำสะอาดมีความขุ่นไม่เกิน 2000 ppm. ปราศจากกรดต่าง น้ำมัน และอินทรีย์สารอื่น ๆ ในปริมาณที่จะเป็นอันตรายต่อคอนกรีต

1.5 ผงยาง มี 2 ขนาด ได้แก่เบอร์ 6 (ผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 6) หรือมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.40 มิลลิเมตร และเบอร์ 20 (ผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 20) หรือมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.00 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพที่ 6



ภาพที่ 6 ตัวอย่างผงยางเบอร์ 6 (ก) และเบอร์ 20 (ข)

วิธีการ

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้ผงยางรถยนต์เก่ามาเป็นวัสดุในการผสมคอนกรีตเพื่อพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ที่สามารถใช้งานได้จริง และเพื่อเป็นการลดปัญหาทางสิ่งแวดล้อมจากการทิ้งและการทำลายยางรถยนต์เก่า ดังนั้นการวิเคราะห์ให้เรามองถึงสองประเด็นคือ การทดสอบคุณสมบัติของผงยางรถยนต์เก่าว่าจะมีคุณสมบัติเหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นวัสดุละเอียดในคอนกรีตได้หรือไม่ ส่วนอีกประเด็นหนึ่ง ได้แก่การทดสอบคุณสมบัติของตัวอย่างซึ่งได้จากการผสมผงยางรถยนต์ในคอนกรีต โดยทำการทดสอบทั้งคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกล

1. การศึกษาสมบัติของวัสดุดิบ

วัสดุดิบที่ใช้คือ ผงยางรถยนต์เก่าที่ใช้แล้ว ในขั้นตอนแรกของการทดสอบเป็นการศึกษาเพื่อหาคุณสมบัติเชิงกายภาพของผงยางรถยนต์เก่าก่อนที่จะนำผงยางรถยนต์เก่ามาทดแทนวัสดุผสมละเอียดบางส่วนเพื่อเป็นส่วนผสมของคอนกรีต ดังรายการต่อไปนี้

1.1 การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity Test) เพื่อทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะของผงยางรถยนต์เก่า ดำเนินการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C128 (American Society for Testing and Materials, 1997c) โดยใช้ขวดทดลองรูปชมพู่ โดยการนำตัวอย่างที่อยู่ในสภาพอิมตัวผิวแห้งเทลงในขวดรูปชมพู่ แล้วเติมน้ำถึงระดับประมาณ 90% ของปริมาตรขวดทดลอง

จากนั้นได้ฟองอากาศภายในให้หมด โดยการหมุน คว่ำและเขย่าขวดรูปชมพู่แล้วใช้น้ำฉีดล้างที่คอขวดด้านในแล้วเติมน้ำจนถึงระดับที่ทำเครื่องหมายไว้ จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนัก แล้วจึงเทตัวอย่างออกจากขวดใส่ภาชนะนำเข้าตู้อบ อบให้แห้งจนน้ำหนักคงที่ ที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส แล้วนำตัวอย่างมาชั่งน้ำหนักที่ได้ในแต่ละขั้นตอนจะนำมาคำนวณหาค่าความถ่วงจำเพาะของผงยาง โดยทำการทดสอบตัวอย่าง 2 ครั้ง การทดสอบค่าความถ่วงจำเพาะแบ่งออกเป็น 3 ประเภทดังนี้ คือ ความถ่วงจำเพาะสมบูรณ์ ความถ่วงจำเพาะแท้จริงและ ความถ่วงจำเพาะสภาพอิมตัวผิวแห้ง

1.2 การทดสอบหาขนาดคละและค่าโมดูลัสความละเอียด (Sieve Analysis and Fineness Modulus Test) ดำเนินการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C136-06 (American Society for Testing and Materials, 1997d) โดยนำผงยางรถยนต์เก่ามาร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 4, 8, 16, 30, 50 และ 100 แล้วนำน้ำหนักที่ค้างแต่ละตะแกรงมาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่ค้างและโมดูลัสความละเอียดของผงยาง โดยทำการทดสอบตัวอย่างละ 3 ครั้ง

2. การทดสอบคุณสมบัติเชิงกล

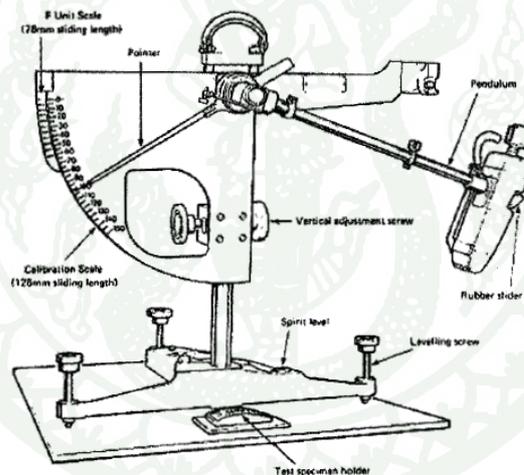
2.1 การทดสอบกำลังรับแรงอัด ทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 39-96 (American Society for Testing and Materials, 1997a) โดยก้อนตัวอย่างรูปทรงลูกบาศก์ขนาด $5 \times 5 \times 5 \text{ cm}^3$ ทดสอบกำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างลูกบาศก์คอนกรีตที่มีอายุ 28 วัน ทำการทดสอบโดยการหล่อก้อนตัวอย่างทดสอบใช้แบบหล่อรูปทรงลูกบาศก์บรรจุคอนกรีตเป็น 3 ชั้นๆเท่ากัน แต่ละชั้นทำให้แน่นด้วยการกระทุ้งด้วยเหล็กกระทุ้ง จำนวนชั้นละ 25 ครั้ง เมื่อคอนกรีตแข็งตัวประมาณ 24 ชั่วโมง. แกะแบบหล่อนำไปบ่มคอนกรีตโดยการแช่น้ำ ตามมาตรฐาน ASTM C 684-99 (American Society for Testing and Materials, 1997g) เมื่อถึงอายุการทดสอบนำก้อนตัวอย่างคอนกรีตมาวัดขนาดชั่งน้ำหนักจากนั้นนำไปทดสอบหากล้างอัดคอนกรีต โดยใช้เครื่องทดสอบกำลังอัดขนาด 300 ตัน

3. การทดสอบคุณสมบัติเชิงกายภาพ

3.1 การทดสอบหาหน่วยน้ำหนักและการดูดซึมน้ำ (Unit Weight and Water Absorption) เพื่อหาหน่วยน้ำหนักบล็อกคอนกรีตต่อก้อนที่มีอายุ 28 วัน ดำเนินการตามมาตรฐาน ASTM C 642-97 (American Society for Testing and Materials, 1997f) โดยการวัดขนาดและน้ำหนักของก้อนตัวอย่างก่อนนำไปทดสอบด้านอื่นๆ แล้วนำเข้าเตาอบเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 110 ± 5 องศา

เซลเซียส หลังจากนั้นนำบล็อกคอนกรีตแห้งไปแช่น้ำทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วจึงเซ็ดให้แห้งแล้วชั่งน้ำหนักเพื่อคำนวณหาเปอร์เซ็นต์น้ำหนักรวมที่เพิ่มขึ้น ในการทดสอบนี้ใช้ตัวอย่างทดสอบสัดส่วนผสมละ 3 ตัวอย่าง โดยค่าความหนาแน่นของคอนกรีตหาได้จาก ค่าหน่วยน้ำหนักของก้อนตัวอย่างหารด้วยค่าปริมาตรของก้อนตัวอย่าง

3.2 การทดสอบหาคุณสมบัติของบล็อกคอนกรีตเพื่อหาการต้านทานการลื่นไถล เพื่อหาคุณสมบัติในการต้านทานการลื่นไถลของบล็อกคอนกรีตตัวอย่าง ดำเนินการตามมาตรฐานของ ASTM E 303-93 (American Society for Testing and Materials, 1997h) โดยใช้เครื่องทดสอบแบบ British Pendulum เริ่มจากการปรับระดับแขนและแผ่นยางที่ปลายแขนของเครื่องมือทดสอบ (ดังภาพที่ 7) ให้พอดีกับผิวหน้าบล็อกคอนกรีตตัวอย่าง โดยค่าที่ได้จากการทดสอบจะวัดจากเข็มชี้ ซึ่งเป็นระยะไกลสุดของแขนที่แกว่ง ค่าที่ได้เรียกว่า BPN (British Pendulum Number)



ภาพที่ 7 เครื่องทดสอบแบบ British Pendulum

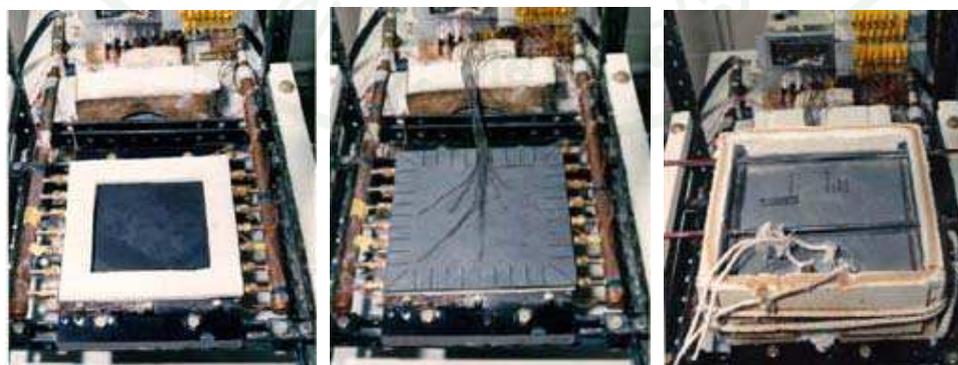
ที่มา: Piti (2009)

ตารางที่ 2 ค่าการต้านทานการลื่นไถลน้อยที่สุดที่ยอมรับให้ตามมาตรฐาน TRRL

ประเภท	ชนิดของพื้นที่	การต้านทานการลื่นไถลที่ยอมรับ (BPN) สภาพผิวเปียก
A	ถนนที่มีอุปสรรคต่อการต้านทานการลื่น ได้แก่ 1. วงเวียน 2. ทางโค้งที่มีรัศมีน้อยกว่า 150 เมตร 3. ทางลาดชัน 1:20 ที่มีระยะทางมากกว่า 100 เมตร 4. ช่วงใกล้สัญญาณไฟ	65
B	ถนน Motorway, ถนนสายหลัก, ถนนในเขตเมือง ที่มีปริมาณจราจรสูง	55
C	ถนนอื่นๆ ที่นอกเหนือจาก A-B	45

ที่มา: Piti (2009)

3.3 การทดสอบหาคุณสมบัติของบล็อกคอนกรีตเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนตามมาตรฐาน ASTM C 177-97 (American Society for Testing and Materials, 1997e) ทดสอบที่ห้องปฏิบัติการฟิสิกส์และวิศวกรรม กรมวิทยาศาสตร์บริการกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โดยขึ้นตัวอย่างทดสอบถูกเตรียมให้มีขนาดความกว้าง x ความยาว เท่ากับ 30 x 30 เซนติเมตร และมีความหนาเท่ากับ 2.54 เซนติเมตร ลักษณะการทดสอบดังภาพที่ 8



ภาพที่ 8 การทดสอบเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน

4. สัดส่วนผสมคอนกรีต

สัดส่วนผสมคอนกรีตที่ใช้ในการวิจัย ได้ถูกออกแบบตามการแนะนำของสถาบันคอนกรีตอเมริกา Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete (ACI 211.1-91) โดยออกแบบให้มีอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.33 และอัตราส่วนการแทนที่มวลรวมละเอียด (ทราย) ด้วยเม็ดขางจะแทนที่ไม่เกินร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก คือ เริ่มต้นที่การแทนที่ร้อยละ 0, 5, 10, 15, 20 และ 30 ตามลำดับ และอัตราส่วนปูนซีเมนต์ : ทราย : หิน เท่ากับ 1 : 1.5 : 1.5 โดยน้ำหนัก

ตารางที่ 3 ส่วนผสมคอนกรีตต่อปริมาตร 1 ลูกบาศก์เมตร

Material	Mass
Cement	500 g
Aggregates 3/8"	750 g
Sand	750 g
Water	150 ml
Water /cement ratio	0.33

5. การเตรียมตัวอย่างทดสอบ

ส่วนสำคัญของขั้นตอนนี้คือ การเตรียมตัวอย่างผสมที่แตกต่างกันไป ระหว่างปูนซีเมนต์ หินเกล็ด ทราย ผงยางรีไซเคิลและน้ำ สัดส่วนผสมเบื้องต้นที่กำหนดไว้จะเป็นการแปรผันค่าระหว่างปูนซีเมนต์ หินเกล็ด ทรายและผงยางรีไซเคิล โดยจะทำการลดปริมาณหินเกล็ดและทรายลงในปริมาณที่เท่าๆกันและแทนที่ปริมาณดังกล่าวด้วยผงยางรีไซเคิล การผสมส่วนผสมของคอนกรีตผสมผงยางรีไซเคิล นั้นจะเริ่มต้นโดยผสม หิน ทราย ผงยางรีไซเคิลก่อน หลังจากนั้นจึงใส่ปูนซีเมนต์เข้าไปผสมในถาดเป็นลำดับสุดท้าย แล้วค่อยเติมน้ำ จากนั้นคลุกเคล้าส่วนผสมทั้งหมดให้เข้ากัน โดยใช้เวลาประมาณ 5-10 นาที จากนั้นทำการเทคอนกรีตดังกล่าวลงในแบบหล่อที่เตรียมไว้ ภายหลังจากหล่อคอนกรีตทิ้งไว้ประมาณ 24 ชั่วโมง จึงทำการถอดแบบหล่อออก จากนั้นตัวอย่างทดสอบจะถูกนำไปบ่มในน้ำที่อายุ 28 วัน เพื่อรอทำการทดสอบต่อไป

ตารางที่ 4 อัตราส่วนการผสมบดกอนกรีต

ชื่อ	ขนาดและปริมาณของผงยาง		ซีเมนต์	หินเกล็ด	ทราย
	หยาบ	ละเอียด			
Control	0	0	1	1.500	1.500
L*05**	0.0375	0	1	1.4625	1.4625
L*10**	0.075	0	1	1.4250	1.4250
L*15**	0.1125	0	1	1.3875	1.3875
L*20**	0.150	0	1	1.3500	1.3500
L*25**	0.1875	0	1	1.3125	1.3125
L*30**	0.225	0	1	1.2750	1.2750
S*05**	0	0.0375	1	1.4625	1.4625
S*10**	0	0.075	1	1.4250	1.4250
S*15**	0	0.1125	1	1.3875	1.3875
S*20**	0	0.150	1	1.3500	1.3500
S*25**	0	0.1875	1	1.3125	1.3125
S*30**	0	0.225	1	1.2750	1.2750
SL*05**	0.01875	0.01875	1	1.4625	1.4625
SL*10**	0.0375	0.0375	1	1.4250	1.4250
SL*15**	0.0570	0.0570	1	1.3875	1.3875
SL*20**	0.05625	0.05625	1	1.3500	1.3500
SL*25**	0.09375	0.09375	1	1.3125	1.3125
SL*30**	0.1125	0.1125	1	1.2750	1.2750

หมายเหตุ: * หมายถึง ชนิดของผงยาง โดย L คือ ผงยางเบอร์ 6

S คือ ผงยางเบอร์ 20

SL คือ ผงยางเบอร์ 6 และเบอร์ 20

** หมายถึง ปริมาณผงยาง ซึ่งมีหน่วยเป็นน้ำหนัก

6. การผลิตบล็อกคอนกรีต

การผสมคอนกรีตจะต้องผสมวัสดุทำคอนกรีตให้รวมเป็นเนื้อเดียวกันให้มากที่สุด เพื่อให้ น้ำมีโอกาสทำปฏิกิริยากับปูนซีเมนต์ได้อย่างทั่วถึง และเพื่อให้ปูนซีเมนต์กระจายตัวอยู่ในช่องว่างระหว่างมวลรวมได้เต็มที่ ดังนั้น การผสมคอนกรีตหากกระทำอย่างไม่ทั่วถึง จะมีผลทำให้กำลังของคอนกรีตมีค่าไม่คงที่ได้

