

การเสื่อมสภาพของโครงสร้างคอนกรีต เนื่องจากการปนเปื้อนคลอไรด์ในส่วนผสม

ดร.รักติพงษ์ สหมิตรมงคล

ศูนย์วิจัยเทคโนโลยีการก่อสร้างและบำรุงรักษา (CONTEC)

ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC)

ศ.ดร.สมนึก ตั้งเต็มสิริกุล

ศูนย์วิจัยเทคโนโลยีการก่อสร้างและบำรุงรักษา (CONTEC)

สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร (SIIT) มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

การเสื่อมสภาพของโครงสร้างคอนกรีตเนื่องจากการปนเปื้อนคลอไรด์ในส่วนผสมคอนกรีต

– ความรุนแรงของปัญหา การป้องกัน และแนวทางการตรวจสอบ

1. ปัญหาการเกิดสนิมเนื่องจากการปนเปื้อนของคลอไรด์ในส่วนผสมคอนกรีต

ปัญหาการเสื่อมสภาพของโครงสร้างคอนกรีตอันเนื่องมาจากสาเหตุต่าง ๆ นั้น
ได้รับความสนใจจากผู้ที่เกี่ยวข้องกับการก่อสร้างและดูแลรักษาโครงสร้างต่างๆ เพิ่มขึ้นอย่าง
ต่อเนื่อง ซึ่งส่วนหนึ่งก็อาจจะเป็นเพราะว่ามีโครงสร้างคอนกรีตที่ได้เกิดการเสื่อมสภาพเป็น

จำนวนเพิ่มมากขึ้น อีกทั้งมีความรุนแรงมากขึ้นเรื่อยๆ และบางหน่วยงานก็มีประสบการณ์ว่าการซ่อมแซมโครงสร้างนั้นมีความยุ่งยากและ ยังใช้งบประมาณเป็นจำนวนมาก สาเหตุต่างๆเหล่านี้ทำให้ผู้ที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างคอนกรีตนั้นย้อนกลับ มาให้ความสำคัญเพิ่มมากขึ้นกับการออกแบบโครงสร้างให้มีความคงทนซึ่งเป็นจุด เริ่มต้นของการแก้ไขปัญหา

การ เกิดสนิมของเหล็กเสริมในคอนกรีตเป็นหนึ่งในรูปแบบการเสื่อมสภาพของโครงสร้าง คอนกรีตเสริมเหล็กซึ่งจะมีผลกระทบต่อลักษณะภายนอก พฤติกรรมเชิงโครงสร้าง ความปลอดภัย และอายุการใช้งานของโครงสร้างนั้น ๆ เป็นอย่างมาก และยังสามารถพบเห็นได้อย่างกว้างขวางในประเทศไทยโดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่ ที่อยู่ใกล้ทะเล หรือ เขตน้ำกร่อย

โดยทั่วไป เหล็กเสริมที่อยู่ในคอนกรีตนั้นจะถูกปกป้องจากการเกิดสนิม ด้วยสถานะต่างของคอนกรีต ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบเหล็กที่อยู่ในอากาศกับเหล็กที่อยู่ในคอนกรีตแล้ว จะพบว่าเหล็กที่อยู่ในคอนกรีตจะเกิดสนิมด้วยอัตราที่ช้ากว่ามาก อย่างไรก็ตามสภาพที่ปกป้องเหล็กเสริมในคอนกรีตไว้นั้นจะหมดไปเมื่อ คอนกรีตสูญเสียความเป็นด่าง (ด้วยการเกิดคาร์บอนเนชั่น หรือ Leaching) หรือมีอิออนที่สามารถทำลายสภาพการป้องกันการเกิดสนิม (เช่น คลอไรด์อิออน) อยู่ในคอนกรีต

