การใช้มอร์ต้าร์แข็งตัวเร็วเป็นพื้นปรับระดับสำหรับงานเคลือบผิวโพลียูรีเทน

ศิวกร ดีช่วย[1*] และวินัย อวยพรประเสริฐ[1]

sivawork5061@hotmail.com[1*] owinai@yahoo.com[1]

[1] ภาควิชาวิศวกรรมโยธา วิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต

(Received: 10-Apr-2023 Revised: 26-Jul-2023 Accepted: 27-Jul-2023)

บทคัดย่อ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบส่วนผสมมอร์ต้าร์แข็งตัวเร็ว สำหรับเป็นพื้นปรับระดับในงานเคลือบผิวโพลียูรีเทน มอร์ต้าร์เร่งด่วนจำเป็นต้องมีสารลดน้ำอย่างมาก และสารเร่งการก่อตัว เพื่อให้ได้อัตราการไหลแผ่ร้อยละ 130±5 รวมถึงกำลังอัดที่อายุ 8 และ 24 ชั่วโมง ไม่น้อยกว่า 200 และ 400 กก./ตร.ซม. ตามลำดับ เมื่อกำหนดให้โอกาสที่มอร์ต้าร์จะผ่านเกณฑ์ไม่น้อยกว่าร้อยละ 95 ค่าเฉลี่ยกำลังอัดเป้าหมายของมอร์ต้าร์ควรมีค่าไม่น้อยกว่า 217 และ 435 กก./ตร.ซม. ตามลำดับ จากนั้นออกแบบส่วนผสมมอร์ต้าร์ตามวิธีของ ACI211.1-91 และหล่อมอร์ต้าร์เพื่อทำการทดสอบกำลังอัดและกำลังดึงโดยการหล่อ ณ อุณหภูมิสิ่งแวดล้อมที่แตกต่างกัน คือ 29-32 ºC, 32-34 ºC และมากกว่า 34 ºC จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าปฏิภาคส่วนผสมของมอร์ต้าร์ที่เหมาะสม คือ อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.35 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 3 ปริมาณ 588 กก./ลบ.ม. สารลดน้ำอย่างมากร้อยละ 1.2 และสารเร่งการก่อตัวร้อยละ 0.28 ของน้ำหนักปูนซีเมนต์ จะได้กำลังอัด 217 กก./ตร.ซม. ใน 8 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 29-32ºC และที่อายุ 24 ชั่วโมง กำลังอัดจะสูงกว่า 435 กก./ตร.ซม. ทุกช่วงอุณหภูมิ โดยไม่ต้องเติมสารเร่งการก่อตัว ส่วนกำลังดึงของมอร์ต้าร์เร่งด่วนจะน้อยกว่าวัสดุผสมโพลียูรีเทน แต่เมื่อทดสอบการใช้งานมอร์ต้าร์ปรับระดับพื้นเคลือบผิวด้วยโพลียูรีเทน ไม่พบรอยแตกหรือการหลุดกะเทาะของพื้นผิว ดังนั้น มอร์ต้าร์เร่งด่วนจึงอาจใช้เป็นพื้นปรับระดับทดแทนวัสดุผสมโพลียูรีเทนสำหรับงานเคลือบผิวโพลียูรีเทนได้ โดยมีต้นทุนการก่อสร้างที่ต่ำกว่า

คำสำคัญ: การออกแบบส่วนผสมมอร์ต้าร์ มอร์ต้าร์แข็งตัวเร็ว สารเร่งการก่อตัว พื้นโพลียูรีเทน

The Use of Rapid Setting Mortar as Floor Leveling in Polyurethane Coating

Sivagorn Deechuay[1*] and Winai Ouypornprasert[1]
sivawork5061@hotmail.com[1*], owinai@yahoo.com[1]

[1] Department of Civil Engineering, Collage of Engineering, Rangsit University
(Received: 10-Apr-2023 Revised: 26-Jul-2023 Accepted: 27-Jul-2023)

Abstract

The purpose of this paper was to determine rapid setting mortar mix design for the use as a leveling layer in polyurethane floor coating. Rapid setting mortar required superplasticizer and accelerator to satisfy with the flow rate of mortar within 130±5 percent and compressive strength of mortar not less than 200 and 400 ksc at 8 hours and 24 hours, respectively. For at least 95% probability of passing the required compressive strength, target means should be 217 ksc and 435 ksc, respectively. Then mortar mix proportions were designed according to the ACI 211.1-91 method. Then mortar mix proportions obtained were examined with the flow table test, the compression test and the tensile test. The mortars were cast within a range of atmospheric temperatures, 29-32°C, 32-34°C and more than 34°C. Results from the study showed that the optimum mortar proportion was water to cement ratio of 0.35, Portland cement type 3 content of 588 kg/m^3, superplasticizer 1.2% by weight of cement, and the accelerator 0.28% by weight of cement. The mortar reached compressive strength 217 ksc in 8 hours for the casting temperature 29°C-32 °C. And at 24 hours, mortar could reach compressive strength of 435 ksc at all of temperature ranges without adding accelerator. Although the tensile strength of the rapid setting mortar was less than polyurethane, in the application of the rapid setting mortar as floor leveling layer together with the polyurethane coating, no crack or peeling at the surface was found. Thus, rapid setting mortar might be used as floor leveling in place of the polyurethane composite at the much lower cost of construction.

Keywords: Mortar Mix Design, Rapid Setting Mortar, Accelerator, Polyurethane Floor

1. บทนำ

วัสดุโพลียูรีเทน (Polyurethane: PU) เป็นวัสดุที่มีทั้งความแข็งและความยืดหยุ่นในตัวเอง และสามารถปรับเปลี่ยนสมบัติให้ตรงตามความต้องการใช้งานได้หลากหลาย เพียงแค่ดัดแปลงโพลีออล (Polyol) หรือไอโซไซยาเนต (Isocyanate) [1] ในปัจจุบันวัสดุ PU ได้รับความนิยม และถูกนำมาใช้ในวงการอุตสาหกรรมอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะงานพื้น PU ขั้นตอนการทำงานต้องมีการปรับระดับพื้นเดิมก่อนทำการเคลือบผิวด้วยโพลียูรีเทน ในปัจจุบันการปรับระดับพื้นใช้สารโพลียูรีเทนผสมทรายซึ่งมีราคาแพง ด้วยเหตุนี้จึงมีความต้องการที่จะลดต้นทุนพื้น ปรับระดับโดยใช้วัสดุทางเลือกอื่นมาแทนโพลียูรีเทนผสมทราย โดยงานวิจัยนี้ได้แนวคิดจากงานวิจัยผิวถนนคอนกรีตเร่งด่วน [2] ที่มีการนำปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 3 มาทำผิวถนนคอนกรีต โดยการเติมสารลดน้ำอย่างมากและสารเร่งการก่อตัว เป็นผลให้ได้ผิวถนนคอนกรีตที่มีกำลังอัดสูง พร้อมใช้งานได้เร็ว และประหยัดต้นทุนค่าวัสดุได้มาก

