

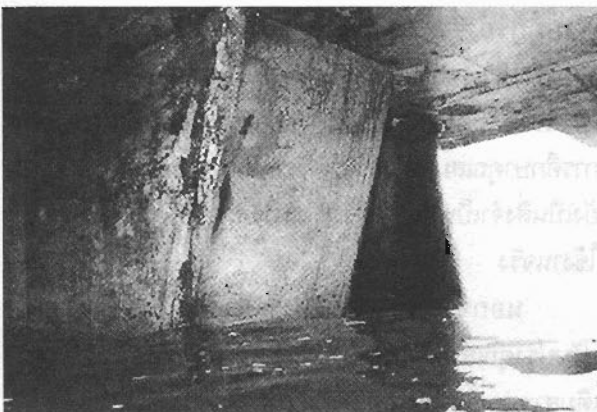
# บางมุมมองของ ความคงทนของงานคอนกรีต

อาคารและสิ่งก่อสร้างต่างๆ นอกจากจะต้องมีความแข็งแรง สามารถใช้งานได้ตามวัตถุประสงค์โดยปลอดภัยแล้ว ความคงทนเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ต้องคำนึงถึง เนื่องจากมีผลโดยตรงต่ออายุการใช้งานของโครงสร้างนั้นๆ ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา ซ่อมแซม รวมถึงความไม่สะดวกหรือความเสียหายที่เกิดจากการต้องหยุดใช้อาคารบางส่วนหรือทั้งหมดเพื่อการซ่อมแซม ในปัจจุบันปัญหาความคงทนของโครงสร้างได้รับความสนใจมากขึ้น เนื่องจากสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนไปจากการเติบโตของเมือง และการใช้งานอาคารในสภาวะแวดล้อมรุนแรงในลักษณะเฉพาะหลายลักษณะมากขึ้น การศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องและพฤติกรรม การเสื่อมสภาพ ตลอดจนแนวทางป้องกันสำหรับโครงสร้างใหม่ และการแก้ไขอาคารเก่าเมื่อเกิด การเสื่อมสภาพ รวมถึงการหาวัสดุซ่อมแซมที่มีคุณภาพดี ซึ่งเป็นความพยายามเพื่อยืดอายุการใช้งานอาคารที่มีอยู่แล้วจึงเป็นแนวทางการวิจัย

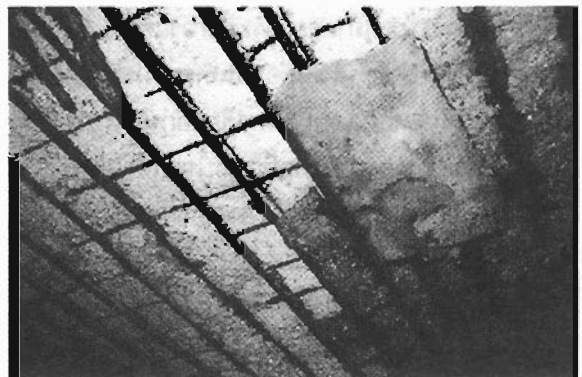
ที่มีความจำเป็นในปัจจุบัน

ในประเทศไทยซึ่งมีความยาวของชายฝั่งทะเลประมาณ 3200 กม. ปัญหาหนึ่งของโครงสร้างคอนกรีตที่อยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีไอเกลือและความชื้นตลอดเวลา เช่นนี้ คือการเกิดสนิมเหล็กและการแตกร้าวของคอนกรีตซึ่งค่อนข้างรุนแรงเมื่อเทียบกับโครงสร้างในสภาวะแวดล้อมอื่นๆ ดังภาพที่ 1 และภาพที่ 2

มีรายงานการศึกษาทั้งในและต่างประเทศมากมายที่ระบุถึงประโยชน์และข้อดีของการใช้สารปอซโซลานร่วมกับซีเมนต์ หลายประการนอกเหนือไปจากราคาที่ต่ำกว่าซีเมนต์ซึ่งเป็นข้อได้เปรียบทางงบประมาณ สารปอซโซลานซึ่งที่รู้จักกันแพร่หลาย ได้แก่ เถ้าลอย ซิลิกาฟูม Metakaolin และตะกรันกากเตาถลุง ในขณะที่การใช้ซิลิกาฟูมซึ่งเป็นสารปอซโซลานที่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศเป็นที่นิยมสำหรับงานคอนกรีตกำลังสูง ในปัจจุบันมีการใช้เถ้าลอยจากแหล่งในประเทศในงานคอนกรีตปกติมากขึ้น และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น การเติมเถ้าลอยมีผลกระทบต่อคุณสมบัติของคอนกรีต และพฤติกรรมของโครงสร้างคอนกรีตโดยตรงจากลักษณะการแทรกสอดช่องว่าง