อิออน ของคลอไรด์ในคอนกรีตนั้นสามารถก่อให้เกิดการขึ้นสนิมของเหล็กเสริมในโครงสร้างได้อย่างรวดเร็ว และในบางกรณีสามารถทำให้เกิดรอยแตกร้าวในโครงสร้างได้ในระยะเวลาเพียงไม่กี่ ปี รูปที่ 1 แสดง ปัญหาการเกิดสนิมในโครงสร้างท่าเทียบเรือที่อยู่ในชายหาดแห่งหนึ่งซึ่งสถานะ ดังกล่าวถือได้ว่าเป็นสถานะที่คลอไรด์จากสถานะแวดล้อมจะสามารถเข้าสู่โครงสร้างได้รวดเร็วที่สุด



รูปที่ 1: การเกิดสนิมของทำเทียบเรือที่อยู่ริมชายหาด



รูปที่ 2: การแตกร้าวตามแนวยาวอันเนื่องมาจากการขึ้นสนิมในคานคอนกรีตเสริมเหล็ก



รูปที่ 3: การแตกร้าวของตอม่ออาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก

อย่างไรก็ตาม ปัญหาการเกิดสนิมเนื่องจากคลอไรด์นั้นไม่ใช่ปัญหาที่พบเห็นได้ในโครงสร้างที่อยู่ริมทะเลเท่านั้น รูปที่ 2 และรูปที่ 3 เป็นตัวอย่างปัญหาการเกิดสนิมในโครงสร้างที่พบในกรณีที่โครงสร้างอยู่ห่างจากชายฝั่งทะเลพอสมควร (มากกว่า 2 กม.) และจากการตรวจสอบก็ไม่พบปริมาณคลอไรด์ในสิ่งแวดล้อมที่จะแพร่เข้าไปในโครงสร้างจนทำให้เหล็กเสริมเป็นสนิมได้ ทั้งนี้จากการตรวจสอบพบว่าปัญหาในโครงสร้างดังกล่าวข้างต้นเป็นปัญหาที่เกิดจากการปนเปื้อนของคลอไรด์ในคอนกรีตตั้งแต่ขั้นตอนการผลิตคอนกรีต ซึ่งอาจจะเป็นการปนเปื้อนของคลอไรด์ในน้ำหรือทรายที่ใช้ผลิตคอนกรีต หรืออาจจะปนเปื้อนอยู่ในส่วนผสมอื่นๆ ก็เป็นไปได้

2. ความรุนแรงของปัญหาการปนเปื้อนคลอไรด์ในส่วนผสมคอนกรีต

ใน การออกแบบให้โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กให้มีความต้านทานการเกิดสนิม เนื่องจากคลอไรด์นั้น หลักการสำคัญคือการควบคุมปริมาณคลอไรด์ที่บริเวณผิวของเหล็กเสริมให้น้อย กว่าปริมาณวิกฤติของคลอไรด์อ็อกไซด์ (Critical Chloride Content) ที่จะทำลายสภาพการป้องกันการเกิดสนิมของเหล็กเสริม ซึ่งปริมาณวิกฤติของคลอไรด์อ็อกไซด์ดังกล่าว ณ ปัจจุบัน ประมาณค่าไว้ที่ 0.4% โดยน้ำหนักของวัสดุประสานในคอนกรีต (ซึ่งมีค่าประมาณ 0.05% โดยน้ำหนัก ของคอนกรีตหากคอนกรีตมีปริมาณ ปูนซีเมนต์ 325 กก.ต่อลบ.ม. และมีหน่วยน้ำหนักรวม 2,500 กก.ต่อลบ.ม.)

