การผลิตคอนกรีตกำลังสูงมากที่ไหลเข้าแบบได้ง่าย

SELF-COMPACTING VERY HIGH STRENGTH CONCRETE PRODUCTION: A REVIEW

*ศุภชัย สินถาวร**

Suppachai Sinthaworn*

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Srinakharinwirot University, Thailand.

***Corresponding author, E-mail:** suppachai@swu.ac.th*

บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นการรวมรวบข้อมูลจากวิจัยที่เกี่ยวข้อง และข้อมูลเพื่อใช้ในการผลิตคอนกรีตกำลังสูงเพื่อนำเสนอวิธีการผลิตคอนกรีตกำลังสูงมากและไหลอัดแน่นได้ด้วยตัวเอง ซึ่งมีกำลังอัดในระดับ 1,500 กก./ซม.^{2} โดยกล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องต่อกำลังอัดและความสามารถในการทำงานของคอนกรีตในส่วนของวัตถุดิบ เทคนิคในการทำคอนกรีตกำลังสูงซึ่งไหลเข้าแบบได้ง่าย และแสดงตัวอย่างของการผลิตคอนกรีต เพื่อเป็นแนวทางสำหรับผู้ที่จะศึกษา วิจัย และประยุกต์ใช้งานในอุตสาหกรรมก่อสร้างต่อไป

คำสำคัญ: คอนกรีตกำลังสูง คอนกรีตไหลเข้าแบบง่าย การผลิตคอนกรีต

Abstract

Previous researchs and the data of very high strength self-compacting concrete productions are summarized and concoulded to present for making of self-compacting very high strength (150 Mpa) concrete. Theoretical aspects of the compressive strength and workability of concrete, the corresponding techniques and some experimental experiences are demonstrated. Therefore, this article is a data base for researcher and construction industry.

Keywords: High Strength Concrete (HSC), Self-compacting Concrete (SCC), Concrete Production

บทนำ

ในปัจจุบัน คอนกรีตกำลังสูงมาก (Very High Strength Concrete) ซึ่งมีระดับกำลังประมาณ 1,000 – 1,500 กก./ซม.^{2} การใช้งานยังไม่แพร่หลายในอุตสาหกรรมก่อสร้างในประเทศไทย อย่างไรก็ตามคอนกรีตกำลังสูงรวมทั้งคอนกรีตกำลังสูงมาก (500 กก./ซม.^{2} ขึ้นไป) ได้มีการวิจัยและพัฒนามาอย่างต่อเนื่องโดยเห็นได้จากการประชุมวิชาการคอนกรีตแห่งชาติตั้งแต่ครั้งแรก พ.ศ. 2546 [1] จนกระทั่งปัจจุบันเป็นการประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปี ครั้งที่ 6 พ.ศ. 2553 [2-3] อย่างไรก็ตามคอนกรีตกำลังสูงในระยะแรกเป็นคอนกรีตที่ความสามารถในการทำงานต่ำและเป็นไปได้ยากกับการใช้งานจริง ดังนั้นบทความนี้จึงแสดงถึงคอนกรีตที่นอกจากจะมีกำลังสูงมากแล้ว ยังสามารถที่จะไหลเข้าแบบ

ได้ง่าย มีค่าการยุบตัวสูงมากสามารถใช้ในงานคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีความหนาแน่นของเหล็กเสริม หรือแบบหล่อมีเหลี่ยมมีมุมมากได้ โดยได้อธิบายถึงวัตถุดิบ คุณภาพ หลักทฤษฎีในการผลิต ปัจจัยผลกระทบ และแสดงตัวอย่างของคอนกรีตกำลังสูงและไหลเข้าแบบได้ง่าย จากการพัฒนาในการแข่งขันคอนกรีตพลังสูงปี พ.ศ. 2553 โดยภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