งานวิจัยนี้จึงต้องการนำแนวคิดดังกล่าวมาประยุกต์ใช้กับมอร์ต้าร์ซึ่งเป็นที่นิยมใช้ในการปรับระดับพื้นทั่วไปและมีราคาถูกกว่า มาแทนการใช้สารโพลียูรีเทนผสมทรายที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน แต่การจะนำมอร์ต้าร์มาใช้นั้น ยังต้องคำนึงถึงปัจจัยอื่น เช่น สมบัติทางวิศวกรรมและเวลาการทำงานด้วย โดยต้องไม่ทำให้ผิวเคลือบโพลียูรีเทนเกิดความเสียหาย เนื่องจาก PU ที่ใช้ในงานปรับระดับพื้นสามารถแข็งตัวได้เร็วและให้กำลังอัดที่สูง งานวิจัยนี้ต้องการออกแบบส่วนผสมของมอร์ต้าร์แข็งตัวเร็ว โดยใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 3 ซึ่งมีขนาดของโมเลกุลที่เล็ก มีไตรแคลเซียมซิลิเกต (Tricalcium Silicate: C_3S) ปริมาณมาก ทำให้สามารถเกิดปฏิกิริยา ไฮเดรชันได้เร็ว แข็งตัวได้เร็ว และให้กำลังอัดสูงในช่วงต้น [3] นอกจากนี้การเติมสารเร่งปฏิกิริยาเข้าไปในส่วนผสมมอร์ต้าร์สามารถทำให้อัตราความร้อนจากการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันของซีเมนต์เพิ่มสูงขึ้นและเกิดความร้อนสูงสุดได้เร็วขึ้น ส่งผลให้เกิดแคลเซียมซิลิเกต ไฮเดรต (Calcium Silicate Hydrate: CSH) ซึ่งเป็ผลผลิตที่ทำให้เกิดกำลังได้เร็วขึ้น การพัฒนากำลังของมอร์ต้าร์มีอัตราเร็วขึ้นด้วย นอกจากนี้การเพิ่มอุณหภูมิขณะบ่มก็ช่วยเร่งอัตราการเกิดปฏิกิริยาได้อีกด้วย [4] ด้วยเหตุนี้การนำมอร์ต้าร์แข็งตัวเร็วที่มีการพัฒนากำลังสอดคล้องกับการทำงานปรับระดับพื้นมาแทนการใช้โพลียูรีเทนผสมทรายจึงเป็นงานที่น่าสนใจ

2. วัตถุประสงค์

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบส่วนผสมมอร์ต้าร์แข็งตัวเร็ว โดยใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 3 และสารผสมเพิ่มให้ได้สมบัติตามที่ต้องการ ประกอบด้วย กำลังอัด และการไหลแผ่ จากนั้นจึงเปรียบเทียบสมบัติด้านกำลังอัดและกำลังดึงของมอร์ต้าร์แข็งตัวเร็วและวัสดุผสมโพลียูรีเทน นอกจากนี้ทำการตรวจสอบการใช้งานมอร์ต้าร์แข็งตัวเร็วในงานปรับระดับพื้นก่อนเคลือบด้วยผิวโพลียูรีเทน เมื่อได้ส่วนผสมที่ใช้งานได้ดีแล้วทำการเปรียบเทียบราคาระหว่างมอร์ต้าร์แข็งตัวเร็วที่เสนอกับวัสดุผสมโพลียูรีเทนที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน

3. ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย มีดังนี้

3.1 วัสดุที่ใช้

งานวิจัยนี้ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 3 ทรายแม่น้ำ น้ำประปา ผสมสารลดน้ำอย่างมาก ลักษณะเป็นของเหลวสีน้ำตาลเข้ม ประเภท Napthalene Based และสารเร่งการก่อตัว ลักษณะเป็นผงสีขาว ประกอบด้วยองค์ประกอบหลัก SiO_2 50.11%, Al_2O_3 31.58% และ Na_2O 16.77% [5] โดยศึกษาเปรียบเทียบกับวัสดุผสมโพลียูรีเทนจากโรงผลิต

3.2 การกำหนดเป้าหมายสมบัติทางวิศวกรรมของมอร์ต้าร์แข็งตัวเร็วที่ต้องการ

งานพื้น PU มีข้อได้เปรียบหลายประการ เช่น สามารถทนทานต่อสารเคมีได้หลายประเภท ขึ้นอยู่กับการปรับปรุงส่วนผสม สามารถทนความร้อนได้สูงถึง 130°C และมีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อนใกล้เคียงกับคอนกรีต นอกจากนี้ยังสามารถรับกำลังได้สูงมีความยืดหยุ่นดูดซับแรงจากการกระแทกได้ดี

ทำให้เกิดการแตกร้าวได้ยาก ในบางส่วนผสม PU สามารถรับแรงอัดได้มากถึง 510 กก./ตร.ซม. [6] จึงเป็นที่นิยมใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมหลายประเภท

ส่วนงานพื้น PU ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ประกอบไปด้วย 3 ส่วน คือ สารโพลียูรีเทน เรซิน และส่วนเติมเต็ม เมื่อผสมรวมกันทั้งสามส่วนจะได้วัสดุเคลือบพื้น PU มีคุณสมบัติรับแรงกระแทก การเสียดสี การสัญจร ลักษณะการทำงาน สาร PU เป็นวัสดุผสมที่มีความเหลว สามารถการไหลได้ดี เมื่อทำการผสม PU ในถังผสมแล้วเทราดไปบนพื้น จากนั้นจึงเกลี่ย PU ให้ทั่วพื้นที่ให้ได้ความหนาที่ต้องการ โดยส่วนมากพื้น PU จะมีชั้นปรับระดับพื้นซึ่งเป็นวัสดุผสมโพลียูรีเทนที่มีส่วนผสมของทราย และมีชั้นเคลือบผิวที่เป็นโพลียูรีเทนตามสูตรของผู้ผลิตอีกชั้นหนึ่ง คุณสมบัติของมอร์ต้าร์ที่ต้องการในการทำชั้นปรับระดับพื้น แทนสารโพลียูรีเทน คือ ค่าเฉลี่ยกำลังอัดของตัวอย่างมอร์ต้าร์รูปลูกบาศก์ขนาด 5 ซม. ที่อายุ 8 และ 24 ชั่วโมง ไม่น้อยกว่า 200 และ 400 กก./ตร.ซม. ตามลำดับ เพื่อให้แข็งตัวได้เร็วใกล้เคียงกับวัสดุผสมโพลียูรีเทนทำให้จบงานได้ใน 1 วัน และต้องการอัตราการไหลแผ่ร้อยละ 130±5 เพื่อให้สามารถทำงานได้ง่าย

ในงานวิจัยนี้จึงใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 3 ที่ให้กำลังอัดสูงในช่วงต้นได้เร็ว ผสมกับสารลดน้ำอย่างมาก (Superplasticizers: Sp) ซึ่งเป็นสารผสมเพิ่ม ประเภท F และสารเร่งการก่อตัว (Accelerators: Ac) ซึ่งเป็นสารผสมเพิ่ม ประเภท C [7] เพื่อจะทำให้ได้มอร์ต้าร์ที่มีคุณสมบัติตามต้องการ