ในปัจจุบัน การควบคุมปริมาณคลอไรด์จะประกอบไปด้วยองค์ประกอบสำคัญสองส่วนคือ

ส่วนที่ 1: การ ควบคุมปริมาณคลอไรด์ปนเปื้อนเริ่มต้นในคอนกรีต ซึ่งเป็นการควบคุมไม่ให้ปริมาณคลอไรด์ในส่วนผสมคอนกรีตต่างๆ มีค่าเกินที่กำหนดไว้ (ดูตารางที่ 1)

ส่วนที่ 2: การ ควบคุมอัตราการแพร่ของไอออนคลอไรด์จากสิ่งแวดล้อมให้มีปริมาณจำกัด และจะไม่สามารถแพร่ไปยังตำแหน่งของเหล็กเสริมได้มากพอที่จะทำลายสภาพป้องกันการเกิดสนิมตลอดอายุการใช้งานที่ต้องการ (Design Service Life) ซึ่งส่วนนี้มีวิธีการหลักอยู่ 2 อย่างคือ การกำหนดส่วนผสมคอนกรีตให้มีค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของคลอไรด์ (Chloride Diffusion Coefficient) ไม่มากเกินไป และการกำหนดระยะหุ้มเหล็กเสริมให้มากเพียงพอที่จะปกป้องเหล็กเสริมตลอดอายุการใช้งาน

ตารางที่ 1 ปริมาณคลอไรด์รวมที่ละลายน้ำได้ในคอนกรีตที่ยอมให้

| ลักษณะงานก่อสร้าง | ปริมาณคลอไรด์รวมที่ละลายน้ำได้ สูงสุดในคอนกรีต (ร้อยละของน้ำหนักวัสดุประสาน) |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| (ก) คอนกรีตอัดแรง | 0.06 |
| (ข) คอนกรีตเสริมเหล็กที่ขณะใช้งานมีการสัมผัสกับคลอไรด์ เช่น กำแพงกันคลื่น (Sea-Retaining Walls) | 0.15 |
| (ค) คอนกรีตเสริมเหล็กที่มีสภาพแห้ง หรือขณะใช้งานมีการป้องกันความชื้น | 1.00 |
| (ง) การก่อสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กอื่น | 0.30 |

จะสังเกตได้ว่าหากผู้ที่เกี่ยวข้องไม่มีความระมัดระวังเพียงพอในการควบคุมปริมาณคลอไรด์ปนเปื้อนเริ่มต้น (ส่วนที่ 1) แล้วก็จะส่งผลทำให้อายุการใช้งานจริงของโครงสร้างนั้นไม่เป็นไปตามที่การออกแบบโดยคำนึงถึงความคงทน (ส่วนที่ 2) นอกจากนี้หากปริมาณคลอไรด์ปนเปื้อนเริ่มต้นมีค่าเกิน 0.4% โดย น้ำหนักของวัสดุประสาน ก็จะทำให้เหล็กเสริมซึ่งตามปรกติควรได้รับ การปกป้องจากความเป็นด่างของคอนกรีต พร้อมทั้งจะเกิดสนิมทันทีหลังจากการเทคอนกรีต ซึ่งในกรณีดังกล่าวเราอาจจะพบรอยร้าวอันเนื่องมาจากการเกิดสนิมได้ในระยะ เวลาอันสั้น (น้อยกว่า 3 ปีหากมีสภาวะความชื้นและปริมาณออกซิเจนที่เหมาะสม)

ด้วยเหตุนี้ การควบคุมปริมาณคลอไรด์ปนเปื้อนเริ่มต้นในคอนกรีตจึงเป็นขั้นตอนที่จำเป็นอย่างยิ่งเมื่อพิจารณาถึงความคงทนของโครงสร้าง

3. เทคนิคและวิธีการในการควบคุมปริมาณคลอไรด์ปนเปื้อนเริ่มต้นในคอนกรีต

ด้วย ความสำคัญของการควบคุมปริมาณคลอไรด์ปนเปื้อนเริ่มต้นในคอนกรีต ดังกล่าวข้าง ต้น ผู้อ่านทุกท่านคงมีความเห็นพ้องกับผู้เขียนว่าควรมีการตรวจสอบปริมาณคลอไรด์ ดังกล่าวก่อนที่จะนำคอนกรีตที่ผสมได้ไปใช้เท ในขณะที่หลายท่านอาจจะยังมีข้อสงสัยว่าจะสามารถทำการตรวจสอบปริมาณคลอไรด์ ได้อย่างไร

