



ปริมาณคลอไรด์ในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กบริเวณชายฝั่งทะเล

กรณีศึกษา : อ.หัวหิน และ อ.ปราณบุรี จ.ประจวบคีรีขันธ์

Chloride Content of Reinforced Concrete Structure in Marine Environment

Case Study: Hua Hin and Pran Buri of Prajuap khiri khan.

ศุภชัย ไทยพุ่ม*, ชูศักดิ์ ศิริรัตน์, ทวีศักดิ์ รุ่งศักดิ์ทวีกุล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล 77110

*Email: spcrmutr@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาอิทธิพลการแทรกซึมคลอไรด์ของโครงสร้างสะพานคอนกรีตเสริมเหล็กบริเวณชายฝั่งทะเลที่มีอายุมากกว่า 10 ปี และห่างจากชายฝั่งทะเลไม่เกิน 10 กิโลเมตร ในอำเภอหัวหิน และอำเภอปราณบุรี จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ จำนวน 10 สะพาน ซึ่งความเสียหายของสะพานที่พบส่วนใหญ่เกิดขึ้นจากการกัดกร่อนเหล็กเสริมจากคลอไรด์ โดยทำการเก็บตัวอย่างผงคอนกรีตสะพาน ละ 3 ตำแหน่ง คือ ราวสะพาน คานสะพาน และเสาตอม่อบริเวณน้ำขึ้นลง ที่ระดับความลึกจากผิวหน้าตั้งแต่ 0 ถึง 10 เซนติเมตร มาทดสอบหาปริมาณคลอไรด์ ซึ่งจากผลการทดสอบพบว่าระยะห่างจากชายฝั่งทะเล ปริมาณคลอไรด์ในน้ำใต้สะพาน และตำแหน่ง ส่วนของโครงสร้าง มีผลต่อปริมาณคลอไรด์ในคอนกรีตเป็นอย่างมาก ซึ่งผลการทดสอบสามารถใช้ในการพัฒนาแบบจำลองเพื่อทำนายอายุการใช้งาน และเพิ่มประสิทธิภาพการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตชายฝั่งทะเล

คำสำคัญ: คลอไรด์, สภาพแวดล้อมทะเล, การกัดกร่อน

Abstract

This research aims to study the chloride penetration in reinforced concrete bridge structure at the marine environment area. The 10 bridges of older 10 years of reinforced concrete bridge structure and the distance in range of 10 kilometers away from the coast at Hua Hin and Pranburi of Prajuap khiri khan are used to consider. The majority damage of bridge structures cause by the corrosion of reinforcing steel from chloride. The samples are collected as powdered concrete, and the 3 positions of bridge structures including rail bridge, beam and pier tidal are used to evaluate. At those positions, the powdered concretes in the range of depth 0 to 10 cm from concrete surface are collected to test the chloride content. The results found that the distance from the coast, the chloride content in the water under the bridge and position of structures have strong effect on chloride content in the concrete. The results from this investigation can be further performed in order to develop the model for prediction the service life, and to increase efficient designed of reinforced concrete structure in marine environment.

Keyword: Chloride, Marine Environment, Corrosion



1. ที่มาและความสำคัญ

คอนกรีตเป็นวัสดุที่นิยมใช้ในงานก่อสร้างทั่วไป คู่กับการเสริมเหล็กไว้ภายใน ซึ่งจะทำให้โครงสร้างมีความแข็งแรงมากขึ้น สามารถรับทั้งแรงอัดและแรงดึงได้ดี ซึ่งในการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กโดยทั่วไปนั้น มักจะถูกออกแบบให้มีอายุการใช้งานอยู่ที่ประมาณ 50 ปี หรือมากกว่า แต่ในสภาพความเป็นจริงแล้วอายุการใช้งานของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก กลับลดลงเร็วกว่าความเป็นจริง โดยเฉพาะโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่อยู่บริเวณชายฝั่งทะเลและพื้นที่ใกล้เคียงมักจะพบปัญหาการเสื่อมสภาพของโครงสร้างเป็นจำนวนมาก อันเนื่องมาจากปัจจัยทางด้านกายภาพ ตัวอย่างเช่น อุณหภูมิและความชื้น เป็นต้น พร้อมกับปัจจัยทางด้านเคมี ซึ่งเกิดจากสารประกอบที่ปะปนอยู่ในน้ำทะเลแทรกซึมเข้าไปในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ตัวอย่างเช่น ซัลเฟต (SO_4^-) และคลอไรด์ (Cl^-) เป็นต้น

โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กในบริเวณชายฝั่งทะเลและพื้นที่ใกล้เคียงนั้น มักมีการใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 ซึ่งมีปริมาณของไตรแคลเซียมซิลิเกต (C_3A) ต่ำ เพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาระหว่างไตรแคลเซียมซิลิเกตกับซัลเฟตที่ปะปนในน้ำทะเล ซึ่งทำให้โครงสร้างคอนกรีตเสียหายน้อยลง แต่ความเสียหายของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กในบริเวณชายฝั่งและพื้นที่ใกล้เคียงไม่ได้เกิดขึ้นจากสารประกอบซัลเฟตเพียงอย่างเดียวเท่านั้น แต่การเกิดสนิมของเหล็กเสริมในโครงสร้างนั้น สามารถทำให้คอนกรีตเกิดความเสียหายขึ้นได้ อันเนื่องมาจากการแทรกซึมของคลอไรด์ที่เป็นองค์ประกอบในน้ำทะเลประมาณร้อยละ 1.8 โดยน้ำหนักของน้ำทะเล [1] แทรกซึมเข้าสู่เนื้อของคอนกรีต แต่จะไม่ทำลายเนื้อคอนกรีตของโครงสร้างโดยตรง แต่จะแทรกซึมเข้าไปทำปฏิกิริยากับเหล็กเสริมภายในจนเกิดสนิมขึ้น ส่งผลให้คอนกรีตสูญเสียแรงยึดเหนี่ยวกับเหล็กเสริม นอกจากนั้นแล้วจะทำให้เหล็กขยายตัวจนดันเนื้อคอนกรีตให้แตกแล้วหลุดออกทำให้ความสามารถในการรับแรงของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กนั้นและอายุการใช้งานลดลง

ดังนั้นแล้วจึงสมควรที่จะศึกษาการแทรกซึมของคลอไรด์ในคอนกรีตบริเวณชายฝั่งทะเลและพื้นที่ใกล้เคียงที่จะส่งผลกระทบต่อโครงสร้าง เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาเป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้แก้ไขปัญหาโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กบริเวณชายฝั่งทะเลและพื้นที่ใกล้เคียงที่เสื่อมสภาพอย่างรวดเร็วให้มีอายุการใช้งานยาวนานและมีประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้น

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาปริมาณการแทรกซึมของคลอไรด์ในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่ระดับความลึกต่างๆ โดยวัดจากผิวหน้าคอนกรีตเข้าไป
2. เพื่อศึกษาอิทธิพลของปริมาณคลอไรด์ในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก บริเวณชายฝั่งทะเลและพื้นที่ใกล้เคียง ที่ห่างจากทะเลไม่เกิน 10 กิโลเมตร ในอำเภอหัวหิน และอำเภอบางพลี จังหวัดประจวบคีรีขันธ์

3. ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การเคลื่อนที่ของเกลือคลอไรด์เข้าสู่เนื้อคอนกรีตนั้น ถือว่าเป็นสาเหตุที่สำคัญทำโครงสร้างเสื่อมสภาพ เนื่องจากคลอไรด์สามารถเข้าไปทำปฏิกิริยากับคอนกรีตได้ ซึ่งจะมีผลต่อความคงทนของคอนกรีตทั้งทางตรงและทางอ้อม และนำไปสู่การเสื่อมสภาพของโครงสร้างคอนกรีต โดยทั่วไปแล้วการเคลื่อนที่ของคลอไรด์ เรียกว่า การแทรกซึมของเกลือคลอไรด์ (Chloride penetration) ซึ่งเกิดขึ้นจากกลไกต่างๆเช่น ความแตกต่างของความเข้มข้นเกลือคลอไรด์ ประจุไฟฟ้า และแรงดันน้ำ นอกจากนั้นยังอาจเกิดขึ้นจากแรงขับเคลื่อนของกลไกธรรมชาติของสารที่เคลื่อนที่ผ่านด้วย ดังนั้นกลไกสำคัญของการแทรกซึมของเกลือคลอไรด์เข้าไปในเนื้อคอนกรีตสามารถแบ่งได้เป็น 4 กลไกหลักๆ ดังนี้ การแพร่ การดึงดูดออสโมส การดึงดูดคาพิลลารี และแรงดันน้ำ [1]



