การใช้ตะกอนประปา ในมอร์ต้าร์เกร้าท์รอยต่อผิวทางคอนกรีตสำเร็จรูป
Use of Water Supply Treatment sludge in Mortar Grount in joint of Precast concrete pavement Grouting

ตะวัน เพชรอาวุธ[1,*] และ ผศ.ดร.จตุพล ตั้งปกาศิต[2]

[1,2] ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล-ธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี
Corresponding author; E-mail address: tawan_p@mail.rmutt.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาถึงผลของการใช้ตะกอนน้ำประปาจากโรงงานประปาบางเขนมาใช้แทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์บางส่วนในงานมอร์ต้าร์เกร้าท์รอยต่อของผิวทางคอนกรีตสำเร็จรูป โดยการใช้ตะกอนน้ำประปาแทนที่โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน เพื่อศึกษาแรงยึดเหนี่ยว แรงดัด และ แรงดึงโดยตรง ขนาดตัวอย่างคอนกรีตทรงลูกบาศก์ 15x15x15 เซนติเมตร ทรงกระบอก ø15 สูง 30 เซนติเมตร คาน 10x10x60 เซนติเมตร และ รูปตัวไอ พบว่าคุณสมบัติของตะกอนประปามีค่าความถ่วงจำเพาะน้อยกว่าทราย แต่มีค่าการดูดซึมน้ำมากกว่าทราย ตะกอนประปามาใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ในมอร์ต้าร์เกร้าท์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์ ใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.35 ให้กำลังอัดสูงสุด การทดสอบแรงยึดเหนี่ยวมอร์ต้าร์เกร้าท์ในช่วงอายุต้นมีค่าสูงกว่าฝังเหล็กขณะหล่อ แต่เมื่ออายุ 28 วัน มีค่าน้อยกว่าฝังเหล็กขณะหล่อ สำหรับการทดสอบแรงดึงโดยตรงพบว่าอายุไม่ส่งผลต่อการรับแรงดึง

คำสำคัญ : ตะกอนประปา, เกร้าท์, รอยต่อผิวทาง, แรงยึดเหนี่ยว

ABTRACT

This research aims to study the effects of using water supply treatment sludge from the bangkhen water supply treatment plant was used to partially replace in Portland cement type I by weight for the joint of Precast concrete pavement mortar grouting due to bonding strength, bending and direct tension. The tested of concrete cube 15x15x15 cm., cylinder 15x30, beam 10x10x60 and I-shape were determined at age of 1, 3, 7 and 28 days. The results showed that the specific gravity of water supply excess sluge was lower than sand but the absorption was higher than sand. The compressive strength of water supply treatment sluge to replace Portland cement at the rate of 5 percent with water cement ratio as 0.35 was highest strength of mortar grouting. Bonding strength of mortar grount was higher than place steel bar while casting concrete at early ages. At the age of 28 day, bonding strength of mortar grount was lower than place steel bar while casting concrete. The direction tension was not effect by the age of sample.

Keyword : water supply treatment sludge, grouting, joint of pavement, bonding strength

1. บทนำ

ในปัจจุบันปริมาณตะกอนน้ำประปาที่เป็นวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำดิบเพื่อผลิตเป็นน้ำประปา ยังคงเป็นปัญหาที่ทำให้เกิดค่าใช้จ่ายในการกำจัดตะกอนของโรงงานผลิตน้ำประปา จากข้อมูลของการประปานครหลวงบางเขน พบว่า มีตะกอนดินทิ้งประมาณ 100 ตันต่อวัน [1] ซึ่งการนำตะกอนประปาไปใช้ให้เกิดประโยชน์ยังมีในปริมาณที่น้อย [2, 3] โดยพบว่าการใช้แทนที่คอนกรีตในปริมาณร้อยละ 5 ของวัสดุประสานจะให้ค่ากำลังอัดช่วงอายุต้นมีค่าดีกว่าการใช้ปูนซีเมนต์เพียงอย่างเดียว [4] ถ้าสามารถนำมาตะกอนประปามาใช้ในอุตสาหกรรมก่อสร้างได้ก็จะเป็นแนวทางในการแก้ไขปัญหาให้กับโรงงานผลิตน้ำประปาได้ โดยวิธีที่จะนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมก่อสร้างที่มีการใช้วัสดุในปริมาณที่มาก ทำให้มีความน่าจะเป็นที่จะสามารถนำตะกอนน้ำประปามาใช้ให้เกิดประโยชน์ซึ่งจะเป็นการลดปัญหาในการทิ้งและลดค่าใช้จ่ายในการขนย้ายให้กับโรงงานผลิตน้ำประปาได้ อีกทั้งยังเป็นการช่วยลดมลภาวะทางอากาศได้จากการที่ใช้ตะกอนน้ำประปามาแทนที่บางส่วนในปูนซีเมนต์ [5]

