การใช้ประโยชน์จากเศษถนนยางมะตอยเก่าสำหรับผลิตภัณฑ์แผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นที่ต้านทานแรงดัดสูงเพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

Utilization of Old Asphalt Road Waste for High Bending Strength Concrete Flooring Tile Product to Reduce Environment Impact

วิหาร ดีปัญญา
กิตติพงษ์ สุวีโร

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณรายจ่าย ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2561
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์แผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นจากเศษถนนยางมะตอยเก่า ออกแบบอัตราส่วนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่1 ต่อทรายหยาบ ต่อเศษถนนยางมะตอยเก่า ต่อสารลดน้ำประเภท A ต่อน้ำประปา จำนวน 6 อัตราส่วน ประกอบด้วย 1: 5: 0: 0.02: 0.4, 1: 4.5: 0.5: 0.02: 0.4, 1: 4: 1: 0.02: 0.4, 1: 3.5: 1.5: 0.02: 0.4, 1: 3: 2: 0.02: 0.4 และ 1: 2.5: 2.5: 0.02: 0.4 โดยน้ำหนัก ขึ้นรูปด้วยเครื่องอัด ทดสอบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เรื่องกระเบื้องคอนกรีตปูพื้น (มอก.378-2531) จากผลการทดสอบ พบว่า อัตราส่วน 1: 2.5: 2.5: 0.02: 0.4 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุด ทั้งนี้ ปริมาณที่เพิ่มขึ้นเศษถนนยางมะตอยเก่าในแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้น จะส่งผลต่อการลดลงของค่าการดูดซึมน้ำและสัมประสิทธิ์การนำความร้อน ในขณะที่ความหนาแน่นและความต้านทานแรงดัดมีค่าใกล้เคียงกับแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นที่ไม่ผสมเศษถนนยางมะตอยเก่า แผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นผสมเศษถนนยางมะตอยเก่าที่พัฒนา สามารถใช้งานได้เช่นเดียวกับแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นทั่วไปในท้องตลาด

คำสำคัญ แผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้น, เศษถนนยางมะตอยเก่า, สัมประสิทธิ์การนำความร้อน

Abstract

The objective of this research is to develop the concrete flooring tile product from old asphalt road waste. The 6 ratios of Portland cement type1: coarse sand: old asphalt road waste: water reducer type A: tap water were designed including: 1: 5: 0: 0.02: 0.4, 1: 4.5: 0.5: 0.02: 0.4, 1: 4: 1: 0.02: 0.4, 1: 3.5: 1.5: 0.02: 0.4, 1: 3: 2: 0.02: 0.4, and 1: 2.5: 2.5: 0.02: 0.4 by weight. The concrete flooring tile casted with the compressive machine. The property tests followed the TIS.378-1988 (concrete flooring tiles). According to the result, it was found that the 1: 2.5: 2.5: 0.02: 0.4 was the proper ratio of the concrete flooring tile. The increasing of old asphalt road waste in concrete flooring tile effected to decrease the water absorption and thermal conductivity properties. In term of the density and bending strength properties, there were not many differences. The developed concrete flooring tile product from old asphalt road waste can use as same as the common concrete flooring tile product in market.

Keywords Concrete Flooring Tile, Old Asphalt Road Waste, Thermal Conductivity

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อ	ก
Abstract	ข
สารบัญ	ค
สารบัญรูป	จ
สารบัญตาราง	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	4
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย	5
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรม	6
2.1 กระเบื้องคอนกรีตปูพื้น	6
2.2 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	6
2.3 มวลรวม	8
2.4 ยางมะตอย	8
2.5 สารเคมีผสมเพิ่ม	11
2.6 สมมติฐาน	12
2.7 กรอบแนวความคิด	12
2.8 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (information) ที่เกี่ยวข้อง	13
บทที่ 3 วิธีการวิจัย	17
3.1 วัสดุและอุปกรณ์	17
3.2 การออกแบบส่วนผสม	20
3.3 การขึ้นรูปแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้น	20
3.4 การทดสอบคุณสมบัติของแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้น	22
บทที่ 4 ผลการวิจัย	26
4.1 ลักษณะทั่วไป	26
4.2 ความหนาแน่น	27
4.3 ความต้านทานแรงดัดตามขวาง	28
4.4 การดูดซึมน้ำ	29
4.5 สัมประสิทธิ์การนำความร้อน	30
4.6 การใช้งานจริง	31
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	33
5.1 สรุปผล	33
5.2 ข้อเสนอแนะ	33

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
เอกสารอ้างอิง	34
ภาคผนวก	36
ก มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.378-2531	
ข บทความสำหรับเผยแพร่	

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	ผิวถนนยางมะตอยที่เสียหายจากการใช้งานและสภาพอากาศ	1
1.2	การขุดรื้อผิวถนนยางมะตอยเดิมออกด้วยรถแบ็คโฮ	1
1.3	เศษยางมะตอยเก่าที่กองรวมกันรอการกำจัด	2
1.4	การติดตั้งแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้น	3
1.5	แผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นที่ปูบริเวณทางเท้าทั่วไป	3
1.6	ลักษณะและขนาดของเศษยางมะตอยที่ขุดจากถนนเก่า	4
1.7	การทรุดตัวทำให้แผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นที่ไม่แข็งแรงเกิดการแตกหักเสียหาย	4
2.1	องค์ประกอบของยางมะตอย	9
2.2	กรอบแนวความคิดของโครงการ	13
3.1	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1	17
3.2	เศษถนนยางมะตอยเก่า	17
3.3	ขนาดของเศษถนนยางมะตอยเก่า	18
3.4	เครื่องผสมคอนกรีต	18
3.5	เครื่องอัดกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นแบบสั่นเขย่า	19
3.6	เครื่องย่อยหินพร้อมตะแกรงคัดขนาด	19
3.7	การผสมปูนซีเมนต์ ทราย และเศษถนนยางมะตอยเหลือทิ้งด้วยเครื่องผสมคอนกรีต	21
3.8	การเติมน้ำประปาที่ผสมสารเร่งการก่อตัวแล้วลงในเครื่องผสมคอนกรีต	21
3.9	แบบหล่อกระเบื้องคอนกรีตปูพื้น	21
3.10	การเทส่วนผสมลงในแบบหล่อของเครื่องอัดแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นแบบสั่นเขย่า	22
3.11	การอัดขึ้นรูปแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นผสมเศษถนนยางมะตอยเก่าด้วยเครื่องอัดแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้น	22
3.12	การชั่งน้ำหนักเพื่อหาค่าความหนาแน่นของแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้น	23
3.13	การทดสอบความต้านทานแรงดัดตามขวางของแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้น	23
3.14	แผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นที่วิบัติจากการทดสอบความต้านทานแรงดัด	23
3.15	ลักษณะแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นผสมเศษถนนยางมะตอยเก่าที่วิบัติจากแรงดัด	24
3.16	เนื้อแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นผสมเศษถนนยางมะตอยเก่าที่วิบัติจากแรงดัด	24
3.17	การแช่น้ำของแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นผสมเศษถนนยางมะตอยเก่าเพื่อหาค่าการดูดซึมน้ำ	24
3.18	การเช็ดผิวของแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นให้อิ่มตัวผิวแห้งก่อนการชั่งน้ำหนัก	25
3.19	การชั่งน้ำหนักของแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นเพื่อหาค่าการดูดซึมน้ำ	25
4.1	ลักษณะของแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นผสมเศษถนนยางมะตอยเก่า	26
4.2	สีของแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นผสมเศษถนนยางมะตอยเก่า	26
4.3	การตรวจพินิจลักษณะทั่วไปของแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นผสมเศษถนนยางมะตอยเก่า	27
4.4	ความหนาแน่นของแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นผสมเศษถนนยางมะตอยเก่า	27
4.5	น้ำหนักต่อก้อนของแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นผสมเศษถนนยางมะตอยเก่า	28
4.6	ความต้านทานแรงดัดของแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นผสมเศษถนนยางมะตอยเก่า	29
4.7	การดูดซึมน้ำของแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นผสมเศษถนนยางมะตอยเก่า	29

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.8	สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นผสมเศษถนนยางมะตอยเก่า	30
4.9	การนำแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นผสมเศษถนนยางมะตอยเก่าไปใช้งานจริง	31
4.10	บริเวณรอบอาคารที่มีการนำแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นผสมเศษถนนยางมะตอยเก่าไปใช้งานจริง	31
4.11	ลักษณะการใช้งานแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นผสมเศษถนนยางมะตอยเก่า	32
4.12	ลักษณะของแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นผสมเศษถนนยางมะตอยเก่าที่ปูเป็นพื้นรอบอาคาร	32
4.13	การเรียงแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นผสมเศษถนนยางมะตอยเก่าโดยรอบอาคาร	32

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	มิติและเกณฑ์ความคาดเคลื่อนของกระเบื้องคอนกรีตปูพื้น	6
2.2	สารประกอบและคุณสมบัติของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ถึง 5	7
2.3	สมบัติของยางมะตอยชนิด PMA เปรียบเทียบกับยางมะตอยชนิด AC 60/70	10
3.1	อัตราส่วนผสมของแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นผสมเศษถนนยางมะตอยเก่าเหลือทิ้งโดยน้ำหนัก	20

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

ถนนยางมะตอย (asphalt road)โดยเฉพาะเกรด AC 60/70 เป็นประเภทถนนที่ได้รับความนิยมมากที่สุดในประเทศไทย เนื่องจากมีต้นทุนต่ำ ระยะเวลาก่อสร้างรวดเร็ว และบำรุงรักษาง่าย แต่ถนนประเภทนี้มักเกิดความเสียหายได้ง่ายจากน้ำหนักบรรทุกที่มากเกินกำหนดและภูมิอากาศที่ร้อนของไทย ดังรูปที่ 1.1 จึงต้องมีการบูรณะซ่อมแซมถนนดังกล่าวให้มีสภาพดีอยู่เสมอ (กรมทางหลวง. 2543) ทั้งนี้ ก็เพื่อรองรับการขยายตัวทางเศรษฐกิจและความมั่นคงของประเทศซึ่งการบูรณะซ่อมแซมถนนประเภทนี้จะต้องทำการขุดรื้อผิวถนนยางมะตอยเดิมออกดังรูปที่ 1.2 แล้วทิ้งผิวทางเดิมหรือเศษถนนยางมะตอยเก่า (old asphalt road waste)ไว้ข้างทางเป็นกองขนาดใหญ่ดังเช่นในรูปที่ 1.3 จากนั้นจึงทำการซ่อมแซมผิวถนนโดยการเทยางมะตอยใหม่ลงไปทั้งนี้ การกองทิ้งเศษถนนยางมะตอยเก่าดังกล่าว จะส่งผลกระทบในทางที่ไม่ดีต่อสิ่งแวดล้อม สังคมและเศรษฐกิจของประเทศทั้งทางตรงและทางอ้อมได้

รูปที่ 1.1 ผิวถนนยางมะตอยที่เสียหายจากการใช้งานและสภาพอากาศ

รูปที่ 1.2 การขุดรื้อผิวถนนยางมะตอยเดิมออกด้วยรถแบ็คโฮ

รูปที่ 1.3 เศษยางมะตอยเก่าที่กองรวมกันรอการกำจัด

ในอดีตเศษถนนยางมะตอยเก่ามักจะถูกนำไปใช้ถมที่ดินเพื่อปรับพื้นที่ซึ่งอาจก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมตามมา ปัจจุบันจึงมีการนำเศษถนนยางมะตอยเก่ามารีไซเคิล โดยนำมาผสมรวมกับแอสฟัลต์อิมัลชันหรือยางมะตอยชนิดน้ำ (asphalt emulsion) แล้วทำการลาดยางแบบเย็นในที่ (cold in-place recycling) โดยแอสฟัลต์อิมัลชันจะเกิดการแตกตัวเนื่องจากการระเหยของน้ำที่อยู่ในส่วนผสมและจะเกิดการเปลี่ยนสีจากสีน้ำตาลเป็นสีดำ (กรมทางหลวงชนบท, 2557) จากนั้นจึงทำการบดอัด (compaction) การบดอัดนั้นทำได้ด้วยการใช้รถบดล้อยางก่อน (pneumatic tire roller) ตามด้วยรถบดล้อเหล็กแบบสั่นสะเทือน (steel vibrating roller) ทั้งนี้ หากพิจารณาจากยางมะตอยน้ำสภาพภูมิอากาศในประเทศไทย และคุณสมบัติของแอสฟัลต์อิมัลชัน พบว่า cationic asphalt emulsion ชนิดแตกตัวช้า (slow setting) เป็นน้ำยางมะตอยที่เหมาะสมที่สุดที่จะนำมาใช้ แต่ก็ต้องมีการเติมสารผสมอื่นๆ เพิ่มเติม เช่น ยางลาเท็กซ์ ปูนซีเมนต์ และโฟมแอสฟัลต์ เป็นต้นซึ่งก็เพื่อเพิ่มแรงยึดเกาะ ลดปัญหาการแตกร้าว (cracking) และการเกิดร่องล้อ (rutting) โดยปริมาณการใช้แอสฟัลต์อิมัลชันนั้นขึ้นอยู่กับคุณภาพและปริมาณแอสฟัลต์ในผิวทางเดิม อย่างไรก็ตาม การใช้แอสฟัลต์อิมัลชันยังคงมีข้อจำกัดที่ต้องคำนึงถึงอยู่หลายประการ โดยเฉพาะการบ่มตัว (curing) กล่าวคือก่อนที่จะมีการบดอัดต้องแน่ใจว่าน้ำมีการระเหยไปให้ได้มากที่สุด สภาพภูมิอากาศจึงมีผลอย่างยิ่งกับงานประเภทนี้ หากมีความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศมาก หมอกลง หรือฝนตก จะส่งผลกระทบอย่างมากกับอัตราการระเหยของน้ำ และการรีไซเคิลที่ไม่สามารถทำได้นอกจากนี้ ปริมาณการผสมเศษถนนยางมะตอยเก่าก็ยังไม่สามารถนำมาใช้รีไซเคิลได้ทั้งหมดและเศษถนนยางมะตอยเก่าที่ขุดขึ้นมาก็ยังมีปริมาณยางมะตอยปะปนอยู่มาก ทำให้ยากต่อการนำไปใช้ประโยชน์อย่างอื่น และหากต้องการแยกส่วนที่เป็นยางมะตอยออก ก็จะต้องใช้พลังงานจำนวนมหาศาลเพื่อละลายยางมะตอยออกจากมวลรวมที่ถูกเคลือบผิวอยู่ (สุรพล, 2551)

จากปริมาณเศษถนนยางมะตอยเก่าที่เพิ่มมากขึ้นทุกปีทำให้กลายเป็นปัญหาของหน่วยงานทั้งภาครัฐ และภาคเอกชนไม่ว่าจะเป็นกรมทางหลวง กรมทางหลวงชนบท การทางพิเศษแห่งประเทศไทย องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น บริษัทเอกชน หมู่บ้าน และชุมชนต่างๆ เนื่องจากยังไม่เคยมีการนำเศษถนนยางมะตอยดังกล่าวมาใช้ประโยชน์หรือประยุกต์ใช้ในด้านอื่นๆ นอกเหนือจากการนำเศษถนนยางมะตอยเก่าไปถมดินและการใช้วิธีรีไซเคิลข้างต้น ดังนั้น การวิจัยเพื่อนำเศษถนนยางมะตอยเก่ามาใช้ประโยชน์จึงมีความสำคัญและจำเป็นเร่งด่วน ทั้งนี้ จากการศึกษาคุณสมบัติของเศษถนนยางมะตอยเก่าเบื้องต้น พบว่าเศษยางมะตอยดังกล่าวสามารถผสมเข้ากับปูนซีเมนต์เพื่อใช้ทดแทนที่มวลรวมได้ดี (สุรพล, 2551) แต่ด้วยปัญหาด้านปริมาณน้ำมันที่อยู่ในเศษถนนยางมะตอยเก่า วัสดุก่อสร้างที่จะใช้เศษถนนนี้จึงควรจะเป็นวัสดุ

ก่อสร้างที่ใช้งานภายนอกอาคารอย่างแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นดังรูปที่ 1.4 และ 1.5 เนื่องจากจะไม่มีปัญหาด้านไอระเหยของน้ำมันที่อาจจะระเหยได้ รวมทั้งความยืดหยุ่นและความทึบน้ำของยางมะตอยที่ติดอยู่กับมวลรวม(หินปูนขนาด 3/8 หรือ 3/4 นิ้ว) ดังรูปที่ 1.6 ซึ่งจะช่วยแทรกอยู่ภายในเนื้อของกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นเพื่อลดการซึมผ่านของน้ำที่อาจกัดเซาะพื้นหรือชั้นดินซึ่งอยู่ใต้แผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นให้เกิดหลุม และกระเบื้องที่ปูพื้นดังกล่าวก็จะมีการทรุดหรือแตกหักได้ง่าย ทั้งนี้ เพื่อให้แผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นมีความแข็งแรงและใช้งานได้หลากหลาย การพัฒนาแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นที่มีส่วนผสมของเศษถนนยางมะตอยเก่า จึงต้องมีการพัฒนาให้มีความสามารถในการต้านทานแรงดัดได้สูงและมีสีสันหลากหลาย เพื่อให้แผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นสามารถใช้งานได้โดยไม่เกิดการเสียหายเมื่อเกิดหลุมหรือการยุบตัวของพื้นด้านล่าง (รูปที่ 1.7) และเป็นที่นิยมได้ง่าย

รูปที่ 1.4 การติดตั้งแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้น

รูปที่ 1.5 แผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นที่ปูบริเวณทางเท้าทั่วไป

รูปที่ 1.6 ลักษณะและขนาดของเศษยางมะตอยที่ขุดจากถนนเก่า

รูปที่ 1.7 การทรุดตัวทำให้แผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นที่ไม่แข็งแรงเกิดการแตกหักเสียหาย

โครงการ“การใช้ประโยชน์จากเศษถนนยางมะตอยเก่าสำหรับผลิตภัณฑ์แผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นที่ต้านทานแรงดัดสูงเพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม”เป็นการนำเศษวัสดุเหลือทิ้งที่ยากต่อการรีไซเคิลอย่างเศษถนนยางมะตอยเก่าไปใช้ผลิตวัสดุก่อสร้างประเภทวัสดุปูพื้น ซึ่งสามารถใช้ประโยชน์จากลักษณะของเศษถนนที่มียางมะตอยปนอยู่เพื่อการลดการซึมผ่านของน้ำได้อย่างเหมาะสมรวมทั้ง ยังมีความเป็นไปได้ในการนำไปประยุกต์ใช้ในเชิงพาณิชย์ ตลอดจนการสร้างประโยชน์ต่อสังคม ใช้ต้นทุนในการผลิตต่ำและช่วยรักษาสิ่งแวดล้อมอีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1.2.1 เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์แผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นจากเศษถนนยางมะตอยเก่า

1.2.2 เพื่อสร้างผลิตภัณฑ์วัสดุปูพื้นที่มีคุณสมบัติทึบน้ำและสามารถใช้งานได้คงทน

1.2.3 เพื่อช่วยแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อมที่อาจเกิดจากการทิ้งเศษถนนยางมะตอยเก่า

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1.3.1 แผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นจากเศษถนนยางมะตอยเก่าที่ต้านทานแรงดัดสูงเป็นการทดสอบและเปรียบเทียบคุณสมบัติตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.378) เรื่องกระเบื้องคอนกรีตปูพื้น(สมอ., 2531)

1.3.2 ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุเชื่อมประสาน

1.3.3 ใช้เศษถนนยางมะตอยเก่า เกรด AC 60/70ขนาดผ่านตะแกรง 3/4 นิ้ว เป็นมวลรวมหยาบ

1.3.4 ใช้ทรายหยาบ เป็นมวลรวมละเอียด

1.3.5 ใช้สารเคมีผสมเพิ่ม ประเภท A สารลดน้ำ เป็นสารช่วยผสมและสารเพิ่มความแข็งแรง

1.3.6 ขึ้นรูปแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นขนาด 30x 30x 5เซนติเมตร ด้วยเครื่องอัดแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นแบบสั่นเขย่า

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้ต้นแบบผลิตภัณฑ์แผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นผสมเศษถนนยางมะตอยเก่าตามมาตรฐานมอก.378 เรื่องกระเบื้องคอนกรีตปูพื้น

1.4.2 มีแนวทางการนำเศษถนนยางมะตอยเก่าเหลือทิ้งมาใช้ประโยชน์ได้มากขึ้น

1.4.3 เศษถนนยางมะตอยเก่าเหลือทิ้งมีมูลค่าเพิ่มสูงขึ้น

1.4.4 เศษถนนยางมะตอยเก่าเหลือทิ้งไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

1.4.5 เผยแพร่บทความวิจัยในวารสาร หรือผลงานวิจัยในการสัมมนาประชุมวิชาการ

1.4.6 ยื่นคำขอรับสิทธิบัตรการประดิษฐ์หรืออนุสิทธิบัตร ในนามมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

1.4.7 ได้ความร่วมมือทางเครือข่ายงานวิจัยระหว่างมหาวิทยาลัย บริษัทฯ ผู้ผลิตและจำหน่ายวัสดุก่อสร้าง

1.4.8 หน่วยงานที่นำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์ คือ หน่วยงานภาครัฐ ภาคเอกชน และกลุ่มชุมชนในพื้นที่ที่สนใจทั่วไป

บทที่ 2
ทบทวนวรรณกรรม

โครงการ “การใช้ประโยชน์จากเศษถนนยางมะตอยเก่าสำหรับผลิตภัณฑ์แผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นที่ต้านทานแรงดัดสูงเพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม” ได้มีการทบทวนวรรณกรรม ทฤษฎี สมมติฐาน และกรอบแนวความคิดที่ใช้ ซึ่งสามารถสรุปได้ ดังต่อไปนี้

2.1 กระเบื้องคอนกรีตปูพื้น

กระเบื้องคอนกรีตปูพื้น(concrete flooring tile) หมายถึงกระเบื้องที่ทำด้วยคอนกรีตอัดเป็นแผ่น มีสีตามธรรมชาติ หรืออาจมีผงสีเจือปนอยู่ทั้งแผ่น หรือเฉพาะชั้นผิวหน้าก็ได้ ควบคุมคุณภาพโดยมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เรื่องกระเบื้องคอนกรีตปูพื้น(มอก.378) ซึ่งออกโดยสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ., 2531) โดยคุณลักษณะที่ต้องการ ประกอบด้วย

1) ลักษณะทั่วไป กระเบื้องที่ผิวหน้าเรียบ ต้องมีความหนาเท่ากันโดยตลอด และกระเบื้องที่เป็นลอน ความหนาของลอนแต่ละลอนต้องเท่ากันโดยตลอด ต้องไม่มีรอยร้าว มีความได้ฉาบ ขอบเรียบและตรง (ยกเว้นการลบมุม) สีของชั้นผิวหน้าต้องสม่ำเสมอ และไม่ละลายน้ำ โดยมิติและเกณฑ์ความคาดเคลื่อน สามารถดูได้จากตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 มิติและเกณฑ์ความคาดเคลื่อนของกระเบื้องคอนกรีตปูพื้น

มิติ	เกณฑ์ที่กำหนด	เกณฑ์ความคาดเคลื่อน
ความกว้างและความยาว	เป็นไปตามที่ผู้ทำกำหนด	+ 3 มิลลิเมตร
ความหนา	1/10 x ความยาวของกระเบื้อง แต่ต้องไม่ต่ำกว่า 20 มิลลิเมตร	

2) ความต้านทานแรงดัดตามขวางของกระเบื้องแต่ละแผ่นต้องไม่น้อยกว่า 2.5 เมกะพาสคัล และค่าเฉลี่ยต้องไม่น้อยกว่า 3 เมกะพาสคัล

3)การดูดซึมน้ำของกระเบื้องคอนกรีตแต่ละแผ่น ต้องไม่เกินร้อยละ 10

2.2 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

2.2.1 ชนิดปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์(Portland cement) ตามมาตรฐาน ASTM C 150(ASTM, 2012)ได้กำหนดให้เลือกใช้ตามความเหมาะสมกับงานก่อสร้างได้ 5 ชนิด(ปริญญา และชัย, 2555) ดังนี้

1) ชนิด 1 normal Portland Cement บางที่เรียก standard Portland cement เป็นชนิดมาตรฐานเหมาะที่จะให้กับงานก่อสร้างทั่งไปโดยเฉพาะงานคอนกรีตเสริมเหล็ก (reinforced concrete) ในงานอาคาร สะพาน ผิวถนน ลานบิน และอื่นๆ ได้ ประเทศไทย ได้แก่ ปูนซีเมนต์ตราช้าง ตราพญานาคเศียรเดียวสีเขียว ตราเพชร และตราดอกขิกปูนซีเมนต์