ทั้งนี้ การตรวจสอบควบคุมปริมาณคลอไรด์ปนเปื้อนนั้น ควรทำการตรวจสอบปริมาณคลอไรด์ปนเปื้อนในวัสดุผสมคอนกรีตแต่ละประเภท (เช่น น้ำ ทราย หิน และ ปูนซีเมนต์) ล่วงหน้าก่อนที่จะนำวัสดุดังกล่าวมาผสมคอนกรีต ซึ่งโดยทั่วไปจะเก็บตัวอย่างวัสดุเพื่อทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการ ทั้งนี้วิศวกรควบคุมงานจะต้องทำการเก็บตัวอย่างที่ตรงกับวัสดุที่จะใช้จริง และต้องมีการเผื่อเวลาสำหรับการทดสอบไว้ล่วงหน้า เมื่อได้ผลการทดสอบปริมาณคลอไรด์ในแต่ละวัสดุ ประกอบกับข้อมูลอัตราส่วนผสมของคอนกรีต ก็จะสามารถคำนวณได้ว่าคอนกรีตที่จะผสมออกมานั้นมีปริมาณคลอไรด์ตามที่กำหนดหรือไม่

การ ตรวจสอบปริมาณคลอไรด์ในวัสดุผสมคอนกรีตจะทำให้วิศวกรสามารถทำการเลือกวัสดุ ที่เหมาะสมได้ก่อนที่จะผสมคอนกรีตจริง อย่างไรก็ตามหากมีข้อสงสัยเกี่ยวกับปริมาณคลอไรด์ภายหลังจากที่ทำการผสม คอนกรีตเสร็จแล้ว เรายังสามารถทำการตรวจสอบปริมาณคลอไรด์ปนเปื้อนในคอนกรีตสดที่ผสมเสร็จ แล้วได้โดยใช้ชุดอุปกรณ์ทดสอบทางเคมี เช่น ชุดอุปกรณ์ Hach Chloride Drop Count Tritator (รูปที่ 4) หรือ ชุดอุปกรณ์ Hach Quantab Chloride LR Test Strips (รูปที่ 5) โดยทำการเก็บตัวอย่างคอนกรีตสด 5 กรัม (ซึ่งอาจจะเลือกเฉพาะส่วนที่เป็นมอร์ตาร์) มาทำการทดสอบตามวิธีการของชุดอุปกรณ์แต่ละแบบ



รูปที่ 4: ชุดอุปกรณ์ Hach Chloride Drop Count Tritator [3]



รูปที่ 5: ชุดอุปกรณ์ Hach QuanTab Chloride LR Test Strips [4]

ชุด อุปกรณ์ตรวจวัดปริมาณอิออนคลอไรด์ดังกล่าวนี้เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจ สภาวะแวดล้อมในงานเกษตรกรรมเป็นหลัก แต่ก็สามารถนำมาใช้ประยุกต์กับงานคอนกรีตได้เป็นอย่างดี โดยราคาก็อยู่ในระดับที่ไม่เกิน 50 บาทต่อการวัด 1 ครั้งเท่านั้น จึงถือได้ว่าเป็นการลงทุนที่คุ้มค่าเพื่อที่จะให้ได้โครงสร้างที่มีความคงทนตามที่ต้องการ

เป็น ที่น่าเสียดายที่ การตรวจสอบปริมาณคลอไรด์ดังที่อธิบายไว้ข้างต้นไม่เคยมีการปฏิบัติในประเทศไทย ทำให้เกิดปัญหาใน โครงสร้างดังที่แสดงให้เป็นในรูปที่ 2 และ 3 ซึ่งเป็นปัญหาที่พบเห็นได้เป็นประจำในประเทศไทย