จากเทคโนโลยีการก่อสร้างที่มีการใช้ระบบการก่อสร้างสำเร็จรูปมากขึ้น เนื่องจากปัญหาการขาดแคลนของแรงงานและ

ต้นทุนของวัสดุก่อสร้างที่ปรับตัวสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง สามารถที่จะก่อสร้างได้เร็วและลดการใช้แรงงานลง ซึ่งจากที่กล่าวมานอกจากการก่อสร้างอาคารด้วยระบบสำเร็จรูปแล้ว ในหลาย ๆ ประเทศเริ่มมีการใช้ผิวทางคอนกรีตสำเร็จรูปมากขึ้น ซึ่งจากแนวโน้มดังกล่าวทำให้เห็นว่าการใช้ผิวทางคอนกรีตสำเร็จรูปในประเทศจะมีการใช้มากขึ้น จากแนวโน้มดังที่กล่าวมาจะเห็นว่าผิวทางสำเร็จรูปจะเป็นวัสดุที่จะถูกใช้มากขึ้นในอนาคต [6, 7] จากข้อดีของผิวทางคอนกรีตสำเร็จรูปที่สามารถควบคุมคุณภาพได้ ทำงานได้เร็ว ลดปัญหาจากการทำงานต่าง ๆ ลง โดยรอยต่อของแผ่นผิวทางคอนกรีตสำเร็จรูปจะต้องใช้วัสดุเกร้าท์สำหรับรอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีต เช่น อีพอกซี (Epoxy) แต่เนื่องจากอีพอกซีมีราคาค่อนข้างแพง การนำวัสดุอื่นมาแทนที่ เพื่อประหยัดทั้งราคาและมีคุณภาพใช้งานได้ อีกทั้งถ้าสามารถนำวัสดุเหลือทิ้งมาใช้ให้เกิดประโยชน์ก็จะเป็นการนำสิ่งที่ไม่มีค่า มาทำให้เกิดมูลค่าได้ อีกทั้งยังเป็นการลดการใช้ปูนซีเมนต์ลงได้ ซึ่งส่งผลทำให้สามารถแก้ไขปัญหาต่าง ๆทางสิ่งแวดล้อมได้อีกด้วย

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการนำตะกอนประปามาใช้ในซีเมนต์เกร้าท์รอยต่อและรองพื้นของถนนคอนกรีตสำเร็จรูป (Precast Concrete Pavement) โดยมีจุดมุ่งหมายที่จะลดปัญหาทางสิ่งแวดล้อมและทำให้วัสดุมีราคาที่ไม่สูงเกินไป

2. วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้นของตะกอนประปาจากระบบการผลิตน้ำประปา

1.2.2 เพื่อศึกษาการใช้ตะกอนประปาแทนที่ในปูนซีเมนต์เป็นวัสดุมอร์ต้าร์เกร้าท์ในงานรอยต่อผิวทางคอนกรีต

3. วิธีการทดสอบ

ในการศึกษานี้ ตะกอนที่ได้จากระบบผลิตน้ำประปา ของโรงผลิตน้ำประปา ตั้งอยู่ที่ 400 ถนนประชาชื่น แขวงทุ่งสองห้อง เขตหลักสี่ กรุงเทพมหานคร โดยเก็บตะกอนจากลานทิ้งตะกอนเพื่อนำมาศึกษาหาคุณสมบัติของตะกอนประปา เช่น หาความถ่วงจำเพาะ ทำการทดสอบหาส่วนผสมวัสดุเกร้าท์ โดยใช้ปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 โดยแทนที่ตะกอนประปาในปูนซีเมนต์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก ทำการทดสอบกำลังอัดที่อายุ 1, 3, 7 และ 14 วัน หาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการใช้สำหรับการเป็นวัสดุเกร้าท์ สำหรับรอยต่อผิวทางคอนกรีต เมื่อได้ส่วนผสมแล้ว จะนำมาใช้ในการทดสอบแรงยึดเหนี่ยวของเหล็กกับคอนกรีต โดยใช้การเจาะเสียบเหล็กลงในตัวอย่างคอนกรีตที่เตรียมไว้โดยใช้วัสดุมอร์ต้าร์เกราท์ และทำการทดสอบที่อายุ 1, 3, 7, 14 และ 28 วัน

