

อาคารและสิ่งปลูกสร้างที่ไม่สูญเสียในสภาวะน้ำท่วม Building Structures which Survive in a Flooded Environment

ดร.สมชาย ศรีสมพงษ์ ณรงค์ มณฑปใหญ่ และอัครเดช ครุฑพุ่ม
อาจารย์สาขาวิชาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

อาคารและสิ่งปลูกสร้างในที่ลุ่มโดยทั่วไปมีอายุการใช้งานสั้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาคารที่ตั้งอยู่ในภูมิประเทศ ที่มีน้ำท่วมซ้ำ ปัญหาอีกอย่างหนึ่งที่ซ้ำเติมก็คือปรากฏการณ์แผ่นดินทรุดตัวอย่างต่อเนื่อง การศึกษาเรื่องนี้พบว่าเสาตอม่อของอาคารหลังหนึ่งในสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่จมน้ำอยู่ประมาณ 30-35 ปี มีโครงสร้างเสาของอาคารถูกกัดกร่อนจนสูญเสียพื้นที่หน้าตัดของวัสดุโครงสร้างไปมากกว่าร้อยละ 80 จนต้องหยุดให้บริการงานใช้สอยโดยสิ้นเชิง เพื่อหลีกเลี่ยงอันตรายอันอาจเกิดจากการวิบัติ ปัญหาดังกล่าวเกิดขึ้นกับอาคารที่มีส่วนของโครงสร้างหลักนั้นจมน้ำอยู่ ทำให้เกิดคำถามถึงแนวทางแก้ไขและป้องกันความเสียหายดังกล่าวในระยะยาวสำหรับอาคารที่ปลูกสร้างในสภาพภูมิศาสตร์เช่นนี้

คำสำคัญ : การกัดกร่อนจากคลอไรด์ อะควาแรพพ์ ความซึมได้ในคอนกรีต น้ำกร่อย แผ่นสังเคราะห์กั้นน้ำ "FRP"

Abstract

Under a flooded environment corrosion can occur to the building structures in moderate climates, besides, the soil-subsidence phenomenon is yet an aggravating factor to the damages. The author found that main rebars and the covering concrete of 42 footing-columns of a brackish-water submerged reinforced concrete building in KMITL campus was about 80% corroded after approximately 30-35 years of service life. All service activities of the building then were strictly prohibited waiting for a reasonable resolution for the problem. The said damages are commonly seen and thus raise a big question of how the submerged structures can be saved, especially in the flood-prone environment which will prevail in this specific Geography.

Keywords : Depassivation of steel, Chloride induced corrosion, Aqua wrap, Permeability of concrete, Brackish water, Fiber Reinforced Plastic (FRP)

1 บทนำ

ผู้เขียนได้นำเสนอสาเหตุและลักษณะของความสูญเสียเมื่ออาคารที่ปลูกสร้างต้องจมน้ำในบทความที่ลงพิมพ์ในวารสารวิชาการของคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬ. ฉบับที่ 1/2549 (ความสูญเสียในอาคารเมื่อดินทรุดตัว,วารสารวิชาการคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬ. ฉบับที่ 1/2549) ซึ่งได้เสนอแนะแนวทางชะลอไม่ให้อาคารต้องประสบกับความเสียหายจนลิดรอนอายุใช้งานโดยทั่วไป ในบทความฉบับผู้เขียนใคร่เสนอแนวทางและรูปแบบของอาคารที่มีคุณสมบัติที่สามารถเลี่ยงวิกฤต และสามารถต้านการกัดกร่อนของคอนกรีตโครงสร้างได้อย่างยาวนานในสภาวะน้ำท่วมซ้ำ และมีแนวโน้มเป็นทางเลือกใหม่ในการออกแบบสถาปัตยกรรมที่สามารถใช้ได้ทนนานในพื้นที่น้ำท่วมซ้ำและจะเป็นแนวทางในการออกแบบสถาปัตยกรรมบนน้ำต่อไป

2 การเสื่อมสภาพของคอนกรีตในสภาพแวดล้อม

การเสื่อมสภาพของคอนกรีตในสภาพแวดล้อมสามารถจำแนกออกได้ดังต่อไปนี้

2.1 การเสื่อมสภาพเนื่องจากการหดตัวขณะแห้ง (Drying Shrinkage) การหดตัวแบบพลาสติก (Plastic Shrinkage) การทรุดตัวของดิน (Subsidence) การทรุดตัวของดินได้ฐานราก (Settlement) และ การแข็งตัวและหลอมตัวของน้ำในคอนกรีต (Freezing and Thawing)

2.2 การเสื่อมสภาพโดยสาเหตุทางเคมี ได้แก่คาร์บอนเนชัน (Carbonation) การกัดกร่อนโดยกรด (Acid attack) การกัดกร่อนโดยซัลเฟต (Sulfate Attack) และปฏิกิริยาระหว่างด่างกับมวลรวม (Alkali-aggregate reaction) เป็นต้น

2.3 การเสื่อมสภาพโดยสาเหตุทางกล ได้แก่การขัดสี (Abrasion) การชะด้วยกระแสน้ำและกรวดทราย (erosion)

2.4 การเสื่อมสภาพโดยสาเหตุทางชีวภาพ ได้แก่การเสื่อมสภาพโดยตะไคร่ รา รากพืช หรือแบคทีเรียบางประเภท

2.5 การเสื่อมสภาพโดยสาเหตุรวม (Mixed Process) ได้แก่ การก่อสนิมในเหล็กเสริม ซึ่งเป็นปัญหาใหญ่ที่ทำลายเศรษฐกิจทางด้านอาคารและสิ่งปลูกสร้างและอาจจะทำให้เกิดการวิบัติแก่โครงสร้าง

3 ปัญหาที่ซ้ำเติมจากกรณีแผ่นดินทรุด

การทรุดตัวอย่างต่อเนื่องของดิน (Soil Subsidence) จากรายงานการสำรวจพบว่ายังมีการทรุดตัวอย่างต่อเนื่องประมาณปีละ 40 มิลลิเมตรโดยทั่วไปในกรุงเทพมหานคร โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเขตลาดกระบังและหนองจอก (รายงานผลการสำรวจระดับการทรุดตัวของพื้นดินโครงการสำรวจระดับการทรุดตัวของพื้นดินในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล ประจำปีงบประมาณ 2549)

การขึ้นลงของน้ำใต้ดินเป็นอีกปัญหาหนึ่ง ระดับน้ำใต้ดินและการขึ้น-ลงตามฤดูกาลของน้ำใต้ดินนั้นมักจะก่อให้เกิดความเสียหายต่อโครงสร้างอาคารต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเขตกรุงเทพมหานครซึ่งตั้งอยู่ในเขตที่มีชั้นดินที่อ่อนและมีน้ำท่วมขังมาช้านาน ตามปกติจะมีแรงดันยก (Up-lift Force) ของน้ำใต้ดินที่กระทำต่อโครงสร้างชั้นที่อยู่ติดดินสามารถก่อกำแพงความเสียหายต่อโครงสร้างคอนกรีตในอาณาบริเวณนั้นหรือต่ออาคารข้างเคียงได้ อาคารที่มีการระบายน้ำฝนจากหลังคาลงมา ยังชั้นดินใต้อาคารก็มักเกิดปัญหาเช่นเดียวกัน กล่าวคือเมื่อระบบการระบายน้ำสาธารณะเกิดติดขัดหรือมีน้ำท่วม ปริมาณน้ำทั้งหมดจะท่วมท้นก่อปัญหาอย่างใหญ่หลวง ดินใต้ฐานรากก็จะเสียกำลังแบกทานน้ำหนักลง

4 การกัดกร่อนของโครงสร้างที่จุ่มปริมาตรน้ำ (Submerged Structures)

การกัดกร่อนในคอนกรีตเป็นปัญหาใหญ่ประการหนึ่งในการรักษาสภาพของโครงสร้างพื้นฐานและอาคารสถาปัตยกรรม ปรากฏการณ์นี้พบได้ทั่วไปในโครงสร้างอาคารที่ตั้งอยู่ในสภาวะที่มีความชื้นจากน้ำจืด น้ำกร่อย และน้ำเค็ม

4.1 ความเสียหายต่อพื้นผิวทางวิ่งแอสฟัลติกคอนกรีต (Asphaltic Concrete) ทำอาภาศยานสุวรรณภูมิ

ทางวิ่งและทางขับของท่าอากาศยานสุวรรณภูมิประสบปัญหาจากการขึ้น-ลงของน้ำใต้ดินจนเกิดการหลุดร่อนเนื่องจากดินในเขตนี้นั้นต้องรับน้ำหนักของอาภาศยาน และมีการขึ้น-ลงของน้ำใต้ดินปริมาณอยู่ใกล้ระดับทางวิ่งและทางขับสภาวะการทรุดตัวของดินที่เกิดจากการสูบน้ำบาดาลอย่างต่อเนื่องก็เป็นการซ้ำเติมอยู่แม้ว่าจะได้มีการมาตรการควบคุมในเรื่องนี้อยู่แล้วก็ตาม นับเป็นความสูญเสียที่เกินความคาดหมาย ผู้เขียนได้เสนอแนวทางแก้ปัญหา โดยปิดกั้นการซึมผ่านของน้ำที่ผ่านชั้นดินขึ้นมาจากผิวบนของโครงสร้างพื้นทางวิ่งในวารสารทางวิชาการฯ 2551 (สาเหตุและการแก้ไขความเสียหายของทางวิ่งและทางขับสนามบินสุวรรณภูมิ,วารสารวิชาการคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สจล.ฉบับที่ 6/2551)

