

การนำผลิตภัณฑ์ท่อโพลีไวนิลคลอไรด์ที่ใช้แล้วมาหมุนเวียนใช้ในงานซีเมนต์มอร์ต้า Application of Recycled PVC Pipes in Cement Mortar

ขวัญเนตร สมบัติสมภพ¹ ณัฐวุฒิ มณีวรรณ² พลสันต์ พุ่มใจศรี² และ สำเริง ชูทอง²

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำผลิตภัณฑ์โพลีไวนิลคลอไรด์ (Polyvinyl chloride, PVC) ที่ใช้แล้วมาหมุนเวียนใช้ในงานซีเมนต์มอร์ต้า เพื่อลดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมโดยเฉพาะอย่างยิ่ง ปัญหาขยะพลาสติกที่ย่อยสลายยาก โดยการนำเอาท่อโพลีไวนิลคลอไรด์สีฟ้าที่ใช้แล้วไปย่อยแล้วนำมาผสมแทนที่ทรายในอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 0 ถึง 40 เพื่อนำไปเป็นวัสดุผสมของชั้นงานทดสอบซีเมนต์มอร์ต้า จากนั้นนำไปบ่มในน้ำ 3-28 วัน ทำการทดสอบสมบัติทางกลและความเป็นฉนวนความร้อน ผลการทดลองพบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณโพลีไวนิลคลอไรด์ในชั้นงานความสามารถรับแรงอัดประลัยลดลงอย่างต่อเนื่อง สำหรับการทดสอบในด้านการรับแรงดึง พบว่าเมื่อเพิ่มส่วนผสมโพลีไวนิลคลอไรด์ในซีเมนต์มอร์ต้าที่ปริมาณร้อยละ 20 ชั้นงานทดสอบสามารถรับแรงดึงได้สูงสุด สำหรับการทดสอบการถ่ายเทความร้อนพบว่า เมื่อผสมโพลีไวนิลคลอไรด์เพิ่มมากขึ้นชั้นงานทดสอบซีเมนต์มอร์ต้ามีความสามารถในการเป็นฉนวนความร้อนที่ดีขึ้น นอกจากนี้ พบว่าการเพิ่มระยะเวลาบ่มซีเมนต์มอร์ต้า มีผลต่อการเพิ่มและปรับปรุงสมบัติทางกลและสมบัติความเป็นฉนวนความร้อนของชั้นงานซีเมนต์มอร์ต้าให้ดียิ่งขึ้น ผลการวิจัยจากบทความวิจัยนี้ให้ข้อเสนอแนะเบื้องต้นว่า การนำพลาสติกโพลีไวนิลคลอไรด์ที่ใช้งานแล้วกลับมาหมุนเวียนใช้ใหม่ในงานซีเมนต์มอร์ต้ามีความเป็นไปได้สูง

คำสำคัญ : ซีเมนต์มอร์ต้า, โพลีไวนิลคลอไรด์, การหมุนเวียนใช้ใหม่, สมบัติทางกล

Abstract

This work intended to incorporate recycled blue poly (vinyl chloride) (PVC) pipes, in form of granulated particles, into cement mortar in order to minimize the volume of plastic waste. The recycled PVC blue pipes were granulated and used to replace the sand content, ranging from 0 to 40% by weight, in the cement mortar, in order to produce mortar samples. Various water-curing times from 3 – 28 days were used and the mechanical and thermal insulation properties of the mortar-PVC composites were then evaluated. It was found that increasing PVC content resulted in a progressive reduction in the compressive strength. For tensile strength, PVC loading at 20% in cement mortar gave a maximum tensile strength. The cement mortar with PVC recyclates had better thermal insulation than that without recycled PVC. Finally, it was found that increasing the curing time improved the mechanical and thermal insulation properties of the cement mortar composites. The preliminary results in this work have shown that the use of PVC recyclates in cement mortar was possible.

Keywords : Cement mortar, poly (vinyl chloride), recycling, mechanical properties

¹ อาจารย์, ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม, วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

² นักศึกษา, ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม, วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

1. บทนำ

ทุกวันนี้พลาสติกได้เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันเป็นอย่างมาก พลาสติกเข้ามาทดแทนวัสดุธรรมชาติเกือบทุกชนิดที่เคยใช้ สร้างความสะดวกสบายให้แก่มนุษย์ แต่ปัญหาใหญ่ของพลาสติกที่ทั่วโลกกำลังประสบอยู่ในปัจจุบันคือ ขยะพลาสติก เนื่องจากพลาสติกเป็นวัสดุที่ย่อยสลายยากต้องใช้เวลานานเป็นร้อยๆ ปี ปัญหาขยะล้นเมืองจึงไม่ใช่เรื่องใหม่ที่เพิ่งเกิดขึ้นผลกระทบของมันต่อสภาพแวดล้อมได้ทวีความรุนแรงขึ้นเรื่อยๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งทุกวันนี้คนไทยกว่า 60 ล้านคนสามารถสร้างขยะได้มากถึง 14 ล้านตันต่อปี แต่ความสามารถในการจัดเก็บขยะกลับไม่มีถึงร้อยละ 70 ของขยะที่เกิดขึ้น [1] จึงทำให้เกิดปริมาณขยะตกค้างตามที่ต่างๆ หรือมีการนำไปกำจัดอย่างไม่ถูกต้องตามหลักสุขาภิบาลก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อม คือ อากาศเสีย น้ำเสีย แหล่งพาทะน้ำโรค เหตุรำคาญและความไม่น่าดู