3.3 การหาค่ากำลังอัดเฉลี่ยเป้าหมายจากข้อกำหนดทางวิศวกรรม

การวิเคราะห์ข้อมูลทางวิศวกรรมโดยหลักสถิติ ในการออกแบบค่ากำลังอัดตามข้อกำหนดทางวิศวกรรมจะใช้ข้อมูลทางสถิติที่ได้จากกำลังอัดเฉลี่ยในห้องปฏิบัติการ ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์การแปรผัน (Coefficient of Variation Ω) เท่ากับ 0.05 หากสมมุติว่ากำลังอัดของมอร์ต้าร์มีรูปแบบการกระจายแบบปกติ (Normal Distribution) และมีโอกาสที่ผลิตภัณฑ์จะมีกำลังอัดต่ำกว่ากำลังอัดที่ต้องการ ไม่เกินร้อยละ 5 จะสามารถคำนวณหากำลังอัดเฉลี่ยเป้าหมาย (μ) ที่ต้องการได้จากสมการต่อไปนี้ [8]

$$\mu = \frac{x_{spec}}{1 + \Omega \cdot \Phi^{-1}(p)} \qquad (1)$$

โดยที่ xspec คือ กำลังอัดที่ต้องการ

Ω คือ สัมประสิทธิ์การแปรผันของค่ากำลังอัด

p คือ ความน่าจะเป็นที่ตัวอย่างจะมีกำลังอัดน้อยกว่าข้อกำหนดทางวิศวกรรม

$\Phi^{-1}(p)$ คือ อินเวอร์สของความน่าจะเป็น p สำหรับการแจกแจงปรกติมาตรฐาน

ดังนั้นหากต้องการกำลังอัดที่ 200 และ 400 กก./ตร.ซม. จากการคำนวณโดยใช้หลักสถิติดังสมการที่ (1) ทำให้ได้ค่าเฉลี่ยกำลังอัดเป้าหมายที่ต้องการ มีค่าเป็น 217 และ 435 กก./ตร.ซม. ตามลำดับ

3.4 การทดสอบสมบัติเบื้องต้นของวัสดุ

ทดสอบสมบัติเบื้องต้นของวัสดุที่จำเป็นต้องใช้ในการคำนวณออกแบบส่วนผสมของมอร์ต้าร์แข็งตัวเร็ว ประกอบไปด้วย ค่าความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 3 ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C188 [9] ค่าความถ่วงจำเพาะของทราย ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C127 – 01 [10] และโมดูลัสความละเอียดของทราย ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C33 / C33M – 18 [11] ได้ผลการทดสอบ ดังนี้

ตารางที่ 1 สมบัติเบื้องต้นของวัสดุ

วัสดุ	ความถ่วงจำเพาะ	โมดูลัสความละเอียด
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่3	3.16	-
ทราย	2.62	2.81

3.5 สมบัติของวัสดุที่นำมาใช้ในการคำนวณส่วนผสมของมอร์ต้าร์

สมบัติของวัสดุที่ต้องนำมาใช้ในการคำนวณส่วนผสมมอร์ต้าร์ในการออกแบบตามคำแนะนำของสถาบันคอนกรีตแห่งอเมริกา (ACI 211.1 – 91) [12] ซึ่งการออกแบบที่กำหนดตามมาตรฐาน ACI ดังกล่าว

เป็นการออกแบบส่วนผสมของคอนกรีต จึงมีส่วนผสมของหินรวมอยู่ในการคำนวณด้วย แต่เนื่องด้วยการออกแบบส่วนผสมของมอร์ต้าร์ไม่มีหินเป็นส่วนประกอบ และได้ทำการเติมสารลดน้ำอย่างมากและสารเร่งการก่อตัวด้วย ในงานวิจัยนี้นอกเหนือจากสมบัติของวัสดุในข้อ 3.4 จึงได้อ้างอิงสมบัติและขอบเขตปริมาณวัสดุต่าง ๆ จากงานวิจัยผิวถนนเร่งด่วน [2] แล้วทำการปรับปรุงเพื่อให้เหมาะสมกับมอร์ต้าร์เร่งด่วนต่อไป

สมบัติของวัสดุต่าง ๆ ที่นำมา ใช้ในการออกแบบส่วนผสมมอร์ต้าร์ สรุปได้ตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สมบัติต่าง ๆ ที่ใช้ในการคำนวณส่วนผสมมอร์ต้าร์

สมบัติ	ค่าที่ใช้ออกแบบ
ค่าการยุบตัว	25-75 มม.
ปริมาณฟองอากาศ	2%
ปริมาณน้ำ	130-180 กก./ลบ.ซม.
ขนาดใหญ่สุดของมวลรวมหยาบ	19 มม.
โมดูลัสความละเอียดของมวลรวมหยาบ	6.9
ความถ่วงจำเพาะของมวลรวมหยาบ	2700
น้ำหนักแห้งของมวลรวมหยาบ	1604 กก./ลบ.ม.
ปริมาตรของมวลรวมหยาบ	ร้อยละ 0.62 ของปริมาตรคอนกรีต
อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์	0.35-0.48
ปริมาณสารลดน้ำอย่างมาก	ร้อยละ 1.0-1.2 ของน้ำหนักปูนซีเมนต์

3.6 การคำนวณส่วนผสมของมอร์ต้าร์

คำนวณส่วนผสมมอร์ต้าร์ในการออกแบบตามคำแนะนำของสถาบันคอนกรีตแห่งอเมริกา (ACI 211.1 – 91) [12] ตัวอย่างการคำนวณการออกแบบส่วนผสมของมอร์ต้าร์ จะแสดงตัวอย่างการออกแบบโดยกำหนดให้ อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.48 และปริมาณน้ำเท่ากับ 180 กก. มีขั้นตอนการคำนวณดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดค่าการยุบตัวของคอนกรีต ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าการยุบตัวของคอนกรีตสำหรับงานก่อสร้างประเภทต่างๆ

ประเภทของงาน	ค่ายุบตัว (มม.)	
	สูงสุด	ต่ำสุด
ผนังและพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก	75	25
พื้นถนน	75	25
คานและผนัง	100	25
เสา	100	25
พื้นถนน	75	25
โครงสร้างขนาดใหญ่	50	25

ขั้นตอนที่ 2 เลือกขนาดโตสุดของมวลรวม

ขั้นตอนที่ 3 เลือกปริมาณอากาศอากาศที่จะเกิดขึ้น จะได้ปริมาณน้ำที่ต้องใช้ ดังแสดงในตารางที่ 4

ขั้นตอนที่ 4 กำหนด w/c

ขั้นตอนที่ 5 คำนวณปริมาณปูนซีเมนต์ ปริมาณน้ำ÷w/c (จากขั้นตอนที่ 3 และ 4)

ขั้นตอนที่ 6 นำ F.M. ทรายที่ได้มาคำนวณปริมาณหิน จากสูตร

ปริมาณหิน = ปริมาตรxหน่วยน้ำหนักหิน

ขั้นตอนที่ 7 หาปริมาตรทราย

ปริมาตรคอนกรีต-ปริมาตรส่วนผสม

น้ำหนักทราย = ปริมาตรทรายxF.M.ทรายx ความถ่วงจำเพาะของน้ำ

การคิดส่วนผสมของมอร์ต้าร์ต้องตัดปริมาตรของหินออกและปรับอัตราส่วนเพิ่มเติมของส่วนผสมอื่นๆ เพื่อให้ได้ปริมาตรตามที่ต้องการ โดยอัตราส่วนผสมในปริมาตร 1 ลบ.ม. หลังจากได้ปริมาตรของส่วนผสมต่าง ๆ ที่ต้องการแล้ว จึงนำกลับมาแปลงเป็นหน่วยน้ำหนักอีกครั้งเพื่อทำการชั่งส่วนผสมไปทำการทดสอบต่อไป ดังตัวอย่างในตารางที่ 6