4.2 ปัญหาการเกิดสนิมเหล็กในสภาวะน้ำกร่อย (Brackish Water)

ปัญหาการเกิดสนิมเหล็กในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก เป็นปัญหาซึ่งมีผลกระทบต่อความแข็งแรงของโครงสร้างอาคารนับตั้งแต่เสาเข็ม ฐานราก เสา คาน พื้น และหลังคา

เหล็กเสริมในคอนกรีตจะถูกกัดกร่อนในลักษณะดังต่อไปนี้คือ

1 ขนาดหน้าตัดเหล็กเล็กลง เนื่องจากเหล็กบางส่วนกลายเป็นสารละลายอิสระ (Fe^{2+}) และอิเล็กตรอน ทำให้สามารถรับแรงได้น้อยลง

2 องค์อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กเกิดการแตกร้าวตามแนวเหล็กเสริม เนื่องจากสนิมเหล็ก จะมีปริมาตรมากกว่าเหล็กเดิมและเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจึง เกิดแรงดันต่อคอนกรีตบริเวณรอบ ๆ ผิวเหล็กทำให้เนื้อคอนกรีตหลุดล่อนออก ความสามารถในการรับกำลังของโครงสร้างจึงลดลง

พฤติกรรมของการเกิดสนิมในเหล็กเสริม

พฤติกรรมของการเกิดสนิมเหล็กเสริมในคอนกรีตมีกระบวนการดังนี้คือ เมื่อเหล็กได้รับความชื้น จะทำให้เกิดปฏิกิริยาทางไฟฟ้าเคมีขึ้นดังนี้



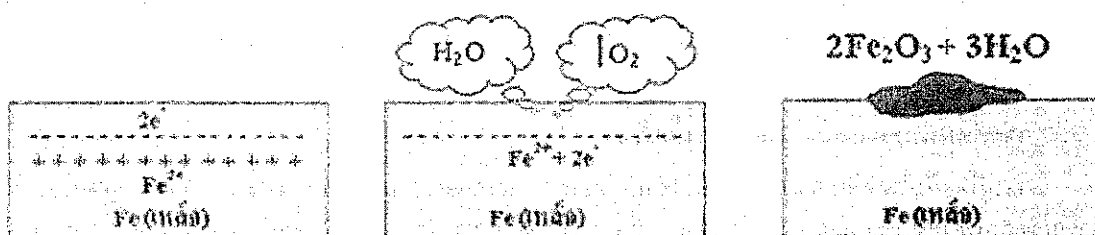
เหล็กจะแตกตัวเป็นไอออน (Fe^{2+}) เข้าสู่สารละลายอิเล็กตรอนซึ่งจะวิ่งไปตามผิวเหล็ก เกิดปฏิกิริยาที่เรียกว่า กระบวนการอะโนดิก (anodic process) ขึ้น จากนั้น อิเล็กตรอนอิสระ ($2e^-$) ที่เกิดจากปฏิกิริยาอะโนดิก จะรวมกับน้ำ และออกซิเจน ทำให้เกิดเป็นไฮดรอกซิล ไอออน (OH^-) เกิดปฏิกิริยาที่เรียกว่า กระบวนการแคโทดิก (cathodic process) ดังสมการ



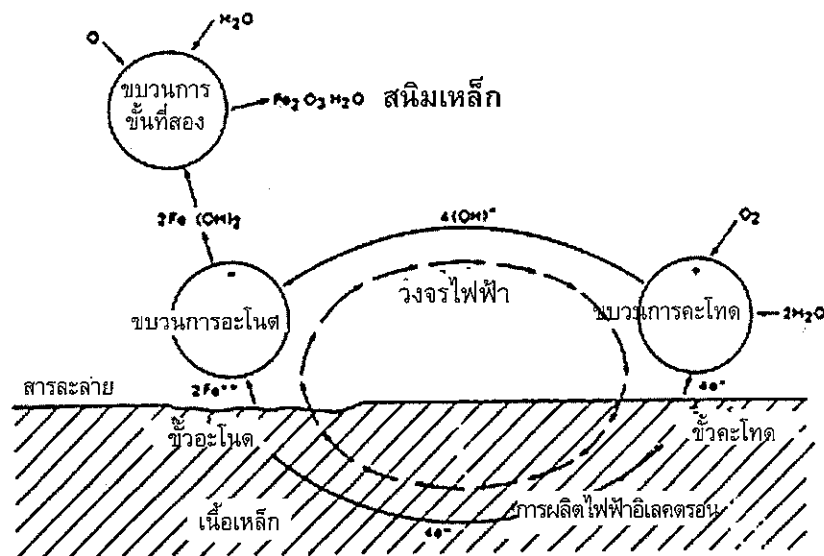
ผลจากสมการดังกล่าวจะทำให้เกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องที่ทำให้เกิดสนิมขึ้นดังสมการ



Fe_2O_3 (เฟอร์ริกออกไซด์) ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาดังกล่าวก็คือสนิมเหล็ก



รูปที่ 1 กระบวนการก่อสนิมบนผิวเหล็ก



รูปที่ 2 วงจรไฟฟ้าตามกระบวนการของการกัดกร่อนบนผิวเหล็ก

- กระบวนการเกิดสนิมเหล็กมีปัจจัยภายนอกที่สำคัญคือความชื้น (H_2O) และออกซิเจน (O_2) ช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำใต้ดิน ซึ่งปกติจะอยู่ใต้ระดับผิวดินประมาณ 1 – 2 เมตร ออกซิเจนอาจแพร่ผ่านช่องว่างจากการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำใต้ดินเข้าไปทำปฏิกิริยากับความชื้นและเหล็ก ในภาวะปกติสภาวะความเป็นด่างที่สูงของคอนกรีต (ค่า PH อยู่ในช่วง 12.5 - 13.5) จะช่วยปกป้องไม่ให้เกิดปฏิกิริยาอะโนดิก นั่นคือป้องกันไม่ให้อนุมูลของเหล็กแตกตัวออกเป็นไอออน (Fe^{2+}) และอิเล็กตรอน ($2e^-$) ซึ่งเป็นกระบวนการเบื้องต้นที่จะก่อให้เกิดปฏิกิริยาที่จะเกิดสนิมเหล็ก แต่สภาวะความเป็นด่างนี้จะแปรเปลี่ยนไปไม่คงที่
- การเพิ่มหรือลดปริมาณคลอไรด์ที่จะมีอิทธิพลและทำให้เกิดการผันแปรโดยตรงกับอัตราของการกัดกร่อนในเหล็กนั้น สามารถตรวจวิเคราะห์ได้โดยอุปกรณ์และวิธีทางไฟฟ้าเคมีที่เรียกว่า "ศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์"

4.3 การแยกตัวระหว่างคอนกรีตและเหล็กเสริม

คอนกรีตและเหล็กเสริมมีการยึดโยงกันแน่น (Bond) อยู่แต่เดิม การแยกตัวออกจากกันของวัสดุทั้งสองชนิดจะเกิดขึ้นเมื่อสนิมเริ่มก่อตัว หากโครงสร้างในบริเวณนั้นเกิดการแตกร้าวจนถึงผิวคอนกรีตภายนอกด้วยแล้วความรุนแรงของการแยกตัว ก็จะเพิ่มตามกัน อาจจะเป็นระยะยาวประมาณ 10 เท่า ของเส้นผ่าศูนย์กลางของเหล็กเสริมเป็นอย่างน้อย การสูญเสียการยึดเหนี่ยวระหว่างเหล็กและคอนกรีตจะเกิดขึ้น ณ บริเวณนั้น ยิ่งจะเอื้ออำนวยต่อพฤติกรรมกรรมการเพิ่มปริมาณของสนิมเหล็กในอัตราเร่งที่สูงมาก

4.4 การก่อสนิมของเหล็กในสภาวะน้ำเค็ม

การเกิดสนิมในเหล็กเสริมเป็นปัญหาสำคัญต่อความคงทนและอายุการใช้งาน ของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่อยู่ในสภาพแวดล้อมชายฝั่งทะเลและพื้นที่น้ำกร่อย เนื่องจากผิวคอนกรีตต้องสัมผัสกับน้ำทะเลหรืออยู่ในสภาวะแวดล้อมที่มีไอเกลือและความชื้นตลอดเวลา การซึมผ่านของคลอไรด์จะเป็นการเสริมหรือซ้ำเติมการเกิดสนิมของเหล็กเสริมในคอนกรีต

สารคลอไรด์อาจมีอยู่ในคอนกรีตเอง เช่นในน้ำที่ใช้ผสมคอนกรีต หรือที่ปนเปื้อนมากับหิน หวายที่มีแหล่งที่มาจากบริเวณใกล้ทะเล น้ำยาผสมคอนกรีตบางประเภทมี แคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$) ที่พบอยู่ในสารเร่งการก่อตัว โดยทั่วไปแล้วคลอไรด์ในน้ำทะเลมีประมาณ 90% เกลือของคลอไรด์มีสารประกอบโซเดียมคลอไรด์ ($NaCl$) ประมาณ 27,000 ppm. แมกนีเซียมคลอไรด์ ($MgCl_2$) ประมาณ 3,200 ppm. และแคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$) ประมาณ 500 ppm.