ส่วนสำคัญของขั้นตอนนี้คือการเตรียมตัวอย่างที่มีส่วนผสมที่แตกต่างกันไป ระหว่าง ซีเมนต์ หินเกล็ดทรายละเอียด ผงยางรถยนต์เก่าและน้ำ สัดส่วนผสมเบื้องต้นที่คาดไว้จะเป็นการผันแปรค่าระหว่าง ซีเมนต์ หินเกล็ด ทรายละเอียดและผงยาง โดยจะลดปริมาณหินเกล็ดและทรายละเอียดลง และแทนที่ปริมาณดังกล่าวด้วยผงยาง ในทางทฤษฎี ปฏิภาคส่วนผสมโดยน้ำหนักของ บล็อกคอนกรีตนั้นจะอยู่ที่ประมาณ 1:3 (ซีเมนต์:หินเกล็ดและทรายละเอียด) ในเบื้องต้นคิดไว้ว่า จะแทนที่ปริมาณของหินเกล็ดและทรายหยาบ ในปริมาณร้อยละ 0, 5, 10, 15, 20 และ 30 ตามลำดับใน ส่วนของน้ำซึ่งมีผลโดยตรงต่อ Consistency และ Workability ของบล็อกคอนกรีตนั้น โดยปกติ สัดส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (W/C Ratio) ของบล็อกคอนกรีตธรรมดาจะอยู่ในช่วงไม่เกิน 0.33 ในการวิจัยครั้งนี้จะหาอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (W/C Ratio) ในส่วนขนาดของยางที่จะใช้นั้น โดยขนาดของผงยางใหญ่ที่สุดมีขนาดผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 6 และขนาดของยางเล็กที่สุดผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 20 ซึ่งเป็นขนาดที่ใกล้เคียงกับทรายหยาบและหินเกล็ด ตามลำดับ จึงคิดว่าน่าจะเหมาะสมและเหมาะแก่การนำมาใช้แทนทรายหยาบและการแทนที่หินเกล็ดได้ (ในแง่ของ Geometry)

หลังจากการผสมคอนกรีตและหล่อก้อนตัวอย่างเพื่อทดสอบค่ากำลังรับแรงอัดประลัยมีขนาด $5 \times 5 \times 5$ ลูกบาศก์เซนติเมตร ในการทำก้อนตัวอย่างเพื่อทดสอบการต้านทานการลื่นไถล จะขึ้นรูปเป็นบล็อกคอนกรีตปูถนน ขนาด $70 \times 190 \times 390$ มิลลิเมตรโดยใช้เครื่องอัดบล็อกคอนกรีตแบบไฮดรอลิก และสำหรับการทำก้อนตัวอย่างเพื่อทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน โดยขึ้นตัวอย่างทดสอบถูกเตรียมให้มีขนาดความกว้าง x ความยาว เท่ากับ 30×30 เซนติเมตร และมีความหนาเท่ากับ 2.54 เซนติเมตรแล้วทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง จึงทำการถอดบล็อกคอนกรีตออกจากแบบหล่อแล้วจึงนำไปแช่น้ำเป็นเวลา 28 วันเพื่อเป็นการบ่มคอนกรีตก่อนนำบล็อกคอนกรีตมาทดสอบ ซึ่งตัวอย่างทดสอบที่เตรียมได้ แสดงไว้ในภาพที่ 9 ตัวอย่างสำหรับการทดสอบกำลังอัด ภาพที่ 10 ตัวอย่างสำหรับการทดสอบเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน ภาพที่ 11 ตัวอย่างสำหรับการ

ทดสอบหาหน่วยน้ำหนัก และภาพที่ 12 ตัวอย่างสำหรับการทดสอบเพื่อหาค่าความต้านทานการลื่นไถล



ภาพที่ 9 ก้อนตัวอย่างบล็อกคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์ ขนาด 5×5×5 ลูกบาศก์เซนติเมตร



ภาพที่ 10 ตัวอย่างสำหรับการทดสอบเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน



ภาพที่ 11 ตัวอย่างสำหรับการทดสอบหาหน่วยน้ำหนัก



ภาพที่ 12 ตัวอย่างสำหรับการทดสอบเพื่อหาค่าความต้านทานการลื่นไถล

ตารางที่ 5 จำนวนตัวอย่างบดล็อกคอนกรีตที่ทำการทดสอบที่มีอายุ 28 วัน

ชื่อเรียก	เบอร์ยาง	สัดส่วน (%)	จำนวนตัวอย่างต่อประเภทการทดสอบ			
			หน่วยน้ำหนัก	กำลังอัด	การลื่นไถล	การนำความร้อน
Control	-	0	3	3	3	3
L05	6	5	3	3	3	3
L10	6	10	3	3	3	3
L15	6	15	3	3	3	3
L20	6	20	3	3	3	3
L25	6	25	3	3	3	3
L30	6	30	3	3	3	3
S05	20	5	3	3	3	3
S10	20	10	3	3	3	3
S15	20	15	3	3	3	3
S20	20	20	3	3	3	3
S25	20	25	3	3	3	3
S30	20	30	3	3	3	3
SL05	6+20	5	3	3	3	3
SL10	6+20	10	3	3	3	3
SL15	6+20	15	3	3	3	3
SL20	6+20	20	3	3	3	3
SL25	6+20	25	3	3	3	3
SL30	6+20	30	3	3	3	3

7. โปรแกรมการทดสอบ

7.1 โปรแกรม ก. ทดสอบหาคคุณสมบัติของวัสดุก่อนคำนวณปริมาณส่วนผสมของคอนกรีต

7.1.1 การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะของมวลรวมละเอียด (Specific Gravity of Fine Aggregate) ตามมาตรฐาน ASTM C 128

7.1.2 การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะของมวลรวมหยาบ (Specific Gravity of Coarse Aggregate) ตามมาตรฐาน ASTM C 127

7.2 โปรแกรม ข. ทดสอบหาคคุณสมบัติเชิงกลของคอนกรีต

7.2.1 การทดสอบกำลังรับแรงอัด (Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens Test) ตามมาตรฐาน ASTM C 39-96

7.3 โปรแกรม ค. ทดสอบหาคคุณสมบัติเชิงกายภาพของคอนกรีต

7.3.1 การทดสอบหาคคุณสมบัติของบล็อกคอนกรีตเพื่อทดสอบหาหน่วยน้ำหนักและการดูดซึมน้ำ (Unit Weight and Water Absorption) ตามมาตรฐาน ASTM C 642-97

7.3.2 การทดสอบหาคคุณสมบัติของบล็อกคอนกรีตเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน ตามมาตรฐาน ASTM C 177-97

7.3.3 การทดสอบหาคคุณสมบัติของบล็อกคอนกรีตเพื่อหาความต้านทานการฉีกฉีกตามมาตรฐาน ASTM E 303-93

ผลและวิจารณ์

1. การศึกษาคุณสมบัติของวัสดุดิบ

1.1 ผลการทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะและการดูดซึม (Specific Gravity and Absorption)

ผลการทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะและการดูดซึม (Specific Gravity and Absorption) ของผงยางเบอร์ 6 ผงยางเบอร์ 20 และวัสดุผสม ดำเนินการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C128 ดังภาพที่ 13 จาก ตารางที่ 6 และตารางที่ 7 แสดงให้เห็นว่า ค่าเฉลี่ยของผงยางเบอร์ 6 จะมีความถ่วงจำเพาะสูงกว่ายางเบอร์ 20 เล็กน้อย แต่มีค่าต่ำกว่าหินเกล็ดและทรายละเอียดที่จะถูกแทนที่ในการผสมคอนกรีตและค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมผงยางเบอร์ 20 จะสูงกว่าผงยางเบอร์ 6 ทั้งนี้ส่วนหนึ่งมาจากขนาดที่ละเอียดกว่า ขณะทำการทดสอบจะมีการจับตัวของผงยางเมื่อสัมผัสกับน้ำขณะทำการทดสอบ ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าผงยางทั้งสองขนาดที่ใช้เป็นมวลรวมในคอนกรีตจะมีน้ำหนักเบา ซึ่งสามารถทำให้โครงสร้างของบล็อกคอนกรีตที่ผสมผงยางมีน้ำหนักเบาด้วยเช่นกัน แต่อาจจะทำให้โครงสร้างของบล็อกคอนกรีตมีกำลังรับแรงต่างๆ ได้ลดลง



ภาพที่ 13 ชุดทดสอบความถ่วงจำเพาะ

ตารางที่ 6 ผลการทดสอบหาความถ่วงจำเพาะของผงยางเบอร์ 6

Determination	Test Results
Average Bulk Specific Gravity	0.97
Average Apparent Specific Gravity	0.98
Average Bulk Specific Gravity (SSD)	0.98
Average Absorption (%)	1.05

ตารางที่ 7 ผลการทดสอบหาความถ่วงจำเพาะของผงยางเบอร์ 20

Determination	Test Results
Average Bulk Specific Gravity	0.88
Average Apparent Specific Gravity	0.89
Average Bulk Specific Gravity (SSD)	0.89
Average Absorption (%)	1.28

ตารางที่ 8 ผลการทดสอบหาความถ่วงจำเพาะของหินเกล็ด

Determination	Test Results
Average Bulk Specific Gravity	2.58
Average Apparent Specific Gravity	2.71
Average Bulk Specific Gravity (SSD)	2.68
Average Absorption (%)	0.25

ตารางที่ 9 ผลการทดสอบหาความถ่วงจำเพาะของทรายละเอียด

Determination	Test Results
Average Bulk Specific Gravity	2.43
Average Apparent Specific Gravity	2.55
Average Bulk Specific Gravity (SSD)	2.47
Average Absorption (%)	2.04

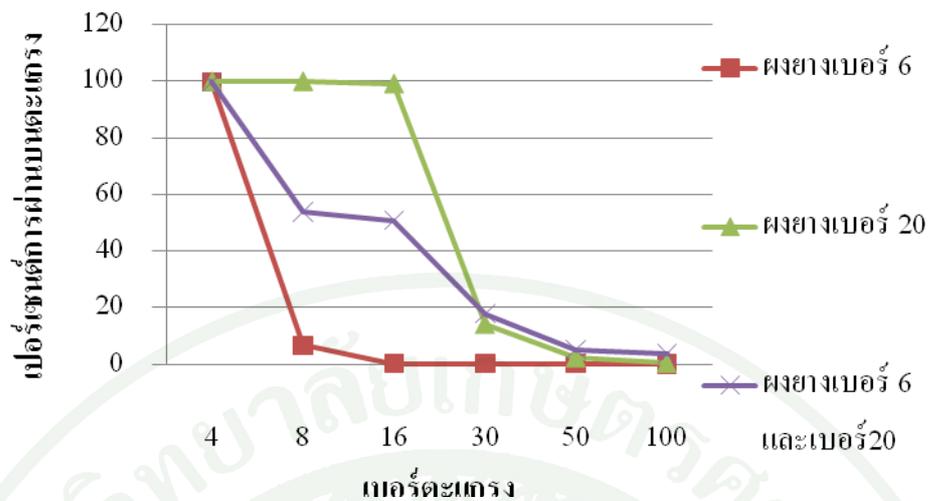
จากผลการทดสอบดังตารางที่ 6 และ 7 พบว่า ผงยางทั้งสองขนาดมีค่าความถ่วงจำเพาะน้อยกว่าน้ำ ผงยางเบอร์ 20 มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 0.88 และผงยางเบอร์ 6 มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 0.97 จะเห็นว่าผงยางเบอร์ 20 จะมีค่าความถ่วงจำเพาะน้อยกว่าผงยางเบอร์ 6 แต่จะมีค่าการดูดซึมน้ำมากกว่า และจากตารางที่ 8 และ 9 พบว่าค่าความถ่วงจำเพาะของหินเกล็ดมีค่าเท่ากับ 2.58 และทรายละเอียดมีค่าเท่ากับ 2.43 จากการผสมคอนกรีตที่มีการนำผงยางมาแทนที่หินเกล็ดและทรายละเอียด ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าผงยางที่ใช้เป็นมวลรวมในคอนกรีตจะมีน้ำหนักเบา ซึ่งทำให้โครงสร้างของคอนกรีตที่ผสมผงยางนี้มีน้ำหนักเบาดูด้วยเช่นกัน แต่อย่างไรก็ตามอาจจะทำให้โครงสร้างของคอนกรีตที่ผสมมีกำลังรับแรงต่างๆ ได้ลดลง

1.2 ผลการทดสอบหาขนาดคละและค่าโมดูลัสความละเอียด (Sieve Analysis and Fineness Modulus)

จากการดำเนินการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C136 การทดสอบโดยใช้ผงยางทั้ง 3 อย่าง คือ ผงยางเบอร์ 6 ผงยางเบอร์ 20 และผงยางเบอร์ 6 และเบอร์ 20 พบว่าการใช้ผงยางผสมกันระหว่างผงยางเบอร์ 6 และผงยางเบอร์ 20 จะมีส่วนคละที่ดีกว่าการใช้ผงยางเบอร์ 6 และผงยางเบอร์ 20 เพียงอย่างเดียว และมีขนาดส่วนใหญ่อยู่ในช่วงตะแกรงเบอร์ 8 และเบอร์ 30 ดังภาพที่ 14 และตารางที่ 10

ตารางที่ 10 ผลการทดสอบขนาดคละของผงยาง

เบอร์ตะแกรง	เปอร์เซ็นต์การผ่านบนตะแกรง		
	ผงยางเบอร์ 6	ผงยางเบอร์ 20	ผงยางเบอร์ 6และเบอร์ 20
4	99.8	100	99.8
8	6.6	100	53.80
16	0.2	99.2	50.80
30	0.2	14.2	17.80
50	0.2	2.4	5.20
100	0.0	0.4	3.60
Pan	0.00	0.00	3.60



ภาพที่ 14 เปรียบเทียบขนาดคละของผงยาง

ในส่วนของค่าโมดูลัสความละเอียดของผงยางทั้ง 3 แบบ ดังตารางที่ 11 จะเห็นว่าผงยางเบอร์ 6 และเบอร์ 20 จะมีค่าโมดูลัสความละเอียดเท่ากับ 3.69 โดยสูงกว่าผงยางเบอร์ 20 และต่ำกว่าผงยางเบอร์ 6 ซึ่งแสดงว่าผงยางที่มีขนาด เฉลี่ยอยู่ระหว่างผงยางเบอร์ 6 และผงยางเบอร์ 20 ซึ่งผงยางที่ละเอียดกว่าหรือมีส่วนคละที่ไม่ดี จำเป็นต้องใช้น้ำมากกว่าเพื่อให้ได้ความสามารถในการทำงานที่เท่าๆกัน

ตารางที่ 11 ค่าโมดูลัสความละเอียดของผงยาง

ตัวอย่าง	โมดูลัสความละเอียด
ผงยางเบอร์ 6	4.93
ผงยางเบอร์ 20	2.83
ผงยางเบอร์ 6 และเบอร์ 20	3.69

2. การทดสอบคุณสมบัติเชิงกล

2.1 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัด (Compressive Strength)

จากภาพที่ 15 การทดสอบกำลังอัดดำเนินการตามมาตรฐาน ASTM C 39-96 โดยใช้บล็อกคอนกรีต ขนาด $5 \times 5 \times 5$ ลูกบาศก์เซนติเมตร พบว่าค่ากำลังรับแรงอัดของบล็อกคอนกรีตลดลง

ตามปริมาณสัดส่วนผงยางที่เพิ่มขึ้น โดยบล็อกคอนกรีตที่ไม่ผสมผงยาง มีค่ากำลังรับแรงอัดสูงที่สุด รองลงมาคือ คอนกรีตผสมผงยางเบอร์ 6 คอนกรีตผสมผงยางเบอร์ 20 และคอนกรีตผสมผงยางเบอร์ 6 และเบอร์ 20 ตามลำดับ

สาเหตุที่ทำให้กำลังลดลง สืบเนื่องมาจากการผสมผงยางซึ่งมีกำลังอัดต่ำกว่าส่วนผสมเดิมจึงทำให้มวลรวมมีกำลังอัดลดลง การใช้ผงยางขนาดเล็กเป็นสัดส่วนผสมของบล็อกคอนกรีตมีอัตราการลดลงของกำลังอัดน้อยกว่าการใช้ผงยางขนาดใหญ่เป็นสัดส่วนผสมของบล็อกคอนกรีต แต่เมื่อใช้ผงยางสองขนาดผสมกันเป็นสัดส่วนผสมของบล็อกคอนกรีตทำให้ผลตอบสนองต่อกำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้นจากการผสมผงยางเพียงขนาดเดียว ตามข้อมูลในตารางที่ 12 และ ภาพที่ 16

อัตราส่วนการผสมที่ทำให้ค่ากำลังอัดโดยเฉลี่ยสูงสุดได้จากการผสมผงยางเบอร์ 6 และเบอร์ 20 ในแต่ละส่วนผสม เมื่อเปรียบเทียบกับบล็อกคอนกรีตที่ผสมผงยางเบอร์ 6 และผงยางเบอร์ 20 เพียงอย่างเดียว แต่เมื่อเปรียบเทียบระหว่างบล็อกคอนกรีตที่ไม่ผสมผงยาง พบว่าบล็อกคอนกรีตที่ผสมผงยางจะให้ค่ากำลังอัดที่ต่ำกว่า