มวลรวม

สำหรับคอนกรีตกำลังสูงหรือสูงมาก คุณสมบัติของมวลรวมเป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึงมากกว่า การใช้มวลรวมในคอนกรีตปกติ เนื่องจากคอนกรีตปกติกำลังน้อยกว่ากำลังของมวลรวมมาก การวิบัติมักเกิดจากเนื้อคอนกรีตในขณะที่มวลรวมยังไม่วิบัติ แต่ในคอนกรีตกำลังสูง มวลรวมอาจมีกำลังน้อยกว่าเนื้อคอนกรีตและมีโอกาสที่มวลรวมจะเกิดการวิบัติก่อนเนื้อคอนกรีต [1] สำหรับขนาดของมวลรวมในการทำคอนกรีตกำลังสูงมักนิยมใช้หินซึ่งมีขนาดเล็ก เนื่องจากหลายงานวิจัยพบว่าจากหินย่อยขนาด (เล็กกว่า 1 นิ้ว) จะมีกำลังรับแรงกดแบบจุด ความทนทานต่อการบดอัด การกระแทก และการสึกกร่อนดีกว่าหินย่อยขนาดใหญ่ [1, 4-5] ข้อดีของหินย่อยอีกด้านหนึ่งคือ ขนาดหินที่ลดลง ทำให้พื้นที่ผิวต่อปริมาตรของหินเพิ่มขึ้น ซึ่งช่วยทำให้กำลังยึดเกาะระหว่างหินย่อยและวัสดุเชื่อมประสานดีขึ้น อีกทั้งชนิดของเนื้อหินก็ส่งผลต่อการยึดเกาะกันระหว่างหินและมอร์ต้า โดยหินที่มีเม็ดผลึกที่ละเอียดจะช่วยทำให้มอร์ต้ายึดเกาะกับหินได้ดีกว่าหินที่มีเม็ดผลึกหยาบซึ่งจะมีผิวเรียบมากกว่า เช่น หินแกรนิตจะมีผลึกละเอียดและให้การยึดเกาะที่ดีกว่า หินบะซอลต์และหินปูน ดังปรากฏในการแข่งขันคอนกรีตกำลังสูงในปี 2553 พบว่าการใช้หินแกรนิตคุณภาพดีเป็นมวลรวม (หยาบ, ละเอียด) สามารถให้กำลังรับแรงอัดได้มากกว่า 2,000 กก./ซม.^{2}

มวลรวมซึ่งใช้กับคอนกรีตในประเทศไทยส่วนใหญ่เป็นหินปูน หินแกรนิต และหินบะซอลต์ [4] และจากการทดสอบความทนทานของมวลรวม โดยการสึกกร่อนจากพื้นฐานวิธีลอสเองเจลีสในห้องปฏิบัติการของภาควิชาฯ พบว่าหินบะซอลต์ค่าการสึกกร่อนมีน้อยกว่าหินแกรนิตและหินปูน ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกับงานวิจัยอื่นซึ่งพบว่า การทดสอบแรงกดแบบจุดตามมาตรฐาน ISRM [6] หินบะซอลต์มีคุณสมบัติทางด้านกำลังที่ดีกว่าหินปูน และหินแกรนิต ตามลำดับ ขณะที่ค่าการกระแทก และค่าการสึกกร่อนมีน้อยกว่า [5] หากพิจารณากำลังที่ทำให้หินแตก (Crushing Strength) ของหินทั้งสามนี้พบว่าหินบะซอลต์ หินแกรนิตและหินปูนมีกำลังประมาณ 2,000 1,850 และ 1,650 กก./ซม.^{2} ตามลำดับ โดยที่ค่าดังกล่าวอาจมีค่าเพิ่มขึ้นหรือลดลงจากคุณภาพของเนื้อแร่หิน [4] ดังนั้นในการทำคอนกรีตกำลังสูงประมาณ 1,000 ถึง 1,500 กก./ซม.^{2} อาจใช้หินปูนปกติ และหากมีการคัดคุณภาพของเนื้อหินจากแหล่งที่ต้องการใช้เป็นอย่างดี จากการทดสอบพบว่าหินทั้งสามชนิดสามารถใช้ผลิตคอนกรีตกำลังสูงกว่า 1,500 กก./ซม.^{2} ได้

ซีเมนต์ และปอซโซลาน

ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 3 สามารถใช้ในงานคอนกรีตกำลังสูงมากได้ โดยซีเมนต์ซึ่งผลิตใหม่คุณภาพตามมาตรฐานไม่สัมผัสกับความชื้น จะทำให้คอนกรีตมีกำลังดีกว่าซีเมนต์เก่าที่สัมผัสกับความชื้นมาแล้วอย่างไรก็ตาม สำหรับซีเมนต์ตามท้องตลาดซึ่งอาจค้างอยู่ในคลังสินค้ามาเป็นเวลาระยะหนึ่ง หากมีการร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ละเอียด เช่น ตะแกรงเบอร์ 200 (ตะแกรงที่มี 200 ช่องต่อ 1 นิ้ว) ก็เป็นวิธีการปรับปรุงคุณภาพจากการคัดซีเมนต์ซึ่งมีการจับตัวและทำปฏิกิริยาไม่สมบูรณ์ออกไปได้ [1] จากการทดสอบผลจากประเภทของซีเมนต์พบว่ากำลังรับแรงอัดตามมาตรฐาน ASTM

ที่อายุ 24 ชั่วโมงของคอนกรีตกำลังสูงส่วนผสมหนึ่ง สามารถเพิ่มขึ้นได้มากถึงร้อยละ 30 (จากประมาณ 600 กก./ซม.^{2} เป็น 800 กก./ซม.^{2}) จากการใช้ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ประเภทที่ 3 เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ประเภทที่ 1 อย่างไรก็ตามหากคอนกรีตกำลังสูงนั้นไม่ต้องการกำลังรับแรงอัดที่เร็วกว่าอายุ 28 วัน ผู้แต่งมีความเห็นว่า การใช้ซีเมนต์ประเภทที่ 3 ไม่ใช่สิ่งที่จำเป็น

สารปอซโซลาน เป็นสารผสมเพิ่มซึ่งช่วยในการปรับปรุงคุณภาพของคอนกรีต สำหรับสารปอซโซลานที่นิยมใช้ในคอนกรีตกำลังสูง ได้แก่ ซิลิก้าฟูม (Silica Fume) เป็นวัสดุปอซโซลานที่มีคุณภาพดี และอาจมีการร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ละเอียดก่อนนำไปใช้งาน อย่างไรก็ตามปกติแล้วอนุภาคของซิลิก้าฟูมเล็กกว่าอนุภาคของซีเมนต์เป็นร้อยเท่า (อนุภาคระหว่าง 0.03 ถึง 0.3 ไมครอน) [4] เมื่อซิลิก้าฟูมถูกผสมอยู่ในเนื้อคอนกรีตจะทำให้คอนกรีตมีการอัดแน่นดีกว่าเดิม และให้ปฏิกิริยาปอซโซลานิกซึ่งเป็นปฏิกิริยาซึ่งเพิ่มสารเชื่อมประสานของคอนกรีต (C-S-H) จากข้อดีทั้งสองนี้ทำให้คอนกรีตมีกำลังรับแรงเพิ่มขึ้น [4, 7-8] สำหรับอัตราการใช้มักใช้ในช่วงระหว่างร้อยละ 5 ถึง ร้อยละ 20 อย่างไรก็ตามประเทศไทยไม่มีวัตถุดิบในการผลิตซิลิก้าฟูม จึงทำให้ซิลิก้าฟูมมีราคาแพง และต้องนำเข้าจากต่างประเทศ อีกทั้งการทดสอบส่วนผสมคอนกรีตกำลังสูงในภาควิชาฯ พบว่า คอนกรีตกำลังสูงปกติ (500 ถึง1,000 กก./ซม^2) ไม่จำเป็นต้องใช้ซิลิก้าฟูม ดังนั้นการพัฒนาคอนกรีตกำลังสูง โดยวิจัยเกี่ยวกับการใช้ซิลิก้าฟูมสำหรับผู้แต่ง น่าจะเป็นสิ่งที่ควรให้ความสำคัญในลำดับรองลงไป

สำหรับสารปอซโซลานที่มีในประเทศ ได้แก่ เถ้าลอยถ่านหิน ดินขาวสุก เถ้าแกลบ มีความเป็นไปได้ในการใช้ในคอนกรีตกำลังสูง โดยจากผลการวิจัยในการประเมินค่าการให้ปฏิกิริยาปอซโซลานิก [9-10] พบว่าดินขาวสุก (Metakaolin) มีค่าการให้ปฏิกิริยาดีกว่าซิลิก้าฟูม และเถ้าแกลบเทาก็ให้ผลดีไม่ต่างจากซิลิก้าฟูม ดังแสดงค่ากำลังอัดและดัชนีกำลังของมอร์ต้ามาตรฐานในตารางที่ 1 [9] ดังนั้นผู้แต่งมีความเห็นว่าดินขาวสุกและเถ้าแกลบเทาควรเป็นทางเลือกใหม่สำหรับการทำคอนกรีตกำลังสูงซึ่งต้องการสารปอซโซลาน เนื่องจากมีวัตถุดิบและสามารถผลิตได้ในประเทศอย่างมีคุณภาพ [11] ถึงแม้ว่าวิธีการผลิตดินขาวสุกและเถ้าแกลบเทาที่มีคุณภาพสำหรับงานคอนกรีตจะพบได้จากงานวิจัย [9, 11-12] แต่ไม่พบการผลิตดินขาวสุกและเถ้าแกลบเทาเพื่อใช้กับงานคอนกรีต ในระดับอุตสาหกรรมในประเทศไทย สำหรับเถ้าลอยจากถ่านหินในประเทศ เป็นสารปอซโซลานอีกชนิดหนึ่งที่อาจนำมาเป็นส่วนผสมให้กับคอนกรีตกำลังสูง เพื่อให้ได้การไหลและการเกาะตัวกันดี ซึ่งในปัจจุบันเถ้าลอยก็เป็นส่วนผสมหนึ่งในการทำคอนกรีตไหลเข้าแบบได้ง่าย ดังนั้น สำหรับคอนกรีตกำลังสูงและไหลตัวได้ดีอาจมีการใช้ดินขาวสุกร่วมกับเถ้าลอย หรือเถ้าแกลบเทาร่วมกับเถ้าลอยซึ่งใช้ได้แล้วกับคอนกรีตปกติ [12] เพื่อให้สารปอซโซลานทั้งสองช่วยปรับปรุงคุณภาพของคอนกรีตในด้านกำลังและความสามารถในการไหลเข้าแบบ

ตารางที่ 1 กำลังอัดและดัชนีกำลังของมอร์ต้ามาตรฐานสำหรับสารปอซโซลานต่างๆ

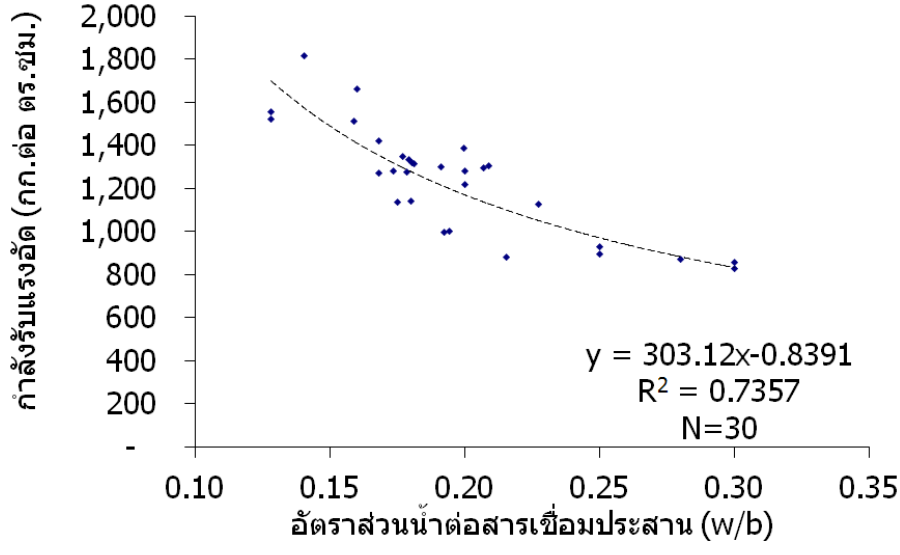
ตัวอย่าง	กำลังอัด (MPa) (ค่าดัชนีกำลัง) ที่อายุ					
	7 วัน		14 วัน		28 วัน	
ซีเมนต์มาตรฐาน	43.1	(1.00)	49.9	(1.00)	51.9	(1.00)
ดินขาวสุก	50.8	(1.18)	55.6	(1.12)	56.2	(1.08)
ซิลิก้าฟูม	50.1	(1.16)	53.7	(1.08)	57.2	(1.10)
เถ้าแกลบ	46.5	(1.08)	55.0	(1.10)	58.2	(1.12)
เถ้าลอย	36.9	(0.86)	46.6	(0.93)	51.1	(0.98)

ที่มา: Sinthaworn, S and Nimityongskul, P. (2005). Quick monitoring of pozzolanic reactivity of waste ashes. Waste Management. 29, 2009 : 1526–1531.

อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์

กำลังของคอนกรีตแปรผกผันกับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (w/c) [4] เป็นสิ่งที่นักคอนกรีตเทคโนโลยีตระหนักเป็นลำดับต้นๆ อย่างไรก็ตามในคอนกรีตไหลเข้าแบบง่าย เป็นคอนกรีตซึ่งมีการใช้ส่วนละเอียดร่วมกับซีเมนต์ผสมในเนื้อคอนกรีตสูง จึงอาจใช้อัตราส่วนน้ำต่อสารเชื่อมประสาน (w/b) เป็นตัวแปรในการพิจารณากำลัง และเนื่องจากคอนกรีตไหลเข้าแบบง่ายจะต้องมีความสามารถในการไหลเข้าแบบได้ด้วยน้ำหนักคอนกรีตเอง จึงทำให้คอนกรีตสดของคอนกรีตชนิดนี้ มีความเหลวและความหนืดมาก โดยการทำให้คอนกรีตมีความเป็นเนื้อเดียวกัน ไม่แยกตัว การใช้ส่วนละเอียดสูง ใช้มวลรวมหยาบขนาดเล็กและการใช้สารลดน้ำจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง

ภาพที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำต่อสารเชื่อมประสานและกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตทรงลูกบาศก์ขนาด 10x10x10 ซม. ที่อายุ 1 วัน จากรูปแสดงว่าเมื่อค่า w/b ต่ำมีแนวโน้มที่จะให้กำลังคอนกรีตสูงขึ้น ทั้งนี้การใช้ w/b ต่ำอาจทำให้การอัดแน่นให้กับเนื้อคอนกรีตทำได้ยากขึ้น อย่างไรก็ตามในปัจจุบันสารลดน้ำจำนวนมาก เป็นสารที่ช่วยให้สามารถทำคอนกรีตที่ค่า w/c ต่ำๆ ได้ [1]



ภาพที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำต่อสารเชื่อมประสานและกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต

สารลดน้ำจำนวนมาก

สารลดน้ำจำนวนมาก (Superplasticizer) เป็นส่วนผสมที่สำคัญในการผลิตคอนกรีตกำลังสูงอย่างมาก โดยสารลดน้ำจำนวนมากนี้มีทั้งแบบของเหลว และผงแห้ง สำหรับอัตราการใช้สารลดน้ำจำนวนมาก แบบของเหลวมีค่าประมาณ 1 ถึง 3 ลิตร ต่อคอนกรีต 1 ม.^{3} [4] หรือหากเป็นแบบผงอัตราการใช้ประมาณร้อยละ 0.5 ถึง 2.5 ของน้ำหนักซีเมนต์ หรืออาจใช้ถึงร้อยละ 5 ของน้ำหนักสารเชื่อมประสาน ทั้งนี้อาจพิจารณาอัตราการใช้สารลดน้ำได้จากปริมาณของแข็งซึ่งอยู่ในสารลดน้ำนั้นๆ [13] และอาจต้องปรับอัตราการใช้จากผลกระทบของความละเอียดของซีเมนต์, ปริมาณของ C_3A, ชนิดของเครื่องผสม [14] โดยปกติกำลังของคอนกรีตเมื่อใช้น้ำยาลดน้ำในปริมาณสูงสุดจะมีกำลังอัดมากกว่าใช้ในปริมาณต่ำสุด และการใช้สารลดน้ำให้ผลด้านกำลังที่ดีกว่าคอนกรีตที่ไม่ใส่น้ำยาลดน้ำ [15] ทั้งนี้เนื่องจากการใช้สารลดน้ำในปริมาณที่เหมาะสมทำให้ อนุภาคของซีเมนต์กระจายทั่วเนื้อคอนกรีตและสามารถทำปฏิกิริยาได้ดีขึ้น [4] สำหรับชนิดของน้ำยาลดน้ำจำนวนมากนี้มีหลายชนิด โดยชนิดล่าสุด Polycarboxylic Acid-Based หรือ Polyacrylic Acid Polymer ซึ่งเป็นชนิดที่ให้ความสามารถในการทำงานดีที่สุด รองลงมาเป็นชนิด lignosulfonic Acid ซึ่งดีกว่าชนิด Naphthalene Formaldehyde Sulfonic Acid (NS) และชนิด Melamine Formaldehyde Sulfonic Acid (MS) ตามลำดับ [16-18]

สำหรับการใช้สารลดน้ำกับคอนกรีตกำลังสูงและไหลเข้าแบบง่ายนั้น จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการ พบว่า การผสมสารลดน้ำกับน้ำและใส่ลงในส่วนผสมอย่างช้าๆ ให้ผลดีต่อการกระจายตัวของสารลดน้ำและสามารถสังเกตความเป็นเนื้อเดียว หรือการไหลได้จากเนื้อของคอนกรีตสด โดยอาจใช้อัตราการใช้มากกว่าอัตราการใช้ในคำแนะนำการใช้ได้ แต่หากต้องทำการทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีต ก่อนการนำมาใช้งานจริง

ตัวอย่างการผลิตคอนกรีตกำลังสูงที่ไหลเข้าแบบได้ง่าย

สำหรับเนื้อหาส่วนนี้เป็นตัวอย่าง ส่วนผสมวิธีการผสมคอนกรีตกำลังสูงที่ไหลเข้าแบบได้ง่าย ซึ่งได้เกิดจากการทดลองในห้องปฏิบัติการของภาควิชาฯ โดยมีอัตราส่วนผสมดังแสดงในตารางที่ 2 และมีขั้นตอนในการทำดังนี้

1. ผสมสารเชื่อมประสาน (ปูนซีเมนต์, ปอซโซลาน) ให้เป็นเนื้อเดียวกันประมาณ 5 นาที จากนั้นตรวจสอบความเป็นเนื้อเดียว หากยังไม่เป็นเนื้อเดียวให้ผสมต่อไป

2. นำมวลรวมละเอียดผสมรวมในสารเชื่อมประสาน เครื่องผสมอีกครั้งเพื่อให้มวลรวมละเอียดและสารเชื่อมประสานผสมกันได้ด้วยอัตราส่วนสม่ำเสมอในทุกๆ ส่วน ของส่วนผสม

3. ผสมมวลรวมหยาบในเครื่องผสม ในอัตราความเร็วอย่างเหมาะสม ไม่ให้เกิดการแตกร้าวของมวลรวม (โดยในการทดสอบใช้ เครื่องผสมแบบกระทะ (Pan) หมุนด้วยอัตราเร็วประมาณ 1 รอบต่อวินาที) ซึ่งอัตราความเร็วอาจต่างจากขณะผสมสารเชื่อมประสานและมวลรวมละเอียด

4. เมื่อมวลรวมหยาบกระจายตัวไปทั่วๆ เริ่มใส่น้ำลงในส่วนผสม โดยที่อาจใช้น้ำผสมกับสารลดน้ำจำนวนมาก (Superplasticizer) ก่อนโดยผสมให้เข้ากันแล้วค่อยๆ เทลงส่วนผสมนี้ลงในเครื่องที่กำลังผสม ซึ่งอาจผสมน้ำและสารลดน้ำประมาณ ครึ่งหนึ่งของปริมาณที่ได้ออกแบบไว้

5. เมื่อเนื้อคอนกรีตเริ่มเปลี่ยนสีเข้มขึ้น ให้ปิดเครื่องผสม แล้วเกลี่ยเนื้อคอนกรีต ให้ทั่วเครื่องผสมเพื่อให้ส่วนผสม เป็นเนื้อเดียวกันจริงๆ จากนั้น เดินเครื่องผสมต่อด้วยอัตราเท่าเดิมแล้วค่อยๆ เติมน้ำกับสารลดน้ำ อย่างช้าๆ จนครบปริมาณที่ได้ออกแบบ

6. จากนั้นจะได้คอนกรีตสด ซึ่งมีค่าการไหลแผ่ มากกว่า 60 ซม. ดังแสดงในภาพที่ 2 (ไม่ทดสอบวัดค่าการยุบตัว เนื่องจากค่ายุบตัวมีค่าสูงมาก) และหลังจากบ่มด้วยน้ำ เป็นเวลา 7 และ 28 วัน กำลังอัดซึ่งทดสอบได้จากตัวอย่างทรงลูกบาศก์ขนาด 10x10x10 ซม. มีค่าประมาณ 900 และ 1,400 กก./ซม.^{2} ตามลำดับ

ตารางที่ 2 ตัวอย่างอัตราส่วนผสมคอนกรีตกำลังสูงที่ไหลเข้าแบบได้ง่าย

วัสดุ	น้ำหนัก (กก.) ต่อปริมาตร (ม.^{3})	ปริมาตร (ม.^{3})
ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ประเภทที่ 1	743	0.24
น้ำ	149	0.15
ซิลิก้าฟูม	89	0.04
มวลรวมละเอียด	743	0.28
มวลรวมหยาบ (ขนาดใหญ่สุด ½ นิ้ว)	743	0.28
น้ำยาลดน้ำจำนวนมาก	17	0.02
น้ำหนักรวม	**2483**	**1.00**

ภาพที่ 2 การทดสอบค่าการไหลของคอนกรีตสด

สรุป

การผลิตคอนกรีตกำลังสูงมากที่ไหลเข้าแบบได้ง่ายมีหลักสำคัญในการผลิตตั้งแต่การเลือกใช้มวลรวม ซีเมนต์ สารปอซโซลาน น้ำ และสารลดน้ำ เพื่อให้ได้เนื้อคอนกรีตที่มีความสามารถในการทำงานได้ดี และมีกำลังสูงหลังจากแข็งตัวแล้ว โดยปัจจัยที่ต้องคำนึกถึงได้แก่ อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์หรืออัตราส่วนน้ำต่อสารเชื่อมประสาน ชนิดและอัตราการใช้สารลดน้ำจำนวนมาก มวลรวมละเอียด มวลรวมหยาบ วิธีการผสม

อย่างไรก็ตาม ข้อมูลที่ได้นำเสนอในบทความนี้เป็นการผลิตคอนกรีตเพื่อให้ได้คอนกรีตกำลังสูงมากที่ไหลเข้าแบบได้ง่าย แต่ยังไม่มีการทดสอบคุณสมบัติในด้านความทนทาน ซึ่งเป็นอีกคุณสมบัติที่สำคัญและต้องศึกษาวิจัยต่อไป เพื่อให้สามารถใช้งานจริงได้อย่างมั่นใจต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ผู้แต่งขอขอบคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่ได้ให้ทุนสำหรับใช้ในการเข้าร่วมแข่งขันคอนกรีตพลังช้างตั้งแต่ครั้งที่ 2 (พ.ศ. 2544) จนถึงครั้งล่าสุด ครั้งที่ 11 (พ.ศ. 2553) ทำให้ได้มีการทดสอบ วิจัยและพัฒนาการทำคอนกรีตกำลังสูง อีกทั้ง ผู้แต่งขอขอบคุณ บริษัท โอ อาร์ ซี พรีเมียร์ จำกัด สำหรับการอนุเคราะห์ สารผสมเพิ่มสำหรับคอนกรีต และบริษัท เจนเนอรัล เอนจิเนียริ่ง จำกัด (มหาชน) สำหรับการอนุเคราะห์ เครื่องผสมคอนกรีตและทุนในการปรับปรุงเครื่องผสม

เอกสารอ้างอิง

[1] พิชัย นิมิตยงสกุล; กิตติพุฒิ เปล่งขำ; และ สุรัก พานิชนาวา. (2546). เทคนิคและวิธีการผลิตคอนกรีตกำลังสูงในประเทศไทย. ใน *เอกสารการประชุมวิชาการ คอนกรีตแห่งชาติครั้งที่ 1.* หน้า 7-16. กาญจนบุรี: วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย.

[2] เอกพล บุญมาเลิศ; บุรฉัตร ฉัตรวีระ; และ ณัฏฐ์ มากุล. (2553). การพัฒนา Ultra High Strength Mortar: อิทธิพลของปริมาณเส้นใยเหล็กและมวลรวมละเอียด. ใน *เอกสารการประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปี ครั้งที่ 6.* หน้า 383-387. ชะอำ, เพชรบุรี: สมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย.

[3] ธนบดี อินทรเพชร; และ ชูชัย สุจิวรกุล. (2553). การพัฒนาคอนกรีตกำลังสูงเร็วและคอนกรีตกำลังสูงสำหรับใช้งานในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน. ใน *เอกสารการประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปี ครั้งที่ 6.* หน้า 427-434. ชะอำ, เพชรบุรี: สมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย.

[4] A.M. Neville. (1999). *Properties of Concrete.* 4th ed. London: Longman.

[5] พุทธิพงศ์ หะลีห์รัตนวัฒนา; และ เอกสิทธิ์ ลิ้มสุวรรณ. (2547). คุณสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของมวลรวมหยาบที่มีขนาดต่างกัน ใน *เอกสารการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 14.* หน้า Mat30. เพชรบุรี: วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย.

[6] ISRM. (1985). *Suggested method for determining point load strength,* Int. J.Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr., 22(1): 51-60.

[7] Mostafa N.Y., El-Hemaly S.A.S., Al-Wakeel E.I., El-Korashy S.A. and Brown P.W. (2001a). *Activity of silica fume and dealuminated kaolin at different temperatures.* Cement and Concrete Research, 31, 905-911.

[8] Tangpagasit J., Cheerarot R., Jaturapitakkul C. and Kiattikomol K. (2005). *Packing effect and pozzolanic reaction of fly ash in mortar.* Cement and Concrete Research, 35, 1145-1151.

[9] Sinthaworn, S and Nimityongskul, P. (2005). Quick monitoring of pozzolanic reactivity of waste ashes. *Waste Management.* 29, 2009: 1526–1531.

[10] ศุภชัย สินถาวร; และ พิชัย นิมิตยงสกุล. (2552). วิธีตรวจสอบสารปอซโซลานเชิงคุณภาพอย่างรวดเร็วภายในหนึ่งวัน ใน *เอกสารการประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปี ครั้งที่ 5.* นครราชสีมา: สมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย.

[11] Sayamipuk, Sun. (2000). *Development of durable mortar and concrete incorporating metakaolin from Thailand.* (Doctoral dissertation No. ST-00-1, Asian Institute of Technology, 2000). Bangkok: Asian Institute of Technology.

[12] Sumrerng Rukzon; and Prinya Chindaprasirt. (2549). Strength of ternary blended Portland rice husk ash and fly ash cement mortar. ใน *การประชุมวิชาการเทคโนโลยีและนวัตกรรมสำหรับการพัฒนาอย่างยั่งยืน.* คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น 25-26 มกราคม 2549.

[13] Raymundo Rivera-Villarreal. (1997). Draft State-of-the-Art Report on Admixtures in High-Performance Concrete – Part I. *Materials and Structures, Supplement March*: 47-53.

[14] Baalbaki, M. (1990). Practical means for estimating Superplasticizer dosage: determining saturation point, in Superplasticizer, *Report of the Canadian Network of Ceter of Excellence on High Performance*: 49-57.

[15] นิพนธ์ สุวรรณสุขโรจน์. (2546). กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ใช้สารลดน้ำมาก. ใน *เอกสารการประชุมวิชาการ คอนกรีตแห่งชาติครั้งที่ 1*. หน้า NCC63. กาญจนบุรี: วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย.

[16] Nattavude Kongmuang and Burachat Chatveera. (2552). EFFECT OF HIGH RANGE WATER REDUCING ADMIXTURE ON CEMENT MATERIAL PROPERTIES. ใน *เอกสารการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 14*. หน้า 1723-1726. นครราชสีมา: วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย.

[17] Wanjana Wannaphahoun and Kanokon Thongrod. (2551). INFLUENCE OF POLYCARBOXYLATE-BASED SUPERPLASTICIZERS ON RHEOLOGY OF PASTES. ใน *เอกสารการประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปี ครั้งที่ 5.* หน้า Mat-108–Mat-113. นครราชสีมา: สมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย.

[18] S. Chandra and J. Bjornstrom. (2002). Influence of Superplasticizer type and dosage on the slump loss of Portland cement mortars – Part II. *Cement and Concrete Research*. 32: 1613-1619.