2) ชนิด 2 modified Portland cement เป็นชนิดที่ผลิตขึ้นเพื่อต้านทานเกลือซัลเฟต เมื่อปูนซีเมนต์มีปฏิกิริยากับน้ำ (hydration) จะเกิดความร้อนต่ำ และเพิ่มขึ้นช้ากว่าปูนซีเมนต์ชนิด 1 เหมาะที่จะนำมาใช้กับงานคอนกรีตหลา (mass concrete) อุณหภูมิจะค่อยเพิ่มไม่ทำให้ เกิดความเสียหายเนื่องจากความร้อนในคอนกรีต ได้แก่ ปูนซีเมนต์ตราพญานาค 7 เศียร

3) ชนิด 3 high-early strength Portland cement เป็นชนิดของปูนซีเมนต์ ที่ให้กำลังรวดเร็วในช่วงอายุ 24 ชั่วโมง จะมีความแข็งแรงของคอนกรีตที่ผสมด้วยปูนซีเมนต์ชนิดที่ 1ที่อายุ 3 วัน และอายุ 7 วัน เท่ากับปูนซีเมนต์ชนิด 1อายุ 28 วัน เป็นต้น จึงเหมาะที่จะนำมาใช้กับงานที่ต้องการเร่งด่วน เช่น ถนนที่มีการสัญจรคับคั่ง สนามบินจะต้องเปิดใช้ และยังเหมาะสมที่จะนำมาใช้ กับช่วงที่มีอากาศหนาว(cold weather) เพื่อให้คอนกรีตแข็งตัว ได้อย่างรวดเร็วก่อนที่น้ำที่ผสมจะแข็งตัวเสียก่อน ได้แก่ ปูนซีเมนต์ของไทยตราเอราวัณตราสามเพชร และตราพญานาคเศียรเดียวสีแดง

4) ชนิด 4 low – heat Portland cement เป็นปูนซีเมนต์ชนิดพิเศษ มีอัตราความร้อนต่ำและกำลังก็เพิ่มขึ้นช้าๆ เหมาะที่จะเลือกใช้กับงานสร้างเขื่อนขนาดใหญ่

5) ชนิด 5 sulfate – resistant Portland cement เป็นการจงใจที่ให้ต้านทานซัลเฟต เช่น การสร้างในบริเวณใกล้ทะเล หรือมิฉะนั้นก็อยู่ในดินเค็ม เทียบปูนซีเมนต์ในประเทศไทย ได้กับตามปลาฉลามของบริษัทปูนซีเมนต์เอเชีย

ทั้งนี้ ชนิดของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ต่างๆ มีปริมาณของสารประกอบภายในปูนซีเมนต์ที่แตกต่างกัน รวมทั้ง คุณสมบัติของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แต่ละชนิดก็มีความแตกต่างกันด้วย ดังตารางที่ 2.2 ส่วนปูนซีเมนต์ตราเสือ ตราจูเห่า และตรานกอินทรีย์ เป็นพวกซิลิก้าซีเมนต์ โดยนำทราย หรือหินบดให้ละเอียดผสมเข้าไปในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิด ประมาณร้อยละ 25 – 30 เพื่อให้มีคุณสมบัติง่ายต่อการใช้งาน (ปริญญา และชัย, 2555) ลดการหดตัวเมื่อเกิดการก่อตัวของปูนซีเมนต์ ทำให้ไม่เกิดการแตกร้าว ราคาถูก เหมาะสำหรับอาคารเล็กและงานก่ออิฐฉาบปูน เพราะไม่รับกำลังมากนัก

ตารางที่ 2.2 สารประกอบและคุณสมบัติของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ถึง 5

คุณสมบัติ	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่				
	1	2	3	4	5
C_3S	49	46	56	25	43
C_2S	25	29	15	50	36
C_3A	12	6	12	5	5
C_4AF	8	12	8	12	13
ความละเอียด (เบลน,ตร.ซม/กรัม)	3,000	3,000	4,500	3,000	3,000
กำลังอัด (3 วัน,กก/ซม)	180	150	310	80	120
ความร้อนปฏิกิริยา (28 วัน, จูล/กรัม)	400	330	430	270	310

หมายเหตุ กำลังอัดวัดจากลูกบาศก์มอร์ต้าร์ขนาด 50 มิลลิเมตร

2.2.2 องค์ประกอบของคอนกรีต

องค์ประกอบของคอนกรีต ประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ หิน ทราย และน้ำ โดยเมื่อนำส่วนผสมต่างๆ เหล่านี้มาผสมกันจะมีชื่อเรียกเฉพาะ(ปริญญา และชัย, 2555) ดังนี้

1) ปูนซีเมนต์ ผสมกับ น้ำ เรียกว่า ซีเมนต์เพสต์ (cement paste)

2) ซีเมนต์เพสต์ ผสมกับ ทราย เรียกว่า มอร์ต้าร์ (mortar)

3) มอร์ต้าร์ ผสมกับ หินหรือกรวด เรียกว่า คอนกรีต (concrete)

2.2.3 หน้าที่และคุณสมบัติของส่วนผสม

หน้าที่และคุณสมบัติของส่วนผสมที่ใช้ในคอนกรีตสามารถสรุปได้ ดังนี้

1) ซีเมนต์เพสต์ ทำหน้าที่เสริมช่องว่างระหว่างมวลรวม หล่อลื่นคอนกรีตสดขณะเท ให้กำลังแกคอนกรีตเมื่อคอนกรีตแข็งตัว รวมทั้งป้องกันการซึมผ่านของน้ำ

2) มวลรวม ทำหน้าที่เป็นตัวแทรกประสานราคาถูกที่กระจายอยู่ทั่วซีเมนต์เพสต์ ช่วยให้คอนกรีตมีความคงทน ปริมาตรไม่เปลี่ยนแปลงมาก

3) น้ำ ใช้ล้างวัสดุมวลรวมต่างๆ ใช้ผสมทำคอนกรีต ใช้บ่มทำคอนกรีต ก่อให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นกับปูนซีเมนต์ ทำหน้าที่หล่อลื่นเพื่อให้คอนกรีตอยู่ในสภาพเหลวสามารถเทได้ เคลือบหิน ทรายให้เปียกเพื่อให้ซีเมนต์เพสต์จะสามารถเข้าเกาะได้โดยตรง

4) การก่อตัวและการแข็งตัว ปูนซีเมนต์ผสมกับน้ำ ก่อให้เกิดซีเมนต์เพสต์ที่อยู่ในสภาพเหลวช่วงเวลาหนึ่ง หลังจากนั้นเพสต์จะเริ่มแข็งตัวถึงแม้มันจะยังนิ่มอยู่แต่ไม่สามารถลื่นไหลเข้าแบบได้ แล้วจุดนี้เราเรียกว่า จุดแข็งตัวเริ่มต้น (Initial Set) เวลาตั้งแต่ซีเมนต์ผสมกับน้ำจนถึงจุดอิ่มตัวเริ่มต้นเรียกว่า เวลาการก่อตัวเริ่มต้น (Initial Setting Time) การก่อตัวของเพสต์จะยังคงดำเนินต่อไปจนถึงสภาพที่เป็นของแข็งหรือจุดแข็งตัวสุดท้าย (Final Setting Time) เพสต์ยังคงแข็งตัวต่อไป และสามารถรับน้ำหนักได้ ขบวนการทั้งหมดนี้เรียกว่า การแข็งตัว (Hardening)

2.3 มวลรวม

มวลรวม (aggregate) คือวัสดุที่ใช้สำหรับผสมกับซีเมนต์เพสต์ทำให้ผลผลิตที่ได้ออกมาเป็นคอนกรีต มวลรวมที่ใช้มากที่สุดคือ หิน และทรายคอนกรีตทั่วไปจะมีหินและทรายผสมอยู่ประมาณ ร้อยละ70 – 80ของปริมาตรคอนกรีต คุณภาพหินและทรายที่ใช้ต้องพิจารณาอย่างพิถีพิถันเนื่องจากจะมีผลกระทบต่อคุณภาพของคอนกรีตสดและคอนกรีตที่แข็งตัวแล้วเป็นอย่างมาก(ปริญญา และชัย, 2555) โดยขนาดเม็ดของมวลรวมสามารถแบ่งได้ ดังนี้

1) มวลรวมหยาบ (coarse aggregate)นิยมใช้ทั่วไปมีขนาด 10 มิลลิเมตร (3/8 นิ้ว) ถึง 25 มิลลิเมตร (1 นิ้ว) ส่วนใหญ่เป็นหินย่อย (crushed stone) ที่ได้จากการระเบิดภูเขาหิน แล้วนำไปย่อยให้เล็กลงตามขนาดที่ต้องการ

2) มวลรวมละเอียด (fine aggregate)ขนาดเม็ดเล็กกว่า 4.75 มิลลิเมตร แต่มีขนาดใหญ่กว่า 0.074 มิลลิเมตรที่ใช้กันทั่วไปได้แก่ ทรายแม่น้ำ ทรายบก หรือทรายเหมืองที่ผ่านการล้างสะอาดแล้ว

3) วัสดุที่มีขนาดเม็ดเล็กกว่า 0.074 มิลลิเมตรที่อาจจะปนอยู่ในทรายแบ่งเป็น 2 ชนิด คือดินตะกอน หรือหินฝุ่น (silt) ขนาดเม็ด 0.074 - 0.002 มิลลิเมตรและดินเหนียว (clay) ขนาดเม็ดเล็กกว่า 0.002 มิลลิเมตรดินตะกอนและดินเหนียวเป็นวัสดุที่ไม่พึงประสงค์สำหรับงานผลิตคอนกรีต

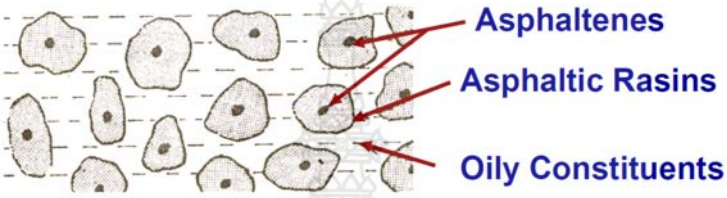
2.4 ยางมะตอย

ยางมะตอยหรือแอสฟัลต์ (asphalt หรือ bitumen)คือวัสดุวิทยาศาสตร์ที่เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน(hydro carbon)ได้มาจากขบวนการกลั่นน้ำมันปิโตรเลียม (บริษัท ทิปโก้แอสฟัลท์ จำกัด (มหาชน), 2550) โดยยางมะตอยจะเป็นส่วนของน้ำมันดิบที่หนักที่สุดและจะถูกนำไปผ่านขบวนการผลิตยางมะตอยต่อไปเพื่อให้ได้ยางมะตอยที่มีคุณสมบัติต่างๆตามต้องการทั้งนี้ การที่ยางมะตอยได้รับความนิยมในการใช้งานอย่างกว้างขวางนั้นเนื่องจากคุณสมบัติที่สำคัญคือการเป็นตัวเชื่อมประสานที่ดี (good binder) ทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมวัสดุต่างๆให้ติกันเช่นการผสมยางมะตอยกับหินย่อยเพื่อใช้ทำผิวจราจรต่างๆเป็นต้นการป้องกันน้ำซึมผ่าน (good waterproofing) เมื่อวัสดุเคลือบด้วยยางมะตอยแล้วโอกาสที่น้ำจะซึมผ่านจะเป็นไปได้ยาก การใช้ความร้อนแล้วกลายเป็นของเหลว (liquid) อ่อนตัวเมื่อถูกความร้อน

และแข็งตัวเมื่อเย็นลงคุณสมบัตินี้จะทำให้สามารถนำยางมะตอยมาใช้ประโยชน์ได้ง่ายขึ้นเช่นการทำถนนเมื่อทำให้ยางมะตอยเหลวก็สามารถผสมยางมะตอยกับวัสดุต่างๆได้ดีและเมื่อลาดยางแล้วจะเย็นลงจนเกิดการแข็งตัวและการทนทานคงสภาพดินฟ้าอากาศ (aging resistance) จึงเหมาะกับการใช้งานกลางแจ้ง

2.4.1 องค์ประกอบของยางมะตอย

ยางมะตอย ประกอบด้วยองค์ประกอบหลักๆ ทั้งหมด 3 ส่วนได้แก่ ส่วน asphaltenesเป็นส่วนที่มีสีน้ำตาลเกือบดำ ลักษณะเป็นอนุภาคของแข็งแขวนลอย เป็นตัวทำให้เกิดความข้นหนืดในแอสฟัลต์ส่วน asphaltic เป็นของแข็งที่มีสีน้ำตาลแก่ เป็นของเหลวเมื่อถูกความร้อนทำหน้าที่ช่วยให้ asphaltenes กระจายตัวในแอสฟัลต์ และส่วน oily constituents เป็นส่วนของน้ำมันเหลวไร้สี(บริษัท ทิปโก้แอสฟัลท์ จำกัด (มหาชน), 2550) ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 องค์ประกอบของยางมะตอย (บริษัท ทิปโก้แอสฟัลท์ จำกัด (มหาชน), 2550)

2.4.2 ชนิดของยางมะตอย

ชนิดของยางมะตอย สามารถแบ่งได้ 3 กลุ่มหลัก ตามลักษณะที่แตกต่างกันดังนี้

1) ยางมะตอยแข็งหรือแอสฟัลต์ซีเมนต์ (asphalt cement) เรียกย่อว่า AC ได้มาจากการกลั่นน้ำมันดิบจะเป็นส่วนที่ข้นและหนักที่สุดซึ่งก็จะมีหลายเกรดตามความอ่อนแข็งราคาถูกยางแอสฟัลต์ AC นั้นเป็นยางแข็งต้องให้ความร้อนถึงจะละลายเป็นของเหลวใช้ทำงานถนนเท่านั้นซึ่งแบ่งเป็นเกรดต่างๆ ได้แก่

1.1) penetration grade แบ่งตามความแข็งของยางมีหน่วยเป็น "0.1 mm." เช่น AC50/60, AC 60/70, และ AC 80/100 เป็นต้น

1.2) viscosity grade แบ่งตามความข้นเหลวของยาง (60 °C) มีหน่วยเป็น "100 poises" เช่น AC-10, AC-20, และ AC-40 เป็นต้น

1.3) AR viscosity grade แบ่งตามความข้นเหลวของยางหลัง RTFOT หน่วยเป็น "poises" เช่น AR 4000, AR8000 ,และ AR 12000 เป็นต้น

1.4) performance grade แบ่งตามสมรรถนะของการใช้งาน (superpave) โดยใช้อุณหภูมิของยาง (สูงสุด/ต่ำสุด) ที่ยังคงคุณสมบัติตามข้อกำหนด SHRP (the strategic highway research program) มีหน่วยเป็น °C เช่น PG 58-16, PG 70-10,และ PG76-22 เป็นต้น

2) ยางมะตอยเหลวหรือลิควิดแอสฟัลต์ (liquid asphalt) สามารถแบ่งย่อยออกเป็น 2 ชนิด หลักๆ ได้แก่

2.1) คัตแบกแอสฟัลต์หรือยางมะตอยน้ำมัน (cut-back asphalt) คือ แอสฟัลต์ซีเมนต์ผสมน้ำมันที่อัตราส่วนประมาณ 65:35 มี 3 เกรด คือ เกรดระเหยไว (rapid curing) เช่น RC-70, RC-250, และ RC-800 เป็นต้น, เกรดระเหยปานกลาง (MEDIUM CURING) เช่น MC-30, MC-70, และ MC-3000 เป็นต้น, และเกรดระเหยช้า (slow curing) เช่น SC-70, และ SC-800 เป็นต้น แอสฟัลต์ชนิดนี้มีข้อดี คือ นำไปใช้งานง่าย และ แทรกซึมลงไปในมวลรวมต่างๆ ได้ดี แต่มีข้อเสีย คือ เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมหากนำไปใช้กับดิน ต้นทุนสูง และอันตราย ซึ่งปกติแล้วคัตแบกแอสฟัลต์จะใช้ในงานรองพื้น

(prime coat) ก่อนที่จะลาดยางเพื่อป้องกันการไหลซึมของน้ำลงไปที่พื้นดินที่อัดไว้ก่อนหน้านี้การแบ่งชนิดของคัตแบ็กแอสฟัลต์โดยการเทียบเคียงอัตราเร็วของการระเหยสามารถแบ่งได้ 3 ชนิดดังนี้

(1) rapid curing (ชนิดแข็งตัวเร็ว) เรียกย่อๆว่า RC ประกอบด้วยแอสฟัลต์ซีเมนต์กับตัวทำละลายที่ระเหยเร็ว (จุดเดือดต่ำ) ได้แก่น้ำมันเบนซินหรือ naphtha

(2) medium curing (ชนิดแข็งตัวเร็วปานกลาง) เรียกย่อๆว่า MC ประกอบด้วยแอสฟัลต์ซีเมนต์กับตัวทำละลายที่ระเหยเร็วปานกลางเช่น kerosene (น้ำมันก๊าด)

(3) slow curing (ชนิดแข็งตัวช้า) เรียกย่อๆว่า SC ประกอบด้วยแอสฟัลต์ซีเมนต์กับน้ำมันที่ระเหยช้าหรืออาจได้จากการกลั่นโดยตรงคัทแบ็คแอสฟัลต์ชนิด SC นี้บางครั้งก็เรียกกันว่า road oils

2.2) แอสฟัลต์อิมัลชั่น (asphalt emulsion) คือ ยางมะตอยหรือยางแอสฟัลต์ที่เป็นโมเลกุลเม็ดเล็กๆ กระจายอยู่ในน้ำ และคงสภาพอยู่ได้ในน้ำ ซึ่งเป็นผลมาจากที่โมเลกุลของสารเคมี (emulsifier)ซึ่งมีประจุไฟฟ้ามาเกาะอยู่รอบๆ ผิวของยางมะตอยชนิดนี้ จึงทำให้เม็ดยางมะตอยมีแรงผลักกันตามทฤษฎีประจุไฟฟ้า แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ แอสฟัลต์อิมัลชั่นประจุบวก (cationic asphalt emulsion) เหมาะสำหรับใช้งานกับหินแกรนิต (granite) หินปูน (limestone) และหินบะซอร์ต (basalt) มี 3 แบบ คือ แตกตัวเร็ว (CRS-1, CRS-2), แตกตัวปานกลาง (CMS-2, CMS-2H), และแตกตัวช้า (CSS-1, CSS-1H) ส่วนแอสฟัลต์อิมัลชั่นประจุลบ (antionic asphalt emulsion) เหมาะสำหรับการใช้งานกับหินทราย (sandstone) ในการใช้งานน้ำในแอสฟัลท์อิมัลชั่นจะระเหยไปคงเหลือไว้แต่แอสฟัลท์ให้เกาะตัวกันเป็นฟิล์มต่อเนื่องเคลือบหุ้มวัสดุมวลรวมหรือพื้นผิวทางใช้ในการซ่อมถนนเช่น CSS-1 (20 – 70 °C) เป็นต้น(บริษัท ทิปโก้แอสฟัลท์ จำกัด (มหาชน), 2550)

3) โพลิเมอร์โมดิฟายส์แอสฟัลท์(polymer modified asphalt, PMA)คือยางแอสฟัลท์เกรดพิเศษที่ได้จากการผสมระหว่างโพลีเมอร์ (polymer) กับแอสฟัลต์ซีเมนต์ (asphalt cement)ภายใต้กระบวนการผสมที่ดำเนินการในโรงงานผลิตโดยใช้เครื่องผสมที่ออกแบบโดยเฉพาะ ทั้งนี้สารโพลีเมอร์ที่นิยมใช้ผสมได้แก่SBS (styrenebutadiene styrene), EVA (ethylene vinyl acetate) หรือสารโพลีเมอร์อื่นๆซึ่งจะช่วยให้ยางมะตอยมีสมบัติที่ดีขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับยางมะตอยชนิดอื่น (ตารางที่ 2.3) ได้แก่ มีความต้านทานต่อการล้า (fatigue resistance) ที่ดีมีความต้านทานสูงต่อการเปลี่ยนแปลงรูปร่างอย่างถาวร (pavement deformation)มีความยืดหยุ่นสูงมีความต้านทานต่อการบิดตัวระหว่างวัสดุมวลรวมกับวัสดุเชื่อมประสานมีความต้านทานต่อการหลุดลอก (stripping resistance) ที่ดีและไม่มีการไหลเยิ้ม (bleeding resistance) ของวัสดุเชื่อมประสาน(บริษัท ทิปโก้แอสฟัลท์ จำกัด (มหาชน), 2550)

ตารางที่ 2.3 สมบัติของยางมะตอยชนิด PMA เปรียบเทียบกับยางมะตอยชนิด AC 60/70

สมบัติ	หน่วย	AC 60/70	PMA
ความหนืด(Viscosity) -Visco. 165 °C	cP	~100	~500
จุดอ่อนตัว (Softening Point)	°C	45-48	>80
ความยืดหยุ่น(Elasticity) - Torsional Recovery 25 °C	%	0-2	>80
แรงยึดเหนี่ยว(Cohesion) - Toughness	kg.cm	~50	>200
การรักษาคุณสมบัติ(Aging Resistance) - Thin Film Oven Test (TFOT) Pen. °C	%org	>54	>70

2.5 สารเคมีผสมเพิ่ม

สารเคมีผสมเพิ่ม ตามมาตรฐาน ASTM C125(ASTM, 2012)ได้ให้คำนิยามของสารผสมเพิ่มว่าเป็นสารใดๆที่ใช้เติมลงไปในส่วนผสมของคอนกรีตหรือมอร์ต้าร์นอกเหนือจากน้ำปูนซีเมนต์ทรายและหินซึ่งอาจเติมหรือเพิ่มในขั้นตอนการผลิตปูนซีเมนต์เรียกว่า additive หรืออาจเพิ่มเข้าไปในขณะที่ทำการผสมคอนกรีตเรียกว่า admixture ซึ่งสารผสมเพิ่มสามารถแบ่งได้ 4 ประเภทใหญ่ๆดังต่อไปนี้

1) สารเคมีผสมเพิ่ม (chemical admixture)

2) สารกักกระจายฟองอากาศ (air – entraining agent)

3) แร่ธาตุผสมเพิ่ม (mineral admixture)

4) สารผสมเพิ่มอื่นๆ (miscellaneous admixture)

2.5.1 สารเคมีผสมเพิ่ม

สารเคมีผสมเพิ่มได้ถูกค้นพบครั้งแรกโดย Tucker, Winkler และ Scripture ซึ่งหลังจากนั้นก็ได้มีการคิดค้นสารเคมีต่างเพื่อนำมาใช้เป็นสารผสมเพิ่มในคอนกรีตอย่างกว้างขวางมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมสารเคมีผสมเพิ่มสำหรับคอนกรีต (มอก.733) (สมอ., 2530) ได้แบ่งสารเคมีผสมเพิ่มออกเป็น 7 ประเภทตามมาตรฐาน ASTM C 494 (ASTM, 2012) คือ

1) ประเภท A สารลดน้ำ (water – reducing admixtures)

2) ประเภท B สารหน่วงการก่อตัว (retarding admixtures)

3) ประเภท C สารเร่งการก่อตัว (accelerating admixtures)

4) ประเภท D สารลดน้ำและหน่วงการก่อตัว (water – reducing and retarding admixtures)

5) ประเภท E สารลดน้ำและเร่งการก่อตัว (water – reducing and accelerating admixtures)

6) ประเภท F สารลดน้ำพิเศษ (water – reducing , high range admixtures)

7) ประเภท G สารลดน้ำพิเศษและหน่วงการก่อตัว (water – reducing , high range, and retarding admixtures)

