บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

คอนกรีตสำหรับงานโครงสร้างปัจจุบันต้องมีกำลังตามต้องการและมีความทนทานต่อสภาวะสิ่งแวดล้อม มีอายุยืนยาวที่สุดเท่าที่สามารถทำได้ โดยโครงสร้างพื้นฐานเป็นรากฐานในการสนับสนุน ซึ่งการได้คอนกรีตที่ดีต้องอาศัยคุณภาพของวัสดุที่ใช้ทำคอนกรีตนั้นๆ ตลอดจนกระบวนการผลิตที่ดีด้วย สิ่งเหล่านี้เป็นสิ่งที่งานก่อสร้างสามารถควบคุมได้ดีในปัจจุบัน แต่ธรรมชาติอาจเป็นอุปสรรคหรือปัญหาที่เกิดในโครงสร้างคอนกรีต ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 3 สาเหตุหลักๆ คือ สาเหตุทางกายภาพ (Physical) สาเหตุทางเคมี (Chemical) และสาเหตุทางกล (Mechanical)

สาเหตุทางด้านกายภาพที่กระทำต่อคอนกรีตได้แก่ การขยายตัวที่ไม่เท่ากันในคอนกรีตและสภาวะการเกิดน้ำแข็งและการละลายของน้ำแข็งนั้นสลับไปมา เป็นต้น สาเหตุทางเคมี ได้แก่ การกัดกร่อนเนื่องจากเกลือซัลเฟต คลอไรด์ กรด การเกิดคาร์บอเนชั่น และการเกิดปฏิกิริยาอัลคาไลซิลิกา เป็นต้น ส่วนสาเหตุทางกล ได้แก่ การกระแทก การขัดสี การกัดเซาะ และการสึกกร่อน เป็นต้น

สาเหตุทางเคมีที่พบนั้นในประเทศไทยมีพื้นที่ชายฝั่งทะเลที่ยาวมากและเป็นที่ๆ เดียวที่จะมีเกลือซึ่งสามารถทำลายคอนกรีตและเหล็กเสริมได้มากที่สุดกว่าเขตพื้นที่อื่นๆ จึงเป็นแหล่งที่น่าสนใจในการพัฒนาคอนกรีตที่สามารถต้านทานการเสียหายทางเคมีเพื่อประสิทธิภาพและอายุที่ยาวนานในการใช้งานของโครงสร้าง ดังรูปที่ 1-1 เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาความเสียหายของคอนกรีตจากเกลือซัลเฟตและคลอไรด์ในสภาวะน้ำทะเลสลับเปียกสลับแห้งบริเวณชายฝั่งทะเล จ.ชลบุรี (วิเชียรและคณะ (2549)) ความเสียหายของการกัดกร่อนเนื่องจากซัลเฟตจะมีผลทำให้คอนกรีตเกิดการขยายตัว ตัวประสานในเนื้อคอนกรีตลดน้อยลง การรับกำลังอัดต่ำลง ลักษณะเนื้อคอนกรีตจะสามารถหลุดล่อนออกมา และมีความเปื่อยยุ่ยดังรูปที่ 1-2(ก) จากการศึกษาของ นันทชัยและคณะ (2552) และรูปที่ 1-2(ข) ณัฐพงศ์ และชัย (2552) ความเสียหายของการกัดกร่อนของคลอไรด์จะทำให้เหล็กเสริมเป็นสนิมโดยสนิมจะเพิ่มปริมาตรประมาณ 4-6 เท่า (คณะอนุกรรมการคอนกรีตและวัสดุ (2543)) และดันคอนกรีตให้แตกร้าวหลุดล่อนได้ ดังรูปที่ 1-3 จากปฏิกิริยาการถ่ายเทอิออนของเหล็กเสริมจึงทำให้เกิดเฟอริคออกไซด์หรือสนิมเหล็กเกิดขึ้น และยังมีเขตพื้นที่ทางภาคอีสาน โดยภายใต้พื้นดินมีแหล่งเกลืออยู่ ในเขตพื้นที่ที่กล่าวมานั้น มีผลทำให้นักวิจัยให้ความสนใจเป็นอย่างมากเพื่อความยั่งยืนของโครงสร้างคอนกรีต (เอกศักดิ์ และคณะ (2552), เพ็ญชาย และคณะ (2552))

