การใช้น้ำยางพาราปรับปรุงสมบัติด้านการรับกำลังและการเป็นฉนวนกันความร้อนของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ

ประชุม คำพุฒ[1]
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ตำบลคลองหก อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี 12110

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำน้ำยางธรรมชาติ (ยางพารา) มาใช้เป็นสารผสมเพิ่มในการปรับปรุงสมบัติด้านการรับกำลังและการเป็นฉนวนกันความร้อนของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ ทำการทดลอง โดยใช้อัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์:ทรายบดละเอียด เท่ากับ 1:1 โดยน้ำหนัก ปริมาณผงอะลูมิเนียมเท่ากับร้อยละ 0.3 ของส่วนผสมทั้งหมด อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.50 โดยน้ำหนัก (ไม่รวมน้ำหนักของน้ำในน้ำยางพารา) ปริมาณปูนขาวเท่ากับร้อยละ 5 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ และปริมาณยิปซัมเท่ากับร้อยละ 5 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ ในการเตรียมน้ำยางพาราใช้สารแอมโมเนียเหลวเข้มข้นร้อยละ 15 ในสัดส่วนร้อยละ 3 ของน้ำหนักน้ำยางพารา คอนกรีตต้องผสมสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุในปริมาณร้อยละ 4 ของน้ำหนักปูนซีเมนต์ ใช้อัตราส่วนน้ำยางพาราต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0, 0.10, 0.15 และ 0.20 โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์ ตามลำดับ ทำการผสมและอบไอน้ำตามมาตรฐาน มอก. 1505-2541 นำมาทดสอบค่าความหนาแน่น ค่ากำลังอัดและค่ากำลังดัด ที่อายุ 3, 7, 14 และ 28 วัน ค่าการดูดกลืนน้ำที่อายุ 7 และ 28 วัน ค่าการเปลี่ยนแปลงความยาว และค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน ผลการวิจัยพบว่าค่ากำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาจะแปรผกผันกับอัตราส่วนของน้ำยางพาราต่อปูนซีเมนต์ ในขณะที่ค่ากำลังดัดของคอนกรีตจะแปรผันตรงกับอัตราส่วนของน้ำยางพาราต่อปูนซีเมนต์ โดยที่เมื่อผสมน้ำยางพารามากขึ้นค่ากำลังอัดจะลดลงแต่ค่ากำลังดัดจะเพิ่มขึ้น ค่าความหนาแน่นจะแปรผกผันกับอัตราส่วนน้ำยางพาราต่อปูนซีเมนต์ ค่าการดูดกลืนน้ำจะแปรผันตรงกับอัตราส่วนน้ำยางพาราต่อปูนซีเมนต์ ค่าการเปลี่ยนแปลงความยาว (ร้อยละการหดตัว) มีค่าไม่แน่นอนในแต่ละอัตราส่วนน้ำยางพาราต่อปูนซีเมนต์ และมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนมากกว่าคอนกรีตมวลเบาแบบปกติอยู่เล็กน้อย โดยปริมาณน้ำยางพาราที่เหมาะสมที่สุดในงานวิจัยนี้คือ การใช้อัตราส่วนน้ำยางพาราต่อปูนซีเมนต์ 0.10 เมื่อพิจารณาโดยรวมแล้วน้ำยางพาราสามารถนำไปใช้เป็นวัสดุผสมเพิ่มในการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบปานกลางที่สามารถรับกำลังได้สูงและเป็นฉนวนป้องกันความร้อนได้ดี

[1] *อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา*

Use of Para-rubber to Improve Strength and Insulation Properties of Autoclaved Aerated Lightweight Concrete

Prachoom Khamput[1]
Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Klong Hok, Thanyaburi, Phatum Thani 12110

Abstract

The aim of this research is to use latex from para-rubber as an admixture for improving the strength and insulation properties of autoclaved aerated lightweight concrete which has bubbles. In mix design, cement-sand ratio is 1:1 (by weight). The aluminum powder 3% by weight is added, water-cement ratio equal of 0.5 (by weight not include water in latex), five percent of lime and gypsum (by weight of cement) are added. To provide latex from para-rubber, the ammonia solution (concentrate 15%) is added into para-rubber in amount of 3% by weight of para-rubber. Nonionic surfactant of 4% by weight of cement is added in concrete. The latex per cement ratios that use in this experiment are 0, 0.10, 0.15 and 0.20 by weight of cement. Then mixing and streaming follow TIS (Thailand Industrial Standard) 1505-2541 and test the density, compressive and bending strengths at ages of 3, 7, 14 and 28 days. The absorption of water is measured at 7 and 28 days. The elongation and coefficient of thermal conductivity are measured. From the results, it is found that the compressive strength and density of lightweight concrete reverses variation with latex-cement ratio while the bending strength and water absorption of concrete is proportion to latex-cement ratio. The elongation has an uncertain result for each latex-cement ratio. The coefficient of thermal conductivity is slightly larger than that of normal lightweight concrete. The suitable latex-cement ratio is 0.10 (by weight of cement). From all of the results, latex from para-rubber can produce a moderate lightweight concrete in which high strength and good insulation are highlighted.

[1] *Lectures, Department of Civil Engineering.*

1. ความสำคัญของการวิจัย

ปัจจุบันนี้ประเทศไทยกำลังประสบปัญหาในเรื่องของการใช้พลังงานสิ้นเปลือง จึงต้องมีการออกเป็นนโยบายการประหยัดพลังงานและส่งเสริมให้มีการใช้พลังงานทดแทน ซึ่งนอกจากที่ภาครัฐและเอกชนจะต้องช่วยกันประหยัดพลังงานแล้ว อีกด้านหนึ่งที่จะช่วยได้มาก คือ การใช้วัสดุก่อสร้างที่เป็นฉนวนกันความร้อนที่ดี ในกระแสของการประหยัดพลังงานที่กำลังเพิ่มขึ้นในปัจจุบัน ทำให้การใช้วัสดุเพื่อการอนุรักษ์พลังงานสำหรับอาคารบ้านพักอาศัยมีปริมาณเพิ่มมากขึ้น วัสดุประเภทหนึ่งที่มีการใช้อย่างแพร่หลายเพื่อป้องกันความร้อนและประหยัดพลังงาน คือ ฉนวนป้องกันความร้อน ซึ่งใช้ในอาคารเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วเนื่องจากมีสมบัติการป้องกันความร้อนให้กับอาคาร ทำให้ผู้คนที่อาศัยอยู่ภายในรู้สึกเย็นสบายและช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายในการปรับอากาศได้มาก ส่วนใหญ่แล้วจะใช้ฉนวนเพื่อการประหยัดพลังงานอย่างเดียวโดยไม่คำนึงถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นกับสิ่งแวดล้อมที่ตามมา [1] โดยวัสดุฉนวนที่มีใช้กันอยู่ทั่วไปสามารถแบ่งออกได้เป็น อิฐมอญ คอนกรีตบล็อก คอนกรีตมวลเบา กระจกตัดแสง ยิปซัมบอร์ด ไฟเบอร์บอร์ด เซรามิคโค้ตติ้ง ใยแก้ว ฉนวนโฟมและอลูมินั่มฟอยล์ [2] ซึ่งในปัจจุบันนี้วัสดุก่อที่นิยมใช้มากขึ้นเรื่อยๆ คือ คอนกรีตมวลเบา แต่ปัญหาหนึ่งที่สำคัญของคอนกรีตมวลเบาคือ มีราคาสูง และรับกำลังอัดและกำลังดัดได้ไม่มาก คอนกรีตมวลเบาจึงเป็นผนังที่ไม่ต้องการรับแรงเป็นส่วนใหญ่