2.5.2 สารเคมีผสมเพิ่มประเภทAสารลดน้ำ

น้ำที่ผสมในคอนกรีตมีหน้าที่ที่สำคัญอยู่ 3 ประการคือเข้าไปทำปฏิกิริยาhydration กับปูนซีเมนต์ทำหน้าที่เป็นตัวหล่อลื่นทำให้ส่วนผสมคอนกรีตมีความลื่นไหลสามารถเทเข้าแบบได้และทำหน้าที่เคลือบผิวมวลรวมให้เปียกเพื่อให้ซีเมนต์เพสต์ยึดเกาะปูนซีเมนต์มีความต้องการใช้น้ำเพื่อทำปริกิริยา hydration ประมาณร้อยละ 28 ของน้ำหนักซีเมนต์แต่น้ำที่ใช้ผสมคอนกรีตโดยทั่วไปจะใช้น้ำประมาณ 35% หรือใช้ W/C ประมาณ 0.35 เนื่องจากว่าเราต้องการน้ำส่วนหนึ่งให้ทำหน้าที่เป็นตัวหล่อลื่นให้คอนกรีตสดมีความลื่นไหลสามารถทำงานได้น้ำส่วนเกินนี้เรียกว่าน้ำอิสระ (free water) ซึ่งถ้าปริมาณน้ำส่วนเกินนี้มีมากจะมีผลทำให้คอนกรีตเกิดการเยิ้ม (bleeding) เกิดการแยกตัวในเนื้อคอนกรีต (segregation) กำลังรับแรงอัดต่ำลงคอนกรีตหดตัว(shrinkage)มากขึ้นและเมื่อน้ำอิสระระเหยไปก็จะทำให้เกิดเป็นโพรงในเนื้อคอนกรีตทำให้คอนกรีตขาดความทนทานดังนั้นจึงมีการใช้สารผสมเพิ่มในคอนกรีตเพื่อลดปริมาณความต้องการใช้น้ำในการผสมคอนกรีตแต่ยังคงความสามารถในการทำงานไว้สารลดปริมาณน้ำหรือที่รู้จักกันในชื่อ plasticizer เมื่อผสมลงในคอนกรีตจะทำให้คอนกรีตมีความข้นเหลวมากขึ้นมีความสามารถเทได้ดีขึ้นในขณะที่ใช้น้ำน้อยลงหรือเท่าเดิมทำให้สามารถลดความต้องการในการใช้น้ำเพื่อผสมคอนกรีตลงได้ (ประมาณร้อยละ 5 – 10)และสารลดน้ำบางชนิดยังเพิ่มปริมาณฟองอากาศและช่วยหน่วงเวลาการก่อตัวต้นของคอนกรีตได้ด้วยการใช้สารลดปริมาณน้ำในคอนกรีตมีวิธีการใช้อยู่ 3 วิธีแตกต่างกันไปตามวัตถุประสงค์ของผู้ใช้คือ

1) เพื่อเพิ่มความสามารถเทได้หรือทำให้คอนกรีตเหลวขึ้นทำได้โดยการใส่สารลดปริมาณน้ำในส่วนผสมของคอนกรีตโดยยังรักษาสัดส่วนของ W/C ไว้เท่าเดิมทำให้คอนกรีตมีกำลังรับแรงเท่าเดิม วิธีนี้นิยมใช้ในงานที่แบบหล่อคอนกรีตแคบมากหรือใช้ในงาน concrete pump

2) เพื่อเพิ่มกำลังของคอนกรีตทำได้โดยการใส่สารลดปริมาณน้ำในส่วนผสมของคอนกรีตพร้อมทั้งลดปริมาณน้ำที่ใช้ในการผสมลงทำให้สัดส่วน W/C ต่ำลงคอนกรีตมีกำลังเพิ่มมากขึ้

3) เพื่อให้ได้คอนกรีตที่มีราคาถูกลงแต่ยังคงกำลังรับแรงไว้เท่าเดิมทำได้โดยการใส่สารลดปริมาณน้ำในส่วนผสมของคอนกรีตพร้อมทั้งลดปริมาณน้ำและซีเมนต์ที่ใช้ในการผสมลงโดยรักษาสัดส่วน W/C ไว้คงเดิมทำให้ได้คอนกรีตที่มีกำลังเท่าเดิมความสามารถเทได้เหมือนเดิมแต่ราคาถูกลงเพราะใช้ปูนซีเมนต์ในปริมาณที่น้อยลง

2.6 สมมติฐาน

คุณสมบัติของกระเบื้องคอนกรีตผสมเศษถนนยางมะตอยเก่า จะแตกต่างกันเมื่อใช้ส่วนผสมและตะแกรงเหล็กเปลี่ยนไป ซึ่งสามารถสรุปเป็นสมมติฐานย่อย แบ่งตามตัวแปรได้ ดังนี้

1) ยางมะตอยสามารถลดน้ำหนักของกระเบื้องคอนกรีตให้ต่ำลงได้

2) ยางมะตอย สามารถลดการดูดซึมน้ำของกระเบื้องคอนกรีตให้ต่ำลงได้

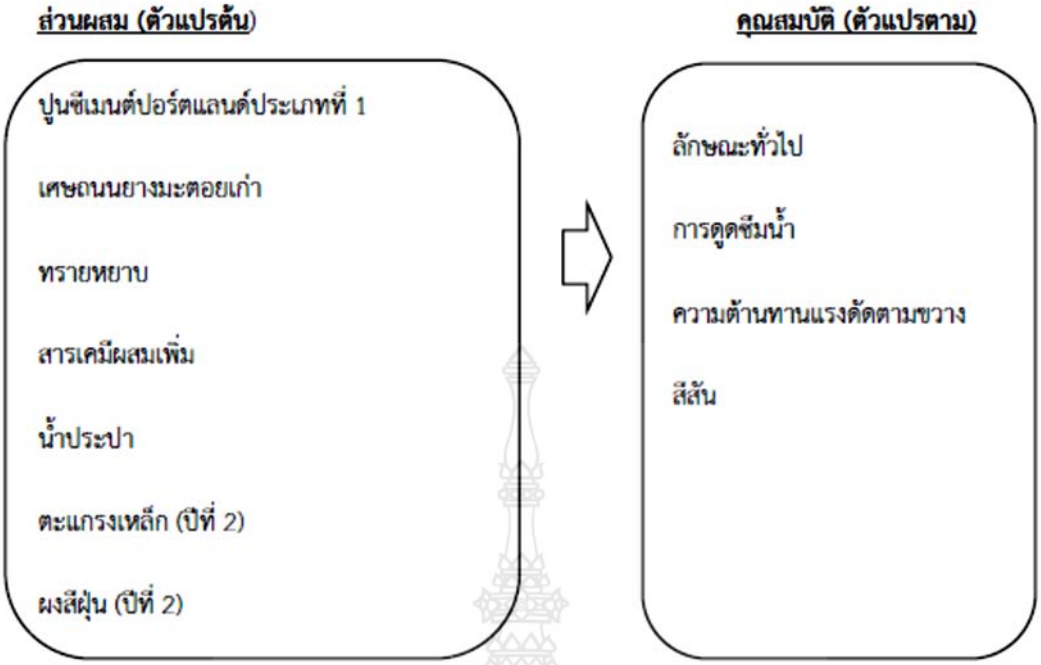
3) สารเคมีผสมเพิ่ม ประเภท A สามารถช่วยเพิ่มความต้านทานแรงดัดของกระเบื้องคอนกรีตผสมเศษถนนยางมะตอยเก่าให้สูงขึ้นได้

4) ตะแกรงเหล็ก สามารถช่วยเพิ่มความต้านทานแรงดัดของกระเบื้องคอนกรีตผสมเศษถนนยางมะตอยเก่าให้สูงขึ้นได้

5) ผงสีฝุ่น สามารถปรับเปลี่ยนสีของกระเบื้องคอนกรีตผสมเศษถนนยางมะตอยเก่าให้แตกต่างจากเดิมได้และไม่มีการละลายน้ำ

2.7 กรอบแนวความคิด

สำหรับกรอบแนวความคิดของโครงการ “การใช้ประโยชน์จากเศษถนนยางมะตอยเก่าสำหรับผลิตภัณฑ์แผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นที่ต้านทานแรงดัดสูงเพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม” ทั้งปีที่ 1 (พ.ศ.2560) การพัฒนาแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นผสมเศษถนนยางมะตอยเก่า และปีที่ 2 (พ.ศ.2561) การพัฒนาแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นผสมเศษถนนยางมะตอยเก่าที่ต้านทานแรงดัดสูงสามารถสรุปได้ ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 กรอบแนวความคิดของโครงการ

2.8 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (information) ที่เกี่ยวข้อง

สำหรับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์แผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นต่างๆ ซึ่งนำมาใช้ในการอ้างอิงเพื่อศึกษาวิจัยนั้น สามารถรวบรวมมาพอสังเขปได้ ดังนี้

ภาคภูมิ มงคลสังข์(2550) ทำการศึกษาการใช้เถ้าตะกรันลิกไนต์เป็นมวลรวมในการทำบล็อกปูถนน โดยนำเถ้าตะกรันลิกไนต์มาเป็นวัสดุใช้ทดแทนหินฝุ่น ที่อัตราส่วนการแทนที่หินฝุ่นต่อเถ้าตะกรันลิกไนต์ เท่ากับ 100:0, 90:10, 80:20, 70:30, 60:40 โดยน้ำหนัก ทดสอบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์วิธีการชักตัวอย่างและการทดสอบวัสดุงานก่อซึ่งทำด้วยคอนกรีตตามมาตรฐาน มอก. 109-2517คุณสมบัติที่ทดสอบประกอบด้วย คุณสมบัติทางเคมี หน่วยน้ำหนัก ค่าปริมาณความชื้น การทดสอบการดูดซึมน้ำ การทดสอบกำลังรับแรงอัดและความคงทนสภาวะเปียกสลับแห้งของบล็อกปูถนน จากการทดสอบพบว่าการแทนที่เถ้าตะกรันในบล็อกปูถนนที่ร้อยละ 10 และ 20 มีค่ากำลังรับแรงอัดสูงกว่าเกณฑ์ขั้นต่ำที่กำหนดไว้ตามมาตรฐาน มอก.57-2530 ในขณะที่อัตราการแทนที่ของเถ้าตะกรันลิกไนต์มากขึ้นค่าการดูดซึมน้ำและปริมาณความชื้นจะเพิ่มมากขึ้น

ยุวดี หิรัญ และคณะ(2550)ทำการศึกษาอัตราส่วนผสมและชนิดของหินที่เหมาะสมในการทำคอนกรีตระบายน้ำได้ เพื่อใช้ในการทำบล็อกปูถนนเพื่อก่อสร้างลานจอดรถหรือทางเดินเท้าในเขตพื้นที่มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสกลนคร เพื่อลดการก่อสร้างพื้นที่ทึบน้ำ ทำให้น้ำผิวดินสามารถไหลซึมผ่านผิวลงสู่ชั้นดินได้ ช่วยลดปัญหาเรื่องการระบายน้ำ และปัญหาน้ำท่วมการไหลนองของน้ำฝนได้ โดยได้ทำการวิจัยคุณสมบัติด้านกำลังอัดและความซึมน้ำของส่วนผสมคอนกรีตที่ทำจากหินเกล็ดและหินกรวดที่มีขนาดอยู่ระหว่างตะแกรงเบอร์ 4 และเบอร์ 8 ซึ่งจากการวิจัยพบว่าส่วนผสมคอนกรีตมีความเหมาะสมคือ ส่วนผสมที่ใช้หินกรวดที่มีขนาดคละและมีอัตราส่วนผสมของปูนซีเมนต์ ร้อยละ20โดยน้ำหนักหิน และจะมีค่าความซึมน้ำของคอนกรีตเหมาะสมกับค่าความซึมน้ำของ

ดินในเขตพื้นที่มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสกลนคร และมีกำลังอัดเฉลี่ย 242 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

ยุวดี หิรัญ และคณะ (2551) ทำการศึกษาส่วนผสมของคอนกรีตพรุนที่สามารถอัดขึ้นรูปเป็นบล็อกปูถนนได้ โดยทำการศึกษาความสัมพันธ์ด้านกำลังรับแรงอัด ความซึมน้ำ และความสามารถในการอัดขึ้นรูปบล็อกของบล็อกปูถนน ส่วนผสมของคอนกรีตพรุนใช้หินกรวดที่ร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐาน ASTM และเลือกใช้หินกรวดที่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 2 เบอร์3/8”เบอร์ 4 และ เบอร์ 8 มาผสมกัน โดยใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ ร้อยละ 18, 20 และ 22 โดยน้ำหนักหิน และอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.35 และ 0.40 จากการวิจัยพบว่าส่วนผสมคอนกรีตพรุนที่ใช้สัดส่วนคละของหินกรวดที่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 2 เบอร์ 3/8”และเบอร์ 8 อย่างละเท่าๆ กันโดยน้ำหนักหิน และส่วนผสมคอนกรีตพรุนที่ใช้สัดส่วนคละของหินกรวดที่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 2 เบอร์ 3/8”เบอร์ 4 และเบอร์ 8 อย่างละเท่าๆ กันโดยน้ำหนักหิน และใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ ร้อยละ 20 หรือ 22 โดยน้ำหนักหิน จะมีความสามารถในการอัดขึ้นรูปบล็อกปูถนนได้ดี และส่วนผสมที่มีอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) 0.40 ซีเมนต์เพสต์จะเคลือบผิวมวลรวมได้ดี

ประชุม คำพุฒ (2552)ได้ทำงานวิจัยเรื่อง การพัฒนาอิฐปูพื้นภายนอกอาคารเพื่อลดอุณหภูมิ งานวิจัยนี้ได้ทำการเลือกใช้เทคโนโลยีคอนกรีตพรุนมาใช้เป็นเนื้อวัสดุของอิฐปูพื้นภายนอกอาคารเพื่อลดอุณหภูมิ เพื่อให้ความชื้นใต้อิฐปูพื้นสามารถผ่านขึ้นมาระบายความร้อนที่ผิวหน้าและสามารถระบายน้ำที่ท่วมขังผิวหน้าวัสดุได้ดี ส่วนผิวหน้ายังใช้เทคโนโลยีของหินล้าง โดยการเลือกใช้กรวดสีเหลืองทองจากงานวิจัยเดิมมาเป็นวัสดุผสม ซึ่งกรวดสีเหลืองทองได้ผ่านการทดสอบมาแล้วว่าสามารถช่วยลดอุณหภูมิที่ผิวหน้าได้ดีที่สุดทำการศึกษาพัฒนาคุณสมบัติของบล็อกคอนกรีตพรุน (ขนาด30 x 30 x 5ลูกบาศก์เซนติเมตร) ให้มีสมบัติต่างๆ ที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.)และสามารถระบายน้ำได้ดี ซึ่งงานวิจัยนี้ทำการเปรียบเทียบวัสดุมวลรวมหยาบ 2 ชนิดคือหินเกล็ดสีขาว-ดำและหินเหลือง-ขาว โดยหินที่ใช้จะมีขนาดคละช่วงแคบๆหรือมีขนาดใกล้เคียงกัน เพื่อให้โครงสร้างของคอนกรีตเกิดความพรุน ขนาดคละที่เลือกใช้คือหินเบอร์ 4 (คือ หินเกล็ดที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 3/8 นิ้วและค้างบนตะแกรงเบอร์ 4), หินเบอร์ 8 (คือ หินเกล็ดที่ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 4 และค้างบนตะแกรงเบอร์ 8) และปริมาณปูนซีเมนต์ที่ใช้อยู่ระหว่าง ร้อยละ 15-20 ของน้ำหนักหินโดยทุกส่วนผสมจะมีค่าอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์โดยน้ำหนัก เท่ากับ 0.4 และปริมาณมวลรวมละเอียดหรือทรายใช้ประมาณ ร้อยละ 5 ของน้ำหนักหินเพื่อไม่ให้มีปริมาณซีเมนต์เพสต์ไปอุดช่องว่างทำให้ความพรุนของเนื้อคอนกรีตลดลง ผสมส่วนผสมทั้งหมด แล้วเทขึ้นรูปเป็นแผ่นตัวอย่างอิฐปูพื้น ทำผิวหน้าหินล้าง ทิ้งไว้ให้แห้งในบรรยากาศ แล้วทำการทดสอบสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางกล และสมบัติอื่น ที่ระยะเวลาต่างๆ

เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ, ศรุต ทิพย์วารีรมณ์ และวศิน ปิ่นประทีป(2552) ได้ศึกษาการนำของเสียประเภทฉลากพลาสติกมาใช้ประโยชน์เป็นวัสดุแทนที่ในมวลรวมละเอียดในการทำคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น โดยแบ่งเป็น 2 ส่วน ในส่วนแรกเป็นการทดลองเพื่อศึกษาสัดส่วนที่เหมาะสมในการแทนที่ทรายด้วยฉลากพลาสติก โดยการแปรค่าสัดส่วนผสมที่ร้อยละ 3, 5, 7 และ 10 และบ่มที่ระยะเวลา 7และ 28 วัน โดยใช้อัตราส่วนซีเมนต์ต่อทรายต่อหินเกล็ดเท่ากับ 1:1.2:1.8 โดยน้ำหนัก ใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานที่ 0.5 และใช้ผงหินปูนแทนที่ปูนซีเมนต์ที่ร้อยละ10 โดยน้ำหนัก ตลอดการทดลอง ผลการทดลองทำคอนกรีตขนาด 5x5x5 ลูกบาศก์เซนติเมตร พบว่าความสามารถในการทำงานได้ของคอนกรีตสดลดลงตาม

สัดส่วนการเพิ่มขึ้นของปริมาณฉลากพลาสติก และพบว่าสัดส่วนวัสดุผสมที่ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักของมวลรวมละเอียด ที่ระยะเวลาบ่ม 28 วัน ทำให้คอนกรีตมีกำลังรับแรงอัดเฉลี่ยที่ 40.8 เมกะปาสคาล ค่าความหนาแน่นเท่ากับ 2.23 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และค่าร้อยละการดูดซึมน้ำเท่ากับ 4.97 ซึ่งผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นของกระทรวงอุตสาหกรรม จึงสามารถนำไปผลิตเป็นคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นได้ ในส่วนที่สองเป็นการทดลองทำคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นรูปอัฐศิลา และการประมาณค่าใช้จ่ายเบื้องต้นในการผลิตคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น โดยผลการทดลองทำคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นรูปอัฐศิลา (แปดเหลี่ยม) หนา 6 เซนติเมตร มีน้ำหนักเฉลี่ย 4.3 กิโลกรัม และมีค่าต้นทุนด้านวัสดุในการผลิตเท่ากับ 2.78 บาทต่อก้อน ซึ่งสามารถช่วยลดต้นทุนค่าวัสดุได้เป็นจำนวน 0.04 บาทต่อก้อน

ประชุม คำพุฒ และกิตติพงษ์ สุวีโร (2554) ได้ออกแบบบล็อกปูพื้นสำหรับลดอุณหภูมิบริเวณผิวพื้นภายนอกอาคารที่มีความแข็งแรง ประกอบด้วย วัสดุฐาน (ชั้นล่าง) ทำจากคอนกรีตมวลเบาที่ดูดความชื้นและพาความชื้นสู่ผิวด้านบนได้ดี ส่วนวัสดุผิวหน้า (ชั้นบน) เลือกใช้หินล้างที่สะสมความร้อนต่ำ วัสดุฐานแบ่งเป็นหลายอัตราส่วน คือ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1: ทราย: หินพัมมิส เท่ากับ 1:1:1, 1:1:0.85, 1:1:0.70, 1:1:0.55 และ 1:1:0.40 อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ เท่ากับ 0.35 และสารกักกระจายฟองอากาศ: ปูนซีเมนต์ เท่ากับ 150 ซีซี: 100 กิโลกรัม จากการทดสอบกำลังอัดและวัดอุณหภูมิผิวหน้า พบว่า อัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุด คือ 1:1:1 ซึ่งมีกำลังอัด เท่ากับ 154 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และมีอุณหภูมิผิวพื้นต่ำกว่าวัสดุปูพื้นทั่วไปถึงประมาณ 7 องศาเซลเซียส

อรุณเดช บุญสูง (2554) ได้ศึกษากำลังรับแรงอัดประลัยของบล็อกปูพื้นที่ผลิตจากทรายกรองประปาที่ใช้แล้วโดยกำหนดอัตราส่วนผสมระหว่างซีเมนต์ต่อทรายกรองใช้แล้วเท่ากับ 1:3 และ 1:4 โดยใช้ W/C Ratio เท่ากับ 0.3 และ 0.4 และอายุการบ่มที่ 3, 7, 14 และ28 จากการศึกษาพบว่า อัตราการพัฒนากำลังรับแรงอัดเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วที่ระยะเวลาการบ่ม 3 วัน และหลังจากนั้นมีค่าลดลง โดยลักษณะการพัฒนากำลังของก้อนตัวอย่างที่ทุกอัตราส่วนและทุก W/C ratio มีแนวโน้มที่คล้ายกัน ค่ากำลังรับแรงอัดประลัยที่อายุการบ่ม 28 วันของก้อนตัวอย่างที่อัตราส่วนผสม 1 : 3 และ W/C Ratio เท่ากับ 0.3 และ 0.4 มีค่าเท่ากับ 230 และ 153 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรตามลำดับ ในขณะที่กำลังรับแรงอัดประลัยของก้อนตัวอย่างมีอัตราส่วนผสม 1 : 4 และ W/C Ratio เท่ากับ 0.3 และ 0.4 ที่อายุการบ่ม 28 วันมีค่าเท่ากับ 173 และ 133 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรตามลำดับ โดยการเพิ่มค่า W/C Ratio จะส่งผลกระทบให้กำลังรับแรงอัดประลัยลดลงมากกว่าการเพิ่มประมาณทรายกรองในอัตราส่วนผสม เมื่อเปรียบเทียบค่ากำลังรับแรงอัดประลัยที่อายุการบ่ม 28 วัน โดยทำให้ลดลงถึงร้อยละ 22.8 ถึง 33.6 ในขณะที่การการเพิ่มปริมาณทรายกรองจะทำให้ค่ากำลังรับแรงอัดประลัยที่อายุการบ่ม 28 วัน ลดลงในช่วงร้อยละ 12.6 ถึง 24.8

เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ และนรารัชต์พร นวลสวรรค (2555) ได้ศึกษาการนำของเสียประเภทฉลากกระดาษมาใช้ประโยชน์เป็นวัสดุแทนที่ในทรายบางส่วนที่ร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก โดยใช้ผงหินปูนร่วมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็นวัสดุประสานในการทำคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น ตลอดจนศึกษาลักษณะทางกายภาพและสมบัติทางเคมี เช่น การกระจายขนาดคละของมวลรวม ความสามารถในการชะละลาย กำลังรับแรงอัดความหนาแน่น และการดูดซึมน้ำ โดยเปลี่ยนอัตราส่วนผสมในทรายโดยใช้ของเสียประเภทฉลากกระดาษเป็นร้อยละ 0, 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5, 4, 4.5, 5, 7.5, 10 และ 20 โดยน้ำหนักของ

ทราย และแปรผันอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9 และ 1 ในงานวิจัยครั้งนี้ใช้ผงหินปูนแทนที่ปูนซีเมนต์ที่ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ใช้สัดส่วนต่อทรายต่อหินเกล็ดในการผลิตคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น คือ 1 : 1.2 : 1.8 โดยน้ำหนัก ระยะเวลาบ่มที่ 7 วัน และ 28 วัน ผลการศึกษาพบว่าสัดส่วนวัสดุของของเสียประเภทฉลากกระดาษที่ร้อยละ 3.0 โดยน้ำหนักของทราย อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานที่ 0.5 ระยะเวลาบ่มที่ 28 วัน ทำให้คอนกรีตบล็อกประสานการนำของเสียประเภทฉลากกระดาษมาใช้ประโยชน์ในการทำคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นโดยใช้ผงหินปูน-ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานปูพื้นผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นของกระทรวงอุตสาหกรรม

จากผลการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังกล่าว สามารถนำมาใช้เป็นพื้นฐานในการดำเนินงานวิจัยเกี่ยวกับการพัฒนาผลิตภัณฑ์แผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นที่มีส่วนผสมของเศษถนนยางมะตอยเก่าเหลือทิ้งได้

บทที่ 3
วิธีการวิจัย

โครงการ “การใช้ประโยชน์จากเศษถนนยางมะตอยเก่าสำหรับผลิตภัณฑ์แผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นที่ต้านทานแรงดัดสูงเพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม” เป็นการวิจัยเชิงปฏิบัติการทดลองที่ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลและทำการทดสอบ ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร และหน่วยงานอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง โดยมีขั้นตอนการดำเนินงาน ดังนี้

3.1 วัสดุและอุปกรณ์

2.1) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ดังรูปที่ 3.1

รูปที่ 3.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

2.2) เศษถนนยางมะตอยเก่า ขนาดผ่านตะแกรง 3/4 นิ้ว ที่บดอัดจากหินปูนผสมยางมะตอยเกรด AC 60/70 ดังรูปที่ 3.2 และ 3.3

รูปที่ 3.2 เศษถนนยางมะตอยเก่า

รูปที่ 3.3 ขนาดของเศษถนนยางมะตอยเก่า

2.3) ทรายหยาบ
2.4) สารเคมีผสมเพิ่มชนิดสารลดน้ำ ประเภท A
2.5) น้ำประปา
2.6) เครื่องผสมคอนกรีต ดังรูปที่ 3.4