ภาพที่ 1 การแตกร้าวและร่องรอยการเกิดสนิมเหล็ก



ภาพที่ 2 การเกิดสนิมเหล็กและการแตกร้าวหลุดร่อนของคอนกรีตอย่างรุนแรง

ของอนุภาคเถ้าลอยที่มีขนาดเล็ก และจากการเพิ่มผลผลิตภัณฑ์ สารเชื่อมประสานจากปฏิกิริยาปอซโซลานิก ซึ่งทั้งสอง ประการมีผลให้เนื้อคอนกรีตที่บ่มแน่นขึ้น ช่องว่างมีขนาด และปริมาณลดลง ซึ่งมีผลต่อการเพิ่มความคงทนของ โครงสร้าง เนื่องจากความชื้นหรือไอเกลือแทรกซึมเข้าไป ได้ยากขึ้น นอกจากนี้ ยังช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวในการจับยึด คลอไรด์เป็นการลดปริมาณ Free Chloride ที่ละลาย อยู่ในน้ำในโพรงคอนกรีตซึ่งมีผลต่อการเกิดสนิมโดยตรง แม้ว่าจะมีข้อสงสัยในเรื่องการลดค่า pH ซึ่งเป็นดัชนี วัดความเป็นด่างของคอนกรีต จากการใช้  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  ใน ปฏิกิริยาปอซโซลาน แต่ผลการศึกษาน้ำในโพรงคอนกรีต พบว่าค่า pH ของซีเมนต์เพสต์ผสมเถ้าลอยยังคงอยู่ใน ระดับ 12.4-12.7 ซึ่งใกล้เคียงกับซีเมนต์เพสต์ล้วน (1)

ได้มีการศึกษาผลกระทบของเถ้าลอยจากแหล่ง ในประเทศต่อการซึมได้ของคลอไรด์และการเกิดสนิม ของเหล็กเสริม (2) ที่ใช้ระยะคอนกรีตหุ้ม 3 ค่า คือ 2.5, 4 และ 7 ซม. โดยใช้วิธีเร่งด้วยกระแสไฟฟ้า ตัวแปรที่พิจารณา ได้แก่ ปริมาณการแทนที่ด้วยเถ้าลอย อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุ ประสาน (w/b) ระยะหุ้ม และชนิดของซีเมนต์ ผลการศึกษา พบว่าเถ้าลอยลดการแทรกซึมของคลอไรด์ในคอนกรีตอย่าง ชัดเจน และค่า w/b เป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการแทรกซึม ของคลอไรด์ นอกจากนี้เถ้าลอยสามารถลดการเกิด สนิมเหล็กได้ทุกปริมาณการแทนที่ที่ศึกษา (15, 25, 35 และ 50%) และระยะหุ้มของคอนกรีตมีอิทธิพลสูงต่อการ เกิดสนิม และปูนซีเมนต์ชนิดที่ 5 ไม่ได้แสดงความได้เปรียบ ในการป้องกันการเกิดสนิมและการแทรกซึมของคลอไรด์ แม้ว่างานนี้เป็นการศึกษาผลของคลอไรด์เพียงประการเดียว แต่ในการศึกษาที่ใช้หน้าทะเลจริงและการเร่งด้วยกระแสไฟฟ้า ซึ่งอาจบ่งชี้ถึงแนวโน้มว่าในสภาวะแวดล้อมที่คลอไรด์เป็น ปัจจัยหลักของการเสื่อมสภาพนั้น การใช้ซีเมนต์ชนิดที่ 1 สำหรับคอนกรีตผสมเถ้าลอยในระดับการแทนที่ 15-25% ให้ผลดีในด้านความทนทานต่อการแทรกซึมของคลอไรด์ และการเกิดสนิมเหล็ก โดยไม่มีผลเสียต่อกำลังในระยะยาว แต่ทั้งนี้ควรตระหนักด้วยว่าพฤติกรรมในด้านความทนทาน นั้นขึ้นกับสภาวะและคุณสมบัติของคอนกรีตขณะที่สัมผัส กับสภาพแวดล้อมครั้งแรกด้วย (3)

นอกจากเถ้าลอยแล้วยังมีผลการศึกษาอีกมากมาย ที่แสดงว่าสารปอซโซลานอื่นๆ มีผลดีต่อการแทรกซึม ของคลอไรด์เช่นกัน มีการศึกษาการนำดินขาวดิบ หรือ Kaolin จากแหล่งในประเทศ (4) ซึ่งปัจจุบันใช้ใน