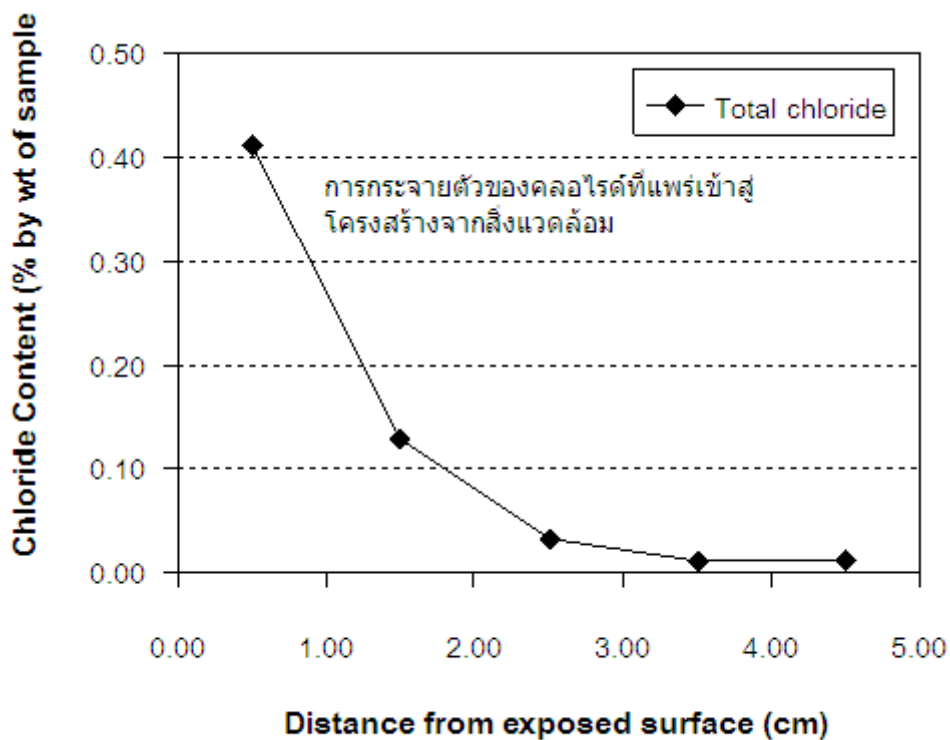
4. วิธีการตรวจสอบปัญหาเหล็กเสริมเป็นสนิมอันเนื่องมาจากคลอไรด์

ใน กรณีที่เกิดปัญหาการเกิดสนิมขึ้นใน โครงสร้างแล้ว ขั้นตอนที่สำคัญคือการ จำแนกว่าการเกิดสนิมนั้นเกิดเนื่องมาจากกลไกการ เสื่อมสภาพแบบใด การจำแนกรูปแบบ ความเสียหายหลักช่วยให้สามารถออกแบบวิธีการซ่อมแซมและเลือก วัสดุซ่อมที่เหมาะสม สำหรับการเสื่อมสภาพแต่ละประเภทได้ ทั้งนี้ ถึงแม้ว่าสภาพแวดล้อมของโครงสร้างที่เกิด ปัญหาจะสามารถช่วยให้ผู้ตรวจสอบ สามารถคาดการณ์ได้คร่าวๆว่าปัญหาของโครงสร้างนั้น มาจากสาเหตุใด แต่การพิจารณาถึงสภาพแวดล้อมเพียงอย่างเดียวอาจไม่สามารถเชื่อถือได้ใน บาง กรณี ดังนั้นจึงควรมีการตรวจสอบละเอียดโดยการวิเคราะห์ทางเคมี