รูปที่ 3.4 เครื่องผสมคอนกรีต

2.7) เครื่องอัดแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นแบบสั่นเขย่า พร้อมแบบหล่อกระเบื้องคอนกรีตปูพื้น ขนาด 30x30x5 เซนติเมตร ดังรูปที่ 3.5

รูปที่ 3.5 เครื่องอัดกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นแบบสั่นเขย่า

2.8) เครื่องย่อยหินพร้อมตะแกรงคัดขนาด ดังรูปที่ 3.6

รูปที่ 3.6 เครื่องย่อยหินพร้อมตะแกรงคัดขนาด

2.9) ตะแกรงคัดขนาด

2.10) เครื่องชั่งน้ำหนัก

2.11) ชุดทดสอบหาค่าความหนาแน่น ความชื้น และการดูดซึมน้ำ

2.12) เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (UTM)

2.13) เครื่องทดสอบสัมประสิทธิ์การนำความร้อน

3.2 การออกแบบส่วนผสม

ออกแบบอัตราส่วนผสมของแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นผสมเศษถนนยางมะตอยเก่าเหลือทิ้ง จำนวน 6 อัตราส่วน ประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เศษถนนยางมะตอยเก่า ทรายหยาบ สารเคมีผสมเพิ่มชนิดสารลดน้ำ ประเภท A และน้ำประปา โดยทำการแทนที่ทรายด้วยเศษถนนยางมะตอยเก่าจนกระทั่งแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นผสมเศษถนนยางมะตอยเก่ามีพื้นผิวที่หยาบ ไม่เรียบ หรือเกิดช่องว่างบริเวณผิวหน้ามาก ซึ่งสามารถสรุปอัตราส่วนได้ ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนผสมของแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นผสมเศษถนนยางมะตอยเก่าเหลือทิ้งโดยน้ำหนัก

อัตราส่วน	ปูนซีเมนต์	ทรายหยาบ	เศษถนนยางมะตอย	สารลดน้ำประเภท A	น้ำประปา
A0	1	5	0	0.02	0.4
A0.5	1	4.5	0.5	0.02	0.4
A1	1	4	1	0.02	0.4
A1.5	1	3.5	1.5	0.02	0.4
A2	1	3	2	0.02	0.4
A2.5	1	2.5	2.5	0.02	0.4

3.3 การขึ้นรูปแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้น

3.3.1 ตวงส่วนผสมของแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นจากเศษถนนยางมะตอยเหลือทิ้ง ตามที่ออกแบบในตารางที่ 3.1

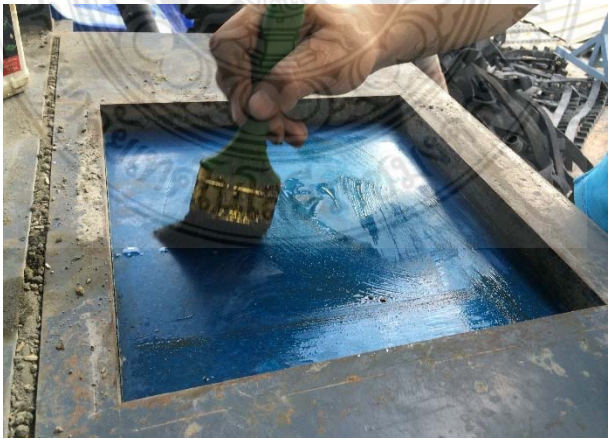
3.3.2 ผสมสารเคมีผสมเพิ่มชนิดสารลดน้ำ ประเภท A เข้ากับน้ำประปา

3.3.3 ผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท1 ทรายหยาบ เศษถนนยางมะตอยเหลือทิ้ง และน้ำประปาที่ผสมสารลดน้ำแล้ว ให้เข้ากันด้วยเครื่องผสมคอนกรีต ดังรูปที่ 3.7 และ 3.8

รูปที่ 3.7 การผสมปูนซีเมนต์ ทราย และเศษถนนยางมะตอยเหลือทิ้งด้วยเครื่องผสมคอนกรีต

รูปที่ 3.8 การเติมน้ำประปาที่ผสมสารเร่งการก่อตัวแล้วลงในเครื่องผสมคอนกรีต

3.3.4 การเตรียมแบบหล่อที่ติดตั้งอยู่กับเครื่องอัดแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นแบบสั่นเขย่า โดยการทาน้ำมันหล่อลื่น ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 แบบหล่อกระเบื้องคอนกรีตปูพื้น

3.3.5 เทส่วนผสมทั้งหมดลงในแบบหล่อ และขึ้นรูปแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นผสมเศษถนนยางมะตอยเก่าด้วยเครื่องอัดแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นแบบสั่นเขย่า ดังรูปที่ 3.10 และ 3.11

รูปที่ 3.10 การเทส่วนผสมลงในแบบหล่อของเครื่องอัดแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นแบบสั่นเขย่า

รูปที่ 3.11 การอัดขึ้นรูปแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นผสมเศษถนนยางมะตอยเก่า
ด้วยเครื่องอัดแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้น

3.3.6 บ่มแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นผสมเศษถนนยางมะตอยเก่าในอากาศ ตามระยะเวลาที่กำหนด ได้แก่ 7, 14, 21 และ 28 วัน ก่อนนำไปทดสอบ

3.4 การทดสอบคุณสมบัติของแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้น

ทดสอบสมบัติทางกายภาพและทางกลของแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นผสมเศษถนนยางมะตอยเก่า ตามมาตรฐาน มอก.378-2531 เรื่องแผ่นชิ้นไม้อัดซีเมนต์: ความหนาแน่นสูง ตลอดจนสมบัติที่เกี่ยวข้องกับการใช้งานอื่นๆ ทั้งนี้ แต่ละการทดสอบจะใช้จำนวนตัวอย่าง 5 ตัวอย่างต่อการทดสอบประกอบด้วย

3.4.1 ลักษณะทั่วไป

3.4.2 ความหนาแน่น ดังรูปที่ 3.12

รูปที่ 3.12 การชั่งน้ำหนักเพื่อหาค่าความหนาแน่นของแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้น

3.4.3 ความต้านทานแรงดัดตามขวาง ดังรูปที่ 3.13 ถึง 3.16

รูปที่ 3.13 การทดสอบความต้านทานแรงดัดตามขวางของแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้น

รูปที่ 3.14 แผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นที่วิบัติจากการทดสอบความต้านทานแรงดัด

รูปที่ 3.15 ลักษณะแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นผสมเศษถนนยางมะตอยเก่าที่วิบัติจากแรงดัด

รูปที่ 3.16 เนื้อแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นผสมเศษถนนยางมะตอยเก่าที่วิบัติจากแรงดัด

3.4.4 การดูดซึมน้ำ ดังรูปที่ 3.17 ถึง 3.19

รูปที่ 3.17 การแช่น้ำของแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นผสมเศษถนนยางมะตอยเก่าเพื่อหาค่าการดูดซึมน้ำ

รูปที่ 3.18 การเช็ดผิวของแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นให้อิ่มตัวผิวแห้งก่อนการชั่งน้ำหนัก

รูปที่ 3.19 การชั่งน้ำหนักของแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นเพื่อหาค่าการดูดซึมน้ำ

3.4.5 สัมประสิทธิ์การนำความร้อน ตามมาตรฐาน ASTM C177 (ASTM, 2013)

3.4.6 การใช้งานจริง

บทที่ 4
ผลการวิจัย

จากการทดสอบคุณสมบัติของแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นผสมเศษถนนยางมะตอยเก่า ตามมาตรฐาน มอก.378-2531 เรื่องกระเบื้องคอนกรีตปูพื้น (สมอ., 2531) และมาตรฐานอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง ซึ่งสามารถสรุปผลการทดสอบได้ ดังต่อไปนี้

4.1 ลักษณะทั่วไป

ผลการทดสอบลักษณะทั่วไปของแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นผสมเศษถนนยางมะตอยเก่า ทั้ง 6 อัตราส่วน โดยการตรวจพินิจความหนา ความเรียบสม่ำเสมอ ไม่แตกร้าว และความฉากของขอบ พบว่าทั้งหมดมีลักษณะทั่วไปผ่านตามที่มาตรฐาน มอก.378-2531 เรื่องกระเบื้องคอนกรีตปูพื้น (สมอ., 2531) กำหนด ดังเห็นได้จากรูปที่ 4.1 ถึง 4.3

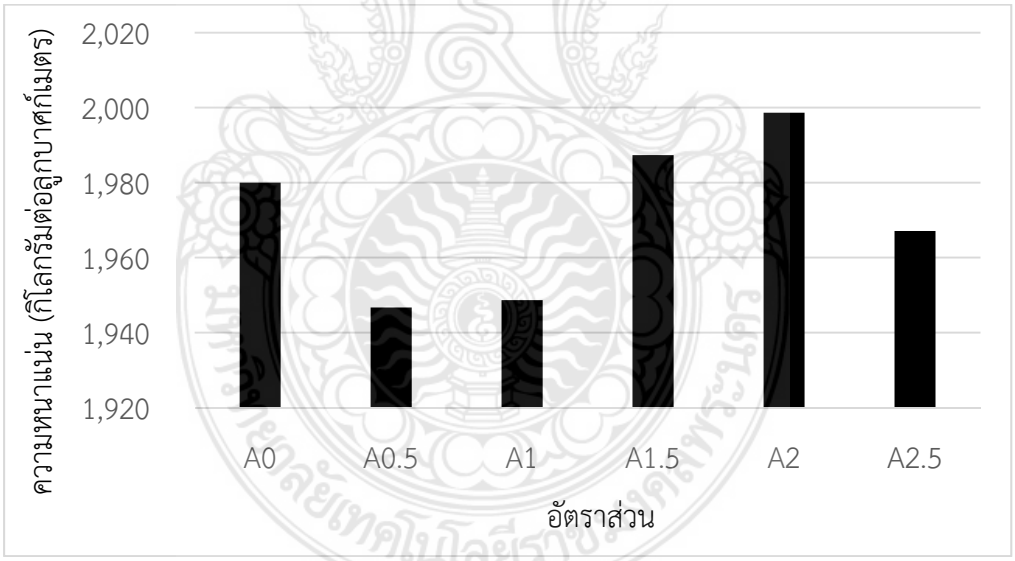
รูปที่ 4.1 ลักษณะของแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นผสมเศษถนนยางมะตอยเก่า

รูปที่ 4.2 สีของแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นผสมเศษถนนยางมะตอยเก่า

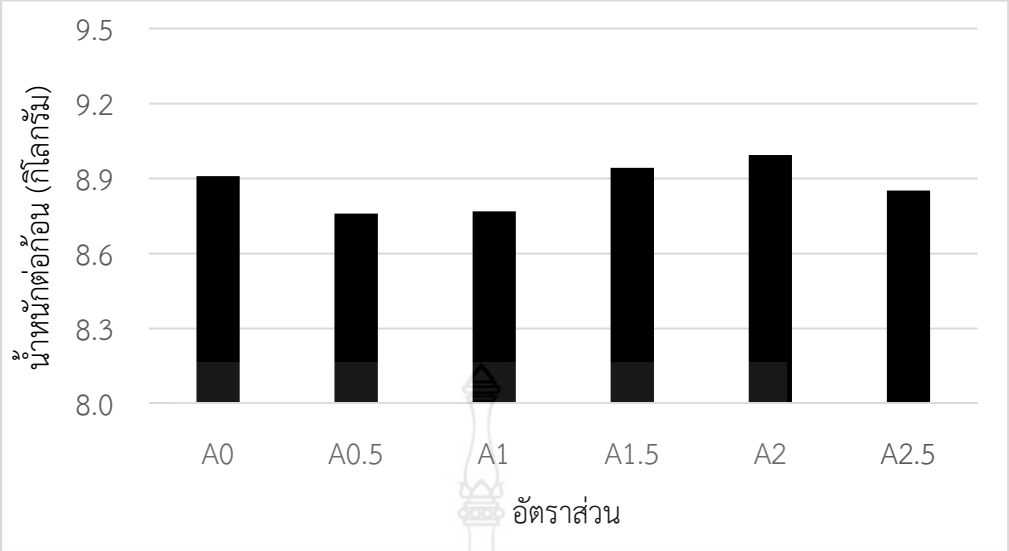
รูปที่ 4.3 การตรวจพินิจลักษณะทั่วไปของแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นผสมเศษถนนยางมะตอยเก่า

4.2 ความหนาแน่น

ค่าความหนาแน่นของแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นผสมเศษถนนยางมะตอยเก่า เป็นค่าแสดงให้เห็นถึงน้ำหนักของแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นโดยความหนาแน่นสูง หมายถึง แผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นมีน้ำหนักมาก และความหนาแน่นต่ำ หมายถึง แผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นมีน้ำหนักน้อย ซึ่งผลการทดสอบสามารถสรุปได้ ดังนี้



รูปที่ 4.4 ความหนาแน่นของแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นผสมเศษถนนยางมะตอยเก่า

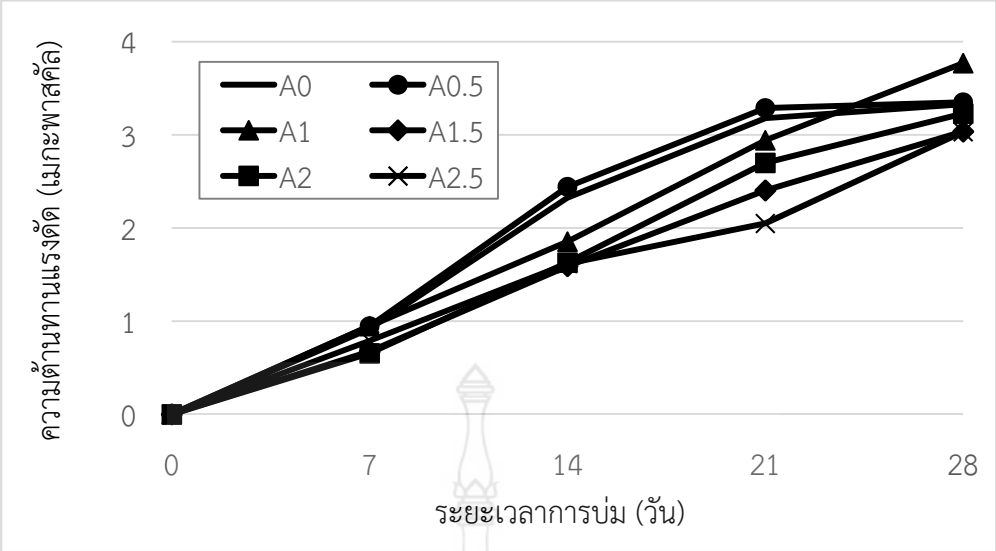


รูปที่ 4.5 น้ำหนักต่อก้อนของแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นผสมเศษถนนยางมะตอยเก่า

จากรูปที่ 4.4 และ 4.5 พบว่า ความหนาแน่นหรือน้ำหนักต่อก้อนของแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นที่ผสมและไม่ผสมเศษถนนยางมะตอยเก่า ทั้ง 6 อัตราส่วน มีค่าใกล้เคียงกันในทุกอัตราส่วน โดยเป็นผลมาจากการแทนที่ทรายซึ่งเป็นมวลรวมหลักด้วยเศษถนนยางมะตอยภายในเนื้อกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นนั้น ทุกอัตราส่วนยังคงมีทรายเป็นส่วนผสมอยู่ ทำให้การเรียงตัวของมวลรวมหรือเนื้อของกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นทุกอัตราส่วนมีความใกล้เคียงกัน ทั้งนี้ ความหนาแน่นของแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นผสมเศษถนนยางมะตอยเก่าทุกอัตราส่วน มีค่าความหนาแน่นอยู่ระหว่าง 1,946.67 ถึง 1,998.67 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งยังคงต่ำกว่าคอนกรีตที่มีค่าความหนาแน่นประมาณ 2,400 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (ปริญญา และชัย, 2551)

4.3 ความต้านทานแรงดัดตามขวาง

การทดสอบความต้านทานแรงดัดตามขวางหรือความต้านทานแรงดัดของแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นผสมเศษถนนยางมะตอยเก่า ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เรื่องกระเบื้องคอนกรีตปูพื้น (มอก.378-2531) (สมอ., 2531) สามารถสรุปผลการทดสอบได้ ดังรูปที่ 4.6

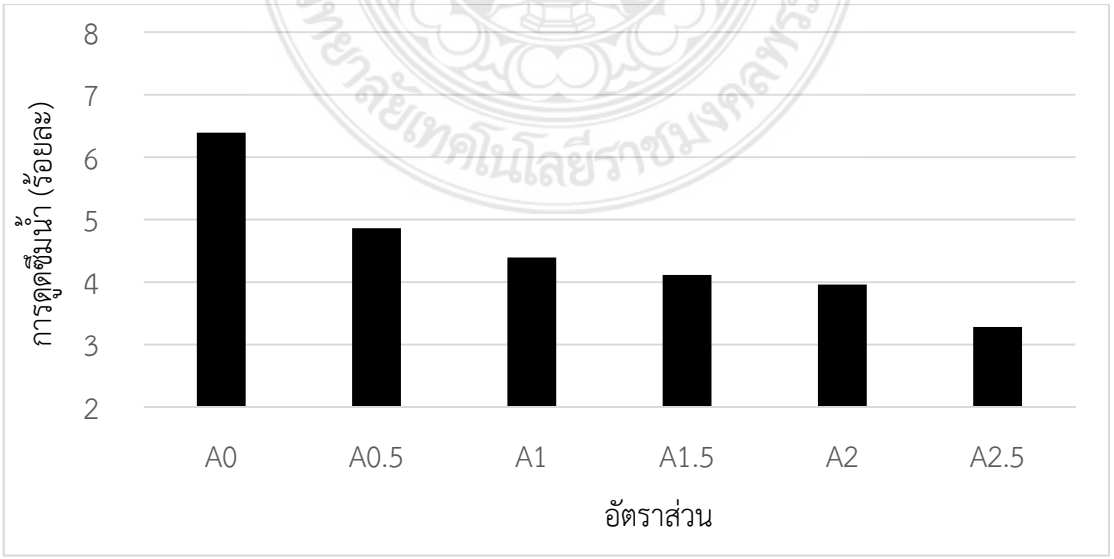


รูปที่ 4.6 ความต้านทานแรงดัดของแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นผสมเศษถนนยางมะตอยเก่า

จากรูปที่ 4.6 พบว่า ผลการทดสอบความต้านทานแรงดัดของแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นทั้งที่ผสมหรือไม่ผสมเศษถนนยางมะตอยเก่า ทั้ง 6 อัตราส่วน มีค่าความต้านทานแรงดัดที่ใกล้เคียงกัน โดยทั้งหมดสามารถผ่านตามที่มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เรื่องกระเบื้องคอนกรีตปูพื้น (มอก.378-2531) (สมอ., 2531) ซึ่งกำหนดให้ค่าความต้านทานแรงดัดตามขวางของกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นแต่ละแผ่นต้องไม่น้อยกว่า 2.5 เมกะพาสคัล และค่าเฉลี่ยต้องไม่น้อยกว่า 3 เมกะพาสคัล แสดงให้เห็นว่า เศษถนนยางมะตอยเก่า สามารถใช้เป็นมวลรวมในผลิตภัณฑ์กระเบื้องคอนกรีตปูพื้นได้ดีใกล้เคียงกับทรายที่เป็นมวลรวมที่นิยมใช้กันทั่วไปในผลิตภัณฑ์นี้

4.4 การดูดซึมน้ำ

ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นทั้งที่ผสมและไม่ผสมเศษถนนยางมะตอยเก่า สามารถสรุปได้ ดังรูปที่ 4.7

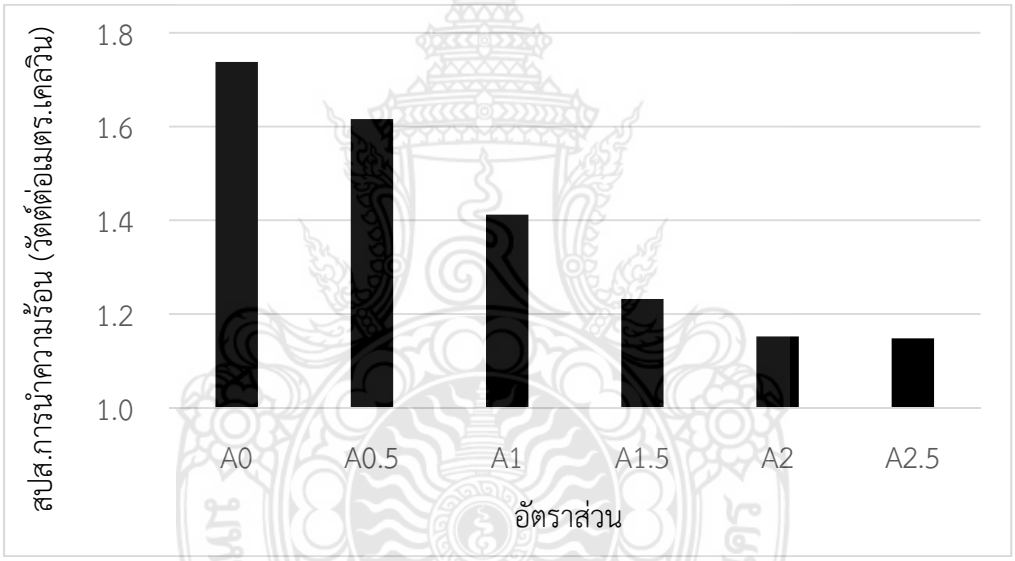


รูปที่ 4.7 การดูดซึมน้ำของแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นผสมเศษถนนยางมะตอยเก่า

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เรื่องกระเบื้องคอนกรีตปูพื้น (มอก.378-2531) กำหนดให้กระเบื้องคอนกรีตปูพื้นแต่ละแผ่น ต้องไม่เกินร้อยละ 10 (สมอ., 2531) โดยผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นทั้งที่ผสมและไม่ผสมเศษถนนยางมะตอยเก่าในรูปที่ 4.7 พบว่า แผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นทั้งหมด สามารถผ่านตามที่มาตรฐานกำหนด โดยกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นผสมเศษถนนยางมะตอยเก่าอัตราส่วน A2.5 เป็นอัตราส่วนที่มีค่าการดูดซึมน้ำต่ำที่สุด รองลงมาคือ อัตราส่วน A2 A1.5 A1 A0.5 และกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นที่ไม่ผสมเศษถนนยางมะตอยเก่าอัตราส่วน A0 เป็นอัตราส่วนที่มีค่าการดูดซึมน้ำสูงที่สุด ตามลำดับ ทั้งนี้ เห็นได้ว่า เศษถนนยางมะตอยเก่า สามารถช่วยลดค่าการดูดซึมน้ำให้กับกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นได้ดี ซึ่งเป็นผลมาจากยางมะตอยเป็นวัสดุที่มีความทึบน้ำ (กรมทางหลวง, 2543; บริษัท ทิปโก้แอสฟัลท์ จำกัด (มหาชน), 2550)

4.5 สัมประสิทธิ์การนำความร้อน

การทดสอบสัมประสิทธิ์การนำความร้อนหรือสภาพการนำความร้อนของแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นทั้งที่ผสมและไม่ผสมเศษถนนยางมะตอยเก่าทั้งหมด สามารถสรุปผลการทดสอบได้ ดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นผสมเศษถนนยางมะตอยเก่า

จากรูปที่ 4.8 พบว่า แผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นที่ผสมเศษถนนยางมะตอยเก่าในปริมาณมากที่สุด หรืออัตราส่วน A2.5 เป็นอัตราส่วนที่มีสัมประสิทธิ์การนำความร้อนหรือสภาพนำความร้อนต่ำที่สุด รองลงมาคือ อัตราส่วน A2 A1.5 A1 A0.5 และแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นที่ไม่ผสมเศษถนนยางมะตอยเก่า หรืออัตราส่วน A0 เป็นอัตราส่วนที่มีสัมประสิทธิ์การนำความร้อนหรือสภาพนำความร้อนสูงที่สุด โดยแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นที่มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำจะเป็นวัสดุที่เป็นฉนวนป้องกันความร้อนดีกว่าแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นที่มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนสูง ซึ่งเป็นผลมาจากความเป็นฉนวนป้องกันความร้อนที่ดีของยางมะตอย (ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของยางมะตอย มีค่าต่ำเพียง 0.75 วัตต์ต่อเมตร.เคลวิน) (Young, 1992)