ในการหาค่าการแทรกซึมของคลอไรด์ในคอนกรีต (D_{ap}) นั้นสามารถใช้กฎการแพร่ของข้อที่สองของฟิกส์ ดังแสดงในสมการที่ 1

$$C_{cl}(t, x) = C_0[1 - \operatorname{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{D_{ap}t}}\right)] \quad (1)$$

- เมื่อ $C_{cl}(t,x)$ คือ ปริมาณคลอไรด์ที่เวลาและตำแหน่งใดๆในคอนกรีต
- t คือ ระยะเวลา
- x คือ ความลึกจากผิวหน้าของคอนกรีต
- erf คือ ฟังก์ชันข้อผิดพลาด

เมื่อคลอไรด์ซึมเข้าถึงชั้นเหล็กเสริมจะก่อให้เกิดกลไกการเกิดสนิมในเหล็กเสริม (Corrosion in Rebar) [2] ซึ่งถือเป็นกระบวนการทางไฟฟ้าเคมี (Electrochemical) ที่ประกอบไปด้วยขั้วสองขั้ว 1) ขั้วให้ประจุ (Anode) และ 2) ขั้วรับประจุ (Cathode) ซึ่งเป็นส่วนของน้ำและออกซิเจน โดยที่เนื้อเหล็กที่อยู่ในสภาพของขั้วให้ประจุ (Anode) จะปล่อยประจุลบหรืออิเล็กตรอน (Electron) ออกมา หลังจากการปล่อยอิเล็กตรอน อนุภาคเหล็กก็จะเปลี่ยนเป็นประจุเหล็ก (Ferrous ion, Fe^{2+}) มารอไว้ก่อน ส่วนประจุอิเล็กตรอนเมื่อไปรวมตัวกับน้ำและออกซิเจนจะปล่อยประจุไฮดรอกซิล (OH^-) ออกมาในขั้นสุดท้าย ประจุไฮดรอกซิลจะไปรวมตัวกับประจุเหล็กเกิดเป็นสนิม ($Fe(OH)_2$)

สนิมเหล็ก ($Fe(OH)_2$) จัดเป็นสารประกอบที่มีปริมาณมาก (High volume) ซึ่งปริมาตรของสนิมที่มากกว่าปริมาตรเนื้อเหล็กที่สูงสูญเสียไปมากนั้น ทำให้แรงดันภายในเนื้อคอนกรีตและเกิดการแตกร้าวอันเนื่องมาจากการดันออกของเนื้อสนิม ถ้ามีเนื้อสนิมมีปริมาณมาก การแตกร้าวหรือการกะเทาะออกของเนื้อคอนกรีตก็จะกินวงกว้าง ทำให้คอนกรีตสูญเสียความสามารถในการรับแรงได้

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ในปี 2552 พิพัฒน์ และคณะ [3] ได้ทำการศึกษาปริมาณเกลือคลอไรด์ที่ผิวหน้าและการแทรกซึมของเกลือคลอไรด์ในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่ตั้งอยู่ในสิ่งแวดล้อมทะเลของไทย ในเขตพื้นที่จังหวัดระยองและจังหวัดจันทบุรี และอีกงานวิจัยหนึ่งในปี 2556 ประกิจ สร้อยระย้าแก้ว [4] ได้ศึกษาปริมาณเกลือคลอไรด์ที่ผิวหน้าและการแทรกซึมของเกลือคลอไรด์ในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่ตั้งอยู่ในสิ่งแวดล้อมทะเลบริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยา จังหวัดสมุทรปราการ ซึ่งทั้งสองงานวิจัยนี้พบว่าปริมาณเกลือคลอไรด์ที่ผิวหน้าและการแทรกซึมของคลอไรด์ของคอนกรีตนั้น ขึ้นอยู่กับประเภทของโครงสร้างของคอนกรีตเสริมเหล็ก ระยะเวลาที่เผชิญสิ่งแวดล้อมทางทะเลและระยะห่างจากฝั่งทะเล ซึ่งผลการทดสอบที่ได้นี้สามารถนำไปใช้ในการพัฒนาแบบจำลองเพื่อทำนายอายุการใช้งานที่ปลอดภัยการบำรุงรักษาโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กในสิ่งแวดล้อมทะเลได้