ปริมาณของคลอไรด์

คณะกรรมการการคอนกรีตและวัสดุ (2540) ระบุปริมาณการปนเปื้อนของคลอไรด์ในน้ำที่ใช้สำหรับผสมคอนกรีต ควรมีปริมาณไม่เกินค่าต่อไปนี้

สำหรับงานคอนกรีตอัดแรงหรืองานสะพาน 500 ppm.

สำหรับงานคอนกรีตเสริมเหล็กทั่ว 1,000 ppm.

ปริมาณรวมของคลอไรด์ทั้งหมดในขณะที่ยังผสมคอนกรีตโดยทั่วไป (ไม่รวมถึงคลอไรด์ที่ซึมผ่านเข้าไปในคอนกรีตจากภายนอก) ต้องมีไม่มากเกินไป 0.60 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร สำหรับคอนกรีตเสริมเหล็กที่ต้องการความทนทานสูง หรือคอนกรีตอัดแรงแบบอัดแรงก่อน (Pre-tension) หรือคอนกรีตอัดแรงแบบอัดแรงทีหลัง (Post-tension) ที่ต้องสัมผัสกับสิ่งแวดล้อมที่มีคลอไรด์ ปริมาณคลอไรด์รวมในคอนกรีตต้องไม่เกิน 0.30 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในกรณีของคอนกรีตผสมเสร็จ มาตรฐานดังกล่าวแนะนำว่าควรควบคุม

ปริมาณคลอไรด์ไว้ไม่ให้มากกว่า 0.30 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ยกเว้นได้รับอนุมัติจากผู้ซึ่งอาจควบคุมไว้ไม่เกิน 0.60 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

4.5 ปัจจัยเร่งความรุนแรงของการก่อกวนในเหล็กเสริมคอนกรีต

การเกิดสนิมแบ่งเป็นสองขั้นตอน

1 ช่วงเวลาของการก่อตัว (Initial Period) จะเริ่มเมื่อคลอไรด์ซึมผ่านเข้าไปสะสมในเนื้อคอนกรีตจนมีความเข้มข้นถึงระดับวิกฤติ (ที่ปริมาณคลอไรด์ในช่วง 0.2-1.33 กก./ม. หรือตั้งแต่ 75-1175 ppm. ของคอนกรีต) ซึ่งเป็นระดับที่ฟิล์มออกไซด์ที่เคลือบตามผิวเหล็กเสริมเริ่มถูกทำลาย และ

2 ช่วงเวลาของการลุกลาม (Propagation Period) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาทางไฟฟ้า-เคมี ส่งผลให้เกิดสนิมเหล็กอย่างต่อเนื่อง คอนกรีตส่วนที่เผชิญสภาพแวดล้อมของทะเลที่มีการเปียกสลับแห้งเป็นวัฏจักร โดยเฉพาะช่วงที่แห้งยาวนานกว่าช่วงที่เปียก การเกิดสนิมก็จะยิ่งรุนแรงมากขึ้น สามารถจัดระดับส่วนของโครงสร้างคอนกรีตเรียงกันลงไปตามลำดับที่ต้องเผชิญความรุนแรงจากทะเลได้ดังนี้

- ส่วนที่อยู่เหนือผิวน้ำที่สัมผัสกับคลื่นและละอองน้ำทะเล (Splash Zone)
- ส่วนที่อยู่ระหว่าง ระดับน้ำขึ้นสูงสุดและระดับน้ำลงต่ำสุด (Tidal Zone)

การซึมผ่านของคลอไรด์ไอออนจะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อ มีน้ำอยู่ในระบบโพรงที่อยู่หนึ่ง ในคอนกรีตที่ค่อนข้างแห้งน้ำจะเป็นตัวพาคลอไรด์ไอออนเข้าไปในคอนกรีต และเมื่อคอนกรีตอิ่มตัวด้วยน้ำ น้ำจะเป็นตัวกลางให้คลอไรด์ไอออนผ่านเข้าไปในคอนกรีต สำหรับคอนกรีตที่อยู่ในสภาพเปียกสลับแห้งจะเกิดกลไกทั้งสองกรณี ซึ่งอัตราการซึมผ่านของคลอไรด์ไอออนจึงมีค่าเพิ่มขึ้น การซึมผ่านของคลอไรด์ไอออน ขึ้นกับคุณสมบัติของคอนกรีตในหลายๆ ด้าน เป็นต้นว่าด้านความพรุนของเนื้อคอนกรีตเอง ชนิดของปูนซีเมนต์ สภาพของการบ่ม สภาพของอุณหภูมิทั้งในขณะผสม-เท-บ่ม ความเข้มข้นของเกลือคลอไรด์โดยรอบ เป็นต้น ซึ่งหากคลอไรด์ไอออนมีปริมาณที่เพียงพอแล้ว จะทำให้เหล็กเสริมในคอนกรีตเกิดสนิมได้

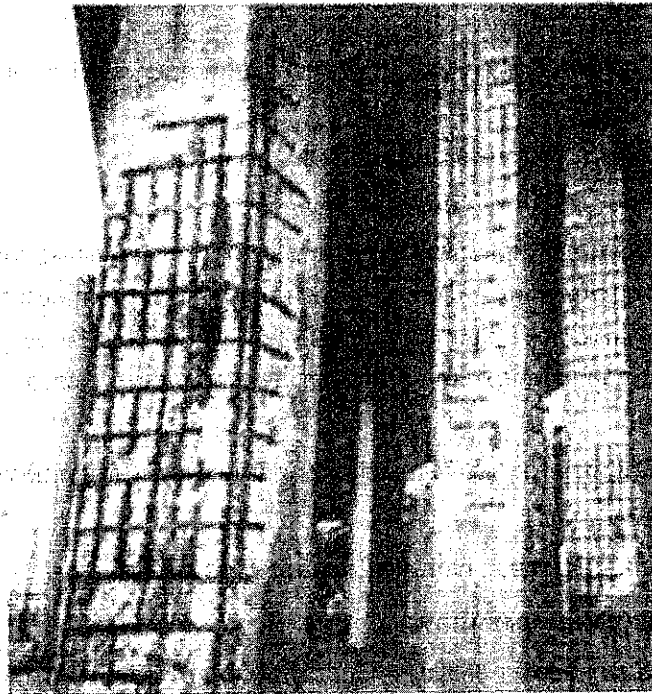
การซึมผ่านของคลอไรด์ไอออนนั้นสามารถแบ่งออกได้ใน 4 ลักษณะดังนี้

โดยการแพร่กระจาย (Diffusion) : เกิดขึ้นเนื่องจากความแตกต่างระหว่างปริมาณของความเข้มข้นของคลอไรด์ในคอนกรีต

โดยการเคลื่อนย้าย (Migration) : เกิดขึ้นเนื่องจากความแตกต่างทางศักย์ไฟฟ้า (หรือปริมาณของไอออน) ในคอนกรีต

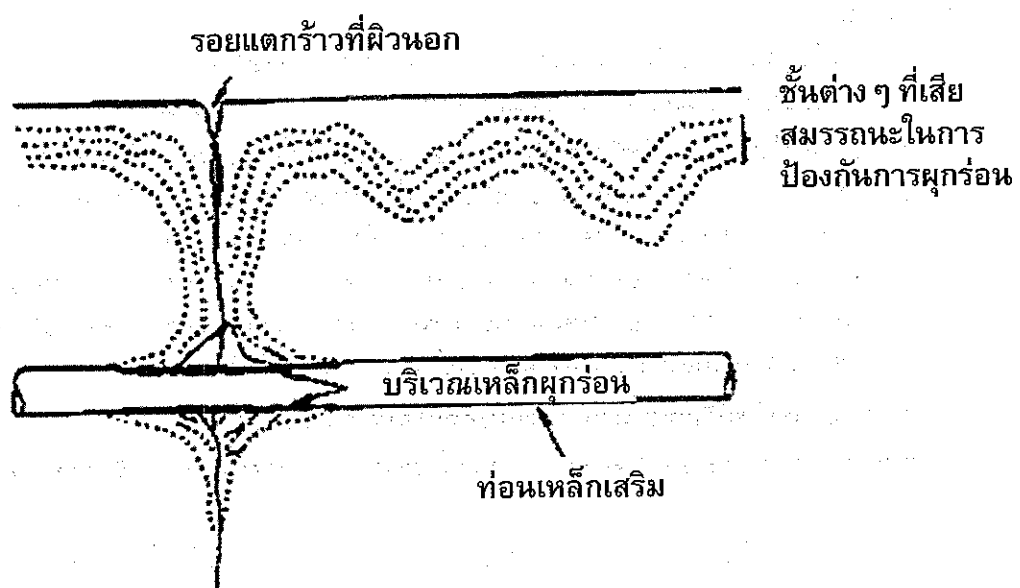
โดยการพา (Convection) : เกิดขึ้นเนื่องจากผลของการเกิดวัฏจักรเปียกสลับแห้งในคอนกรีต ซึ่งนำไปสู่กระบวนการเกิดเหี่ยวยืด (Capillary Suction) นั้นเอง

โดยการซึมผ่าน (Permeability) : เกิดขึ้นเนื่องจากผลของความแตกต่างทางด้านความดันไฮดรอลิก (Hydraulic Pressure) ในคอนกรีต