ตารางที่ 4 ปริมาณน้ำและฟองอากาศสำหรับคอนกรีตที่มีค่ายุบตัวและขนาดใหญ่สุดของมวลรวมหยาบต่าง ๆ

ค่ายุบตัว		ปริมาณน้ำเป็นกิโลกรัมต่อคอนกรีต 1 ลูกบาศก์เมตร สำหรับวัสดุผสมขนาดต่าง ๆ						
มม.	นิ้ว	9.5 มม.	12.5 มม.	19 มม.	25 มม.	37.5 มม.	50 มม.	75 มม.
คอนกรีตที่ไม่มีสารกักกระจายฟองอากาศ (Non-Air-Entrained Concrete)								
30-50	1-2	210	200	185	180	160	155	130
80-100	3-4	225	215	200	195	175	170	145
150-180	6-7	240	230	210	205	185	180	160
ปริมาณฟองอากาศ (%) โดยปริมาตร ในคอนกรีตที่ไม่มีสารกักกระจายฟองอากาศ								
คอนกรีต (%)		3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0.3
คอนกรีตที่มีสารกักกระจายฟองอากาศ (Air-Entrained Concrete)								
30-50	1-2	180	175	165	160	145	140	120
80-100	3-4	200	190	180	175	160	155	135
150-180	6-7	215	205	190	185	170	165	155
ปริมาณฟองอากาศ (%) โดยปริมาตร ในคอนกรีตที่มีสารกักกระจายฟองอากาศ								
ปริมาณสารน้อย		4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5
ปริมาณสารปานกลาง		6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5
ปริมาณสารมาก		7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.5	4.5

ตารางที่ 5 ปริมาตรของมวลรวมหยาบแยกตามขนาดใหญ่สุดและโมดูลัสความละเอียดของทราย

ขนาดโตสุดของมวลรวมหยาบ (มม.)	**ปริมาตรของวัสดุหยาบในสภาพแห้งและอัดแน่นต่อหน่วยปริมาตรของคอนกรีตสำหรับค่าโมดูลัสความละเอียดของมวลรวมละเอียดต่างๆ กัน**			
	2.40	2.60	2.80	3.00
9.5	0.50	0.48	0.46	0.44
12.5	0.59	0.57	0.55	0.53
19	0.66	0.64	0.62	0.60
25	0.71	0.69	0.67	0.65
37.5	0.76	0.74	0.72	0.70
50	0.78	0.76	0.74	0.72
75	0.82	0.80	0.78	0.76
150	0.87	0.85	0.83	0.81

ตารางที่ 6 ตัวอย่างปฏิภาคส่วนผสมของมอร์ต้าร์ 1 ลบ.ม.

ส่วนผสม	**คอนกรีต (ลบ.ม.)**	**มอร์ต้าร์ (ลบ.ม.)**	**น้ำหนักของส่วนผสม (กก.)**
ปูนซีเมนต์	0.119	0.186	588
น้ำ	0.130	0.206	206
หิน	0.368	-	-
ทราย	0.364	0.576	1,510
อากาศ	0.020	0.032	0.03
รวม	1.000	1.000	2,304.03

3.7 การทดลองเบื้องต้นเพื่อหาค่าอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ ปริมาณน้ำ และปริมาณสารลดน้ำอย่างมากที่เหมาะสม

หลังจากคำนวณปฏิภาคส่วนผสมมอร์ต้าร์ได้แล้วตามหัวข้อ 3.6 ทำการเพิ่มสารลดน้ำอย่างมากปริมาณที่ ดังแสดงในตารางที่ 2 จากนั้นทำการผสมมอร์ต้าร์ตามสัดส่วนผสมที่คำนวณได้ แล้วทำการทดสอบเพื่อหาค่าการไหลแผ่ ตามมาตรฐาน ASTM

C230 [13] และทดสอบกำลังอัด ตามมาตรฐาน ASTM C109 [14] ที่อายุ 6, 7, 8 และ 24 ชั่วโมง จากนั้นจึงทำการปรับส่วนผสม โดยปรับปรุงที่ค่าอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ ปริมาณน้ำและสารลดน้ำอย่ามาก เพื่อให้ได้มอร์ต้าร์ที่มีค่าการไหลแผ่ที่เหมาะสมและมีกำลังอัดสูงที่สุดตามระยะเวลาที่กำหนด ได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 กำลังอัดของมอร์ต้าร์เมื่อใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ ปริมาณซีเมนต์ และปริมาณสารลดน้ำอย่างมากต่างกัน

อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 3 (กก./ลบ.ม.)	ปริมาณสารลดน้ำอย่างมาก (%)	อัตราการไหลแผ่(%)	กำลังอัด (กก./ตร.ซม.)			
				6 ชม.	7 ชม.	8 ชม.	24 ชม.
0.48	594	1.2	>400	-	-	61	316
0.38	625	1.0	150	49	89	129	450
0.38	500	1.1	94	73	117	152	409
0.35	588	1.1	105	93	150	211	504
0.35	588	1.2	127	84	153	214	480

หมายเหตุ: - หมายถึง ไม่ได้ทำการทดสอบ เนื่องจากมอร์ต้าร์ยังไม่แข็งตัว

จากผลการทดสอบ สามารถสรุปได้ว่าปฏิภาคส่วนผสมของมอร์ต้าร์ที่จะทำให้ได้คุณสมบัติทางวิศวกรรมที่ต้องการ คือ อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.35 ปริมาณซีเมนต์ 588 กก./ลบ.ม. ปริมาณสารลดน้ำอย่างมากร้อยละ 1.2 ของน้ำหนักปูนซีเมนต์ ซึ่งจะได้กำลังอัด 214 กก./ตร.ซม. ที่อายุ 8 ชั่วโมง และได้อัตราการไหลแผ่ร้อยละ 127 ซึ่งใกล้เคียงกับที่ต้องการ

3.8 การทดลองหาปริมาณสารเร่งการก่อตัวที่เหมาะสม เปรียบเทียบกำลังอัดและกำลังดึงระหว่างมอร์ต้าร์แข็งตัวเร็วกับวัสดุผสมโพลียูรีเทน ทดสอบการใช้งานร่วมกัน และเปรียบเทียบราคา

3.8.1 ทดสอบกำลังอัดของมอร์ต้าร์ตามมาตรฐาน ASTM C109 โดยใช้ปฏิภาคส่วนผสมที่เหมาะสมซึ่งได้แสดงไว้ในหัวข้อ 3.7 มาปรับปรุงต่อโดยเติมสารเร่งการก่อตัวอ้างอิงปริมาณการเติมจากงานวิจัยผิวถนนคอนกรีตเร่งด่วน [2] ร้อยละ 0.26, 0.28, 0.30, 0.32 ของน้ำหนักปูนซีเมนต์ นอกจากนี้ในการทดลองนี้มีการควบคุมอุณหภูมิในขณะบ่มให้ตรงตามสภาพการทำงานจริงในประเทศไทยด้วยด้วย โดยทำการกั้นห้องขนาดเล็กและใช้ฮีทเตอร์เพื่อควบคุมอุณหภูมิ แล้วทำการทดสอบที่อุณหภูมิ 29-32, 32-34 และมากกว่า 34°C

