Journal of Thailand Concrete Association
วารสารวิชาการสมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย

APPLICATION OF ANTI-WASHOUT UNDERWATER CONCRETE TO REPAIR OF AN UNDERWATER STRUCTURE

การซ่อมแซมโครงสร้างคอนกรีตใต้น้ำโดยนวัตกรรมคอนกรีตใต้น้ำที่ป้องกันการชะล้าง

Prachark Premchit[1] Chalermchai Wanichlamlert[2] Pitisan Krammart[3*] Somnuk Tangtermsirikul[4]

[1]General Manager, S.C.B ENGINEERING CO.,LTD.

[2]Independent Concrete Researcher

[3*]Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi

[4]Professor, School of Civil Engineering and Technology, Sirindhorn International Institute of Technology, Thammasat University

ARTICLE INFO:

Received: August June 7, 2017
Received Revised Form:
June 28, 2017
Accepted: June 30, 2017

ABSTRACT:

A project of an underwater concrete structure repair using an innovation of anti-washout underwater concrete is presented in this paper. Presented in this paper are the development concept of the anti- washout underwater concrete and its application for solving specific problems in this repair and construction works. The results showed that the developed mix proportion of the underwater concrete together with the procedures, methods and techniques of underwater concrete pouring in marine environment with wind waves, can be applied to the Pilot Station Building Renovation Project in Samut Prakarn Province. The underwater concrete had good anti-washout resistance in fresh state and did not allow blending with outer water. This success leads to the new technique for efficient concrete pouring in underwater condition.

KEYWORDS: Anti-washout admixture, underwater concrete, underwater structures

**Corresponding Author,*
Email address: hsopjj@gmail.com,
pitisan.k@en.rmutt.ac.th

©2017 J. of TCA All rights reserved

บทคัดย่อ:

การศึกษาซ่อมแซมโครงสร้างคอนกรีตใต้น้ำโดยนวัตกรรมคอนกรีตใต้น้ำที่ป้องกันการชะล้าง ในครั้งนี้เป็นการนำเสนอแนวคิดการพัฒนาคอนกรีตใต้น้ำ และการนำคอนกรีตใต้น้ำมาใช้งานจริง เพื่อแก้ปัญหาอุปสรรคงานซ่อมหรืองานก่อสร้าง ผลของการศึกษาพบว่า สามารถนำสัดส่วนผสมคอนกรีตใต้น้ำ ตลอดจนขั้นตอน วิธีการ และเทคนิคต่างๆ ของการเทคอนกรีตใต้น้ำ ที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้ มาใช้กับงานจริงของโครงการ “งานปรับปรุงอาคารสถานีนำร่อง จังหวัดสมุทรปราการ” ได้ตรงตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดในสภาพแวดล้อมทางทะเล ขณะมีคลื่นลม ทนการชะล้างจากน้ำได้เป็นอย่างดี คอนกรีตสดไม่ถูกชะล้าง และไม่ยอมให้น้ำภายนอกเข้ามาผสมได้ ซึ่งนำไปสู่การพัฒนาเทคนิคการเทคอนกรีตใต้น้ำระบบใหม่โดยประสบความสำเร็จเป็นอย่างดี

คำสำคัญ: สารป้องกันการชะล้าง, คอนกรีตใต้น้ำ, โครงสร้างคอนกรีตใต้น้ำ

1. บทนำ

การจะได้อาคารคอนกรีตที่ดี จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการวิเคราะห์และออกแบบอย่างถูกต้องตามหลักวิชาการ มีการออกแบบส่วนผสมและเลือกใช้วัสดุที่มีคุณภาพตามมาตรฐานและเหมาะสมกับสภาพแวดล้อมของโครงสร้าง ตลอดจนมีการก่อสร้างให้เป็นไปตามแบบและมีการควบคุมการก่อสร้างที่ดี การดำเนินการเพื่อให้ได้โครงสร้างคอนกรีตที่มีคุณภาพตามต้องการข้างต้นนั้นเป็นสิ่งที่ไม่ง่ายนัก เพราะต้องอาศัยความรู้เกี่ยวกับคอนกรีตและวัสดุ ตลอดจนวิธีการก่อสร้างที่เกี่ยวข้องเป็นอย่างมาก

การเทคอนกรีตใต้น้ำ (tremie concrete) ที่ผ่านมาเป็นการเทคอนกรีตโดยป้อนจากภาชนะที่บรรจุ (hopper) ให้ไหลไปโดยน้ำหนักของตัวเองด้วยแรงดึงดูดของโลกลงไปตามท่อในแนวดิ่ง โดยทั่วไปใช้ท่อขนาด 20 เซนติเมตร ซึ่งต่อลงไปจนถึงพื้นใต้น้ำ ก่อนเริ่มต้นเทคอนกรีตในน้ำ จะต้องอุดปลายท่อ เพื่อมิให้น้ำเข้าเสียก่อน ซึ่งเมื่อคอนกรีตไหลลงไปในท่อแล้วจะดันให้ตัวอุดหลุดออกไปเอง ต้องระวังให้คอนกรีตเต็มท่ออยู่เสมอ และปลายล่างของท่อจะต้องจมอยู่ในเนื้อคอนกรีตซึ่งยังไม่แข็งตัว 30 ถึง 50 เซนติเมตรตลอดเวลา ทั้งนี้เพื่อมิให้น้ำไหลเข้าไปในท่อ การไหลของคอนกรีตควบคุมโดยการเลื่อนท่อขึ้นลงในแนวดิ่ง เมื่อเริ่มต้นเทคอนกรีตแล้วต้องเทให้ติดต่อไปจนแล้วเสร็จ ถ้ามีเหตุอันทำให้การเทคอนกรีตต้องขาดตอน จะต้องตั้งต้นใหม่เช่นเดียวกับการเริ่มต้นเทคอนกรีต ในที่ๆ มีกระแสน้ำไหลต้องทำแบบให้ดีไม่ให้รั่ว เพื่อป้องกันมิให้น้ำปูนไหลออกไปนอกแบบ ต้องระวังมิให้คอนกรีตลงไปในน้ำโดยตรง เพราะจะทำให้ปริมาณปูนซีเมนต์ในส่วนผสมถูกชะล้างออกไป หรือทำให้ส่วนผสมเปลี่ยนไป หรือทำให้คอนกรีตแยกตัว การเทคอนกรีตต้องควบคุมให้คอนกรีตแผ่ตัวออกไปทางด้านข้าง ซึ่งจะขึ้นอยู่กับความสูงของระยะที่เทและความข้นเหลวของคอนกรีตด้วย และพยายามเทให้คอนกรีตเพิ่มขึ้นมาเป็นระดับเท่าๆ กันทั้งหน้าตัดที่เท