โพลีไวนิลคลอไรด์หรือพีวีซี (Polyvinyl chloride, PVC) เป็นวัสดุสังเคราะห์ ที่มีการนำมาใช้ประโยชน์มากในชีวิตประจำวัน เช่น อุปกรณ์บรรจุภัณฑ์อาหาร ท่อประปา ฉนวนและปลอกหุ้มสายไฟฟ้า เฟอร์นิเจอร์ อุปกรณ์การแพทย์ เป็นต้น [2] จากการสำรวจตลาดโลกพบว่าในปี พ.ศ. 2539 อุตสาหกรรมการผลิตด้านการบรรจุภัณฑ์และหีบห่อมีปริมาณร้อยละ 42 ของปริมาณการผลิตทั้งหมด [3] ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2500 บรรจุภัณฑ์เกือบทุกประเภท มีส่วนประกอบของพลาสติกโดยเฉพาะอย่างยิ่ง บรรจุภัณฑ์อาหารทำมาจากพลาสติกมากกว่าร้อยละ 60 และพบว่าปริมาณของเสียทั้งหมดเป็นขยะพลาสติกถึงร้อยละ 10 ซึ่งขยะที่เป็นพลาสติกนั้นคิดเป็นพลาสติกโพลีไวนิลคลอไรด์ถึงร้อยละ 40 ของขยะพลาสติกทั้งหมด [1] ซึ่งของเสียพลาสติกเหล่านี้จะถูกนำไปฝังกลบหรือถมที่ (Landfill) ซึ่งจะกลายเป็นขยะที่ถูกสะสมอยู่ใต้ดินเป็นจำนวนมาก ขยะพลาสติกบางส่วนถูกนำไปเผาซึ่งทำให้เกิดการกระจายของไอระเหยของไฮโดรเจนคลอไรด์ (Hydrogen Chloride, HCl) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และสารประกอบอินทรีย์อื่นๆ [2] เมื่อปล่อยออกมาปะปนกับบรรยากาศ จะเพิ่มความเป็นกรดให้กับบรรยากาศก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพ นอกจากนี้ พบว่ามีการใช้งานโพลีไวนิลคลอไรด์อย่างแพร่หลายในงานด้านโยธาและอุตสาหกรรมก่อสร้าง โดยเฉพาะการนำโพลีไวนิลคลอไรด์มาผลิตเป็นท่อเพื่อใช้งานทางด้านสุขาภิบาล [4] เมื่อท่อโพลีไวนิลคลอไรด์ถูกใช้ไปช่วงเวลาหนึ่งก็จะเกิดการชำรุดเสียหายกลายเป็นขยะที่ไม่มีประโยชน์ โพลีไวนิลคลอไรด์ไม่ใช่วัสดุที่สลายตัวได้ตามธรรมชาติ (เนื่องจากถูกออกแบบมาให้ใช้งานได้ทนทาน) ในอุตสาหกรรมก่อสร้างมีเพียงส่วนน้อยเท่านั้นที่มีอายุการใช้งานสั้น ทำให้ยากแก่การทำลายจึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะหาวิธีที่จะนำวัสดุท่อโพลีไวนิลคลอไรด์ที่ใช้แล้วนำกลับมาใช้ใหม่

จากการสืบค้นเอกสารงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่า มีนักวิจัยให้ความสนใจกับการนำผลิตภัณฑ์โพลีไวนิลคลอไรด์กลับมาหมุนเวียนใช้ใหม่กันอย่างกว้างขวาง ตัวอย่างเช่น Summers et al. [5] ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำกลับมาใช้ใหม่ของผลิตภัณฑ์โพลีไวนิลคลอไรด์พบว่า ผลิตภัณฑ์โพลีไวนิลคลอไรด์สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ ในรูปของผลิตภัณฑ์ขวดพลาสติก ท่อน้ำทิ้ง ข้อต่อสำหรับท่อน้ำทิ้ง อย่างมี

คุณสมบัติที่ดี Thongsang et al. [6] ศึกษาการนำวัสดุพีวีซีที่ผ่านการใช้งานแล้วกลับมาหมุนเวียนใช้ใหม่ โดยนำทั้งพีวีซีชนิดแข็งคือ ท่อร้อยสายไฟและขวดแชมพูพีวีซีชนิดอ่อน คือ ปกพลาสติก เติมน้ำมันพีวีซีโพรบิรสุทรีในอัตราส่วนร้อยละ 0-100 โดยน้ำหนัก และขึ้นรูปที่อุณหภูมิการผสมต่างๆ นำไปทดสอบสมบัติทางกลและทางกายภาพ จากการทดลองพบว่าสามารถขึ้นรูปพีวีซีโพรบิรที่มีการเติมน้ำมันพีวีซีได้ในช่วงร้อยละ 0-60 โดยน้ำหนัก การเติมน้ำมันพีวีซีโพรบิรมากเกินไปส่งผลให้มีความสามารถในการทนแรงกระแทก ทนแรงดัด และความแข็งแรงเพิ่มขึ้น สำหรับการนำขวดแชมพูขึ้นรูปเป็นโพรบิรแข็งเกร็ง พบว่า สามารถขึ้นรูปพีวีซีโพรบิรที่มีการเติมขวดแชมพูได้ในช่วงร้อยละ 0-60 โดยน้ำหนัก การเติมขวดแชมพูมากเกินไปส่งผลต่อสมบัติทางกายภาพและทางกล ยกเว้นความทนแรงกระแทกเพิ่มขึ้นและความแข็งแรงลดลงเล็กน้อย ส่วนการนำปกพลาสติกขึ้นรูปโพรบิรอ่อน พบว่าสามารถขึ้นรูปพีวีซีโพรบิรที่มีการเติมปกพลาสติกได้ในช่วงร้อยละ 0-100 โดยน้ำหนัก การเติมปกพลาสติกเพิ่มขึ้นส่งผลต่อสมบัติทางกลด้านความทนแรงดึงและความแข็งแรงลดลง Thomas and Quirk [7] พบว่า ขวดพีวีซีที่นำกลับมาใช้ใหม่ สามารถถูกใช้ในรูปแบบของโพรบิรพีวีซีและถูกอัดรีดเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีรูปร่างไม่สมมาตรได้ โดยสมบัติทางกลไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากเม็ดพีวีซีใหม่