จากการทดลองขั้นต้น ทำให้ทราบว่ามอร์ต้าร์ที่อายุ 6 ชั่วโมง ยังคงมีกำลังอัดที่ต่ำจนไม่สามารถปรับปรุงให้ผ่านข้อกำหนดทางวิศวกรรมที่ต้องการได้ ในหัวข้อนี้ จึงทำเปลี่ยนมาการทดสอบกำลังอัดของ มอร์ต้าร์ที่อายุ 7, 8, 9 และ 24 ชั่วโมง

3.8.2 เปรียบเทียบกำลังอัดและกำลังดึงของมอร์ต้าร์แข็งตัวเร็วกับวัสดุผสมโพลียูรีเทน โดยทดสอบกำลังดึงของมอร์ต้าร์แข็งตัวเร็ว ใช้ตัวอย่างทดสอบชนิดบริเคตตามมาตรฐาน ASTM C190 [15] ทดสอบเฉพาะส่วนผสมที่ผ่านข้อกำหนดทางวิศวกรรมที่ต้องการ (จากผลในข้อ 3.8.1) จากนั้นทดสอบกำลังอัดของวัสดุผสมโพลียูรีเทน ตามมาตรฐาน ASTM C109 และกำลังดึง ตามมาตรฐาน ASTM D638 TYPE I [16] ความหนา 5 มม. เพื่อเปรียบเทียบกัน ที่อายุ 8 และ 24 ชั่วโมง

3.8.3 ทดสอบการใช้งานร่วมกันของมอร์ต้าร์แข็งตัวเร็วกับผิวโพลียูรีเทนในแปลงทดสอบขนาด 30x30 ซม. จำนวน 4 แปลง ในพื้นที่กลางแจ้งบริเวณข้างห้องปฏิบัติการ โดยในแต่ละแปลงจะโดนแสงอาทิตย์ในเวลาที่แตกต่างกันในระหว่างวัน กำหนดความหนาของมอร์ต้าร์แข็งตัวเร็ว 2 มม. และชั้นเคลือบผิวใช้สารโพลียูรีเทนเคลือบผิวให้มีความหนา 2 มม. หลังจากนั้นทิ้งไว้ในสภาวะปกติ สังเกตว่า

เมื่อเวลาผ่านไปมอร์ต้าเร่งด่วน และผิวโพลียูรีเทนสามารถใช้งานร่วมกันได้ดีหรือไม่

3.8.4 ทดสอบการใช้งานมอร์ต้าร์แข็งตัวเร็วปรับระดับพื้นเคลือบด้วยโพลียูรีเทนในแปลงทดสอบของโรงงานแห่งหนึ่งในกรุงเทพมหานคร โดยใช้มอร์ต้าร์แข็งตัวเร็วเพื่อปรับพื้นก่อนลงผิวโพลียูรีเทนในการทำพื้นลานจอดรถที่มีขนาด 30 ตร.ม. หลังจากนั้นจะทำการทดสอบการใช้งานเพื่อทดสอบว่าเมื่ออยู่ในสภาพใช้งานจริงที่ต้องรับน้ำหนักหรือแรงกดต่าง ๆ แล้วชิ้นงานที่ได้มีความเสียหายเกิดขึ้นหรือไม่

3.8.5 เปรียบเทียบราคาในการทำพื้นปรับระดับระหว่างมอร์ต้าร์แข็งตัวเร็วและโพลียูรีเทน

4. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

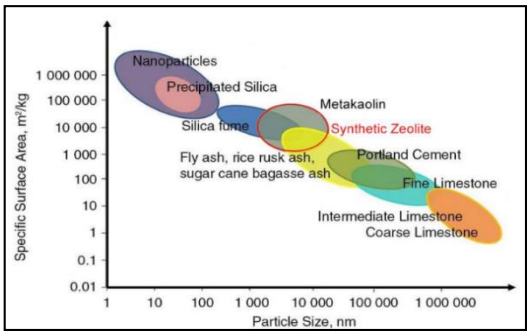
4.1 ผลการทดสอบกำลังอัดของมอร์ต้าร์ที่ผสมสารเร่งการก่อตัว

ตารางที่ 8 แสดงกำลังอัดของมอร์ต้าร์ผสมสารเร่งการก่อตัวในปริมาณต่างกัน และบ่มในอุณหภูมิต่างกัน พบว่าที่อุณหภูมิ 29-32 ℃ จำเป็นต้องเติมสารเร่งการก่อตัว ในปริมาณ 0.28% ของน้ำหนักปูนซีเมนต์ จะได้กำลังอัด 217 กก./ตร.ซม. ในเวลา 8 ชั่วโมง และที่อุณหภูมิ 32-34 ℃ ถ้าไม่เติมสารเร่งการก่อตัว จะได้กำลังอัด 226 กก./ตร.ซม. ในเวลา 8 ชั่วโมง แต่ถ้าเติมสารเร่งการก่อตัว 0.28% ของน้ำหนักปูนซีเมนต์ จะได้กำลังอัด 218 กก./ตร.ซม. ในเวลา 7 ชั่วโมง ในขณะที่อุณหภูมิสูงกว่า 34 ℃ ไม่จำเป็นต้องเติมสารเร่งการก่อตัวก็จะได้กำลังอัด 217 กก./ตร.ซม. ในเวลา 7 ชั่วโมง

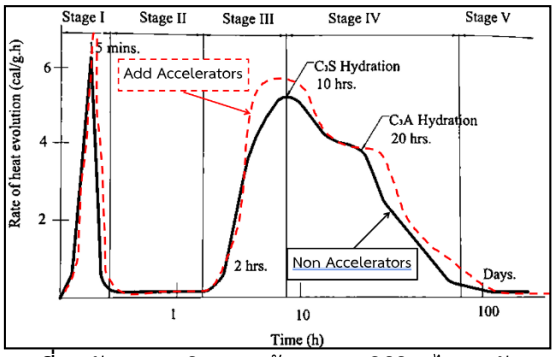
จากผลการทดสอบกำลังอัดของมอร์ต้าร์จะเห็นว่าการเติมสารเร่งการก่อตัวทำให้กำลังอัดของมอร์ต้าร์เพิ่มขึ้นมากกว่าการไม่เติมในอายุที่เท่ากัน เนื่องจากสารเร่งการก่อตัวที่ใช้มีองค์ประกอบหลักเป็นซิลิก้า (SiO_2) เช่นเดียวกับที่มีอยู่ในปูนซีเมนต์ถึงร้อยละ 50.11 [5] ซึ่งจะทำปฏิกิริยาได้ผลผลิตที่มีกำลังอัดสูง และการที่สารเร่งการก่อตัวมีอนุภาคที่เล็กและมีพื้นที่ผิวสัมพัทธ์มาก ดังแสดงในรูปที่ 1 [5] ก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาได้เร็ว โดยกราฟความร้อนจากการเกิดปฏิกิริยาจะขึ้นสู่จุดสูงสุดได้เร็วและมีความร้อนสูงขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2 [5, 17] ทำให้เกิด CSH ได้อย่างรวดเร็ว มอร์ต้าร์ที่เติมสารเร่งการก่อตัวจึงมีกำลังอัดสูงขึ้นในช่วงต้น

ตารางที่ 8 กำลังอัดของมอร์ต้าร์ผสมสารเร่งการก่อตัวในปริมาณต่างกัน และบ่มตัวในอุณหภูมิต่างกัน