จากที่กล่าวมาข้างต้น ทำให้เห็นว่าปัจจัยสำคัญอันดับต้นๆ ที่มีผลต่อการเสื่อมสภาพ หรือการถูกทำลายของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กใต้น้ำหรือที่อยู่ในสิ่งแวดล้อมทะเลนั้น คือ สัดส่วนผสมหรือวัสดุที่ใช้ผสมคอนกรีต ซึ่งจะมีผลต่อการถูกทำลายจากสิ่งแวดล้อมทะเลเมื่อคอนกรีตแข็งตัวแล้ว (กำลัง และความคงทน เป็นต้น) และมีผลต่อสมบัติและการทำงานของคอนกรีตสด (ความสม่ำเสมอ ความยากง่ายในการเท และการแยกตัว เป็นต้น) และที่ไม่สามารถมองข้ามไปได้สำหรับคอนกรีตใต้น้ำนั้น ปัญหาหรืออุปสรรคหลักอยู่ที่ขั้นตอนวิธีการของการเทคอนกรีตใต้น้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งคอนกรีตใต้น้ำในทะเลที่ระดับน้ำลึก และไกลจากชายฝั่ง ซึ่งจะต้องเผชิญทั้งสภาพน้ำลึก ลมแรง และกระแสน้ำไหลแรง เป็นต้น ดังนั้นการศึกษานวัตกรรมคอนกรีตใต้น้ำในครั้งนี้ จะเน้นไปที่การพัฒนาสัดส่วนผสมของคอนกรีตที่นำมาใช้ และขั้นตอน วิธีการ ตลอดถึงเทคนิคต่างๆ ของการเทคอนกรีตใต้น้ำ ซึ่งต่างก็เป็นปัญหาหลักของคอนกรีตใต้น้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการศึกษาในครั้งนี้ ทั้งสัดส่วนผสมของคอนกรีต และ/หรือขั้นตอนวิธีการในการทำงานของคอนกรีตสด เป็นการนำมาใช้กับโครงสร้างที่อยู่ในสถานที่ใต้น้ำจริง นั่นคือใช้กับการซ่อมแซมโครงสร้างอาคารคอนกรีตส่วนที่อยู่ใต้น้ำของ

©2017 J. of TCA All rights reserved

โครงการ “งานปรับปรุงอาคารสถานีนำร่อง จังหวัดสมุทรปราการ”

2. สัดส่วนผสมคอนกรีตใต้น้ำ

ในการออกแบบสัดส่วนผสมคอนกรีตใต้น้ำนั้น คุณลักษณะที่ต้องการของคอนกรีตใต้น้ำ จะต้องมีสมบัติด้านต่างๆ ประกอบไปด้วย 1) กำลังอัดประลัยที่ 28 วัน ต้องไม่น้อยกว่า 500 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร 2) ต้านทานการชะล้าง (anti-washout ability) 3) การแยกตัวน้อยมากหรือแทบไม่มีเลย (zero-segregation) 4) ปรับระดับเองได้ (self-leveling / self-consolidation) 5) หดตัวต่ำ (non / low-shrinkage) 6) ต้านทานคลอไรด์ (chloride resistance) และ 7) ต้านทานซัลเฟต (sulfate resistance) นอกจากสมบัติที่กล่าวมาแล้ว ในการเตรียมส่วนผสมของคอนกรีต สามารถ เตรียมเป็นส่วนผสมแห้ง (dry mix) ได้

ลักษณะของคอนกรีตไหลด้วยตัวเอง (self-consolidation concrete: SCC) ซึ่งในสถานะคอนกรีตสดนั้น SCC เป็นคอนกรีตที่มีลักษณะพฤติกรรมเป็นของไหล (fluidity) โดยมีลักษณะเฉพาะคือ 1) มีความสามารถการเปลี่ยนแปลงรูปร่างสูง (deformability) 2) มีความต้านทานการแยกตัวสูง (segregation resistance) และ 3) มีความสามารถในการไหลผ่านอุปสรรคสูง (passing ability)

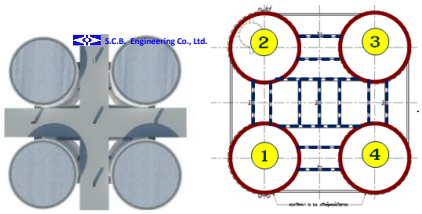
ในส่วนการต้านทานคลอไรด์และต้านทานซัลเฟตนั้น ได้พิจารณาออกแบบสัดส่วนผสมคอนกรีตใต้น้ำ กระทำตาม มยผ. 1332-55 มาตรฐานงานคอนกรีตเมื่อพิจารณาความคงทนและอายุการใช้งาน [1]

3. ลักษณะสภาพโดยทั่วไปก่อนซ่อมแซมของอาคารสถานีนำร่อง จังหวัดสมุทรปราการ

อาคารสถานีนำร่อง จังหวัดสมุทรปราการ กรมการขนส่งทางน้ำและพาณิชยนาวี (โดยได้เปลี่ยนชื่อจากกรมเจ้าท่า เมื่อปี พ.ศ.2552) กระทรวงคมนาคม เป็นอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กขนาดกว้าง 30 เมตร ยาว 30 เมตร และสูง 4 ชั้น มีหอประภาคารด้านบนที่มีความสูง 12 เมตร มีเสารองรับน้ำหนักบรรทุกของอาคาร เป็นโครงสร้างปลอกเหล็กขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8.00 เมตร ตอกลงในชั้นดินกลางอ่าวไทย จำนวน 4 ต้น โดยมีความสูงจากผิวพื้นดินถึงท้องพื้นของอาคาร 18 เมตร มีระดับน้ำขึ้น-ลงจากท้องพื้นอาคารลงมา 2 ถึง 3 เมตร ภายในเสาเหล็กบรรจุหินขนาดใหญ่ ก่อสร้างเมื่อปี พ.ศ. 2516 และเปิดใช้งานเมื่อปี พ.ศ. 2522 และได้ใช้งานมาจนถึงปี พ.ศ.2530 ได้มีการซ่อมแซมเสาโดยที่ผิวภายนอกของเหล็กได้ grout คอนกรีตหุ้มไว้หนา 0.30 เมตร จนกระทั่งเมื่อปี พ.ศ. 2558 ทางกรมการขนส่งทางน้ำและพาณิชยนาวี ได้ทำการสำรวจตรวจสอบโครงสร้างของอาคารดังกล่าว และพบว่าคอนกรีตที่ทำการเทหุ้มเสาไว้เกิดการชำรุดแตกร้าวหลุดร่อนออกบางส่วน และพิจารณาแล้วว่าจำเป็นต้องมีการซ่อมแซมหรือปรับปรุงอาคารดังกล่าว รูปที่ 1ก) แสดงภาพถ่ายของอาคาร และแปลนแสดงตำแหน่งเสารับตัวอาคารแสดงในรูปที่ 1ข)