อุตสาหกรรมเซรามิกมาผ่านขบวนการให้ความร้อน ประมาณ  $800^\circ\text{C}$  เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ทำให้เปลี่ยน สภาพเป็น Metakaolin (MK) ซึ่งมีคุณลักษณะ เป็นสารปอซโซลาน เมื่อนำมาบดละเอียดจนมี พื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ  $9,800 \text{ ซม.}^2/\text{กรัม}$  และ ใช้ร่วมกับซีเมนต์ในลักษณะการแทนที่บางส่วน (10-40%) โดยศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้งาน เป็นมอร์ตาร์เพื่อใช้กับงานซ่อมแซมในสภาพ แวดล้อมชายฝั่งทะเลซึ่งมีคลอไรด์เป็นปัญหาหลัก เนื่องจาก MK มีลักษณะอนุภาคไม่แน่นอนและมีพื้นที่ผิวสูง จึงต้องการน้ำมากกว่าส่วนผสมที่ใช้ ซีเมนต์ล้วน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้ MK ร่วมกับ สารลดน้ำพิเศษเพื่อควบคุมให้มีความสามารถ ทำงานได้ตามต้องการ ผลการศึกษาพบว่า MK จากแหล่งระนอง พัฒนากำลังใกล้เคียงกับมอร์ตาร์ ควบคุม เมื่ออายุ 7 วัน และที่อายุ 28 วัน มี กำลังสูงกว่า 8-20% ขึ้นอยู่กับปริมาณการแทนที่ และมีผลต่อการลดการซึมผ่านของคลอไรด์อออน ลงจนอยู่ในระดับต่ำถึงระดับที่จัดว่าไม่มีการ ซึมผ่าน (ตามข้อแนะนำและจัดลำดับของ ASTM C 1202) เมื่อเปรียบเทียบกับมอร์ตาร์ปกติซึ่ง จัดอยู่ในระดับสูง ทั้งนี้ขึ้นกับปริมาณการแทนที่ ซึ่งผลดีของ MK จะยิ่งชัดเจนมากขึ้นตามปริมาณ การแทนที่ด้วย MK ที่มากขึ้น การศึกษานี้ แสดงถึงศักยภาพของการนำ MK ซึ่งเป็นวัสดุ ที่สามารถผลิตขึ้นได้ในประเทศมาใช้ในงาน ซ่อมแซมในสภาวะแวดล้อมที่มีคลอไรด์เป็น ปัจจัยหลัก ผลดีของ MK นอกจากจะคล้ายคลึง กับกรณีของเถ้าลอยในกรณีของการแทรกช่องว่าง และการเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานแล้ว ยังช่วย เร่งปฏิกิริยาซึ่งมีผลดีต่อการพัฒนากำลังใน ระยะต้นซึ่งเร็วกว่าการใช้เถ้าลอย โดยเฉพาะ เมื่อใช้ในระดับการแทนที่ 20-30% แต่ทั้งนี้ การศึกษาคุณสมบัติและพฤติกรรมอื่นๆ เพิ่มเติม ยังเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการพัฒนาวัสดุเพื่อนำมา ใช้งานจริง

นอกจากนั้น มีรายงานเกี่ยวกับการ ปรับปรุงคุณสมบัติในด้านความคงทนอื่นๆ เมื่อ เติมสารปอซโซลานโดยเฉพาะเถ้าลอยจากแหล่ง ในประเทศ เช่น ในด้านซัลเฟต (5) ซึ่งขึ้นตัวอย่าง

ซึ่งใช้เถ้าลอยที่มีระดับแคลเซียมออกไซด์ 8 และ 17% แทนที่ร้อยละ 25-70 มีการขยายตัวต่ำกว่า ตัวอย่างที่ใช้ซีเมนต์ชนิดที่ 1 และชนิดที่ 5 ล้วนจากการลดปริมาณ  $C_3A$  และ  $CH$  แม้ว่าในกรณีที่ใช้อัตราส่วน w/b ต่ำ การใช้หรือไม่ใช้เถ้าลอย ไม่แสดงผลชัดเจนเนื่องจากซิลิเกตออลอนแทรกซึมเข้าสู่ภายในได้ยากกว่า นอกจากการใช้เถ้าลอยร่วมกับปูนซีเมนต์แล้ว ยังมีความพยายามที่จะพัฒนาในเรื่องความคงทน โดยศึกษาพฤติกรรมเมื่อใช้วัสดุเหลือใช้ เช่น ฝุ่นหินปูนจากขบวนการย่อยหินปูนร่วมกับเถ้าลอยและซีเมนต์ (6) หรือการใช้เถ้าแกลบร่วมกับซีเมนต์ (7) และพบว่าการใช้ฝุ่นหินปูนร่วมกับเถ้าลอยมีผลให้ชิ้นตัวอย่างมีการขยายตัวน้อยกว่าชิ้นตัวอย่างเมื่อใช้ซีเมนต์ล้วนและเมื่อใช้ซีเมนต์ผสมเถ้าลอย และการใช้เถ้าแกลบก็สามารถช่วยลดการกัดกร่อนจากซิลิเกตได้เช่นกัน