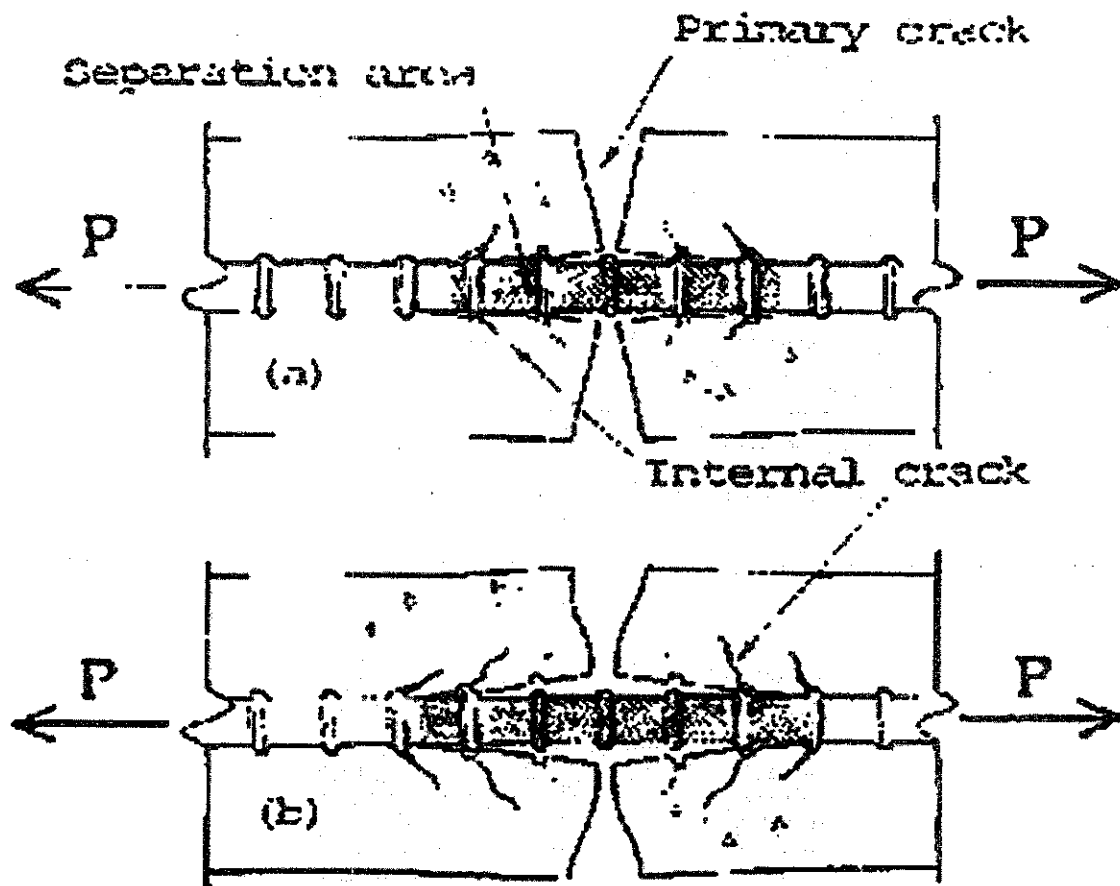
รูปที่ 3 สภาพการเป็นสนิมของเหล็กเสริม และการหลุดร่อนของคอนกรีตใน สภาวะใกล้น้ำเค็ม

4.6 การกัดกร่อนของคอนกรีตจะรุนแรงขึ้นเมื่อมีการแตกร้าว



รูปที่ 4 ช่องว่างระหว่างการแยกผิวเหนียวยึดระหว่างเหล็กและคอนกรีต
ใกล้บริเวณรอยแตกร้าวภายนอก

(Courtesy: Suzuki, Srisompong 1986)



รูปที่ 5 ลักษณะของการเกิดสนิมบริเวณเหล็กเสริมในคอนกรีต
(Courtesy: Suzuki, Srisompong 1986)

ก่อนการใช้งานผิวของเหล็กจะถูกเคลือบไว้ ด้วยผงของออกไซด์ขนาดใหญ่อยู่กระจัดกระจายทั่วไปปกคลุมผิวเหล็กที่รีดแล้วเอาไว้ชั้นหนึ่งก่อน แต่จากการตรวจสอบอย่างละเอียดจะพบว่ามียอยแตก (Cracking) หรือการหลุดลอกของสารที่เคลือบไว้ในระดับหนึ่ง ต่อมาเมื่อมีน้ำและออกซิเจนที่อยู่รอบๆ ผิวของเหล็กนั้นซึมเข้ามาสัมผัสก็จะทำปฏิกิริยากับอนุเล็กๆ ของเหล็กที่แตกตัวอยู่ในรูปของโมเลกุลหรือองค์ประกอบทางไฟฟ้าขนาดเล็กเรียกว่า “ไอออนของเหล็ก” มีสัญลักษณ์ทางเคมีว่า “Fe++” ดังในรูปที่ 4.5 ปฏิกิริยานี้จะเกิดขึ้นที่บริเวณที่อยู่ระหว่างชั้นบางๆ ของออกไซด์ที่เคลือบเอาไว้ และมีร่องรอยหลุดลอกไปก่อนในชั้นแรกจากนั้นจะลุกลามออกไปบริเวณกว้างในเวลาอันรวดเร็ว

5 อาคารที่มีโครงสร้างจมอยู่ในน้ำจืด-น้ำกร่อยเป็นเวลานาน

น้ำท่วมขังที่มีระดับขึ้นลงตรงเสาดม่อของอาคารเป็นกรณีให้เห็นได้โดยทั่วไปเนื่องจากการออกแบบและก่อสร้างที่วางฐานรากและเสาดม่อไว้ในที่ต่ำกว่าระดับน้ำอยู่แต่เดิม หรือมาประสบปัญหาน้ำท่วมขังหลังจากใช้อาคารไปแล้ว และยังไม่ได้รับการแก้ไขสถานการณ์

5.1 ความสูญเสียที่สำรวจพบ



รูปที่ 6 เสาตอม่อที่อยู่ใต้น้ำต่ำกว่าระดับน้ำอยู่เดิมและ/หรือมาประสบปัญหาน้ำท่วมขังหลังจากใช้อาคาร (อาคาร 1 ในสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง)

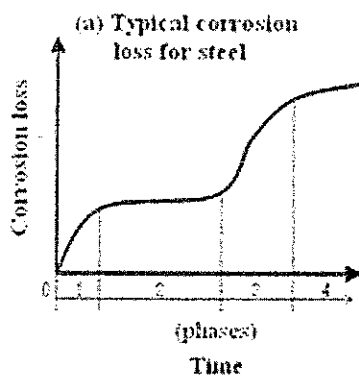


รูปที่ 7 สภาพภายนอกที่ตรวจพบหลังจากการใช้งานมาแล้วกว่า 40 ปี (อาคาร 2 ในสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง)

5.2 ความพรุนและการซึมน้ำในเนื้อคอนกรีต (Porosity & Permeability of Concrete)

คุณสมบัติที่สำคัญอย่างหนึ่งของคอนกรีตก็คือมีความพรุนในลักษณะของรูเล็กๆ ที่ต่อเชื่อมกันอย่างกว้างขวาง และมีความกว้างพอเพียงที่จะเอื้อให้น้ำซึมผ่านได้ในปริมาณหนึ่ง ในสภาวะปกติ น้ำที่ฝังตัวอยู่ในช่องของคอนกรีตจะมีคุณสมบัติความเป็นด่างอยู่ในระดับ PH 12- pH 13 ซึ่งนับเป็นเกณฑ์ที่สูงพอที่จะปกป้องเหล็กเสริมในคอนกรีตจาก "Oxide Film" ได้ แต่บางครั้งเราค้นพบว่าเหล็กนั้นได้ก่อสนิมในตัวเองมาก่อนหน้าที่จะถูกคอนกรีตมาห่อหุ้ม ในกรณีเช่นนี้เหล็กย่อมอยู่ในภาวะเสี่ยงต่อการกัดกร่อนอย่างต่อเนื่องต่อไป

เมื่อปริมาณน้ำผ่านเข้าออกมีปริมาณมากและบ่อยขึ้น อีกทั้งยังมีสารแปลกปลอมชนิดอื่นเข้ามาปนเปื้อนอีกด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งสารคลอไรด์ หรือเกลือโดยได้ออกซิเจนมาเป็นตัวเร่งอีก เหล็กในบริเวณนั้นจะถูกกัดกร่อนในอัตราและความเร็วที่สูงขึ้นตามกันไป การสำรวจตรวจสอบปรากฏการณ์นี้ไม่สามารถทำได้โดยตรง แต่สามารถใช้เครื่องจำลองการวัดความโน้มเอียงไปโดยวิธีการวัดทางไฟฟ้าเคมีชนิดหนึ่งที่เรียกว่า "Mixed Potential" ของแท่งเหล็กในบริเวณนั้นๆ โดยสังเกตค่าศักยะครึ่งเซลล์โดยไม่ต้องทำลายเนื้อคอนกรีตที่ห่อหุ้มไว้แต่อย่างใด วิธีการนี้ได้กลายมาเป็นวิธีการที่ใช้กันอยู่อย่างแพร่หลาย เพื่อค้นหาร่องรอยและอัตราความสูญเสียอย่างใกล้ชิดซึ่งที่สุดวิธีหนึ่ง