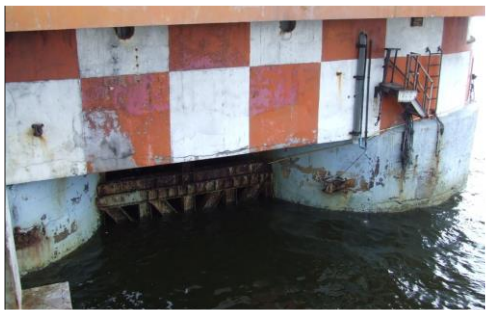
จากการสำรวจสภาพทางกายภาพของอาคารที่เป็นโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กของสถานีนำร่อง จังหวัดสมุทรปราการ ซึ่งอาคารจะมีทั้งส่วนที่อยู่ใต้น้ำ ในสภาพน้ำขึ้นน้ำลง (เปียกสลับแห้ง) และเหนือผิวน้ำ ซึ่งสามารถมองเห็นถึงส่วนที่ถูกทำลายโดยสิ่งแวดล้อมทะเล จะเห็นทั้งส่วนที่คอนกรีตเกิดการแตกร้าวและหลุดร่อนออกมา และในส่วนที่เหล็กเสริมเป็นสนิม โดยรูปที่ 1ค) และ 1ง) แสดงสภาพโดยทั่วๆ ไปของอาคารใต้น้ำของสถานีนำร่องก่อนซ่อมแซม

ก) ภาพถ่ายของสถานีนำร่อง จังหวัดสมุทรปราการ



ข) แปลนแสดงตำแหน่งเสา โดยเสามีเส้นผ่านศูนย์กลาง 8.00 เมตร (เสาเหล็กภายในบรรจุหินขนาดใหญ่) มีการแก้ไขเมื่อปี 2530 ขยายเป็นเส้นผ่านศูนย์กลาง 8.60 เมตร โดยหุ้มคอนกรีตหนา 0.30 เมตร โดยรอบ

©2017 J. of TCA All rights reserved



ค) สภาพการเสื่อมสภาพของเสารองรับน้ำหนักบรรทุกของอาคาร

ง) ความเสียหายท้องพื้นชั้นล่าง

รูปที่ 1 สภาพทั่วไปก่อนซ่อมแซมของอาคารใต้น้ำ ของสถานีนำร่อง จังหวัดสมุทรปราการ

4. การทดสอบสมบัติของคอนกรีตใต้น้ำ

ในส่วนผสมของคอนกรีตใต้น้ำ เพื่อป้องกันการชะล้างของน้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเทคอนกรีตในสภาพน้ำลึก ลมแรง และกระแสน้ำไหลแรง จำเป็นต้องใส่สารป้องกันการชะล้าง หรือ anti-washout admixture เพื่อป้องกันการชะล้างของอนุภาคปูนซีเมนต์โดยน้ำ สิ่งที่ต้องคำนึงถึงของประสิทธิภาพของการใช้น้ำยา anti-washout นี้ คือต้องให้น้ำยานี้สามารถกระจายตัวได้อย่างทั่วถึงในส่วนผสมของคอนกรีตให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ จะทำให้คอนกรีตสามารถกันน้ำหรือต้านทานการชะล้างจากน้ำได้ดี และจากการที่ได้ทดลองผสมน้ำยา anti-washout แล้วพบว่าถ้าใส่น้ำยา anti-washout ในคอนกรีตมากเกินไปความหนืดของส่วนผสมจะเพิ่มมากเกินไป จนทำให้ลดความสามารถในการต้านทานการชะล้าง ดังนั้นในการทดลองผสม จึงใส่เพิ่มน้ำยา ant-washout ตามสถานะของคอนกรีต ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 นำปูนซีเมนต์ผสมกับน้ำ (ตามสัดส่วนที่ได้ออกแบบไว้) ให้มีสถานะเป็นเพสต์ จากนั้นใส่เพิ่มสาร anti-washout ในปริมาณที่เหมาะสม โดยที่สังเกตว่าน้ำจากภายนอกไม่สามารถชะล้างส่วนผสมของเพสต์ได้ โดยทดสอบได้จากการเทส่วนผสมดังกล่าวลงในน้ำผ่านภาชนะใสที่สามารถมองเห็นพฤติกรรมการเทคอนกรีตใต้น้ำ

ขั้นตอนที่ 2 นำเพสต์ (ที่ได้จากขั้นตอนที่ 1 ซึ่งมีส่วนผสมของน้ำยา anti-washout ผสมอยู่ด้วย) ผสมกับทราย (ตามสัดส่วนที่ได้ออกแบบไว้) ให้มีสถานะเป็นมอร์ต้าร์ จากนั้นใส่เพิ่มสาร anti-washout ในปริมาณที่เหมาะสม โดยที่สังเกตว่าน้ำจากภายนอกไม่สามารถชะล้างส่วนผสมของมอร์ต้าร์ได้ โดยทดสอบได้จากการเทส่วนผสมดังกล่าวลงในน้ำผ่านภาชนะใสที่สามารถมองเห็นพฤติกรรมการเทคอนกรีตใต้น้ำได้เช่นเดียวกับการทดสอบของเพสต์

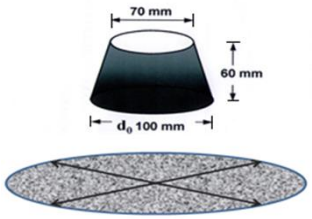
ขั้นตอนที่ 3 นำมอร์ต้าร์ (ที่ได้จากขั้นตอนที่ 2 ซึ่งมีส่วนผสมของน้ำยา anti-washout ผสมอยู่ด้วย) ผสมกับหิน (ตามสัดส่วนที่ได้ออกแบบไว้) ให้มีสถานะเป็นคอนกรีต จากนั้นใส่เพิ่มสาร anti-washout ในปริมาณที่เหมาะสม โดยที่สังเกตว่าน้ำจากภายนอกไม่สามารถชะล้างส่วนผสมของคอนกรีตได้ โดยทดสอบเช่นเดียวกับกรณีของเพสต์และมอร์ต้าร์