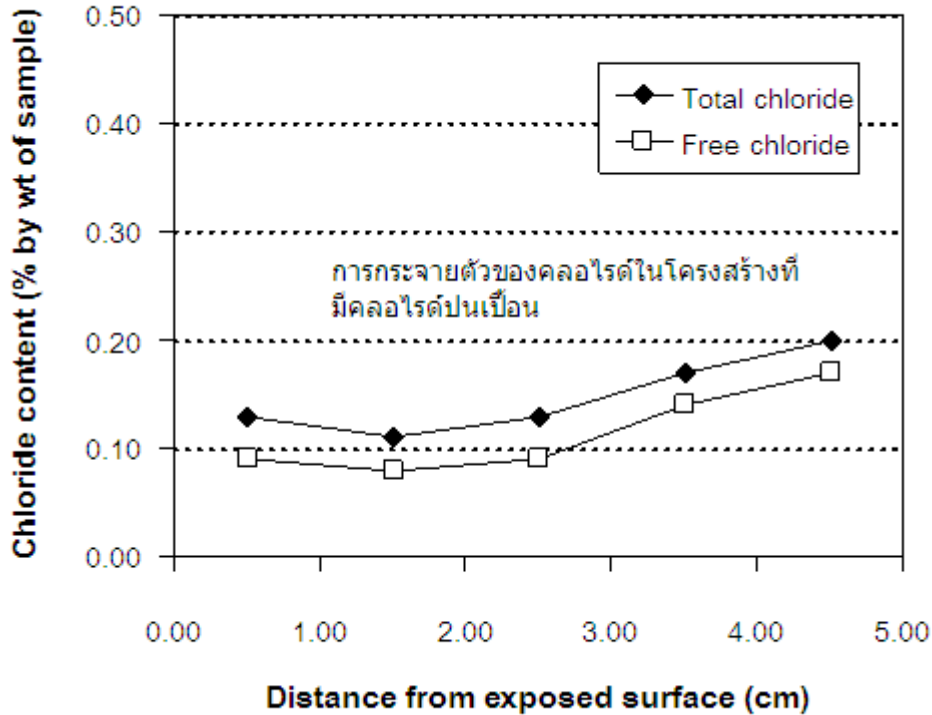
วิธี การตรวจสอบว่าการที่เหล็กเสริมเป็นสนิมใน โครงสร้างนั้นมีสาเหตุมาจาก ปริมาณ คลอไรด์หรือไม่ จะต้องอาศัยการเจาะเก็บตัวอย่างคอนกรีตจากโครงสร้างดังแสดง ในรูปที่ 6 โดย ซึ่งผู้ทำการเจาะต้องหลีกเลี่ยงเหล็กเสริมโดยทำการตรวจหาตำแหน่งของเหล็ก เสริม และต้องแยกตัวอย่างผงคอนกรีตตามระยะห่างจากผิว โครงสร้าง ตัวอย่างคอนกรีตที่เก็บ ได้สำหรับแต่ละระยะความลึก ต้องถูกเก็บในถุงพลาสติกและระบุตำแหน่งของผงตัวอย่าง คอนกรีตแต่ละชุดอย่างชัดเจน เพื่อนำไปทำการ ใตรเตรชั่นในห้องปฏิบัติการ



รูปที่ 6: วิธีการเจาะและเก็บผงตัวอย่างจากอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก



รูปที่ 7: การกระจายตัวของคลอไรด์ไอออนที่แพร่มาจากสิ่งแวดล้อมภายนอก



รูปที่ 8: การกระจายตัวของคลอไรด์ที่อ่อนที่มาจากการปนเปื้อน

เพื่อที่จะอธิบายผลการตรวจสอบที่ได้ในกรณีที่แตกต่างกัน ผู้เขียนขออนุญาตยกตัวอย่างรูปที่ 7 และ รูปที่ 8 ซึ่งเป็นการกระจายตัวของคลอไรด์ที่อ่อนที่ผู้เขียนสามารถวัดได้จากตัวอย่างโครงสร้างจริงที่เคยตรวจสอบมา โดยโครงสร้างในรูปที่ 7 เป็นโครงสร้างที่ยังไม่มีปัญหาการเกิดสนิม ในขณะที่ โครงสร้างในรูปที่ 8 นั้นเกิดสนิมขึ้นแล้ว (ระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กของทั้งสองโครงสร้างมีค่าประมาณ 50 มม.) จะเห็นได้ว่าผลการตรวจสอบในรูปแบบนี้สามารถช่วยให้ข้อมูลเกี่ยวกับโครงสร้างได้อย่างมาก