ประเทศไทยมีพื้นที่การปลูกยางพารา 12.5 ล้านไร่ ผลผลิต 3,032,420 ตัน [3] มีชาวสวนยางประมาณ 7 ล้านคน ภายในประเทศ ที่ประกอบอาชีพให้ยางพารากลายเป็นเศรษฐกิจหลักที่ทำรายได้เข้าประเทศในอันดับต้นๆ ของโลก และในปัจจุบันได้มีการใช้ยางภายในประเทศเพิ่มมากขึ้นจากปีละประมาณ 250,000 ตัน โดยเพิ่มขึ้นเท่าตัวเป็นปีละ 500,000 ตัน ในปี 2549 [4] เมื่อเป็นเช่นนี้รัฐบาลจึงได้มีนโยบายในการส่งเสริมสนับสนุนให้มีการปลูกยางพาราเพิ่มมากขึ้นในพื้นที่แถบภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และกำลังรอผลผลิตในอีก 2-3 ปีข้างหน้า แม้ว่าในปัจจุบันยางพาราจะมีราคาสูงมากถึงกิโลกรัมละ 100 บาท โดยคาดว่าราคาเฉลี่ยในปี 2549 จะอยู่ประมาณ 76 บาท ทั้งนี้เนื่องมาจากความต้องการใช้ยางในปริมาณมากขึ้น แต่ยางพาราเป็นสินค้าขั้นปฐม ที่มีสินค้าอื่นทดแทนได้ค่อนข้างดี คือ ยางสังเคราะห์ ซึ่งมีอยู่มากมายหลายชนิด และหลายเกรด หากราคายางพาราขึ้นสูงมาก ผู้ซื้อบางส่วนจะหันไปใช้วัสดุทดแทนอื่นได้ทันที ยางพาราจึงมีโอกาสที่จะราคาตกต่ำได้ในอนาคตอันใกล้ และปัญหาที่สำคัญก็คือ ด้านเทคโนโลยีการยางและนักวิจัยหรือบุคลากรผู้เชี่ยวชาญในสายงานของยางพารายังมีอยู่น้อยมาก เมื่อเทียบกับในสายงานด้านอื่นๆ และเมื่อเป็นเช่นนี้แล้วผู้ที่เกี่ยวข้องจึงต้องมีการเตรียมการในการที่จะสร้างผู้เชี่ยวชาญหรือนักวิจัยไว้รองรับให้เพียงพอกับสถานการณ์ ซึ่งไม่เพียงแค่เป็นการพัฒนาผลิตภัณฑ์เดิมของยางพาราที่มีอยู่แล้วให้ดีขึ้นเท่านั้น หากยังต้องมีการคิดค้นสรรหาวิธีการใหม่ๆ ที่จะส่งเสริมและพัฒนาเทคโนโลยีของยางพาราให้อยู่ในรูปของผลิตภัณฑ์แปรรูปที่หลากหลาย เพื่อรองรับความผันผวนของราคายางในอนาคต อีกทั้งให้ครอบคลุมและเอื้ออำนวยต่อการดำเนินชีวิตของประชากรภายในประเทศ และให้เกิดประโยชน์สูงสุดต่อเศรษฐกิจของประเทศชาติโดยรวม

ในปัจจุบันการใช้ประโยชน์จากยางพาราส่วนใหญ่จะเป็นในด้านของยางรถยนต์ รถจักรยานยนต์ ถุงมือยาง ถุงยางอนามัย ผลิตภัณฑ์ยางที่ใช้ในอุตสาหกรรมและการแพทย์ เช่น ยางรองแท่นเครื่อง สายพานยาง ยางรัดของ สายยางทั่วไป สายน้ำเกลือ เป็นต้น [3] ซึ่งในตลาดขณะนี้ผู้ประกอบการอุตสาหกรรมยางมีความสนใจเป็นอย่างมากในเรื่องของการผลิตฉนวนกันความร้อนจากยางพาราเพื่อใช้งานในโครงสร้างอาคารบ้านพักอาศัย, การผลิต High styrene resin จาก Styrene butadiene rubber (SBR) เพื่อใช้เป็นสารตัวเติม (Filler) สำหรับแข็งจากยางพารา การเพิ่มความเหนียวติดกันของยางผสม NR+EPDM ที่วัลคาไนซ์แล้วกับยางที่ยังไม่วัลคาไนซ์ และการออกแบบสร้างเครื่องมือวัด Compression set ของยาง [5] การศึกษาวิจัยในเรื่องของผลิตภัณฑ์จากยางพาราที่เกี่ยวกับวัสดุก่อสร้างซึ่งมีคุณสมบัติเป็นฉนวนกันความร้อนได้ จึงเป็นหัวข้อที่น่าสนใจ โดยผู้วิจัยได้มุ่งที่จะศึกษาการพัฒนาคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นฉนวนกันความร้อนที่ดีกว่าวัสดุก่ออื่นๆ ให้มีคุณสมบัติทางกลที่ดีขึ้นทั้งด้านของกำลังอัดและกำลังดัด อีกทั้งยังมีความเป็นไปได้ในการที่จะช่วยลดค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของคอนกรีตมวลเบาลงอีกด้วย

2. ทฤษฎี แนวคิดในการวิจัย และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วิธีการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบฟองอากาศ [6] เป็นวิธีที่ใส่สารเคมีให้เกิดการปฏิกิริยาทางเคมีในเนื้อคอนกรีต ทำให้เกิดฟองอากาศจำนวนมากในเนื้อคอนกรีต ซึ่งปฏิกิริยาดังกล่าวเป็นไปดังสมการเคมีข้างล่าง

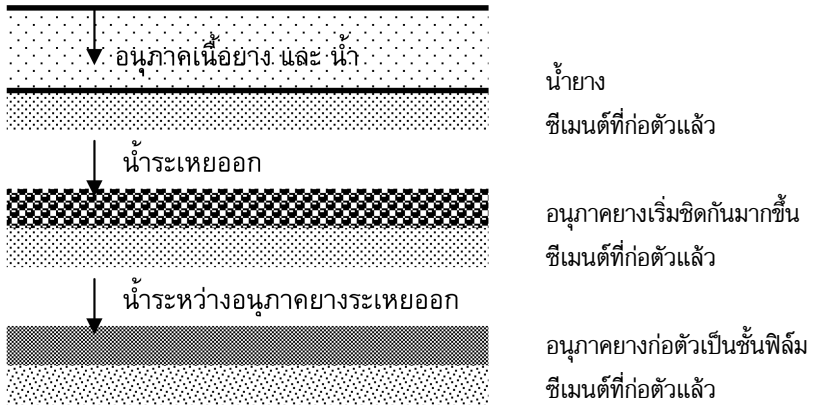
$$\underset{\text{Aluminium powder}}{2Al} + \underset{\text{Hydrate lime}}{3Ca(OH)_2} + 6H_2O \rightarrow \underset{\text{Tricalcium aluminate hydrate}}{3CaO\ Al_2O_3.6H_2O} + \underset{\text{Hydrogen}}{3H_2}$$

จากสมการข้างต้นจะเห็นได้ว่า ผงอะลูมิเนียม ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับ $Ca(OH)_2$ มีผลก่อให้เกิดฟองก๊าซของไฮโดรเจน วิธีนี้เปรียบเสมือนการใส่ผงฟูลงในขนมเค้ก ทำให้ขนมเค้กฟูขึ้นมามีเนื้อโปร่ง วิธีนี้จะควบคุมปริมาณของคอนกรีตลำบากมาก แต่ความพรุนที่ได้ในเนื้อคอนกรีตจะมีคุณภาพสม่ำเสมอ ในส่วนของงานวิจัยนี้จะกล่าวถึงวิธีนี้เป็นหลัก

การบ่มด้วยไอน้ำที่ความดันสูง (High Pressure Steam Curing) [7] หากต้องการบ่มคอนกรีตด้วยอุณหภูมิสูงเกิน 100 °ซ ต้องให้ความดันสูงขึ้นและต้องบ่มคอนกรีตในภาชนะที่ปิดสนิท ซึ่งมีชื่อว่า “Autoclave” อุณหภูมิที่ใช้จะอยู่ในช่วง 160-210 °ซ ที่ความดัน 6-20 atm สารประกอบที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาเคมีภายใต้สภาวะดังกล่าวมีคุณสมบัติต่างจากสารประกอบ ซึ่งบ่มที่อุณหภูมิต่ำกว่า 100 °ซ และมีผลดีที่สำคัญคือ สามารถใช้คอนกรีตได้ภายใน 24 ชั่วโมง เพราะคอนกรีตมีกำลังสูงทัดเทียมการบ่มปกติเป็นเวลา 28 วัน มีการหดตัวและการล้าลดลงมาก ทนเกลือซัลเฟตได้ดีขึ้น กำจัดคราบเกลือ (Efflorescence) และมีความชื้นต่ำภายหลังการบ่ม ในทางปฏิบัติการบ่มแบบนี้เสียค่าใช้จ่ายสูงและใช้ได้กับคอนกรีตสำเร็จรูปเท่านั้น มีการใช้การบ่มนี้สำหรับผลิตภัณฑ์จำเพาะบางอย่าง เช่น แผ่นกระเบื้องซีเมนต์ใยหิน เป็นต้น