สำหรับงานด้านโยธาและการก่อสร้าง คอนกรีตจัดเป็นวัสดุที่นิยมมากที่สุดในการนำมาสร้างเป็นอาคาร ที่พักอาศัย สำนักงาน ฯลฯ มีคุณสมบัติที่แข็งแรง สามารถหล่อให้เป็นรูปแบบต่างๆ ได้ง่าย และสามารถรับน้ำหนักได้มาก โครงสร้างของคอนกรีตที่เห็นอยู่ทั่วไป ได้แก่ พื้น คาน เสาของอาคาร พื้นถนน ท่อระบายน้ำ เป็นต้น เมื่อพิจารณาถึงองค์ประกอบของเนื้อคอนกรีตสามารถแยกได้เป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ ซีเมนต์เพสต์ (Cement Paste) และวัสดุผสม (Aggregates) คอนกรีตโดยทั่วไปจะมีปริมาตรของวัสดุผสมประมาณร้อยละ 60 ถึง 80 [8] จะเห็นได้ว่าวัสดุผสมนั้นมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อคุณภาพและราคาของคอนกรีต มีงานวิจัยบางส่วนที่ทำการศึกษาโดยใช้วัสดุอื่นๆ มาแทนที่วัสดุผสม Kiattikomol et al. [9] ศึกษาสมบัติของเถ้านหิน จาก 5 แห่ง ในประเทศไทยซึ่งมีรูปร่าง ขนาด องค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกัน โดยเถ้านหินที่ใช้มีขนาดระหว่าง 1.9-17.2 ไมครอน โดยทำการทดสอบสมบัติทางด้านกายภาพและเคมีของปอดแลนด์ซีเมนต์กับเถ้านหิน ซีเมนต์มอร์ต้าถูกแทนที่ด้วยปอดแลนด์ซีเมนต์กับเถ้านหิน ร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก ทำการเปรียบเทียบกำลังอัดประลัยของซีเมนต์มอร์ต้าที่มีส่วนผสมเถ้านหินกับมอร์ต้ามาตรฐาน จากการทดลองพบว่า กำลังอัดประลัยของชิ้นงานทดสอบเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความละเอียดของเถ้านหิน การรับกำลังอัดของซีเมนต์ มอร์ต้าที่ระยะเวลาบ่ม 7 และ 28 วัน อยู่ในช่วงร้อยละ 69-82 และ ร้อยละ 76-90 ตามลำดับ เมื่อความละเอียดของเถ้านหินมีขนาดเล็กกว่า 9 ไมครอน ค่าการรับแรงเพิ่มขึ้นกว่าร้อยละ 100 ที่ระยะเวลาบ่ม 28 วัน ปิติศานต์ [10] ศึกษาส่วนผสมของกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้านหินเพื่อนำมาใช้งานคอนกรีต พบว่า กำลังของมอร์ต้าเมื่อใช้กากแคลเซียมคาร์ไบด์ผสมกับเถ้านหิน ให้กำลังอัดที่ดีที่สุด เมื่อใช้ปริมาณกากแคลเซียมคาร์ไบด์ ร้อยละ 30 และเถ้านหินร้อยละ 70 ซึ่งมีค่ากำลังอัดเท่ากับ

209 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 36 ของกำลังอัดมอร์ต้ามาตรฐาน

จะเห็นได้ว่า ข้อมูลการวิจัยในการนำโพลิไวนิลคลอไรด์มาประยุกต์ใช้ในงานด้านโยธาและก่อสร้างแทนวัสดุผสมยังมีไม่มากนัก ในงานวิจัยนี้ ทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำท่อโพลิไวนิลคลอไรด์สีฟ้าที่ใช้แล้วมาหมุนเวียนใช้ใหม่ในงานซีเมนต์มอร์ต้า โดยศึกษาความสามารถในการรับกำลังอัด ความสามารถในการรับแรงดึง และความเป็นฉนวนกันความร้อนของซีเมนต์มอร์ต้าที่มีส่วนผสมของพลาสติกโพลิไวนิลคลอไรด์ที่ใช้แล้ว การนำวัสดุที่ใช้แล้วกลับมาหมุนเวียนใช้ใหม่สามารถลดปริมาณการใช้วัสดุหรือสารตั้งต้นบริสุทธิ์ได้ลดปริมาณของเสียที่ใช้ประโยชน์แล้วอันจะส่งผลให้เกิดการลดต้นทุนและพลังงานที่จะใช้ในการกำจัดของเสีย เช่น การขนย้ายในระหว่างการกำจัด การเผา หรือถมดิน จากเหตุผลข้างต้นส่งผลให้เกิดการลดปริมาณมลพิษและยังช่วยอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม และในทางวิชาการอาจทำให้เกิดการพัฒนาวัสดุชนิดใหม่เพื่อมาใช้ในการก่อสร้าง

2. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

2.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

- ทราย เป็นทรายที่ได้มาจากแหล่งน้ำจืด ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 20 ค้างบนตะแกรงเบอร์ 30
- น้ำ (น้ำประปา)
- ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1
- โพลิไวนิลคลอไรด์ เป็นวัสดุที่ได้มาจากท่อโพลิไวนิลคลอไรด์สีฟ้าที่ผ่านการใช้งานแล้วนำไปย่อยด้วยเครื่องบดพลาสติก (Granulator) รุ่น 2835 ของบริษัทยูเนี่ยนไทย โพลีพลาสติก จำกัด (ประเทศไทย) แล้วร่อนผ่านตะแกรง No.4 ค้างบนตะแกรง No.10

2.2 การผสมซีเมนต์มอร์ต้า

การผสมซีเมนต์มอร์ต้าใช้เครื่องผสม (Mechanical Mixer) ยี่ห้อ HOBART เป็นเครื่องผสมที่ใช้ไฟฟ้าความเร็วของใบพายระดับต่ำหมุนด้วยความเร็ว 140 ± 5 รอบ/นาที และระดับสูงสุดหมุนด้วยความเร็ว 285 ± 5 รอบ/นาที ขั้นตอนการผสมทำตามมาตรฐาน ASTM C-190 [11]

2.3 การทดสอบกำลังอัดของซีเมนต์มอร์ต้า

การทดสอบกำลังอัดของซีเมนต์มอร์ต้า ใช้แบบหล่อมาตรฐานของชิ้นงานทดสอบรับกำลังอัด (Cement Cube Mold) ขนาด $50 \times 50 \times 50$ มิลลิเมตร และใช้เครื่องทดสอบกำลังอัด (Mechanical Compression) ยี่ห้อ SATEC รุ่น MKIV 400 HVL (ประเทศสหรัฐอเมริกา)

2.3.1 การเตรียมชิ้นงานเพื่อทดสอบกำลังอัด

หลังจากการทำการผสมซีเมนต์มอร์ต้าตามมาตรฐานแล้ว ในการทดสอบการรับกำลังอัดนั้นจะใช้อัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ต่อทรายเท่ากับ 1:2.75 (อัตราส่วนโดยน้ำหนัก/น้ำหนัก: w/w) โดยใช้ปริมาณน้ำต่อ

ปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.485 และจะเติม โพลิไวนิลคลอไรด์ไปแทนที่ทราย โดยน้ำหนักคิดเป็นร้อยละ 0-40 ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 อัตราส่วนผสมของตัวอย่างทดสอบรับกำลังอัด

PVC content (%)	Portland cement (g)	Sand (g)	Water (g)	PVC (g)
0	250	687.5	121.3	0.0
5	250	653.1	121.3	34.4
10	250	618.8	121.3	68.4
20	250	550.0	121.3	137.5
30	250	481.3	121.3	206.2
40	250	412.5	121.3	275.0