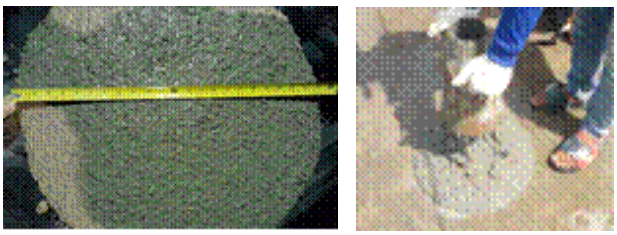
หมายเหตุ ในการทดลองผสมในห้องปฏิบัติการ ได้ทำการใส่เพิ่มน้ำยา anti-washout ในแต่ละขั้นตอนตามสถานะของส่วนผสมโดย เริ่มจากเพสต์ มอร์ต้าร์ และคอนกรีต ตามลำดับ เพื่อต้องการหาปริมาณที่น้ำยาสามารถสร้างสมบัติต้านทานการชะล้างได้ในทุกสถานะของส่วนผสม แต่ในการผสมจริงที่หน้างานนั้นจะใส่น้ำยาครั้งเดียว

©2017 J. of TCA All rights reserved

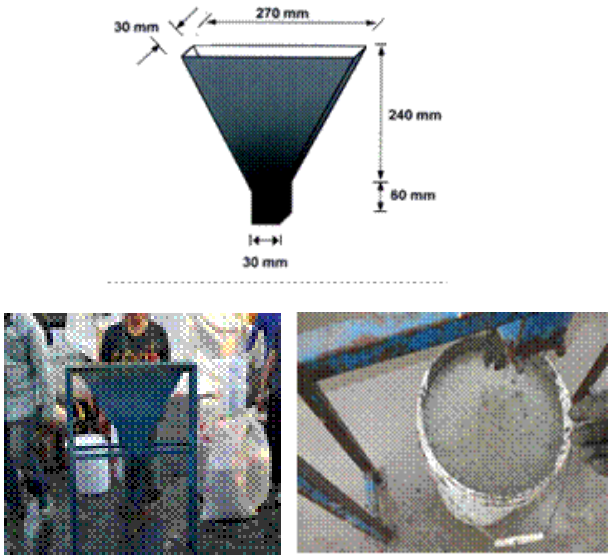
จากผลการทดสอบตามขั้นตอนที่ 1 ถึง 3 พบว่าลักษณะของคอนกรีตที่ได้นั้นมีค่าการทึบน้ำสูง กล่าวคือขณะที่เป็นคอนกรีตสดนั้น ปรากฏว่าน้ำจากภายนอกไม่สามารถแทรกเข้าไปในส่วนผสมของคอนกรีตได้ อย่างไรก็ตามคอนกรีตใต้น้ำในขณะที่อยู่ในสถานะคอนกรีตสดนั้น นอกจากมีสมบัติในการกันน้ำได้ดีแล้ว จะต้องมีสมบัติในการต้านทานการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง (deformability) การต้านทานการแยกตัว (segregation resistance) และสามารถต้านทานการไหลผ่านสิ่งกีดขวาง (passing ability) ได้ดี โดยการทดสอบสมบัติของคอนกรีตสดดังที่กล่าวนี้ ได้อ้างอิงตามการทดสอบตามวิธีการของการทดสอบของคอนกรีตที่ไหลด้วยตัวเอง (SCC)

การทดสอบความสามารถการเปลี่ยนแปลงรูปร่างนั้น พิจารณาจากการไหลแผ่ได้เป็นอย่างดี มีการกระจายสม่ำเสมอและมวลรวมมีขนาดคละที่ดี โดยทั่วไปแล้วอัตราการไหลแผ่ที่เหมาะสมอยู่ช่วงระยะความกว้าง 0.55 ถึง 0.65 เมตร อ้างอิงตามสมบัติของ SCC โดยรูปที่ 2 แสดงการทดสอบการไหลแผ่ ซึ่งเป็นความสามารถในการต้านทานการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง (deformability) ดังที่กล่าวแล้วว่าในขณะที่เป็นคอนกรีตสด นอกจากคอนกรีตมีคุณลักษณะที่เป็นของเหลวเมื่อนำเข้าเทในแบบหล่อคอนกรีตแล้ว คอนกรีตสามารถป้องกันการแยกตัวได้เป็นอย่างดี (segregation resistance) และการนำคอนกรีตไปใช้งานจริงในสภาพหน้างานที่ต้องการเทผ่านเหล็กเสริม หรือสิ่งกีดขวางอื่นๆ ต้องสามารถไหลผ่านสิ่งกีดขวางได้ดี (passing ability) โดยการทดสอบการต้านทานแยกตัว ทำได้โดยการนำตัวอย่างคอนกรีตผ่าน V-funnel โดยต้องสามารถไหลผ่านได้ภายในเวลาที่ต้องการ และในส่วนการทดสอบผ่านสิ่งกีดขวางนั้นทดสอบโดยให้ตัวอย่างคอนกรีตผ่านเครื่องมืออุปกรณ์ ในการไหลผ่านอุปสรรค (L-box) ซึ่งตัวอย่างคอนกรีตสดต้องผ่านบริเวณสิ่งกีดขวางด้านล่างของ L-box ได้เป็นอย่างดีโดยไม่ติดขัด รูปที่ 3 แสดงการทดสอบการต้านทานการแยกตัว (segregation resistance) และรูปที่ 4 แสดงการทดสอบความสามารถในการไหลผ่านสิ่งกีดขวาง (passing ability)

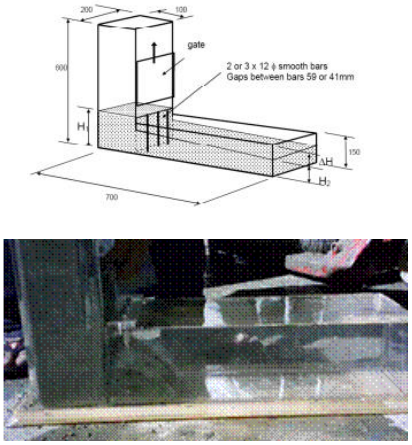




รูปที่ 2 การทดสอบการไหลแผ่ หรือความสามารถในการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง (deformability) [2]