ในปี ค.ศ. 1960 Benjamin [8] ได้ศึกษาและสามารถผลิต Foam Concrete โดยใช้สารเคมีทำให้เกิดฟองก่อนแล้วจึงผสมกับคอนกรีต ปรากฏว่าคอนกรีตมีความหนาแน่น 0.79-0.95 กรัม/ซม.^{3} มีกำลังรับแรงอัด 3.6-52.7 กก./ซม.^{2} โดยมีการหดตัวที่ 180 วัน เท่ากับร้อยละ 0.2-0.6 มีคุณสมบัติเด่นคือ เป็นฉนวนกันความร้อนที่ดี สำหรับประเทศไทยได้ทำการค้นคว้าเรื่องนี้มาอย่างต่อเนื่องเช่นกัน โดยตั้งแต่ปี 2525 ถึงปัจจุบัน [9-23] และงานของผู้ดำเนินการวิจัยเองก็ได้ศึกษาในเรื่องของการทำคอนกรีตพรุนโดยวิธีการผสมผงอะลูมิเนียมและบ่มด้วยเครื่องอบไอน้ำความดันสูง [24] พบว่ากำลังอัดของคอนกรีตพรุนแปรผันตรงกับค่าความหนาแน่น และแปรผกผันกับปริมาณของผงอะลูมิเนียมและอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ ซึ่งความหนาแน่นที่ได้ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำและปริมาณของผงอะลูมิเนียมเป็นหลัก และที่อัตราส่วนระหว่างน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.55 ปริมาณผงอะลูมิเนียมร้อยละ 3 ปริมาณปูนขาว ร้อยละ 5 ปริมาณยิปซัมร้อยละ 3 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการศึกษาในครั้งนี้

ในปี ค.ศ. 1987 Ohama [25] ได้อธิบายการก่อตัวของคอนกรีตผสมน้ำยางไว้ว่า น้ำยางที่ใช้ผสมจะอยู่ในรูปของสารแขวนลอย (Emulsion) โดยอนุภาคของโพลิเมอร์จะแขวนลอยอยู่ในน้ำยางเหลว ซึ่งเมื่อผสมน้ำยางเข้ากับคอนกรีตแล้ว มีปฏิกิริยาเกิดขึ้น 2 ส่วน คือ 1) ปฏิกิริยาไฮเดรชันจากปูนซีเมนต์ผสมกับน้ำ และ 2) ปฏิกิริยาการก่อตัวเป็นฟิล์มที่เกิดจากอนุภาคของโพลิเมอร์มารวมตัวกัน (Coalesce) ซึ่งการก่อตัวของชั้นฟิล์มเสมือนเป็นเนื้อเดียวกันกับคอนกรีต ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นวัสดุประสานหรือตัวยึด (Binder) ระหว่างมวลรวมเข้าด้วยกันเป็นคอนกรีต ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ขั้นตอนการก่อตัวของชั้นฟิล์มจากน้ำยางในคอนกรีต [26]

สิทธิชัย ศิริพันธุ์ และคณะ [26] ได้ศึกษาการนำยางธรรมชาติมาใช้พัฒนางานคอนกรีต โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาเทคนิคการผสมน้ำยางในคอนกรีตอย่างเหมาะสม โดยพิจารณาถึงความสามารถเทได้ และกำลังรับแรงของคอนกรีตผสมน้ำยางในสัดส่วน P/C = 0.05, 0.10, 0.15, 0.20 และ 0.25 ตามลำดับ ส่วนผสมคอนกรีตใช้ปูนซีเมนต์: ทราย: หิน เป็น 1: 2: 4 โดยน้ำหนัก บ่มความชื้น 7 วัน ตามด้วยบ่มแห้งในอากาศที่อายุ 3, 7, 14 และ 28 วัน ตามลำดับ ผลการวิจัยพบว่า น้ำยางผสมกับคอนกรีตได้ด้วยการผสมสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ สัดส่วนร้อยละ 4 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ ด้านความสามารถเทได้พบว่า คอนกรีตจะยุบตัวแบบฮวบทั้งหมด ในด้านกำลังพบว่า คอนกรีตมีกำลังรับแรงอัดลดลงประมาณร้อยละ 60 และมีแนวโน้มลดลงตามปริมาณน้ำยางเพิ่มขึ้น โดยลักษณะการวิบัติ จะมีเส้นใยขนาดเล็กสีขาวยึดรั้งไว้ สำหรับกำลังรับแรงดัดพบว่าลดลงประมาณร้อยละ 10 ในแต่ละค่า P/C ที่เพิ่มขึ้น แต่เมื่อระยะเวลาการบ่มแห้งในอากาศเพิ่มขึ้นเป็น 14 และ 28 วัน ที่ P/C = 0.15 และ 0.20 กำลังรับแรงดัดของคอนกรีตจะสูงขึ้นมากกว่าคอนกรีตปกติ เนื่องจากอนุภาคเนื้อยางเกาะตัวกันเป็นชั้นฟิล์ม ที่แข็งแรงขึ้น จากผลการวิจัย เสนอแนะให้เลือกใช้ที่ W/C = 0.4 และ P/C = 0.15 ซึ่งจะได้กำลังรับแรงดัดมากกว่า 30 กก./ซม.^{2} ที่อายุบ่มแห้ง 14 วัน ขึ้นไป อย่างไรก็ตามยังไม่เหมาะกับงานโครงสร้างที่ต้องรับแรงอัด แต่อาจเหมาะกับงานซ่อมแซม เนื่องจากการยึดเหนี่ยวของน้ำยาง จะมีประโยชน์ในการเป็นตัวประสานกับคอนกรีตเดิม ทั้งนี้จึงควรศึกษาหาวิธีการพัฒนาคุณสมบัติด้านกำลังของคอนกรีตเพิ่มเติมเพื่อจะได้นำไปใช้งานในด้านอื่นเพิ่มมากขึ้น อีกทั้งควรศึกษาในด้านของคุณสมบัติการเป็นฉนวนกันความร้อนอีกด้วยว่าเหมาะสมกับการใช้งานหรือไม่

3. วิธีการวิจัย

3.1 วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

1) การเตรียมน้ำยางพาราโดยผสมสารรักษาสภาพน้ำยาง ซึ่งในการวิจัยนี้เลือกใช้สารแอมโมเนียเหลวเข้มข้นร้อยละ 15 ในสัดส่วนร้อยละ 3 ของน้ำหนักยาง [26]

2) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ตาม มอก. 15 เล่ม 1 [27]

3) ปูนขาวต้องเป็นไปตาม มอก. 319 [28]

4) ยิปซัม

5) ทรายบดละเอียดผ่านตะแกรงร่อนเบอร์ 100

6) สารเคมีที่ใช้ทำปฏิกิริยาคือผงอะลูมิเนียม

7) สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ

8) น้ำประปา

3.2 การกำหนดอัตราส่วนผสม

ในการทำวิจัยจะมีการทดลองผสมคอนกรีตมวลเบาเพื่อเลือกอัตราส่วนที่เหมาะในขั้นต้น แล้วจึงนำอัตราส่วน

นั้นมาทำการทดลองอย่างละเอียดในขั้นต่อไป โดยในการทดลองผสมพบว่าอัตราส่วนคงที่ของวัสดุที่เหมาะสมสำหรับการนำมากำหนดเป็นอัตราส่วนในการทดลองมีดังนี้

1) อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อทรายละเอียดเท่ากับ 1:1 โดยน้ำหนัก

2) ปริมาณผงอะลูมิเนียมเท่ากับร้อยละ 0.3 ของส่วนผสมทั้งหมด

3) อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.50 โดยน้ำหนัก (ไม่รวมน้ำหนักของน้ำในน้ำยางพารา)

4) ปริมาณปูนขาวเท่ากับร้อยละ 5 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์

5) ปริมาณยิปซัมเท่ากับร้อยละ 5 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์

6) การเตรียมน้ำยางพาราใช้สารแอมโมเนียเหลวเข้มข้นร้อยละ 15 ในสัดส่วนร้อยละ 3 ของน้ำหนักยาง

7) คอนกรีตต้องผสมสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ ปริมาณร้อยละ 4 ของน้ำหนักปูนซีเมนต์

จากอัตราส่วนข้างต้นการที่เลือกใช้ผงอะลูมิเนียมร้อยละ 0.3 เนื่องจากเมื่อใส่ผงอะลูมิเนียมในปริมาณน้อยจะทำให้เกิดฟองอากาศน้อยและช้าเกินไปทำให้ก้อนตัวอย่างหนักเกินไป และเมื่อใส่ผงอะลูมิเนียมในปริมาณมากจะทำให้เกิดฟองอากาศมากและเร็วเกินไปจนทำให้ก้อนตัวอย่างแตก และอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.50 เป็นอัตราส่วนที่เกิดการยุบตัวของก้อนตัวอย่างเนื่องจากน้ำยางน้อยที่สุด

กำหนดตัวแปรที่ศึกษาคือ ใช้อัตราส่วนน้ำยางพาราต่อปูนซีเมนต์ (P/C) เท่ากับ 0, 0.10, 0.15 และ 0.20 โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์

3.3 การเตรียมตัวอย่างคอนกรีตมวลเบา

1) ทำความสะอาดใบพายและหม้อของเครื่องมือผสมให้แห้งแล้วใส่น้ำ น้ำยาง และสารลดแรงตึงผิว ที่เตรียมไว้จากการตวงด้วยกระบอกตวงตามปริมาณที่กำหนด