รูปที่ 1 ตะกอนประปาผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 200

3.1 ขั้นตอนการศึกษา

การนำตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปามาใช้เป็นส่วนผสมสำหรับงานคอนกรีตหล่อสำเร็จรูป นั้นมีวิธีการทดสอบต่างๆ มีรายละเอียดต่อไปนี้

3.1.1 การทดสอบหาคุณสมบัติของมวลรวม โดยทำการหาความถ่วงจำเพาะมวลรวมละเอียด และมวลรวมหยาบ และหน่วยน้ำหนัก

3.1.2 การทดสอบหาปริมาณน้ำที่เหมาะสมและระยะเวลาการก่อตัว

3.2 สัดส่วนผสมของมอร์ต้าร์เกร้าท์

สัดส่วนผสมของมอร์ต้าร์เกร้าท์ที่ใช้ในการทดสอบใช้ตัวอย่างลูกบาศก์ขนาด 5×5×5เซนติเมตร จำนวน 3 ตัวอย่างต่อ 1 อายุเพื่อทดสอบกำลังอัด อัตราส่วนวัสดุประสานต่อทรายเท่ากับ 1 ต่อ 1.375 โดยน้ำหนัก โดยใช้ตะกอนประปาแทนที่ปูนซีเมนต์ และมีการใช้สารลดน้ำเพื่อให้มีความสามารถในการทำงานได้และค่ากำลังอัดเพิ่มขึ้นสำหรับชดเชยกำลังที่หายไปจากปริมาณปูนซีเมนต์ที่ลดลง ซึ่งมีรายละเอียดในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สัดส่วนผสมของมอร์ต้าร์ที่ใช้ในการศึกษา

สัญลักษณ์	ปริมาณส่วนผสมที่ใช้ (กก./ม.^{3})				สารผสมเพิ่ม (ร้อยละ)
	ซีเมนต์	ทราย	น้ำ	ตะกอนประปา	
5C1-F-0.35	948.5	1375	350	49.93	1.50
5C1-F-0.42	948.5	1375	420	49.93	1.50
5C1-F-0.45	948.5	1375	455	49.93	1.50

หมายเหตุ : ใช้สารลดปริมาณร้อยละ 1.5 ของปริมาณน้ำหนักวัสดุประสาน

C1 หมายถึง ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1

F หมายถึง สารลดน้ำพิเศษ ประเภท F

5C1 , หมายถึง ร้อยละของตะกอนประปาที่ใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักตามลำดับ

0.35, 0.42 และ 0.45 หมายถึงอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน

การอ่านสัญลักษณ์

5C1-F-0.35 หมายถึง ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 แทนที่ด้วยตะกอนประปาร้อยละ 5 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ ใช้สารลดน้ำพิเศษประเภท F อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.35

3.3 การทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีตควบคุม

ทดสอบแรงดัดของคานคอนกรีตควบคุมใช้สัดส่วนของคอนกรีตใช้สัดส่วน ปูนซีเมนต์ : ทราย : หิน เท่ากับ 370 : 856 : 1028 โดยน้ำหนัก และอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.50 โดยใช้ขนาดตัวอย่าง 10×10×60 เซนติเมตรที่อายุ 28 วัน ทดสอบแรงดึงของคอนกรีตควบคุมรูปตัวไอขนาด 10×20×60 เซนติเมตร ที่อายุ 28 วัน ทดสอบแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเหล็กเสริมกับคอนกรีตควบคุมทรงกระบอก ø15 สูง 30 เซนติเมตรที่อายุ 1, 3, 7, 14 และ 28 วัน ทดสอบแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเหล็กเสริมกับคอนกรีตควบคุมทรงลูกบาศก์ 15×15×15 เซนติเมตรที่อายุ 1, 3, 7, 14 และ 28 วัน โดยทำการทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีตควบคุม เพื่อใช้สำหรับเปรียบเทียบกับคุณสมบัติของคอนกรีตที่เจาะใส่เหล็กแล้วใช้วัสดุเกร้าท์ที่แทนที่ด้วยตะกอนประปาเป็นตัวเชื่อมประสาน