รูปที่ 3 การทดสอบการต้านทานการแยกตัว (segregation resistance) [3]



รูปที่ 4 การทดสอบความสามารถในการไหลผ่านสิ่งกีดขวาง (passing ability) โดยอุปกรณ์ L-box [4]

©2017 J. of TCA All rights reserved

ในส่วนการทดสอบปริมาณฟองอากาศในคอนกรีตใต้น้ำ จากการทดสอบปริมาณฟองอากาศภายในเนื้อคอนกรีต พบว่ามีปริมาณฟองอากาศในเนื้อคอนกรีตปริมาณที่มากเกินมาตรฐาน ส่งผลให้เมื่อคอนกรีตแข็งตัวดีแล้วมีการทรุดตัวลงจากการสูญเสียฟองอากาศ (settlement) ดังนั้น แก้ไขโดยเติมสารลดฟอง defoamer ซึ่งผลเป็นที่น่าพอใจ สามารถลดการทรุดตัวได้เป็นอย่างดี (รูปที่ 5)

รูปที่ 5 การทดสอบค่าการทรุดตัวของตัวอย่างคอนกรีตหลังจากเพิ่มสารลดฟอง defoamer สามารถลดค่าการทรุดตัวได้

จากการทดสอบคุณภาพคอนกรีตซึ่งได้สัดส่วนผสม จะเห็นได้ว่าคอนกรีตที่ทำการทดสอบสามารถนำมาใช้งานตรงตามวัตถุประสงค์ที่กำหนด ในสภาพแวดล้อมทางทะเล ขณะมีคลื่นลมทนการชะล้างจากน้ำได้เป็นอย่างดี คอนกรีตสดไม่ถูกน้ำชะล้างและไม่ยอมให้น้ำภายนอกเข้ามาผสม ดังนั้นคอนกรีตใต้น้ำ จึงเหมาะสมที่จะนำไปเพื่อทำการก่อสร้าง บำรุงรักษา ซ่อมแซมหรือเสริมกำลังให้กับการหุ้มเสาคอนกรีตเดิม ของงานปรับปรุงอาคารสถานีนำร่อง จังหวัดสมุทรปราการ

5. ขั้นตอนการทำงานและการเทคอนกรีตใต้น้ำ

การบริหารจัดการพื้นที่หน้างานมีความยากลำบาก โดยจากสภาพพื้นที่ของโครงการ “งานปรับปรุงอาคารสถานีนำร่อง จังหวัดสมุทรปราการ” ซึ่งเป็นพื้นที่กลางทะเลไม่มีพื้นที่มากพอที่ทำการตั้งบริเวณเพื่อผลิตคอนกรีต รวมทั้งพื้นที่ในการจัดเก็บหรือเตรียมปูนซีเมนต์ ทราย และหิน หรืออื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง จึงจำเป็นต้องบริหารจัดการกับพื้นที่ของโครงการทีมีอยู่ ที่สำคัญที่ต้องคำนึงถึง ก็คือในส่วนของน้ำหนักบรรทุกที่โครงสร้างเดิมรับได้ ซึ่งไม่ได้ออกแบบมาเพื่อรับน้ำหนักเชิงวิศวกรรมมากนัก ดังนั้นการวิเคราะห์การบรรทุกน้ำหนักในการกองเก็บวัสดุต่างๆ อยู่ในสภาวะที่จำกัด ต้องทำการวิเคราะห์การบรรทุกน้ำหนักจากโครงสร้างเดิมเป็นหลัก เพื่อหาความสามารถรับน้ำหนักบรรทุกสูงสุด ที่โครงสร้างเดิมรับน้ำหนักบรรทุกแล้วไม่เกิดการวิบัติ

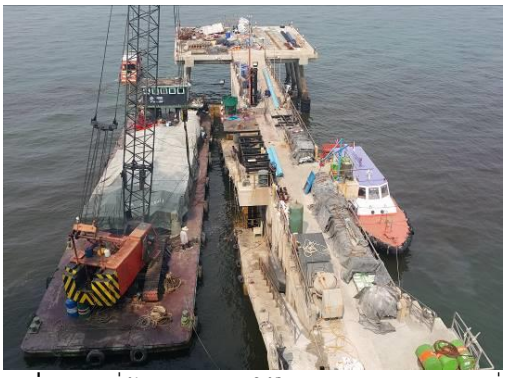
สำหรับในครั้งนี้ การแก้ปัญหาในการบริหารจัดการพื้นที่จากโครงสร้างกำแพงกันคลื่น ซึ่งจากโครงสร้างเดิมนั้น มีการตอกเสาเข็มขนาด 0.60x0.60 เมตรจำนวน 2 ต้นต่อฐาน โดยฐานห่างกัน 2.00x2.00 เมตร จำนวน 3 แถวต่อเนื่อง เริ่มจากการคำนวณน้ำหนักบรรทุกของโครงสร้างดังกล่าว โดยพบว่าสามารถรับน้ำหนักได้น้ำหนักรวมทั้งหมดไม่เกิน 5 ตันต่อตารางเมตร

ส่วนในการจัดหาเครื่องผสมคอนกรีต มีข้อกำหนดว่าในแต่ละครั้งของการผสมคอนกรีตนั้น เครื่องผสมคอนกรีตต้องมีความสามารถผลิตคอนกรีตได้ไม่น้อยกว่า 3 ลูกบาศก์เมตร ทั้งนี้เพื่อให้มีความต่อเนื่องกับคอนกรีตที่ทำการเทในแบบหล่อที่มีความสูง 1.00 เมตร และมีความต่อเนื่องคอนกรีตที่ความหนา 0.30 เมตร ความยาวโดยรอบเสา 28.00 เมตร โดยปริมาณคอนกรีตที่ต้องผลิตต่อเนื่อง 9 ลูกบาศก์เมตรต่อครั้ง โดย**รูปที่ 6** แสดงผังการบริหารการจัดการพื้นที่บริเวณโครงการกำแพงกันคลื่นที่เป็นอาคารที่มีอยู่เดิม