- | | |
|--------------|--|
| ขั้นตอนที่ 1 | กระบวนการก่อสนิมเริ่มต้นที่ผิวเหล็ก |
| ขั้นตอนที่ 2 | ปรากฏการณ์น้ำหนักเหล็กจะลดลงภายใต้บรรยากาศปกติ (aerobic conditions) และ |
| ขั้นตอนที่ 3 | ขั้นตอนของการบวมตัวจากผลการสะสมของปริมาณสนิมที่พอกพูน (anaerobic corrosions) เป็นเหตุให้คอนกรีตที่ห่อหุ้มต้องระเบิดออก |

รูปที่ 8 ขั้นตอนและกระบวนการก่อสนิม

5.3 การสำรวจการกัดกร่อนของโครงสร้างจากภายนอก

เนื่องจากการกัดกร่อนของโครงสร้างนั้นเกิดจากภายในเนื้อของโครงสร้าง สำรวจด้วยตาเปล่าจึงทำให้มีความแม่นยำในวิธีการที่จำกัด ดังนั้นการสำรวจโดยการประเมินค่าที่แปรเปลี่ยนได้โดยมาตรวัดคุมทางกายภาพ (Quantitative Evaluation) จึงน่าจะเป็นทางเลือกอีกทางหนึ่งเพื่อสมทบหรือนำมาประกอบเพื่อเสริมความแม่นยำของข้อมูลที่จะได้รับ มาตรการดังกล่าวจะครอบคลุมการชั่งน้ำหนัก (ใช้แท่งทดลอง) การใช้มาตรวัดทางกระแสไฟฟ้า และการใช้สัญญาณเสียงสะท้อน (Acoustic Emission, หรือ AE Techniques) เป็นต้น

5.4 แนวทางการทดลองและการวิเคราะห์หาวิธีแก้ไขปัญหา

การทดลองการก่อสนิมได้เริ่มต้นขึ้นโดยคณะผู้วิจัยชุดนี้ และผลจากการทดลองยังอยู่ระหว่างการบันทึกและวิเคราะห์ผลการทดลองในเบื้องต้นนี้มุ่งบอกถึงปัจจัยที่ต้องให้ความสำคัญเพื่อหาแนวทางปกป้องจากความสูญเสียดังต่อไปนี้คือ

1 ปรับปรุงคุณภาพของคอนกรีตโดยใช้คอนกรีตที่มีคุณสมบัติและส่วนผสมดีเลิศ เช่น ใช้คอนกรีตที่มีความชื้นน้ำต่ำมากๆ เช่น ใช้น้ำในส่วนผสมที่น้อยลง ลดอัตราส่วนน้ำต่อน้ำซีเมนต์ ใช้สารประเภท Filler เพื่อเพิ่มความทึบน้ำ เช่น ซิลิกาฟูม การใช้สารปอซโซลานในปริมาณที่เหมาะสม และ การเพิ่มสารผสมเพิ่มบางชนิด เช่น Calcium หรือ Sodium Nitrite ที่ทำให้ปฏิกิริยาอะโนดิกเกิดยาก

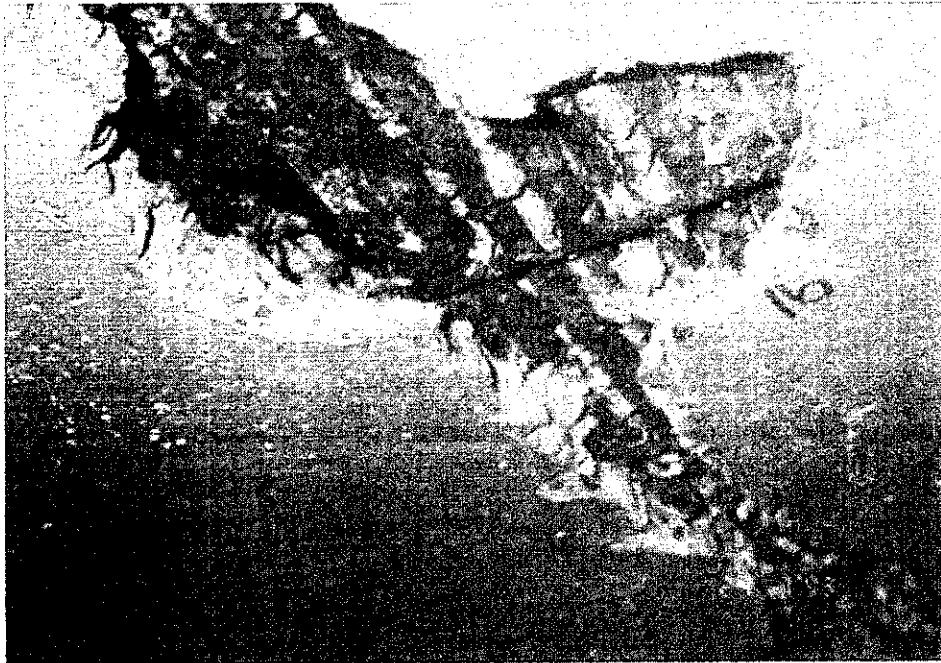
- 2 ลดหรือปิดกั้นอิทธิพลของออกซิเจน (Reducing : Influence of Oxygen)
- 3 ลดหรือปิดกั้นการไหล-ซึมผ่านของความชื้น (Reducing : Influence of Moisture)
- 4 ลดหรือปิดกั้นการไหล-ซึมผ่านของคลอไรด์ (Reducing : Influence of Chloride Ion Concentration)
- 5 ลดหรือปิดกั้นการไหล-ซึมผ่านของคาร์บอนเนชั่น (Reducing : Influence of Carbonation)
- 6 การห่อหุ้มเสา ค.ส.ล. ด้วยวัสดุแผ่น เช่น "Aqua Wraps 22-77" หรือวัสดุสังเคราะห์ชนิดอื่นที่สามารถปิดกั้น

ความชื้นได้ดี

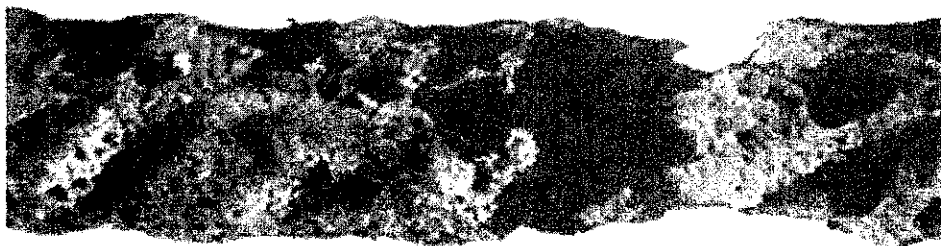
6 ตัวอย่างสภาพการกัดกร่อนในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ที่อยู่ในสภาวะแวดล้อมใกล้น้ำเค็ม

ในสภาวะแวดล้อมทางทะเลนั้นจะมีปรากฏการณ์ของการแทรกตัวของคลอไรด์เข้ามาเพิ่มความรุนแรงและอัตราเร่งการกัดกร่อนอีกประการหนึ่งร่วมด้วย คลอไรด์นี้จะทำลายผิวปกป้องเดิมของเหล็กเสริมคอนกรีต (Depassivation Action) จนเป็นจุดเริ่มของการก่อสนิมในเหล็ก

อัตราการกัดกร่อนในโครงสร้างคอนกรีตโดยรวมจะดำเนินไปในอัตราเร่ง ในขณะที่ความสามารถในการรับน้ำหนักและต้านทานความเค้นขององค์อาคารในโครงสร้างส่วนนั้นๆ จะเสื่อมลงในอัตราเร่งเดียวกันจนกระทั่งสูญเสียความแข็งแรงจนหมดอายุการใช้งานในที่สุด

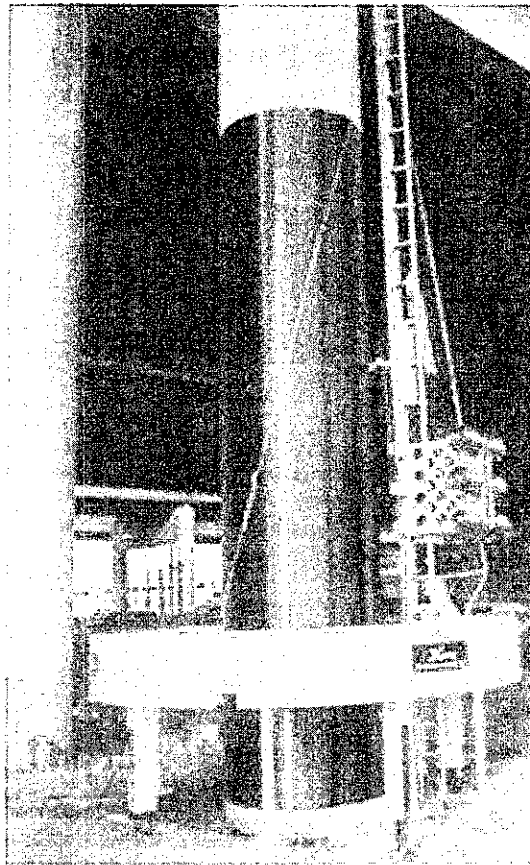


รูปที่ 9 การกัดกร่อนของเหล็กเสริมในคอนกรีตเทหล่อในพื้นที่มีการจี้คอนกรีตขณะเทหล่อที่ไม่สมบูรณ์
(Courtesy: Prof. Dr.-Ing. Michael Raupach, Institute for Building Materials Research of Aachen University, ibac)