4. วิธีดำเนินการวิจัย

4.1. สถานที่ตั้งและตำแหน่งในการเก็บตัวอย่าง

ในการศึกษาค่าปริมาณคลอไรด์ของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กนั้น จะทำการเก็บตัวอย่างคอนกรีตจากสะพานต่างๆบริเวณชายฝั่งทะเลและบริเวณใกล้เคียงที่ห่างจากชายฝั่งทะเลไม่เกิน 10 กิโลเมตร ในเขตอำเภอหัวหินและอำเภอบราณบุรี จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ที่มีอายุตั้งแต่ 10 ปีขึ้นไป ดังแสดงในตารางที่ 1 และ 2

ตารางที่ 1: สะพานในเขตพื้นที่อำเภอหัวหิน

ลำดับสะพาน	ปีที่สร้าง (พ.ศ.)	ระยะห่างจากชายฝั่ง (กิโลเมตร)
สะพานที่ 1	2543	0.884
สะพานที่ 2	2539	0.198
สะพานที่ 3	2548	7.590
สะพานที่ 4	2546	8.160
สะพานที่ 5	2537	10.05

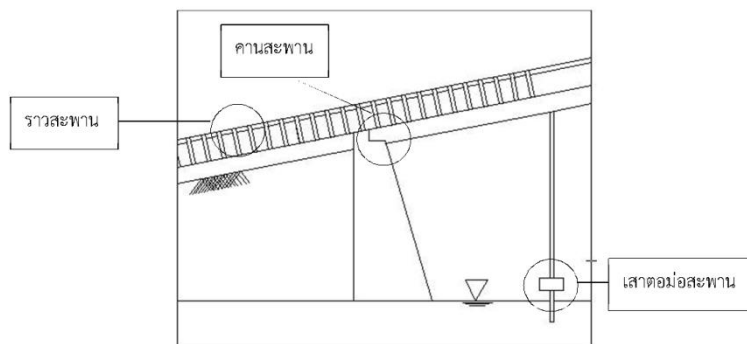
ตารางที่ 2: สะพานในเขตพื้นที่อำเภอปราณบุรี

ลำดับสะพาน	ปีที่สร้าง (พ.ศ.)	ระยะห่างจากชายฝั่ง (กิโลเมตร)
สะพานที่ 1	2540	3.09
สะพานที่ 2	2540	5.36
สะพานที่ 3	2538	6.89
สะพานที่ 4	2540	7.89
สะพานที่ 5	2538	9.83

4.2. ขั้นตอนการเก็บตัวอย่างคอนกรีต

ขั้นตอนวิธีการเก็บตัวอย่างผงคอนกรีตที่ระดับความลึกแต่ละชั้นของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก

4.2.1. ทำการสำรวจพื้นที่และเลือกตำแหน่งเป้าหมายของโครงสร้างที่ต้องการเก็บตัวอย่าง โดยเลือกด้านของโครงสร้างที่รับลมด้านตะวันออกเฉียงเหนือ เนื่องจากลมมรสุมที่พัดมายังอ่าวไทย คือ ลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้และตะวันออกเฉียงเหนือ แต่เพื่อความเหมือนกันจึงเลือกด้านที่รับลมตะวันออกเฉียงเหนือ ในตำแหน่งราว คาน และเสาต่อหม้อของโครงสร้างสะพาน



รูปที่ 1: บริเวณที่ทำการเก็บตัวอย่างคอนกรีตจากโครงสร้างสะพาน

4.2.2. ทำการทดสอบค่ากำลังอัดของคอนกรีตด้วยค้อนกระแทกแบบสมิทท์ (Schmidt's Hammer) ในตำแหน่งที่เลือกไว้ 9 จุด ก่อนที่จะใช้ส่วนเจาะลงบนคอนกรีตที่บริเวณเดียวกับที่ทดสอบหาค่ากำลังอัด ทำการเจาะโดยผ่านที่ครอบกันผงคอนกรีตปลิวให้ได้ความลึก 2 เซนติเมตร แล้วนำผงฝุ่นที่ได้ใส่ถุงเก็บตัวอย่าง