4.6 การใช้งานจริง

จากคุณสมบัติของแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นผสมเศษถนนยางมะตอยเก่า ทำให้เลือกแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นผสมเศษถนนยางมะตอยเก่าอัตราส่วน A2.5 มาใช้ในการทดสอบการใช้งานจริง โดยทำการปูบริเวณรอบอาคารทดสอบ เพื่อสังเกตความแตกต่างในการใช้งานของแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นที่พัฒนา ดังรูปที่ 4.9 ถึง 4.13 พบว่า แผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นผสมเศษถนนยางมะตอยเก่าอัตราส่วน A2.5 สามารถใช้งานได้เช่นเดียวกับแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นทั่วไปในท้องตลาด

รูปที่ 4.9 การนำแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นผสมเศษถนนยางมะตอยเก่าไปใช้งานจริง

รูปที่ 4.10 บริเวณรอบอาคารที่มีการนำแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นผสมเศษถนนยางมะตอยเก่าไปใช้งานจริง

รูปที่ 4.11 ลักษณะการใช้งานแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นผสมเศษถนนยางมะตอยเก่า

รูปที่ 4.12 ลักษณะของแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นผสมเศษถนนยางมะตอยเก่าที่ปูเป็นพื้นรอบอาคาร

รูปที่ 4.13 การเรียงแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นผสมเศษถนนยางมะตอยเก่าโดยรอบอาคาร

บทที่ 5
สรุปผลและข้อเสนอแนะ

โครงการ “การใช้ประโยชน์จากเศษถนนยางมะตอยเก่าสำหรับผลิตภัณฑ์แผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นที่ต้านทานแรงดัดสูงเพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม” เป็นการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์แผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นชนิดใหม่จากเศษวัสดุเหลือทิ้ง ซึ่งสามารถสรุปเป็นผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะได้ ดังต่อไปนี้

5.1 สรุปผล

จากการพัฒนาต้นแบบผลิตภัณฑ์แผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นที่ใช้เศษถนนยางมะตอยเก่าเป็นมวลรวมแทนที่ทราย สามารถสรุปได้ว่า แผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นผสมเศษถนนยางมะตอยเก่า สามารถขึ้นรูปได้ด้วยวิธีการอัดและสั่นเขย่า โดยใช้เครื่องจักรทั่วไปที่มีราคาไม่สูง ซึ่งอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นผสมเศษถนนยางมะตอยเก่า คือ อัตราส่วน A2.5 (อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อทรายหยาบต่อเศษถนนยางมะตอยต่อสารลดน้ำประเภท A ต่อน้ำประปา เท่ากับ 1: 2.5: 2.5: 0.02: 0.4 โดยน้ำหนัก เนื่องจากเป็นอัตราส่วนแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นผสมเศษถนนยางมะตอยเก่าที่มีสมบัติผ่านตามที่มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เรื่องกระเบื้องคอนกรีตปูพื้น (มอก.378-2531) กำหนด และเป็นอัตราส่วนที่ใช้เศษถนนยางมะตอยเก่าในปริมาณมากที่สุดอีกด้วย ทั้งนี้ อัตราส่วนดังกล่าวมีค่าความหนาแน่น 1,967.11 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่าการดูดซึมน้ำ ร้อยละ 3.28 ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน 1.148 วัตต์ต่อเมตร.เคลวิน และค่าความต้านทานแรงดัดตามขวาง 3.03 เมกะพาสคัล ทั้งนี้ ปริมาณเศษถนนยางมะตอยเก่าที่ผสมลงในแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นแทนที่ทราย จะช่วยลดการดูดซึมน้ำและค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนลง ในขณะที่ความหนาแน่นและความต้านทานแรงดัดมีค่าใกล้เคียงกับแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นที่ไม่ผสมเศษถนนยางมะตอยเก่า นอกจากนี้ แผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นผสมเศษถนนยางมะตอยเก่า ยังสามารถใช้งานได้เช่นเดียวกับแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นทั่วไป

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในการศึกษาต่อไป ควรพัฒนาแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นผสมเศษถนนยางมะตอยเก่าให้มีผิวหน้าที่สวยงามและโดดเด่นมากขึ้น เพื่อให้สามารถแข่งขันและเป็นทางเลือกของผลิตภัณฑ์ปูพื้นสำหรับตกแต่งอาคารได้ดี

เอกสารอ้างอิง

กรมทางหลวง. 2543. **คู่มือการออกแบบโครงสร้างถนนลาดยางโดยวิธี Asphalt Institute Method ฉบับที่8 (1970).**ส่วนออกแบบและแนะนำโครงสร้างชั้นทางสำนักวิเคราะห์วิจัยและพัฒนางานทางกรมทางหลวง. กรุงเทพฯ.

กรมทางหลวงชนบท. 2557. **มทช.215 –2557 มาตรฐานวัสดุมวลรวมผสมเย็นด้วยแอสฟัลต์อิมัลชัน (cold mixed asphalt).**กรมทางหลวงชนบท.กรุงเทพฯ.

บริษัท ทิปโก้แอสฟัลท์ จำกัด (มหาชน). 2550. **ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับยางมะตอยและการนำไปใช้งาน.** บริษัท ทิปโก้แอสฟัลท์ จำกัด (มหาชน). กรุงเทพฯ.

ปริญญา จินดาประเสริฐ และชัย จาตุรพิทักษ์กุล. 2555. **ปูนซีเมนต์ ปอซโซลาน และคอนกรีต.**พิมพ์ครั้งที่ 7.สมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย (ส.ค.ท.). กรุงเทพฯ.

ประชุม คำพุฒ. 2552. โครงการพัฒนาอิฐปูพื้นภายนอกอาคารเพื่อลดอุณหภูมิ.**รายงานฉบับสมบูรณ์ โครงการวิจัยภาครัฐร่วมเอกชนเชิงพาณิชย์ ประจำปี 2552.**เครือข่ายการวิจัยเครือข่าย ภาคกลางตอนบนสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา.กรุงเทพฯ.

ประชุม คำพุฒ และกิตติพงษ์ สุวีโร.2554. การพัฒนาบล็อกปูพื้นเพื่อลดอุณหภูมิผิวพื้นภายนอกอาคาร. **เอกสารประกอบการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 16.**วันที่ 18 – 20 พฤษภาคม 2554.ณ โรงแรมเดอะชายน์ พัทยา. ชลบุรี.

เพ็ชรพรเชาวกิจเจริญ และนรารัชต์พร นวลสวรรค.2555.การนำของเสียประเภทฉลากกระดาษมาใช้ประโยชน์ในการทำคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นโดยใช้ผงหินปูน-ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสาน. **วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ 22(1)**. 99 – 106.

เพ็ชรพรเชาวกิจเจริญศรุต ทิพย์วารีรมณ์ และวศิน ปิ่นประทีป.2552. การนำของเสียประเภทฉลากมาใช้ประโยชน์ในการทำคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นโดยใช้ผงหินปูน-ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสาน. **เอกสารประกอบการประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติครั้งที่ 8.**วันที่ 25 -27 มีนาคม 2552. ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. นครราชสีมา.

ภาคภูมิ มงคลสังข์. 2550. การศึกษาการใช้เถ้าตะกรันลิกไนต์เป็นมวลรวมในการทำบล็อกปูถนน.**เอกสารประกอบการประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปี ครั้งที่ 3.**ณ โรงแรม ลองบีช การ์เด้น โฮเทล แอนด์ สปาพัทยา.ชลบุรี.

ยุวดี หิรัญธวัชชัย ตันชัยสวัสดิ์พลยุกต์ มูลรังษีวิชัย บำรุงนาม และอัญชลี เพียสุระ.2551.บล็อกปูถนนคอนกรีตพรุน.**เอกสารประกอบการประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปี ครั้งที่ 4**.ณ โรงแรม ลายทอง. อุบลราชธานี.

ยุวดี หิรัญพีรพงษ์ ศิวินา และสุรชาติ ราโชติ. 2550.การศึกษาส่วนผสมของคอนกรีตสำหรับผลิตบล็อกปูผิวทางระบายน้ำได้.**เอกสารประกอบการประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปี ครั้งที่ 3**.ณ โรงแรม ลองบีช การ์เด้น โฮเทล แอนด์ สปา พัทยา.ชลบุรี.

สุรพล เกตุแก้ว. 2551. **การปรับปรุงคุณภาพวัสดุพื้นทางเดิมด้วยอิมัลชันสำหรับการรีไซเคิลผิวถนนลาดยางแบบเย็นในที่.**บริษัท ทิปโก้แอสฟัลท์ จำกัด (มหาชน). กรุงเทพฯ.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.).2530. **มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.733-2530 เรื่องสารเคมีผสมเพิ่มสำหรับคอนกรีต**. กระทรวงอุตสาหกรรม.กรุงเทพฯ.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.).2531. **มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.378-2531 เรื่องกระเบื้องคอนกรีตปูพื้น**. กระทรวงอุตสาหกรรม.กรุงเทพฯ.

อรุณเดช บุญสูง.2554. กำลังรับแรงอัดของบล็อกปูพื้นที่ผลิตจากทรายกรองประปาใช้แล้ว.**วิศวสารลาดกระบัง 28(4)**.25 – 30.

American Society for Testing and Materials (ASTM), 2013. **Standard Test Method for Steady-State Heat Flux Measurements and Thermal Transmission Properties by Means of the Guarded-Hot-Plate Apparatus (ASTM C177)**. Philadelphia.

Young, Hugh D., 1992. **Hyper Physics**. University Physics. Addison Wesley.

ภาคผนวก

ก มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.378-2531

ข บทความสำหรับเผยแพร่

ก มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.378-2531

ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม

ฉบับที่ ๕๒๕ (พ.ศ. ๒๕๒๔)

ออกตามความในพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

พ.ศ. ๒๕๑๑

เรื่อง กำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

กระเบื้องคอนกรีตปูพื้น

อาศัยอำนาจตามความในมาตรา ๑๕ แห่งพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ. ๒๕๑๑ รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรมออกประกาศกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องคอนกรีตปูพื้น มาตรฐานเลขที่ มอก. ๓๗๙-๒๕๒๔ ไว้ ดังมีรายการละเอียดต่อท้ายประกาศนี้

ประกาศ ณ วันที่ ๒๙ มิถุนายน ๒๕๒๔

จิรายุ อิศรางกูร ณ อยุธยา

รัฐมนตรีช่วยว่าการฯ ปฏิบัติราชการแทน

รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรม

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

กระเบื้องคอนกรีตปูพื้น

1. ขอบข่าย

1.1 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้กำหนด ชั้นคุณภาพ ขนาดและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน ส่วนประกอบและการทำ คุณลักษณะที่ต้องการ การทำเครื่องหมาย การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน และการทดสอบสำหรับกระเบื้องคอนกรีตปูพื้น ซึ่งทำจากส่วนผสมของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ น้ำและมวลผสมที่เหมาะสมชนิดต่าง ๆ โดยอาจมีผงสีเจือปนอยู่ด้วย ทั้งนี้ไม่รวมถึงกระเบื้องคอนกรีตเสริมเหล็ก

2. บทนิยาม

ความหมายของคำที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ มีดังต่อไปนี้

2.1 กระเบื้องคอนกรีตปูพื้น หมายถึง กระเบื้องปูพื้นทำด้วยคอนกรีตเป็นสีคอนกรีตธรรมชาติหรืออาจมีผงสีเจือปนอยู่ทั้งหมดหรือเฉพาะชั้นผิวหน้าด้วยก็ได้ ซึ่งต่อไปในมาตรฐานนี้จะเรียกว่า "กระเบื้องคอนกรีต"

2.2 ชั้นผิวหน้า หมายถึง ผิวของกระเบื้องคอนกรีตส่วนที่รับน้ำหนักบรรทุกจรและการเสียดสี อาจทำขึ้นจากส่วนผสมของสี ปูนซีเมนต์ ทราย กรวด หิน หินเกล็ด หรือวัสดุอื่นที่เหมาะสมก็ได้

3. ชั้นคุณภาพ

กระเบื้องคอนกรีตแบ่งเป็น 2 ชั้นคุณภาพ ตามลักษณะการใช้งาน คือ

3.1 ชั้นคุณภาพ 1 เป็นกระเบื้องคอนกรีตที่ทนทานพิเศษสำหรับใช้งานที่มีการจราจรค่อนข้างหนัก เช่น บาทวิถี ทางเดินในหอประชุม ชานชลารถไฟและรถยนต์ และในคลังสินค้า

3.2 ชั้นคุณภาพ 2 เป็นกระเบื้องคอนกรีตธรรมดาสำหรับใช้งานทั่วไปที่มีการจราจรค่อนข้างเบา เช่น พื้นอาคาร สำนักงาน โรงงาน โรงพยาบาล และที่พักอาศัย ฯลฯ

4. ขนาดและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน

4.1 กระเบื้องคอนกรีตโดยทั่วไปต้องเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมจัตุรัส แต่กระเบื้องคอนกรีตขนาดครึ่งแผ่นจะเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมผืนผ้าก็ได้ มิติต่าง ๆ ต้องเป็นไปตามที่กำหนดไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ขนาดและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของกระเบื้องคอนกรีต (ข้อ 4.1)

หน่วยเป็นมิลลิเมตร

ขนาดระบุ กว้าง x ยาว	ขนาดจริง กว้าง x ยาว	เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของขนาดจริง	ความหนา	ขนาดของรอยต่อ
100 x 100	98.5 x 98.5	± 0.5	15^{+3}_{0}	1.5
150 x 150	148.5 x 148.5			
150 x 300	140 x 290	$^{+2}_{-1}$	40^{+5}_{0}	10
300 x 300	290 x 290			
*100 x 200	98.5 x 198.5	± 0.5	20^{+3}_{0}	1.5
*200 x 200	198.5 x 198.5			
*200 x 400	190 x 390	± 2	40^{+5}_{0}	10
*400 x 400	390 x 390			
*500 x 500	490 x 490		50^{+5}_{0}	10

หมายเหตุ 1. * หมายถึง เป็นขนาดที่ไม่แนะนำให้ใช้ และจะพิจารณายกเลิกเมื่อมีการแก้ไขปรับปรุงมาตรฐานใหม่

2. ให้ยอมรับกระเบื้องที่มีขนาดจริงเท่ากับขนาดระบุได้ แต่จะพิจารณายกเลิกหมายเหตุนี้เมื่อมีการแก้ไขปรับปรุงมาตรฐานใหม่

3. ความหนาของกระเบื้องคอนกรีต ไม่รวมความหนาของชั้นผิวหน้าที่เป็นลอนสำหรับกระเบื้องคอนกรีตที่ชั้นผิวหน้าเป็นลวดลาย ให้วัดความหนาของกระเบื้องคอนกรีตส่วนที่บางที่สุด

5. ส่วนประกอบและการทำ

5.1 ส่วนประกอบ

5.1.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ให้เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เล่ม 1 ข้อกำหนดเกณฑ์คุณภาพ มาตรฐานเลขที่ มอก.15 เล่ม 1

5.1.2 ปูนซีเมนต์ขาว ให้เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ขาว มาตรฐานเลขที่ มอก.133

5.1.3 มวลผสม ให้เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมมวลผสมคอนกรีต ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม (ในกรณีที่ยังมิได้มีการประกาศกำหนดมาตรฐานดังกล่าว ให้เป็นไปตาม IS : 383)มวลผสมนี้ต้องแข็งแกร่งและทนทาน ปราศจากสารเจือปนที่จะทำให้ความทนทานต่อการสึกกร่อนของชั้นผิวหน้าต้องเสียไป และต้องมีรูปร่างและส่วนคละที่เหมาะสม

5.1.4 ผงสี สีที่ใช้ทำกระเบื้องคอนกรีตต้องเป็นสีที่ถาวร เป็นสารที่เหมาะสมสำหรับใช้กับคอนกรีต และต้องเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมผงสี ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม (ในกรณีที่ยังมิได้มีการประกาศกำหนดมาตรฐานดังกล่าว ให้เป็นไปตาม BS 1014)

5.2 การทำ

ให้ใช้กรรมวิธีอัดคอนกรีตให้เป็นแผ่นด้วยเครื่อง อัตราส่วนของน้ำหนักระหว่างน้ำกับปูนซีเมนต์ไม่เกิน 0.60 สำหรับคอนกรีตที่ไม่ได้ใช้สารผสมเพิ่มฟองอากาศ และไม่เกิน 0.55 สำหรับคอนกรีตที่ใช้สารผสมเพิ่มฟองอากาศ ถ้าชั้นผิวหน้าทำเป็นสี น้ำหนักของสีที่นำมาผสมต้องไม่เกินร้อยละ 10 ของน้ำหนักปูนซีเมนต์ที่ใช้ในส่วน

ผสมของชั้นผิวหน้านั้น เมื่อนำกระเบื้องคอนกรีตออกจากแม่พิมพ์แล้ว ให้นำไปบ่มด้วยกรรมวิธีที่เหมาะสม และจะต้องเก็บไว้ไม่น้อยกว่า 21 วัน ก่อนการขนส่งนับจากวันที่ทำ

6. คุณลักษณะที่ต้องการ

6.1 ชั้นผิวหน้า

6.1.1 ความหนาของชั้นผิวหน้า ต้องเป็นไปตามเกณฑ์กำหนดในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ความหนาต่ำสุดของชั้นผิวหน้า

(ข้อ 6.1.1)

หน่วยเป็นมิลลิเมตร

ชั้นคุณภาพ	ความหนาต่ำสุดของชั้นผิวหน้า
1	6
2	ไม่กำหนด

6.1.2 สีและลักษณะปรากฏ

6.1.2.1 สีและเนื้อของชั้นผิวหน้า ของกระเบื้องคอนกรีตแต่ละแผ่น ต้องสม่ำเสมอกันตลอดความหนาของชั้น

6.1.2.2 สีของกระเบื้องคอนกรีต ที่ทำในแต่ละรุ่นของการผสมต้องสม่ำเสมอเหมือนกัน และเป็นไปตามข้อตกลงระหว่างผู้ซื้อกับผู้ทำ

6.1.2.3 ผู้ซื้อควรระบุขนาด และส่วนผสมของหินเกล็ดตามที่ต้องการ ขนาดของหินเกล็ดที่กำหนดมีขนาดเม็ดเรียงจากเล็กที่สุดจนถึง 6 มิลลิเมตร เล็กที่สุดจนถึง 12 มิลลิเมตร และเล็กที่สุดจนถึง 20 มิลลิเมตร

6.2 คุณสมบัติทั่วไป

กระเบื้องคอนกรีตที่ผิวหน้าเรียบความหนาต้องเท่ากันตลอด สำหรับกระเบื้องที่ผิวหน้าเป็นลอน หน้าตัดของลอนต้องเท่ากันทุกลอน ผิวหน้าต้องไม่มีรอยร้าวที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า มุมทุกมุมต้องได้ฉาก ขอบต้องเรียบ คม และตรง

6.3 ความต้านแรงตามขวาง (transverse strength)

6.3.1 ต้องไม่น้อยกว่า 3 เมกาปาสกาล (30.6 กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร) เมื่อทดสอบในสภาพแห้ง

6.3.2 ต้องไม่น้อยกว่า 2 เมกาปาสกาล (20.4กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร) เมื่อทดสอบในสภาพเปียก

การทดสอบให้เป็นไปตามข้อ 9.1

6.4 การดูดซึมน้ำ

การดูดซึมน้ำเฉลี่ยต้องไม่เกินร้อยละ 10 ของน้ำหนัก

การทดสอบให้เป็นไปตามข้อ 9.2

7. การทำเครื่องหมาย

7.1 ที่กระเบื้องคอนกรีตทุกแผ่นอย่างน้อยต้องมี เลข อักษร หรือเครื่องหมายแสดงข้อความต่อไปนี้ให้เห็นได้ง่ายชัดเจน

(1) ชื่อผู้ทำหรือโรงงานที่ทำ หรือเครื่องหมายการค้า

(2) ชั้นคุณภาพ

(3) วัน เดือน ปี ที่ทำ

ในกรณีที่ใช้ภาษาต่างประเทศ ต้องมีความหมายตรงกับภาษาไทยที่กำหนดไว้

7.2 ผู้ทำผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่เป็นไปตามมาตรฐานนี้ จะแสดงเครื่องหมายมาตรฐานกับผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนั้นได้ ต่อเมื่อได้รับใบอนุญาตจากคณะกรรมการมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแล้ว

8. การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน

8.1 รุ่น หมายถึง กระเบื้องคอนกรีต ชั้นคุณภาพและขนาดเดียวกัน ทำขึ้นในคราวเดียวกัน

8.2 หากมิได้ตกลงกันเป็นอย่างอื่น การชักตัวอย่างให้เป็นไปตามกำหนดดังต่อไปนี้

ให้ชักตัวอย่างโดยวิธีสุ่มจำนวน 24 แผ่น จากกระเบื้องคอนกรีตทุก 2 000 แผ่น หรือเศษของ 2 000 แผ่น ที่เกิน 100 แผ่น เพื่อทำการทดสอบดังนี้

หมายเหตุ เพื่อความสะดวกในทางปฏิบัติในกรณีที่อาจมีการทดสอบซ้ำ ให้ชักตัวอย่างมาเป็นจำนวนสองเท่า ถ้ามีตัวอย่างเหลือและไม่ได้ใช้ทดสอบให้คืนเจ้าของไป

8.2.1 เพื่อตรวจสอบขนาด ชั้นผิวหน้า สีและลักษณะปรากฏ และคุณสมบัติทั่วไป ใช้จำนวน 24 แผ่น

8.2.2 เพื่อทดสอบการดูดซึมน้ำ ใช้จำนวน 6 แผ่นที่ผ่านการทดสอบจากข้อ 8.2.1 แล้ว โดยจะต้องไม่ทดสอบการดูดซึมน้ำก่อนอายุครบ 28 วัน นับจากวันที่ทำ

8.2.3 เพื่อทดสอบความต้านแรงตามขวาง

8.2.3.1 ในสภาพแห้ง 6 แผ่น

8.2.3.2 ในสภาพเปียก 6 แผ่น

8.2.4 เกณฑ์ตัดสิน

ถ้าผลการทดสอบตัวอย่างตามข้อ 8.2.1 ข้อ 8.2.2 และข้อ 8.2.3 เป็นไปตามเกณฑ์กำหนดทุกตัวอย่าง ให้ถือว่าผลิตภัณฑ์ทั้งรุ่นเป็นไปตามมาตรฐานนี้

8.3 การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสินเพื่อการทดสอบซ้ำ

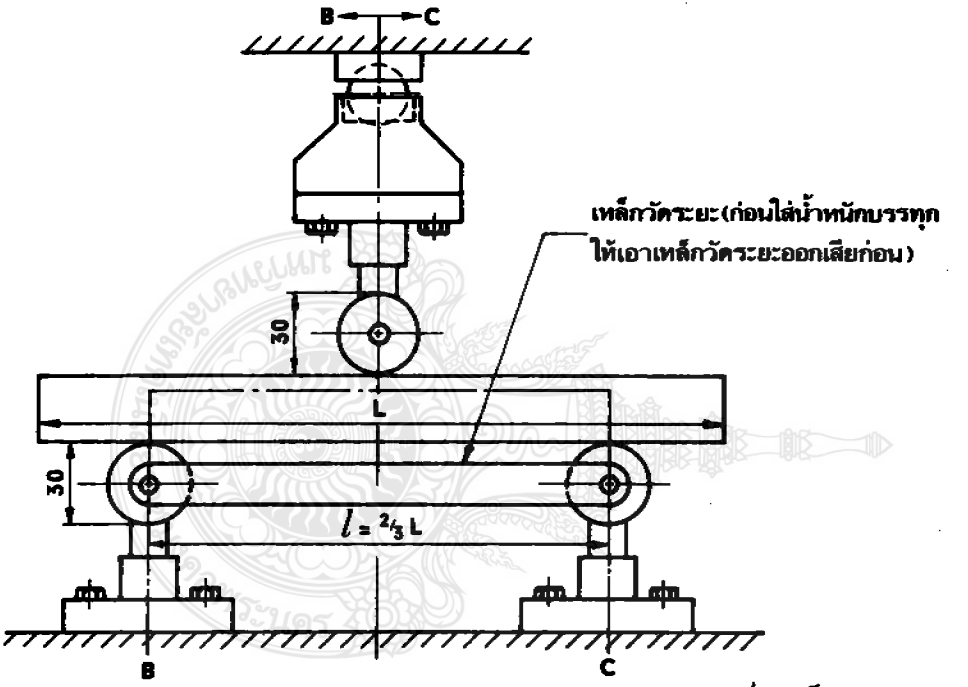
8.3.1 สำหรับแต่ละรายการที่ไม่ผ่านการทดสอบในครั้งแรกให้เลือกตัวอย่างชุดใหม่เป็นสองเท่าของจำนวนตัวอย่างจากรุ่นเดียวกัน

