

การศึกษาใช้วิธีการทดสอบคลอไรด์ภาคสนาม (Field Test) ของทรายภาคอีสาน ก่อนนำมาใช้ผสมคอนกรีต

พิชัย กิตติเจริญเกียรติ

ผู้จัดการส่งเสริมคุณภาพ CPAC ภาคอีสาน 1

กิจการ CPAC ภาคอีสาน

บทคัดย่อ: สืบเนื่องจากนโยบายการใช้วัสดุดิบแหล่งใกล้เคียงในพื้นที่ เพื่อความได้เปรียบในการแข่งขันด้านต้นทุนวัสดุดิบ โดยคำนึงถึงคุณภาพคอนกรีตเป็นหลัก เช่น การศึกษาหาวัสดุทดแทนปูนซีเมนต์ชนิดอื่นนอกเหนือจาก PFA แม่เมาะ และการหาแหล่งวัสดุดิบหิน, ทราย ที่ใกล้เคียงโรงงานมากขึ้น ซึ่งโดยทั่วไปต้องมีการทดสอบคุณสมบัติก่อนนำมาใช้งาน ทั้งคุณสมบัติตามมาตรฐานและคุณสมบัติอื่น ๆ ที่อาจมีผลกับคุณภาพคอนกรีต โดยสภาพพื้นที่ภาคอีสานที่มีปัญหาดินและน้ำใต้ดินเค็ม ซึ่งเกิดการสะสมของคลอไรด์จากน้ำใต้ดินในพื้นที่ จึงทำให้ทรายที่นำมาใช้ผลิตคอนกรีตมีค่าคลอไรด์สูงและไม่เท่ากันในแต่ละช่วงเวลา และอาจมีผลกับความคงทนของโครงสร้างคอนกรีต โดยทำให้เหล็กเสริมเป็นสนิม

โดยข้อกำหนดคุณภาพคอนกรีตของ วสท. กำหนดปริมาณคลอไรด์รวมในคอนกรีตผสมเสร็จไว้ไม่เกิน 0.3 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตรคอนกรีต โดยถ้าคำนวณปริมาณคลอไรด์จากเฉพาะทรายและน้ำ ซึ่งเป็นสาเหตุหลักของภาคอีสานแล้ว ค่าคลอไรด์สูงสุดที่ยอมให้ของทรายจะมีค่าประมาณ 260 มิลลิกรัม/กิโลกรัมทราย โดยวิธีการทดสอบคลอไรด์ของทรายตามวิธีการเดิมจะต้องส่งทดสอบที่ห้องปฏิบัติการภายนอก เช่น บจก.สยามวิจัยและพัฒนา ซึ่งต้องใช้เวลานาน (อย่างน้อย 14 วัน) และเสียค่าใช้จ่ายสูง (ประมาณ 5,000 บาท) ทำให้ไม่สะดวกในการปฏิบัติงานที่ควรมีการทดสอบเป็นระยะ ๆ ในพื้นที่ที่มีปัญหาดินและน้ำใต้ดินเค็ม

จึงมีการศึกษาและพัฒนาวิธีการทดสอบคลอไรด์ของทรายที่สะดวกขึ้นและสามารถทำได้ที่ภาคสนาม (Field Test) โดยอาศัยหลักการทำปฏิกิริยากับสารเคมีบางชนิด ได้แก่ ซิลเวอร์ไนเตรต ($AgNO_3$) โพแทสเซียมโครเมต (K_2CrO_4) และโซเดียมไฮดรอกไซด์ ($Na(OH)$) โดยศึกษาความเป็นไปได้และเปรียบเทียบผลกับวิธีมาตรฐานในห้องปฏิบัติการ

1. เข้าใจในนโยบายของบริษัท

จากนโยบายการใช้วัสดุดิบแหล่งใกล้เคียงในพื้นที่ เพื่อความได้เปรียบในการแข่งขันด้านต้นทุนวัสดุดิบ โดยคำนึงถึงคุณภาพคอนกรีตเป็นหลัก ซึ่งโดยทั่วไปต้องมีการทดสอบคุณสมบัติก่อนนำมาใช้งาน ทั้งคุณสมบัติตามมาตรฐานและคุณสมบัติอื่น ๆ ที่อาจมีผลกับคุณภาพคอนกรีต โดยสภาพพื้นที่ภาคอีสานที่มีปัญหาดินและน้ำใต้ดินเค็ม ซึ่งเกิดการสะสมของคลอไรด์จากน้ำใต้ดินในพื้นที่ จึงทำให้ทรายที่นำมาใช้ผลิตคอนกรีตมีค่าคลอไรด์สูงและไม่เท่ากันในแต่ละช่วงเวลา และอาจ