รูปที่ 1-1 ตัวอย่างคอนกรีตในสภาพสลับเปียกสลับแห้งบริเวณชายฝั่งทะเล จ.ชลบุรี

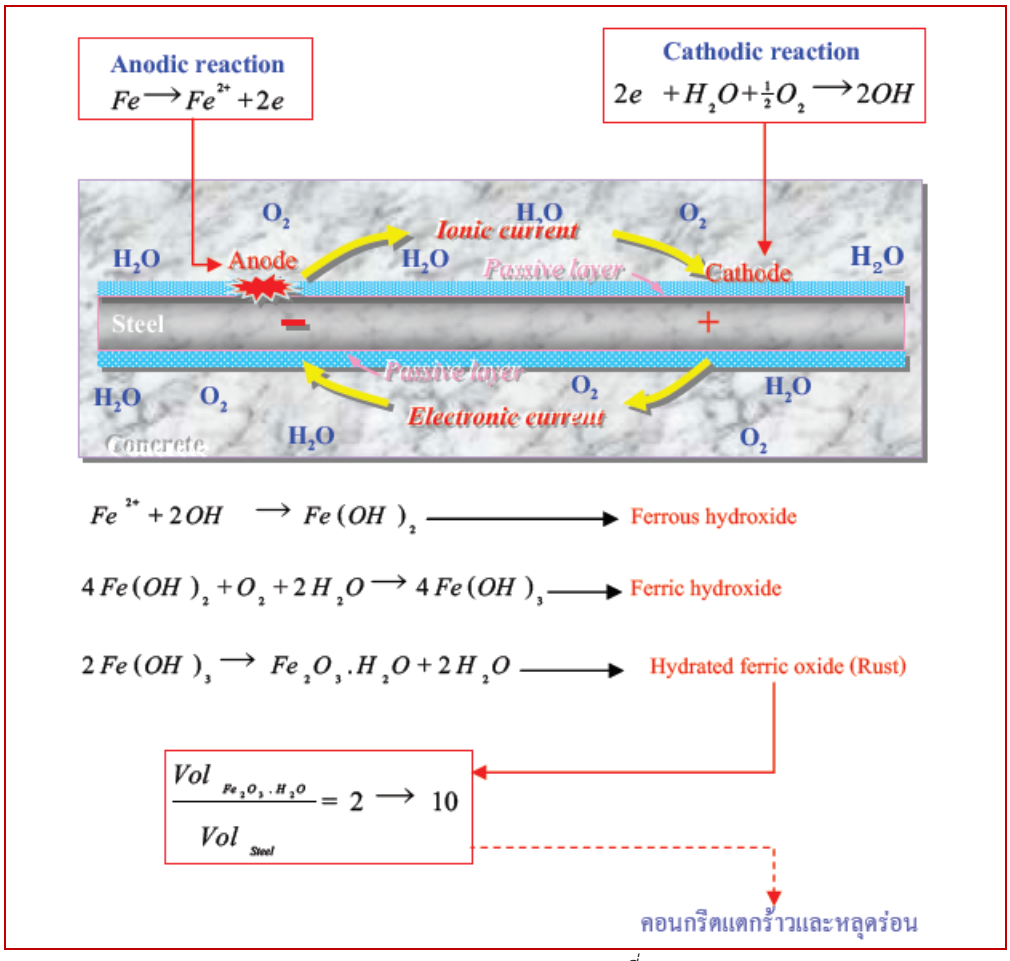
(ก)

(ข)

รูปที่ 1-2 ลักษณะการเปื่อยยุ่ยของคอนกรีตจากการกัดกร่อนของซัลเฟต

ที่มา: http://www.parchem.com.au/norcure.htm, 2547

(ก)



ที่มา: http://www.bucc4.buu.ac.th, 2547

(ข)

รูปที่ 1-3 การกัดกร่อนของคลอไรด์ (ก) การเกิดสนิมในโครงสร้าง และ (ข) ปฏิกิริยาการเกิดสนิม

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ได้ก่อตั้งมาประมาณ 30 ปี ในพื้นที่อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม จำนวนอาคารที่ก่อสร้างตั้งแต่เริ่มต้นมีจำนวนอาคารหลัก 77 หลัง มีพื้นที่ใช้สอยรวม 76,000 ตารางเมตร เริ่มปลูกสร้างอาคารแรกในปี 2520 บนพื้นที่ดินทั้งหมดประมาณ 7,800 ไร่ ซึ่งเป็นที่ราบลุ่มภาคกลางตอนล่าง ที่เกิดจากการสะสมของดินตะกอน เมื่อหลายพันปีที่ผ่านมา มีระดับน้ำทะเลท่วมถึง โดยชั้นดินเหล่านี้อาจถือได้ว่าเป็นดินอ่อนจากตะกอนชายฝั่งจากการรุกล้ำของน้ำทะเล (ว.ส.ท., ม.ป.ป.) ซึ่งอาจเกิดการสะสมของเกลือในชั้นดิน

การตรวจสอบเบื้องต้นพบว่าหอพักนิสิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จำนวน 24 หลัง มีความเสียหายเกิดขึ้นบริเวณตอม่อของหอพักจำนวน 133 ตอม่อ ซึ่งอาจเกิดจากสาเหตุด้านเคมีเป็นหลักและได้รับการซ่อมแซมเบื้องต้นเรียบร้อยแล้ว ยังมีอาคารอีกจำนวน 4 หลัง ที่มีความเสียหายอยู่ในระดับรุนแรง ดังรูปที่ 1-4 คือ เรือนปฏิบัติการกลางและสำนักงาน ภาควิชากีฏวิทยา, สำนักงานและห้องประชุม ศูนย์วิจัยและพัฒนาการผลิตกระบือและโค, อาคารจอดยานพาหนะ กองอาคารสถานที่และยานพาหนะ และอาคาร 1 คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน จากการศึกษาข้อมูลดินเบื้องต้น (Khomwan et al. 2009) ไม่สามารถชี้ชัดสาเหตุความเสียหายของโครงสร้าง ซึ่งอาจมาจากจำนวนตัวอย่างยังไม่มากพอสำหรับพื้นที่ขนาดใหญ่ เพื่อที่จะต้องป้องกันและซ่อมแซมโครงสร้างที่มีอยู่ งานวิจัยที่สำคัญอันดับแรก คือ ต้องค้นหาสาเหตุหลักของโครงสร้างดังกล่าว และส่งข้อมูลต่อให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องของมหาวิทยาลัย อีกทั้งข้อมูลที่ได้จะนำไปสู่การซ่อมแซมโครงสร้างที่มีประสิทธิภาพ ลดการใช้ทรัพยากรธรรมชาติสำหรับสร้างโครงสร้างใหม่มาแทน เนื่องจากปัญหานี้จะรุนแรงขึ้นถ้าอาคารที่มีในปัจจุบันอายุประมาณ 30 ปี การพิจารณาตรวจสอบรายละเอียดของโครงสร้างตอม่อของอาคารที่มีอายุมากจากสาเหตุด้านเคมีโดยเกลือคลอไรด์และซัลเฟต จึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างมาก ปริญญา และชัย (2551) ได้ตระหนักถึงการศึกษาการกัดกร่อนของซัลเฟตต่อคอนกรีตเป็นอย่างมาก โดยให้เหตุผลว่า ถ้าไม่มีการป้องกันผลกระทบของการกัดกร่อนเนื่องจากซัลเฟตในตอนเริ่มแรกของการก่อสร้างแล้ว คอนกรีตอาจเสียหายได้ในอนาคตอันใกล้ ทำให้ต้องซ่อมแซมคอนกรีตและการซ่อมแซมคอนกรีตที่เสียหายเนื่องจากการกัดกร่อนของซัลเฟตจะมีค่าใช้จ่ายที่สูงมาก ปัจจุบันการศึกษาความเสียหายเนื่องจากผลกระทบของซัลเฟตต่อคอนกรีตนับว่ามีความจำเป็นมากยิ่งขึ้น