Temp. (°C)	Ac (%)	Flow (%)	Compressive Strength (ksc)			
			7 hr.	8 hr.	9 hr.	24 hr.
29-32	0.00	129	147	204	263	486
	0.26	132	136	201	277	480
	0.28	131	165	217	285	499
	0.30	130	126	211	296	475
	0.32	134	125	187	247	465
32-34	0.00	134	156	226	286	450
	0.26	132	197	243	295	438
	0.28	131	218	239	300	463
	0.30	137	211	287	320	492
	0.32	136	243	271	307	485
>34	0.00	130	217	287	317	481
	0.26	134	192	240	284	437
	0.28	131	235	291	298	458
	0.30	125	208	248	323	439
	0.32	124	199	256	327	481

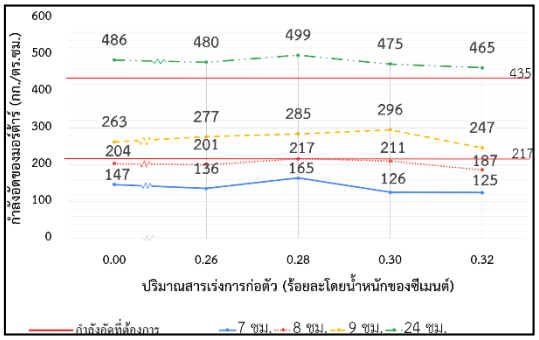


รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดและพื้นที่ผิวสัมพัทธ์ของสารเร่งการก่อตัวที่ใช้ในงานวิจัย เปรียบเทียบกับสารประเภทอื่น ๆ [5]



รูปที่ 2 อัตราการเกิดความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์ที่เปลี่ยนไปหลังเติมสารเร่งการก่อตัว (ดัดแปลงจาก [5, 17])

การเติมสารเร่งการก่อตัวต้องเติมในปริมาณที่เหมาะสม จากผลการทดลอง (รูปที่ 3) สรุปได้ว่าปริมาณที่เหมาะสม คือ ร้อยละ 0.28 ของน้ำหนักปูนซีเมนต์ ได้กำลังอัดที่ 217 กก./ตร.ซม. ใน 8 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 29-32℃ หากเติมสารเร่งการก่อตัวในปริมาณมากเกินไป (ร้อยละ 0.30 และ 0.32 ของน้ำหนักปูนซีเมนต์) กำลังอัดของมอร์ต้าร์จะต่ำลง เพราะการเติมสารเร่งการก่อตัวในปริมาณที่เหมาะสมจะทำให้เกิด CSH ได้ดีกว่าการเติมปริมาณมากเกินไป [5] นอกจากนี้การเติมสารเร่งการก่อตัวจะเร่งการเกิดผลึกที่มีลักษณะเป็นเข็มสั้นหรือเอททริงไกด์ (Ettringite) และผลึกที่มีลักษณะเป็นเข็มยาวหรือมัลไลท์ (Mullite) [5] ซึ่งการเติมในปริมาณที่เหมาะสมจะทำให้มอร์ต้าร์มีโครงสร้างที่แข็งแรงมีช่องว่างน้อย ในทางกลับกันการเติมในปริมาณที่มากเกินไปจะทำให้เกิดมัลไลท์ในปริมาณมากเกินไปทำให้ความหนาแน่นลดลงกำลังอัดจึงต่ำลงด้วย [5]



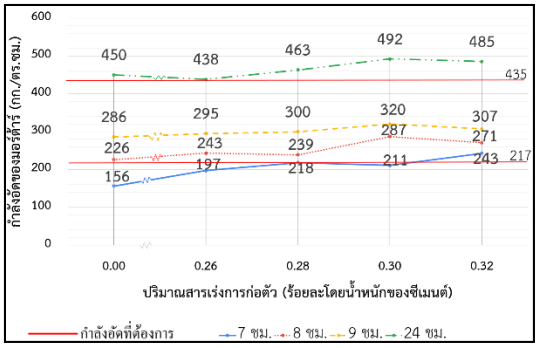
รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ของกำลังอัดของมอร์ต้าร์กับการเติมสารเร่งการก่อตัวในปริมาณต่าง ๆ (บ่มตัวที่อุณหภูมิ 29℃ -32℃)

นอกจากนี้ยังสามารถวิเคราะห์ถึงผลของอุณหภูมิที่มีต่อกำลังอัดของมอร์ต้าร์แข็งตัวเร็วได้ดังนี้

1. ในกรณีที่ไม่เติมสารเร่งการก่อตัวกำลังอัดในช่วงต้นของมอร์ต้าร์มีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่ออยู่ในอุณหภูมิที่สูงขึ้น

2. ในกรณีที่ต้องการเติมสารเร่งการก่อตัวหากทำงานที่อุณหภูมิต่ำ (29-32 ℃) จำเป็นต้องระมัดระวังเรื่องปริมาณสารเร่งการก่อตัว โดยต้องใช้ในปริมาณที่เหมาะสม ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น

3. ในกรณีที่อุณหภูมิสูง (32-34℃ ขึ้นไป) การเติมสารเร่งการก่อตัวในทุกปริมาณที่ทดลอง จะมีผลให้กำลังอัดของมอร์ต้าร์สูงขึ้นได้อย่างรวดเร็วในช่วงต้น ทั้งนี้เป็นผลมาจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นสามารถกระตุ้นให้สารประกอบซิลิก้าที่อยู่ในสารเร่งการก่อตัวทำปฏิกิริยาไฮเดรชันได้เร็วขึ้นทำให้ได้ผลผลิตมอร์ต้าร์ที่มีกำลังอัดสูงดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ของกำลังอัดของมอร์ต้าร์กับการเติมสารเร่งการก่อตัวในปริมาณต่าง ๆ (บ่มตัวที่อุณหภูมิ 32-34℃)

4.2 การเปรียบเทียบสมบัติของมอร์ต้าร์กับวัสดุผสมโพลียูรีเทน

ทดสอบกำลังอัดและกำลังดึงของมอร์ต้าร์กับวัสดุผสมโพลียูรีเทน โดยใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.35 ปริมาณซีเมนต์ 588 กก./ลบ.ม. ปริมาณสารลดน้ำอย่างมากร้อยละ 1.2 ของน้ำหนักปูนซีเมนต์ และใช้ปริมาณสารเร่งการก่อตัวที่ทำให้มอร์ต้าร์แข็งตัวเร็วที่ผ่านเกณฑ์ข้อกำหนดทางวิศวกรรมทั้งหมด 3 ส่วนผสม ตามผลที่ได้คือ

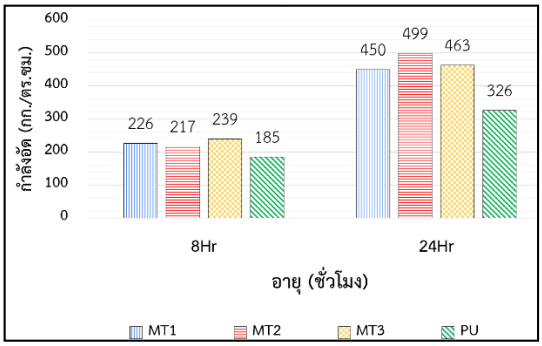
1. ส่วนผสมที่ 1 (MT1) ไม่เติมสารเร่งการก่อตัว บ่มตัวที่อุณหภูมิ 32-34°C

2. ส่วนผสมที่ 2 (MT2) เติมสารเร่งการก่อตัว ร้อยละ 0.28 ของน้ำหนักปูนซีเมนต์ บ่มตัวที่อุณหภูมิ 29-32°C