ในกรณีของรูปที่ 7 เนื่องจากปริมาณความเข้มข้นของคลอไรด์มีค่าสูงที่บริเวณผิวโครงสร้างและปริมาณคลอไรด์ที่ระยะ 5 ซม.จากผิวมีค่าเพียงประมาณ 0.01% โดย น้ำหนักของคอนกรีตเท่านั้น การกระจายตัวของคลอไรด์ที่พบทำให้เราทราบว่าโครงสร้างดังกล่าวได้รับคลอไรด์ จากการแพร่มาจากสิ่งแวดล้อมเป็นหลัก และปริมาณคลอไรด์ปนเปื้อนเริ่มต้นนั้นมีค่า

ไม่เกิน 0.01% โดย น้ำหนักของคอนกรีต ทั้งนี้ จากข้อมูลที่ได้ เราจะสามารถคำนวณได้ว่า โครงสร้างดังกล่าวจะเริ่มมีปัญหาการเกิดสนิมภายหลัง จากการตรวจสอบนี้ก็ปี และสามารถวางแผนการปกป้องโครงสร้างได้อย่างเหมาะสม

ในกรณีของรูปที่ 8 การกระจายตัวของคลอไรด์นั้นมีค่ามากที่สุดที่ตำแหน่งที่ลึกเข้าไปในโครงสร้าง (ประมาณ 0.2% โดยน้ำหนักของคอนกรีตที่ระยะ 50 มม.) และมีค่าลดลงเมื่อใกล้ผิวมากขึ้น ลักษณะการกระจายตัวแบบนี้แสดงให้เห็นถึงปัญหาการปนเปื้อนของคลอไรด์จากวัสดุ ที่ใช้ผสมคอนกรีต ค่าความเข้มข้นของคลอไรด์ที่ลดลงบริเวณใกล้ผิวโครงสร้างนั้น เป็นผลจากการที่ ความเข้มข้นของคลอไรด์ใน โครงสร้างนั้นสูงกว่าคลอไรด์ที่สิ่งแวดล้อมจึง เกิด การแพร่ของคลอไรด์ออกจากโครงสร้าง

จะ เห็นได้ว่า การกระจายตัวของคลอไรด์อออนที่ได้จากการวิเคราะห์ทางเคมี สามารถช่วยให้เรา จำแนกปัญหาการเสื่อมสภาพจากคลอไรด์ได้ว่าเป็นคลอไรด์ที่มาจากการปนเปื้อนของ วัสดุผสมคอนกรีตตั้งแต่ต้น หรือ การแพร่ของอออนคลอไรด์จากภายนอกเข้าสู่ โครงสร้างได้เป็นอย่างดี

5. ข้อเสนอแนะ

ผู้เขียนอยากเสนอแนะให้การตรวจสอบปริมาณคลอไรด์เริ่มต้นในคอนกรีตสด ก่อนการเท เป็นข้อบังคับเพื่อปฏิบัติในขั้นตอนการควบคุมคุณภาพคอนกรีตสด โดยให้ทดสอบในเวลาเดียวกันกับการทดสอบค่ายุบตัวและการเก็บตัวอย่างคอนกรีตเพื่อ ทดสอบกำลังอัดเพื่อป้องกันมิให้เกิดกรณี โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กเสียหายเนื่องจากการปนเปื้อนของคลอไรด์ ในส่วนผสม คอนกรีตชั้นอีกในอนาคต

6. เอกสารอ้างอิง

[1] คณะอนุกรรมการคอนกรีตและวัสดุภายใต้คณะกรรมการวิชาการสาขาวิศวกรรมโยธา , “ความคงทนของคอนกรีต”, วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์, พ.ศ. 2543

[2] J.H. Bungey and S.G.Millard, “Testing of Concretes in Structures”, Blackie Academic & Professional, 1996

[3] <http://www.fondriest.com>

[4] <http://appslabs.com.au>