รูปที่ 1-4 การเกิดสนิมของเหล็กเสริมในโครงสร้างตอม่ออาคาร 1 คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อศึกษาวิเคราะห์ทางเคมีของปริมาณเกลือในดินที่สามารถทำลายโครงสร้างของคอนกรีต ในพื้นที่มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ของอาคารหลักที่มีอายุเกิน 25 ปี ซึ่งข้อมูลที่ได้จะเป็นตัวแทนที่สามารถใช้กับพื้นที่ในประเทศ ที่มีสภาพใกล้เคียงกัน

2. เพื่อศึกษาวิเคราะห์ทางเคมี ปริมาณและความลึกของเกลือคลอไรด์และซัลเฟตที่ซึมเข้าไปในตอม่อที่สามารถทำลายโครงสร้างของคอนกรีตของมีอาคารอายุเกิน 25 ปี

3. เพื่อประเมินอายุของโครงสร้างทั้งก่อนและหลังการซ่อมแซม

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

สำรวจรวบรวมข้อมูลจำนวนอาคารและอายุของอาคารหลักใน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม รวมถึงประเมินความเสียหายด้วยตาเปล่า (Visual Inspection) ของโครงสร้างตอม่ออาคารที่มีอายุเกิน 25 ปี ซึ่งมีความเสียหายอยู่ในระดับรุนแรง คือ เรือนปฏิบัติการกลางและสำนักงาน ภาควิชากีฏวิทยา, สำนักงานและห้องประชุม ศูนย์วิจัยและพัฒนาการผลิตกระบือและโค, อาคารจอดยานพาหนะ กองอาคารสถานที่และยานพาหนะ และอาคาร 1 คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน รวมถึงการเก็บตัวอย่างดินในความลึกไม่เกิน 1.5 เมตร ซึ่งเป็นบริเวณดินที่ติดกับตำแหน่งของตอม่อ เพื่อใช้ในส่วนการตรวจสอบปริมาณเกลือคลอไรด์และซัลเฟตในดิน และเก็บตัวอย่างของตอม่ออาคารที่เกิดความเสียหายที่รุนแรงเพื่อวิเคราะห์ทางเคมีในปริมาณและความลึกของเกลือคลอไรด์และซัลเฟตที่แทรกซึมเข้าไปในตอม่อ จากข้อมูลดังกล่าวจะนำมาหาความสัมพันธ์ที่บ่งบอกถึงสาเหตุความเสียหายของโครงสร้างและสามารถประเมินอายุของโครงสร้างและวิธีการซ่อมแซม เสริมกำลังโครงสร้างที่มีอยู่ รวมถึงการใช้วัสดุและการป้องกันสำหรับอาคารใหม่ที่กำลังจะก่อสร้างได้

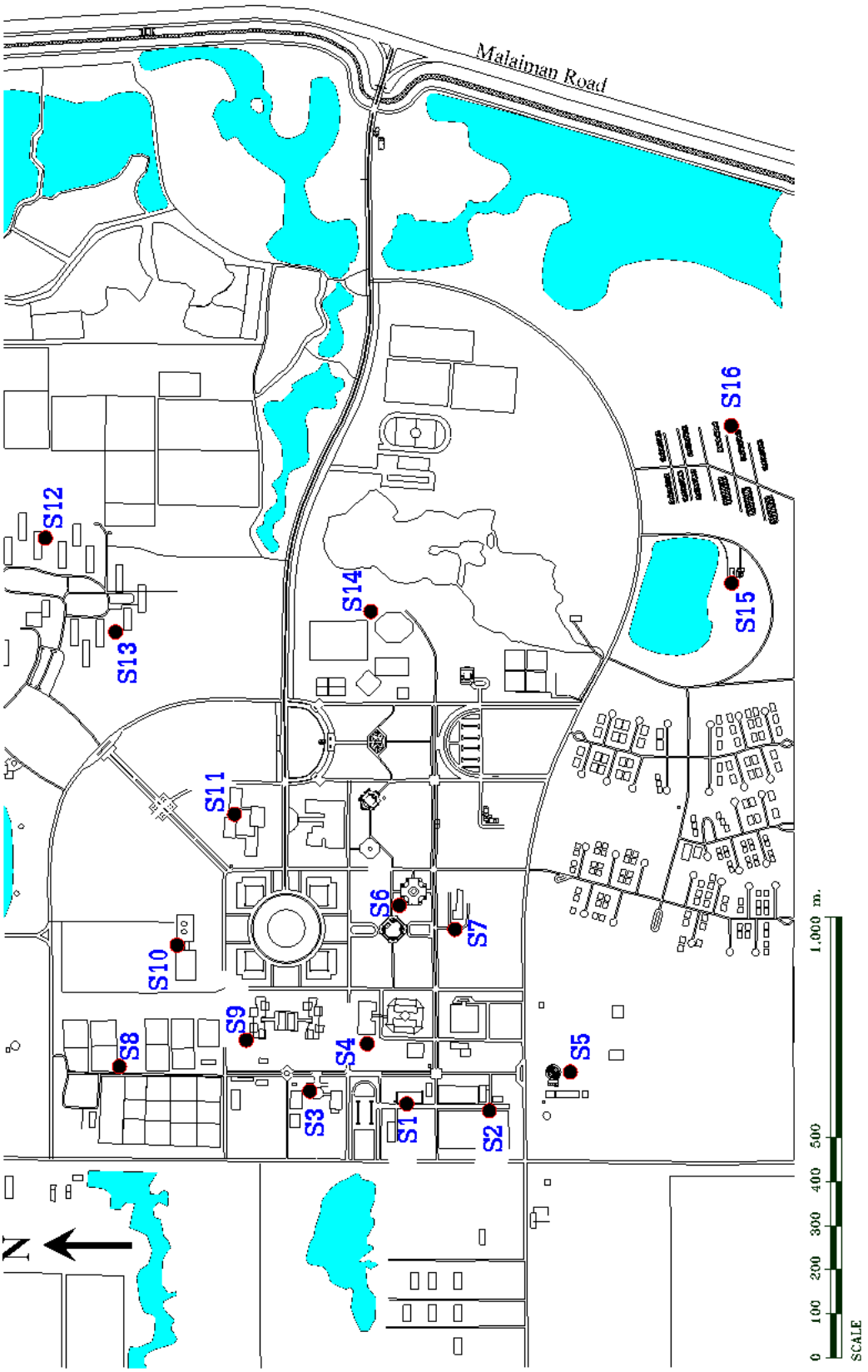
1.4 การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

ในปัจจุบันการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติเป็นสิ่งสำคัญที่ประชาชนในประเทศต้องยึดถือเป็นหลักปฏิบัติ การก่อสร้างอาคารใหม่มาทดแทนอาคารเก่าที่ชำรุดเสียหายไม่ใช่เพียงแต่ต้องใช้งบประมาณที่สูง แต่ยังส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยรวม การซ่อมแซมที่ถูกต้องและแก้ปัญหาโดยตรงจะต้องมีข้อมูลเพียงพอเพื่อป้องกันการเกิดซ้ำหรือเพิ่มอายุของโครงสร้างได้มากที่สุด งบประมาณที่จะต้องใช้ทดแทนอาคารชำรุด ของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน มีค่าประมาณ 750 ล้านบาท (ประเมินจากราคากลาง กระทรวงพาณิชย์)

การศึกษาของเบื้องต้นของปริมาณเกลือในดินโดย Khomwan et al. (2009) ทำการสำรวจขุดเจาะเก็บตัวอย่างดินที่ระดับความลึกประมาณ 1.50 เมตร จากระดับผิวดินในบริเวณข้างเคียงอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กภายในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จำนวน 16 จุด

โดยแบ่งพื้นที่จากขอบเขตของคณะทั้งหมดภายในวิทยาเขต รวมทั้งขอบเขตพื้นที่หน่วยงานส่วนกลาง ศูนย์เรียนรวม หอพักนิสิต และอาคารชุดของบุคลากร ดังรูปที่ 1-5 และตารางที่ 1-1 ในแผนที่ได้แสดงในทิศขวาสุดเป็นถนนมาลัยแมนที่มุ่งไปทางจังหวัดสุพรรณบุรี ความเสียหายที่พบในขณะที่มีการเก็บตัวอย่างดิน คือ รอยแตกร้าวของคอนกรีตและการเกิดสนิมของเหล็กเสริมดังแสดงในรูปที่ 1-6 อีกทั้งได้ผลแนวโน้มของเกลือที่มีอยู่ในดินในรูปที่ 1-7 และอาจเป็นสาเหตุทำให้เกิดการเสียหายกับโครงสร้างคอนกรีต ผลการทดลองที่ได้จากการวิเคราะห์ทางเคมีของดินตัวอย่าง ค่า pH เฉลี่ย 6-8 และมีแนวโน้มที่เป็นสารละลายโซเดียมซัลเฟตและสารละลายแคลเซียมซัลเฟต มีค่าเปอร์เซ็นความเข้มข้น(โดยน้ำหนัก) สูงสุดอยู่ระหว่าง 0.1-1.7% ซึ่งอยู่ในสภาวะสัมผัสกับซัลเฟตปานกลางถึงรุนแรง ในตารางที่ 1-2 (มาตรฐาน วสท.ข้อ 3105 ก. ตาราง 3004) อย่างไรก็ตามข้อมูลการเจาะดินทั้ง 16 จุดนั้น ยังไม่สามารถสรุปสาเหตุที่ชัดเจนได้ เนื่องจากข้อมูลนั้นมีความผันแปรดังในรูปที่ 1-7 มีช่วงข้อมูลที่กว้างมาก เพราะการสำรวจครอบคลุมขนาดของพื้นที่ในการสำรวจที่ใหญ่มากเกินไป

คอนกรีตที่เสียหายโดยทั่วไปเกิดขึ้นจากสภาวะสิ่งแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม โดยการเสียหายที่เกิดจากคาร์บอเนชั่น (Carbonation) มีลักษณะที่เกิดขึ้นจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เข้าไปทำปฏิกิริยากับซีเมนต์เพสที่แข็งตัวแล้ว ทำให้ความเป็นด่างของซีเมนต์เพสลดลง ปกติซีเมนต์เพสมีความเป็นด่างสูง มีค่า pH ระหว่าง 12-13 อาจลดลงได้เหลือเพียง pH 8-9 ส่งผลให้เหล็กเสริมในคอนกรีตสูญเสียสิ่งที่ป้องกันการเกิดสนิมจากการทำปฏิกิริยากับความชื้นและก๊าซออกซิเจน คาร์-บอเนชั่นจึงมีผลทำให้เหล็กเสริมเกิดสนิม เกิดการขยายตัวดันคอนกรีตแตกร้าวได้ อีกสาเหตุหลักที่ทำให้การกัดกร่อนของเหล็กเสริมในคอนกรีต คือ คลอไรด์ โดยอิอนของคลอไรด์ (Chloride Ions) ทำให้ความเป็นด่างของคอนกรีตที่ป้องกันเหล็กเสริมไม่ให้เกิดสนิมลดลง และเมื่อมีปริมาณคลอไรด์สูงเพียงพอ มีความชื้นและออกซิเจน จะทำให้เหล็กเสริมคอนกรีตเป็นสนิมได้ (สุวิมลและคณะ (มปป.)) และขยายตัวดันคอนกรีตแตกร้าวตามแนวเหล็กเสริม กำลังรับแรงต่างๆ ของคอนกรีตและเหล็กลดลง (คณะอนุกรรมการคอนกรีตและวัสดุ (2543)) การกัดกร่อนที่สำคัญอีกประเภท คือ การกัดกร่อนโดยเกลือซัลเฟตจะส่งผลโดยตรงกับคอนกรีต โดยจะเข้าไปทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH_2)$) ที่อยู่ในคอนกรีตแล้วได้สารประกอบที่ทำให้มีการขยายตัว ปริมาตรเพิ่มขึ้นและเกิดแรงดันภายในคอนกรีตจนเกิดการแตกร้าวในที่สุด อีกทั้งคุณสมบัติการประสานตัวของเนื้อคอนกรีตลดลงอีกด้วย ดังนั้นการศึกษาในครั้งนี้ จึงเกิดแนวคิดในการศึกษาสาเหตุของการเสียหายของโครงสร้าง โดยทำการพิจารณาเกี่ยวกับปริมาณเกลือที่ซึมในเนื้อคอนกรีต