แต่ในขณะเดียวกันก็มีรายงานถึงข้อดีจากการเติมเถ้าลอยในด้านการเพิ่มความถี่ของการเกิดคาร์บอนेशन (8) โดยเฉพาะในกรณีสภาวะแวดล้อมของพื้นที่เป็นเขตเมืองใหญ่ที่มีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูง

ผลจากการศึกษาเหล่านี้ชี้ให้เห็นถึงศักยภาพของการใช้สารปอซโซลานในการพัฒนา คุณสมบัติคอนกรีตด้านความคงทน ซึ่งอาจใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาวิธีการออกแบบการเลือกวัสดุ และการปฏิบัติงานเพื่อให้ได้โครงสร้างที่มีคุณสมบัติตามต้องการ และมีอายุการใช้งานในสภาพแวดล้อมที่รุนแรงและมีลักษณะเฉพาะยาวนานโดยมีค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาต่ำตามต้องการในอนาคต

1. สุวิมล สัจจาณิษฐ์, ประเสริฐ สุวรรณวิทยา รายงานวิจัย "คุณสมบัติระยะยาวของคอนกรีตผสมเถ้าลอย" เสนอต่อกรมไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, เมษายน 2546
2. สุวิมล สัจจาณิษฐ์, ประเสริฐ สุวรรณวิทยา, ไพศาล ลีลาเลอเกียรติ, สุรเชษฐ์ จิงเกษมโชคชัย และ วราภรณ์ คุณานากิจ "การป้องกันสนิมในโครงสร้างสัมผัส

น้ำเค็มด้วยเถ้าลอย" เอกสารการประชุมทางวิชาการคอนกรีตแห่งชาติ ครั้งที่ 1, 14-16 พฤษภาคม 2546, กาญจนบุรี

3. Dr. Adam Neville (UK), PERFORMANCE SPECIFICATION FOR MARINE CONCRETE: Ultra-Low Absorption Spec Time-Proven Successful Over 40 Years (Nov. 2001) from <http://www.cementaid.com/caltite2.htm>, March 2002.
4. เรือโทเจริญวุฒิ ปัญญาอนุสรณ์ และ สุวิมล สัจจาณิษฐ์ "ผลกระทบของดินขาวต่อการซึมผ่านของคลอไรด์ในมอร์ตาร์โดยวิธีเร่งการซึมผ่านของคลอไรด์และกำลังอัดของมอร์ตาร์" เอกสารการประชุมทางวิชาการคอนกรีตแห่งชาติ ครั้งที่ 1, 14-16 พฤษภาคม 2546, กาญจนบุรี
5. P. Krammart and S. Tangtermsirikul, Strength Reduction and Expansion of Fly Ash Concrete in Sulfate Solution เอกสารการประชุมทางวิชาการคอนกรีตแห่งชาติ ครั้งที่ 1, 14-16 พฤษภาคม 2546, กาญจนบุรี
6. ความทนทานของซีเมนต์เถ้าลอยผสมฝุ่นหินปูน
7. ปริญญา จินดาประเสริฐ, สุรชาติ มั่งมีศรี, สมศักดิ์ พันชมภู และ อาภา สธนเสาวภาคย์ "การศึกษาความต้านทานสารซิลิเกตของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอซโซลาน "เอกสารการประชุมทางวิชาการคอนกรีตแห่งชาติ ครั้งที่ 1, 14-16 พฤษภาคม 2546, กาญจนบุรี
8. J. Khunthongkeaw, S. Tangtermsirikul and T. Leelawat, Experimental Investigations on Carbonation of Fly Ash Concrete, เอกสารการประชุมทางวิชาการคอนกรีตแห่งชาติ ครั้งที่ 1, 14-16 พฤษภาคม 2546, กาญจนบุรี