รูปที่ 6 การบริหารจัดการพื้นที่บริเวณโครงสร้างกำแพงกันคลื่น

เนื่องจากสภาพของสถานที่หน้างานที่ไม่สามารถนำวัสดุมากองเก็บได้ จำเป็นต้องใช้เครื่องจักรกลที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งจำเป็นต้องมีการขนส่งมายังหน้างาน รวมทั้งขนส่งวัสดุต่างๆ ที่ใช้เป็นส่วนผสมคอนกรีต พร้อมทั้งอุปกรณ์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง จึงจำเป็นต้องอาศัยเรือขนส่งขนาดใหญ่ โดยในตอนแรกได้สนใจใช้เรือขนาดใหญ่ที่มีน้ำหนักบรรทุกได้ไม่น้อยกว่า 200 ตัน โดยรูปที่ 7 แสดงเรือที่ต้องการนำมาใช้ในการขนส่งลำเลียงเครื่องจักรขนาดใหญ่ วัสดุที่ใช้เป็นส่วนผสมคอนกรีต และเครื่องมืออุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง แต่จากการทดสอบการขนส่ง พบว่าเรือขนาดใหญ่ที่ติดตั้งเครนติดอยู่ด้วยนั้น ไม่สามารถทนกระแสคลื่นลมได้ และไม่สามารถเข้าเทียบท่าได้

©2017 J. of TCA All rights reserved



รูปที่ 7 เรือที่ต้องการนำมาใช้ในการขนส่งลำเลียงเครื่องจักร วัสดุ และเครื่องมืออุปกรณ์

การแก้ปัญหาในด้านการขนส่งลำเลียง จึงได้มีการปรับเปลี่ยนเป็นเรือประมงขนาดใหญ่ที่มีขีดความสามารถในการบรรทุกน้ำหนักได้ไม่น้อยกว่า 6 ตัน (รูปที่ 8) และสามารถเดินทางได้ทั้งในสภาพอากาศปกติและสภาพอากาศที่แปรปรวนจากคลื่นลมที่รุนแรงได้

รูปที่ 8 เรือประมงขนาดใหญ่ที่นำมาใช้ในการขนส่งลำเลียงเครื่องจักร วัสดุ และเครื่องมืออุปกรณ์

จากปัญหาที่ไม่สามารถกองเก็บวัสดุที่เป็นส่วนผสมของคอนกรีตที่หน้างานได้ จึงจำเป็นต้องออกแบบคอนกรีตสำเร็จรูปในลักษณะคอนกรีต dry mix โดยเฉพาะอย่างยิ่งคอนกรีตใต้น้ำนี้เป็นคอนกรีตพิเศษ ที่มีส่วนผสมแตกต่างกับคอนกรีตทั่วๆ ไป ตลอดจนวัสดุที่นำมาใช้นั้นมีคุณภาพที่ผ่านการควบคุมกำกับดูแลตามมาตรฐานและสัดส่วนที่ออกแบบไว้ ดังนั้นจึงต้องทำการชั่งตวงส่วนผสมที่โรงงานผลิตคอนกรีต โดยมีการควบคุมมาตรฐานการผลิตจากโรงงานที่มีตรวจสอบคุณภาพเป็นอย่างดี และในการบรรจุปริมาณคอนกรีต dry mix นั้นจะต้องคำนึงถึงปริมาณบรรจุที่เหมาะสมในการนำไปใช้งานและการขนส่ง โดยในที่นี้ได้ใช้ถุงขนาดใหญ่ (big bag) ในการบรรจุคอนกรีต dry mix ซึ่งถุงขนาดใหญ่นี้มีวัสดุพลาสติกป้องกันความชื้นอยู่ภายในเพื่อป้องกันความชื้นระหว่างการขนส่ง

รูปที่ 9 ถึง 11 แสดงคอนกรีต dry mix โดยใช้ถุงขนาดใหญ่เป็นภาชนะบรรจุ (รูปที่ 9) และการใช้เรือประมงขนาดใหญ่ในการขนส่งลำเลียงเครื่องจักร วัสดุ และเครื่องมืออุปกรณ์ (รูปที่ 10) รวมทั้งรูปแบบในการบริหารพื้นที่ที่มีอยู่ที่หน้างานใช้เป็นที่วางเครื่องจักร วัสดุ และเครื่องมืออุปกรณ์ต่างๆ (รูปที่ 11)

รูปที่ 9 การบรรจุคอนกรีต dry mix โดยใช้ถุงขนาดใหญ่ (big bag)

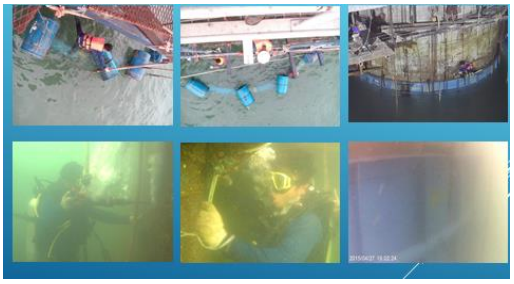
รูปที่ 10 การใช้เรือประมงขนาดใหญ่ในการขนส่งลำเลียงเครื่องจักร วัสดุ และเครื่องมืออุปกรณ์

รูปที่ 11 เครื่องจักร วัสดุ และเครื่องมืออุปกรณ์ ถูกขนส่งลำเลียงมายังหน้างานในพื้นที่ที่ได้จัดเตรียมไว้