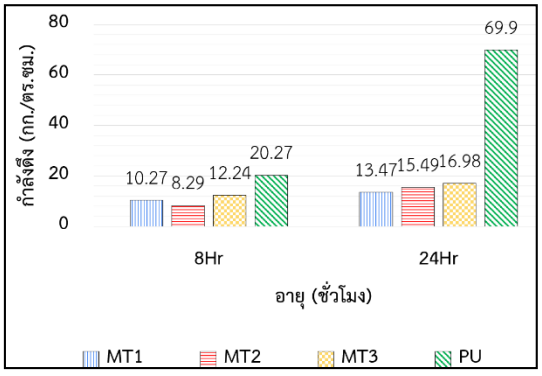
3. ส่วนผสมที่ 3 (MT3) เติมสารเร่งการก่อตัว ร้อยละ 0.28 ของน้ำหนักปูนซีเมนต์ บ่มตัวที่อุณหภูมิ 32-34°C

4. วัสดุผสมโพลียูรีเทน (PU)

ทำการทดสอบกำลังอัดและกำลังดึงที่อายุ 8 และ 24 ชั่วโมง ได้ผลการทดสอบดังนี้



รูปที่ 5 กำลังอัดของมอร์ต้าร์เทียบกับวัสดุผสมโพลียูรีเทนที่อายุ 8 และ 24 ชั่วโมง



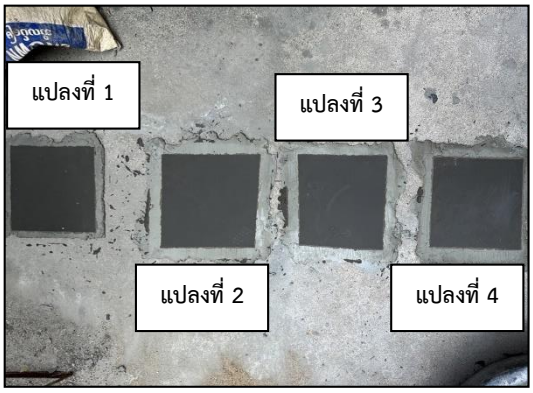
รูปที่ 6 กำลังดึงของมอร์ต้าร์เทียบกับวัสดุผสมโพลียูรีเทนที่อายุ 8 และ 24 ชั่วโมง

จากผลการทดสอบจะเห็นได้ว่า กำลังอัดของมอร์ต้าร์มีค่ามากกว่าวัสดุผสมโพลียูรีเทนในทุกช่วงอายุ แต่ผลการทดสอบกำลังดึงจะเห็นว่า มอร์ต้าร์มีกำลังดึงต่ำกว่าวัสดุผสมโพลียูรีเทนมาก ดังที่แสดงในรูปที่ 5 และรูปที่ 6

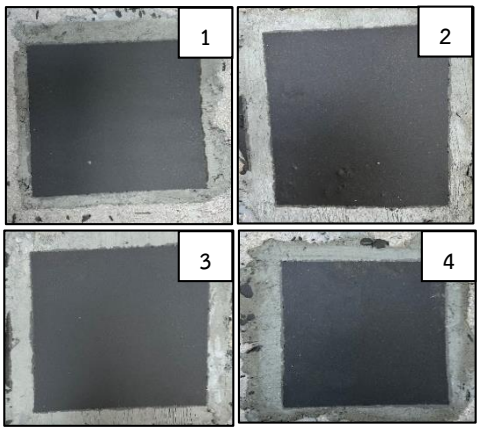
4.3 ผลการทดสอบการใช้งานร่วมกันของมอร์ต้าร์กับผิวโพลียูรีเทนในแปลงทดสอบกลางแจ้ง

ใช้มอร์ต้าร์แข็งตัวเร็วทำการปรับระดับพื้นหนา 2 มิลลิเมตร โดยใช้ส่วนผสมที่ให้ผลของกำลังอัดดีที่สุด คือ อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.35 ปริมาณซีเมนต์ 588 กก./ลบ.ม. ปริมาณสารลดน้ำอย่างมากร้อยละ 1.2 และสารเร่งการก่อตัวร้อยละ 0.28 ของน้ำหนักปูนซีเมนต์ หลังจากนั้นทิ้งไว้จนมอร์ต้าร์แข็งตัว เคลือบผิวด้วยโพลียูรีเทน ให้มีความหนา 2 มิลลิเมตร ทดสอบทั้งหมด 4 แปลง โดยแปลงที่ 1 โดนแสงอาทิตย์ตลอดวัน แปลงที่ 2 โดนแสงอาทิตย์ช่วงเช้าถึงบ่าย แปลงที่ 3 โดนแสงอาทิตย์ช่วงบ่ายถึงเย็น แปลงที่ 4 ไม่โดนแสงอาทิตย์ตลอดวัน

หลังจากดูผลเป็นเวลามากกว่า 5 เดือน พบว่าทั้ง 4 แปลง พื้นผิวยึดเกาะกันได้ดีไม่มีการหลุดกะเทาะของผิวหน้า ดังแสดงในรูปที่ 7 และ 8



รูปที่ 7 การทดสอบการใช้งานร่วมกันของมอร์ต้าร์แข็งตัวเร็วกับผิวโพลียูรีเทนในแปลงทดสอบกลางแจ้ง



รูปที่ 8 แปลงทดสอบทั้ง 4 แปลงหลังผ่านไป 5 เดือน

4.4 ผลการทดสอบใช้งานมอร์ต้าร์แข็งตัวเร็วปรับระดับพื้นเคลือบด้วยผิวโพลียูรีเทนในแปลงทดสอบ

นำมอร์ต้าร์แข็งตัวเร็วไปใช้ในการปรับผิวของพื้นที่ลานจอดรถของโรงงานแห่งหนึ่งในกรุงเทพมหานคร แล้วเคลือบด้วยผิวโพลียูรีเทน มีพื้นที่ทดสอบทั้งหมด 30 ตร.ม. มีรถยนต์ที่มีน้ำหนัก 1.9 ตัน เข้าไปใช้งานจริงโดยการขนวัสดุไปหน้างานทุกวันและจอดทิ้งไว้ในเวลากลางคืน ส่วนพื้นที่ที่เหลือใช้สำหรับวางถังวัสดุ แปลงทดสอบมีทั้งพื้นที่โดนแสงอาทิตย์ 9 ตร.ม. และพื้นที่ไม่โดนแสงอาทิตย์ 21 ตร.ม.