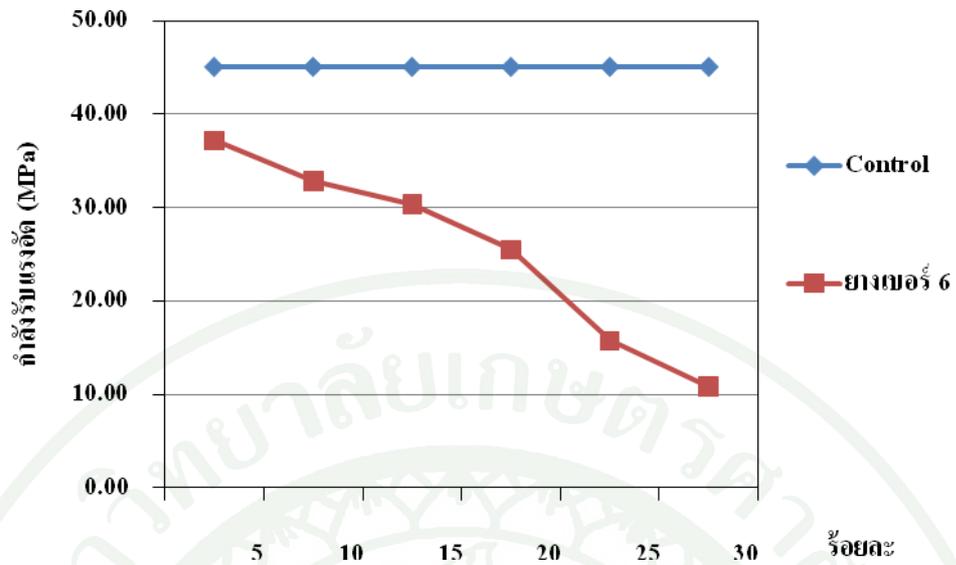
แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบค่ากำลังอัดของบล็อกคอนกรีตตาม (มาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. 58, 2530) ที่กำหนดไว้ที่ 35 MPa ส่วนในภาพที่ 20 พบว่าบล็อกคอนกรีตผสมผงยางเบอร์ 6 และเบอร์ 20 อัตราส่วนร้อยละ 5 ซึ่งมีค่ากำลังอัดลดลงร้อยละ 9.03 แต่ยังมีคุณสมบัติอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน



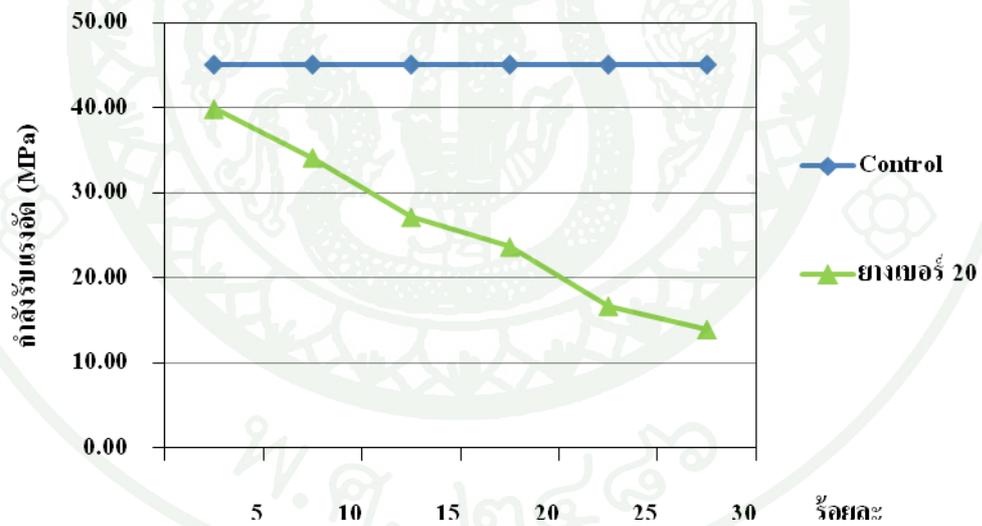
ภาพที่ 15 การทดสอบกำลังรับแรงอัด

ตารางที่ 12 เปรียบเทียบค่ากำลังรับแรงอัดของบล็อกคอนกรีตผสมผงยางในอัตราส่วนต่างๆ

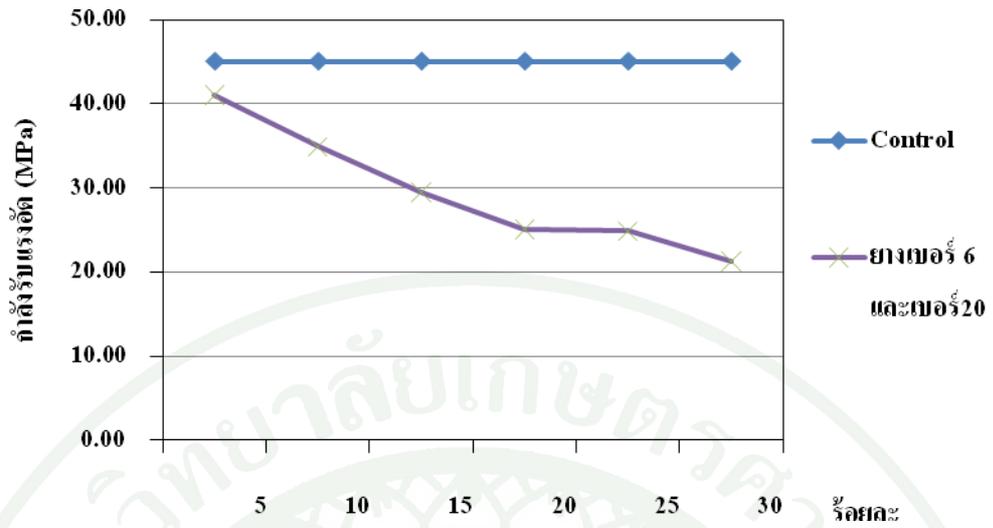
ขนาดผงยาง	ร้อยละ	(MPa)
Control	-	45.08
เบอร์ 6	5	37.19
	10	32.86
	15	30.35
	20	25.29
	25	15.71
	30	10.79
	เบอร์ 20	5
10		34.16
15		27.15
20		23.66
25		16.69
30		13.92
เบอร์ 6 และเบอร์ 20		5
	10	34.91
	15	29.53
	20	25.03
	25	24.87
	30	21.25



ภาพที่ 16 ค่ากำลังรับแรงอัดของบด็อกคอนกรีตผสมยางเบอร์ 6



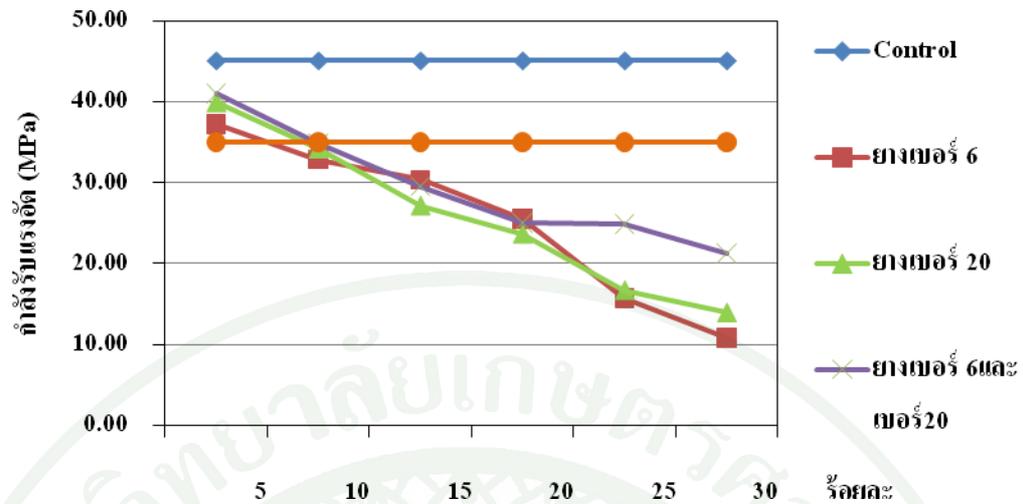
ภาพที่ 17 ค่ากำลังรับแรงอัดของบด็อกคอนกรีตผสมยางเบอร์ 20



ภาพที่ 18 ค่ากำลังรับแรงอัดของบล็อกคอนกรีตผสมผงยางเบอร์ 6 และเบอร์ 20



ภาพที่ 19 ค่ากำลังรับแรงอัดของบล็อกคอนกรีตผสมผงยาง



ภาพที่ 20 ค่ากำลังรับแรงอัดของบล็อกคอนกรีตเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานอุตสาหกรรม

ลักษณะการเสียรูปในการวัดดังภาพที่ 21 ที่เกิดจากการทดสอบเนื่องจากบล็อกคอนกรีตที่ผสมผงยางมีความยืดหยุ่นที่สูงกว่าบล็อกคอนกรีตควบคุม จึงทำให้แนวการวิบัติของบล็อกคอนกรีตที่เสียหายมากกว่าบล็อกคอนกรีตควบคุม



ภาพที่ 21 รูปแบบการวิบัติของก้อนบล็อกคอนกรีตตัวอย่างรูปลูกบาศก์

3. การทดสอบคุณสมบัติเชิงกายภาพ

3.1 ผลการทดสอบหาหน่วยน้ำหนักและการดูดซึมน้ำ (Unit Weight and Water Absorption)

จากผลการทดสอบหาหน่วยน้ำหนักพบว่าหน่วยน้ำหนักของบล็อกคอนกรีตที่ไม่ผสมผงยางจะมีค่าสูงที่สุดและเมื่อเปรียบเทียบกับบล็อกคอนกรีตที่มีส่วนผสมของผงยางขนาดต่างๆ และสัดส่วนต่างๆ พบว่าการผสมผงยางปริมาณร้อยละ 30 ทำให้บล็อกคอนกรีตมีหน่วยน้ำหนักต่ำที่สุด และมีน้ำหนักที่เบาที่สุด ทั้งนี้เป็นผลมาจากการแทนที่มวลรวมซึ่งมีความหนาแน่นสูงกว่าด้วยผงยางซึ่งมีความหนาแน่นต่ำกว่า โดยหน่วยน้ำหนักของบล็อกคอนกรีตที่ไม่ผสมผงยางมีค่าเท่ากับ 2.21 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และหน่วยน้ำหนักของบล็อกคอนกรีตผสมผงยางมีค่าลดลงผกผันกับการเพิ่มปริมาณผงยางที่ผสม เรียงลำดับจากความหนาแน่นแห่งสูงไปต่ำ คือ บล็อกคอนกรีตควบคุม บล็อกคอนกรีตผสมผงยางร้อยละ 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 ตามลำดับในตารางที่ 13 และ ภาพที่ 25

จากการทดสอบสรุปได้ว่าการนำผงยางซึ่งมีค่าความถ่วงจำเพาะที่น้อยกว่ามวลรวมมาผสมในคอนกรีตจะทำให้บล็อกคอนกรีตมีค่าหน่วยน้ำหนักที่น้อยกว่าบล็อกคอนกรีตที่ไม่ผสมผงยางและผลจากการหาหน่วยน้ำหนัก (Unit Weight) ของผงยางเบอร์ 6 และเบอร์ 20 ที่มีน้อยกว่าหินเกล็ดและทรายหยาบ ทำให้ค่าหน่วยน้ำหนักของบล็อกคอนกรีตตัวอย่างลดลงและน้ำหนักเบากว่าบล็อกคอนกรีตควบคุม ขนาดของผงยางมีอิทธิพลต่อค่าหน่วยน้ำหนัก ในการทำวิจัยในครั้งนี้อาจทดสอบผสมผงยาง 2 แบบคือ ใช้ผงยางเพียงขนาดเดียว และใช้ผงยางสองขนาดผสมรวมกัน พบว่าการใช้ผงยางสองขนาดผสมรวมกันให้ค่าหน่วยน้ำหนักได้ต่ำกว่าการใช้ผงยางเพียงขนาดเดียว

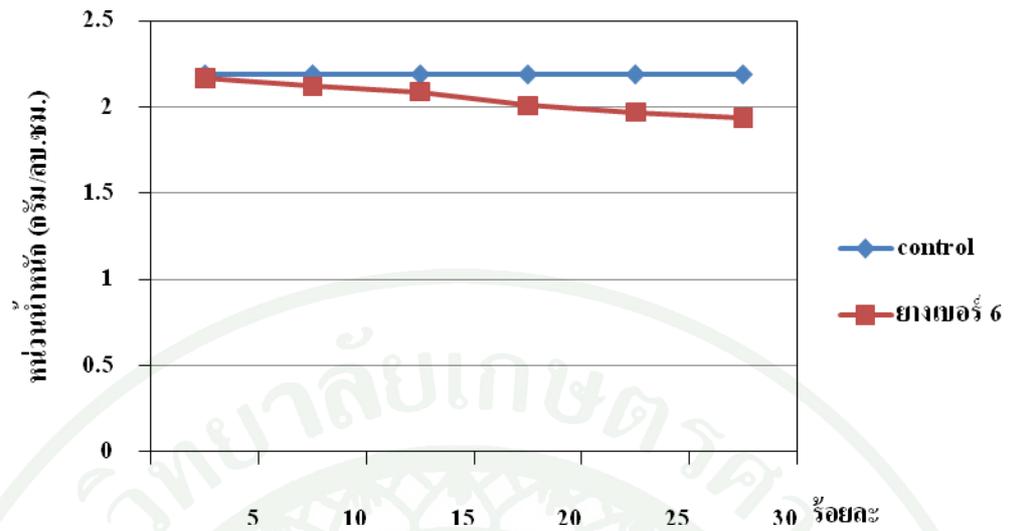
กรณีพิจารณาค่าการดูดซึมน้ำ พบว่าค่าการดูดซึมน้ำมีค่าสูงขึ้นตามปริมาณสัดส่วนของผงยางที่ผสม ทั้งนี้เป็นผลมาจากการอัดแน่นที่ทำได้ยากขึ้นเมื่อปริมาณผงยางเพิ่มขึ้น ส่งผลให้บล็อกคอนกรีตที่ผสมผงยางในปริมาณมากมีรูพรุนและการดูดซึมน้ำสูง โดยบล็อกคอนกรีตที่ไม่ผสมผงยางจะมีร้อยละการดูดซึมน้ำเท่ากับ 5.18 แสดงในตารางที่ 14

ตารางที่ 13 เปรียบเทียบหน่วยน้ำหนักของบล็อกคอนกรีตผสมผงยางในอัตราส่วนต่างๆ

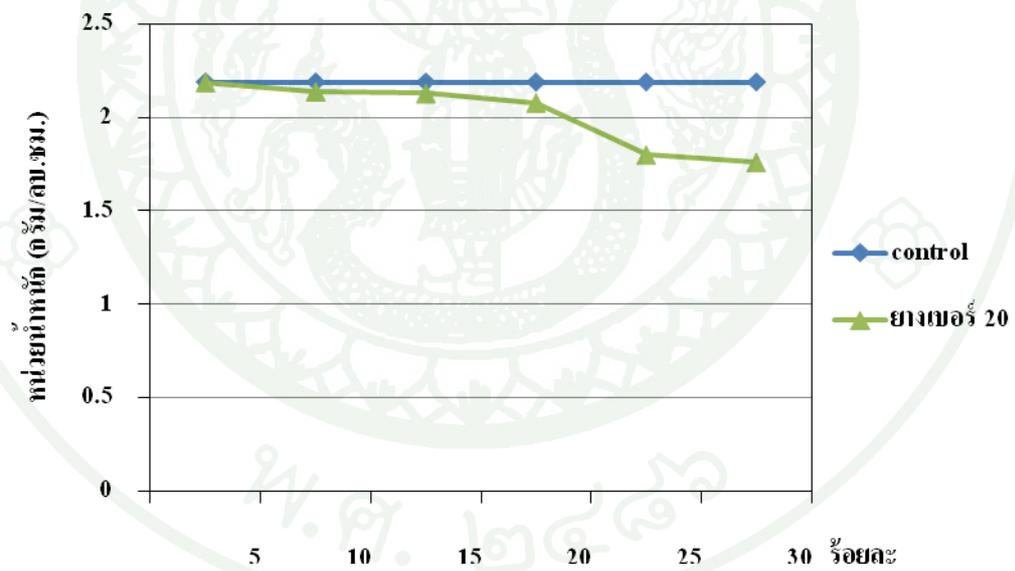
ขนาดผงยาง	ร้อยละ	หน่วยน้ำหนัก (กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร)
Control	-	2.21
เบอร์ 6	5	2.19
	10	2.12
	15	2.09
	20	2.01
	25	1.97
	30	1.94
เบอร์ 20	5	2.19
	10	2.14
	15	2.13
	20	2.08
	25	1.80
	30	1.76
เบอร์ 6 และเบอร์ 20	5	2.12
	10	2.05
	15	2.01
	20	1.97
	25	1.85
	30	1.77