8.3.2 ถ้าผลการทดสอบตัวอย่างชุดใหม่นี้เป็นไปตามเกณฑ์กำหนดทุกตัวอย่าง ให้ถือว่าผลิตภัณฑ์ทั้งรุ่นเป็นไปตามมาตรฐานนี้

9. การทดสอบ

9.1 การทดสอบความต้านแรงตามขวาง

9.1.1 ความต้านแรงตามขวางในสภาพแห้ง ให้ใช้กระเบื้องคอนกรีตเต็มแผ่นในสภาพแห้งในอากาศ เป็นกระเบื้องคอนกรีตตัวอย่าง เพื่อการทดสอบ นำแผ่นกระเบื้องคอนกรีตตัวอย่างวางทางด้านแบนลงบนที่รองรับทั้งสองข้าง ให้ผิวหน้าอยู่ด้านบน ขอบกระเบื้องด้านกว้างขนานกับที่รองรับ สำหรับกระเบื้องคอนกรีตตัวอย่างที่ผิวหน้าเป็นลอน ให้วางลอนขนานกับที่รองรับ ให้น้ำหนักบรรทุก กดลงบนแท่งกดซึ่งขนานกับที่รองรับที่กึ่งกลางของความยาวของช่วงที่รองรับ ความยาวของที่รองรับและแท่งกด จะต้องยาวกว่าความกว้างของแผ่นกระเบื้องคอนกรีตตัวอย่าง ผิวสัมผัสของปลายแท่งกดและที่รองรับต้องเป็นส่วนโค้งของวงกลม มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 30 มิลลิเมตร ความยาวของช่วงที่รองรับเท่ากับ 2 ใน 3 ของด้านยาวของกระเบื้องคอนกรีตตัวอย่าง แท่งกดและที่รองรับข้างใดข้างหนึ่ง จะต้องเป็นชนิดปรับตำแหน่งตัวเองได้ (ดูรูปที่ 1) เริ่มให้น้ำหนักบรรทุกจากศูนย์แล้วค่อย ๆ เพิ่มขึ้นในอัตราเท่ากันและสม่ำเสมอไม่เกิน 1 960 นิวตัน (200 กิโลกรัมแรง) ต่อความกว้าง 1 เมตร (วัดตามความยาวของที่รองรับ)ต่อนาที จนกระทั่งแผ่นกระเบื้องคอนกรีตตัวอย่างแตกหัก บันทึกค่าน้ำหนักบรรทุกที่ทำให้เกิดการแตกหักแล้วคำนวณหาค่าความต้านแรงตามขวางตามสูตรดังนี้



หน่วย เป็นมิลลิเมตร

รูปที่ 1 แสดงวิธีใส่น้ำหนักบรรทุกในการทดสอบความต้านแรงตามขวาง

(ข้อ 9.1.1)

$$f = \frac{3P1}{2bt^2} \times 10^{-6}$$

เมื่อ f คือ ความต้านแรงตามขวาง เป็นเมกาปาสกาล

P คือ น้ำหนักบรรทุก เป็นนิวตัน

1 คือ ความยาวของช่วงที่รองรับ = $\frac{2}{3}$ L เป็นเมตร

L คือ ความยาวของกระเบื้องคอนกรีตตัวอย่าง เป็นเมตร

b คือ ความกว้างของกระเบื้องคอนกรีตตัวอย่าง เป็นเมตร

t คือ ความหนาของกระเบื้องคอนกรีตตัวอย่าง เป็นเมตร

เครื่องกดจะต้องมีความเที่ยงตรงภายในอัตราร้อยละ 2 ของน้ำหนักบรรทุกที่ใช้

9.1.2 ความต้านแรงตามขวางในสภาพเปียก นำกระเบื้องคอนกรีตตัวอย่างเต็มแผ่นแช่ในน้ำที่อุณหภูมิ 23 ± 6 องศาเซลเซียส ความลึกของน้ำเหนือผิวกระเบื้องคอนกรีตตัวอย่าง ต้องไม่น้อยกว่า 25 มิลลิเมตร และไม่เกิน 50 มิลลิเมตร เมื่อครบ 24 ± $\frac{1}{2}$ ชั่วโมง แล้ว นำกระเบื้องคอนกรีตตัวอย่างขึ้นจากน้ำ ใช้ผ้าซึมเช็ดให้ผิวภายนอกแห้งโดยที่ภายในอิ่มน้ำ แล้วทดสอบเช่นเดียวกับข้อ 9.1.1

9.2 การทดสอบการดูดซึมน้ำ

9.2.1 นำกระเบื้องคอนกรีตตัวอย่างไปแช่ในน้ำที่อุณหภูมิ 23 ± 2 องศาเซลเซียส วิธีการแช่น้ำต้องให้พื้นผิวส่วนใหญ่ขนานกับผิวน้ำ ผิวบนของกระเบื้องคอนกรีตตัวอย่างอยู่ใต้ผิวน้ำระหว่าง 25 ถึง 50 มิลลิเมตร เมื่อครบ 24 ± $\frac{1}{2}$ ชั่วโมง

แล้ว นำกระเบื้องคอนกรีตตัวอย่างขึ้นจากน้ำใช้ผ้าซับเช็ดให้ผิวภายนอกแห้งโดยที่ภายในอิ่มน้ำ แล้วนำไปชั่ง บันทึกน้ำหนักเป็น W_2 จากนั้นนำกระเบื้องคอนกรีตตัวอย่างเข้าเตาอบเพื่อหาน้ำหนักแห้ง W_1 ดังนี้

วางกระเบื้องคอนกรีตตัวอย่างในเตาอบ โดยที่กระเบื้องคอนกรีตตัวอย่างจะต้องห่างจากผิวที่ให้ความร้อน หรือกระเบื้องคอนกรีตตัวอย่างแผ่นอื่นอย่างน้อย 25 มิลลิเมตร อบให้แห้งที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลาไม่น้อยกว่า 24 ชั่วโมง จนได้น้ำหนักคงที่ ทั้งนี้ถือว่าน้ำหนักกระเบื้องคอนกรีตตัวอย่างคงที่ต่อเมื่อการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักกระเบื้องคอนกรีตตัวอย่างต่อแผ่นไม่เกิน 0.003 นิวตัน (0.33 กรัม) ต่อช่วงเวลา 4 ชั่วโมง

ปล่อยให้กระเบื้องคอนกรีตตัวอย่าง ที่อบจนน้ำหนักคงที่แล้วเย็นลงในอากาศที่อุณหภูมิ 27 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หรือปล่อยให้เย็นในห้องที่ไม่มีลมและการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างรวดเร็ว แล้วชั่งน้ำหนักกระเบื้องคอนกรีตตัวอย่างแห้งเป็น W_1

9.2.2 คำนวณค่าการดูดซึมน้ำเป็นร้อยละโดยมีค่าละเอียดถึง 0.1 จากสูตรดังนี้

$$\text{การดูดซึมน้ำ ร้อยละ} = \frac{W_2 - W_1}{W_1} \times 100$$

เมื่อ W_2 คือ น้ำหนักกระเบื้องคอนกรีตตัวอย่าง เมื่ออิ่มน้ำ เป็นนิวตัน

W_1 คือ น้ำหนักกระเบื้องคอนกรีตตัวอย่างหลังจากอบแห้ง เป็นนิวตัน

9.3 การรายงานผล จะต้องรายงานสิ่งต่อไปนี้

9.3.1 เครื่องหมายหรือหมายเลขกระเบื้องคอนกรีตตัวอย่าง

9.3.2 วัน เดือน ปี ที่ทดสอบ

9.3.3 อายุของกระเบื้องคอนกรีตตัวอย่างถึงวันที่ทดสอบ

9.3.4 ชั้นคุณภาพ

9.3.5 ขนาด

9.3.6 ชั้นผิวหน้า

9.3.7 สีและลักษณะปรากฏ

9.3.8 คุณสมบัติทั่วไป

9.3.9 การดูดซึมน้ำของกระเบื้องคอนกรีตตัวอย่างแต่ละแผ่น

9.3.10 ความต้านแรงตามขวางในสภาพเปียกของกระเบื้องคอนกรีตตัวอย่างแต่ละแผ่น

9.3.11 ความต้านแรงตามขวางในสภาพแห้ง ของกระเบื้องคอนกรีตตัวอย่างแต่ละแผ่น

9.4 การทดสอบซ้ำ

ในกรณีที่ทดสอบตัวอย่างที่เลือกชักมาตามข้อ 8.2 แล้ว ปรากฏว่ามีรายการใดไม่เป็นไปตามเกณฑ์กำหนด ให้ทำการทดสอบซ้ำโดยที่การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสินเป็นไปตามข้อ 8.3

ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม

ฉบับที่ ๑๔๕๒ (พ.ศ. ๒๕๓๑)

ออกตามความในพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

พ.ศ. ๒๕๑๑

เรื่อง ยกเลิกและกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระเบื้องคอนกรีตปูพื้น

โดยที่เป็นการสมควรปรับปรุงมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระเบื้องคอนกรีตปูพื้น มาตรฐานเลขที่ มอก. ๓๗๘–๒๕๒๔

อาศัยอำนาจตามความในมาตรา ๑๕ แห่งพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ. ๒๕๑๑ รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรม ออกประกาศยกเลิกประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ ๖๒๕ (พ.ศ. ๒๕๒๔) ออกตามความในพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ. ๒๕๑๑ เรื่อง กำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระเบื้องคอนกรีตปูพื้น ลงวันที่ ๒๘ มิถุนายน พ.ศ. ๒๕๒๔ และออกประกาศกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระเบื้องคอนกรีตปูพื้น มาตรฐานเลขที่ มอก. ๓๗๘–๒๕๓๑ ขึ้นใหม่ ดังมีรายการละเอียดต่อท้ายประกาศนี้

ทั้งนี้ ให้มีผลเมื่อพ้นกำหนด ๖๐ วัน นับแต่วันที่ประกาศในราชกิจจานุเบกษา เป็นต้นไป

ประกาศ ณ วันที่ ๑๒ ธันวาคม ๒๕๓๑

บรรหาร ศิลปอาชา

รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรม

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
กระเบื้องคอนกรีตปูพื้น

1. ขอบข่าย

1.1 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้กำหนด ขนาดและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน ส่วนประกอบและการทำ คุณลักษณะที่ต้องการ เครื่องหมายและฉลาก การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน และการทดสอบกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นสำหรับปูพื้นในลักษณะทางเท้า

1.2 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ไม่ครอบคลุมถึงกระเบื้องคอนกรีตเสริมเหล็กปูพื้น

2. บทนิยาม

ความหมายของคำที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ มีดังต่อไปนี้

2.1 กระเบื้องคอนกรีตปูพื้น ซึ่งต่อไปในมาตรฐานนี้จะเรียกว่า "กระเบื้อง" หมายถึง กระเบื้องที่ทำด้วยคอนกรีตอัดเป็นแผ่น มีสีตามธรรมชาติ หรืออาจมีผงสีเจือปนอยู่ทั้งแผ่นหรือเฉพาะที่ชั้นผิวหน้าก็ได้

2.2 ชั้นผิวหน้า หมายถึง ชั้นผิวของกระเบื้องส่วนที่รับการเสียดสี

2.3 ความได้ฉาก (squareness) หมายถึง ความได้ฉากของด้านกว้างกับด้านยาวของกระเบื้อง และความได้ฉากของด้านกว้างและด้านยาวกับพื้นผิวหน้าหรือพื้นผิวล่าง

3. ขนาดและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน

3.1 มิติและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของกระเบื้องให้เป็นไปตามตารางที่ 1

การทดสอบให้ปฏิบัติตามข้อ 8.1

ตารางที่ 1 มิติและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของกระเบื้อง

(ข้อ 3.1)

หน่วยเป็นมิลลิเมตร

มิติ	เกณฑ์ที่กำหนด	เกณฑ์ความคลาดเคลื่อน
ความกว้างและความยาว	เป็นไปตามที่ผู้ทำกำหนด (ขนาดที่แนะนำแสดงไว้ในภาคผนวก ก.)	+ 3 0
ความหนา	$\frac{1}{10}$ x ความยาวของกระเบื้อง แต่ต้องไม่ต่ำกว่า 20	

4. ส่วนประกอบและการทำ

4.1 ส่วนประกอบ

4.1.1 ปูนซีเมนต์

ให้ใช้ปูนซีเมนต์อย่างใดอย่างหนึ่งดังต่อไปนี้

4.1.1.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ที่เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เล่ม 1 ข้อกำหนดเกณฑ์คุณภาพ มาตรฐานเลขที่ มอก.15 เล่ม 1

4.1.1.2 ปูนซีเมนต์ผสม ที่เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ปูนซีเมนต์ผสม มาตรฐานเลขที่ มอก.80

4.1.2 มวลผสม

ให้เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มวลผสมคอนกรีต มาตรฐานเลขที่ มอก.566

4.1.3 ผงสี (ถ้ามี)

ให้เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ผงสี (ในกรณีที่ยังไม่มีการประกาศกำหนดมาตรฐานดังกล่าว ให้เป็นไปตาม BS 1014)

4.1.4 สีซีเมนต์ (ถ้ามี)

ให้เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม สีซีเมนต์ มาตรฐานเลขที่ มอก.469

4.1.5 น้ำ

น้ำที่ใช้ต้องเป็นน้ำสะอาด

4.1.6 ส่วนผสมอื่น ๆ (ถ้ามี)

ต้องไม่มีผลเสียหายต่อการใช้งานของกระเบื้อง

4.2 การทำ

ใช้เครื่องอัดและ/หรือเขย่าส่วนประกอบต่าง ๆ ตามข้อ 4.1 ให้เป็นแผ่น อัตราส่วนของน้ำหนักระหว่างน้ำกับปูนซีเมนต์ไม่เกิน 0.55 ถ้าชั้นผิวหน้าทำเป็นสี น้ำหนักของผงสีที่ผสมต้องไม่เกินร้อยละ 10 ของน้ำหนักปูนซีเมนต์ที่ใช้ในส่วนผสมของชั้นผิวหน้านั้น เมื่อนำกระเบื้องออกจากแม่พิมพ์แล้ว ให้นำไปบ่มด้วยกรรมวิธีที่เหมาะสม

5. คุณลักษณะที่ต้องการ

5.1 ลักษณะทั่วไป

5.1.1 กระเบื้องที่ผิวหน้าเรียบความหนาต้องเท่ากันโดยตลอด และ

กระเบื้องที่ผิวหน้าเป็นลอน ความหนาของลอนแต่ละลอนต้องเท่ากันโดยตลอด

5.1.2 กระเบื้องต้องไม่ร้าว มีความโค้งฉาก ขอบเรียบคมและตรง (ยกเว้นการลบมุม)

5.1.3 สีของชั้นผิวหน้าต้องสม่ำเสมอ และไม่ละลายน้ำ

การทดสอบให้ทำโดยการตรวจพินิจ

5.2 ความต้านแรงดัดตามขวาง

ความต้านแรงดัดตามขวางของกระเบื้องแต่ละแผ่นต้องไม่น้อยกว่า 2.5 เมกะพาสคัล และค่าเฉลี่ยต้องไม่น้อยกว่า 3 เมกะพาสคัล

การทดสอบให้ปฏิบัติตามข้อ 8.2

5.3 การดูดซึมน้ำ

การดูดซึมน้ำของกระเบื้องแต่ละแผ่นต้องไม่เกินร้อยละ 10

การทดสอบให้ปฏิบัติตามข้อ 8.3

6. เครื่องหมายและฉลาก

6.1 ที่กระเบื้องทุกแผ่น อย่างน้อยต้องมีเลข อักษร หรือเครื่องหมายแจ้งรายละเอียดต่อไปนี้ให้เห็นได้ง่าย ชัดเจน

(1) ชื่อผู้ทำหรือโรงงานที่ทำ หรือเครื่องหมายการค้าที่จดทะเบียน

ในกรณีที่ใช้ภาษาต่างประเทศ ต้องมีความหมายตรงกับภาษาไทยที่กำหนดไว้ข้างต้น

6.2 ผู้ทำผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่เป็นไปตามมาตรฐานนี้ จะแสดงเครื่องหมายมาตรฐานกับผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนั้นได้ ต่อเมื่อได้รับใบอนุญาตจากคณะกรรมการมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแล้ว

7. การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน

7.1 รุ่น ในที่นี้ หมายถึง กระเบื้องที่มีขนาดและสีเดียวกัน ทำขึ้นโดยกรรมวิธีเดียวกัน ที่ทำหรือส่งมอบหรือซื้อขายในระยะเวลาเดียวกัน

7.2 การชักตัวอย่างและการยอมรับ ให้เป็นไปตามแผนการชักตัวอย่างที่กำหนดต่อไปนี้ หรืออาจใช้แผนการชักตัวอย่างอื่นที่เทียบเท่ากันทางวิชาการกับแผนที่กำหนดไว้

7.2.1 การชักตัวอย่างและการยอมรับ สำหรับการทดสอบลักษณะทั่วไป

7.2.1.1 ให้ชักตัวอย่างโดยวิธีสุ่มจากรุ่นเดียวกัน ตามจำนวนที่กำหนดในตารางที่ 2

7.2.1.2 จำนวนตัวอย่างที่ไม่เป็นไปตามข้อ 5.1 ต้องไม่เกิน

เลขจำนวนที่ยอมรับที่กำหนดในตารางที่ 2 จึงจะถือว่ากระเบื้องรุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

ตารางที่ 2 แผนการชักตัวอย่างสำหรับการทดสอบลักษณะทั่วไป

(ข้อ 7.2.1)

ขนาดรุ่น แผ่น	ขนาดตัวอย่าง แผ่น	เลขจำนวนที่ยอมรับ
ไม่เกิน 3 200	13	1
3 201 ถึง 10 000	20	2
10 001 ถึง 35 000	32	3
ตั้งแต่ 35 001 ขึ้นไป	50	5

7.2.2 การชักตัวอย่างและการยอมรับสำหรับการทดสอบมิติ ความต้านแรงดัดตามขวาง และการดูดซึมน้ำ

7.2.2.1 ให้ชักตัวอย่างโดยวิธีสุ่มจากตัวอย่างที่เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดในเรื่องลักษณะทั่วไปแล้ว สำหรับทดสอบมิติ ความต้านแรงดัดตามขวาง และการดูดซึมน้ำ รายการละ 3 แผ่น

7.2.2.2 ตัวอย่างทุกตัวอย่างต้องเป็นไปตามข้อ 3. ข้อ 5.2 และข้อ 5.3 จึงจะถือว่ากระเบื้องรุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

7.3 เกณฑ์ตัดสิน

ตัวอย่างกระเบื้อง ต้องเป็นไปตามข้อ 7.2.1.2 และข้อ 7.2.2.2 ทุกข้อ จึงจะถือว่ากระเบื้องรุ่นนั้นเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้

8. การทดสอบ

กระเบื้องที่จะนำมาทดสอบ ต้องมีอายุไม่น้อยกว่า 7 วัน

8.1 มิติ

8.1.1 ความกว้างและความยาว

ใช้เครื่องวัดที่วัดได้ละเอียดถึง 1 มิลลิเมตร วัดความกว้างและความยาวของกระเบื้องตัวอย่าง อย่างน้อยด้านละ 2 แห่ง แต่ละแห่งต้องขนานและห่างจากขอบไม่น้อยกว่า 10 มิลลิเมตร แล้วรายงานผลเป็นค่าเฉลี่ย

8.1.2 ความหนา

ใช้เครื่องวัดที่วัดได้ละเอียดถึง 1 มิลลิเมตร วัดความหนาของกระเบื้องตัวอย่าง 4 แห่ง แล้วรายงานผลเป็นค่าเฉลี่ย

(1) กระเบื้องที่ชั้นผิวหน้าเป็นลอน เป็นลวดลาย หรืออื่น ๆ ให้วัดความหนาของส่วนที่บางที่สุด โดยรวมความหนาของชั้นผิวหน้า

(2) กระเบื้องที่ชั้นผิวหน้าเรียบสม่ำเสมอ ให้วัดความหนาโดยรวมความหนาของชั้นผิวหน้า

8.2 ความต้านแรงดัดตามขวาง

8.2.1 เครื่องมือ

เครื่องทดสอบความต้านแรงดัด ดังตัวอย่างในรูปที่ 1

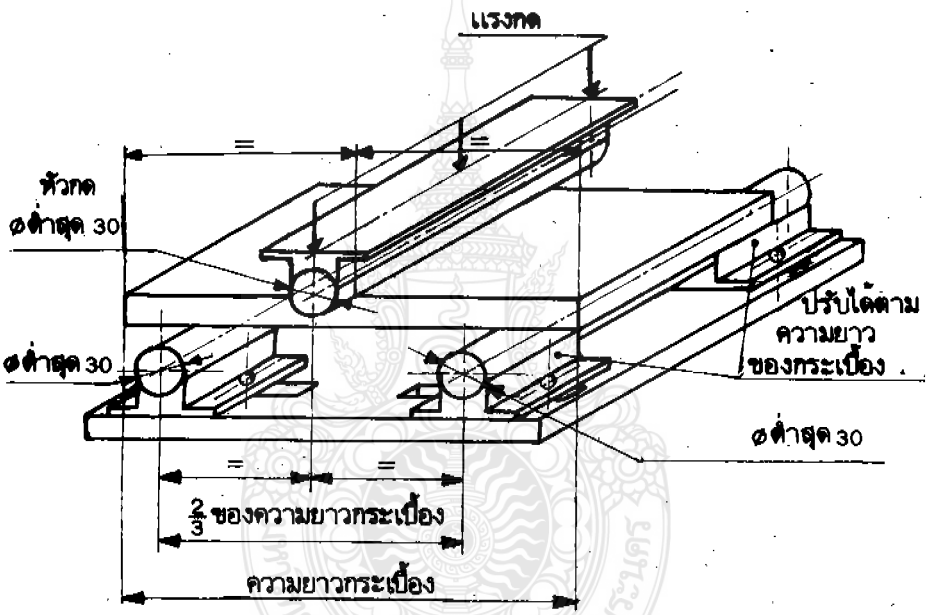
8.2.2 วิธีทดสอบ

8.2.2.1 วัดความกว้าง ความยาว และความหนาของกระเบื้องตัวอย่างตามข้อ 8.1.1 และข้อ 8.1.2 ตามลำดับ

8.2.2.2 แช่กระเบื้องตัวอย่างในน้ำที่มีอุณหภูมิ 23 $\pm$ 6 องศาเซลเซียส โดยให้ผิวน้ำอยู่เหนือผิวบนของกระเบื้องตัวอย่างไม่น้อยกว่า 25 มิลลิเมตร และไม่เกิน 50 มิลลิเมตร เป็นเวลา 24 $\pm$ $^1/_2$ ชั่วโมง นำกระเบื้องตัวอย่างขึ้นจากน้ำ ใช้ผ้าซับผิวภายนอกให้แห้ง

8.2.2.3 วางกระเบื้องตัวอย่าง บนที่รองรับของเครื่องทดสอบ โดยให้ชั้นผิวหน้าอยู่ข้างบน และให้ด้านกว้างขนานกับที่รองรับ (สำหรับกระเบื้องตัวอย่างที่ชั้นผิวหน้าเป็นลอน

ให้วางกระเบื้องตัวอย่างในลักษณะที่รับแรงกดได้น้อยที่สุด)



หน่วยเป็นมิลลิเมตร

รูปที่ 1 ตัวอย่างเครื่องทดสอบความต้านแรงดัด

(ข้อ 8.2.1)

8.2.2.4 เพิ่มแรงกดบนกระเบื้องตัวอย่างด้วยอัตราที่เท่ากันและสม่ำเสมอ ไม่เกิน 1 960 นิวตันต่อความกว้าง 1 เมตร (วัดตามความยาวของที่รองรับ) ต่อนาที จนกระทั่งกระเบื้องตัวอย่างแตกหัก บันทึกค่าแรงกดที่ทำให้กระเบื้องตัวอย่างแตกหัก

8.2.3 วิธีคำนวณ

คำนวณหาค่าความต้านแรงดัดตามขวาง จากสูตร

$$f = \frac{3Pl}{2bt^2}$$

เมื่อ f คือ ความต้านแรงดัดตามขวาง เป็นเมกะพาสคัล

P คือ แรงกดที่ทำให้กระเบื้องตัวอย่างแตกหัก เป็นนิวตัน

l คือ ระยะห่างระหว่างที่รองรับ $= \frac{2L}{3}$ เป็นมิลลิเมตร เมื่อ L คือ ความยาว ของกระเบื้องตัวอย่าง เป็นมิลลิเมตร

b คือ ความกว้างของกระเบื้องตัวอย่าง เป็นมิลลิเมตร

t คือ ความหนาของกระเบื้องตัวอย่าง เป็นมิลลิเมตร

8.3 การดูดซึมน้ำ

8.3.1 วิธีทดสอบ

8.3.1.1 แช่กระเบื้องตัวอย่างในน้ำที่มีอุณหภูมิ 23 $\pm$ 2 องศาเซลเซียส โดยให้ผิวน้ำอยู่เหนือผิวบนของกระเบื้องตัวอย่างไม่น้อยกว่า 25 มิลลิเมตรและไม่เกิน 50 มิลลิเมตร เป็นเวลา 24 $\pm$ $^1/_2$ ชั่วโมง นำกระเบื้องตัวอย่างขึ้นจากน้ำ ใช้ผ้าซับผิวภายนอกให้แห้ง แล้วนำไปชั่ง(M_2)