รูปที่ 10
สภาพการกัดกร่อนของเหล็กเสริมในโครงสร้างคอนกรีตบริเวณที่แตกร้าวจนถึงเนื้อเหล็กของอาคารจอดรถแห่งหนึ่ง
ที่ตั้งอยู่ใกล้ทะเลเมื่อโครงสร้างมีอายุการใช้งานมาแล้วประมาณ 10 ปี (Deicing salts, courtesy: Prof. Dr.-Ing.
Michael Raupach, Institute for Building Materials Research of Aachen University, ibac)

7 ตัวอย่างของวิธีป้องกันและลดการสูญเสีย ของอาคารที่อยู่ในสภาวะเสี่ยงต่อภาวะการจมน้ำ



รูปที่ 11 ลักษณะการดำเนินการหุ้มผิวของเสาตอม่อของอาคารขนาดใหญ่

7.1 การเคลือบผิวเหล็ก เพื่อป้องกันไม่ให้เนื้อเหล็กสัมผัสกับน้ำและอากาศโดยตรง

ในเบื้องต้นอาจใช้การทาสีและการชุบด้วยโลหะ เช่น ดีบุก สังกะสี เป็นต้น อย่างไรก็ตามวิธีเหล่านี้มีข้อเสียคือผิวเคลือบจะหลุดออก ทำให้เนื้อเหล็กสัมผัสกับน้ำและอากาศ ทำปฏิกิริยากันและก่อสนิมได้อีก

การใช้สารยับยั้งการก่อสนิมประเภท “ไนไตรต์”

“Sika® CNI” เป็นสารเคลือบผิวเหล็กชนิดหนึ่งที่ยับยั้งการเกิดสนิมสำหรับเหล็กเสริมในคอนกรีตโครงสร้างทั่วไป รวมถึงสำหรับงานคอนกรีตประเภท Prestressed หรือ Post Tension ซึ่งมีโอกาสรับเอาคลอไรด์จากสภาพทะเลที่แวดล้อมอยู่ หรือแม้แต่จากเกลือละลายน้ำแข็งก็ตาม Sika® CNI จะช่วยยืดระยะเวลาการใช้งานของโครงสร้างด้วยการยับยั้งการเกิดสนิม โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่ชั้นลานจอดรถและโครงสร้างค้ำยัน สะพาน หรือโครงสร้างคอนกรีตในทะเล หรืออื่นๆ ทำหน้าที่ในการสร้างเกราะป้องกันของ Ferric Oxide ที่ชั้นผิวของเหล็กมีให้คลอไรด์แทรกซึมเข้ามาได้ง่าย ไนไตรต์ไอออนใน Sika® CNI จะทำการเปลี่ยน Ferrous Oxide ให้มีความต้านทาน Ferric Oxide ด้วยเหตุนี้จึงสามารถลดและป้องกันการกัดเซาะจากสนิมในเหล็กได้ แต่มีข้อจำกัดคือไม่สามารถลดการซึมผ่านเข้าของสารละลายคลอไรด์ หรือสิ่งเจือปนอื่นได้

7.2 การห่อหุ้มผิวนอกของคอนกรีตเพื่อปิดกั้นความชื้น

การห่อหุ้มเสา ค.ส.ล. ด้วยวัสดุแผ่น “Aqua wraps 22-77”

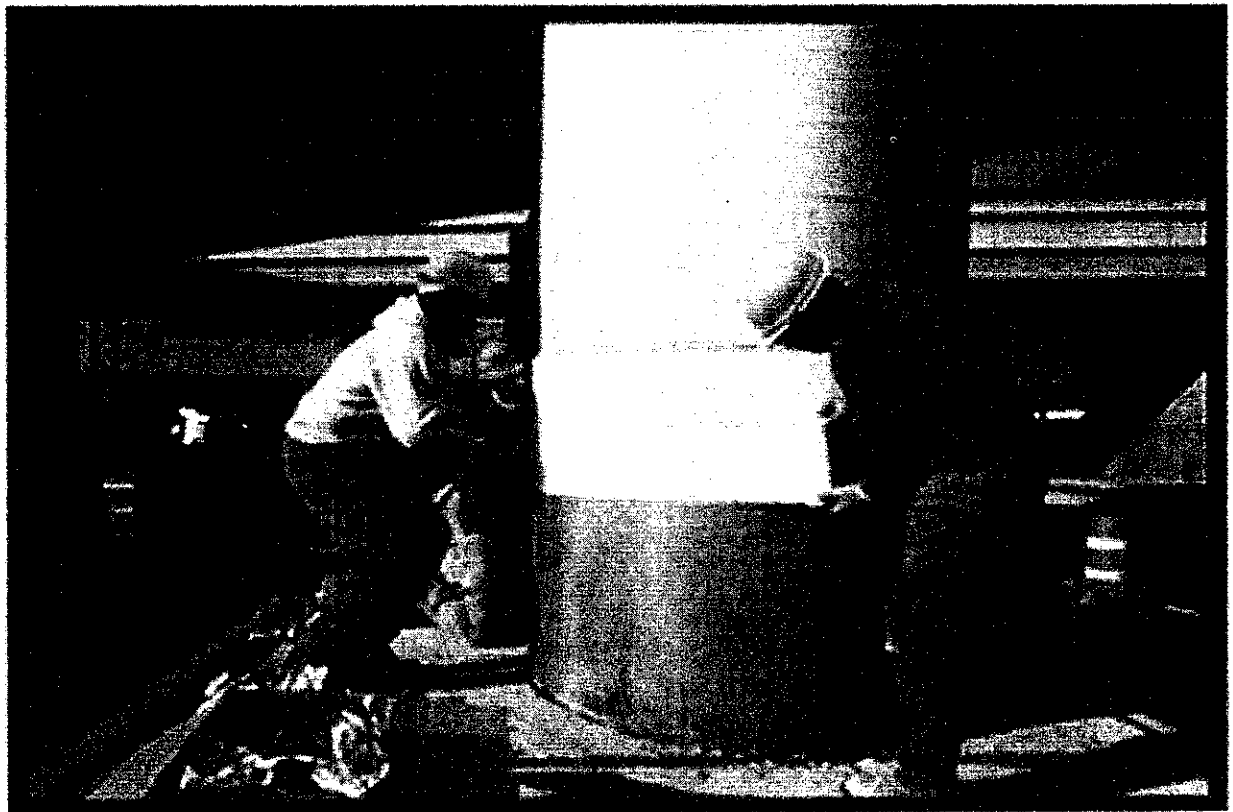
อาควาแรพพ์ (Aquawrap 22-77) เป็นชื่อทางพาณิชย์ของสารกันชื้นที่เก็บในรูปของการม้วน มีคุณสมบัติที่จะปกปิดเพื่อกันมิให้ความชื้นเข้าไปสัมผัสผิวโครงสร้างคอนกรีตได้ เนื้อวัสดุเป็นจำพวก ไฟเบอร์รีนฟอร์ส-โพลีเอสเตอร์ (FRP) ส่วนใหญ่

มักจะนำมาใช้เพื่อซ่อมแซมการกัดกร่อนในเนื้อของโครงสร้างเสา ซึ่งสามารถดำเนินการได้ง่ายเนื่องจากสามารถใช้กรรมวิธีการพันหุ้มโคนเสาไว้ได้ทันทีเมื่อมีวัสดุติดยึดคล้ายกาวมาทำหน้าที่เป็นตัวยึดไว้ไม่ให้หลุดล่อนก่อนเวลาอันสมควร

นอกจากนี้มันยังสามารถใช้หุ้มผิวที่ทำด้วยไม้หรือพลาสติกได้อีกด้วย อาควาแรพพ์ ใช้วัสดุส่วนหนึ่งที่มาจากใยแก้ว (Woven Glass Fiber) หรือ แผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ (Carbon Fiber Sheets) ที่ป่นแล้วในโพรียูเรเทนเรซิน (Polyurethane Resin)

งานที่ใช้อย่างแพร่หลายในงานก่อสร้างทางวิศวกรรมโยธาเช่นเสาตอม่อสะพานซึ่งมีขั้นตอนดังต่อไปนี้คือ

- ลอกทำลายชั้นของคอนกรีตที่ล่อนลอกบริเวณผิวนอกของเสา
- ทำความสะอาดผิว
- ซ่อมส่วนหลุดล่อนของคอนกรีตด้วยวัสดุ HD-25
- หุ้มห่อด้วยแผ่น “Aqua wrap 22-77 Cloth” และ “22-77 Veil Prepreg Cloth” ตามลำดับ
- ทำการบ่มตามระบบ และทาสีทับตามต้องการ

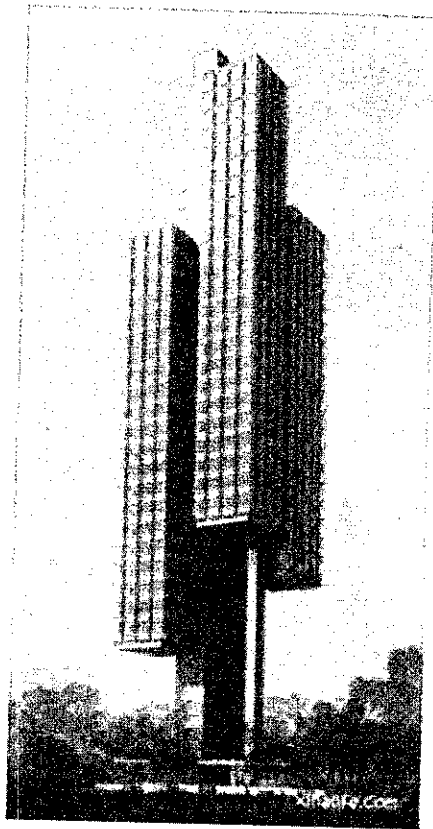


รูปที่ 12 การห่อหุ้มเสาคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวัสดุแผ่น “Aqua wraps 22-77”