2) ผสมปูนซีเมนต์ ผงอะลูมิเนียม ปูนขาว และยิปซัม คลุกเคล้าเข้ากันให้ทั่ว ตามอัตราส่วนที่กำหนด แล้วเทใส่ลงในหม้อผสมที่มีน้ำอยู่

3) เปิดเครื่องผสมโดยใช้ความเร็วต่ำ (140±รอบต่อนาที) เป็นเวลา 30 วินาที

4) ค่อยๆ เติมทรายที่เตรียมไว้ในปริมาณที่กำหนดลงในหม้อผสมอย่างช้าๆ จนหมด

5) ปรับความเร็วของเครื่องผสมให้อยู่ที่ระดับสูงสุด (285±10 รอบต่อนาที) เดินเครื่องผสมเป็นเวลา 30 วินาที

6) ปิดเครื่องผสมเป็นเวลา 1 นาที 30 วินาที ระหว่างนี้ก็ให้ขูดซีเมนต์ที่ติดอยู่ข้างๆ หม้อผสม และที่ใบพายให้มารวมอยู่ตรงกลาง ให้เสร็จภายใน 15 นาที แล้วนำภาชนะมาปิดหม้อผสมไว้จนครบเวลาตามที่กำหนดไว้

7) เปิดเครื่องผสมโดยใช้ระดับความเร็วสูง (285±10 รอบต่อนาที) เป็นเวลา 1 นาที เสร็จแล้วปิดเครื่องผสม นำส่วนผสมไปเทลงในแบบหล่อที่เตรียมไว้

8) นำส่วนผสมเทลงในแบบหล่อที่เตรียมไว้ โดยเทให้ส่วนผสมมีความสูงที่ระยะ 2 ใน 3 ของความสูงของแบบหล่อ ทั้งนี้ก็เพื่อเผื่อเอาไว้สำหรับการขยายตัวของชิ้นตัวอย่างคอนกรีตมวลเบา

3.4 การบ่มชิ้นตัวอย่างคอนกรีตมวลเบา

1) เมื่อชิ้นตัวอย่างคอนกรีตมวลเบาเริ่มเกิดการแข็งตัวพอประมาณหลังจากการหล่อ แล้วจึงทำการปาดแต่งผิวหน้า โดยใช้เส้นลวดตัดให้เรียบร้อย

2) ทำการถอดแบบหล่อ นำชิ้นตัวอย่างออกมาเขียนหมายเลขรหัสที่ชิ้นตัวอย่างให้เรียบร้อย

3) นำไปบ่มโดยใช้หม้ออบไอน้ำความดันสูงเป็นเวลา 8 ชั่วโมง

4) เมื่อครบกำหนดจึงนำชิ้นตัวอย่างออกมาจากหม้ออบ แล้วทำการบ่มต่อโดยใช้ถุงพลาสติกสีดำคลุมผูกปากถุงให้มิดชิด เพื่อป้องกันการระเหยของน้ำในเนื้อคอนกรีตมวลเบา

5) เมื่อครบกำหนดแล้ว ก่อนการทดสอบ 1 วัน จะเปิดปากถุง แล้วนำชิ้นตัวอย่างคอนกรีตมวลเบาออกมาวางในสภาพอากาศปกติ

6) นำชิ้นตัวอย่างคอนกรีตมวลเบาที่ได้ ไปทำการทดสอบต่อไป

3.5 การทดสอบชิ้นตัวอย่างคอนกรีตมวลเบา

1) การทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาตาม

มาตรฐาน มอก. 1505-2541 [29]

2) การทดสอบอัตราการดูดกลืนน้ำของคอนกรีตมวลเบาตามมาตรฐาน มอก. 1505-2541 [29]

3) การทดสอบกำลังดัดของคอนกรีตมวลเบาตามมาตรฐาน ASTM C 62-69 [30]

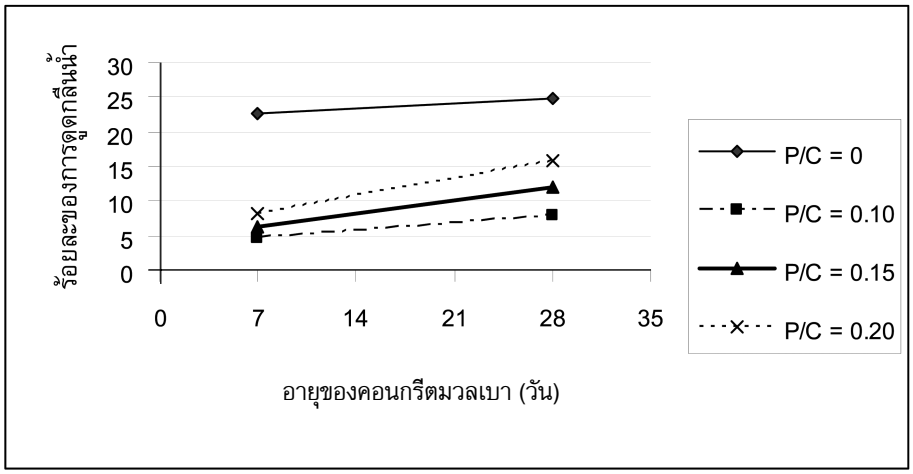
4) การทดสอบอัตราการเปลี่ยนแปลงความยาวของคอนกรีตมวลเบาตามมาตรฐาน มอก. 1505-2541 [29]

5) การทดสอบหาความหนาแน่นของคอนกรีตมวลเบาตามมาตรฐาน มอก. 1505-2541 [29]

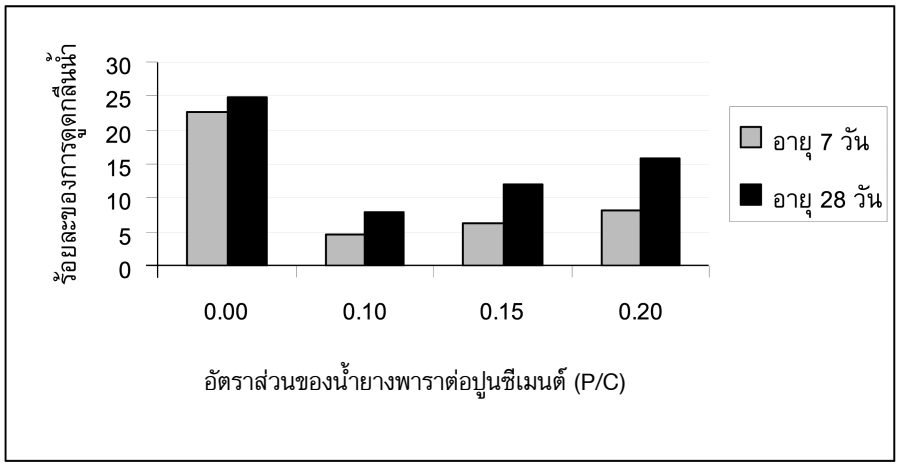
6) การทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของคอนกรีตมวลเบาตามมาตรฐาน ASTM C 177 [31] ที่กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

4. ผลการวิจัย

จากการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางกลของคอนกรีตมวลเบาผสมน้ำยางพาราแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ ได้ผลการทดสอบดังรูปที่ 2-8 และตารางที่ 1-2 ต่อไปนี้



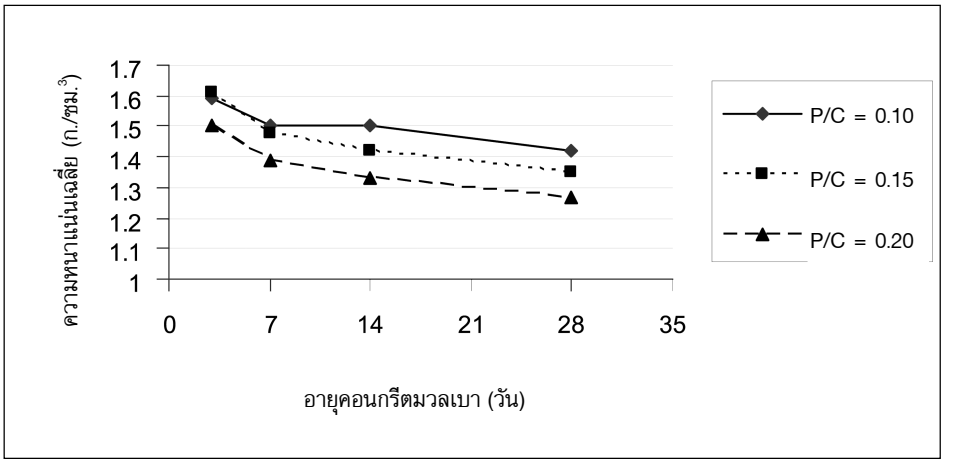
รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของการดูดกลืนน้ำและอายุของคอนกรีตมวลเบา