8.3.1.2 วางกระเบื้องตัวอย่างในตู้อบ โดยที่กระเบื้องตัวอย่างต้องห่างจากผิวที่ให้ความร้อน หรือกระเบื้องตัวอย่างแผ่นอื่นอย่างน้อย 25 มิลลิเมตร อบให้แห้งที่อุณหภูมิ 65 $\pm$ 1 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วชั่ง(M_1)

8.3.2 วิธีคำนวณ

คำนวณหาค่าการดูดซึมน้ำเป็นร้อยละ ให้ละเอียดถึงทศนิยมตำแหน่งที่ 1 จากสูตร

$$\text{การดูดซึมน้ำ ร้อยละ} = \frac{M_2 - M_1}{M_1} \times 100$$

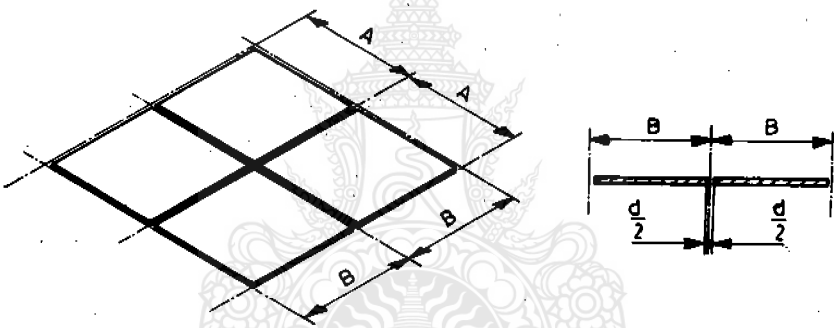
เมื่อ M_2 คือ มวลกระเบื้องตัวอย่างเมื่ออิ่มน้ำ เป็นกรัม

M_1 คือ มวลกระเบื้องตัวอย่างอบแห้ง เป็นกรัม

ภาคผนวก ก.
ขนาดที่แนะนำของกระเบื้อง
(ตารางที่ 1)

ก.1 ขนาดที่แนะนำของกระเบื้อง

ดังในรูปที่ ก.1



A	200	200	300	300	400	400	500
B	100	200	150	300	200	400	500
d	10						

เมื่อ A คือ ความยาวของกระเบื้องรวมความกว้างของรอยต่อ
B คือ ความกว้างของกระเบื้องรวมความกว้างของรอยต่อ
d คือ ความกว้างของรอยต่อ

หน่วยเป็นมิลลิเมตร

รูปที่ ก.1 ขนาดที่แนะนำของกระเบื้อง

(ข้อ ก.1)

ข บทความสำหรับเผยแพร่

การใช้ประโยชน์จากเศษถนนยางมะตอยเก่าสำหรับผลิตภัณฑ์แผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้น
Utilization of Old Asphalt Road Waste to Produce Concrete Flooring Tile Product

วิหาร ดีปัญญา [1*] และกิตติพงษ์ สุวีโร [2]

[1] ผู้ช่วยศาสตราจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
[2] อาจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
[*] E-mail: wiharn.d@rmutp.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์แผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นจากเศษถนนยางมะตอยเก่า ออกแบบอัตราส่วนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่1 ต่อทรายหยาบ ต่อเศษถนนยางมะตอยเก่า ต่อสารลดน้ำประเภท A ต่อน้ำประปา จำนวน 6 อัตราส่วน ประกอบด้วย 1: 5: 0: 0.02: 0.4, 1: 4.5: 0.5: 0.02: 0.4, 1: 4: 1: 0.02: 0.4, 1: 3.5: 1.5: 0.02: 0.4, 1: 3: 2: 0.02: 0.4 และ 1: 2.5: 2.5: 0.02: 0.4 โดยน้ำหนัก ขึ้นรูปด้วยเครื่องอัด ทดสอบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เรื่องกระเบื้องคอนกรีตปูพื้น (มอก.378-2531) จากผลการทดสอบ พบว่า อัตราส่วน 1: 2.5: 2.5: 0.02: 0.4 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุด ทั้งนี้ ปริมาณที่เพิ่มขึ้นเศษถนนยางมะตอยเก่าในแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้น จะส่งผลต่อการลดลงของค่าการดูดซึมน้ำและสัมประสิทธิ์การนำความร้อน ในขณะที่ความหนาแน่นและความต้านทานแรงดัดมีค่าใกล้เคียงกับแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นที่ไม่ผสมเศษถนนยางมะตอยเก่า แผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นผสมเศษถนนยางมะตอยเก่าที่พัฒนา สามารถใช้งานได้เช่นเดียวกับแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นทั่วไปในท้องตลาด

คำสำคัญ แผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้น, เศษถนนยางมะตอยเก่า, สัมประสิทธิ์การนำความร้อน

Abstract

The objective of this research is to develop the concrete flooring tile product from old asphalt road waste. The 6 ratios of Portland cement type1: coarse sand: old asphalt road waste: water reducer type A: tap water were designed including: 1: 5: 0: 0.02: 0.4, 1: 4.5: 0.5: 0.02: 0.4, 1: 4: 1: 0.02: 0.4, 1: 3.5: 1.5: 0.02: 0.4, 1: 3: 2: 0.02: 0.4, and 1: 2.5: 2.5: 0.02: 0.4 by weight. The concrete flooring tile casted with the compressive machine. The property tests followed the TIS.378-1988 (concrete flooring tiles). According to the result, it was found that the 1: 2.5: 2.5: 0.02: 0.4 was the proper ratio of the concrete flooring tile. The increasing of old asphalt road waste in concrete flooring tile effected to decrease the water absorption and thermal conductivity properties. In term of the density and bending strength properties, there were not many differences. The developed concrete

flooring tile product from old asphalt road waste can use as same as the common concrete flooring tile product in market.

Keywords Concrete Flooring Tile, Old Asphalt Road Waste, Thermal Conductivity

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

ถนนยางมะตอย (asphalt road)โดยเฉพาะเกรด AC 60/70 เป็นประเภทถนนที่ได้รับความนิยมมากที่สุดในประเทศไทย เนื่องจากมีต้นทุนต่ำ ระยะเวลาก่อสร้างรวดเร็ว และบำรุงรักษาง่าย แต่ถนนประเภทนี้มักเกิดความเสียหายได้ง่ายจากน้ำหนักบรรทุกที่มากเกินกำหนดและภูมิอากาศที่ร้อนของไทย ดังรูปที่ 1 จึงต้องมีการบูรณะซ่อมแซมถนนดังกล่าวให้มีสภาพดีอยู่เสมอ (กรมทางหลวง. 2543) ทั้งนี้ ก็เพื่อรองรับการขยายตัวทางเศรษฐกิจและความมั่นคงของประเทศซึ่งการบูรณะซ่อมแซมถนนประเภทนี้จะต้องทำการขุดรื้อผิวถนนยางมะตอยเดิมออกดังรูปที่ 2 แล้วทิ้งผิวทางเดิมหรือเศษถนนยางมะตอยเก่า (old asphalt road waste)ไว้ข้างทางเป็นกองขนาดใหญ่ดังเช่นในรูปที่ 3 จากนั้นจึงทำการซ่อมแซมผิวถนนโดยการเทยางมะตอยใหม่ลงไปทั้งนี้ การกองทิ้งเศษถนนยางมะตอยเก่าดังกล่าว จะส่งผลกระทบในทางที่ไม่ดีต่อสิ่งแวดล้อม สังคมและเศรษฐกิจของประเทศทั้งทางตรงและทางอ้อมได้

รูปที่ 1 ผิวถนนยางมะตอยที่เสียหายจากการใช้งานและสภาพอากาศ

รูปที่ 2 การขุดรื้อผิวถนนยางมะตอยเดิมออกด้วยรถแบ็คโฮ

รูปที่ 3 เศษยางมะตอยเก่าที่กองรวมกันรอการกำจัด

ในอดีตเศษถนนยางมะตอยเก่ามักจะถูกนำไปใช้ถมที่ดินเพื่อปรับพื้นที่ซึ่งอาจก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมตามมา ปัจจุบันจึงมีการนำเศษถนนยางมะตอยเก่ามารีไซเคิล โดยนำมาผสมรวมกับแอสฟัลต์อิมัลชันหรือยางมะตอยชนิดน้ำ (asphalt emulsion) แล้วทำการลาดยางแบบเย็นในที่ (cold in-place recycling) โดยแอสฟัลต์อิมัลชันจะเกิดการแตกตัวเนื่องจากการระเหยของน้ำที่อยู่ในส่วนผสมและจะเกิดการเปลี่ยนสีจากสีน้ำตาลเป็นสีดำ (กรมทางหลวงชนบท, 2557) จากนั้นจึงทำการบดอัด (compaction) การบดอัดนั้นทำได้ด้วยการใช้รถบดล้อยางก่อน (pneumatic tire roller) ตามด้วยรถบดล้อเหล็กแบบสั่นสะเทือน (steel vibrating roller) ทั้งนี้ หากพิจารณาจากยางมะตอยน้ำสภาพภูมิอากาศในประเทศไทย และคุณสมบัติของแอสฟัลต์อิมัลชัน พบว่า cationic asphalt emulsion ชนิดแตกตัวช้า (slow setting) เป็นน้ำยางมะตอยที่เหมาะสมที่สุดที่จะนำมาใช้ แต่ก็ต้องมีการเติมสารผสมอื่นๆ เพิ่มเติม เช่น ยางลาเท็กซ์ ปูนซีเมนต์ และโฟมแอสฟัลต์ เป็นต้นซึ่งก็เพื่อเพิ่มแรงยึดเกาะ ลดปัญหาการแตกร้าว (cracking) และการเกิดร่องล้อ (rutting) โดยปริมาณการใช้แอสฟัลต์อิมัลชันนั้นขึ้นอยู่กับคุณภาพและปริมาณแอสฟัลต์ในผิวทางเดิม อย่างไรก็ตาม การใช้แอสฟัลต์อิมัลชันยังคงมีข้อจำกัดที่ต้องคำนึงถึงอยู่หลายประการ โดยเฉพาะการบ่มตัว (curing) กล่าวคือก่อนที่จะมีการบดอัดต้องแน่ใจว่าน้ำมีการระเหยไปให้ได้มากที่สุด สภาพภูมิอากาศจึงมีผลอย่างยิ่งกับงานประเภทนี้ หากมีความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศมาก หมอกลง หรือฝนตก จะส่งผลกระทบอย่างมากกับอัตราการระเหยของน้ำ และการรีไซเคิลที่ไม่สามารถทำได้นอกจากนี้ ปริมาณการผสมเศษถนนยางมะตอยเก่าก็ยังไม่สามารถนำมาใช้รีไซเคิลได้ทั้งหมดและเศษถนนยางมะตอยเก่าที่ขุดขึ้นมาก็ยังมีปริมาณยางมะตอยปะปนอยู่มาก ทำให้ยากต่อการนำไปใช้ประโยชน์อย่างอื่น และหากต้องการแยกส่วนที่เป็นยางมะตอยออก ก็จะต้องใช้พลังงานจำนวนมหาศาลเพื่อละลายยางมะตอยออกจากมวลรวมที่ถูกเคลือบผิวอยู่ (สุรพล, 2551)

จากปริมาณเศษถนนยางมะตอยเก่าที่เพิ่มมากขึ้นทุกปีทำให้กลายเป็นปัญหาของหน่วยงานทั้งภาครัฐ และภาคเอกชนไม่ว่าจะเป็นกรมทางหลวง กรมทางหลวงชนบท การทางพิเศษแห่งประเทศไทย องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น บริษัทเอกชน หมู่บ้าน และชุมชนต่างๆ เนื่องจากยังไม่เคยมีการนำเศษถนนยางมะตอยดังกล่าวมาใช้ประโยชน์หรือประยุกต์ใช้ในด้านอื่นๆ นอกเหนือจากการนำเศษถนนยางมะตอยเก่าไปถมดินและการใช้วิธีรีไซเคิลข้างต้น ดังนั้น การวิจัยเพื่อนำเศษถนนยางมะตอยเก่ามาใช้ประโยชน์จึงมีความสำคัญและจำเป็นเร่งด่วน ทั้งนี้ จากการศึกษาคุณสมบัติของเศษถนนยางมะตอยเก่าเบื้องต้น พบว่าเศษยางมะตอยดังกล่าวสามารถผสมเข้ากับปูนซีเมนต์เพื่อใช้ทดแทนที่มวลรวมได้ดี (สุรพล, 2551) แต่ด้วยปัญหาด้านปริมาณน้ำมันที่อยู่ในเศษถนนยางมะตอยเก่า วัสดุก่อสร้างที่จะใช้เศษถนนนี้จึงควรจะเป็นวัสดุ

ก่อสร้างที่ใช้งานภายนอกอาคารอย่างแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้น ดังรูปที่ 4 และ 5 เนื่องจากจะไม่มีปัญหาด้านไอระเหยของน้ำมันที่อาจจะระเหยได้ รวมทั้งความยืดหยุ่นและความทึบน้ำของยางมะตอยที่ติดอยู่กับมวลรวม(หินปูนขนาด 3/8 หรือ 3/4 นิ้ว) ดังรูปที่ 6 ซึ่งจะช่วยแทรกอยู่ภายในเนื้อของกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นเพื่อลดการซึมผ่านของน้ำที่อาจกัดเซาะพื้นหรือชั้นดินซึ่งอยู่ใต้แผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นให้เกิดหลุม และกระเบื้องที่ปูพื้นดังกล่าวก็จะมีการทรุดหรือแตกหักได้ง่าย ทั้งนี้ เพื่อให้แผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นมีความแข็งแรงและใช้งานได้หลากหลาย การพัฒนาแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นที่มีส่วนผสมของเศษถนนยางมะตอยเก่า จึงต้องมีการพัฒนาให้มีความสามารถในการต้านทานแรงดัดได้สูงและมีสีสันหลากหลาย เพื่อให้แผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นสามารถใช้งานได้โดยไม่เกิดการเสียหายเมื่อเกิดหลุมหรือการยุบตัวของพื้นด้านล่าง (รูปที่ 7) และเป็นที่นิยมได้ง่าย

รูปที่ 4 การติดตั้งแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้น

รูปที่ 5 แผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นที่ปูบริเวณทางเท้าทั่วไป

รูปที่ 6 ลักษณะและขนาดของเศษยางมะตอยที่ขุดจากถนนเก่า

รูปที่ 7 การทรุดตัวทำให้แผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นที่ไม่แข็งแรงเกิดการแตกหักเสียหาย

งานวิจัยนี้ เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์แผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นจากเศษถนนยางมะตอยเก่า ซึ่งเป็นการนำเศษวัสดุเหลือทิ้งที่ยากต่อการรีไซเคิลอย่างเศษถนนยางมะตอยเก่าไปใช้ผลิตวัสดุก่อสร้างประเภทวัสดุปูพื้น ซึ่งสามารถใช้ประโยชน์จากลักษณะของเศษถนนที่มียางมะตอยปนอยู่เพื่อการลดการซึมผ่านของน้ำได้อย่างเหมาะสมรวมทั้ง ยังมีความเป็นไปได้ในการนำไปประยุกต์ใช้ในเชิงพาณิชย์ ตลอดจนการสร้างประโยชน์ต่อสังคม ใช้ต้นทุนในการผลิตต่ำ และช่วยรักษาสิ่งแวดล้อมอีกด้วย โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์แผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นจากเศษถนนยางมะตอยเก่า

2. วิธีการดำเนินงาน

2.1 วัสดุและอุปกรณ์

2.1.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ดังรูปที่ 8

รูปที่ 8 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

2.1.2 เศษถนนยางมะตอยเก่า ขนาดผ่านตะแกรง 3/4 นิ้ว ที่บดอัดจากหินปูนผสมยางมะตอยเกรด AC 60/70 ดังรูปที่ 9

รูปที่ 9 เศษถนนยางมะตอยเก่า

2.1.3 ทรายหยาบ

2.1.4 สารเคมีผสมเพิ่มชนิดสารลดน้ำ ประเภท A

2.1.5 น้ำประปา

2.1.6 เครื่องผสมคอนกรีต ดังรูปที่ 10

รูปที่ 10 เครื่องผสมคอนกรีต

2.1.7 เครื่องอัดแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นแบบสั่นเขย่า พร้อมแบบหล่อกระเบื้องคอนกรีตปูพื้น ขนาด 30x30x5 เซนติเมตร ดังรูปที่ 11

รูปที่ 11 เครื่องอัดกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นแบบสั่นเขย่า

2.1.8 เครื่องย่อยหินพร้อมตะแกรงคัดขนาด ดังรูปที่ 12

รูปที่ 12 เครื่องย่อยหินพร้อมตะแกรงคัดขนาด

2.1.9 ตะแกรงคัดขนาด

2.1.10 เครื่องชั่งน้ำหนัก

2.1.11 ชุดทดสอบหาค่าความหนาแน่น ความชื้น และการดูดซึมน้ำ

2.1.12 เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (UTM)

2.1.13 เครื่องทดสอบสัมประสิทธิ์การนำความร้อน

2.2 การออกแบบส่วนผสม

ออกแบบอัตราส่วนผสมของแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นผสมเศษถนนยางมะตอยเก่าเหลือทิ้ง จำนวน 6 อัตราส่วน ประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เศษถนนยางมะตอยเก่า ทรายหยาบ สารเคมีผสมเพิ่มชนิดสารลดน้ำ ประเภท A และน้ำประปา โดยทำการแทนที่ทรายด้วยเศษถนนยางมะตอยเก่าจนกระทั่งแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นผสมเศษถนนยางมะตอยเก่ามีพื้นผิวที่หยาบ ไม่เรียบ หรือเกิดช่องว่างบริเวณผิวหน้ามาก ซึ่งสามารถสรุปอัตราส่วนได้ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 อัตราส่วนผสมของแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นผสมเศษถนนยางมะตอยเก่าเหลือทิ้ง โดยน้ำหนัก

อัตราส่วน	ปูนซีเมนต์	ทรายหยาบ	เศษถนนยางมะตอย	สารลดน้ำประเภท A	น้ำประปา
A0	1	5	0	0.02	0.4
A0.5	1	4.5	0.5	0.02	0.4
A1	1	4	1	0.02	0.4
A1.5	1	3.5	1.5	0.02	0.4
A2	1	3	2	0.02	0.4
A2.5	1	2.5	2.5	0.02	0.4

2.3 การขึ้นรูปแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้น

2.3.1 ตวงส่วนผสมของแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นจากเศษถนนยางมะตอยเหลือทิ้ง ตามที่ออกแบบในตารางที่ 1

2.3.2 ผสมสารเคมีผสมเพิ่มชนิดสารลดน้ำ ประเภท A เข้ากับน้ำประปา

2.3.3 ผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท1 ทรายหยาบ เศษถนนยางมะตอยเหลือทิ้ง และน้ำประปาที่ผสมสารลดน้ำแล้ว ให้เข้ากันด้วยเครื่องผสมคอนกรีต ดังรูปที่ 13 และ 14

รูปที่ 13 การผสมปูนซีเมนต์ ทราย และเศษถนนยางมะตอยเหลือทิ้งด้วยเครื่องผสมคอนกรีต

รูปที่ 14 การเติมน้ำประปาที่ผสมสารเร่งการก่อตัวแล้วลงในเครื่องผสมคอนกรีต

2.3.4 การเตรียมแบบหล่อที่ติดตั้งอยู่กับเครื่องอัดแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นแบบสั่นเขย่า โดยการทาน้ำมันหล่อลื่น ดังรูปที่ 15

รูปที่ 15 แบบหล่อกระเบื้องคอนกรีตปูพื้น

2.3.5 เทส่วนผสมทั้งหมดลงในแบบหล่อ และขึ้นรูปแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นผสมเศษถนนยางมะตอยเก่าด้วยเครื่องอัดแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นแบบสั่นเขย่า ดังรูปที่ 16 และ 17

รูปที่ 16 การเทส่วนผสมลงในแบบหล่อของเครื่องอัดแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นแบบสั่นเขย่า

รูปที่ 17 การอัดขึ้นรูปแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นผสมเศษถนนยางมะตอยเก่า
ด้วยเครื่องอัดแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้น

2.3.6 บ่มแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นผสมเศษถนนยางมะตอยเก่าในอากาศ ตามระยะเวลาที่กำหนด ได้แก่ 7, 14, 21 และ 28 วัน ก่อนนำไปทดสอบ

2.4 การทดสอบคุณสมบัติของแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้น

ทดสอบสมบัติทางกายภาพและทางกลของแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นผสมเศษถนนยางมะตอยเก่า ตามมาตรฐาน มอก.378-2531 เรื่องแผ่นชิ้นไม้อัดซีเมนต์: ความหนาแน่นสูง ตลอดจนสมบัติที่เกี่ยวข้องกับการใช้งานอื่นๆ ทั้งนี้ แต่ละการทดสอบจะใช้จำนวนตัวอย่าง 5 ตัวอย่างต่อการทดสอบประกอบด้วย

2.4.1 ลักษณะทั่วไป

2.4.2 ความหนาแน่น ดังรูปที่ 3.12

รูปที่ 18 การชั่งน้ำหนักเพื่อหาค่าความหนาแน่นของแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้น

2.4.3 ความต้านทานแรงดัดตามขวาง ดังรูปที่ 19 ถึง 22

รูปที่ 19 การทดสอบความต้านทานแรงดัดตามขวางของแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้น

รูปที่ 20 แผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นที่วิบัติจากการทดสอบความต้านทานแรงดัด

รูปที่ 21 ลักษณะแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นผสมเศษถนนยางมะตอยเก่าที่วิบัติจากแรงดัด

รูปที่ 22 เนื้อแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นผสมเศษถนนยางมะตอยเก่าที่วิบัติจากแรงดัด

2.4.4 การดูดซึมน้ำ ดังรูปที่ 23 ถึง 25

รูปที่ 23 การแช่น้ำของแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นผสมเศษถนนยางมะตอยเก่าเพื่อหาค่าการดูดซึมน้ำ

รูปที่ 24 การเช็ดผิวของแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นให้อิ่มตัวผิวแห้งก่อนการชั่งน้ำหนัก

รูปที่ 25 การชั่งน้ำหนักของแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นเพื่อหาค่าการดูดซึมน้ำ

2.4.5 สัมประสิทธิ์การนำความร้อน ตามมาตรฐาน ASTM C177 (ASTM, 2013)

2.4.6 การใช้งานจริง

3. ผลการวิจัย

จากการทดสอบคุณสมบัติของแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นผสมเศษถนนยางมะตอยเก่า ตามมาตรฐาน มอก.378-2531 เรื่องกระเบื้องคอนกรีตปูพื้น (สมอ., 2531) และมาตรฐานอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง ซึ่งสามารถสรุปผลการทดสอบได้ ดังต่อไปนี้

3.1 ลักษณะทั่วไป

ผลการทดสอบลักษณะทั่วไปของแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นผสมเศษถนนยางมะตอยเก่า ทั้ง 6 อัตราส่วน โดยการตรวจพินิจความหนา ความเรียบสม่ำเสมอ ไม่แตกร้าว และความฉากของขอบ พบว่าทั้งหมดมีลักษณะทั่วไปผ่านตามที่มาตรฐาน มอก.378-2531 เรื่องกระเบื้องคอนกรีตปูพื้น (สมอ., 2531) กำหนด ดังเห็นได้จากรูปที่ 26 ถึง 28