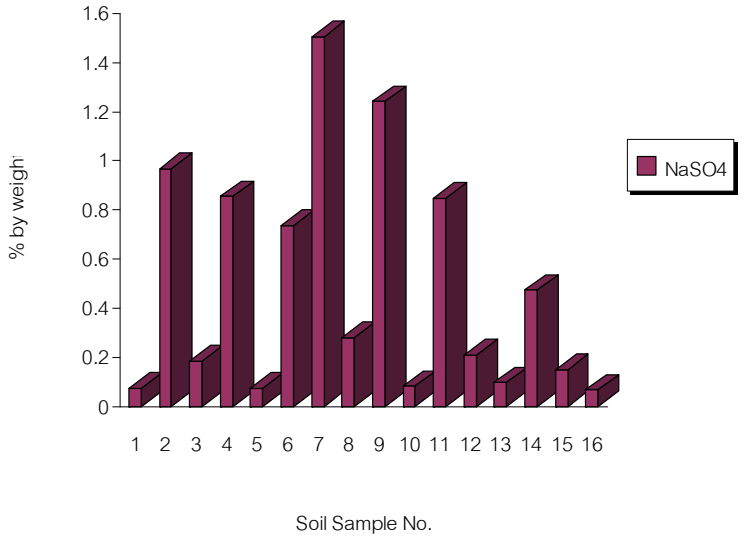


รูปที่ 1-5 แผนที่แสดงจุดเจาะสำรวจเก็บตัวอย่างดิน

ตารางที่ 1-1 สัญลักษณ์จุดเจาะสำรวจเก็บตัวอย่างดิน

ตัวอย่างที่	ตำแหน่ง	ตัวอย่างที่	ตำแหน่ง
S1	ภาควิชาวิศวกรรมการอาหาร	S9	คณะเกษตร กพส.
S2	อาคาร 9 คณะวิศวกรรมศาสตร์ กพส.	S10	สำนักหอสมุด กพส.
S3	อาคาร 1 คณะวิศวกรรมศาสตร์ กพส.	S11	คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์
S4	คณะสัตวแพทยศาสตร์	S12	อาคารหอพัก 10
S5	หอเก็บน้ำ	S13	อาคารหอพัก 4
S6	ศูนย์เรียนรวม 1	S14	โรงยิมเนเซียม
S7	คณะศึกษาศาสตร์และพัฒนศาสตร์	S15	อาคารหอพักนานาชาติ
S8	อาคารปฏิบัติการและวิจัยการเกษตร	S16	เฟลตข้าราชการ 6

รูปที่ 1-7 การชำรุดเสียหายของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก



รูปที่ 1-8 ปริมาณเกลือโซเดียมซัลเฟตของดินตัวอย่าง

การเสื่อมสภาพของคอนกรีตเนื่องจากเกลือซัลเฟต

ในพื้นที่ที่มีสารละลายซัลเฟต โดยเฉพาะเกลือโซเดียมซัลเฟต แคลเซียม และแมกนีเซียม โซเดียมซัลเฟตและแคลเซียมซัลเฟตเป็นซัลเฟตที่พบมากในดิน น้ำและในกระบวนการ ทางอุตสากรรม ส่วนแมกนีเซียมซัลเฟต พบได้น้อยแต่มีฤทธิ์การกัดกร่อนมากกว่า ดินหรือน้ำที่มีซัลเฟตเหล่านี้อยู่ เรียกว่า Alkaline Soil หรือ Alkaline Water โดยทั่วไปในสภาพแวดล้อม เหล่านี้จะพบสารละลายซัลเฟตได้ 2 ชนิด คือ โซเดียมซัลเฟต หรือ แมกนีเซียมซัลเฟต โดยระดับ ความรุนแรงของสภาพแวดล้อมที่มีโซเดียมซัลเฟต หรือ แมกนีเซียมซัลเฟต

เกลือซัลเฟตทุกชนิดเป็นอันตรายต่อคอนกรีต โดยซัลเฟตจะทำปฏิกิริยา Hydrated Calcium Aluminate และแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ให้ผลเป็นสารผลผลิตซึ่งมีสถานะของแข็งที่มีปริมาตร เพิ่มขึ้นมากกว่าสารที่ทำปฏิกิริยา การเกิด Gypsum และ Ettringite ทำให้เกิดแรงดันในคอนกรีต ทำให้เกิดการกะเทาะแยกตัว จากนั้นการเสื่อมสภาพก็จะลุกลามต่อไปเป็นบริเวณกว้างเพื่อป้องกันปฏิกิริยาเนื่องจากซัลเฟต คอนกรีตที่ต้องสัมผัสกับซัลเฟตต้องเป็นไปตามตารางที่ 1-2