ตารางที่ 14 เปรียบเทียบการดูดซึมน้ำของบล็อกคอนกรีตผสมผงยางในอัตราส่วนต่างๆ

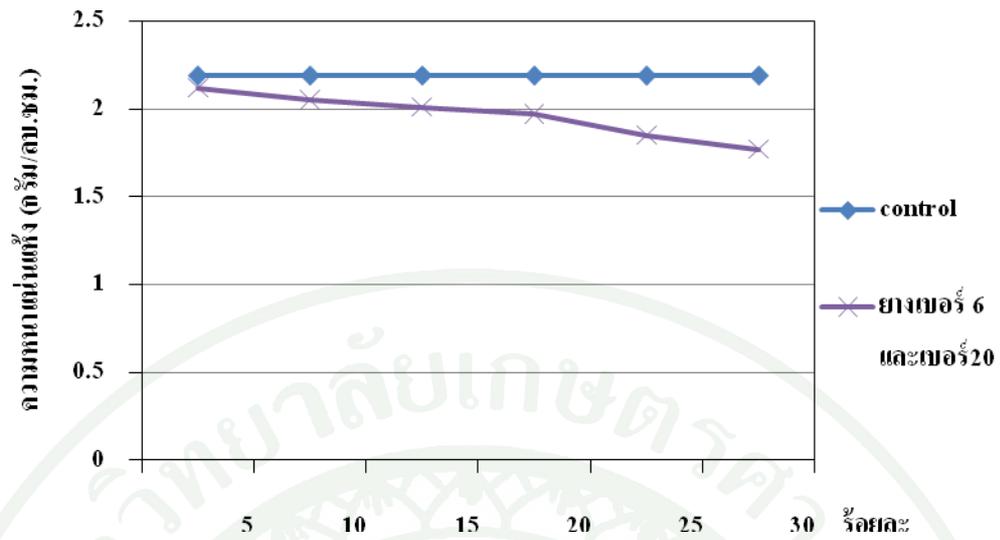
ขนาดผงยาง	ร้อยละ	เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ
Control	-	5.18
เบอร์ 6	5	4.57
	10	4.73
	15	5.83
	20	6.11
	25	6.21
	30	6.29
	เบอร์ 20	5
10		4.58
15		4.62
20		4.89
25		5.26
30		5.69
เบอร์ 6 และเบอร์ 20	5	4.49
	10	5.00
	15	5.36
	20	5.97
	25	6.34
	30	6.82



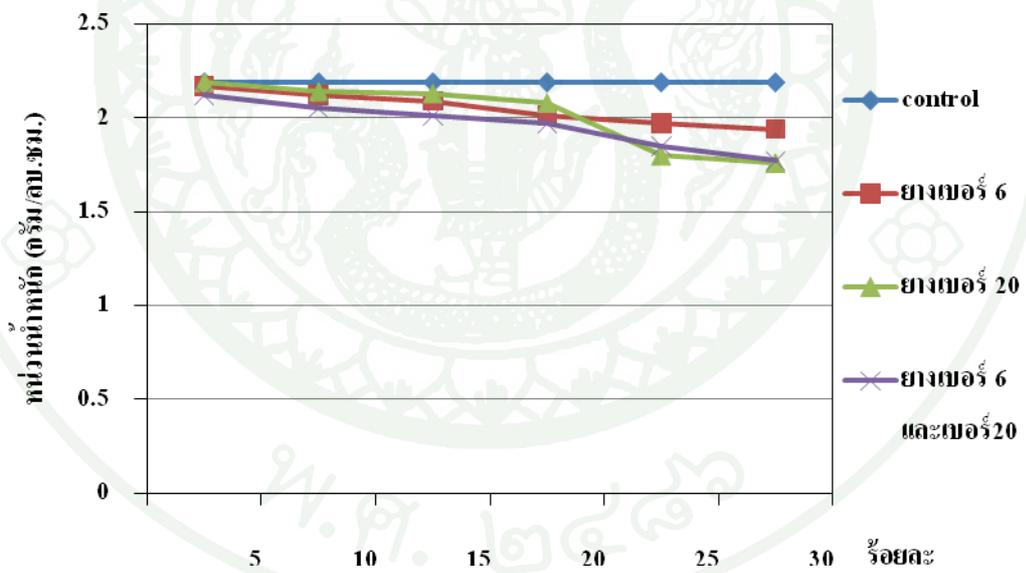
ภาพที่ 22 เปรียบเทียบหน่วยน้ำหนักของบล็อกคอนกรีตผสมผงยางเบอร์ 6



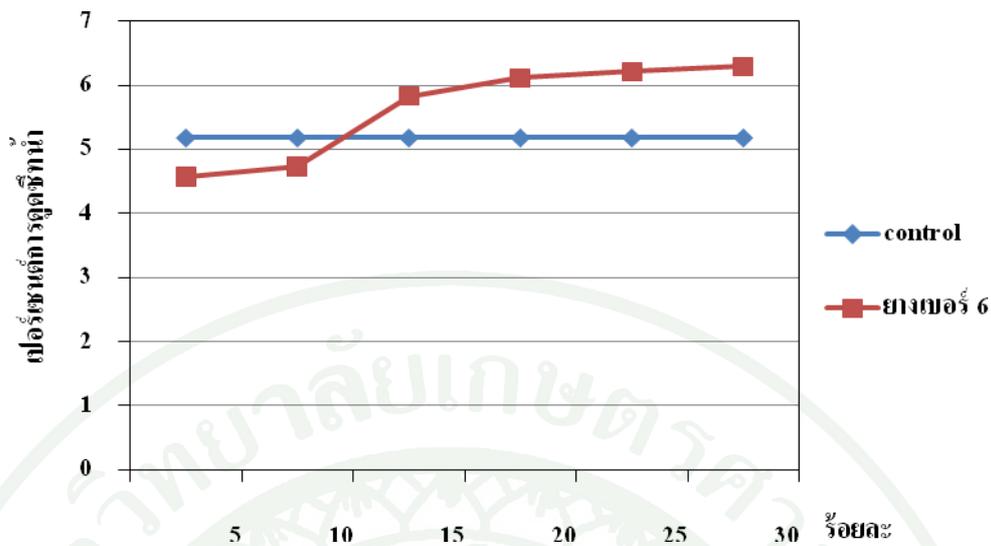
ภาพที่ 23 เปรียบเทียบหน่วยน้ำหนักของบล็อกคอนกรีตผสมผงยางเบอร์ 20



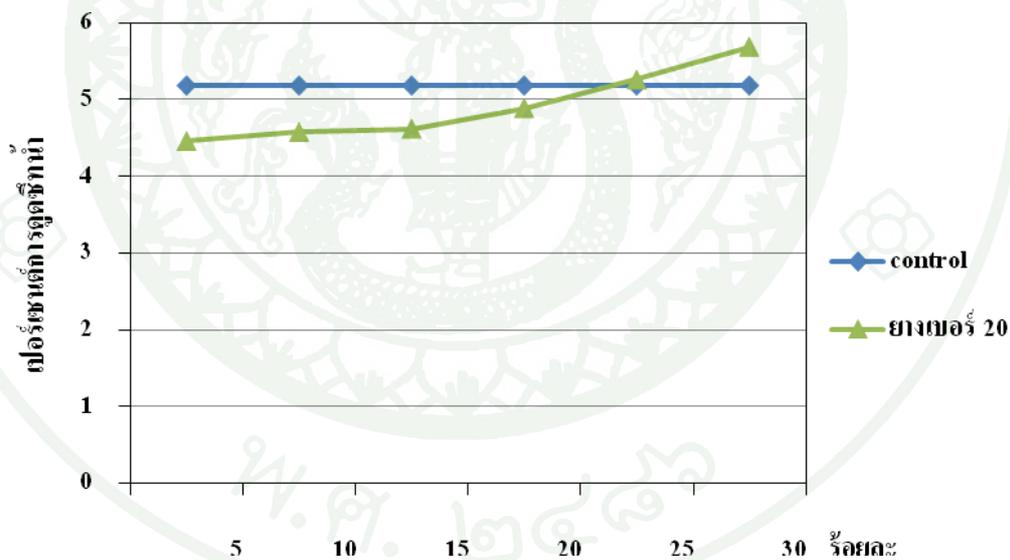
ภาพที่ 24 เปรียบเทียบหน่วยน้ำหนักของบดล็อกคอนกรีตผสมยางเบอร์ 6 และเบอร์ 20



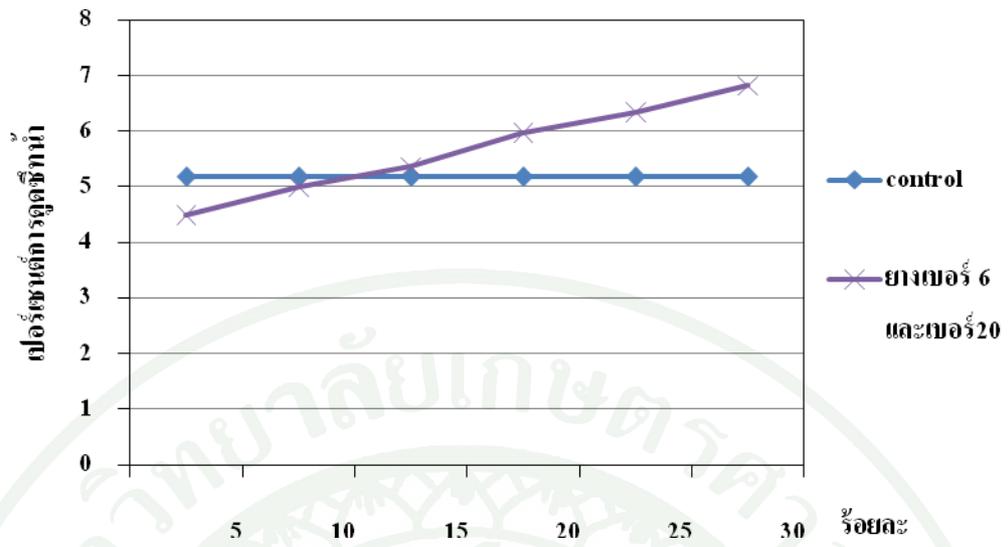
ภาพที่ 25 เปรียบเทียบหน่วยน้ำหนักของบดล็อกคอนกรีตผสมยาง



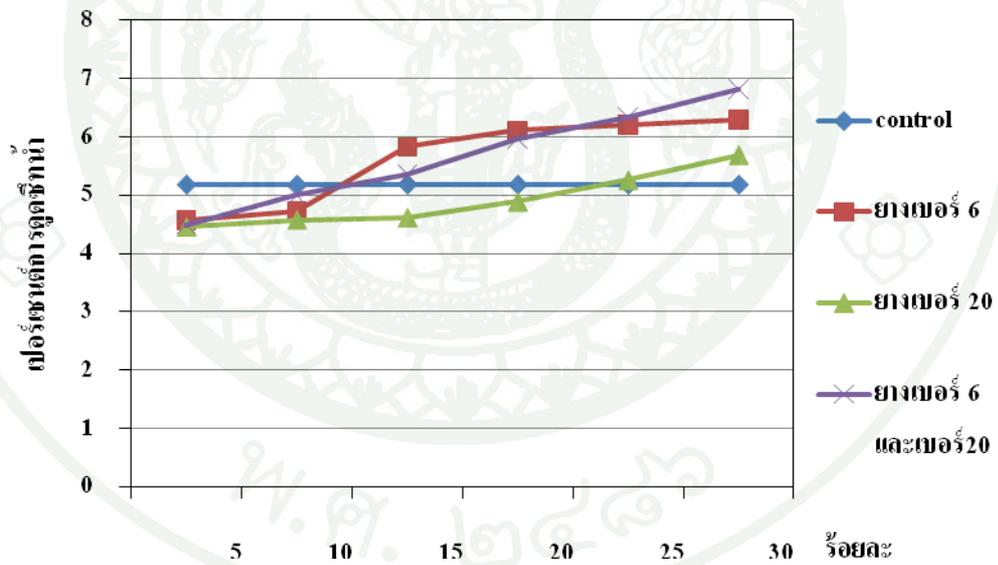
ภาพที่ 26 เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของเมล็ดคอนกรีตผสมยางเบอร์ 6



ภาพที่ 27 เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของเมล็ดคอนกรีตผสมยางเบอร์ 20



ภาพที่ 28 เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การงอกของเมล็ดกอนกรีตผสมยางเบอร์ 6 และเบอร์ 20



ภาพที่ 29 เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การงอกของเมล็ดกอนกรีตผสมยาง

3.2 การทดสอบความต้านทานการลื่นไถล

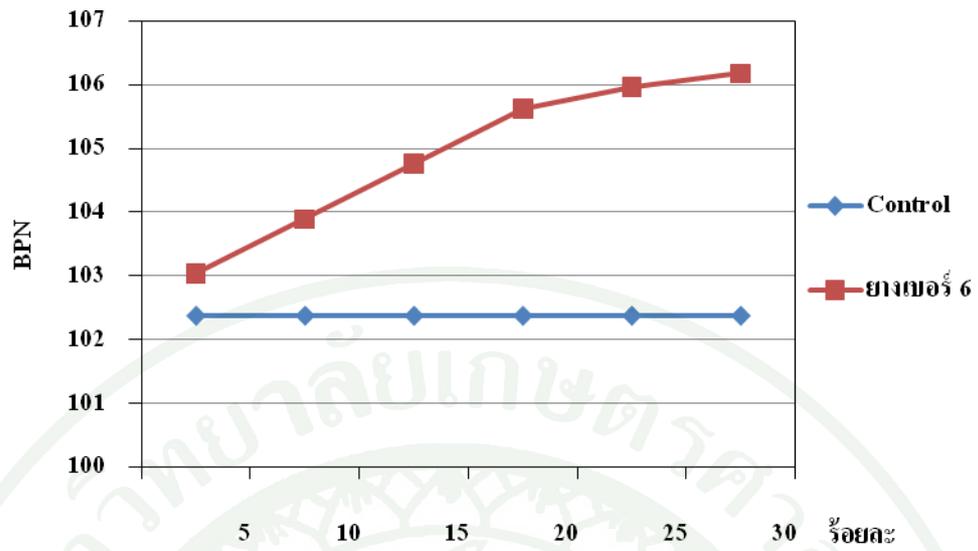
ในการทดสอบความสามารถในการต้านทานการลื่นไถล การทดสอบจะใช้เครื่องมือทดสอบ British Pendulum Tester ผลการทดสอบพบว่าความสามารถในการต้านทานการลื่นไถล บล็อกคอนกรีตผสมผงยางมีความต้านทานการลื่นไถลเพิ่มขึ้นตามปริมาณสัดส่วนของผงยางที่เพิ่มขึ้น ดังตารางที่ 15 และมีค่าความต้านทานการลื่นไถลเพิ่มมากขึ้นเมื่อใช้ผงยางเบอร์ 6 และเบอร์ 20 ผสมร่วมกัน ด้วยคุณสมบัติความต้านทานการลื่นไถลของผงยางที่ผสมกับคอนกรีตบริเวณ ผิวหน้าของบล็อกจึงสามารถเพิ่มคุณสมบัติการป้องกันการลื่นให้กับวัสดุปูพื้นได้

จากภาพที่ 33 แสดงค่าความต้านทานการลื่นไถลบล็อกคอนกรีตควบคุมมีค่า 102.37 (BPN) และบล็อกคอนกรีตผสมผงยางในทุกสัดส่วนการผสมด้วยผงยางเบอร์ 6 และเบอร์ 20 คือ 111.89, 112.23, 112.87, 113.06, 114.81 และ 115.05 ตามลำดับ

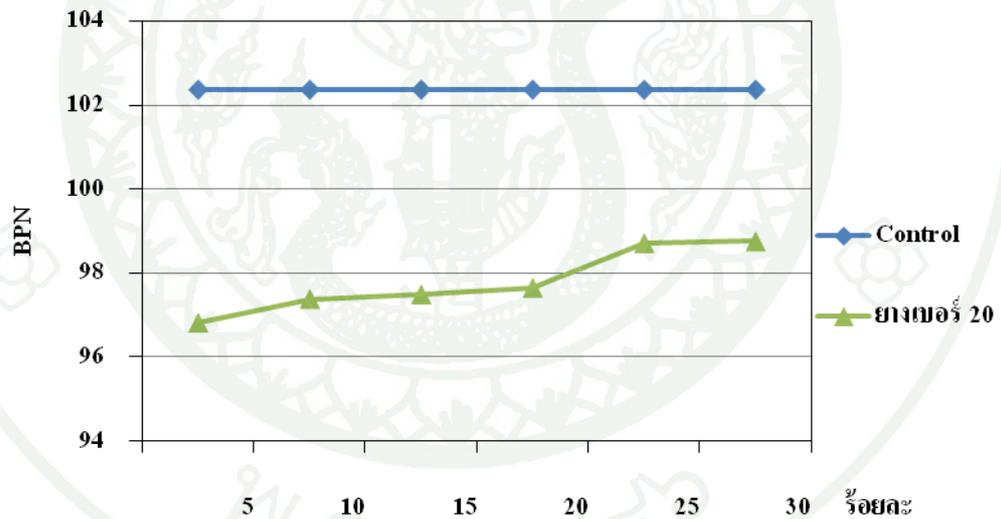
นอกจากนี้ยังได้ทำการเปรียบเทียบกับมาตรฐานของผิวทางอื่นๆ จากตารางที่ 2 พบว่า บล็อกคอนกรีตที่ผสมผงยางรถยนต์ มีค่าความต้านทานการลื่นไถลโดยเฉลี่ยสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด จึงคิดว่าจะนำมาใช้ในงานจริง เนื่องจากจะเกิดความปลอดภัยกับผู้ใช้งาน ทั้งนี้เนื่องจากความฝืดของผงยางที่มีส่วนทำให้บล็อกคอนกรีตที่ได้มีความสามารถในการต้านทานการลื่นไถลที่ดี