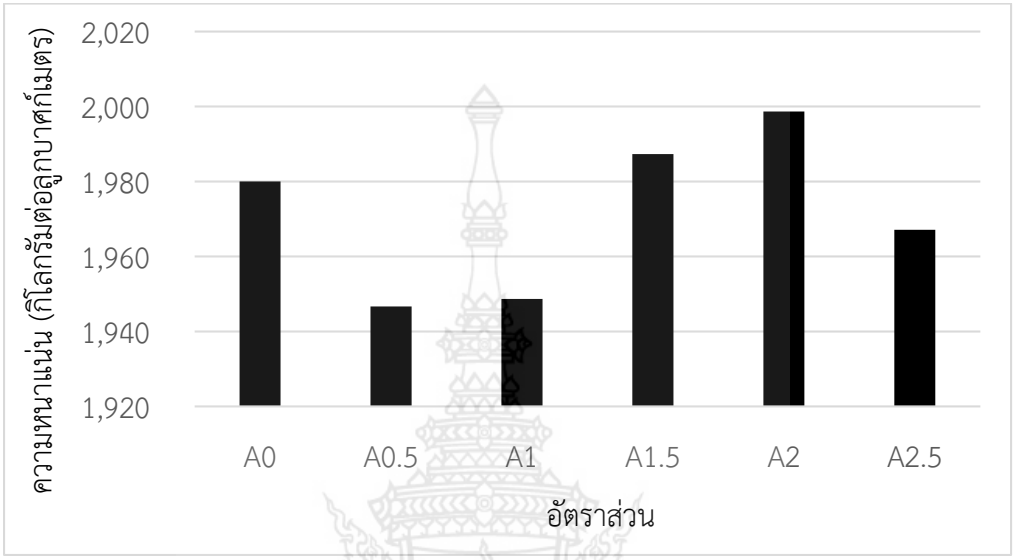
รูปที่ 26 ลักษณะของแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นผสมเศษถนนยางมะตอยเก่า

รูปที่ 27 สีของแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นผสมเศษถนนยางมะตอยเก่า

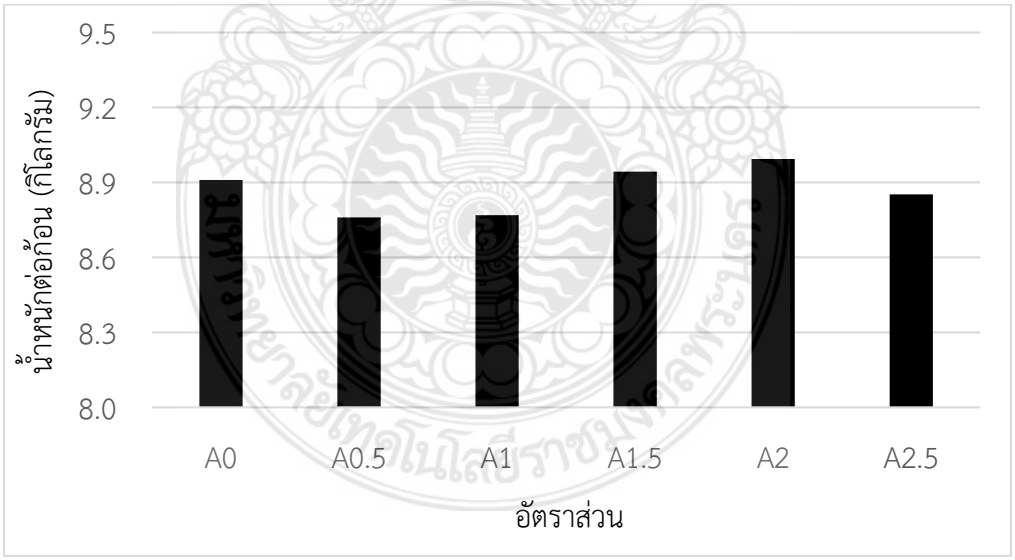
รูปที่ 28 การตรวจพินิจลักษณะทั่วไปของแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นผสมเศษถนนยางมะตอยเก่า

3.2 ความหนาแน่น

ค่าความหนาแน่นของแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นผสมเศษถนนยางมะตอยเก่า เป็นค่าแสดงให้เห็นถึงน้ำหนักของแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นโดยความหนาแน่นสูง หมายถึง แผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นมีน้ำหนักมาก และความหนาแน่นต่ำ หมายถึง แผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นมีน้ำหนักน้อย ซึ่งผลการทดสอบสามารถสรุปได้ ดังนี้



รูปที่ 29 ความหนาแน่นของแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นผสมเศษถนนยางมะตอยเก่า



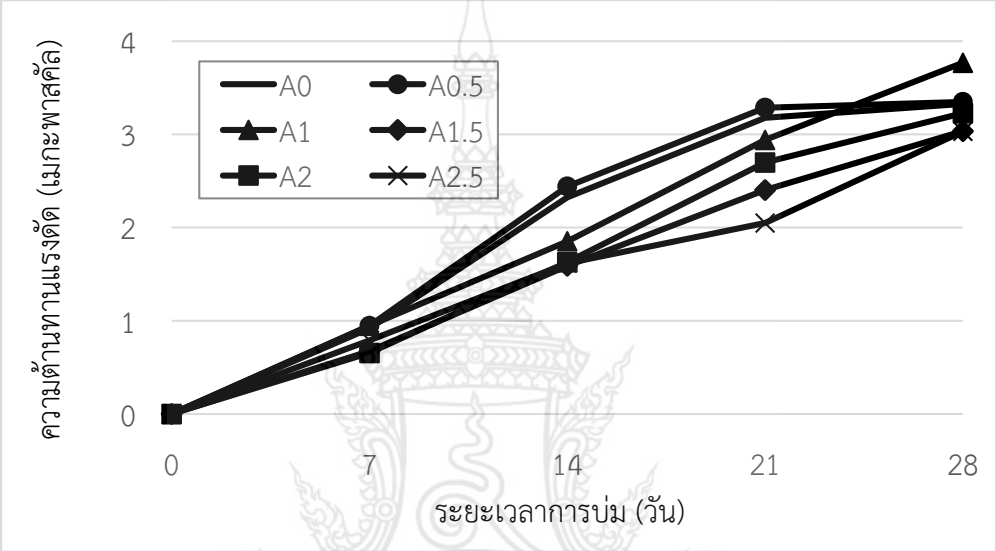
รูปที่ 30 น้ำหนักต่อก้อนของแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นผสมเศษถนนยางมะตอยเก่า

จากรูปที่ 29 และ 30 พบว่า ความหนาแน่นหรือน้ำหนักต่อก้อนของแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นที่ผสมและไม่ผสมเศษถนนยางมะตอยเก่า ทั้ง 6 อัตราส่วน มีค่าใกล้เคียงกันในทุกอัตราส่วน โดยเป็นผลมาจากการแทนที่ทรายซึ่งเป็นมวลรวมหลักด้วยเศษถนนยางมะตอยภายในเนื้อกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นนั้น ทุกอัตราส่วนยังคงมีทรายเป็นส่วนผสมอยู่ ทำให้การเรียงตัวของมวลรวมหรือเนื้อของกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นทุกอัตราส่วนมีความใกล้เคียงกัน ทั้งนี้ ความหนาแน่นของแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นผสม

เศษถนนยางมะตอยเก่าทุกอัตราส่วน มีค่าความหนาแน่นอยู่ระหว่าง 1,946.67 ถึง 1,998.67 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งยังคงต่ำกว่าคอนกรีตที่มีค่าความหนาแน่นประมาณ 2,400 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (ปริญญา และชัย, 2551)

3.3 ความต้านทานแรงดัดตามขวาง

การทดสอบความต้านทานแรงดัดตามขวางหรือความต้านทานแรงดัดของแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นผสมเศษถนนยางมะตอยเก่า ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เรื่องกระเบื้องคอนกรีตปูพื้น (มอก.378-2531) (สมอ., 2531) สามารถสรุปผลการทดสอบได้ ดังรูปที่ 31

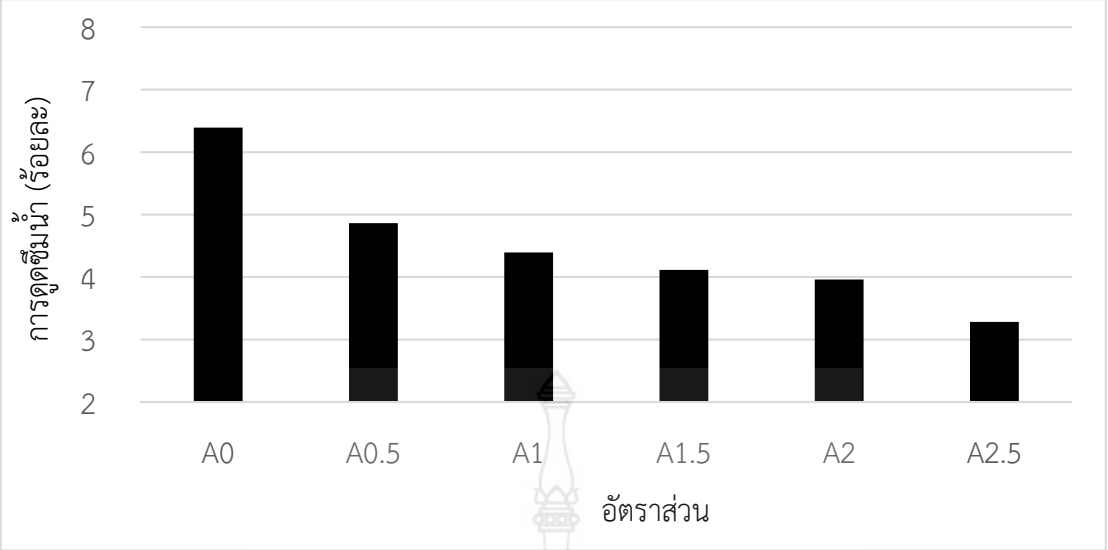


รูปที่ 31 ความต้านทานแรงดัดของแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นผสมเศษถนนยางมะตอยเก่า

จากรูปที่ 31 พบว่า ผลการทดสอบความต้านทานแรงดัดของแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นทั้งที่ผสมหรือไม่ผสมเศษถนนยางมะตอยเก่า ทั้ง 6 อัตราส่วน มีค่าความต้านทานแรงดัดที่ใกล้เคียงกัน โดยทั้งหมดสามารถผ่านตามที่มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เรื่องกระเบื้องคอนกรีตปูพื้น (มอก.378-2531) (สมอ., 2531) ซึ่งกำหนดให้ค่าความต้านทานแรงดัดตามขวางของกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นแต่ละแผ่นต้องไม่น้อยกว่า 2.5 เมกะพาสคัล และค่าเฉลี่ยต้องไม่น้อยกว่า 3 เมกะพาสคัล แสดงให้เห็นว่า เศษถนนยางมะตอยเก่า สามารถใช้เป็นมวลรวมในผลิตภัณฑ์กระเบื้องคอนกรีตปูพื้นได้ดีใกล้เคียงกับทรายที่เป็นมวลรวมที่นิยมใช้กันทั่วไปในผลิตภัณฑ์นี้

3.4 การดูดซึมน้ำ

ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นทั้งที่ผสมและไม่ผสมเศษถนนยางมะตอยเก่า สามารถสรุปได้ ดังรูปที่ 32

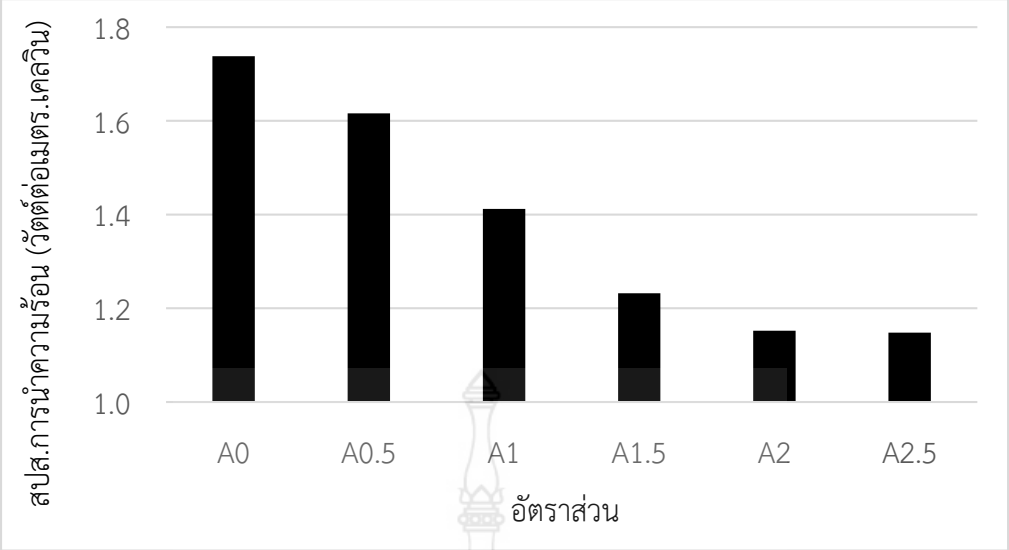


รูปที่ 32 การดูดซึมน้ำของแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นผสมเศษถนนยางมะตอยเก่า

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เรื่องกระเบื้องคอนกรีตปูพื้น (มอก.378-2531) กำหนดให้กระเบื้องคอนกรีตปูพื้นแต่ละแผ่น ต้องไม่เกินร้อยละ 10 (สมอ., 2531) โดยผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นทั้งที่ผสมและไม่ผสมเศษถนนยางมะตอยเก่าในรูปที่ 32 พบว่า แผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นทั้งหมด สามารถผ่านตามที่มาตรฐานกำหนด โดยกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นผสมเศษถนนยางมะตอยเก่าอัตราส่วน A2.5 เป็นอัตราส่วนที่มีค่าการดูดซึมน้ำต่ำที่สุด รองลงมาคือ อัตราส่วน A2 A1.5 A1 A0.5 และกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นที่ไม่ผสมเศษถนนยางมะตอยเก่าอัตราส่วน A0 เป็นอัตราส่วนที่มีค่าการดูดซึมน้ำสูงที่สุด ตามลำดับ ทั้งนี้ เห็นได้ว่า เศษถนนยางมะตอยเก่า สามารถช่วยลดค่าการดูดซึมน้ำให้กับกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นได้ดี ซึ่งเป็นผลมาจากยางมะตอยเป็นวัสดุที่มีความทึบน้ำ (กรมทางหลวง, 2543; บริษัท ทิปโก้แอสฟัลท์ จำกัด (มหาชน), 2550)

3.5 สัมประสิทธิ์การนำความร้อน

การทดสอบสัมประสิทธิ์การนำความร้อนหรือสภาพการนำความร้อนของแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นทั้งที่ผสมและไม่ผสมเศษถนนยางมะตอยเก่าทั้งหมด สามารถสรุปผลการทดสอบได้ ดังรูปที่ 33



รูปที่ 33 สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นผสมเศษถนนยางมะตอยเก่า

จากรูปที่ 33 พบว่า แผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นที่ผสมเศษถนนยางมะตอยเก่าในปริมาณมากที่สุด หรืออัตราส่วน A2.5 เป็นอัตราส่วนที่มีสัมประสิทธิ์การนำความร้อนหรือสภาพนำความร้อนต่ำที่สุด รองลงมาคือ อัตราส่วน A2 A1.5 A1 A0.5 และแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นที่ไม่ผสมเศษถนนยางมะตอยเก่า หรืออัตราส่วน A0 เป็นอัตราส่วนที่มีสัมประสิทธิ์การนำความร้อนหรือสภาพนำความร้อนสูงที่สุด โดยแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นที่มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำจะเป็นวัสดุที่เป็นฉนวนป้องกันความร้อนดีกว่าแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นที่มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนสูง ซึ่งเป็นผลมาจากความเป็นฉนวนป้องกันความร้อนที่ดีของยางมะตอย (ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของยางมะตอย มีค่าต่ำเพียง 0.75 วัตต์ต่อเมตร.เคลวิน) (Young, 1992)

3.6 การใช้งานจริง

จากคุณสมบัติของแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นผสมเศษถนนยางมะตอยเก่า ทำให้เลือกแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นผสมเศษถนนยางมะตอยเก่าอัตราส่วน A2.5 มาใช้ในการทดสอบการใช้งานจริง โดยทำการปูบริเวณรอบอาคารทดสอบ เพื่อสังเกตความแตกต่างในการใช้งานของแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นที่พัฒนา ดังรูปที่ 34 ถึง 38 พบว่า แผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นผสมเศษถนนยางมะตอยเก่าอัตราส่วน A2.5 สามารถใช้งานได้เช่นเดียวกับแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นทั่วไปในท้องตลาด

รูปที่ 34 การนำแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นผสมเศษถนนยางมะตอยเก่าไปใช้งานจริง

รูปที่ 35 บริเวณรอบอาคารที่มีการนำแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นผสมเศษถนนยางมะตอยเก่าไปใช้งานจริง

รูปที่ 36 ลักษณะการใช้งานแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นผสมเศษถนนยางมะตอยเก่า

รูปที่ 37 ลักษณะของแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นผสมเศษถนนยางมะตอยเก่าที่ปูเป็นพื้นรอบอาคาร

รูปที่ 38 การเรียงแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นผสมเศษถนนยางมะตอยเก่าโดยรอบอาคาร

4. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ เป็นการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์แผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นชนิดใหม่จากเศษวัสดุเหลือทิ้ง ซึ่งสามารถสรุปเป็นผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะได้ ดังต่อไปนี้

จากการพัฒนาต้นแบบผลิตภัณฑ์แผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นที่ใช้เศษถนนยางมะตอยเก่าเป็นมวลรวมแทนที่ทราย สามารถสรุปได้ว่า แผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นผสมเศษถนนยางมะตอยเก่า สามารถขึ้นรูปได้ด้วยวิธีการอัดและสั่นเขย่า โดยใช้เครื่องจักรทั่วไปที่มีราคาไม่สูง ซึ่งอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นผสมเศษถนนยางมะตอยเก่า คือ อัตราส่วน A2.5 (อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อทรายหยาบต่อเศษถนนยางมะตอยต่อสารลดน้ำประเภท A ต่อน้ำประปา เท่ากับ 1: 2.5: 2.5: 0.02: 0.4 โดยน้ำหนัก เนื่องจากเป็นอัตราส่วนแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นผสมเศษถนนยางมะตอยเก่าที่มีสมบัติผ่านตามที่มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เรื่องกระเบื้องคอนกรีตปูพื้น (มอก.378-2531) กำหนด และเป็นอัตราส่วนที่ใช้เศษถนนยางมะตอยเก่าในปริมาณมากที่สุดอีกด้วย ทั้งนี้ อัตราส่วนดังกล่าวมีค่าความหนาแน่น 1,967.11 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่าการดูดซึมน้ำ ร้อยละ 3.28 ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน 1.148 วัตต์ต่อเมตร.เคลวิน และค่าความต้านทานแรงดัดตามขวาง 3.03 เมกะพาสคัล ทั้งนี้ ปริมาณเศษถนนยางมะตอยเก่าที่ผสมลงในแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นแทนที่ทราย จะช่วยลดการดูดซึมน้ำและค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนลง ในขณะที่ความหนาแน่นและความต้านทานแรงดัดมีค่าใกล้เคียงกับ

แผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นที่ไม่ผสมเศษถนนยางมะตอยเก่า นอกจากนี้ แผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นผสมเศษถนนยางมะตอยเก่า ยังสามารถใช้งานได้เช่นเดียวกับแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นทั่วไป

ในการศึกษาต่อไป ควรพัฒนาแผ่นกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นผสมเศษถนนยางมะตอยเก่าให้มีผิวหน้าที่สวยงามและโดดเด่นมากขึ้น เพื่อให้สามารถแข่งขันและเป็นทางเลือกของผลิตภัณฑ์ปูพื้นสำหรับตกแต่งอาคารได้ดี

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนงบประมาณแผ่นดินมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ประจำปี 2561 ผู้วิจัยขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

6. เอกสารอ้างอิง

กรมทางหลวง. 2543. **คู่มือการออกแบบโครงสร้างถนนลาดยางโดยวิธี Asphalt Institute Method ฉบับที่8 (1970).**ส่วนออกแบบและแนะนำโครงสร้างชั้นทางสำนักวิเคราะห์วิจัยและพัฒนางานทางกรมทางหลวง. กรุงเทพฯ.

กรมทางหลวงชนบท. 2557. **มทช.215 –2557 มาตรฐานวัสดุมวลรวมผสมเย็นด้วยแอสฟัลต์อิมัลชัน (cold mixed asphalt).**กรมทางหลวงชนบท.กรุงเทพฯ.

บริษัท ทิปโก้แอสฟัลท์ จำกัด (มหาชน). 2550. **ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับยางมะตอยและการนำไปใช้งาน.** บริษัท ทิปโก้แอสฟัลท์ จำกัด (มหาชน). กรุงเทพฯ.

ปริญญา จินดาประเสริฐ และชัย จาตุรพิทักษ์กุล. 2555. **ปูนซีเมนต์ ปอซโซลาน และคอนกรีต.**พิมพ์ครั้งที่ 7.สมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย (ส.ค.ท.). กรุงเทพฯ.

ประชุม คำพุฒ. 2552. โครงการพัฒนาอิฐปูพื้นภายนอกอาคารเพื่อลดอุณหภูมิ.**รายงานฉบับสมบูรณ์ โครงการวิจัยภาครัฐร่วมเอกชนเชิงพาณิชย์ ประจำปี 2552.**เครือข่ายการวิจัยเครือข่าย ภาคกลางตอนบนสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา.กรุงเทพฯ.

ประชุม คำพุฒ และกิตติพงษ์ สุวีโร.2554. การพัฒนาบล็อกปูพื้นเพื่อลดอุณหภูมิผิวพื้นภายนอกอาคาร. **เอกสารประกอบการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 16.**วันที่ 18 – 20 พฤษภาคม 2554.ณ โรงแรมเดอะชายน์ พัทยา. ชลบุรี.

เพ็ชรพรเชาวกิจเจริญ และนรารัชต์พร นวลสวรรค.2555.การนำของเสียประเภทฉลากกระดาษมาใช้ประโยชน์ในการทำคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นโดยใช้ผงหินปูน-ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสาน. **วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ 22(1)**. 99 – 106.

เพ็ชรพรเชาวกิจเจริญศรุต ทิพย์วารีรมณ์ และวศิน ปิ่นประทีป.2552. การนำของเสียประเภทฉลากมาใช้ประโยชน์ในการทำคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นโดยใช้ผงหินปูน-ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสาน. **เอกสารประกอบการประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติครั้งที่ 8.**วันที่ 25 -27 มีนาคม 2552. ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. นครราชสีมา.

ภาคภูมิ มงคลสังข์. 2550. การศึกษาการใช้เถ้าตะกรันลิกไนต์เป็นมวลรวมในการทำบล็อกปูถนน.**เอกสารประกอบการประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปี ครั้งที่ 3.**ณ โรงแรม ลองบีช การ์เด้น โฮเทล แอนด์ สปาพัทยา.ชลบุรี.

ยุวดี หิรัญธวัชชัย ตันชัยสวัสดิ์พลยุกต์ มูลรังษีวิชัย บำรุงนาม และอัญชลี เพียสุระ.2551.บล็อกปูถนนคอนกรีตพรุน.**เอกสารประกอบการประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปี ครั้งที่ 4**.ณ โรงแรม ลายทอง. อุบลราชธานี.

ยุวดี หิรัญพีรพงษ์ ศิวินา และสุรชาติ ราโชติ. 2550.การศึกษาส่วนผสมของคอนกรีตสำหรับผลิตบล็อกปูผิวทางระบายน้ำได้.**เอกสารประกอบการประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปี ครั้งที่ 3**.ณ โรงแรมลองบีช การ์เด้น โฮเทล แอนด์ สปา พัทยา.ชลบุรี.

สุรพล เกตุแก้ว. 2551. **การปรับปรุงคุณภาพวัสดุพื้นทางเดิมด้วยอิมัลชันสำหรับการรีไซเคิลผิวถนนลาดยางแบบเย็นในที่.**บริษัท ทิปโก้แอสฟัลท์ จำกัด (มหาชน). กรุงเทพฯ.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.).2530. **มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.733-2530 เรื่องสารเคมีผสมเพิ่มสำหรับคอนกรีต**. กระทรวงอุตสาหกรรม.กรุงเทพฯ.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.).2531. **มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.378-2531 เรื่องกระเบื้องคอนกรีตปูพื้น**. กระทรวงอุตสาหกรรม.กรุงเทพฯ.

อรุณเดช บุญสูง.2554. กำลังรับแรงอัดของบล็อกปูพื้นที่ผลิตจากทรายกรองประปาใช้แล้ว.**วิศวสารลาดกระบัง 28(4)**.25 – 30.

American Society for Testing and Materials (ASTM), 2013. **Standard Test Method for Steady-State Heat Flux Measurements and Thermal Transmission Properties by Means of the Guarded-Hot-Plate Apparatus (ASTM C177)**. Philadelphia.

Young, Hugh D., 1992. **Hyper Physics**. University Physics. Addison Wesley.