2.3.2 การคำนวณค่ากำลังอัด

การคำนวณค่ากำลังอัดทำการบันทึกค่าแรงอัดสูงสุดที่อ่านได้จากเครื่องทดสอบ คำนวณหาค่ากำลังอัดเป็น กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ดังแสดงในสมการที่ (1)

$$f_a = \frac{P}{A} \quad (1)$$

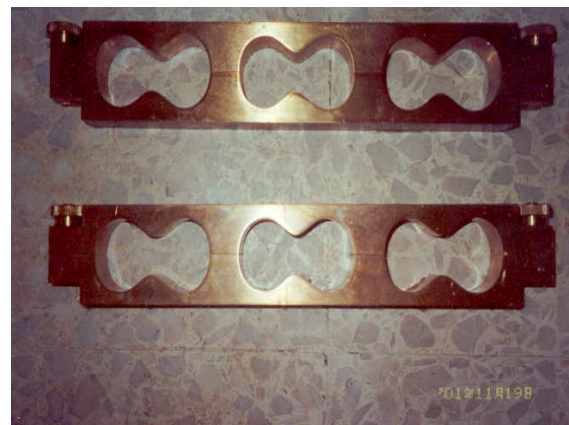
โดยที่ f_a คือ กำลังอัดประลัย (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)

P คือ แรงอัดประลัย (กิโลกรัม)

A คือ พื้นที่หน้าตัดของชิ้นงาน (ตารางเซนติเมตร)

2.4 การทดสอบความต้านทานแรงดึงของซีเมนต์มอร์ต้า

การทดสอบความต้านทานแรงดึงของซีเมนต์มอร์ต้าใช้เครื่องทดสอบกำลังดึง (Automatic Flexure/Tension Machine) รุ่น WF 59605 โดยใช้แบบหล่อบริเคท์ ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 แบบหล่อบริเคท์

2.4.1 การเตรียมชิ้นงานเพื่อทดสอบความต้านทานแรงดึง

ในการทดสอบความต้านทานแรงดึงนั้นจะใช้อัตราส่วนผสมซีเมนต์ต่อน้ำหนักทรายเท่ากับ 1:3 โดยจะใช้ปริมาณน้ำร้อยละ 10.72 ของน้ำหนักปูนซีเมนต์และวัสดุผสม โดยจะเติมโพลิไวนิลคลอไรด์เข้าไปแทนที่โดยน้ำหนักของทรายคิดเป็นร้อยละ 0-40 ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 อัตราส่วนผสมของตัวอย่างทดสอบความต้านทานแรงดึง

PVC content (%)	Portland cement (g)	Sand (g)	Water (g)	PVC (g)
0	300	900	128.6	0
5	300	855	128.6	45
10	300	810	128.6	90
20	300	720	128.6	180
30	300	630	128.6	270
40	300	540	128.6	360

2.4.2 การคำนวณค่ากำลังดึง

การคำนวณค่ากำลังดึงจะนำค่าแรงดึงสูงสุดที่อ่านได้จากเครื่องทดสอบความต้านทานแรงดึง มาคำนวณหาความต้านทานแรงดึง เป็น กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร จากสมการที่ (2)

$$f_t = \frac{P}{A} \quad (2)$$

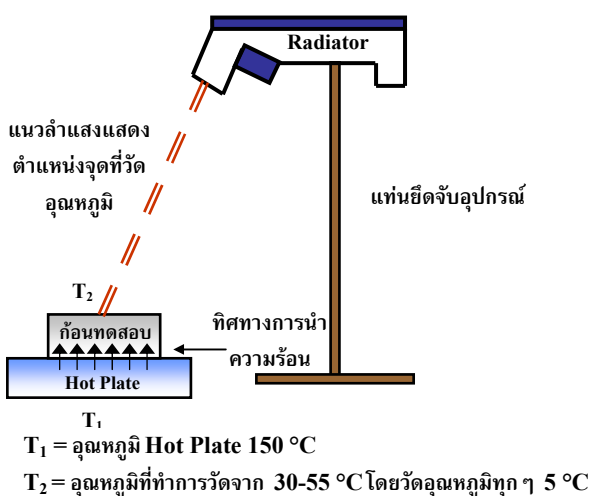
โดยที่ f_t คือ แรงดึงประลัย (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)

P คือ แรงอัดประลัย (กิโลกรัม)

A คือ พื้นที่หน้าตัดของชิ้นงาน (ตารางเซนติเมตร)

2.5 การทดสอบความเป็นฉนวนความร้อน

ในงานวิจัยนี้ ได้ทำการออกแบบการทดสอบสมบัติความเป็นฉนวนความร้อนของวัสดุผสมซีเมนต์มอร์ต้าและโพลีไวนิลคลอไรด์ เพื่อให้สอดคล้องกับสภาพการใช้งานจริงของชิ้นงานทดสอบซีเมนต์มอร์ต้า โดยยินยอมให้มีการรับและถ่ายเทความร้อนในขณะเดียวกัน ดังนั้น การทดสอบสมบัติความเป็นฉนวนความร้อนนี้จึงไม่อ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM C-177 โดยในการทดสอบได้ทำการหล่อชิ้นงานทดสอบขนาด 10x10x2.5 เซนติเมตร และทำการให้ความร้อนแก่ชิ้นงานทดสอบโดยใช้แผ่นให้ความร้อนไฟฟ้า (Hot Plate) และทำการตรวจวัดอุณหภูมิของชิ้นงานทดสอบโดยใช้เครื่องวัดอุณหภูมิแบบเรดิเอเตอร์ (Radiator) ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 การทดสอบความเป็นฉนวนความร้อน

2.5.1 การเตรียมชิ้นงานเพื่อทดสอบสมบัติความเป็นฉนวนความร้อน

การทดสอบสมบัติความเป็นฉนวนความร้อนจะใช้อัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ต่อทรายเท่ากับ 1: 2.75 (อัตราส่วนผสมโดยน้ำหนัก/น้ำหนัก: w/w) โดยจะใช้อัตราส่วนผสมน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.485 โดยจะเลือกใช้ปริมาณโพลีไวนิลคลอไรด์เข้าไปแทนที่โดยน้ำหนักของทรายคิดเป็นร้อยละ 0 20 และ 40 ซึ่งเป็นช่วงที่กำหนดให้ไม่มีปริมาณโพลีไวนิลคลอไรด์ มีปานกลางและมีมากที่สุดตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 อัตราส่วนผสมของตัวอย่างทดสอบการเป็นฉนวนความร้อน

PVC content (%)	Portland cement (g)	Sand (g)	Water (g)	PVC (g)
0	500	1375	242.5	0
20	500	1100	242.5	275
40	500	825	242.5	550