Shannag M.J.and Shanai H.A. (2003) ได้ศึกษาความทนทานของคอนกรีต High performance Concrete (HPC) โดยการออกแบบส่วนผสมของ HPC จำนวน 5 ส่วนผสม โดยแช่ตัวอย่างมอร์ต้าในสภาวะรุนแรงต่างๆ ได้แก่ ในสารละลาย $MgSO_4$ 20%, สารละลาย $NaSO_4$ 20%, น้ำจากทะเลแดง (Red Sea), น้ำจากทะเลเดดซี (Dead Sea) และน้ำธรรมดา โดยแต่ละสภาวะได้ทำการทดลองกับส่วนผสมของ HPC 5 ส่วนผสม หลังจากแช่ตัวอย่างมอร์ต้าในสารละลายซัลเฟต และในน้ำทะเลที่สภาวะต่างๆ พบว่าคอนกรีตที่ผสมซิลิกาฟูม 15% มีความสามารถในการต้านทานซัลเฟตได้สูง คอนกรีตที่ผสมซิลิกาฟูมและสารปอซโซลานธรรมชาติมีความเหมาะสมทั้งในด้านกำลังอัดและ

ความทนทานแนะนำให้ใช้กับคอนกรีตในงานอุตสาหกรรมที่ต้องการกำลังและความทนทานสูง คอนกรีตที่มีเฉพาะปูนปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ธรรมดาประเภทที่ 1 มีความทนทานต่อซัลเฟตและน้ำทะเลต่ำ ความต้านทานต่อซัลเฟตของคอนกรีตในน้ำทะเลจากทะเลเดดซี (Dead Sea) เป็นเรื่องที่น่าสนใจและเห็นสมควรที่จะศึกษาวิจัยในลำดับต่อไป

Lee S.T., Moon H.Y., Swamy R.N. (2005) ศึกษาอัตราการลดลงของกำลังอัดจากการกัดกร่อนของเกลือซัลเฟต โดยออกแบบส่วนผสมของตัวอย่างมอร์ต้า 8 ส่วนผสม แล้วนำตัวอย่างไปแช่ในการละลาย $MgSO_4$ เข้มข้น 5% และสารละลายผสมระหว่าง $MgSO_4$ เข้มข้น5% กับ $NaSO_4$ เข้มข้น 5% เป็นเวลา 510 วัน จากนั้นนำไปทดสอบกำลังอัดและทำ X-ray Diffraction (XRD) สรุปได้ดังว่า ตัวอย่างที่ผสมซิลิกาฟูม 10-15% มีการสูญเสียกำลังอัดเพียง 20% ในขณะที่ไม่ผสมสูญเสียถึงประมาณ 70% ที่ระยะเวลา 510 วัน

Corr D., Monteiro, P.J.M. and Der Kiureghian, A.(2001) ศึกษาข้อมูลเพื่อประเมินและวิเคราะห์อายุของคอนกรีต โดยการใช้ข้อมูลสะสมมากกว่า 40 ปี ของ U.S. Bureau of Reclamation (USBR) โดยเริ่มในปี 1948 ทำการออกแบบส่วนผสมของตัวอย่างคอนกรีต เพื่อความคงทนต่อการขยายตัวเนื่องจากซัลเฟตในระยะยาว โดยการนำตัวอย่างคอนกรีตมาแช่ในสารละลาย 0.15 M Na_2SO_4 จนกระทั่งสิ้นสุดในปี 1990 ซึ่งในระหว่างนั้นได้ทำการเก็บตัวอย่างคอนกรีตเพื่อนำตัวอย่างมาวัดค่าการขยายตัวจนได้ค่าเป็นเกณฑ์มาตรฐานคือ ที่การขยายตัว 0.5% ถือว่าคอนกรีตนั้นวิบัติ

การเสื่อมสภาพของคอนกรีตเนื่องจากเกลือคลอไรด์

การที่คลอไรด์สามารถทำปฏิกิริยากับคอนกรีตส่วนใหญ่มาจากการสัมผัสกับสภาวะแวดล้อมที่มีคลอไรด์ซึ่งส่วนใหญ่ทำความเสื่อมสภาพให้กับโครงสร้างคอนกรีตที่อยู่ในทะเล โดยทั่วไปการที่คลอไรด์ทำปฏิกิริยากับคอนกรีต สามารถอธิบายได้ว่าการเกิดกระบวนการซึมผ่านของคลอไรด์อิออนเข้าไปในเนื้อคอนกรีตจากผิวที่สัมผัสจนถึงเนื้อเหล็กเสริมแรงและการที่มีคลอไรด์อิออนที่ผิวของเหล็กทำให้เกิดการเร่งปฏิกิริยากัดกร่อน การกัดก่อนของเหล็กเสริมแรงทำให้เกิดการสูญเสียกำลังในการรับแรง (การลดลงของพื้นที่หน้าตัดของเหล็ก) การสูญเสียการยึดเหนี่ยว (bonding) cement paste รอบผิวเหล็กที่มีการอ่อนตัวและละลายไปโดยการเกิดสนิมเหล็กที่เป็นกรดเช่น $FeCl_2$ และการแตกออกของเนื้อคอนกรีตที่หุ้มเหล็กอยู่ (การขยายตัวซึ่งมาจากสนิมเหล็กที่เกิดขึ้น)

งานวิจัยที่มีในประเทศนั้นจึงมุ่งเน้นโครงสร้างติดชายฝั่งทะเล ซึ่งเกิดการกัดกร่อนจากเกลือคลอไรด์ได้มากกว่าพื้นที่อื่นๆ อย่างไรก็ตามการสำรวจเกลือในดินนั้นอาจมีความจำเป็นมากขึ้นสำหรับพื้นที่ที่มีเกลือใต้ดินและน้ำใต้ดินสูง จากการนำพาเกลือมาที่โครงสร้างบนดินได้รวดเร็วขึ้น ดังนั้นงานวิจัยที่มีจึงศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นจากบริเวณชายฝั่งทะเลดังต่อไปนี้