©2017 J. of TCA All rights reserved

ในส่วนของแบบหล่อคอนกรีต (formwork) ของเสาที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9.20 เมตร และอยู่ที่ระดับความลึกของน้ำ 9.00 เมตร เพื่อความสะดวกในการประกอบแบบ ดังนั้นโครงสร้างแบบหล่อคอนกรีตจึงได้แบ่งออกเป็น 6 ชิ้นส่วน (จากความยาว 28 เมตรโดยรอบ) โดยแต่ละชิ้นมีความสูง 1.20 เมตร เมื่อประกอบแล้วจะได้ความยาวโดยรอบ 28.00 เมตร และในการเข้าแบบหล่อแต่ละครั้งจะใช้ 4 ชั้นตามความสูงในแนวดิ่ง แต่ในการเทคอนกรีตแต่ละครั้งนั้น เทคอนกรีตที่ความสูงของแบบหล่อ 2 ชั้น เพื่อป้องกันการโดนคลื่นซะคอนกรีต โดยในการนำไปใช้งานจริง ตามแนวคิดในการออกแบบหล่อคอนกรีต ยึดหลักการออกแบบตามหลักวิศวกรรมต้องมีความแข็งแรงในระดับความลึกของน้ำที่ระดับความลึก 9.00 เมตร ตั้งแต่ขั้นตอนการประกอบมีน้ำหนักมาก จากสภาพปัญหาที่เครื่องจักรกลขนาดใหญ่ไม่สามารถใช้งานได้ ต้องปรับเปลี่ยนอุปกรณ์เป็นเครื่องมือกลขนาดเล็ก เช่น รอกทดแรง จำนวนหลายตัวในการเข้าแบบ ใช้ทุ่นลอยเพื่อประคองน้ำหนักที่มากเกินไป เป็นต้น และสิ่งที่เหนือจากการควบคุม คือสภาพของคลื่นที่รุนแรง หลังจากประกอบแบบเข้าที่แล้ว เมื่อมีคลื่นลมรุนแรง ส่งผลให้แบบหล่อที่แข็งแรงและมีน้ำหนักมาก กระแทกกับโครงสร้างเสาเดิม ตามสภาพคลื่นลมและน้ำขึ้นลง จากกรณีดังกล่าวแบบหล่อที่มีความแข็งแรงตามที่ได้ออกแบบแล้ว แต่เนื่องจากจุดต่อที่ใช้น็อตขนาด 5/8 นิ้วจำนวน 6 ตัวต่อตำแหน่ง ไม่สามารถรองรับแรงกระแทกของคลื่นลมได้ ส่งผลให้น็อตขาดหลุดออกบ่อยครั้ง ยิ่งเข้าช่วงมรสุมยิ่งประสบปัญหามาก

จากปัญหาดังกล่าว จึงได้เปลี่ยนแนวคิดจากการใช้แบบหล่อคอนกรีตแบบแข็งแรงในตอนแรก ทดลองปรับเปลี่ยนเป็นใช้แบบหล่อคอนกรีตแบบอ่อน ที่สามารถต้านแรงของคลื่นได้โดยไม่พังเสียหาย จึงออกแบบให้มีโครงเหล็กเสมือนลูกกรงในแนวตั้งให้มีหน้าตัดขนาดเล็ก ในที่นี้ได้ใช้เหล็กกล่องขนาด 2x2 นิ้ว ประกอบในแนวตั้งให้มีช่วงห่าง 0.50 เมตร โดยรอบ โดยทำการยึดเฉพาะส่วนบนและล่างสุดเท่านั้น ในขณะที่ตรงกลางในแต่ละช่วงใช้ลวดสลิงขนาดใหญ่ยึดโดยรอบ ส่วนผนังของแบบหล่อคอนกรีตได้ใช้เหล็กแผ่นขนาดความหนา 3 มิลลิเมตร โดยมีสลักยึด ปรากฏว่าเมื่อเทคอนกรีตแล้ว สามารถแก้ปัญหาได้เป็นอย่างดี โดยรูปที่ 12 แสดงเปรียบเทียบระหว่างแบบหล่อคอนกรีตแบบแข็งแรง (รูปที่ 12ก) กับแบบหล่อคอนกรีตแบบอ่อน (รูปที่ 12ข)



ก) แบบหล่อคอนกรีตแบบแข็งแรง

ข) แบบหล่อคอนกรีตแบบอ่อน

รูปที่ 12 เปรียบเทียบแบบหล่อคอนกรีตแบบแข็งแรง กับ แบบหล่อคอนกรีตแบบอ่อน

เนื่องจากเสาของอาคารที่ซ่อมแซมนั้น ต้องใช้คอนกรีตหุ้มเสาที่มีขนาดใหญ่ มีความยาวโดยรวมประมาณ 28.00 เมตร และต้องเทคอนกรีตที่มีความหนามากกว่า 0.30 เมตร จึงต้องพิจารณาถึงการแตกร้าวจากการหดตัวของคอนกรีตที่อาจเกิดขึ้นได้ และข้อจำกัดของโครงสร้างเสานี้ ห้ามให้มีการเสริมเหล็กเพราะจะส่งผลในระยะยาวอาจมีปัญหาการเกิดสนิมในเหล็กเสริมขึ้นได้ ดังนั้นการแก้ปัญหาด้านการเสริมแรงในคอนกรีตเพื่อป้องกันการแตกร้าวจากการหดตัว จึงพิจารณาหาวัสดุเสริมแรงที่ไม่มีผลกระทบทางด้านการเกิดสนิมในคอนกรีต จึงมีการพัฒนาวัสดุเสริมแรงจากวัสดุเสริมแรงของงานดินมาประยุกต์ใช้ โดย

©2017 J. of TCA All rights reserved

พิจารณาจากสมบัติด้านแรงดึงจากวัสดุที่มีค่าการยืดหดตัว (elongation) น้อยที่สุด และวัสดุดังกล่าวสามารถต้านทานการกัดกร่อนจากคอนกรีตเองและน้ำทะเลได้ ถือได้ว่าเป็นนวัตกรรมใหม่ที่ไม่เคยใช้ในที่ใดมาก่อน โดยรูปที่ 13 แสดงถึงวัสดุเสริมแรงที่ประยุกต์จากวัสดุเสริมแรงของงานดินมาใช้เป็นวัสดุเสริมในการหุ้มเสาคอนกรีตเพื่อกันการแตกร้าว

รูปที่ 13 วัสดุเสริมแรงที่ประยุกต์จากวัสดุเสริมแรงของงานดินมาใช้เป็นวัสดุเสริมในเสาคอนกรีตเพื่อกันการแตกร้าว