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของการดูดกลืนน้ำและอัตราส่วนของน้ำยางพาราต่อปูนซีเมนต์

4.1 ค่าเฉลี่ยการดูดกลืนน้ำของคอนกรีตมวลเบา

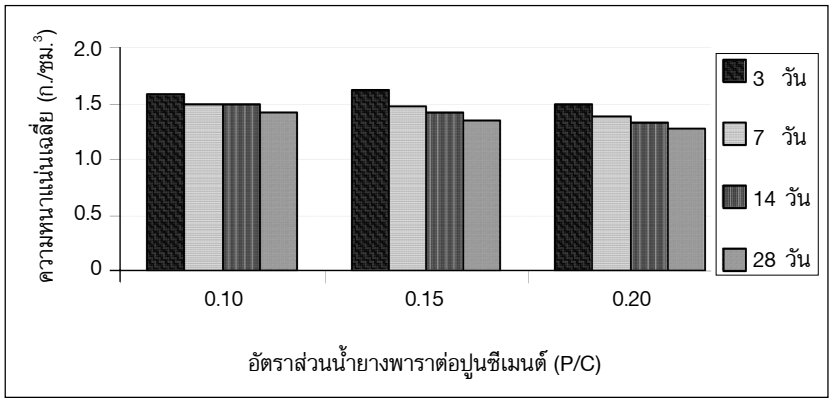
รูปที่ 2 และ 3 พบว่าที่อายุของคอนกรีตมวลเบา 7 วัน มีค่าร้อยละการดูดกลืนน้ำน้อยกว่าที่อายุ 28 วัน ในทุกอัตราส่วนผสม เนื่องจากที่อายุ 7 วัน ในเนื้อคอนกรีตยังมีน้ำผสมอยู่มากเพราะยังทำปฏิกิริยาไฮเดรชันกับปูนซีเมนต์และผงอะลูมิเนียมไม่หมด แต่เมื่อเวลาผ่านไปจนถึง 28 วัน ปูนซีเมนต์กับน้ำจะทำปฏิกิริยาไฮเดรชันจนสมบูรณ์ และน้ำก็จะทำปฏิกิริยากับผงอะลูมิเนียมจนหมด จึงทำให้เหลือฟองอากาศในเนื้อคอนกรีต เกิดความพรุนขึ้นจำนวนมาก ส่งผลให้คอนกรีตมีอัตราการดูดกลืนน้ำที่สูงขึ้น และจากกราฟจะเห็นว่าเมื่อไม่ผสมน้ำยางพาราเลย ค่าอัตราการดูดกลืนน้ำจะสูงมาก แต่เมื่อผสมน้ำยางพาราลงไปในคอนกรีตมวลเบาแล้วจะทำให้อัตราการดูดกลืนน้ำลดลง เนื่องจากยางพาราจะทำปฏิกิริยาการก่อตัวเป็นฟิล์มที่เกิดจากอนุภาคของโพลิเมอร์มารวมตัวกัน ซึ่งการก่อตัวของชั้นฟิล์มเสมือนเป็นเนื้อเดียวกันกับคอนกรีต ซึ่งทำหน้าที่เป็นวัสดุประสานหรือตัวยึดระหว่างมวลรวมเข้าด้วยกันเป็นคอนกรีต ทำให้คอนกรีตมวลเบามีเนื้อแน่นขึ้น ฟองอากาศน้อยลง น้ำซึมผ่านได้ยากขึ้น และเป็นที่น่าสังเกตว่าอัตราการดูดกลืนน้ำ ไม่ลดลงตามปริมาณน้ำยางพาราที่เพิ่มขึ้น แต่จะลดลงมากที่สุดที่อัตราส่วนน้ำยางพาราต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.10 และมีอัตราการดูดกลืนน้ำเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนน้ำยางพาราต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.15 และ 0.20 ตามลำดับ แสดงว่าค่าที่ดีที่สุดในการทดลองก็คืออัตราส่วนน้ำยางพาราต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.10 นั่นเอง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเมื่อผสมน้ำยางพาราในปริมาณมากเกินไปจะทำให้สารแอมโมเนียเหลวที่ผสมในน้ำยางร้อยละ 15 ในสัดส่วนร้อยละ 3 ของน้ำหนักยาง เพื่อรักษาเสถียรภาพน้ำยางนั้น ในขณะระหว่างขั้นตอนการผสมจะทำให้แอมโมเนียระเหยตัวออกอย่างรวดเร็ว ทำให้ปริมาณน้ำในคอนกรีตลดลงตามไปด้วย เมื่อคอนกรีตมวลเบาแห้งตัวจึงส่งผลให้อัตราการดูดกลืนน้ำมีค่าเพิ่มมากขึ้นดังกล่าว



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นเฉลี่ยและอายุคอนกรีตมวลเบา

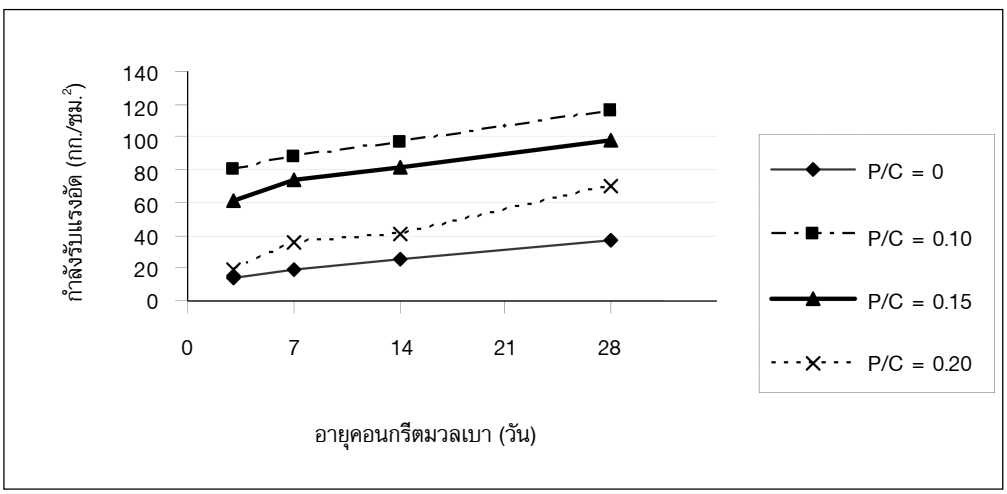
4.2 ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของคอนกรีตมวลเบา

รูปที่ 4 พบว่าค่าความหนาแน่นแปรผกผันกับอายุของคอนกรีตมวลเบา โดยที่เมื่อเริ่มแรกจะมีส่วนผสมทั้งปูนซีเมนต์ มวลรวมละเอียด ปูนขาว ยิปซัม ผงอะลูมิเนียม น้ำยางพารา และน้ำ เป็นส่วนผสมหลัก ซึ่งเมื่อผสมกันแล้วจะมีปฏิกิริยาเกิดขึ้นหลายอย่าง ทั้งการตกผลึกก่อตัวเป็นชั้นฟิล์มของอนุภาคน้ำยางพารา การที่ปริมาณน้ำส่วนหนึ่งถูกนำไปทำปฏิกิริยากับผงอะลูมิเนียมแล้วได้ฟองอากาศในเนื้อคอนกรีต และน้ำอีกส่วนหนึ่งได้ทำปฏิกิริยาไฮเดรชันกับปูนซีเมนต์ โดยที่เมื่อระยะเวลามากขึ้นปฏิกิริยาดังกล่าวก็จะยิ่งมีความสมบูรณ์มากขึ้น [32] ทำให้คอนกรีตมีความแห้งตัว น้ำหนักน้อยลง ส่งผลให้ความหนาแน่นของคอนกรีตมวลเบาน้อยลงตามไปด้วย

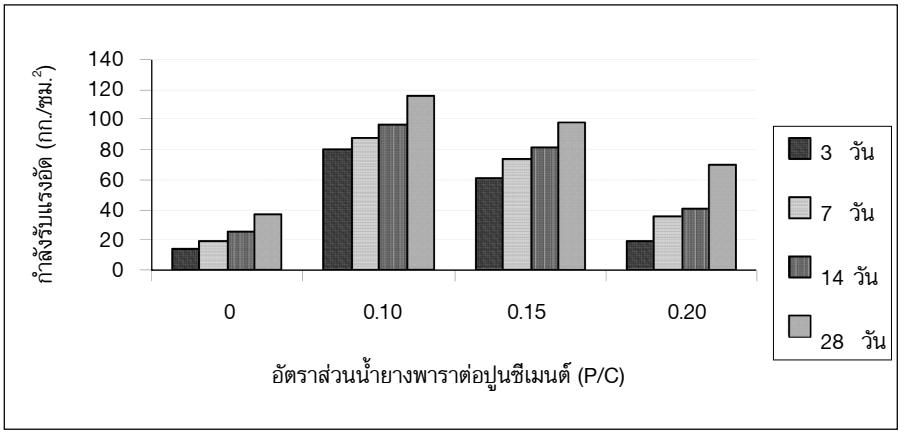


รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นเฉลี่ยและอัตราส่วนน้ำยางพาราต่อปูนซีเมนต์