ชโลธร ภมรสูต และคณะ (2546) ได้ศึกษาการกัดกร่อนของเหล็กเสริมแรงในคอนกรีตในบริเวณชายฝั่งทะเลโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินปัจจัยในด้านองค์ประกอบของคอนกรีตและผลกระทบจากสภาวะแวดล้อมที่มีต่อการกัดกร่อนของเหล็กในคอนกรีต โดยทำการเตรียมตัวอย่างแท่งคอนกรีตและแท่งคอนกรีตที่ผสมเถ้าลอยที่ใช้แทนปูนซีเมนต์โดยมีอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.38, 0.43 และ 0.70 การใช้สารลดน้ำช่วยให้สามารถเตรียมคอนกรีตที่มีค่าความต้านแรงอัดสูงขึ้นได้ รวมทั้งเตรียมคอนกรีตที่มีแท่งเหล็กเสริมอยู่ด้วย การทดลองใช้วิธีการนำแท่งทดสอบไปแช่ให้ท่วมในสารละลายน้ำเกลือร้อยละ 3 และนำไปแช่ในทะเลที่มีลักษณะน้ำขึ้นน้ำลงที่จังหวัดระยองและภูเก็ต ทำการตรวจวิเคราะห์หาปริมาณคลอไรด์อิออนตามมาตรฐาน ASTM C 876 และ ASTM C 1202 ในการประเมินการกัดกร่อนของเหล็กเสริมแรงในคอนกรีตและปริมาณคลอไรด์อิออนในเนื้อคอนกรีตในการทดสอบเร่งสภาวะตามลำดับ จากการทดลองพบว่าคอนกรีตที่มีเถ้าลอยผสมอยู่ร้อยละ 30 ที่มีค่าความต้านทานแรงอัดสูงมากกว่า 45 เมกะปาสกาล สามารถนำไปใช้ได้อย่างคุ้มค่าในโครงสร้างชายฝั่งทะเลเนื่องจากมีความต้านทานต่อการซึมผ่านของคลอไรด์อิออนสูงกว่าคอนกรีตธรรมดา คอนกรีตที่แช่ในทะเลที่มีน้ำขึ้น-น้ำลงจะมีค่าปริมาณคลอไรด์อิออนสูงกว่าคอนกรีตที่แช่ในน้ำเกลือที่ท่วมตลอดเวลามีผลทำให้มีเหล็กเสริมแรงมีโอกาสเกิดการกัดกร่อนได้ง่ายขึ้น คอนกรีตที่มีเถ้าลอยผสมจะมีความต้านทานต่อการซึมผ่านของคลอไรด์ อิออนสูงกว่าคอนกรีตธรรมดา

นุชจิรา ทำมาตา และคณะ (2556) ได้ศึกษาผลกระทบของเถ้าลอยและผงหินปูนเมื่อใช้แทนที่วัสดุประสานต่อสัมประสิทธิ์การแพร่คลอไรด์และกำลังอัดของคอนกรีตหลังเผชิญสิ่งแวดล้อมทะเลเป็นระยะเวลา 3 ปี โดยใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานหลักและใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานที่ 0.40, 0.50 และ 0.60 จากผลการศึกษาพบว่าการแทรกซึมและการแพร่ของคลอไรด์ของคอนกรีตมีค่าสูงขึ้นเมื่ออัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานสูงขึ้นและระยะเวลาเผชิญสิ่งแวดล้อมทะเลนานขึ้น การใช้เถ้าลอยแทนที่วัสดุประสานในคอนกรีตช่วยลดการแพร่ของคลอไรด์ลง แต่เมื่อใช้ผงหินปูนร่วมกับเถ้าลอยเพิ่มขึ้น การแพร่คลอไรด์เพิ่มขึ้น นอกจากนี้กำลังอัดและสัมประสิทธิ์การแพร่คลอไรด์ของคอนกรีตมีความสัมพันธ์แบบผกผันกัน

กีรติกร เจริญพร้อม และคณะ (2556) ได้ศึกษาผลของเถ้าปาล์มน้ำมันต่อสัมประสิทธิ์การแทรกซึมของคลอไรด์ในคอนกรีตภายใต้สภาวะแวดล้อมทะเลโดยใช้คอนกรีตควบคุมทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนประเภทที่ 1 และอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานที่ 0.40, 0.45 และ 0.50 และแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าปาล์มน้ำมันในอัตราร้อยละ 15, 25, 35 และ 50 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน พบว่าสัมประสิทธิ์การแทรกซึมของคลอไรด์ในคอนกรีตที่ผสมเถ้าปาล์มน้ำมันบดละเอียดมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับคอนกรีตควบคุมอย่างไรก็ตาม การแทนที่เถ้าปาล์มน้ำมันในปริมาณสูง (ร้อยละ 50) ส่งผลให้สัมประสิทธิ์การแทรกซึมของคลอไรด์มีค่าเพิ่มขึ้น

พัฒนพงษ์ วงษ์เสียงดัง และคณะ (2556) ได้ทำการวิจัยปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการเกิดสนิมของเหล็กและเหล็กเคลือบผิวด้วยสังกะสีด้วยวิธีจุ่มร้อน และทาสีสังกะสีเหลวในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยเร่งการเกิดสนิมในเหล็กเสริมโดยการขังสารละลายโซเดียมคลอไรด์เข้มข้นและวัดการเกิดสนิมด้วยค่าความหนาแน่นกระแสการกัดกร่อนและค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ และเมื่อเหล็กเริ่มเกิด

สนิมจึงทำการวิเคราะห์หาค่าคลอไรด์จากผงคอนกรีตตัวอย่าง ผลการศึกษาได้ว่า เหล็กเสริมที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยการจุ่มร้อนด้วยสังกะสีหรือการทาเคลือบผิวด้วยสังกะสีเหลว จะมีค่าคลอไรด์วิกฤตที่ลดต่ำลงเมื่อเทียบกับเหล็กเสริมที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว และระยะเวลาการเกิดสนิมของเหล็กเสริมที่มีการเคลือบผิวจะเกิดเร็วขึ้น อย่างไรก็ตามภายหลังเหล็กเสริมที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสังกะสี การเกิดสนิมจะมีอัตราการเกิดสนิมช้ากว่าเหล็กเสริมที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว

ตารางที่ 1-2 ข้อกำหนดสำหรับคอนกรีตที่สัมผัสสารละลายซัลเฟต (ว.ส.ท.ข้อ 3105 ก ตารางที่ 3004)