ในวันที่ทำการทดสอบมีอุณหภูมิเฉลี่ย 29℃ จึงใช้มอร์ต้าร์ส่วนผสม MT2 ในการทดสอบ จากการเก็บตัวอย่างมอร์ต้าร์แข็งตัวเร็วไปทำการทดสอบ พบว่า ที่อายุ 7 และ 24 ชั่วโมง มอร์ต้าร์แข็งตัวเร็วมีกำลังอัดอยู่ที่ 342 และ 437 กก./ตร.ซม. ซึ่งมากกว่าข้อกำหนดทางวิศวกรรมที่ต้องการ และผลการทดสอบหลังจากการใช้งานเป็นเวลามากกว่า 4 เดือน พบว่ายังสามารถใช้งานได้ดี ไม่มีความเสียหายเกิดขึ้น

รูปที่ 9 การทดสอบใช้งานมอร์ต้าร์แข็งตัวเร็วปรับระดับพื้นเคลือบด้วยผิวโพลียูรีเทนและทดลองใช้งานจริง

4.5 การเปรียบเทียบราคาต้นทุนของ มอร์ต้าร์แข็งตัวเร็วกับวัสดุผสมโพลียูรีเทน

จากผลการทดสอบหาปฏิภาคส่วนผสมที่เหมาะสมของมอร์ต้าร์ในการใช้งานเป็นพื้นปรับระดับแทนการใช้วัสดุผสมโพลียูรีเทน ได้นำผลดังกล่าวมาทำการคำนวณเปรียบเทียบงบประมาณในการปรับระดับ โดยลองคิดในกรณีการทำพื้นปรับระดับหนา 2 มิลลิเมตร ในพื้นที่ 100 ตารางเมตร ได้ผลดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 งบประมาณในการทำพื้นปรับระดับโดยการใช้มอร์ต้าร์แข็งตัวเร็ว

ส่วนผสม	ปริมาณ	หน่วย	ราคาต่อหน่วย (บาท)	รวม (บาท)
ปูนซีเมนต์	117.6	กก.	2.2	258.72
ทราย	305.21	กก.	0.22	67.15
สารลดน้ำอย่างมาก	1.41	กก.	14.17	19.98
สารเร่งการก่อตัว	0.33	กก.	28	9.24
ค่าแรง	0.2	ลบ.ม.	426	85.2
รวมราคา				440.29

หมายเหตุ: - ราคาจ้างเหมางานปรับพื้นด้วยโพลียูรีเทนในพื้นที่ กทม. 110 บาท/ตร.ม. รวมราคาเป็น 11,000 บาท

- ค่าแรงคิดจาก บัญชีค่าแรงงาน/ดำเนินการสำหรับถอดแบบคำนวณราคางานก่อสร้าง กรมบัญชีกลาง ปรับปรุง 3 มี.ค. 66

- ราคาค่าดำเนินการอาจมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นกับผู้ประกอบการ

จากตารางที่ 9 จะเห็นได้ว่ามอร์ต้าร์แข็งตัวเร็วมีราคาที่ถูกกว่าวัสดุผสมโพลียูรีเทนมาก ดังนั้น การใช้มอร์ต้าร์มาแทนที่วัสดุผสมโพลียูรีเทนในการปรับระดับพื้นจึงสามารถลดต้นทุนการผลิตได้เป็นอย่างมาก ด้วยเหตุนี้จึงสามารถเพิ่มความหนาของมอร์ต้าร์แข็งตัวเร็วเพื่อลดความเสี่ยงที่จะเกิดการเสียหายได้

5. สรุป

จากการวิจัย สามารถสรุปผลได้ ดังนี้

1. การเติมสารลดน้ำอย่างมาก และสารเร่งการก่อตัวสามารถทำให้มอร์ต้าร์มีกำลังอัดในช่วงต้นที่สูงขึ้นได้ โดยปฏิภาคส่วนผสมที่เหมาะสมต่อการใช้ในงานปรับระดับพื้นก่อนเคลือบด้วยผิวโพลียูรีเทนมากที่สุดคือ อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.35 ปริมาณซีเมนต์ 588 กก./ลบ.ม. ปริมาณสารลดน้ำอย่างมากร้อยละ 1.2 ของน้ำหนักปูนซีเมนต์ สารเร่งการก่อตัวร้อยละ 0.28 ของน้ำหนักปูนซีเมนต์

2. มอร์ต้าร์แข็งตัวเร็วจะมีกำลังอัดมากกว่าวัสดุผสมโพลียูรีเทน ในขณะที่กำลังดึงจะต่ำกว่า

3. ในการทดสอบใช้งานมอร์ต้าร์แข็งตัวเร็วเป็นพื้นปรับระดับ แทนการใช้วัสดุผสมโพลียูรีเทนแบบเดิมแล้วเคลือบผิวด้วยโพลียูรีเทน พบว่าสามารถใช้งานได้ดีตามสภาพการใช้งานจริง ไม่มีการหลุดกะเทาะเกิดขึ้น

4. การใช้งานมอร์ต้าร์แข็งตัวเร็วเป็นพื้นปรับระดับแทนวัสดุผสมโพลียูรีเทน สามารถช่วยลดต้นทุนในการทำพื้นปรับระดับได้มาก

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยรังสิตที่อนุญาตให้ใช้ห้องปฏิบัติการและเครื่องมือทดสอบโดยมีอาจารย์วินัย อวยพรประเสริฐ และอาจารย์ธีรพงษ์ ลี้สธนกุล ให้คำปรึกษาและแนะนำอย่างใกล้ชิด รวมถึงนายธนวัฒน์ ทาทอง ผู้ช่วยทำการวิจัยครั้งนี้ให้เป็นไปตามแผนโดยสมบูรณ์

7. เอกสารอ้างอิง

[1] Abhijit D, Prakash M. A brief discussion on advances in polyurethane applications. Advanced Industrial and Engineering Polymer Research. 2020;3(3):93-101.

[2] Changthong T, Hitmengsong K, Boonruangsri N. Concrete Pavement for Urgent Usage [senior project]. Pathumthani: Rangsit University; 2019. (in Thai)

[3] Sukontasukkul P. Concrete. Bangkok: Wankawee Publisher; 2013.

[4] Ramachandran VS, Paroli RM, Beaudoin JJ, Delgado AH. Handbook of thermal analysis of construction materials. New York: Noyes Publication; 2002.

[5] Tanasalagul R, Pantongsuk T, Srichumpong T, Junsomboon J, Prakayapan W, Chaysuwan D. Effect of zeolite on early strength of portland cement mortars. Key Engineering Materials. 2019;798:358-63.

[6] Maj M, Ubysz A, Tamrazyan A. Durability of polyurethane - cement floors. MATEC Web Conf. 2018;251(2).

[7] ASTM C494/C494M-99a: Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete. Annual Book of ASTM Standards. Vol. 04.02. Philadelphia; 2001. p. 261-69.

[8] Kamollertvara K, Ouypornprasert W. Determination of the target mean values for mass production from the specifications for common distribution in civil engineering. Journal of Engineering, RMUTT. 2019;17(2):49-62. (in Thai)

[9] ASTM C188, Standard Test Method for Density of Hydraulic Cement, ASTM International, West Conshohocken, PA; 2017.

[10] ASTM C127-01, Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate, ASTM International, West Conshohocken, PA; 2001.

[11] ASTM C33/C33M-18, Standard Specification for Concrete Aggregates, ASTM International, West Conshohocken, PA; 2018.

[12] ACI211.1-91: Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete. ACI Manual of Concrete Practice. Part 1. Michigan; 1991.

[13] ASTM C230, Standard Specification for Flow Table for Use in Tests of Hydraulic Cement. Annual Book of ASTM Standards. Vol.04.01. West Conshohocken; 2001.

[14] ASTM C109/C109M, Standard Test Method for Comprehensive Strength of Hydraulic Cement Mortars, Annual Book of ASTM Standards. Vol. 04.01. Philadelphia; 2001.

[15] ASTM C190, Standard Test Method for Tensile Strength of Hydraulic Cement Mortars. Annual Book of ASTM Standards. Vol.04.01. West Conshohocken; 2001.

[16] ASTM D638, Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics. ASTM International, West Conshohocken; 2014.

[17] Ramachandran VS and Feldman RF. Cement Science, Concrete Admixtures Handbook, William Andrew Publishing; 1995.