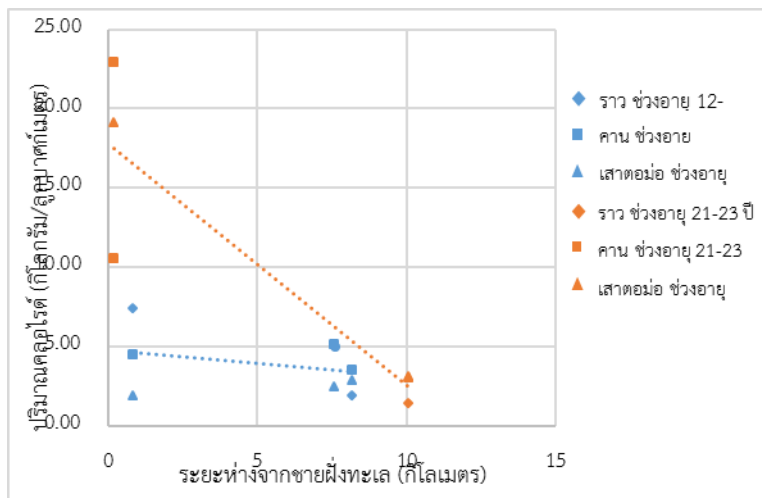
4.2.3. ทำการเก็บน้ำจากบริเวณใต้สะพานที่ทำการเก็บตัวอย่าง เพื่อนำมาใช้วิเคราะห์หาปริมาณคลอไรด์ที่ปนเปื้อนมาในแหล่งน้ำธรรมชาติ

4.2.4. ทดสอบหาปริมาณเกลือคลอไรด์ทั้งหมดในระบบคลอไรด์ที่ละลายในกรด (Acid- soluble chloride) ในระบบของสารคอนกรีต (ASTM C1152) [5]

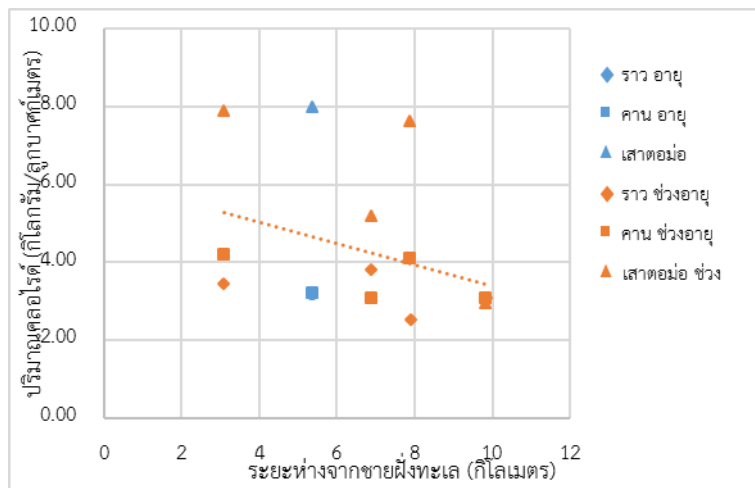
5. ผลและวิจารณ์

5.1. ปริมาณคลอไรด์ที่ผิวหน้าของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก

จากรูปที่ 2 และ 3 เมื่อเปรียบเทียบปริมาณเกลือคลอไรด์ที่แทรกซึมในโครงสร้างสะพาน ระดับที่ความลึก 0-2 cm ตามช่วงอายุต่างๆ กับระยะห่างจากชายฝั่งทะเลนั้น จะพบว่าปริมาณคลอไรด์จะมีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ เมื่อระยะห่างจากชายฝั่งทะเลเพิ่มขึ้นทั้งในเขต อ.หัวหิน และปราณบุรี ดังแสดงในรูปที่ 2 และ 3 โดยเสาดอมที่ระดับน้ำขึ้นลงจะพบว่าปริมาณคลอไรด์ที่ผิวหน้ามากกว่าคานและราวสะพาน อาจเป็นผลมาจากแรงดึงดูดพิลลารี และแรงกระแทกของ ซึ่งจากผลการทดสอบหาปริมาณคลอไรด์ในโครงสร้างนั้น สอดคล้องกับงานวิจัยของพิพัฒน์ และคณะ [3]



รูปที่ 2: ปริมาณคลอไรด์ที่ผิวหน้าของโครงสร้างสะพานในเขต อ.หัวหิน



รูปที่ 3: ปริมาณคลอไรด์ที่ผิวหน้าของโครงสร้างสะพานในเขต อ.ปราณบุรี

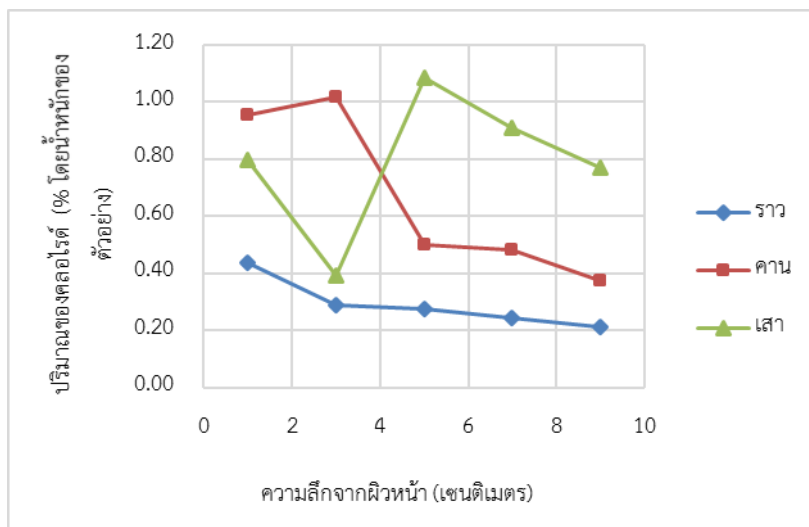
5.2. การแทรกซึมของเกลือคลอไรด์ที่ระดับความลึกต่างๆ ในโครงสร้างสะพาน

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดที่แทรกซึมเข้าไปในเนื้อคอนกรีตที่ระดับความลึกต่างๆ ภายในโครงสร้าง ราว คาน และเสาดอหุ้มของสะพานในเขต อ.หัวหิน และอ.ปราณบุรี จะพบว่าปริมาณคลอไรด์ที่แทรกซึมเข้าสู่โครงสร้างนั้น มีแนวโน้มลดลงเมื่อระดับความลึกเพิ่มมากขึ้น โดยที่บริเวณช่วง 0-2 เซนติเมตร จะพบปริมาณคลอไรด์ในเปอร์เซ็นต์ที่มากกว่าระดับความลึกอื่นๆ และจะลดลงเรื่อยๆ เมื่อมีระดับความลึกเพิ่ม แต่มีข้อมูลบางจุดที่ภายในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก กลับมีปริมาณคลอไรด์ที่มากกว่าบริเวณผิวหน้าของคอนกรีต ดังเช่นตัวอย่างในรูปที่ 4 ซึ่งเป็นสะพานที่ 2 ของ อ.หัวหิน ห่างจากชายฝั่งเพียง 0.199 โดยอาจมีสาเหตุมาจาก

1. คลอไรด์ที่แทรกซึมในโครงสร้าง โดยเฉพาะบริเวณผิวนั้น อาจถูกชะล้างด้วยกระแสลมและน้ำฝนออกไป จึงทำให้บริเวณดังกล่าวมีปริมาณคลอไรด์ลดลงกว่าความเป็นจริงที่เคยมีอยู่

2. คลอไรด์ที่แทรกซึมในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กนั้น อาจถูกแทรกซึมด้วยการดึงดูดแบบคาพิลลารี (Capillary suction) ซึ่งจะเกิดขึ้นในสภาวะเปียกสลับแห้ง คือ เมื่อน้ำที่มีคลอไรด์ปะปนอยู่ได้แทรกซึมเข้าไปยังเนื้อคอนกรีต เมื่อน้ำที่ผิวคอนกรีตมีการระเหยออกก็จะเหลือไว้แต่คราบเกลือ และเมื่อกลับอยู่ในสภาพเปียกอีกครั้ง น้ำที่มีคลอไรด์ปะปนอยู่ได้แทรกซึมเข้าไป ซึ่งทำให้ความเข้มข้นของคลอไรด์จะสูงขึ้น

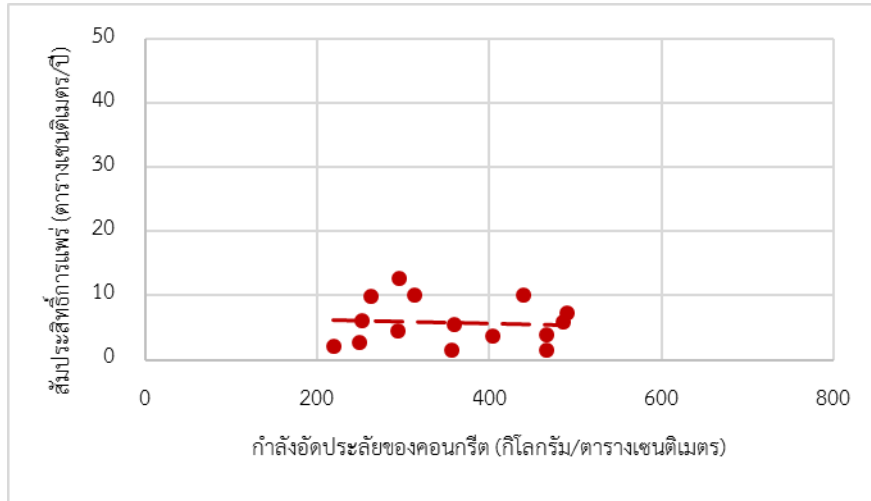
3. ภายในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก อาจมีรอยแตกร้าวอยู่ ซึ่งบริเวณนั้นจะมีปริมาณคลอไรด์สะสมมากกว่าบริเวณอื่น



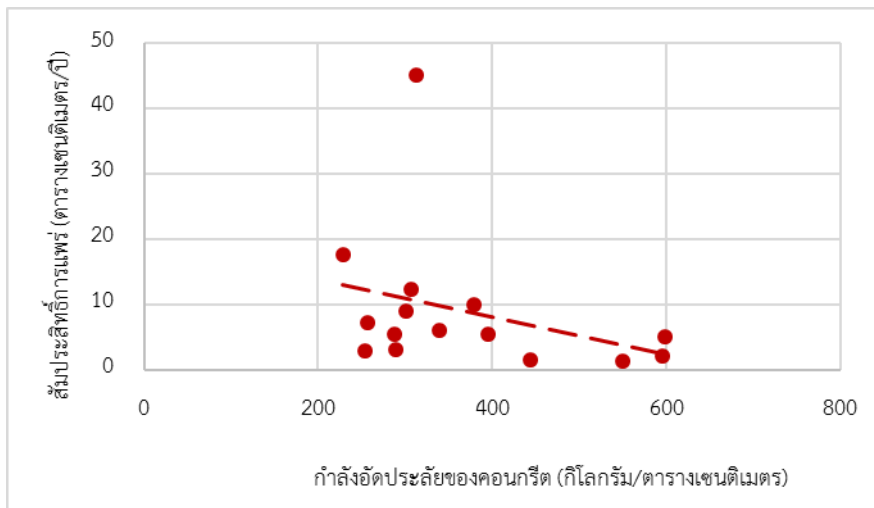
รูปที่ 4 : ปริมาณของคลอไรด์เทียบกับระยะทางจากผิวหน้าของโครงสร้าง สะพานที่ 2 อ.หัวหิน

5.3. สัมประสิทธิ์การแพร่ของคลอไรด์กับกำลังอัดประลัยของคอนกรีต

จากรูปที่ 5 และ 6 จะแสดงให้เห็นว่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของคลอไรด์ทั้งในเขตอ.หัวหินและอ.ปราณบุรีนั้น มีแนวโน้มลดลงเมื่อโครงสร้างสะพานมีกำลังอัดประลัยของคอนกรีตเพิ่มมากขึ้น ซึ่งในการเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์การแพร่ของคลอไรด์กับอายุของโครงสร้างสะพานและกำลังอัดประลัยของคอนกรีตที่วิเคราะห์มานั้น จะได้ผลเช่นเดียวกับรายงานการวิจัยปริมาณเกลือคลอไรด์ที่ผิวหน้าและการแทรกซึมของเกลือคลอไรด์ในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่ตั้งอยู่ในสิ่งแวดล้อมทะเลบริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยา จังหวัดสมุทรปราการ ของประจักษ์ สร้อยระย้าแก้ว [4] ที่ได้ทำการเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์การแพร่ของคลอไรด์กับเวลาและกำลังอัดของคอนกรีต ซึ่งได้กล่าวไว้ว่า สัมประสิทธิ์การแพร่ของคลอไรด์นั้นมีแนวโน้มลดลง เมื่อโครงสร้างมีอายุการใช้งานและกำลังอัดของคอนกรีตมากขึ้น



รูปที่ 5 : สัมประสิทธิ์การแพร่ของคลอไรด์เทียบกับกำลังอัดประลัยของคอนกรีตโครงสร้างสะพาน ในเขต อ.หัวหิน



รูปที่ 6: สัมประสิทธิ์การแพร่ของเกลือคลอไรด์เทียบกับกำลังอัดประลัยของคอนกรีต
โครงสร้างสะพานในเขต อ.ปราณบุรี จ.ประจวบคีรีขันธ์

6. สรุปผล

ในการทดสอบหาปริมาณคลอไรด์ในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กบริเวณชายฝั่งทะเลและพื้นที่ใกล้เคียงเป็นจำนวน 10 สะพาน ที่มีระยะห่างจากชายฝั่งทะเลที่แตกต่างกันออกไป แบ่งออกเป็นในเขตพื้นที่ อ.หัวหิน จำนวน 5 สะพาน และ อ.ปราณบุรี 5 สะพาน โดยการเก็บผงตัวอย่างคอนกรีตทุกๆ 2 เซนติเมตร จนถึงระดับความลึก 10 เซนติเมตร มาทำการไตเตรตกับสารละลายมาตรฐานซิลเวอร์ไนเตรท อ้างอิงการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C1152 ซึ่งเป็นการหาปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดในคอนกรีต โดยใช้กรดเป็นตัวทำละลาย ซึ่งจากผลการทดสอบสามารถนำมาสรุปผลได้ดังนี้

1. การกระจายตัวของคลอไรด์นั้นขึ้นอยู่กับระยะห่างจากชายฝั่งทะเล กล่าวคือ การกระจายตัวของคลอไรด์มีปริมาณลดลง เมื่อมีระยะห่างจากชายฝั่งทะเลเพิ่มขึ้น โดยการระยะทางการกระจายตัวของคลอไรด์ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ตัวอย่างเช่น สภาพแวดล้อมในพื้นที่และลักษณะแม่น้ำ เป็นต้น



2. การแทรกซึมของปริมาณคลอไรด์ในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กนั้นลดลงเมื่อระดับความลึกจากผิวหน้าเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นๆ ตัวอย่างเช่น รอยแตกร้าวภายในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก การกัดเซาะของกระแสน้ำและฝนที่บริเวณผิวหน้าคอนกรีต เป็นต้น ที่จะส่งผลให้ปริมาณคลอไรด์ในเนื้อคอนกรีตนั้นมีค่าที่เปลี่ยนไปและทำให้ไม่สามารถทำนายการแทรกซึมได้อย่างแม่นยำ

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] ทวีชัย สำราญวานิช, 2555, ความคงทนของคอนกรีตเสริมเหล็กภายหลังซ่อมแซมสะพานคอนกรีตเสริมเหล็กและความคงทนของวัสดุซ่อมแซม, สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.
- [2] ปิติ สุขนครสุขกุล, 2556, “กลไกการเกิดสนิมในเหล็ก,” หนังสือคอนกรีต, พิมพ์ครั้งที่ 1, ปทุมธานี, วรณภวี.
- [3] พิพัฒน์ ซอฮีสี่, กฤตพล สุวรรณสว่าง, ณปภัช จูเหลือง, ทวีชัย สำราญวานิช, เฉลิมชัย วาณิชย์ล้ำเลิศ, “ปริมาณเกลือคลอไรด์ที่ผิวหน้าและการแทรกซึมของเกลือคลอไรด์ในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่ตั้งอยู่ในสิ่งแวดล้อมทะเลไทย กรณีศึกษาจังหวัดระยองและจันทบุรี,” การประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปีครั้งที่ 5, หน้าที่ 285-298.
- [4] ประกิจ สร้อยระย้า, 2556, ปริมาณเกลือคลอไรด์ที่ผิวหน้าและการแทรกซึมของเกลือคลอไรด์ในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่ตั้งอยู่ในสิ่งแวดล้อมทะเล บริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยา จังหวัดสมุทรปราการ, สาขาวิศวกรรมโยธา, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- [5] American Society for Testing and Materials, “Standard Test Method for Acid-Soluble Chloride in Mortar and Concrete, ASTM C1152,” 2003, Annual Book of ASTM Standard.