สภาวะการสัมผัสกับสารละลายซัลเฟต	ปริมาณซัลเฟต (SO_4) ที่ละลายได้ในดิน (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ปริมาณซัลเฟต (SO_4) ในน้ำ (หนึ่งในล้านส่วน)	ประเภทปูนซีเมนต์	คอนกรีตมวลรวมธรรมดา ค่าสูงสุดของอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์โดยน้ำหนัก[1]	คอนกรีตมวลรวมกำลังอัดต่ำ(กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)
น้อยมาก	0.00 - 0.10	0 - 150	-	-	-
ปานกลาง[3]	0.10 - 0.20	150 - 1,500	II,I[2]	0.50	250
รุนแรง	0.20 - 2.00	1,500 - 10,000	V	0.45	300
รุนแรงมาก	มากกว่า 2.00	มากกว่า 10,000	V ผสมวัสดุปอซโซลาน[4]	0.45	300

หมายเหตุ; 1) ในกรณีที่ต้องการคอนกรีตกันน้ำซึมหรือเพื่อป้องกันคอนกรีตในเหล็กเสริมให้ใช้อัตราน้ำต่อซีเมนต์ที่ต่ำกว่าหรือกำลังอัดที่สูงกว่าในตาราง

2) ปูนซีเมนต์ประเภท I ชนิดพิเศษ ซึ่งสามารถต้านทานซัลเฟตในสภาวะปานกลางได้

3) น้ำทะเล

4) วัสดุปอซโซลานที่นำมาผสมกับคอนกรีตที่ใช้ซีเมนต์ประเภท V ต้องรับรองหรือทดสอบให้แน่ชัดว่าสามารถเพิ่มความต้านทานซัลเฟตในสภาวะรุนแรงได้

ตารางที่ 1-3 ปริมาณสารที่ยอมให้ในน้ำสำหรับคอนกรีต

ชื่อสาร	ปริมาณที่ยอมให้ (ppm)
1) คลอไรด์	
1.1) สำหรับคอนกรีตอัดแรงหรืองานสะพาน	500
1.2) สำหรับงานคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วไป	1,000
2) ซัลเฟต (SO_4)	3,000
3) ด่าง ($Na_2O + 0.658K_2O$)	600
4) สารแขวนลอย	50,000

ตารางที่ 1-4 ข้อกำหนดคุณสมบัติทางเคมีเพิ่มเติมของมวลรวมหยาบที่ใช้แล้ว

คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด	วิธีการทดสอบ
ปริมาณคลอไรด์ที่ละลายในกรด (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	≤ 0.06	ASTM C1152
ปริมาณซัลเฟอร์ในรูปขององค์ประกอบ ซัลเฟตที่ละลายในกรดในรูปของ SO_3 (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	≤ 1	EN 1744-1
ปริมาณซัลเฟอร์ทั้งหมด (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	≤ 1	EN 1744-1
ปริมาณอัลคาไล ในรูปของ $Na_2O + 0.658K_2O$ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	≤ 0.60	ASTM C289

ตารางที่ 1-5 ปริมาณสูงสุดของอนุมูลคลอไรด์เพื่อป้องกันการเกิดสนิม (ว.ส.ท.ข้อ 3105 ข และตารางที่ 3005)

ชนิดขององค์อาคาร	ปริมาณสูงสุดของอนุมูลคลอไรด์ (Cl) ที่ละลายน้ำได้ในคอนกรีต ร้อยละโดยน้ำหนักของซีเมนต์
คอนกรีตอัดแรง	0.06
คอนกรีตเสริมเหล็กที่สัมผัสกับคลอไรด์ขณะใช้งาน	*0.15*
คอนกรีตเสริมเหล็กในที่แห้งหรือป้องกันความชื้นขณะใช้งาน	1.00
งานก่อสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กอื่น ๆ	0.30

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 การเผยแพร่ในวารสารวิชาการในหัวข้อเกลือในดินกับการเสียหายของโครงสร้างที่ไม่ติดฝั่งทะเล อีกทั้งผลิตบัณฑิตในระดับปริญญาตรีและโท ให้มีความรู้ความสามารถทางด้านเกี่ยวกับความทนทานของคอนกรีต

1.5.2 เกิดแนวทางการซ่อมแซมและการป้องกันโครงสร้างคอนกรีต สำหรับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.5.3 เกิดประโยชน์โดยตรงต่อการพัฒนาประเทศตามแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติฉบับที่ 10 (พ.ศ. 2550-2554) ในยุทธศาสตร์การพัฒนาบนฐานความหลากหลายทางชีวภาพและการสร้างความมั่นคงของฐานทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่เกี่ยวข้องกับการสร้างสภาพแวดล้อมที่ดีเพื่อยกระดับคุณภาพชีวิตและการพัฒนาที่ยั่งยืน

1.6 ผลการวิจัยสู่กลุ่มเป้าหมาย

หน่วยงานมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ที่เกี่ยวข้อง รวมถึงทุกคณะและทุกหน่วยงานในพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบ รวมประมาณ 27 อาคาร ได้แก่ คณะเกษตร กำแพงแสน คณะสัตวแพทย์ศาสตร์ คณะศึกษาศาสตร์และพัฒนศาสตร์ และคณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน เป็นต้น มีการซ่อมแซมและวางแผนป้องกันการเสียหายของอาคารที่ได้ผลจากการวิจัยในครั้งนี้ โดยที่การซ่อมแซมและป้องกันจะช่วยยืดอายุของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก ลดงบประมาณของมหาวิทยาลัย การใช้ทรัพยากรธรรมชาติและพลังงาน ทำให้โครงสร้างคอนกรีตมีความคงทนมากขึ้น นอกจากนี้สามารถสรุปผลคำแนะนำในการใช้วัสดุ ความถี่ในการตรวจสอบและการซ่อมแซมโครงสร้าง เพื่อเป็นแนวทางในการป้องกันการเกิดความเสียหายในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กได้ต่อไป