3.4 การทดสอบแรงยึดเหนี่ยวของวัสดุเกร้าท์ที่แทนที่ด้วยตะกอนประปา

3.4.1 ทดสอบแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเหล็กเสริมกับวัสดุเกร้าท์โดยฝังเหล็กข้ออ้อย 12 มิลลิเมตรลึก 20 เซนติเมตรในตัวอย่างรูปทรงกระบอกทรงกระบอก ø15 สูง 30 เซนติเมตร รูเจาะใส่วัสดุเกร้าท์ ขนาด 16 มิลลิเมตร ทดสอบแรงดึงของเหล็กที่ฝังในคอนกรีตโดยใช้วัสดุเกร้าท์ที่อายุ 1, 3, 7, 14 และ 28 วัน

3.4.2 ทดสอบแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเหล็กเสริมกับวัสดุเกร้าท์ โดยฝังเหล็กข้ออ้อย 12 มิลลิเมตร ลึก 12 เซนติเมตรในตัวอย่างทรงลูกบาศก์ขนาด 15×15×15 เซนติเมตร รูเจาะใส่วัสดุเกร้าท์ ขนาด 16 มิลลิเมตร ทดสอบแรงดึงของเหล็กที่ฝังในคอนกรีตโดยใช้วัสดุเกร้าท์ที่อายุ 1, 3, 7, 14 และ 28 วัน

รูปที่ 2 ทรงกระบอก ø15 สูง 30 เซนติเมตร

รูปที่ 3 ทรงลูกบาศก์ขนาด 15 x 15 x 15 เซนติเมตร

3.4.3 ทดสอบโดยวิธีหาความเค้นดัดของตัวอย่างคานขนาด 10×10×60 เซนติเมตร โดยการฝังเหล็กข้ออ้อย 12 มิลลิเมตรยาว 30 เซนติเมตร โดยเหล็กปลายด้านหนึ่งจะหล่อฝังไปกับตัวอย่างตอนหล่อคอนกรีตยาว 15 เซนติเมตร อีกด้านหนึ่งเจาะตัวอย่างคอนกรีตที่เตรียมไว้สำหรับการใช้วัสดุเกร้าท์ลึก 15 เซนติเมตร โดยรูเจาะใส่วัสดุเกร้าท์มี ขนาด 16 มิลลิเมตร ทดสอบโดยให้แรงดัดที่อายุวัสดุเกร้าท์ 1, 3, 7, 14 และ 28 วัน

รูปที่ 4 แบบ ขนาด 10 x 10 x 60 เซนติเมตร

รูปที่ 5 ตัวอย่างคานขนาด 10 x 10 x 60 เซนติเมตร

3.4.4 ทดสอบแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเหล็กเสริมกับวัสดุเกร้าท์ โดยทดสอบแรงดึงโดยตรงของตัวอย่างคอนกรีตรูปตัว I โดยใช้เหล็กข้ออ้อย 12 มิลิเมตรยาว 30 เซนติเมตร ในตัวอย่างรูปตัวไอขนาด 10×20×30 เซนติเมตร ทำการหล่อตัวอย่างโดยฝังเหล็กข้างหนึ่ง 15 เซนติเมตร เตรียมไว้ส่วนอีกด้านหนึ่งทำการเจาะเพื่อใช้วัสดุเกร้าท์เพื่อฝังเหล็กยาว 15 เซนติเมตร มีรูเจาะขนาด 16 มิลลิเมตร เมื่อประกอบกันแล้วจะได้เป็นตัวอย่างรูปตัว I สำหรับทดสอบแรงดึงโดยตรงที่อายุ 1, 3, 7, 14 และ 28 วัน

รูปที่ 6 แบบรูปตัวไอ ขนาด 20 x 10 x 30 เซนติเมตร

รูปที่ 7 ตัวอย่างรูปตัวไอขนาด 10 x 20 x 60 เซนติเมตร

4. ผลการทดสอบ

4.1 ผลการดำเนินงานและการวิเคราะห์คุณสมบัติของวัสดุ

จากการทดสอบหาคุณสมบัติของวัสดุได้ผลการทดสอบในตารางที่ 2 จากการทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะของตะกอนน้ำประปาเมื่อเทียบกับทรายและหินจะพบว่ามีค่าความถ่วงจำเพาะน้อยกว่าทรายและหินเล็กน้อยเมื่อทำการทดสอบหน่วยน้ำหนักจะพบว่าตะกอนประปามีค่าหน่วยน้ำหนักน้อยกว่าทรายหิน เนื่องจากตะกอนน้ำประปามีขนาดละเอียดกว่าทรายและมีลักษณะเป็นผงจึงมีการดูดซึมน้ำที่สูงกว่าทรายและหิน

ตารางที่ 2 คุณสมบัติของวัสดุตามมาตรฐานต่าง ๆ

รายการ	ความถ่วงจำเพาะ	การดูดซึม ร้อยละ	หน่วยน้ำหนัก กก./ม^3.
ทราย	2.64	0.427	1.706
หิน	2.69	0.677	1.54
ตะกอนน้ำประปา	2.46	8.495	0.998

4.2 ปริมาณน้ำที่เหมาะสมและระยะเวลาการก่อตัว

การทดสอบหาปริมาณน้ำที่เหมาะสม ระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้นและระยะเวลาการก่อตัวสุดท้ายแสดงผลการทดสอบในตารางที่ 3 พบว่า เมื่อแทนที่ด้วยตะกอนประปามีผลทำให้ระยะเวลาก่อตัวเริ่มต้นสั้นกว่า C1 เนื่องจากตะกอนประปาที่แทนที่ไปทำหน้าที่ดูดซึมน้ำในส่วนผสมทำให้ปริมาณน้ำในส่วนผสมให้น้อยลง

ทำให้การก่อตัวระยะต้นมีค่าน้อย แต่ระยะสุดท้ายของ 5C1-F ใช้เวลามากกว่าของ C1 เพราะตะกอนประปาที่แทนที่ปูนซีเมนต์ทำให้ปริมาณปูนซีเมนต์ในส่วนผสมน้อยลง การทำปฏิกิริยาน้อยลง ระยะเวลาการก่อตัวระยะสุดท้ายจึงช้ากว่าปูนซีเมนต์

ตารางที่ 3 ปริมาณน้ำและระยะการก่อตัว

สัญลักษณ์	ค่าความข้นเหลว (ร้อยละ)	ระยะเวลาก่อเริ่มต้น (นาที)	ระยะเวลาก่อตัวสุดท้าย (นาที)
C1	27	95	165
5C1- F	28	63	195

4.3 ผลการดำเนินงานและวิเคราะห์การทดสอบกำลังอัด

จากการทดสอบการรับกำลังอัดของตัวอย่างมอร์ต้าร์เกร้าท์ลูกบาศก์ขนาด 5 x 5 x 5 เซนติเมตร ตามตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบกำลังอัดของมอร์ต้าร์เกร้าท์

สัญลักษณ์	กำลังรับแรงอัด (กก./ตร.ซม.) ที่อายุ 1, 3, 7, 14 วัน			
	1	3	7	14
5C1-F-0.35	143	163	255	347
5C1-F-0.42	51	133	204	275
5C1-F-0.45	82	153	184	214

จากการทดลองพบว่า 5C1-F-0.35 เป็นส่วนผสมที่ดีที่สุดเนื่องจากใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานน้อยที่สุด หรือมีอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.37 เมื่อรวมน้ำที่อยู่ในสารลดน้ำ เพื่อให้ได้ค่ากำลังที่สูงในช่วงอายุต้นจึงจะต้องใช้สารลดน้ำและใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานที่น้อย โดยในช่วงอายุ 7 ถึง 14 วัน จะมีการพัฒนากำลังอัดที่เร็วกว่าช่วงเวลาอื่น ๆ แต่เมื่ออายุมากกว่า 14 วันไปแล้วการพัฒนากำลังอัดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นแต่ไม่มากเหมือนช่วงอายุระหว่าง 7 ถึง 14 วัน

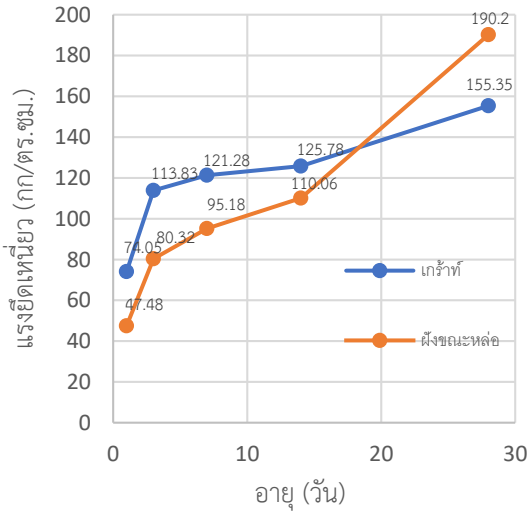
4.4 ผลการทดสอบกำลังของคอนกรีตควบคุมที่28 วัน

ผลการทดสอบแรงดัดของตัวอย่างคานคอนกรีตขนาด 10×10×60 เซนติเมตรมีค่าเท่ากับ 5.33 กก./ตร.ซม. แรงดึงของตัวอย่างรูปตัวไอขนาด 10×20×60 เซนติเมตรมีค่าเท่ากับ 18.78 กก./ตร.ซม. แรงอัดของตัวอย่างลูกบาศก์ขนาด 15×15×15 เซนติเมตรมีค่าเท่ากับ 365.55 กก./ตร.ซม.

ตารางที่ 5 โมเมนต์ดัดคานคอนกรีต ขนาด 10×10×60 เซนติเมตร เจาะฝังเหล็กใช้วัสดุเกร้าท์ข้างหนึ่ง อีกข้างหล่อฝังในคอนกรีต

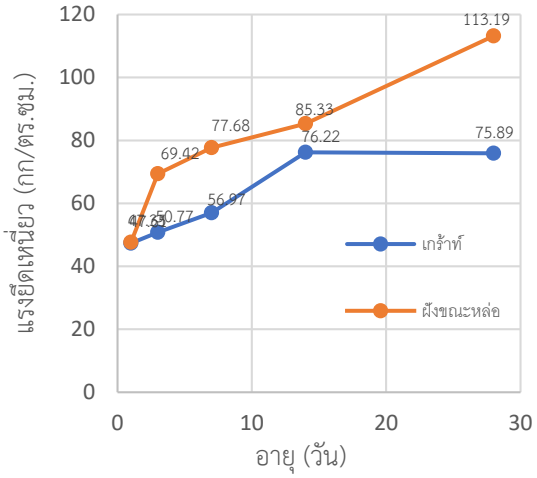
อายุ (วัน)	ค่าโมเมนต์ดัด (กก.- ซม.)
1	105787.50
3	107041.67
7	105112.50
14	106475.00
28	107254.17

จากผลการทดสอบแรงดัดของตัวอย่างคานคอนกรีต ขนาด 10×10×60 เซนติเมตร เจาะฝังเหล็กเกร้าวัสดุเกร้าท์ข้างหนึ่ง15 เซนติเมตร ฝังในคอนกรีตข้างหนึ่ง 15 เซนติเมตรในตารางที่ 5 พบว่าค่าแรงดัดที่อายุ 1 จนถึง 28 วัน มีค่าไม่แตกต่างกัน



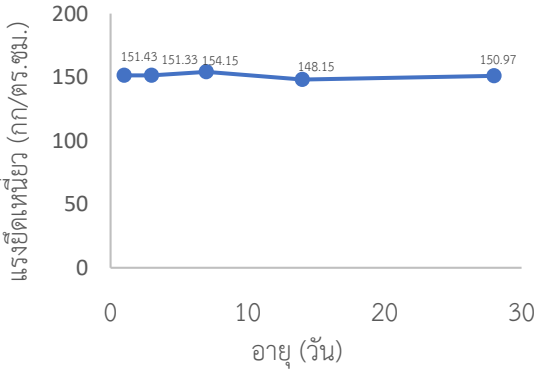
รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงยึดเหนี่ยวของเหล็กเสริมที่ฝังในคอนกรีตเทียบกับใช้วัสดุมอร์ต้าร์เกร้าท์ของลูกบาศก์ขนาด 15×15×15 เซนติเมตร

จากรูปที่ 8 แสดงให้เห็นได้ว่าตัวอย่างการทดสอบตัวอย่างลูกบาศก์ขนาด 15 x 15 x 15 ซม. แบบเจาะทีหลังแล้วใช้วัสดุมอร์ต้าร์เกร้าท์ยึดเหล็กจะมีแรงยึดเหนี่ยวของคอนกรีตกับเหล็กเสริมคอนกรีต (bond strength) มากกว่าแบบใส่เหล็กตอนหล่อคอนกรีตแบบธรรมดาในช่วงอายุเริ่มต้นจนถึงอายุ 14 วัน แต่เมื่ออายุ 28 วัน จะพบว่าการใส่เหล็กตอนหล่อคอนกรีตแบบธรรมดาจะมีค่าสูงกว่า ซึ่งผลที่ได้มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกับของ นายธวัชชัย และคณะ [8] ที่พบว่าการใช้ตะกอนประปาจะให้ค่ากำลังอัดได้สูงกว่าคอนกรีตปกติ แต่เมื่ออายุมากขึ้นจะมีค่าน้อยกว่าอาจจะเป็นจากการหดตัวของมอร์ต้าร์เกร้าท์ที่แทนที่ตะกอนประปาในปูนซีเมนต์ทำให้การแรงยึดหน่วงลดลง ซึ่งจากงานวิจัยของ ยิ่งพงษ์ และ จตุพล [5] แสดงให้เห็นว่าคอนกรีตที่แทนที่ตะกอนประปาในปูนซีเมนต์จะมีค่าการหดตัวมากกว่าคอนกรีตควบคุม



รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างเหล็กเสริมที่ฝังในคอนกรีตเทียบกับเหล็กที่ใช้วัสดุมอร์ต้าร์เกร้าท์ทรงกระบอกขนาด 15×30 เซนติเมตร

จากรูปที่ 9 แสดงให้เห็นได้ว่าตัวอย่างการทดสอบตัวอย่างลูกบาศก์ขนาด 15 x 30 ซม. แบบเจาะทีหลังแล้วใช้วัสดุมอร์ต้าร์เกร้าท์ยึดจับเหล็กจะมีแรงยึดเหนี่ยวของคอนกรีตกับเหล็กเสริมคอนกรีต (bond strength) มีค่าน้อยกว่าแบบใส่เหล็กตอนหล่อคอนกรีตแบบธรรมดา จะพบว่าค่าแตกต่างจากการฝังเหล็กในตัวอย่างคอนกรีตขนาด 15x15x15 อาจจะเป็นเพราะการเจาะฝังเหล็กที่ลึกกว่าทำให้การใช้วัสดุมอร์ต้าร์เกร้าท์ ทำได้ยากกว่าจึงส่งผลให้มอร์ต้าร์เกราท์จับยึดได้ไม่ดี และเมื่ออายุ 28 วัน ค่าแนวโน้มของกำลังอัดลดลงมากขึ้นเมื่อเทียบกับการฝังคอนกรีตฝังขณะหล่อ เมื่อนำผลที่ได้ไปเทียบกับงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าเหมือนกับผลของ นายธวัชชัย และคณะ [8] ที่พบว่าการใช้ตะกอนประปาจะให้ค่ากำลังอัดเมื่ออายุมากขึ้นจะมีค่าน้อยกว่าเนื่องจากตะกอนประปามีความแข็งแกร่งไม่เท่ากับทราย ทำให้กำลังที่อายุ 28 วัน จึงมีค่าต่ำกว่า เพราะในช่วงอายุ 1 วัน กำลังของคอนกรีตยังไม่ค่าไม่สูงมาก ความแข็งแรงของวัสดุผสมยังไม่ส่งผลต่อกำลังอัดมากนัก แต่เมื่ออายุมากขึ้น กำลังอัดมีค่าสูงขึ้นความแข็งของมวลรวมจะส่งผลต่อกำลังอัดมากกว่า และอาจจะมีผลมาจากการหดตัวของมอร์ต้าร์เกร้าท์ที่แทนที่ตะกอนประปาในปูนซีเมนต์ทำให้การแรงยึดหน่วงลดลง



รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างเหล็กเสริมคอนกรีตตัวอย่างที่ใช้วัสดุมอร์ต้าร์เกร้าท์กับอายุ ตัวไอขนาด 10×20×60 เซนติเมตร

เมื่อทดสอบแรงดึงโดยตรงของตัวอย่างคอนกรีตรูปตัว I ปลายเหล็กข้างหนึ่งฝังขณะหล่อ และ อีกข้างหนึ่งเจาะฝังด้วยมอร์ต้าร์เกร้าท์ พบว่าเมื่ออายุมากขึ้นค่าแรงดึงที่ทดสอบได้ไม่มีค่าแตกต่างกันแสดงว่าอายุไม่ส่งผลต่อการรับแรงดึง เนื่องจากการวิบัติจะเกิดขึ้นที่คอนกรีตที่รับแรงดึงได้ไม่มากและไม่ได้เกิดการวิบัติที่แรงยึดเหนี่ยวของเหล็กฝัง

5.บทสรุป

จากการทดลองพบว่าสามารถนำตะกอนประปามาใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ในส่วนผสมมอร์ตาร์เกร้าท์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์ ใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.35 โดยคุณสมบัติของตะกอนประปามีค่าความถ่วงจำเพาะน้อยกว่าทราย แต่มีค่าการดูดซึมน้ำมากกว่าทราย แรงยึดเหนี่ยวสูงสุดของคอนกรีตกับเหล็กเสริมในช่วงอายุต้นจะมีค่ามากกว่าคอนกรีตควบคุม แต่เมื่ออายุ 28 วัน จะมีค่าน้อยกว่าเป็นผลมาจากการหดตัวของมอร์ต้าร์เกร้าท์ และการทดสอบแรงดึงโดยตรงพบว่าอายุไม่มีผลต่อการรับแรงดึงไม่ส่งผลต่อการรับแรงดึงโดยตรงของคอนกรีต

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ นักศึกษา เจ้าหน้าที่ และภาคโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่มีส่วนช่วยในงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] โรงงานผลิตน้ำประปาบางเขน (2543). เอกสารเรื่องการกาจัดตะกอนของโรงผลิตน้ำประปาบางเขนในปัจจุบัน. โรงผลิตน้ำประปาบางเขน การประปานครหลวง.

[2] ดวงกมล สุริยฉัตร, ภาสันต์ วิชิอมรพันธ์ และ วรรธนะ เรืองสำเร็จ (2547). การประยุกต์ใช้ตะกอนจากน้ำประปา. สำนักอุสาหกรรมพื้นฐาน. กรมอุสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่. พิมพ์ครั้งที่ 1.

[3] จิตรกรวงศ์เชาวลิต. คุณสมบัติทางเคมีของเถ้าตะกอนสลัดจ์ที่เกิดจากการผลิตน้ำประปา (2543). วิทยานิพนธ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

[4] วศิน ดินกาหมีน, นายวิษณุ ชูกลิ่น, นายสุวัชชัย ละใบยูโซ๊ะ และ นายอนุพงศ์ ผาตะพงษ์, (2555). การนำตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปามาใช้เป็นส่วนผสมในการทำคอนกรีตกำลังสูงที่อายุต้น สำหรับงานคอนกรีตหล่อสำเร็จรูป, ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.

[5] ยิ่งพงษ์ หนูเนื้อ และ จตุพล ตั้งปกาศิต (2562) ผลกระทบของการใช้ตะกอนประปาแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ทแลนต์ต่อกาลังอัด แรงดึงโดยตรง และ การหดตัวของคอนกรีต, การประชุมวิชาการคอนกรีตประจาปี ครั้งที่ 14, ประจวบคีรีขันธ์, 6 - 8 มีนาคม 2562.

[6] Manual for Jointed Precast Concrete Pavemen, 3rd edition, (2018). National Precast Concrete Association

[7] Shiraz, Tayabji. Dan, Ye. and Neeraj, Buch. (2013). Precast concrete pavement systems are used in highway corridors with high traffic volume and where lane closures are problematic, PCI Journal, Winter, 2013, pp.112-128.

[8] นายธวัชชัย พลรักษ์, นายศรายุทธ เที่ยงแท้, นายรณชัย รุกขวัฒน์ และ นายฐิติกร แก้วประชา (2556). การนำตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปามาใช้เป็นส่วนผสมในการทำคอนกรีตกำลังสูงสำหรับงานคอนกรีตสำเร็จรูป, ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.