8 รูปแบบสถาปัตยกรรมในอนาคต

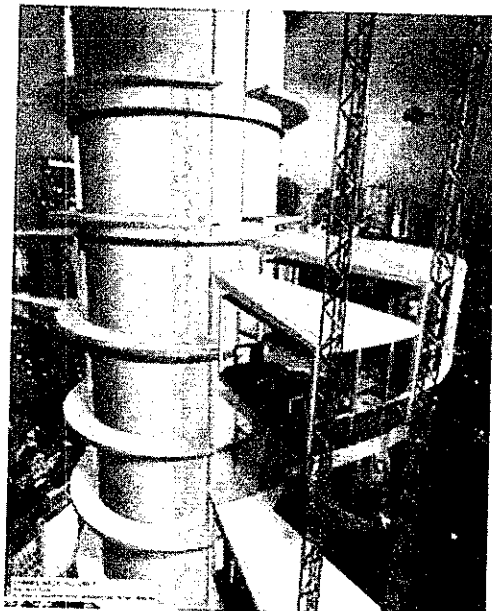
8.1 อาคารชนิดลอยตัวด้วยปล่องอิสระ

- Singapore's floating towers (Designed by Office for Metropolitan Architecture (OMA))



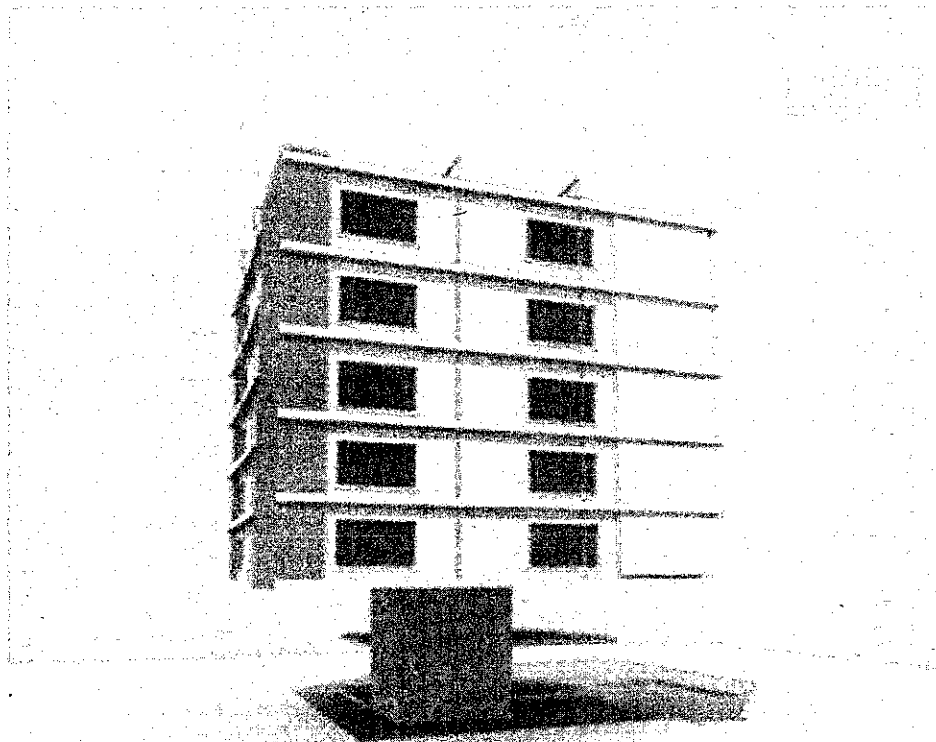
รูปที่ 13 OMA designs Residential Tower in Singapore

- Prefabrication for the Next (Dr. David Fisher : Rotating Tower Technology International Ltd)

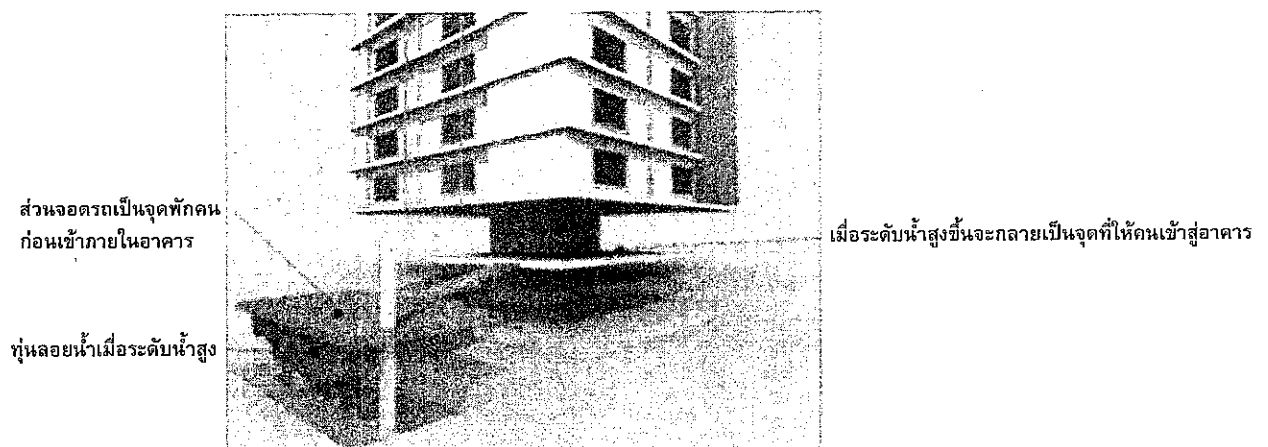


รูปที่ 14 Prefabrication of the Next 1
The Source: worldarchitecturenews.com

- Prefabrication for the Next 2 (Dr.Somchai Srisompong et al.)

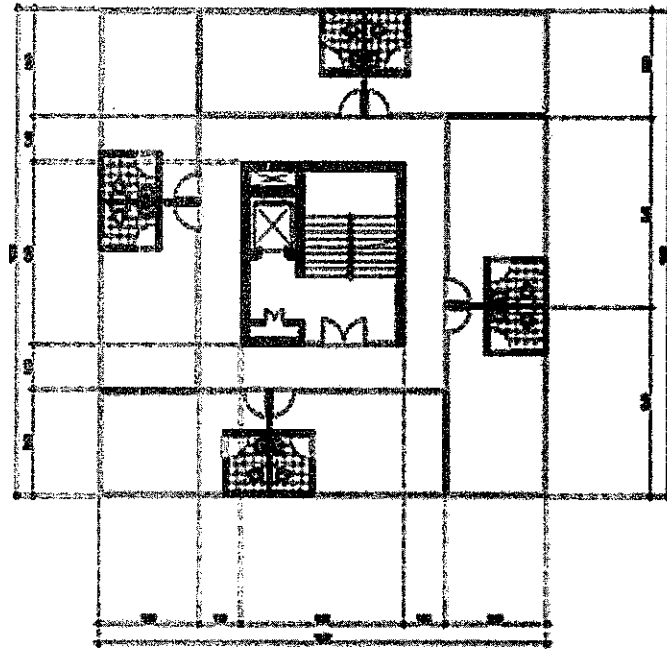


รูปที่ 15 Prefabrication of the Next 2

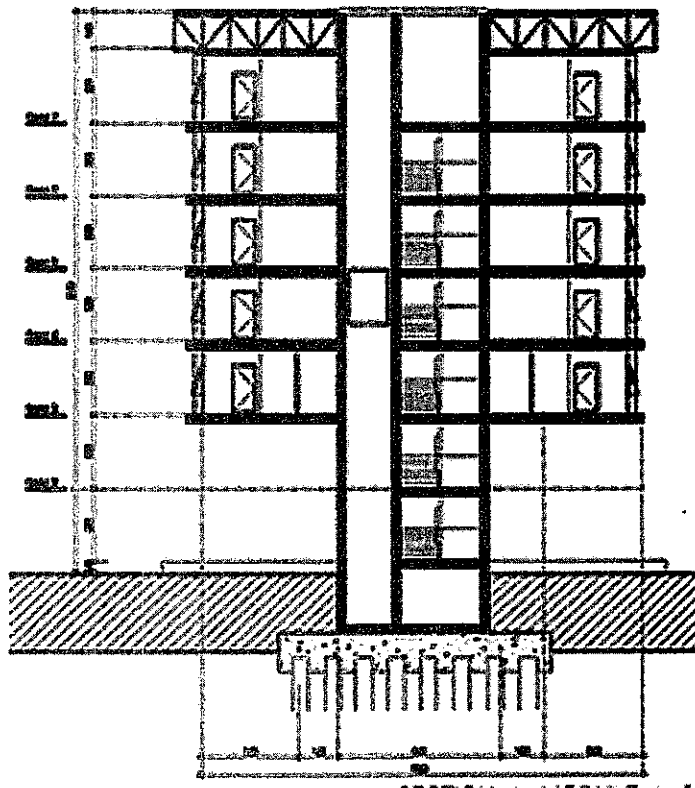


รูปที่ 16 Prefabrication of the Next 2

8.2 อาคารลอยตัวอิสระชนิดปล่องแกนเดียว (As Designed by Srisompong, Mondhobpyai, Krootpume 2008)