2.5.2 ขั้นตอนการทดสอบความเป็นฉนวนความร้อน

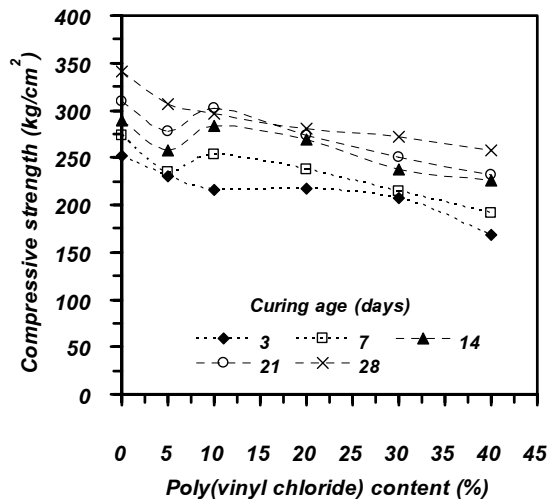
ขั้นตอนการทำการเริ่มจากการทำความสะอาดแบบหล่อชิ้นงานทดสอบ แล้วทาสีน้ำมันบาง ๆ ที่ผิวภายในแบบหล่อ จากนั้นหล่อซีเมนต์มอร์ต้าลงในแบบหล่อชิ้นงานทดสอบ และทำให้เสร็จภายในเวลา 3 นาที โดยใส่ซีเมนต์มอร์ต้าลงในแบบหล่อเป็น 3 ชั้น โดยใส่ทีละชั้นแล้วทำการกระทุ้งด้วยแท่งกระทุ้งทีละชั้น ชั้นละ 32 ครั้ง เมื่อกระทุ้งเสร็จแล้ว ให้ใช้เกรียงปาดซีเมนต์มอร์ต้าที่ล้นขอบแบบออกมาให้เรียบเสมอกับแบบหล่อ หลังจากหล่อชิ้นงานเสร็จเรียบร้อยแล้ว ให้เก็บชิ้นงานไว้ในห้องที่มีอุณหภูมิคงที่เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำชิ้นงานไปแช่น้ำเป็นเวลา 3-28 วัน จากนั้นนำไปทดสอบสมบัติความเป็นฉนวนความร้อน โดยทำเครื่องหมายบนชิ้นงานทดสอบตรงจุดกึ่งกลางชิ้นงานทดสอบที่จะทำการวัดอุณหภูมิและวางชิ้นงานทดสอบบนแผ่นให้ความร้อน จากนั้นเปิดเครื่อง ให้ความร้อนไฟฟ้า โดยตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 150 องศาเซลเซียส นำเครื่องวัดอุณหภูมิไปยึดติดกับแท่นยึดอุปกรณ์ โดยให้เครื่องวัดอุณหภูมิห่างจากชิ้นงานทดสอบด้านบน 15 เซนติเมตร จากนั้นตั้งให้ลำแสงกำหนดจุดวัดอุณหภูมิยิงลงไปที่ยึดกึ่งกลางของชิ้นงานที่ทำเครื่องหมายไว้ เริ่มจับเวลาเมื่ออุณหภูมิขึ้นจนถึง 30 องศาเซลเซียส และทำการจดบันทึกเวลาที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นทุก ๆ 5 องศาเซลเซียส จนอุณหภูมิขึ้นสูงถึง 55 องศาเซลเซียส จากนั้นทำการแสดงผลโดยการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ไปกับอุณหภูมิของชิ้นงานทดสอบที่เปลี่ยนแปลงไป

3 ผลการทดลองและวิจารณ์

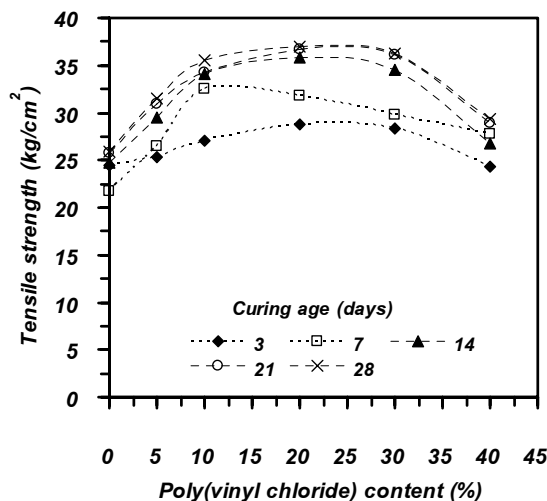
3.1 ผลการทดสอบกำลังอัดประลัยและกำลังรับแรงดึงของชิ้นงานทดสอบซีเมนต์มอร์ต้า

รูปที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโพลีไวนิลคลอไรด์ในซีเมนต์มอร์ต้ากับกำลังอัดประลัย จะเห็นได้ว่าชิ้นงานทดสอบที่ไม่มีส่วนผสมของโพลีไวนิลคลอไรด์อยู่สามารถรับกำลังอัดประลัยได้สูงสุด (340 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร) และเมื่อเพิ่มร้อยละของโพลีไวนิลคลอไรด์ จากร้อยละ 0-40 พบว่าความสามารถในการรับกำลังอัดประลัยลดลงตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อทำการแทนที่ทรายโดยการเพิ่ม

โพลิไวนิลคลอไรด์ โพลิไวนิลคลอไรด์มีความแข็งแรงน้อยกว่าทรายจึงมีความสามารถในการรับกำลังอัดได้น้อยกว่าทราย อย่างไรก็ตามในการทดสอบนี้ชิ้นงานทดสอบที่ผสมโพลิไวนิลคลอไรด์ร้อยละ 40 สามารถรับกำลังอัดประลัยได้น้อยสุด (168 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร) เมื่อพิจารณาจากอายุการบ่มพบว่า เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการบ่มชิ้นงานทดสอบซีเมนต์มอร์ต้า ความสามารถในการรับกำลังอัดประลัยมีค่าเพิ่มขึ้น



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโพลิไวนิลคลอไรด์ในซีเมนต์มอร์ต้า กับกำลังอัดประลัย

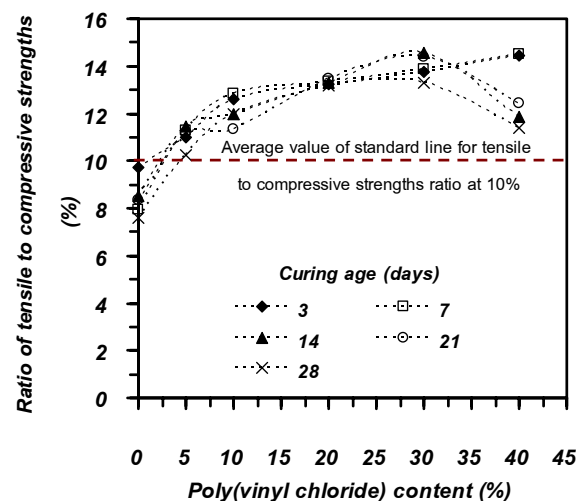


รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโพลิไวนิลคลอไรด์ในซีเมนต์มอร์ต้า กับกำลังรับแรงดึง

รูปที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโพลิไวนิลคลอไรด์ในซีเมนต์มอร์ต้ากับกำลังรับแรงดึง จะเห็นได้ว่ากราฟความสามารถในการรับแรงดึงเพิ่มสูงขึ้น ในช่วงที่ชิ้นงานทดสอบมีส่วนผสมของโพลิไวนิล

คลอไรด์ จากร้อยละ 0 ถึง 20 ทั้งนี้เป็นเพราะส่วนผสมของซีเมนต์มอร์ต้าในชิ้นงานทดสอบมีความสามารถในการยึดเหนี่ยวเกาะกันดีได้ขึ้น ทำให้ความสามารถในการรับแรงดึงเพิ่มขึ้นไปด้วย หลังจากนั้นความสามารถในการรับแรงดึงจะมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มส่วนผสมโพลิไวนิลคลอไรด์จนถึงร้อยละ 40 ทั้งนี้เป็นเพราะโพลิไวนิลคลอไรด์ และส่วนผสมของซีเมนต์มอร์ต้าในชิ้นงานทดสอบเกิดการร่วนตัวมากขึ้นมีการยึดเกาะกันน้อยลงและมีช่องว่างระหว่างอนุภาคมากขึ้นทำให้ความสามารถในการรับแรงดึงลดลงตามไปด้วย จะเห็นได้ว่าชิ้นงานทดสอบที่มีส่วนผสมของโพลิไวนิลคลอไรด์ร้อยละ 20 มีความสามารถในการรับแรงดึงได้สูงที่สุด (37 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)

เมื่อพิจารณาผลของระยะเวลาในการบ่มที่มีต่อสมบัติการรับแรงดึงสูงสุด จะเห็นได้ว่าชิ้นงานทดสอบที่มีอายุการบ่มมากกำลังรับแรงดึงของซีเมนต์มอร์ต้าจะเพิ่มขึ้น โดยกำลังรับแรงดึงจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรก (3-14 วัน) และค่อยๆ ช้าลงในเวลาต่อมา (14-28 วัน) เนื่องจากว่าคุณภาพของซีเมนต์เพสต์ขึ้นอยู่กับส่วนประกอบของปูนซีเมนต์และอัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ (Water-Cement Ratio) ที่ใช้ในส่วนผสมและการทำปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำที่เรียกว่า ปฏิกิริยาไฮเดรชัน (Hydration) ปฏิกิริยาทางเคมีดังกล่าวจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรกของการผสม ทำให้คอนกรีตเกิดการก่อตัวและแข็งตัวตามมา จากนั้นปฏิกิริยาทางเคมีจะเกิดช้าลง [12]



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโพลิไวนิลคลอไรด์ในซีเมนต์มอร์ต้า กับอัตราส่วนกำลังรับแรงดึงต่อกำลังอัดประลัย

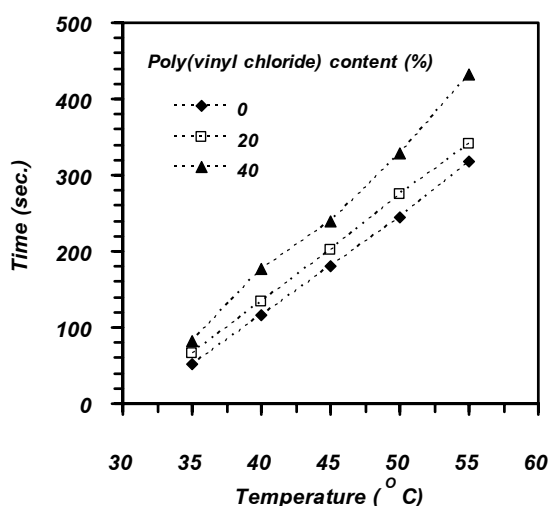
รูปที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโพลิไวนิลคลอไรด์ในซีเมนต์มอร์ต้ากับอัตราส่วนกำลังรับแรงดึงต่อกำลังอัดประลัย โดยพบว่าชิ้นงานทดสอบที่ไม่มีส่วนผสมของโพลิไวนิลคลอไรด์ในซีเมนต์มอร์ต้าจะมีอัตราส่วนระหว่างกำลังรับแรงดึงต่อกำลังอัดประลัยมีค่าน้อยที่สุดเมื่อเพิ่มส่วนผสมโพลิไวนิลคลอไรด์จากร้อยละ 0 ถึง 40 พบว่าอัตราส่วนระหว่างกำลังรับแรงดึงต่อกำลังอัดประลัยมีค่าสูงขึ้น จากค่า

อัตราส่วนระหว่างกำลังรับแรงดึงต่อกำลังอัดประลัย ตามมาตรฐานแล้ว มีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 7 ถึงร้อยละ 11 หรือเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 10 [8] ซึ่งจากผลการทดลองในครั้งนี้พบว่า การเพิ่มโพลิไวนิลคลอไรด์ ลงไปในซีเมนต์มอร์ต้าส่งผลดีในการเพิ่มประสิทธิภาพการต้านทานการแตกร้าว (ค่าอัตราส่วนกำลังรับแรงดึงต่อกำลังอัดประลัยสูงกว่าร้อยละ 10 ตลอดปริมาณโพลิไวนิลคลอไรด์ที่เติมลงไป)

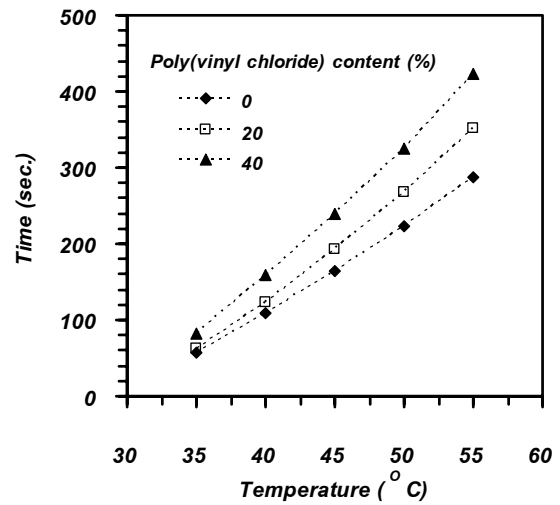
เมื่อพิจารณาในภาพรวมถึงข้อดีข้อเสียในด้านการรับกำลังอัดประลัย และด้านการรับแรงดึง ดังนั้นจึงได้ทำการเลือกชิ้นงานทดสอบที่มีส่วนผสมของโพลิไวนิลคลอไรด์ ร้อยละ 0, 20 และ 40 มาทำการทดสอบสมบัติในการถ่ายเทความร้อน (ความเป็นฉนวนความร้อน) ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมในด้านต่าง ๆ ที่กล่าวมา มีค่าอยู่ในเกณฑ์ดีปานกลาง และต่ำที่สุด ตามลำดับ

3.2 ผลการทดสอบสมบัติความเป็นฉนวนความร้อนของชิ้นงานทดสอบซีเมนต์มอร์ต้า

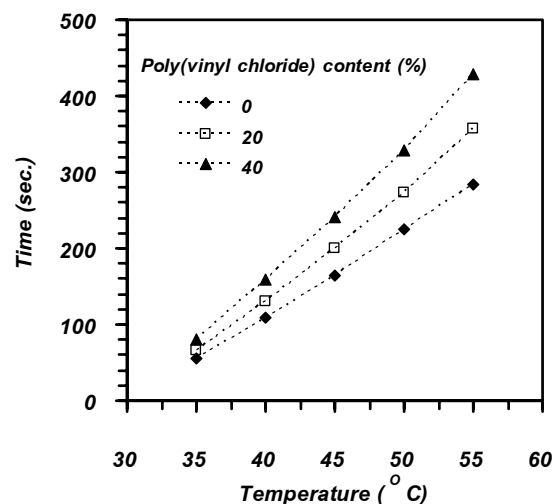
รูปที่ 6-10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาของซีเมนต์มอร์ต้าผสมโพลิไวนิลคลอไรด์ ที่อายุการบ่ม 3, 7, 14, 21 และ 28 วัน ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า ทุกรูปมีลักษณะกราฟไปในทิศทางเดียวกัน คือ ชิ้นงานทดสอบที่มีส่วนผสมของโพลิไวนิลคลอไรด์อยู่ร้อยละ 40 ใช้เวลาในการถ่ายเทความร้อนมากที่สุด และชิ้นงานทดสอบที่ไม่มีส่วนผสมของโพลิไวนิลคลอไรด์จะใช้เวลาในการถ่ายเทความร้อนน้อยที่สุด แสดงว่าเมื่อเพิ่มปริมาณส่วนผสมของโพลิไวนิลคลอไรด์ในชิ้นงานทดสอบมากขึ้นความเป็นฉนวนความร้อนเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เพราะโพลิไวนิลคลอไรด์มีความเป็นฉนวนความร้อนที่ดีกว่าทรายและปูนซีเมนต์ [4] นอกจากนี้การผสมระหว่างเม็ดโพลิไวนิลคลอไรด์กับซีเมนต์มอร์ต้าไม่เข้ากันจึงเกิดเป็นรอยต่อ และรอยต่อนี้มีผลให้การถ่ายเทความร้อนไม่ต่อเนื่องส่งผลให้ซีเมนต์มอร์ต้าเป็นฉนวนความร้อนที่ดี



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาของซีเมนต์มอร์ต้าผสมโพลิไวนิลคลอไรด์ (ที่อายุการบ่ม 3 วัน)



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาของซีเมนต์มอร์ต้าผสมโพลิไวนิลคลอไรด์ (ที่อายุการบ่ม 7 วัน)



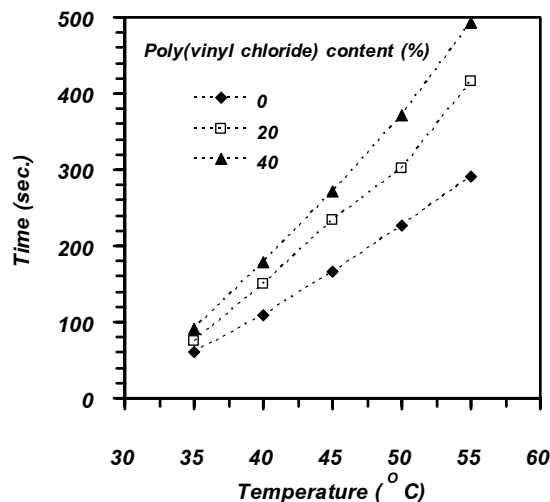
รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาของซีเมนต์มอร์ต้าผสมโพลิไวนิลคลอไรด์ (ที่อายุการบ่ม 14 วัน)

ตารางที่ 4 ค่าความชันของตัวอย่างทดสอบการถ่ายเทความร้อนที่ได้จากกราฟรูปที่ 6-10

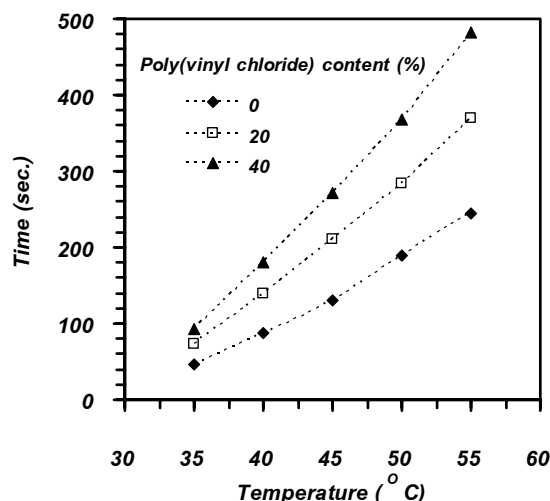
PVC content (%)	Slope value at different curing age				
	3 d.	7 d.	14 d.	21 d.	28 d.
0	13.2	11.5	11.5	11.6	10.0
20	13.8	14.5	14.5	16.7	14.7
40	17.0	16.9	17.3	19.9	19.3

ตารางที่ 4 แสดงค่าความชันของการถ่ายเทความร้อนของชิ้นงานทดสอบที่ระยะเวลารบ่ม 3-28 วัน ที่วัดได้จากผลทดสอบในรูปที่ 6-10 โดยหากค่าความชันสูงแสดงว่าชิ้นงานทดสอบมีความเป็นฉนวนความร้อนได้ดี จากการทดสอบพบว่าความแตกต่างกันของความชันขึ้นกับ

ปริมาณโพลีไวนิลคลอไรด์ที่แตกต่างกัน โดยชิ้นงานทดสอบที่มีส่วนผสมของ โพลีไวนิลคลอไรด์ร้อยละ 40 มีความชันมากที่สุด ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการเป็นฉนวนความร้อนได้ดีที่สุด และเมื่อพิจารณาถึงอายุการบ่ม จะเห็นได้ว่าระยะเวลาในการบ่มที่เพิ่มมากขึ้น ไม่มีผลกระทบต่อค่าการถ่ายเทความร้อนในชิ้นงานทดสอบที่ไม่มีส่วนผสมของโพลีไวนิลคลอไรด์ แต่จะมีผลต่อชิ้นงานทดสอบที่มีส่วนผสมของโพลีไวนิลคลอไรด์ ทำให้ชิ้นงานทดสอบที่มีส่วนผสมของโพลีไวนิลคลอไรด์มีความเป็นฉนวนความร้อนได้ดีขึ้น



รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาของซีเมนต์มอร์ต้าผสมโพลีไวนิลคลอไรด์ (ที่อายุการบ่ม 21 วัน)



รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาของซีเมนต์มอร์ต้าผสมโพลีไวนิลคลอไรด์ (ที่อายุการบ่ม 28 วัน)

4. สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองการรับกำลังอัดประลัยพบว่า ชิ้นงานทดสอบที่ไม่มีส่วนผสมของโพลีไวนิลคลอไรด์ที่อายุการบ่มที่ 28 วัน มีความสามารถในการรับกำลังอัดประลัยได้สูงที่สุดเท่ากับ 340 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และชิ้นงานทดสอบที่มีส่วนผสมของโพลีไวนิลคลอไรด์ร้อยละ 40 ที่อายุการบ่ม 3 วัน จะมีความสามารถในการรับกำลังอัดประลัยได้ต่ำที่สุดเท่ากับ 168 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งปริมาณโพลีไวนิลคลอไรด์ที่ผสมลงไปในอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้น มีผลทำให้การรับกำลังอัดประลัยของชิ้นงานทดสอบลดลง และพบว่าความสามารถในการรับกำลังอัดประลัยเพิ่มมากขึ้นถ้าอายุในการบ่มเพิ่มขึ้นถึง 28 วัน จากการทดสอบด้านการรับแรงดึงพบว่า ชิ้นงานทดสอบที่มีส่วนผสมของโพลีไวนิลคลอไรด์ร้อยละ 20 ที่อายุการบ่ม 28 วัน มีความสามารถในการรับแรงดึงสูงที่สุดเท่ากับ 37 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ชิ้นงานทดสอบที่ไม่มีส่วนผสมของโพลีไวนิลคลอไรด์ มีความสามารถในการรับแรงดึงได้ต่ำสุดและพบว่า ความสามารถรับแรงดึงสูงขึ้นตามระยะเวลาการบ่มที่เพิ่มมากขึ้น การเพิ่มปริมาณโพลีไวนิลคลอไรด์ในซีเมนต์มอร์ต้าส่งผลดีในการเพิ่มประสิทธิภาพการต้านทานการแตกร้าว (อัตราส่วนแรงดึงต่อกำลังอัดประลัย) นอกจากนี้ ยังพบว่าการผสมโพลีไวนิลคลอไรด์ในซีเมนต์มอร์ต้าเพิ่มความสามารถในการเป็นฉนวนความร้อนของซีเมนต์มอร์ต้าได้ดี การเพิ่มอายุบ่มของชิ้นงานทดสอบทำให้สมบัติทางกลและสมบัติของความเป็นฉนวนความร้อนของชิ้นงานทดสอบวัสดุผสมซีเมนต์มอร์ต้าเพิ่มสูงขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] สมรัฐ เกิดสุวรรณ. “เรื่องน่ารู้เกี่ยวกับขยะ: กรรมวิธีการกำจัดขยะเมือง” <http://www.fortunecity.com/meltingpot/mlk/1307/solidwaste.htm>. 29 ตุลาคม 2548.
- [2] M.A., Climent-Llorca, E., Viqueira-Pérez, G. de Vera-Almenar, and M.M. López-Atalaya. “Chloride Contamination of Concrete by Interaction with PVC Combustion Gases.” *Cement and Concrete Research*, Vol. 28, 1998, pp.209-219.
- [3] สมาคมอุตสาหกรรมพลาสติกไทย 2542. *วารสารพลาสติก ฉบับที่ 6* หน้า 60.
- [4] N. Sombatsompop, and K. Sungsanit. “Processability, Rheology, and Thermal, Mechanical, and Morphological Properties of Postconsumer Poly(vinylchloride) Bottles and Cables.” *Journal of Applied Polymer Science*, Vol. 89, 2003, pp.2738-2748.
- [5] J.W., Summers, B.K., Mikofalvy, H.K., Boo, J.M., Krogstie, W.A. Sell, and J.C. Rodriguez. “Examples of Recycled Vinyl Products.” *Journal of Vinyl Technology*, Vol. 14, 1992, pp.165-170.

- [6] S., Thongsang, S., Suwapanaviwat, J., Supanpesat, S., Chantawart, K., Khamphan, and N. Sombatsompop. "Effects of Recycled PVC Content and Processing Temperature on the Properties of PVC Foam Products." Songklanakarin Journal of Science and Technology, Vol. 27, 2005, pp. 575-589.
- [7] N. L. Thomas, and J.P., Quirk. "Use of Bottle Recyclate in Rigid PVC Foam." Plastics, Rubber and Composites Processing and Applications, Vol. 24, 1995, pp. 89-96.
- [8] S. Mindess, J. F. Young, and D. Darwin, Concrete, Pearson Education Inc, USA. Second Edition, 2002.
- [9] K., Kiattikomol, C., Jaturapitakkul, S. Songpiriyakij, and S. Chutubtim. "A Study of Ground Coarse Fly Ashes with Different Finenesses from Various Sources as Pozzolamic Materials." Cement and Concrete Composites, Vol. 23, 2001, pp. 335-343.
- [10] ปิติศานต์ กร้ามาตร. "การศึกษาส่วนผสมของกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าถ่านหินเพื่อนำมาใช้ในงานคอนกรีต." วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพมหานคร. 2539.
- [11] American Society for Testing Materials (ASTM), Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or 50 mm Cube Specimens), ASTM C 109-90, Annual Book of ASTM Standards, Vol. 04.01. 1999.
- [12] B.K., Mikofulvy, H.K. Boo, and J.W. Summer. "Traffic Cones from Recycled Vinyl." Journal of Vinyl Technology, Vol.15, 1993, pp.159-163.