ตารางที่ 15 เปรียบเทียบความต้านทานการลื่นไถลของบล็อกคอนกรีตผสมผงยางในอัตราส่วน
ต่างๆ

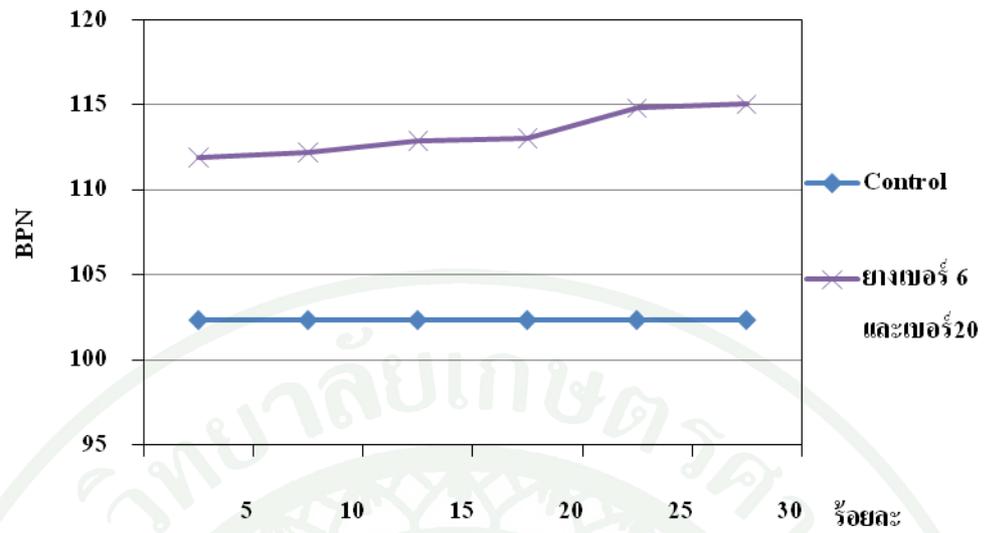
ขนาดผงยาง	ร้อยละ	(BPN)
Control	-	102.37
เบอร์ 6	5	103.04
	10	103.89
	15	104.76
	20	105.63
	25	105.96
	30	106.18
เบอร์ 20	5	96.81
	10	97.38
	15	97.49
	20	97.65
	25	98.72
	30	98.76
เบอร์ 6 และเบอร์ 20	5	111.89
	10	112.23
	15	112.87
	20	113.06
	25	114.81
	30	115.05



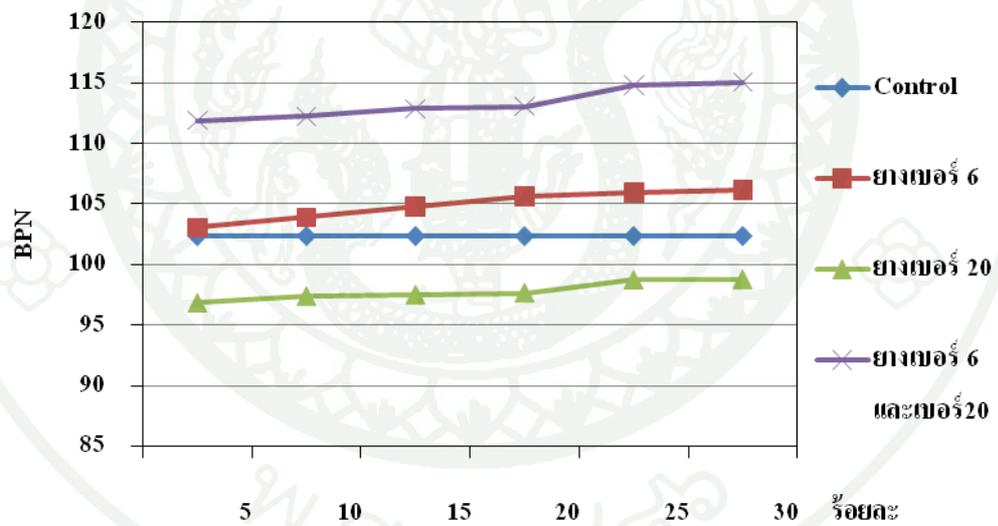
ภาพที่ 30 ความต้านทานการสิ้นไถลของบล็อกคอนกรีตผสมยางเบอร์ 6



ภาพที่ 31 ความต้านทานการสิ้นไถลของบล็อกคอนกรีตผสมยางเบอร์ 20



ภาพที่ 32 ความต้านทานการสิ้นไถลของบล็อกคอนกรีตผสมยางเบอร์ 6 และเบอร์ 20



ภาพที่ 33 ความต้านทานการสิ้นไถลของบล็อกคอนกรีตผสมยาง

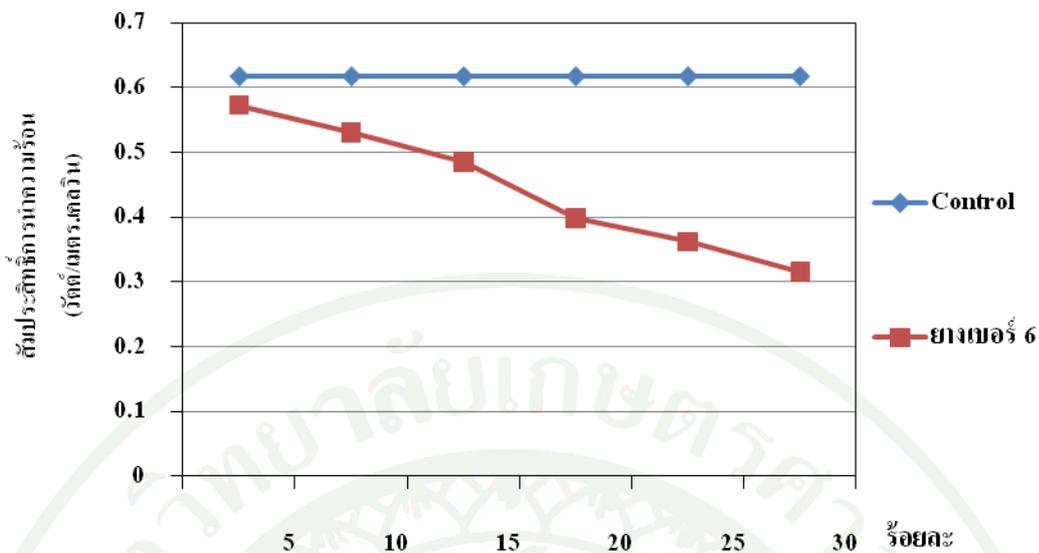
3.3 ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน

ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของบล็อกคอนกรีตผสมผงยางมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนดีกว่าบล็อกคอนกรีตแบบธรรมดาที่ได้นี้เกี่ยวข้องกับโดยตรงกับการผสมผงยางลงไปแทนที่มวลรวมละเอียดและมวลรวมหยาบ ผลการทดสอบทางด้านการนำความร้อนของบล็อกคอนกรีตผสมผงยางพบว่ามีการนำความร้อนน้อยกว่าบล็อกคอนกรีตแบบธรรมดาสามารถบอกถึงความเป็นฉนวนกันความร้อนที่ดีกว่าคอนกรีตแบบธรรมดา คือ มีลักษณะการถ่ายเทความร้อนผ่านผิวสัมผัสคอนกรีตจากด้านหนึ่งไปอีกด้านหนึ่ง ตารางที่ 16 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของบล็อกคอนกรีตควบคุมมีค่า 0.618 และการแทนที่มวลรวมละเอียดร้อยละ 30 ด้วยผงยางเบอร์ 20 ให้ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนดีที่สุด คือ มีค่าเท่ากับ 0.250 วัตต์ / เมตร.เคลวิน รองลงมา คือ การแทนที่มวลรวมละเอียดด้วยผงยางเบอร์ 6 และเบอร์ 20 มีค่าเท่ากับ 0.294 วัตต์ / เมตร.เคลวิน และการแทนที่มวลรวมละเอียดด้วยเม็ดยางเบอร์ 6 มีค่าเท่ากับ 0.316 วัตต์ / เมตร.เคลวิน ตามลำดับ

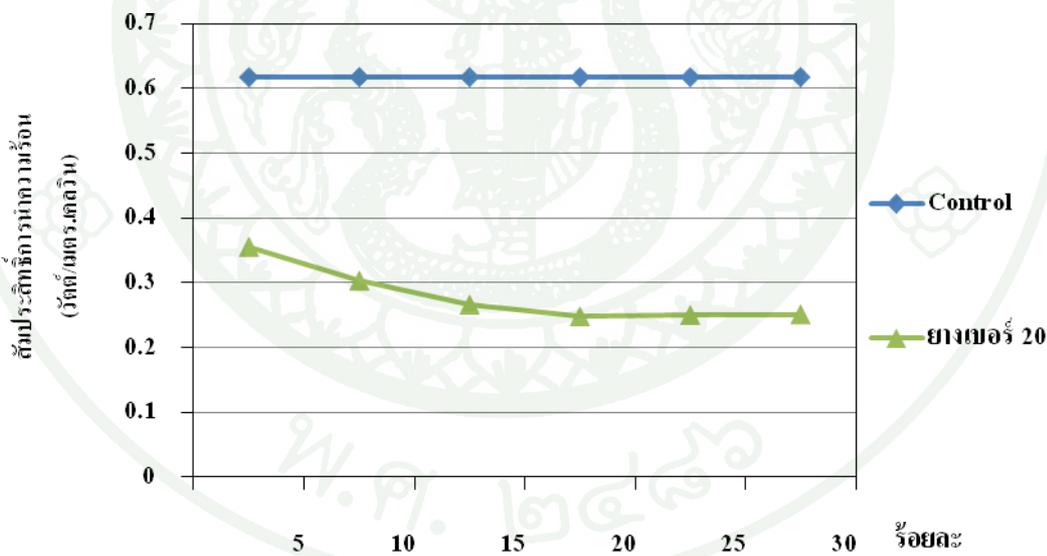
นอกจากนี้พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของบล็อกคอนกรีตผสมผงยางมีค่าลดลงตามปริมาณผงยางที่ผสมเพิ่มมากขึ้น และมีค่าสัมประสิทธิ์น้อยกว่าบล็อกคอนกรีตควบคุม ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้ร่วมกับทฤษฎีของ Neville ที่ว่าค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนแปรผันตามความหนาแน่นของคอนกรีต ซึ่งจะช่วยให้ป้องกันความร้อนได้ด้วยความหนาของบล็อกคอนกรีตที่บางกว่าเมื่อผสมผงยางลงไป ทั้งนี้สามารถสรุปได้ว่า คุณสมบัติของบล็อกคอนกรีตผสมผงยางในด้านการนำความร้อน ที่อยู่ในรูปของค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนดีกว่าบล็อกคอนกรีตควบคุม ทั้งนี้ น่าจะเกี่ยวข้องโดยตรงกับการที่ใส่เม็ดยางแทนที่มวลรวมละเอียดในส่วนของผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพด้านการนำความร้อน (Thermal Conductivity) ของบล็อกคอนกรีตผสมผงยางนี้มีผลการทดสอบออกมา มีค่าน้อยกว่าบล็อกคอนกรีตควบคุมสามารถบอกถึงความเป็นฉนวนกันความร้อน (Thermal Insulation) ที่ดีกว่าบล็อกคอนกรีตควบคุม คือ มีลักษณะการถ่ายเทความร้อนผ่านผิวสัมผัสคอนกรีตจากด้านหนึ่งไปอีกด้านหนึ่ง โดยที่อุณหภูมิทั้งสองด้านของผิวสัมผัสคอนกรีตมีค่าแตกต่างกัน

ตารางที่ 16 เปรียบเทียบสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของบล็อกคอนกรีตผสมผงยางในอัตราส่วนต่างๆ

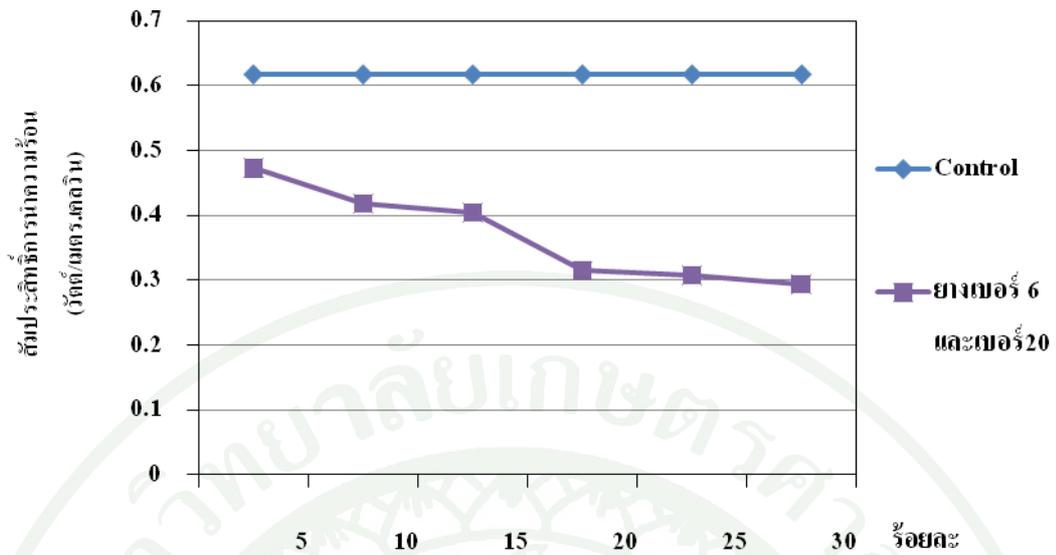
ขนาดผงยาง	ร้อยละ	(วัตต์/เมตร.เคลวิน)
Control	-	0.618
เบอร์ 6	5	0.573
	10	0.531
	15	0.485
	20	0.399
	25	0.362
	30	0.316
	เบอร์ 20	5
10		0.303
15		0.266
20		0.248
25		0.251
30		0.250
เบอร์ 6 และเบอร์ 20	5	0.473
	10	0.418
	15	0.404
	20	0.315
	25	0.308
	30	0.294



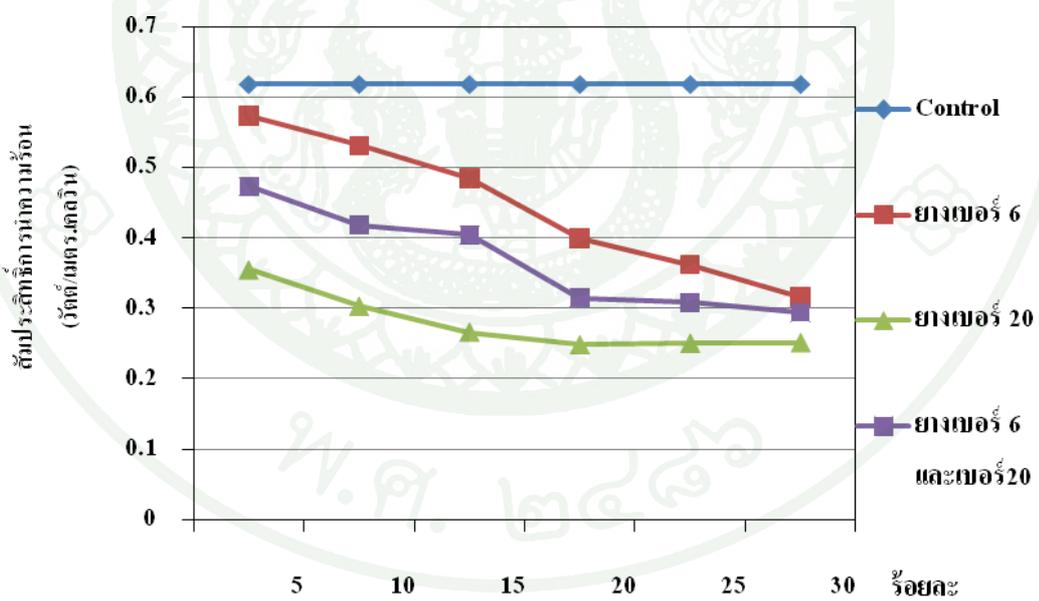
ภาพที่ 34 สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของบด็อกคอนกรีตผสมยางเบอร์ 6



ภาพที่ 35 สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของบด็อกคอนกรีตผสมยางเบอร์ 20



ภาพที่ 36 สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของเปลือกคอนกรีตผสมยางเบอร์ 6 และเบอร์ 20



ภาพที่ 37 สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของเปลือกคอนกรีตผสมยาง

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

1. การศึกษาคุณสมบัติของวัสดุดิบ

1.1 ผลการทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะและการดูดซึม (Specific Gravity and Absorption)

ผลการทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะและการดูดซึม (Specific Gravity and Absorption) ความถ่วงจำเพาะของผงยางมีค่าน้อยกว่า หินเกล็ดทรายละเอียด การผสมคอนกรีตที่มีการนำผงยางรีไซเคิลมาแทนที่หินเกล็ดและทรายละเอียด จึงพบว่าผงยางที่ใช้เป็นมวลรวมในคอนกรีตจะมีน้ำหนักเบา ซึ่งทำให้โครงสร้างของคอนกรีตที่ผสมผงยางนี้มีน้ำหนักเบาดูด้วยเช่นกัน

1.2 ผลการทดสอบหาขนาดคละและค่าโมดูลัสความละเอียด (Sieve Analysis and Fineness Modulus)

ผลการทดสอบหาขนาดคละและค่าโมดูลัสความละเอียด (Sieve Analysis and Fineness Modulus) ในส่วนของค่าโมดูลัสความละเอียดของผงยางทั้ง 3 แบบ พบว่าผงยางเบอร์ 6 และเบอร์ 20 จะมีค่าโมดูลัสความละเอียดสูงกว่าผงยางเบอร์ 20 และต่ำกว่าผงยางเบอร์ 6 ซึ่งแสดงว่าผงยางที่มีขนาดเฉลี่ยอยู่ระหว่างผงยางเบอร์ 6 และเบอร์ 20 ซึ่งผงยางที่ละเอียดกว่าหรือมีส่วนคละที่ไม่ดี จำเป็นต้องใช้น้ำมากกว่าเพื่อให้ได้ความสามารถในการทำงานที่เท่าๆกัน

2. การทดสอบคุณสมบัติเชิงกล

2.1 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัด (Compressive Strength)

ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัด (Compressive Strength) โดยทั่วไปคุณสมบัติเชิงกลของบล็อกคอนกรีตผสมผงยางคือ การทดสอบกำลังรับแรงอัดจะลดลงตามปริมาณสัดส่วนของผงยางและเมื่อเทียบกันระหว่างผงยางเบอร์ต่างๆ พบว่าบล็อกคอนกรีตที่ผสมผงยางเบอร์ 6 และเบอร์ 20 ให้ค่ากำลังรับแรงอัดดีที่สุด แต่ก็ยังต่ำกว่าบล็อกคอนกรีตควบคุม บล็อกคอนกรีตผสมผงยาง

สัดส่วนร้อยละ 5 ให้ค่ากำลังรับแรงอัดผ่านเกณฑ์มาตรฐานอุตสาหกรรม ซึ่งจะรักษาคุณภาพในการใช้งานได้ กำลังอัดของคอนกรีตธรรมดา สูงกว่าคอนกรีตผสมเม็ดยางทุกสัดส่วนผสม การแทนที่ปริมาณเม็ดยางในสัดส่วนร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก ทำให้ค่ากำลังอัดลดลงคิดเป็นร้อยละ 21.91 ของคอนกรีตธรรมดา ในคอนกรีตผสมเม็ดยางแต่ละเบอร์ การแทนที่ด้วยเม็ดยางเบอร์ 6 ให้ค่าคุณสมบัติเชิงกลดีที่สุด โดยที่สัดส่วนผสมเม็ดยางร้อยละ 30 ค่ากำลังอัดของคอนกรีตผสมเม็ดยางเบอร์ 20 ต่ำกว่าคอนกรีตผสมเม็ดยางเบอร์ 6 คิดเป็นร้อยละ 24.22

3. การทดสอบคุณสมบัติเชิงกายภาพ

3.1 ผลการทดสอบหาหน่วยน้ำหนักและการดูดซึมน้ำ (Unit Weight and Water Absorption)

ด้านคุณสมบัติเชิงกายภาพของบล็อกคอนกรีตผสมผงยางคือ ค่าหน่วยน้ำหนักน้อยของบล็อกคอนกรีตผสมผงยางให้ค่าน้อยกว่าบล็อกคอนกรีตควบคุมทำให้มีน้ำหนักเบากว่า ซึ่งจะเป็นการลดต้นทุนในการขนส่ง ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพด้านการหาหน่วยน้ำหนักของบล็อกคอนกรีตผสมผงยางในส่วนของหาหน่วยน้ำหนักพบว่ามีการลดลงตามปริมาณเม็ดยางที่เพิ่มขึ้น ซึ่งการผสมผงยางเบอร์ 6 และเบอร์ 20 ร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก มีค่าน้อยกว่าคอนกรีตธรรมดา คิดเป็นร้อยละ 42.00

ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพด้านการดูดซึมน้ำคอนกรีตผสมเม็ดยางในส่วนของการดูดซึมน้ำพบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณเม็ดยางที่เพิ่มขึ้น ซึ่งการผสมผงยางเบอร์ 6 และเบอร์ 20 ร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก มีค่ามากกว่าบล็อกคอนกรีตธรรมดา คิดเป็นร้อยละ 64.00

3.2 การทดสอบความต้านทานการลื่นไถล

การทดสอบความต้านทานการลื่นไถล จากคุณสมบัติที่กล่าวมาจะดีมากขึ้นเมื่อใช้ผงยางสองขนาดผสมกัน คือ ผงยางเบอร์ 6 และเบอร์ 20 ให้ค่ากำลังรับแรงอัดดีกว่าการใช้ผงยางขนาดเดียว ความสามารถในการต้านทานการลื่นไถลเพิ่มขึ้นตามปริมาณสัดส่วนของผงยางที่เพิ่มขึ้น บล็อกคอนกรีตผสมผงยางเบอร์ 6 และเบอร์ 20 ที่ปริมาณร้อยละ 5 เป็นบล็อกคอนกรีตผสมผงยางที่มีความเหมาะสมในการนำไปประยุกต์ใช้ต่อไป

ค่าความต้านทานการลื่นไถลซึ่งเป็นคุณสมบัติพิเศษในการป้องกันและลดอุบัติเหตุจากการลื่นไถลพบว่าบล็อกลคอนกรีตผสมผงยางมีความต้านทานการลื่นไถลได้ดีกว่าบล็อกลคอนกรีตควบคุม และมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อใช้ผงยาง 2 ขนาดผสมกัน

3.3 ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน

ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของคอนกรีตผสมเม็ดยางต่ำกว่าคอนกรีตธรรมดาทุกสัดส่วนผสม ผลที่เกิดจากการใส่เม็ดยางที่เห็นได้ชัดเจน คือ การแทนที่ทรายร้อยละ 30 โดยน้ำหนักพบว่าต่ำกว่าคอนกรีตธรรมดา คิดเป็นร้อยละ 32.40 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับค่าความหนาแน่นและปริมาตรพูนของคอนกรีตด้วย คุณสมบัติในการนำความร้อนสามารถนำไปพัฒนาเป็นวัสดุเพื่อการอนุรักษ์พลังงานได้อีกแนวทางหนึ่ง คอนกรีตผสมผงยางมีความเป็นฉนวนกันความร้อนที่ดีกว่าบล็อกลคอนกรีตควบคุมทุกสัดส่วนการผสม โดยสังเกตจากค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่ลดลงเกือบครึ่งในการผสมผงยางร้อยละ 30

ข้อเสนอแนะ

ในการวิจัยครั้งนี้ ผลที่ได้เป็นเพียงข้อมูลพื้นฐานเบื้องต้นเกี่ยวกับแนวทางการนำผงยางมาใช้ในงานคอนกรีตผสมผงยาง โดยได้ศึกษาถึงคุณสมบัติเชิงกลและคุณสมบัติเชิงกายภาพเท่านั้น จึงควรทำการศึกษาวิจัยเพิ่มเติมในด้านอื่น ๆ อีก ซึ่งผู้วิจัยขอเสนอแนวทางไว้สำหรับผู้ที่สนใจที่จะทำการวิจัยเพิ่มเติม ดังนี้

ควรมีการศึกษาถึงราคาค่าวัสดุที่ใช้ในการผลิตบล็อกลคอนกรีตผสมผงยาง เนื่องจากในงานวิจัยนี้ผงยางที่ใช้แทนมวลรวมละเอียด ซึ่งมีราคาแพงกว่าทราย

ควรมีการศึกษาวิจัยในแง่ของการนำไปใช้งานจริง เช่น การก่อสร้างผนังคอนกรีตภายในอาคาร เนื่องจากบล็อกลคอนกรีตผสมผงยางมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำกว่าและเป็นฉนวนความร้อนที่ดี สามารถช่วยลดอุณหภูมิภายในตัวอาคารได้

ควรมีการศึกษาวิจัยในด้านความทนทานของบล็อกลคอนกรีตผสมผงยาง ในด้านอื่น ๆ อีกเช่น คุณสมบัติด้านความทนทานต่อการกัดกร่อนของกรด และสภาพแวดล้อม

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

เฉลิมพล ไชยแก้ว. 2546. การศึกษาการใช้ผงกาวยางรถยนต์เก่าในคอนกรีตบล็อกปูผิวทางแบบอ่อน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร. 2542. คอนกรีตเทคโนโลยี. พิมพ์ครั้งที่ 3. บริษัท ผลิตภัณฑ์และวัตถุก่อสร้าง จำกัด, กรุงเทพฯ.

ชัยวุฒิ เกษพัฒนา. 2531. วิศวกรรมยานยนต์. สำนักพิมพ์พิทักษ์อักษร, กรุงเทพฯ.

ทรงศิลป์ เจริญวัฒนาโรจน์. 2538. การศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติทางวิศวกรรมของแอสฟัลต์ธรรมดากับแอสฟัลต์ผสมยางล้อรถที่ใช้งานแล้วและ Ethylene Vinyl Acetate ในประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ทีพีไอคอนกรีต. 2551. รายงานประจำปี 2551 คอนกรีตเทคโนโลยี. 84 หน้า

ธนาพร พูนสวัสดิ์. 2544. การศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติของแอสฟัลต์ธรรมดากับแอสฟัลต์ผสมยางล้อรถที่ใช้งานแล้วโดยวิธีการผสมแบบเปียกและแบบแห้ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ประจต กุลประสูต. 2548. เทคนิคงานปูน-คอนกรีต. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

สถาบันวิจัยยาง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2544. การเจริญเติบโตของยาง. สถิติยางประเทศไทย 30 (3) : 2-5.

สมปอง ส่างแสง. 2534. คอนกรีตเสริมเหล็ก : ทฤษฎีหน่วยแรงใช้งาน. ภาคพัฒนาตำราและเอกสารวิชาการ หน่วยศึกษานิเทศก์ กรมการฝึกหัดครู, กรุงเทพฯ.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2530. การผลิตบล็อกคอนกรีตแบบไม่รับน้ำหนัก. มอก. 58.

สำนักงานเลขานุการโครงการฉลากเขียว. 2540. ข้อกำหนดของฉนวนกันความร้อน (**Building Material :Thermal Insulation**). สถาบันสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ ฯ.

American Society for Testing and Materials, 1997a. **Test Method for Compressive Strength -C 39 – 96**. Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia, Pa.

American Society for Testing and Materials, 1997b. **Test Method for (Specific Gravity of Coarse Aggregate C 127 - 88**. Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia, Pa.

American Society for Testing and Materials, 1997c. **Test Method for Specific Gravity of Fine Aggregate C 128 - 97**. Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia, Pa.

American Society for Testing and Materials, 1997d. **Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates C136 - 06**. Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia, Pa.

American Society for Testing and Materials, 1997e. **Test Method for Steady-State Heat Flux Measurements and Thermal Transmission Properties by Means of the Guarded-Hot-Plate Apparatus C 177 - 97**. Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia, Pa.

American Society for Testing and Materials, 1997f. **Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete C 642 - 97**. Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia, Pa.

American Society for Testing and Materials, 1997g. **Standard Test Method for Making, Accelerated Curing, and Testing Concrete Compression Test Specimens C 684 – 99.** Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia, Pa.

American Society for Testing and Materials, 1997h. **Standard Test Method for Measuring Surface Frictional Properties Using the British Pendulum Tester E 303 - 93.** Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia, Pa.

Bethune, J. D. 1978. Use of Rubber in Bituminous Surfacing. **Australia Road Research Board** 9 : 9 - 22.

Eldin, N.N. and S.A. Bollati. 1993. Rubber-Tire Particles as Concrete Aggregate. **Material in Civil Engineering** 5 : 478 - 496.

Huynh, H., R. Degirmenci and C.F. Ferraris. 1996. **Rubber Particles from Recycled Tires in Cementitious Composite Materials.** Department of Chemistry. Howard University

Khatib, Z. K. and F. M. Bayomy. 1999. Rubber Portland Cement Concrete. **Journal of Material in Civil Engineering** 11 : 206 - 213.

Morris G.R. and C.H. McDonald. 1976. Asphalt -Rubber Stress Absorbing Membranesfield Performance. **Transportation Research Record** 595 : 99 - 108.

Neville, A.M. 1995. **Properties of Concrete.** 4th. Longman publish group, New York.

Sukontasukkul, P. and C. Chaikaew. 2006. Properties of concrete pedestrian block mixed with crumb rubber. **Construction and Building Materials** 20 : 450 - 457.

Sukontasukkul, P. 2009. Use of crumb rubber to improve thermal and sound properties of pre-cast concrete panel. **Construction and Building Materials** 23 : 1084 - 1092.



ภาคผนวก



ภาคผนวก ก
ขั้นตอนการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุ

ตารางผนวกที่ ก1 ความถ่วงจำเพาะและร้อยละการดูดซึมน้ำของมวลรวมละเอียด

Determination	N0.1	No.2
Weight of Flask , G (g)	172	172
Weight of Flask + Water , B (g)	668	668
Weight of Saturated Surface - Dry Sand , S (g)	500	500
Weight of Water + Sand + Flask , C (g)	965	966.89
Weight of Oven - Dry Crumb Rubber , A (g)	490.50	489.50
Bulk Specific Gravity (Oven Dry), $A/(B+S-C)$	2.42	2.43
Bulk Specific Gravity (SSD), $S/(B+S-C)$	2.46	2.49
Apparent Specific Gravity, $A/(B+A-C)$	2.53	2.57
Absorption (%), $(S-A)*100/A$	1.94	2.15
Average Bulk Specific Gravity (Oven Dry)		2.43
Average Bulk Specific Gravity (SSD)		2.47
Average Apparent Specific Gravity		2.55
Average Absorption (%)		2.04

ตารางผนวกที่ ก2 ความถ่วงจำเพาะและร้อยละการดูดซึมน้ำของมวลรวมหยาบ

Determination	N0.1	No.2
Weight of Flask , G (g)	173	173
Weight of Flask + Water , B (g)	668	667
Weight of Saturated Surface - Dry Sand , S (g)	500	500
Weight of Water + Sand + Flask , C (g)	969.96	963.70
Weight of Oven - Dry Crumb Rubber , A (g)	489.96	490.70
Bulk Specific Gravity (Oven Dry), $A/(B+S-C)$	2.54	2.61
Bulk Specific Gravity (SSD), $S/(B+S-C)$	2.66	2.70
Apparent Specific Gravity, $A/(B+A-C)$	2.78	2.63
Absorption (%), $(S-A)*100/A$	0.27	0.23
Average Bulk Specific Gravity (Oven Dry)		2.58
Average Bulk Specific Gravity (SSD)		2.68
Average Apparent Specific Gravity		2.71
Average Absorption (%)		0.25

ตารางผนวกที่ ก3 ความถ่วงจำเพาะและร้อยละการดูดซึมน้ำของผงยางเบอร์ 6

Determination	N0.1	No.2
Weight of Flask , G (g)	172	172
Weight of Flask + Water , B (g)	668	668
Weight of Saturated Surface - Dry Sand , S (g)	200	200
Weight of Water + Sand + Flask , C (g)	663	660
Weight of Oven - Dry Crumb Rubber , A (g)	198.15	192.21
Bulk Specific Gravity (Oven Dry), $A/(B+S-C)$	0.97	0.95
Bulk Specific Gravity (SSD), $S/(B+S-C)$	0.98	0.96
Apparent Specific Gravity, $A/(B+A-C)$	0.98	0.96
Absorption (%), $(S-A)*100/A$	0.93	0.90
Average Bulk Specific Gravity (Oven Dry)		0.97
Average Bulk Specific Gravity (SSD)		0.98
Average Apparent Specific Gravity		0.98
Average Absorption (%)		1.05

ตารางผนวกที่ ก4 ความถ่วงจำเพาะและร้อยละการดูดซึมน้ำของผงยางเบอร์ 20

Determination	N0.1	No.2
Weight of Flask , G (g)	172	172
Weight of Flask + Water , B (g)	668	668
Weight of Saturated Surface - Dry Sand , S (g)	180	180
Weight of Water + Sand + Flask , C (g)	621.55	611.85
Weight of Oven - Dry Crumb Rubber , A (g)	178.35	178.27
Bulk Specific Gravity (Oven Dry), $A/(B+S-C)$	0.79	0.75
Bulk Specific Gravity (SSD), $S/(B+S-C)$	0.79	0.76
Apparent Specific Gravity, $A/(B+A-C)$	0.79	0.76
Absorption (%), $(S-A)*100/A$	0.93	0.97
Average Bulk Specific Gravity (Oven Dry)		0.88
Average Bulk Specific Gravity (SSD)		0.89
Average Apparent Specific Gravity		0.89
Average Absorption (%)		1.28