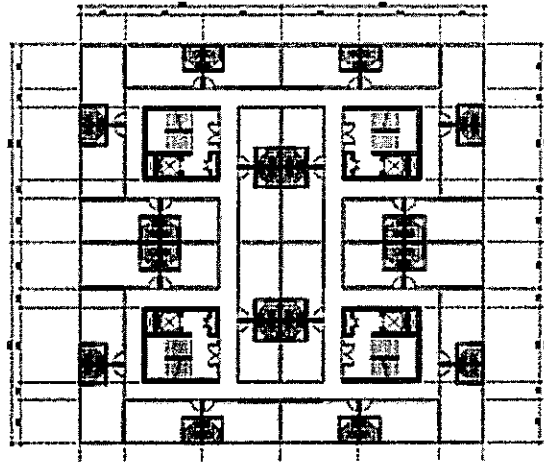


รูปที่ 17 ผังพื้นอาคาร 1



รูปที่ 18 รูปตัดผ่านปล่องแกนอาคาร 1

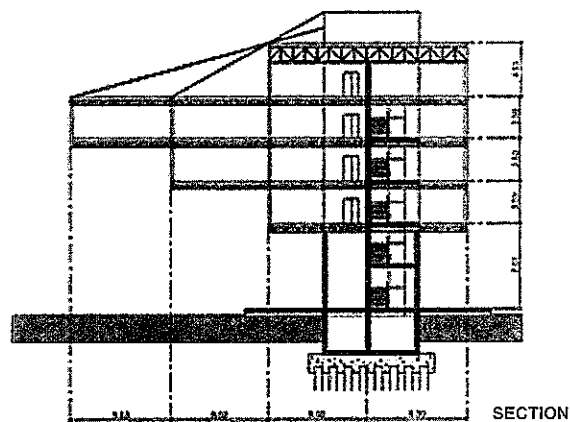
8.3 อาคารต้นแบบชนิดลอยตัวด้วยปล่องชนิดเกาะกลุ่ม (As Designed by Srisompong, Mondhobpyai, Krootpume 2008)



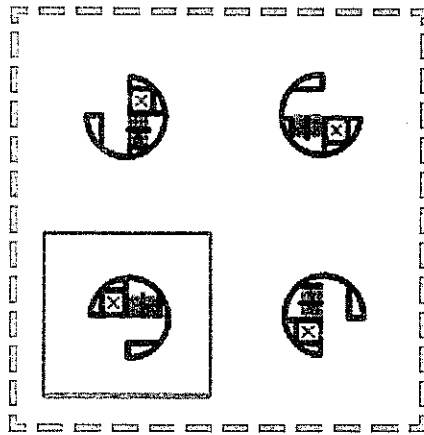
รูปที่ 19 ผังพื้นอาคาร 2



รูปที่ 20 รูปตัดผ่านปล่องแกนอาคาร 2

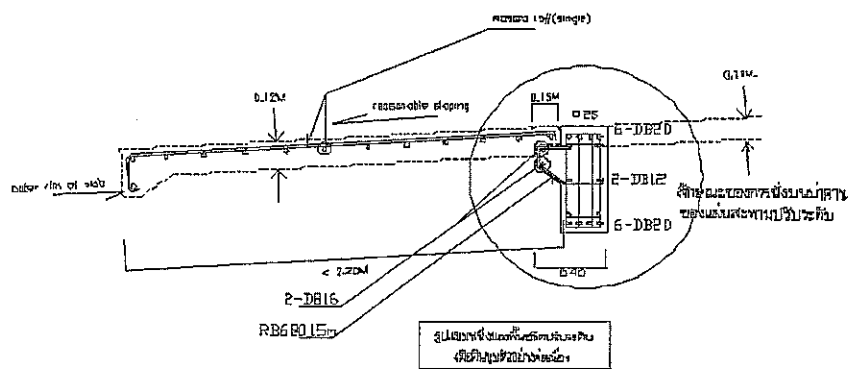


รูปที่ 21 ทศนิยมภาพอาคาร 3 รูปตัดผ่านปล่องแกนมาตรฐานอาคาร 3



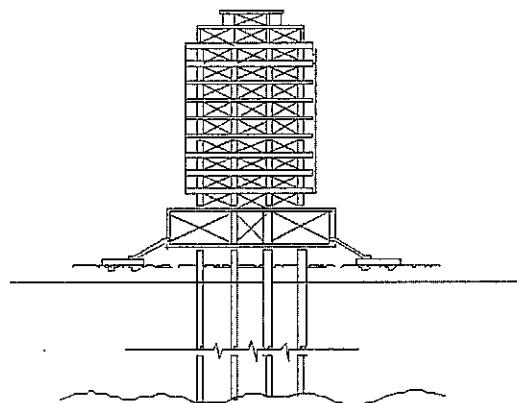
รูปที่ 22 ผังแสดงตำแหน่งปล่องแกนอาคาร 3

8.4 การออกแบบพื้นลาดปรับระดับเมื่อดินทรุด (Adjustable Ramp-way)



รูปที่ 23 แนวทางการใช้ “สะพานคอนกรีตเสริมเหล็ก” ปรับระดับในการแก้ปัญหาแผ่นดินรอบอาคารทรุดตัวต่อเนื่อง

8.5 โครงสร้างลอยตัวที่ต่อเชื่อมกับโครงสร้างลอยน้ำ



รูปที่ 24 แนวทางการออกแบบอาคารลอยตัวคู่ที่ใช้ร่วมกับทุ่นลอย (Pontoon)

9 สรุป

- 1 โครงสร้างคอนกรีตที่จมน้ำมีแนวโน้มที่จะมีอายุใช้งานต่ำกว่าอาคารที่ตั้งอยู่ในสภาวะพื้นที่แห้ง
- 2 เสาคอนกรีตของอาคารที่จมน้ำจะเสียหายก่อนโครงสร้างส่วนอื่น เนื่องการกัดกร่อนและกอสันนิของเหล็กเสริมซึ่งจะทำให้คอนกรีตที่ห่อหุ้มอยู่นั้นชำรุดตามไปด้วยในอัตราความสูญเสียที่ใกล้เคียงกัน
- 3 แนวทางเบื้องต้นที่สามารถป้องกันการกอสันนิคือการหลีกเลี่ยงหรือปกป้องไม่ให้น้ำซึมเข้าถึงผิวของโครงสร้างอาคารที่อยู่ในภาวะเสี่ยง
- 4 หากการเลือกสรรสถานที่ก่อสร้างที่สูงพอเพียงไม่สามารถทำได้ การใช้คันทันเชื่อมกันน้ำและออกแบบอาคารที่ทำการเคลือบผิวโครงสร้างด้วยวัสดุกันน้ำ หรือยกโครงสร้างให้ลอยพ้นจากระดับน้ำน่าจะเป็ทางเลือกที่ดีที่สุด
- 5 โครงสร้างของอาคารที่ใช้เสาปล่องสูงจนพ้นระดับน้ำท่วม น่าจะเป็นรูปแบบที่เหมาะสมนอกเหนือจากการใช้คันทันน้ำ ซึ่งในกรณีนี้วัสดุแผ่นกันน้ำปิดผิวนอกของโครงสร้างก็ยังคงมีความสำคัญอยู่

เอกสารอ้างอิง

- [1] รายงานผลการสำรวจระดับการทรุดตัวของพื้นดินโครงการสำรวจระดับการทรุดตัวของพื้นดินในเขต กรุงเทพมหานครและปริมณฑลประจำปีงบประมาณ 2549
- [2] M L Gambhir, Concrete Technology, 3rd Edition Tata McGraw-Hill Publishing Ltd.
- [3] B.Elsener .Half-cell potential measurements – potential mapping on reinforced concrete structures, Materials and Structures Vol.36 August-September 2003:pp 461-471
- [4] James Korff, PE, Structural Composite Consultants, San Mateo, CA Larry Cercone, PhD, Air Logistics Corp., Pasadena, CA
- [5] REPAIR AND STRENGTHENING OF DOT COLUMNS AND PIERS WITH WATER ACTIVATED AQUAWRAP 22-77
- [6] www.worldarchitecturenews.com
- [7] OMA's first architectural project in Singapore : The Scotts Tower, Office for Metropolitan Architecture
- [8] J.W. Figg, Corrosion, 1980, R. D. Browne, Paper 9, Second Int. Conf. on "Maintenance of Maritime and Offshore Structures", 19-20 Feb. 1986, Inst. of Civil Engineers, London

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ – สกุล

รศ.ดร.สมชาย ศรีสมพงษ์

ประวัติการศึกษา

สท.บ. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 1968

M.Eng (Architectural Engineering), Osaka University, 1973

D.Eng (Architectural Engineering), Osaka University, 1985

ประวัติการทำงาน

วิศวกรโยธา : Ohvayashi Corp.Ltd. (บ.นันทวัน จำกัด), กรุงเทพมหานคร 1973-1977

วิศวกรโยธา : Sumitomo Construction Co.Ltd. Thai-Sumicon Co.Ltd. กรุงเทพมหานคร 1977-1978

ปัจจุบันดำรงตำแหน่งรองศาสตราจารย์ระดับ 9 สังกัดภาควิชาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง