บทที่ ๑
บทนำ

๑.๑ บทนำทั่วไป

ก่อนหน้านี้คอนกรีตกำลังสูงไม่ค่อยมีความจำเป็นมากนัก เพราะโครงสร้างต่าง ๆ ยังมีช่วงสั้น ไม่จำเป็นต้องใช้คอนกรีตกำลังสูง และยังมีวัสดุอื่น เช่น เหล็ก หรือไม้ ให้ใช้อยู่เพียงพอ เช่น เมื่อสมัยสงครามโลกครั้งที่หนึ่งกำลังอัดของคอนกรีตโดยปกติธรรมดาประมาณ ๒๐๐ กก/ซม^2 แต่เมื่อต่อมาก็มีความจำเป็นต้องลดวัสดุและขนาดลง คอนกรีตที่ผลิตก็เริ่มได้พัฒนาให้มีกำลังสูงถึง ๕๐๐ กก/ซม^2 ในปัจจุบันนี้การก่อสร้างทั่ว ๆ ไป จะมีกำลังอยู่ระหว่าง ๓๐๐-๕๐๐ กก/ซม^2 หรือถ้าเป็นคอนกรีตที่ใช้กับการผลิตชิ้นส่วนโครงสร้างคอนกรีตอัดแรง จะมีค่าสูงถึง ๔๕๐ กก/ซม^2 อย่างไรก็ดี คอนกรีตกำลังสูงได้เริ่มค้นคว้าและผลิตตั้งแต่ปี ๑๙๓๐[๑๒] โดยใช้สัดส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ต่ำ แต่ก็ยังมีปัญหาเกี่ยวกับการใช้งาน เพราะคอนกรีตที่มีสัดส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ต่ำนั้น จะทำให้สภาพของคอนกรีตแห้งมาก ทำให้การทำงานยากลำบาก จึงมีผู้สนใจน้อยต่อมาราวกลางปี ๑๙๖๐ ได้มีงานวิจัยเกี่ยวกับการใช้สารผสมคอนกรีตเพื่อทำให้คอนกรีตมีความสามารถในการเทสูง[๑๓] ซึ่งจะนำมาใช้ประโยชน์ในการผลิตคอนกรีตกำลังสูง ปัจจุบันนี้สารผสมคอนกรีตได้ถูกนำไปใช้งานก่อสร้างทั่ว ๆ ไป จำนวนมากโดยเฉพาะในโรงงานคอนกรีตอัดแรงหรือ การก่อสร้างขนาดใหญ่ที่ต้องการกำลังสูงในระยะเริ่มแรก ซึ่งมีน้ำยาผสมคอนกรีตหลายชนิด มีขายอยู่ในท้องตลาด อย่างไรก็ดีสารผสมคอนกรีตเหล่านี้ให้กำลังคอนกรีตสูงโดยการลดน้ำ ซึ่งปัจจุบันในประเทศไทยสามารถผลิตได้ที่กำลังสูงถึง ๔๕๐-๕๐๐ กก/ซม^2 โดยไม่มีปัญหาอะไรมาก

การศึกษาในงานวิจัยนี้ พยายามที่จะพัฒนาการผลิตคอนกรีตที่มีกำลังสูงมาก คือ ที่มีกำลังสูงกว่า ๕๐๐ กก/ซม^2 ขึ้นไปโดยใช้สารผสมที่หาได้ภายในประเทศ กำลังคอนกรีตที่ผลิตได้ในการวิจัยนี้ มีค่าสูงถึง ๙๐๔ กก/ซม^2 โดยใช้สารผสมซึ่งเรียกว่า แบล็ก ลิกเกอร์ (Black Liguor) ซึ่งเป็นน้ำเสียจากขบวนการฟอกเยื่อกระดาษของโรงงาน เป็นสารผสมเพิ่มในการผลิต การศึกษาได้เริ่มตั้งแต่การนำเอาน้ำเสียจากการฟอกเยื่อกระดาษนี้มาวิเคราะห์

ทางเคมีและพบว่ามีสารพื้นฐานที่จะเพิ่มความไหลลื่นในคอนกรีตได้ อีกทั้งช่วยให้การยึดเหนี่ยวระหว่างมวลดีขึ้น จากนั้นจึงได้เริ่มทดสอบผสมกับปูนก่อ (Mortar) เพื่อศึกษาพฤติกรรมการไหลลื่น และคุณสมบัติทางกายภาพจนให้ผลเป็นที่แน่ใจ จึงเริ่มทดสอบส่วนผสมในคอนกรีตแล้วศึกษาคุณสมบัติของคอนกรีตเหลว และคุณสมบัติทางโครงสร้างของคอนกรีตต่าง ๆ ควบคู่กันไปด้วย ผลที่ได้จากการวิจัยนี้ จะให้ประโยชน์อย่างมากต่ออุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป เพราะจะช่วยลดขนาดและน้ำหนักในการขนส่งได้อย่างมาก ทั้งนี้เนื่องจากคอนกรีตที่ผลิตได้มีกำลังสูงกว่าคอนกรีตที่ใช้งานทั่วไปถึง ๒ - ๓ เท่าตัว การผสมและการทำงานก็ไม่ยากต่อการควบคุมคุณภาพมากนัก

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

๑.๒ งานวิจัยที่ผ่านมา

ความพยายามที่จะผลิตคอนกรีตกำลังสูงในระยะแรก ๆ เริ่มโดย Gilkey[๑๔] ได้ทดลองเกี่ยวกับสัดส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ที่จะมีผลต่อกำลังของคอนกรีต พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณซีเมนต์เพื่อสัดส่วนของน้ำต่อซีเมนต์จะได้ลดลง และลดขนาดโตสุดของมวลรวมลงด้วยจะทำให้กำลังของคอนกรีตสูงขึ้น Walker [๑๕] ได้ศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบของขนาดโตสุดที่มีต่อกำลังของคอนกรีต กล่าวว่า ส่วนผสมที่ใช้มวลรวมขนาดเล็กลงจะทำให้ต้องการปริมาณน้ำสูงขึ้น เป็นผลให้การหดตัว (Shrinkage) เพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนกับกำลังของคอนกรีต และยังกล่าวอีกว่า กำลังของคอนกรีตมีผลมาจากกำลังของปูนก่อ (Mortar) แรงยึดเกาะ (Bond) ระหว่างปูนก่อกับมวลรวมหยาบและความแข็งของมวลรวมหยาบ Mather [๑๖] ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับคอนกรีตที่ใช้มวลรวมที่มีน้ำหนักมาก เช่น แมกเนไตท์ (Magnetite) หรือ อิลมีไนท์ (Ilmenite) ที่มีขนาดโตสุดครึ่งนิ้ว เป็นส่วนผสมโดยมีปริมาณซีเมนต์เท่ากับ ๕๘๐ กก/ม^{๓} และใช้สัดส่วนของน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ ๐.๓ จะทำให้กำลังของคอนกรีตมีค่าสูงถึง ๗๗๐ กก/ซม^{๒} ที่อายุ ๒๘ วัน Cordon [๑๗] ได้ค้นคว้าเกี่ยวกับตัวแปรของมวลรวมที่มีผลกระทบต่อกำลังของคอนกรีตที่มีสัดส่วนของน้ำต่อซีเมนต์สูง (Lean Mix) จะให้กำลังสูงสุดเมื่อใช้มวลรวมขนาดโตแต่ในขณะเดียวกัน คอนกรีตที่มีสัดส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ต่ำ (Rich Mix) จะให้กำลังสูงสุด เมื่อใช้ขนาดโตสุดของมวลรวมเล็ก ๆ

แต่ก็มีผู้ค้นคว้าเกี่ยวกับขนาดคละของมวลรวมหลายคน เช่น Mc Greary (๑๙) Weymouth (๑๙) และ Gold beck (๒๐) กล่าวไว้ในทำนองเดียวกันว่า ขนาดคละของมวลรวมจะมีความสำคัญน้อยลงในคอนกรีตที่มีปริมาณซีเมนต์สูง โดยให้เหตุผลทำนองเดียวกับ Walker[15] ว่า คอนกรีตกำลังสูงจะมีการพัฒนากำลังจากแรงยึดเกาะและความแข็งของมวลรวม Saucier (๒๑) ได้ทดลองใช้ทรายธรรมชาติ และทรายที่ผลิตจากโรงงาน เป็นส่วนผสมของคอนกรีต พบว่า ในส่วนผสมที่มีการยุบตัวและปริมาณซีเมนต์เท่ากัน ทรายธรรมชาติจะให้กำลังของคอนกรีตสูงกว่าทรายที่ผลิต โดยให้เหตุผลว่า ทรายธรรมชาติจะต้องการปริมาณน้ำน้อยกว่าเมื่อการยุบตัวเท่ากัน เพราะทรายธรรมชาติมีลักษณะกลมและผิวเรียบมากกว่า Thoman (๒๒) ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับมวลรวมที่มีลักษณะโครงสร้างของผิว (Texture Surface) ที่ต่างกัน โดยใช้กรวด (Gravel) หินทราย (Sandstone) และหินบะซอลท์ (Basalt) พบว่าส่วนผสมของคอนกรีตที่ใช้หินบะซอลท์ จะให้กำลังสูงสุดโดยให้เหตุผลว่า ความเป็นเนื้อเดียวกันและคุณสมบัติทางฟิสิกส์ที่ดีกว่าจะมีความสามารถพัฒนาแรงยึดเกาะระหว่างปูนก่อกับมวลรวมได้สูงกว่า นอกจากนี้ (Thoman)[22] ยังพบอีกว่าคอนกรีตที่มีกำลังต่ำ เส้นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงอัด (Stress) และความเค้น (Strain) จะมีความชันน้อยลง ในขณะที่เส้นกราฟของคอนกรีตกำลังสูงจะมีลักษณะเป็นเส้นตรงและมีความชันมากไปจนถึงระดับหน่วยแรงอัดประมาณ ๕๐ % ของกำลังอัดของคอนกรีต และค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity) จะแปรตามมวลรวมที่ใช้โดยมวลรวมที่มีคุณสมบัติทางฟิสิกส์ต่างกันจะให้ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นต่างกัน Perera (๒๓) ได้ทำการวิจัยหาคุณสมบัติเชิงกลของคอนกรีตกำลังสูงพบว่าโมดูลัสยืดหยุ่นและกำลังดึงแยกตัวจะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนกับกำลังอัดคอนกรีต และยังพบอีกว่าคอนกรีตกำลังสูง จะมีความต้านทานต่อกำลังแบกทาน (Bearing Strength) สูงกว่าคอนกรีตธรรมดา ซึ่งจะมีประโยชน์อย่างมากต่องานคอนกรีตอัดแรง แต่สัดส่วนพัวซอง (Poisson's Ratio) ของคอนกรีตธรรมดากับคอนกรีตกำลังสูงจะอยู่ระหว่าง ๐.๒ ถึง ๐.๒๓ Nilson (๒๔) ได้ทดลองศึกษาคุณสมบัติของคอนกรีตกำลังสูง กล่าวทำนองเดียวกับ Perera เกี่ยวกับเส้นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงอัดและความเค้น และยังพบอีกว่าความเค้นสูงสุดเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย นอกจากนี้ยังกล่าวอีกว่า ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น

ของคอนกรีตกำลังสูงซึ่งมีค่ามากกว่าคอนกรีตธรรมดา เนื่องมาจากความแข็งของปูนก่อ และแรงยึดเกาะระหว่างปูนก่อกับมวลรวมที่สูงกว่า

ต่อมาราวปี ๑๙๖๐ ได้มีผู้นำเอาสารผสมคอนกรีต (Admixture) ที่มีลิกนินเป็นสารหลักมาใช้กับงานคอนกรีต เพื่อทำให้คอนกรีตมีความสามารถในการเทสูงแต่ก็มีปัญหาเกี่ยวกับอัตราการใช้สารผสม Saucier [๒๑] กล่าวว่า เมื่อใช้ในอัตรามากกว่าผู้ผลิตแนะนำจะทำให้กำลังคอนกรีตลดลง ในอายุเริ่มแรก แต่เมื่อมีอายุนานไปจะไม่มีผลต่อกำลังของคอนกรีต Dodson [๒๕] แนะนำว่า การใช้สารผสมให้มีประสิทธิภาพมากที่สุดนั้น ควรจะเติมสารผสมลงในคอนกรีตภายหลัง จากซีเมนต์ผสมกับน้ำแล้ว Blick [๒๖] ค้นพบว่าเมื่อใช้สารผสมในอัตราที่สูงกว่าผู้ผลิตแนะนำไว้ควรจะทำการทดสอบผสมกับคอนกรีต แล้วหาคุณสมบัติเปรียบเทียบกับคอนกรีตที่ไม่เติมสารผสม และยังเตือนอีกว่าเมื่อใช้สารผสมคอนกรีตจำพวกลิกไนซัลโฟเนท (Lignosulphonate) ที่อัตราสูงกว่าปกติ จะทำให้เกิดฟองอากาศมากกว่า ๓ % เป็นผลให้กำลังของคอนกรีตลดลง Hester [๒๗] แนะนำว่าอัตราสารผสมที่ผู้ผลิตแนะนำจะมีประสิทธิภาพในการผลิตที่โรงงานมากกว่างานคอนกรีตที่หล่อในที่ซึ่งโดยทั่วไปในอัตราสารผสมที่ใช้จะอยู่ระหว่าง ๐.๓ ถึง ๓ % โดยน้ำหนักของซีเมนต์ Yamamoto [๒๘] ได้ทดลองเกี่ยวกับผลกระทบจากการใช้สารผสมในอัตราสูง พบว่าการใช้สารผสมคอนกรีตให้มีประสิทธิภาพและประหยัดควรจะใช้ในอัตราต่ำกว่า ๑ % โดยน้ำหนักซีเมนต์

ต่อมามีผู้นำประโยชน์ของคอนกรีตกำลังสูงมาใช้งานก่อสร้างโดย Towles [๒๙] วิเคราะห์ว่า เมื่อใช้คอนกรีตที่มีกำลังอัดประมาณ ๕๐๐ กก/ซม^{๒} ที่อายุ ๒๘ วัน มาใช้ในงานออกแบบคานช่วงยาว (Long Span Beam) และโครงสร้างโค้ง (Arch) จะทำให้ลดขนาดและน้ำหนักตัวเอง ทำให้ประหยัดค่าก่อสร้างลงได้ และยังกล่าวอีกว่า คอนกรีตกำลังสูงยังมีความต้านทานต่อสภาพลมฟ้าได้ดีกว่าคอนกรีตธรรมดา Richart [๓๐] กล่าวทำนองเดียวกันว่า คอนกรีตกำลังสูงทำให้ลดขนาดโรงสร้างโดยเฉพาะเสา จะทำให้ประหยัดที่สุด ต่อมา ปี ๑๙๕๗ Klieger [๓๑] ได้ทดลองหาวิธีผลิตคอนกรีตอัดแรงให้ประหยัดโดยใช้ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์แบบที่สาม (Type III) พบว่า ปัจจัยสำคัญในการผลิตคอนกรีตอัดแรงให้ประหยัด คือ การทำให้คอนกรีตมีกำลังสูงเร็ว ซึ่งจะทำให้การอัดแรงเร็วขึ้น เป็นผลให้

ประหยัดต้นทุน การผลิตคอนกรีตอัดแรง

๑.๓ จุดประสงค์ของงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้ ได้ทดลองใช้สารผสมคอนกรีตชนิดใหม่ ซึ่งก่อนหน้านี้ยังไม่มีการนำมาใช้งาน ดังนั้นจึงต้องทำการศึกษาอัตราการใช้สารผสมตลอดทั้งผลกระทบต่าง ๆ ที่จะเกิดขึ้นต่อคุณสมบัติของคอนกรีต นอกจากนี้ยังทำการศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของคอนกรีตกำลังสูงในด้านต่าง ๆ ดังนี้

๑) อัตราการใช้สารผสมคอนกรีตที่มีผลต่อคุณสมบัติของคอนกรีต

๒) สัดส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ที่มีผลต่อคุณสมบัติของคอนกรีต

๓) ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงอัดและความเค้น

๔) โมดูลัสยืดหยุ่นและสัดส่วนพัวซองของคอนกรีตกำลังสูง

๕) อัตราการเพิ่มกำลังของคอนกรีตเมื่อมีอายุมากขึ้น

๖) กำลังดึงแยกตัวของคอนกรีตกำลังสูง

๑.๔ ขอบข่ายของงานวิจัย

การศึกษาเกี่ยวกับคอนกรีตกำลังสูงในงานวิจัยนี้ โดยศึกษาคุณสมบัติของคอนกรีตทั้งที่เหลวและแข็งตัว ได้จำกัดขอบเขตของการวิจัยอยู่ที่สัดส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ระหว่าง ๐.๒๖ - ๐.๓๒ สารผสมคอนกรีตที่ใช้เป็นน้ำยา (Black Liquor) ชนิดใหม่ซึ่งนำมาจากโรงงานโดยตรง ใช้ผสมคอนกรีตในอัตรา ๑.๕ - ๖ % โดยน้ำหนักซีเมนต์ มวลรวมที่ใช้มีขนาดโตสุด ๓/๔ นิ้ว ปริมาณของปอร์ตแลนด์ซีเมนต์แบบที่สาม (Type III) เท่ากับ ๕๕๐ กก/ม^{๓} เปอร์เซนต์ของทรายต่อมวลรวมเท่ากับ ๓๘ % และสัดส่วนของมวลรวมต่อซีเมนต์เท่ากับ ๓.๒