การขนส่งลำเลียงคอนกรีตเมื่อทำการผสมเสร็จ ประสบปัญหายุ่งยาก จึงได้ออกแบบการขนส่งลำเลียงคอนกรีตที่เหมาะสม ซึ่งในที่นี้แก้ปัญหาโดยได้ออกแบบการขนส่งลำเลียงคอนกรีตออกเป็น 3 ช่วง ประกอบด้วย ช่วงที่ 1 เป็นการขนส่งลำเลียงคอนกรีตผ่านระบบลอกในการขนส่ง (hopper) ส่วนช่วงที่ 2 เป็นการขนส่งลำเลียงนำคอนกรีตช่วงที่ 1 ส่งต่อลงในระบบขนส่งลำเลียงแบบระบบราง (โดยใช้รถรางขนส่งคอนกรีต) และในช่วงที่ 3 เป็นการขนส่งลำเลียงคอนกรีตผ่านช่วงที่อยู่ในอากาศลงในใต้น้ำ ลงในแบบหล่อคอนกรีตที่อยู่ต่ำกว่าระดับผิวน้ำ ซึ่งในขั้นตอนนี้ได้ขนส่งลำเลียงคอนกรีตโดยการผ่านท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว โดยรูปที่ 14 แสดงการขนส่งลำเลียงคอนกรีตที่ผสมเสร็จแล้ว เพื่อนำไปเทในแบบหล่อคอนกรีตซึ่งอยู่ใต้น้ำ อย่างไรก็ตามสำหรับคอนกรีตใต้น้ำที่ได้นำมาใช้นั้น จากการทดสอบการก่อตัวของคอนกรีต พบว่ามีระยะเวลาการก่อตัวที่นานกว่าคอนกรีตทั่วๆ ไป (ค่อนข้างมาก) จึงไม่มีปัญหาในเรื่องการก่อตัวขณะที่ขนส่งลำเลียงคอนกรีต แม้ว่าจะต้องใช้เวลาที่นานในขณะที่ขนส่งลำเลียงคอนกรีต โดยรูปที่ 15 แสดงลักษณะเสาอาคารหลังจากได้ซ่อมแซมด้วยคอนกรีตใต้น้ำแล้ว

(ก) การขนส่งลำเลียงคอนกรีตช่วงที่ 1 โดยการผ่านระบบลอกในการขนส่ง (hopper)

(ข) การขนส่งลำเลียงคอนกรีตช่วงที่ 2 โดยการผ่านระบบราง

(ค) การขนส่งลำเลียงคอนกรีตช่วงที่ 3 โดยการผ่านท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว

รูปที่ 14 การขนส่งลำเลียงคอนกรีตเพื่อนำไปเทเข้าแบบหล่อคอนกรีต

©2017 J. of TCA All rights reserved

รูปที่ 15 ลักษณะเสาอาคารหลังจากได้ซ่อมแซมด้วยคอนกรีตใต้น้ำแล้ว

อย่างไรก็ตาม เคมีภัณฑ์ประเภทสารกันน้ำหรือน้ำยา anti-washout ที่ใช้ผสมในคอนกรีตใต้น้ำนั้น จากการวิจัยของนักวิจัย โดยผสมเคมีภัณฑ์ด้านการป้องกันน้ำจากภายนอกเข้ามาในเนื้อคอนกรีตขณะเป็นคอนกรีตสด หรือคอนกรีตที่สัมผัสกับน้ำโดยตรง ซึ่งสารกันน้ำ anti-washout นี้เป็นวัสดุนำเข้าจากต่างประเทศไม่เคยนำมาใช้เพื่อการผลิตคอนกรีตใต้น้ำโดยตรง ผู้ผลิตมีผลงานเฉพาะการนำสารกันน้ำ anti-washout ผสมในงาน cement grout เท่านั้น ซึ่งการนำสารกันน้ำนี้มาใช้กับคอนกรีตใต้น้ำในครั้งนี้ ถือว่าเป็นนวัตกรรมใหม่โดยไม่เคยทำมาก่อน โดยเฉพาะอย่างยิ่งสามารถใช้เป็นผลงานทางวิชาการ ที่มีการนำมาใช้กับงานได้จริง กล่าวคือ เมื่อปี พ.ศ. 2558 ถึง 2559 ใช้กับการซ่อมแซมโครงสร้างอาคารคอนกรีตส่วนที่อยู่ใต้น้ำของโครงการ “งานปรับปรุงอาคารสถานีนำร่อง จังหวัดสมุทรปราการ”

สำหรับส่วนผสมคอนกรีตใต้น้ำ ประกอบด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เถ้าลอย ทราย หิน น้ำ สารกันน้ำ สารลดน้ำ สารลดฟองอากาศ และสารขยายตัว โดยตัวแปรด้านอื่นๆ ที่อาจเกิดขึ้นได้ เช่นเมื่อวัสดุเคมีภัณฑ์อยู่ในอุณหภูมิที่ไม่เหมาะสมก็จะส่งผลต่อการทำงานของคอนกรีตได้ นอกจากนี้วิธีหรือขั้นตอนในการผสม ขนาดของเครื่องผสม และ/หรือความเร็วรอบของเครื่องผสม ต่างก็เป็นตัวแปรที่มีผลต่อสมบัติของคอนกรีตใต้น้ำได้เช่นกัน จึงเป็นสิ่งที่ต้องพึงระมัดระวัง

ส่วนสมบัติด้านระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้นของคอนกรีตใต้น้ำอยู่ที่ประมาณ 6 ชั่วโมง และระยะเวลาการก่อตัวสุดท้ายอยู่ที่ประมาณ 24 ชั่วโมง ในขณะที่กำลังอัดประลัย (รูปทรงกระบอก) ที่อายุ 3, 7, 14 และ 28 วันประมาณ 340, 430, 500 และ 580 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ นอกจากนี้ไม่พบการแตกร้าวในโครงสร้างคอนกรีตหลังจากคอนกรีตมีการพัฒนากำลังแล้ว

6. สรุป

บทความนี้ได้นำเสนอแนวคิดการพัฒนาคอนกรีตใต้น้ำและการนำคอนกรีตใต้น้ำมาใช้งานจริง เพื่อแก้ปัญหาอุปสรรคงานซ่อมหรืองานก่อสร้าง นำสู่การพัฒนาเทคนิคการเทคอนกรีตใต้น้ำระบบใหม่ โดยประสบความสำเร็จเป็นอย่างดี

7. กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณผู้มีส่วนร่วมทุกๆ ท่านในการพัฒนาคอนกรีตใต้น้ำในครั้งนี้มา ณ โอกาสนี้

8. เอกสารอ้างอิง

[1] *มาตรฐานงานคอนกรีตเมื่อพิจารณาความคงทนและอายุการใช้งาน (ฉบับปรับปรุง ครั้งที่ 1)*, มยผ. 1332-55, พิมพ์ครั้งที่ 1, พ.ศ. 2555.

[2] *Standard Test Method for Slump Flow of Selt-Consolidating Concrete*, ASTM Standard C1611 / 1611M – 14, 2014.

[3] *Testing fresh concrete. Self-compacting concrete. V-funnel test*, BS EN 12350-9:2010, 2010.

[4] *Testing fresh concrete. Self-compacting concrete. L box test*, BS EN 12350-10:2010, 2010.

©2017 J. of TCA All rights reserved