ตารางผนวกที่ ก5 ผลการทดสอบหาขนาดคละและ โมดูลัสความละเอียดของผงยางเบอร์ 6

ขนาด ตะแกรง	ความ กว้าง ขนาด ตะแกรง (mm)	น้ำหนัก ตัวอย่าง+ น้ำหนัก ตะแกรง (g)	น้ำหนัก ตะแกรง (g)	น้ำหนัก ตัวอย่าง	เปอร์ เซ็นต์ ที่ค้าง	เปอร์ เซ็นต์ ที่ค้าง สะสม	เปอร์ เซ็นต์ ที่ผ่าน สะสม
4	4.75	452.0	451.0	1.0	0.2	0.2	99.8
8	2.36	897.0	431.0	466.0	93.2	93.4	6.6
16	1.18	479.0	447.0	32.0	6.4	99.8	0.2
30	0.60	360.0	360.0	0.0	0.0	99.8	0.2
50	0.30	372.0	372.0	0.0	0.0	99.8	0.2
100	0.15	316.0	315.0	1.0	0.2	100	0.0
ถาดรอง	-	280.0	280.0	0.0	0.0	100	0.0

น้ำหนักตัวอย่าง เท่ากับ 500 กรัม

ค่าโมดูลัสความละเอียด (Fineness Modulus F.M.) = 4.93

ตารางผนวกที่ ก6 ผลการทดสอบหาขนาดคละและ โมดูลัสความละเอียดของผงยางเบอร์ 20

ขนาด ตะแกรง	ความ กว้าง ขนาด ตะแกรง (mm)	น้ำหนัก ตัวอย่าง+ น้ำหนัก ตะแกรง (g)	น้ำหนัก ตะแกรง (g)	น้ำหนัก ตัวอย่าง	เปอร์ เซ็นต์ ที่ค้าง	เปอร์ เซ็นต์ ที่ค้าง สะสม	เปอร์ เซ็นต์ ที่ผ่าน สะสม
4	4.75	451.0	451.0	0	0	0	100
8	2.36	431.0	431.0	0	0	0	100
16	1.18	451.0	447.0	4	0.8	0.8	99.2
30	0.60	781.0	360.0	421	84.2	85	14.2
50	0.30	436	373.0	63	12.6	97.6	2.4
100	0.15	325.0	315.0	10	2	99.6	0.4
ถาดรอง	-	282.0	280.0	2	0.4	100	0

น้ำหนักตัวอย่าง เท่ากับ 500 กรัม

ค่าโมดูลัสความละเอียด (Fineness Modulus F.M.) = 2.83

ตารางผนวกที่ ก7 ผลการทดสอบหาขนาดคละและ โมดูลัสความละเอียดของผงยางเบอร์ 6 และเบอร์ 20

ขนาด ตะแกรง	ความ กว้าง ขนาด ตะแกรง (mm)	น้ำหนัก ตัวอย่าง+ น้ำหนัก ตะแกรง (g)	น้ำหนัก ตะแกรง (g)	น้ำหนัก ตัวอย่าง	เปอร์ เซ็นต์ ที่ค้าง	เปอร์ เซ็นต์ ที่ค้าง สะสม	เปอร์ เซ็นต์ ที่ผ่าน สะสม
4	44.75	452.0	451.0	1	0.2	0.2	99.8
8	2.36	661.0	431.0	230	46	46.2	53.8
16	1.18	462.0	447.0	15	3	49.2	50.8
30	0.60	525.0	360.0	165	33	82.2	17.8
50	0.30	435.0	372.0	63	12.6	94.8	5.2
100	0.15	323.0	315.0	8	1.6	96.4	3.6
ถาดรอง	-	280.0	280.0	0	0	96.4	3.6

น้ำหนักตัวอย่าง เท่ากับ 500 กรัม

ค่าโมดูลัสความละเอียด (Fineness Modulus F.M.) = 3.69

ตารางผนวกที่ ก8 ผลการทดสอบหาหน่วยน้ำหนักและการดูดซึมน้ำของตัวอย่างควบคุม

Mix	Specimen	Dry Weight(g)	Dry Unit Weight (g)	Mean (g/cm ³)	Wet Weight (g)	Absorption %	Mean %
Control	1	276.51	2.20		290.86	5.19	
	2	274.87	2.19	2.19	289.11	5.18	5.18
	3	271.15	2.19		285.19	5.18	

ตารางผนวกที่ ก9 ผลการทดสอบหาหน่วยน้ำหนักและการดูดซึมน้ำของตัวอย่างผสมผงยางเบอร์ 6

Mix	Specimen	Dry Weight (g)	Dry Unit Weight (g/cm ³)	Mean (g/cm ³)	Wet Weight (g)	Absorption %	Mean %
Control	1	276.51	2.21		290.86	5.19	
	2	274.87	2.20	2.19	289.11	5.18	5.18
	3	271.15	2.17		285.19	5.18	
L*05**	1	272.69	2.18		285.12	4.56	
	2	274.83	2.20	2.17	287.42	4.58	4.57
	3	267.83	2.14		280.07	4.57	
L*10**	1	263.54	2.11		275.98	4.72	
	2	264.59	2.12	2.12	276.92	4.66	4.73
	3	268.05	2.14		280.92	4.80	
L*15**	1	260.63	2.09		275.90	5.86	
	2	261.73	2.09	2.09	276.62	5.69	5.83
	3	261.78	2.09		277.33	5.94	
L*20**	1	250.99	2.01		266.05	6.00	
	2	250.36	2.00	2.01	265.61	6.09	6.11
	3	250.90	2.01		266.53	6.23	
L*25**	1	248.44	1.99		263.87	6.21	
	2	246.15	1.97	1.97	261.36	6.18	6.21
	3	243.99	1.95		259.14	6.21	
L*30**	1	241.21	1.93		256.38	6.29	
	2	242.37	1.94	1.94	257.64	6.30	6.29
	3	242.07	1.94		257.30	6.29	

ตารางผนวกที่ ก10 ผลการทดสอบหาหน่วยน้ำหนักและการดูดซึมน้ำของตัวอย่างผสม
ผงยางเบอร์ 20

Mix	Specimen	Dry Weight (g)	Dry Unit Weight (g)	Mean (g/cm ³)	Wet Weight (g)	Absorption %	Mean %
Control	1	276.51	2.21		290.86	5.19	
	2	274.87	2.20	2.19	289.11	5.18	5.18
	3	271.15	2.17		285.19	5.18	
S*05**	1	268.68	2.15		280.39	4.36	
	2	268.74	2.15	2.19	280.81	4.49	4.46
	3	284.56	2.28		297.48	4.54	
S*10**	1	267.15	2.14		279.33	4.56	
	2	266.98	2.14	2.14	279.31	4.62	4.58
	3	267.33	2.14		279.52	4.56	
S*15**	1	264.68	2.12		276.91	4.62	
	2	265.61	2.12	2.13	277.88	4.62	4.62
	3	269.64	2.16		282.04	4.60	
S*20**	1	259.42	1.08		272.08	4.88	
	2	260.04	2.08	2.08	272.76	4.89	4.89
	3	260.71	2.09		273.51	4.91	
S*25**	1	227.88	1.82		240.03	5.33	
	2	224.87	1.80	1.80	236.65	5.24	5.26
	3	223.97	1.79		235.64	5.21	
S*30**	1	220.58	1.76		233.06	5.66	
	2	220.97	1.77	1.76	233.57	5.70	5.69
	3	220.11	1.76		232.68	5.71	

ตารางผนวกที่ ก11 ผลการทดสอบหาหน่วยน้ำหนักและการดูดซึมน้ำของตัวอย่างผสมผงยางเบอร์ 6 และเบอร์ 20

Mix	Specimen	Dry Weight (g)	Dry Unit Weight (g)	Mean (g/cm ³)	Wet Weight (g)	Absorption %	Mean %
Control	1	276.51	2.21		290.86	5.19	
	2	274.87	2.20	2.19	289.11	5.18	5.18
	3	271.15	2.17		285.19	5.18	
SL*05**	1	264.81	2.12		276.81	4.53	
	2	264.06	2.11	2.12	275.78	4.44	4.49
	3	264.79	2.12		276.68	4.49	
SL*10**	1	259.48	2.08		272.45	5.00	
	2	254.40	2.04	2.05	266.84	4.89	5.00
	3	254.15	2.03		266.86	5.00	
SL*15**	1	250.02	2.00		263.57	5.42	
	2	251.32	2.01	2.01	264.64	5.3	5.36
	3	250.95	2.01		264.38	5.35	
SL*20**	1	245.96	1.97		260.69	5.99	
	2	245.84	1.97	1.97	260.42	5.93	5.97
	3	246.01	1.97		260.72	5.98	
SL*25**	1	232.08	1.86		246.77	6.33	
	2	231.65	1.85	1.85	246.20	6.28	6.34
	3	231.45	1.85		246.29	6.41	
SL*30**	1	221.56	1.77		236.71	6.84	
	2	221.96	1.78	1.77	236.61	6.60	6.82
	3	221.84	1.77		237.39	7.01	

ตารางผนวกที่ ก12 ผลการทดสอบกำลังอัดก้อนบดลือกคอนกรีตตัวอย่างลูกบาศก์ที่มีอายุ 28 วัน

Mix	% Rubber	Load (kN)	Strength (MPa)
Control	0	11488.49	45.08
L*05**	5	9478.08	37.19
L*10**	10	8373.18	32.86
L*15**	15	7733.50	30.35
L*20**	20	6495.69	25.49
L*25**	25	4003.44	15.71
L*30**	30	2749.00	10.79
S*05**	5	10450.06	39.90
S*10**	10	8705.48	34.16
S*15**	15	6919.37	27.15
S*20**	20	6030.47	23.66
S*25**	25	4252.66	16.69
S*30**	30	3546.52	13.92
SL*05**	5	10167.60	41.01
SL*10**	10	8896.55	34.91
SL*15**	15	7525.82	29.53
SL*20**	20	6379.38	25.03
SL*25**	25	6337.84	24.87
SL*30**	30	5415.71	21.25

ตารางผนวกที่ ก13 ผลการทดสอบการต้านทานการลื่นไถล

Mix	% Rubber	BPN
Control	0	102.37
L*05**	5	103.04
L*10**	10	103.89
L*15**	15	104.76
L*20**	20	105.63
L*25**	25	105.96
L*30**	30	106.18
S*05**	5	96.81
S*10**	10	97.38
S*15**	15	97.49
S*20**	20	97.65
S*25**	25	98.72
S*30**	30	98.76
SL*05**	5	111.89
SL*10**	10	112.23
SL*15**	15	112.87
SL*20**	20	113.06
SL*25**	25	114.81
SL*30**	30	115.05

ตารางผนวกที่ ก14 ผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน

Mix	% Rubber	Thermal Conductivity (W/m ⁰ K)
Control	0	0.618
L*05**	5	0.573
L*10**	10	0.531
L*15**	15	0.485
L*20**	20	0.399
L*25**	25	0.362
L*30**	30	0.316
S*05**	5	0.355
S*10**	10	0.303
S*15**	15	0.266
S*20**	20	0.248
S*25**	25	0.250
S*30**	30	0.251
SL*05**	5	0.473
SL*10**	10	0.418
SL*15**	15	0.404
SL*20**	20	0.315
SL*25**	25	0.308
SL*30**	30	0.294



ภาคผนวก ข

ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุก่อสร้างชนิดต่างๆ

ตารางผนวกที่ ข1 ตารางแสดงค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (K) ของวัสดุก่อสร้าง

ลำดับ ที่	วัสดุ (Material)	ค่าสัมประสิทธิ์ การนำความร้อน (Watt/m ² K)
1	แผ่นซีเมนต์แอสเบสตอส	0.198
2	แผ่นฉนวนกันความร้อนแอสเบสตอส	0.108
3	วัสดุฉนวนหลังคาที่ทำด้วยแอสฟัลต์	1.226
4	บิทูเมน (Bitumen)	1.298
5	อิฐ	
	ก) แห้งและฉาบปูนหรือปิดด้วยแผ่น โม่เสก	0.807
	ข) ความชื้น 60%	1.211
	ค) ผนัง (ไม่ฉาบปูน)	1.154
6	คอนกรีต	1.442
7	คอนกรีตชนิดเบา ขนาดความหนาแน่นต่างๆ	
	ก) ความหนาแน่น 690 กก./ลบ.ม.	0.303
	ข) ความหนาแน่น 1120 กก./ลบ.ม.	0.346
	ค) ความหนาแน่น 1280 กก./ลบ.ม.	0.476
8	แผ่นไม้ก๊อก	0.042
9	แผ่นไฟเบอร์	0.052
10	ไฟเบอร์กลาส (ใยแก้ว)	
	ก) แบบม้วน	0.038
	ข) แบบแผ่น	0.033
	ค) แบบท่อสำเร็จ	0.038
11	แผ่นกระฉก	1.053
12	ใยแก้วสานเป็นแผ่น หรือสอดใส่อยู่ระหว่างวัสดุอื่น	0.035
	2 แผ่น (แห้ง)	
13	แผ่นยิปซัม	0.191
14	แผ่นไม้ฮาร์ดบอร์ด	
	ก) มาตรฐาน	0.216
	ข) ปานกลาง	0.123

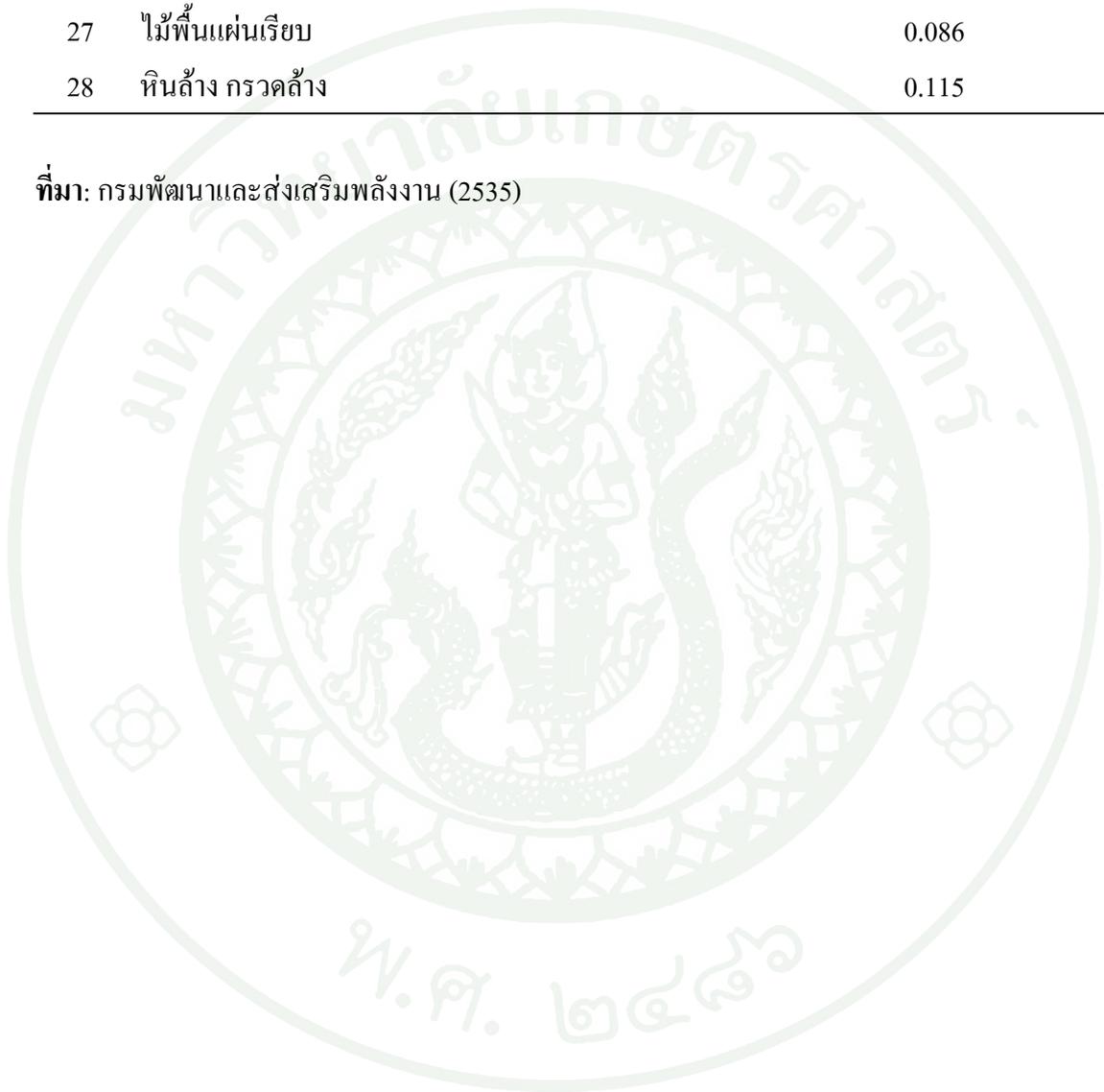
ตารางผนวกที่ ข1 (ต่อ)