รูปที่ 4 และ 5 พบว่าค่าความหนาแน่นเมื่อพิจารณาจากอัตราส่วนน้ำยางพาราต่อปูนซีเมนต์จะไม่แตกต่างกันในช่วง 3 วันแรก และที่อายุ 28 วัน มีค่าความหนาแน่นมากที่สุดที่อัตราส่วนน้ำยางพาราต่อปูนซีเมนต์ 0.10 รองลงไปเป็น 0.15 และ 0.20 ตามลำดับ เนื่องจากเมื่ออายุของคอนกรีตมากขึ้น และที่อัตราส่วนน้ำยางพาราต่อปูนซีเมนต์สูง แสดงว่ามีปริมาณของส่วนที่เป็นน้ำในน้ำยางพารามากตามไปด้วย (ส่วนประกอบของน้ำยางแบ่งเป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ เนื้อยางร้อยละ 35 น้ำร้อยละ 55 ลูทอยด์และสารอื่นๆ ร้อยละ 10 [33]) ดังนั้น น้ำที่อยู่ในน้ำยางพาราก็จะทำปฏิกิริยากับผงอะลูมิเนียมทำให้มีฟองอากาศในเนื้อคอนกรีตมากขึ้น ส่งผลให้ความหนาแน่นของคอนกรีตมวลเบาลดลงตามอัตราส่วนน้ำยางพาราต่อปูนซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้น



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดและอายุคอนกรีตมวลเบา



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดและอัตราส่วนน้ำยางพาราต่อปูนซีเมนต์

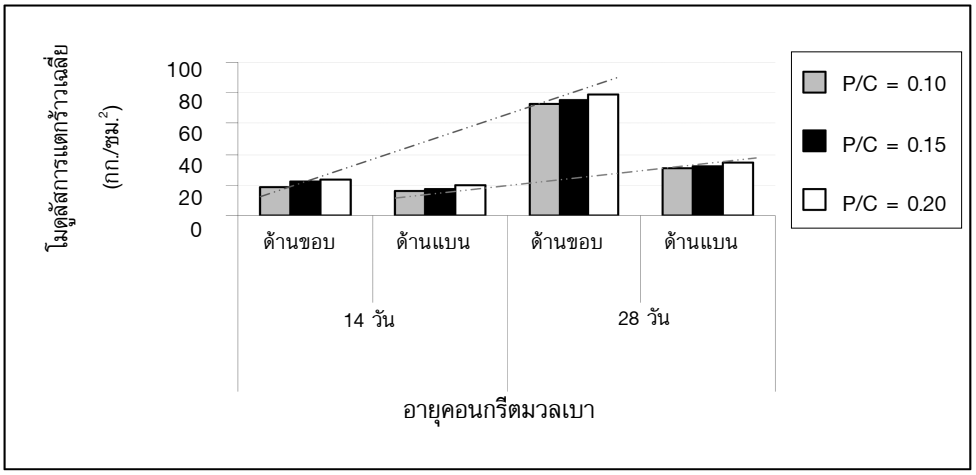
4.3 ค่ากำลังรับแรงอัดเฉลี่ยของคอนกรีตมวลเบา

รูปที่ 6 พบว่าค่ากำลังรับแรงอัดจะแปรผันตรงกับอายุคอนกรีตมวลเบา เมื่อคอนกรีตมวลเบามีอายุมากขึ้น ทำให้การรับกำลังอัดสูงขึ้น ซึ่งเป็นเหตุผลที่ต่อเนื่องมาจากรูปที่ 4 ที่ว่าค่าความหนาแน่นจะต่ำลงเมื่ออายุของคอนกรีตมวลเบามากขึ้น และเมื่อค่าความหนาแน่นน้อยคอนกรีตมีความแข็งแรงน้อยซึ่งส่งผลให้รับกำลังอัดได้ต่ำลงตามไปด้วย [34] และถ้าดูรูปที่ 3 เห็นได้ชัดเจนว่าเมื่อไม่ผสมน้ำยางพารา จะทำให้คอนกรีตมวลเบาดูดกลืนน้ำได้มากที่สุด นั่นย่อมแสดงว่าคอนกรีตมวลเบาที่ไม่ผสมน้ำยางพารามีความหนาแน่นต่ำมากจึงทำให้กำลังรับแรงอัดในรูปที่ 7 ต่ำกว่าส่วนผสมอื่นๆ

รูปที่ 7 พบว่าค่ากำลังรับแรงอัดแปรผกผันกับอัตราส่วนน้ำยางพาราต่อปูนซีเมนต์ โดยมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 115 กก./ซม.^{2} ที่อัตราส่วนน้ำยางพาราต่อปูนซีเมนต์ (P/C) เท่ากับ 0.10 รองลงไปเป็น 98 กก./ซม.^{2} และ 69 กก./ซม.^{2} ที่ค่า P/C เท่ากับ 0.15 และ 0.20 ตามลำดับ แต่ที่น่าสังเกตคือเมื่อไม่ผสมน้ำยางพาราหรือที่อัตราส่วนน้ำยางพาราต่อปูนซีเมนต์เท่ากับศูนย์ มีค่ากำลังอัดต่ำที่สุด ซึ่งเมื่อพิจารณาแล้วจะไม่เป็นไปตามแนวโน้มข้างต้น แสดงให้เห็นว่าเมื่อมีการผสมน้ำยางพาราลงในคอนกรีตมวลเบาทำให้สามารถรับกำลังได้มากขึ้น เนื่องจากน้ำยางพาราจะก่อตัวเป็นฟิล์มทำให้ช่วยรับแรงอัดได้ส่วนหนึ่ง อีกทั้งเมื่อผสมน้ำยางพาราแล้ว คอนกรีตมวลเบามีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น แต่ถ้าใส่น้ำยางพาราในปริมาณที่สูงขึ้นทำให้กำลังอัดลดลงเนื่องจากความหนาแน่นลดลง สรุปได้ว่าถ้าผสมน้ำยางพาราจะทำให้คอนกรีตมวลเบามีกำลังอัดเพิ่มขึ้นแต่ถ้าใส่มากเกินไปจะทำให้ค่ากำลังอัดมีแนวโน้มต่ำลง ซึ่งในการทดลองนี้ค่าอัตราส่วนน้ำยางพาราต่อปูนซีเมนต์ที่เหมาะสมสำหรับใช้พัฒนากำลังอัดคอนกรีตมวลเบาคือ 0.10

4.4 ค่ากำลังรับแรงดัด (โมดูลัสการแตกร้าว) เฉลี่ยของคอนกรีตมวลเบา

รูปที่ 8 พบว่าค่าโมดูลัสการแตกร้าวของคอนกรีตมวลเบาทางด้านขอบมีค่าสูงกว่าทางด้านแบน เนื่องจากมีความลึกของก้อนคอนกรีตมวลเบามากกว่า และค่าโมดูลัสการแตกร้าวจะสูงขึ้นเมื่ออายุของคอนกรีตมวลเบามากขึ้น และแปรผันตรงกับอัตราส่วนน้ำยางพาราต่อปูนซีเมนต์ นั่นเป็นผลมาจากการที่น้ำยางพาราเกิดปฏิกิริยาการก่อตัวเป็นฟิล์ม ที่เกิดจากอนุภาคของโพลิเมอร์มารวมตัวกัน การก่อตัวของชั้นฟิล์มเสมือนเป็นเนื้อเดียวกันกับคอนกรีต ซึ่งทำหน้าที่เป็นวัสดุประสานหรือตัวยึด เมื่อคอนกรีตมวลเบารับแรงดัดจากทางด้านบน ก้อนคอนกรีตมวลเบาจะเกิดการโก่งตัวลงทางด้านล่าง ทำให้เกิดแรงดึงออกทางด้านข้างตามแนวแกนนอน แผ่นฟิล์มของยางพาราที่อยู่ในคอนกรีตมวลเบาจึงทำหน้าที่เสมือนเป็นเส้นใยเสริมแรงช่วยต้านทานการรับแรงดึงในเนื้อคอนกรีต ส่งผลให้คอนกรีตมวลเบามีค่าโมดูลัสการแตกร้าวสูงขึ้น และเมื่อผสมน้ำยางพารามากขึ้น แผ่นฟิล์มก็จะเกิดมากขึ้น ทำให้กำลังดัดเพิ่มขึ้นตามไปด้วย



รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างโมดูลัสการแตกร้าวและอายุคอนกรีตมวลเบา

4.5 ค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงความยาวของคอนกรีตมวลเบา

ตารางที่ 1 พบว่าทุกตัวอย่างที่ทำการทดสอบมีค่าอัตราร้อยละการเปลี่ยนแปลงความยาวเกินร้อยละ 0.05 ซึ่งมากกว่ามาตรฐานของ มอก. 1505-2541 [29] ทั้งสิ้น โดยค่าที่ใกล้เคียงที่สุดคือร้อยละ 0.054 ที่อัตราส่วนน้ำยางพาราต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.20 แต่มีตัวอย่างหนึ่งของอัตราส่วน P/C เดียวกันที่มีค่ามากที่สุดเท่ากับร้อยละ 0.308 เมื่อพิจารณาโดยรวมแล้วแสดงว่าเมื่อผสมน้ำยางพาราลงไปในคอนกรีตมวลเบาจะทำให้ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงความยาวมากกว่ามาตรฐาน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการที่เกิดฟองอากาศที่ไม่สม่ำเสมอในเนื้อคอนกรีตหรือจากการที่ยางพารามีสมบัติในการยืดหดตัวได้สูง ซึ่งจะต้องทำการศึกษาเพื่อหาข้อสรุปและการแก้ไขปัญหาต่อไป

ตารางที่ 1 ค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงความยาวที่อายุคอนกรีตมวลเบา 28 วัน

อัตราส่วนน้ำยางพารา ต่อปูนซีเมนต์ (P/C)	ตัวอย่าง ที่	ความยาวเดิม (ซม.)	ความยาวใหม่ (ซม.)	ความยาวที่ เปลี่ยนแปลง (ซม.)	ร้อยละของความยาว ที่เปลี่ยนแปลงไป
0.10	1	29.5	29.479	0.021	0.071
	2	29.5	29.459	0.041	0.139
	3	29.5	29.459	0.041	0.139
0.15	1	29.5	29.457	0.043	0.146
	2	29.5	29.428	0.072	0.244
	3	29.5	29.447	0.053	0.180
0.20	1	29.5	29.484	0.016	0.054
	2	29.5	29.481	0.019	0.064
	3	29.5	29.409	0.091	0.308

4.6 ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของคอนกรีตมวลเบา

ตารางที่ 2 พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของคอนกรีตมวลเบาผสมน้ำยางพารามีค่าสูงกว่าคอนกรีตมวลเบาทั่วไปเล็กน้อย [35] โดยที่อัตราส่วนน้ำยางพาราต่อปูนซีเมนต์ 0.20 มีค่าสูงที่สุด รองลงไปเป็น 0.15 และ 0.10 ตามลำดับ แสดงว่าเมื่อผสมน้ำยางพาราในปริมาณน้อยจะทำให้คอนกรีตมวลเบามีคุณสมบัติการเป็นฉนวนกันความร้อนได้ดีกว่า ซึ่งขัดแย้งกับค่าความหนาแน่นของคอนกรีตมวลเบาที่จะสูงเมื่อผสมน้ำยางพาราในปริมาณน้อย เพราะตามปกติแล้ววัสดุที่มีความหนาแน่นสูงจะมีคุณสมบัติการเป็นฉนวนกันความร้อนที่ต่ำ (มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนสูง) [2] ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมากจากการที่เมื่อผสมน้ำยางพาราในปริมาณมากจะทำให้เกิดแผ่นฟิล์มเป็นจำนวนมากตามไปด้วย (แม้ว่าอัตราส่วนของน้ำที่มากขึ้นในน้ำยางจะทำให้ค่าความหนาแน่นของคอนกรีตมวลเบาน้อยลงก็ตาม) ซึ่งแผ่นฟิล์มนี้จะไปลดจำนวนของปริมาณฟองอากาศในคอนกรีตมวลเบาให้น้อยลง ทำให้มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่สูงขึ้น

ตารางที่ 2 ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของคอนกรีตมวลเบา

ตัวอย่างที่	อัตราส่วนน้ำยางพาราต่อปูนซีเมนต์	ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (วัตต์/เมตร.เคลวิน)	
		คอนกรีตมวลเบาที่ทดลอง	คอนกรีตมวลเบาปกติ
1	0.10	0.154	0.13
2	0.15	0.175	0.13
3	0.20	0.197	0.13

หมายเหตุ ผลการทดสอบจากกรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

5. สรุปผล

การนำยางพารามาผสมในคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ โดยใช้อัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ต่อทรายบดละเอียดเท่ากับ 1:1 โดยน้ำหนัก ปริมาณผงอะลูมิเนียมเท่ากับร้อยละ 0.3 ของส่วนผสมทั้งหมด อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.50 โดยน้ำหนัก (ไม่รวมน้ำหนักของน้ำในน้ำยางพารา) ปริมาณปูนขาวเท่ากับร้อยละ 5 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ และปริมาณยิปซัมเท่ากับร้อยละ 5 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ ในการเตรียมน้ำยางพาราใช้สารแอมโมเนียเหลวเข้มข้นร้อยละ 15 ในสัดส่วนร้อยละ 3 ของน้ำหนักยาง ผสมสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุในปริมาณร้อยละ 4 ของน้ำหนักปูนซีเมนต์ เมื่อนำมาทดสอบคุณสมบัติต่างๆ แล้ว พบว่าปริมาณน้ำยางพาราที่เหมาะสมที่สุดในการวิจัยครั้งนี้ คือ ใช้อัตราส่วนน้ำยางพาราต่อปูนซีเมนต์ 0.10 โดยน้ำหนัก ซึ่งมีคุณสมบัติดังนี้

(1) ค่ากำลังอัดเฉลี่ยที่อายุ 28 วันเท่ากับ 115 กก./ซม.^{2} (2) ค่าโมดูลัสการแตกร้าวเฉลี่ยที่อายุ 28 วัน ด้านขอบเท่ากับ 72 กก./ซม.^{2} และด้านแบนเท่ากับ 31 กก./ซม.^{2} (3) ค่าความหนาแน่นเฉลี่ยที่อายุ 28 วัน เท่ากับ 1.42 ซม.^{3} (4) ค่าการดูดกลืนน้ำเฉลี่ยที่อายุ 28 วัน เท่ากับร้อยละ 7.98 (5) ค่าการเปลี่ยนแปลงความยาว (ร้อยละการหดตัว) เท่ากับ 0.139 (6) ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนเท่ากับ 0.154 วัตต์/เมตร.องศาเคลวิน

ส่วนในด้านของเศรษฐศาสตร์เกี่ยวกับต้นทุนนั้น คอนกรีตมวลเบาผสมน้ำยางพาราจะมีกระบวนการผลิตเหมือนกันกับคอนกรีตมวลเบาจากโรงงานทั่วไป เพียงแต่เพิ่มน้ำยางพาราเข้ามาในส่วนผสม ดังนั้นราคาที่เพิ่มขึ้นจึงขึ้นอยู่กับราคาน้ำยางในขณะนั้นๆ ซึ่งหากใช้ราคาน้ำยางสูงสุด พ.ศ. 2549 ประมาณ 100 บาท จะมีค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นประมาณ 1-2 บาท ต่อคอนกรีตมวลเบา 1 ก้อน ซึ่งนับว่า เป็นราคาที่ไม่สูงมากนัก เมื่อเทียบกับคุณสมบัติทางด้านกำลังที่เพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตามในงานวิจัยครั้งต่อไปควรต้องคิดค้นวิธีการที่ทำให้คอนกรีตมวลเบาผสมยางพารามีน้ำหนักที่น้อยลงกว่าครั้งนี้

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัยภายใต้สัญญาเลขที่ RDG4950023 และ "กลุ่มทุนสนับสนุนการวิจัยเพื่อความพอเพียง" ที่ให้งบประมาณเพิ่มเติม

7. เอกสารอ้างอิง

1. ครรชิต เหลียงไพบูลย์, 2548, "ฉนวนป้องกันความร้อนกับผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม," *วารสารประสิทธิภาพพลังงาน*, ฉบับที่ 58.

2. สำนักส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน (สสอ.), 2548, "ฉนวนความร้อน," กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, กระทรวงพลังงาน, http://www2.dede.go.th.

3. เอกชัย พฤกษ์อำไพ, 2547, *คู่มือยางพารา,* เพ็ทแพล้น พับลิชชิ่ง, กรุงเทพฯ, 352 หน้า.

4. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.), 2548, "ประกาศการขอรับทุนโครงการวิจัยขนาดเล็กเรื่องยางพารา," โครงการวิจัยแห่งชาติ: ยางพารา ฝ่ายอุตสาหกรรม, 7 หน้า.

5. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.), 2548, "ประกาศรับข้อเสนอโครงการวิจัยยางพาราใหม่," http://www.trf.or.th.

6. ไกรวุฒิ แก้วมา, บัญชา คำวอน, และประชุม คำพุฒ, 2539, *คอนกรีตพรุนโดยวิธีผสมผงอลูมิเนียม,* วิทยานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ, หน้า 9-10.

7. เครือซีเมนต์ไทย, 2548, *ปูนซีเมนต์และการประยุกต์ใช้งาน,* บริษัทปูนซีเมนต์ไทยอุตสาหกรรม จำกัด, พิมพ์ครั้งที่ 2, กรุงเทพฯ, หน้า 248.

8. Benjamin, I.A., 1960, "Light Weight Concrete," *American Concrete Institute,* Detroit, Michigan.

9. จุกเกี๊ยก แซ่เลี่ยว, ราสกร วัฒนสุชาติ, และวัลลภ บุญญภพ, 2525, *คอนกรีตพรุน,* วิทยานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ.

10. จำรัส คงศิริ และ ดุสิต แสงเดือน, 2526, *การทำคอนกรีตมวลเบาโดยคอนกรีตพรุน,* วิทยานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ.

11. พรศักดิ์ วิรัชกุล, ไพรัตน์ ชีระวุฒิวัฒนวิทย์, รุ่งโรจน์ ตั้งทวีวิพัฒน์, วศิน ปริตโตทก, สมชาย พงศ์ขจรกิจการ, และสุริยน พัชรครุกานนท์, 2528, *คอนกรีตพรุน,* วิทยานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ.

12. เกียรตินันท์ เด่นไพศาล, พรชัย เดชะตากร, รุ่งเอง มังครักษ์, และสมหวัง หาญไพบูลย์, 2528, *คอนกรีตพรุน,* วิทยานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ.

13. ประพันธ์ เลาวะยากณต์, สมศักดิ์ นุชแดง, สมศักดิ์ สุรชัยพิทักษ์, และสรรเสริญ เจริญสุดใจ, 2529, *คอนกรีตพรุนโดยวิธีบ่มด้วยไอน้ำความสูง,* วิทยานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ.

14. ปรีดา ตั้งเกรียงกิจ, สุพรชัย อุทัยนฤมล, สุวิทย์ วีระตัณฑนะ, และองอาจ เจนจิตศิริ, 2532, *คอนกรีตพรุนโดยวิธีบ่มด้วยไอน้ำความดันสูง,* วิทยานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ.

15. เจริญฤทธิ์ กรรณะพาหุน, จิระพันธ์ บางท่าไม้, สมบัติ ฐาปนาธีระ, และประสิทธิ์ บัณฑรมงคล, 2533, *คอนกรีตพรุนโดยวิธีบ่มด้วยไอน้ำความดันสูง,* วิทยานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ.

16. ฉลองวุฒิ สุทธิปัญโญ, กิตติพงษ์ เคนหล้า, ประทวน มั่นคง, 2537, *การพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตพรุน,* วิทยานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ.

17. ชาญยุทธ สีแดง, อัมรินทร์ นันทะเสน, และเกศรินทร์ พิมรักษา, 2546, "การผลิตอิฐเบาชนิดไม่เผาจากดินเบาแหล่งลำปาง," *รวบรวมผลงานโครงงานที่ได้รับทุน IRPUS,* สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (ฝ่ายอุตสาหกรรม), พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพฯ, หน้า 172-173.

18. กัมปนาท บุญกัน, อภิสิทธิ์ พงษ์สวัสดิ์, สมจิต พฤฒิชัยวิบูลย์, และดนุพล ตันนโยภาส, 2544, "การพัฒนาผลิตภัณฑ์อิฐมวลเบา," *เอกสารการประชุมวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 7,* จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ, หน้า MAT-97 - MAT-102.

19. ชลิต วงศ์ประเสริฐสุข, ธิษัณย์ พฤทธิพงษ์, วีรพล เพชรานนท์, และบุญไชย สถิตมั่นในธรรม, 2544,

"สัดส่วนผสมในการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ ที่แทนที่ซีเมนต์บางส่วนด้วยเถ้าลอย," *โครงงานทางวิศวกรรมโยธา 2544,* ภาควิชาวิศวกรรมโยธา, คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ, หน้า 31-36.

20. กฤษฎา โรจน์ประสิทธิพร, อราวินท์ บริรักษ์อราวินท์, สุภัทรชัย สุดกล้า และปิติ สุคนธสุขกุล, 2547, "คุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบาผสมเส้นใยไมโครไฟเบอร์," *รวบรวมผลงานโครงงานที่ได้รับทุน IRPUS,* สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (ฝ่ายอุตสาหกรรม), พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพฯ, หน้า 174-175.

21. เลิศลักษณ์ รองปาน, อุทัย เพชรรอด, จรูญศักดิ์ ทิยา, จเร รัตนพันธุ์, และไพจิตร ผาวัน, 2547, "การศึกษาส่วนผสมของวัสดุเหลือใช้สำหรับงานผนังอาคาร," *รวบรวมผลงานโครงงานที่ได้รับทุน IRPUS,* สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (ฝ่ายอุตสาหกรรม), พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพฯ, หน้า 176-177.

22. โยธิน อึ่งกูล, จงจิตร์ หิรัญลาภ, ปัญญา ยอดโอวาท, และโจเซฟ เคดารี, 2548, "คุณสมบัติของความร้อนเฉื่อยของคอนกรีตมวลเบา," *เอกสารการประชุมวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 10,* ชลบุรี, หน้า MAT-144 - MAT-149.

23. โยธิน อึ่งกูล, จงจิตร์ หิรัญลาภ, ปัญญา ยอดโอวาท, และโจเซฟ เคดารี, 2548, "ศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติทางวิศวกรรมและคุณสมบัติทางความร้อนผนังคอนกรีตมวลเบาอบไอน้ำ," *เอกสารการประชุมวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 10,* ชลบุรี, หน้า MAT-138 - MAT-143.

24. ประชุม คำพุฒ, 2545, "คอนกรีตพรุนโดยวิธีผสมผงอะลูมิเนียม," *วารสารวิศวกรรมศาสตร์ราชมงคล,* ฉบับที่ 2, ปีที่ 1, หน้า 46-51.

25. Ohama, Y., 1987, "Principle of Latex Modification and Some Typical Properties of Latex-Modified Mortars and Concretes," *ACI Materials Journal,* Title No. 84-M45, pp. 511-518.

26. สิทธิชัย ศิริพันธุ์, พิทักษ์ บุญนุ่น, กิจถาวร โลหะ, และอนุรักษ์ กำเนิดวั้ำ, 2548, "การใช้ยางธรรมชาติเพื่อพัฒนางานคอนกรีต," *เอกสารการประชุมวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 10,* ชลบุรี, หน้า MAT-205 - MAT-210.

27. สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม, 2532, *มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เล่ม 1 ข้อกำหนดคุณภาพ (มอก.15 เล่ม 1-2532),* กระทรวงอุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ.

28. สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม, 2541, *มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมปูนไลม์อุตสาหกรรม (มอก. 319-2541),* กระทรวงอุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ.

29. สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม, 2541, *มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมชิ้นส่วนคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ (มอก.1505-2541),* กระทรวงอุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ.

30. American Society for Testing and Materials, 1996, "ASTM C 62-69: Standard Specification for Building Brick," *Annual Book of ASTM Standards,* Volume 04.02.

31. American Society for Testing and Materials, 2001, "ASTM C 177," *Annual Book of ASTM Standards,* Volume 04.02.

32. ปริญญา จินดาประเสริฐ และ ชัย จาตุรพิทักษ์กุล, 2549, *CEMENT, POZZOLAN AND CONCRETE,* บริษัทปูนซีเมนต์ไทยอุตสาหกรรม จำกัด, พิมพ์ครั้งพิเศษ, กรุงเทพฯ, 353 หน้า.

33. เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร์, 2548, *เทคโนโลยีของยาง,* ภาควิชาวัสดุศาสตร์, คณะวิทยาศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ, 180 หน้า.

34. ปริญญา จินดาประเสริฐ และ ชัย จาตุรพิทักษ์กุล, 2547, *ปูนซีเมนต์ ปอซโซลาน และคอนกรีต,* สมาคมคอนกรีตไทย (ส.ค.ท.), พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพฯ, 346 หน้า.

35. โครงการ การศึกษาสถานภาพการใช้พลังงานและแนวทางการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานในบ้านที่อยู่อาศัย, "ลักษณะและคุณสมบัติของวัสดุประกอบอาคาร," http://www.dede.go.th.