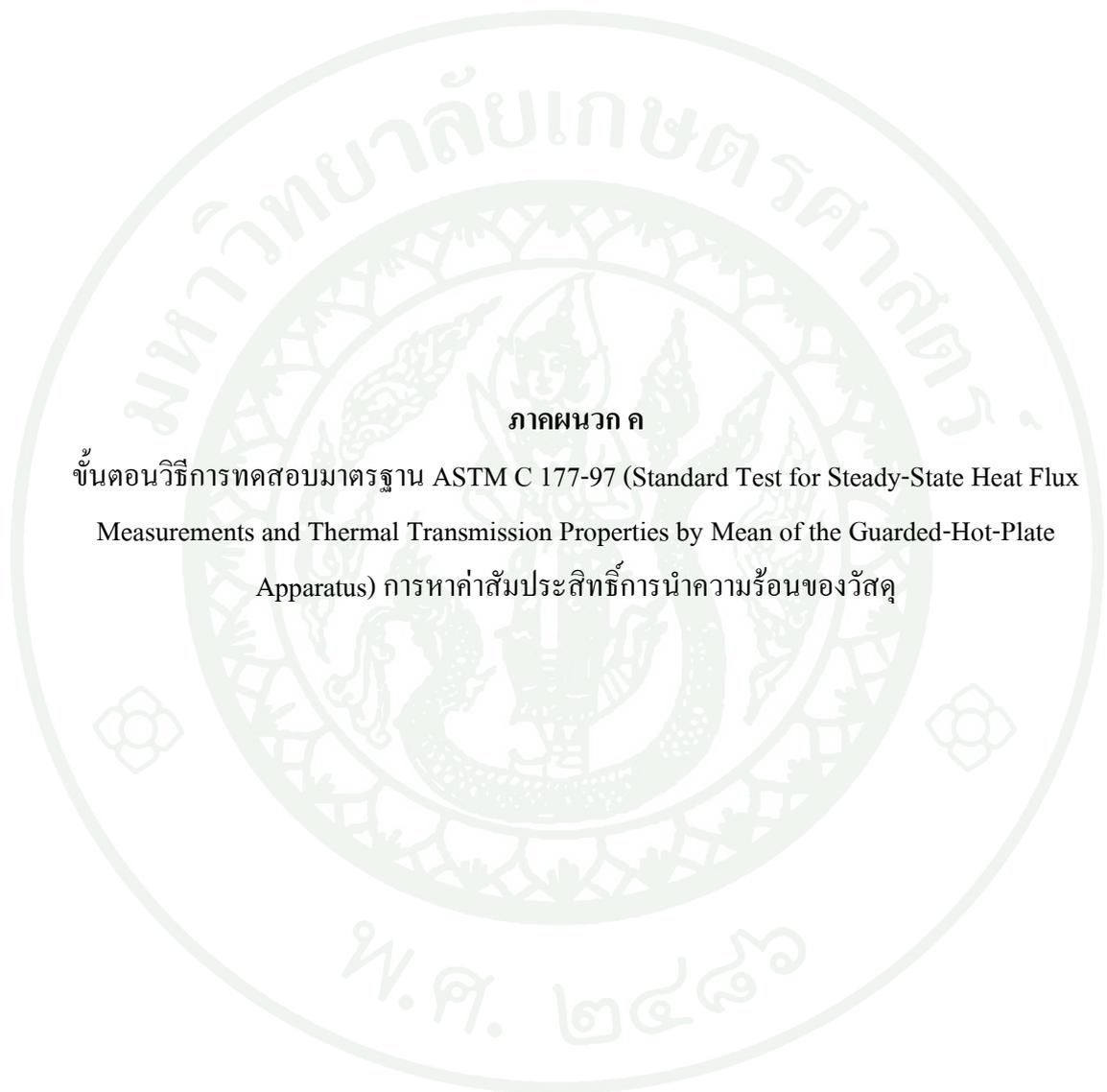
ลำดับ ที่	วัสดุ (Material)	ค่าสัมประสิทธิ์ การนำความร้อน (Watt/m ² K)																												
15	โลหะ																													
	ก) โลหะผสมของอะลูมิเนียมแบบธรรมดา	211																												
	ข) ทองแดงที่มีขายเชิงพาณิชย์	385																												
	ค) เหล็กกล้า	47.6																												
16	ใยแร่อัดแน่นเป็นแผ่น	ให้ใช้ค่าจริงจากผู้ผลิต																												
17	วัสดุฉนวนหรือปิดผิว																													
	ก) ยิปซัม	0.191																												
	ข) ปูนฉาบน้ำหนักเบา	0.063																												
	ค) ปูนฉาบน้ำหนักขนาดกลาง	0.274																												
	ง) เพอร์ไลต์	0.115																												
	จ) ปูนผสมทราย	0.533																												
	ฉ) เวอร์มิคิวไลต์	ให้ใช้ค่าจริงจากผู้ผลิต																												
18	โพลิสไตรีนแบ่งขยายตัว	0.035																												
19	โพรียูรีเทน	0.024																												
20	วัสดุแทน	0.713																												
21	22	หิน			ก) หินทราย	1.298		ข) แกรนิต	2.927		ค) หินอ่อน	1.298	23	กระเบื้องหลังคา	0.836	24	ไม้			ก) ไม้เนื้ออ่อน	0.125		ข) ไม้เนื้อแข็ง	0.138		ค) ไม้อัด	0.138	25	เวอร์มิคิวไลต์แบบเม็ดหยาบอัดหลวม	0.065
22	หิน																													
	ก) หินทราย	1.298																												
	ข) แกรนิต	2.927																												
	ค) หินอ่อน	1.298																												
23	กระเบื้องหลังคา	0.836																												
24	ไม้																													
	ก) ไม้เนื้ออ่อน	0.125																												
	ข) ไม้เนื้อแข็ง	0.138																												
	ค) ไม้อัด	0.138																												
25	เวอร์มิคิวไลต์แบบเม็ดหยาบอัดหลวม	0.065																												

ตารางผนวกที่ ข1 (ต่อ)

ลำดับ ที่	วัสดุ (Material)	ค่าสัมประสิทธิ์ การนำความร้อน (Watt/m ² K)
26	ไม้อัดชิบบอร์ด	0.144
27	ไม้พื้นแผ่นเรียบ	0.086
28	หินล้าง กรวดล้าง	0.115

ที่มา: กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน (2535)





ภาคผนวก ค

ขั้นตอนวิธีการทดสอบมาตรฐาน ASTM C 177-97 (Standard Test for Steady-State Heat Flux Measurements and Thermal Transmission Properties by Mean of the Guarded-Hot-Plate Apparatus) การหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุ

1. ขั้นตอนการหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (K) ของวัสดุ

1.1 เตรียมตัวอย่างให้มีความหนาอย่างน้อย 0.50 เซนติเมตร ถึง 2.54 เซนติเมตร และมีขนาดความกว้าง x ความยาว เท่ากับ 30 x 30 เซนติเมตร (1 ชุดทดสอบ มี 2 ตัวอย่าง / การทดสอบ 1 ครั้ง)

1.2 เครื่องทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 177 – 97 ซึ่งประกอบไปด้วย

1.2.1 แผ่นความร้อน (Guarded-Hot-Plate) พร้อมเครื่องควบคุมอุณหภูมิ (Heater)

1 ชุด

1.2.2 แผ่นควบคุมอุณหภูมิ (Cold Surface Assemblies) ให้ทิศทางของความร้อนมีทิศทางตั้งฉากกับชิ้นตัวอย่าง (ในทิศทางเดียว) พร้อมเครื่องควบคุมอุณหภูมิ (Heater) อย่างละ 2 ชุด

1.2.3 ตัววัดค่าอุณหภูมิ (Temperature Sensor) ของแผ่นความร้อน (Guarded-Hot-

Plate) 1 ชุด

1.2.4 ตัววัดค่าอุณหภูมิ (Temperature Sensor) ของแผ่นควบคุมอุณหภูมิ

(Cold Surface Assemblies) 2 ชุด

1.2.5 ตัววัดค่าอุณหภูมิ (Temperature Sensor) ของแผ่นตัวอย่าง (Specimen) 2 ด้าน

2 ชุด

1.2.6 น้ำสะอาด สำหรับปล่อยให้ไหลเข้าสู่ระบบตลอดเวลาที่ทำการทดสอบจากด้านล่างวิ่งขึ้นสู่ด้านบน และไหลวนไปวนมาในระบบ (Cold Surface Assemblies) เพื่อควบคุมอุณหภูมิให้มีทิศทางของความร้อนมีทิศทางตั้งฉากกับชิ้นตัวอย่าง (ในทิศทางเดียว) ตามทฤษฎีของ Flux

1.2.7 ไม้บรรทัดสำหรับวัดระยะอย่างละเอียดโดยวิธีแบ่งเส้นให้เหลื่อมกัน (Vernier)

1.2.8 ลวดสองเส้นทำด้วยโลหะต่างกันและต่อกันเข้าใช้ในการวัดค่าความแตกต่างกัน
ในความร้อน (Thermocouple)

1.2.9 ไฟฟ้ากระแสตรง (Direct Current; Dc Power)

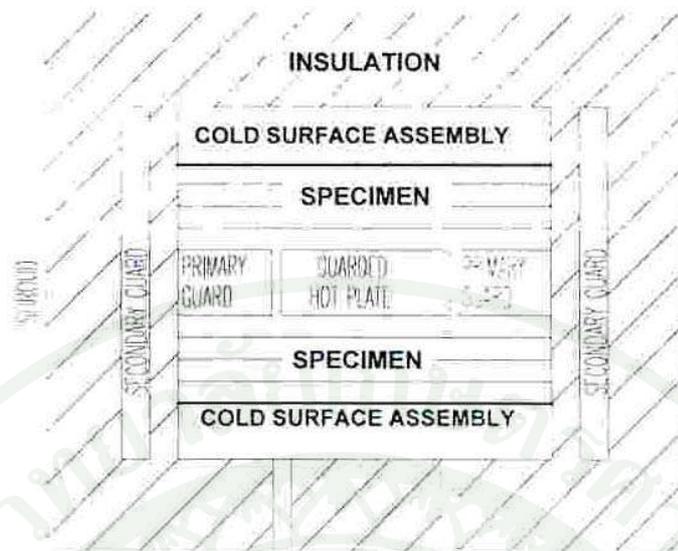
1.3 วัดขนาดของชิ้นตัวอย่าง (Specimen) ทั้งความหนา ด้านกว้างและด้านยาว

1.4 ขั้นตอนการวัดค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนมีดังต่อไปนี้

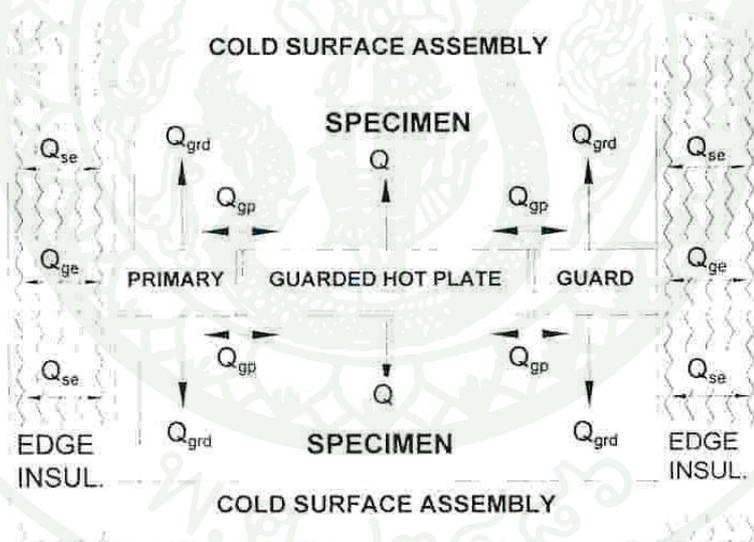
1.4.1 นำตัวอย่างมาเข้าทดสอบซึ่งแสดงในภาพที่ ค1 เป็นลักษณะการของการจัดการ
ของส่วนประกอบในชุดการทดสอบที่มีแผ่นความร้อน (Guarded-Hot-Plate) อยู่ตรงกลางระหว่าง
ชิ้นตัวอย่างที่นำมาทดสอบ (2 ตัวอย่าง) โดยมีแผ่นควบคุมอุณหภูมิ (Cold Surface Assemblies)
ประกบด้านข้างของตัวอย่าง (2 แผ่น)

1.4.2 ปล่อยพลังงานความร้อน (Watt) จากเครื่องควบคุมอุณหภูมิ (Heater) เข้าสู่แผ่น
ความร้อน (Guarded-Hot-Plate) พร้อมกันกับแผ่นควบคุมอุณหภูมิ (Cold Surface Assemblies)
ในช่วงเวลาที่เหมาะสมตามชนิดของวัสดุ และขึ้นอยู่กับความชำนาญของผู้ทดสอบ

1.4.3 ตรวจสอบความสม่ำเสมอของอุณหภูมิทั้งแผ่นความร้อน (Guarded-Hot-Plate)
และแผ่นควบคุมอุณหภูมิ (Cold Surface Assemblies) ให้มีค่าใกล้เคียงกันอยู่ตลอดระยะเวลาที่ทำ
การทดสอบโดยปรับค่าจากเครื่องควบคุมอุณหภูมิ (Heater) จนค่าเริ่มเข้าใกล้จุด (Steady-State) หรือ
จุดที่ค่าของอุณหภูมิมีความคงที่สม่ำเสมอเอง โดยสังเกตได้จากตัววัดค่าอุณหภูมิ (Temperature
Sensor) ของแผ่นควบคุมอุณหภูมิ ทั้ง 2 ชนิด (ยอมให้อุณหภูมิมีความแตกต่างไม่เกินครึ่งองศา,
เคลวิน) ลักษณะการถ่ายเทความร้อนภายในระบบแสดงไว้ในภาพที่ ค2 ซึ่งการทำงานของแผ่น
ควบคุมอุณหภูมิ (Cold Surface Assemblies) จากที่กล่าวในหัวข้อข้างต้น (Cold Surface Assemblies)
จะมีหน้าที่บังคับทิศทางของความร้อนให้มีทิศทางตั้งฉากกับชิ้นตัวอย่าง (ในทิศทางเดียว) ตาม
ทฤษฎีของ Flux เพื่อการถ่ายเทความร้อนที่สมบูรณ์



ภาพผนวกที่ ค1 การจัดการทั่วไปของส่วนประกอบชุดทดสอบ



ภาพผนวกที่ ค2 ลักษณะการถ่ายเทความร้อนภายในระบบขณะทำการทดสอบ

1.4.4 เมื่อค่าอุณหภูมิถึงจุด (Steady-State) จึงค่อยจดบันทึกค่าอุณหภูมิจากการสังเกตคูที่ (Temperature Sensor) บริเวณชิ้นตัวอย่าง (Specimen) ทั้ง 2 ด้าน เพื่อนำมาคำนวณตามสูตร

1.5 สูตรการหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal Conductivity) ในสภาวะ (Steady-State)

$$\frac{Q}{t \times A} \propto - \frac{\Delta T}{\Delta X}$$

$$\frac{Q}{t} = \frac{k \times A \times \Delta T}{\Delta X}$$

เมื่อ ;

$$\frac{Q}{t} = \frac{Cul}{Sec} = \frac{Joules}{Sec} = \frac{Watt}{i \times v}$$

คือ ปริมาณความร้อนที่ปล่อยเข้าไปในระบบ

A = พื้นที่ด้านในของตัวอย่าง (Specimen) ที่อยู่ในระบบ มีหน่วยเป็นเมตร

ΔT = ความต่างของอุณหภูมิที่วัดจากผิวทั้ง 2 ด้านของตัวอย่าง (Specimen) ในสภาวะ (Steady-State) มีหน่วยเป็นองศา, เคลวิน

ΔX = ความต่างของความหนาของชิ้นตัวอย่าง (Specimen) ทั้ง 2 ตัวอย่าง มีหน่วยเป็นเมตร

k = ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal Conductivity) มีหน่วยเป็น วัตต์/เมตร.เคลวิน

หมายเหตุ: ระยะเวลาที่ใช้ในการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal Conductivity) ทั้งหมดประมาณ 1 วัน ต่อ 1 ชุดการทดสอบ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุและความชำนาญของผู้ทดสอบ

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นางสาววีรษา สิงห์โต
วัน เดือน ปี ที่เกิด	1 มิถุนายน พ.ศ. 2528
สถานที่เกิด	ราชบุรี
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2550 จบการศึกษา วท.บ. (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม) ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	โครงการทุนวิจัยมหัศจรรย์ สกว. สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีภายใต้โครงการเชื่อมโยงภาคการผลิตกับงานวิจัย ทุน สกว.-อุตสาหกรรม(พ.ศ. 2551)