มีผลกับความคงทนของโครงสร้างคอนกรีต โดยทำให้เหล็กเสริมเป็นสนิม

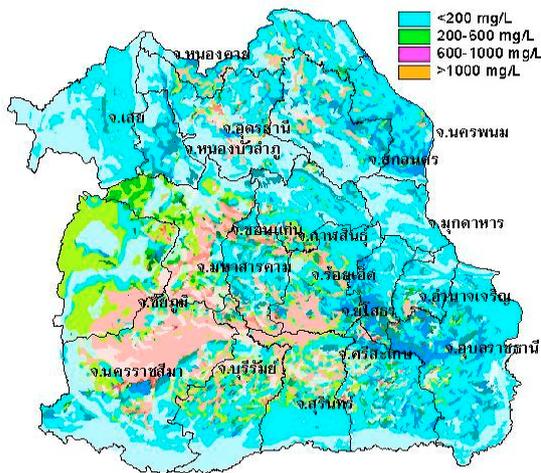
1.1 กลไกของการมีคลอไรด์ในคอนกรีตและการเกิดสนิมของเหล็กเสริมเนื่องจากคลอไรด์

คลอไรด์เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดการกัดกร่อนของเหล็กเสริมได้ โดยอิออนของคลอไรด์เป็นตัวการที่ทำให้ความเป็นต่างของคอนกรีตที่ป้องกันเหล็กเสริมไม่ให้เกิดสนิมลดลงและหลังถึงจุดวิกฤตแล้วถ้ามีน้ำและออกซิเจนเพียงพอก็จะทำให้เหล็กเสริมเกิดสนิมได้

1.2 แหล่งที่มาของคลอไรด์

คลอไรด์อาจมีอยู่ในคอนกรีตเอง เช่น มีอยู่ในน้ำที่ใช้ผสมคอนกรีต หิน ทราย (โดยเฉพาะอย่างยิ่งในทรายจากแหล่งใกล้ทะเล) หรือน้ำยาผสมคอนกรีตบางชนิด เช่น แคลเซียมคลอไรด์ ที่มีอยู่ในสารก่อตัว อย่างไรก็ตาม ได้มีการกำหนดมาตรฐานไว้สำหรับปริมาณคลอไรด์ที่ยอมรับได้ในคอนกรีตสด (วสท. 1014-40) แต่ปัญหาของคลอไรด์ที่กระทบต่อความทนทานของคอนกรีตนั้น ส่วนมากจะมาจากภายนอกคอนกรีตในช่วงที่ใช้งาน เช่น จากน้ำทะเล จากดินและน้ำใต้ดิน

คลอไรด์ (Cl) เป็นไอออนที่พบได้ทั่วไปในแหล่งน้ำธรรมชาติโดยที่ที่มีความเข้มข้นแตกต่างกันตามลักษณะภูมิประเทศ กล่าวคือ ในน้ำผิวดินทั่วไปอาจพบในความเข้มข้นไม่มาก แต่ในพื้นที่ที่มีน้ำกร่อยหรือพื้นที่ดินเค็มอาจจะพบในความเข้มข้นสูง ในน้ำใต้ดินบางแห่งอาจมีความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์สูงจนสามารถทำนาเกลือได้ ปัญหาดินเค็มและน้ำใต้ดินเค็มเป็นปัญหาสำคัญของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ในมาตรฐานคุณภาพน้ำดื่มมีการควบคุมปริมาณคลอไรด์เช่นเดียวกับความกระด้าง นอกเหนือจากนี้ในการตรวจสอบคุณภาพน้ำสำหรับผสมคอนกรีตก็มีการตรวจสอบปริมาณคลอไรด์ เนื่องจาก NaCl มีผลต่อคุณภาพของคอนกรีต



รูปที่ 1 ค่าคลอไรด์ในน้ำบาดาลของภาคอีสาน

โดยวิธีการทดสอบคลอไรด์ของทรายตามวิธีการเดิมจะต้องส่งทดสอบที่ห้องปฏิบัติการภายนอก เช่น บจก.สยามวิจัยและพัฒนา ซึ่งต้องใช้เวลา (อย่างน้อย 14 วัน) และเสียค่าใช้จ่ายสูง (ประมาณ 5,000

บาท) ทำให้ไม่สะดวกในการปฏิบัติงานที่ควรมีการทดสอบเป็นระยะ ๆ ในพื้นที่ที่มีปัญหาดินและน้ำใต้ดินเค็ม

จึงมีการศึกษาและพัฒนาวิธีการทดสอบคลอไรด์ของทรายที่สะดวกขึ้นและสามารถทำได้ที่ภาคสนาม (Field Test) โดยอาศัยหลักการทำปฏิกิริยากับสารเคมีบางชนิด โดยศึกษาความเป็นไปได้และเปรียบเทียบผลกับวิธีมาตรฐานในห้องปฏิบัติการ

2. กำหนดงานที่จะทำ

2.1 พิจารณาและประเมินผลแต่ละทางเลือก

จากปัญหาดังกล่าว ได้พิจารณาคัดเลือกแนวทางป้องกันปัญหาไว้ 3 แนวทาง ดังนี้

- 1) ระวังการใช้ทรายแหล่งที่มีค่าคลอไรด์ค่อนข้างสูงหรืออยู่ในพื้นที่ที่มีสภาพดินหรือน้ำใต้ดินเค็ม: ลักษณะทรายที่ก่อให้เกิดปัญหาโดยส่วนใหญ่จะอยู่ในพื้นที่ที่มีสภาพดินหรือน้ำใต้ดินเค็ม และเมื่อกองไว้จนน้ำระเหยออกจะมีคราบเกลือขึ้นบริเวณผิวหน้า ซึ่งไม่เหมาะสมอย่างยิ่งที่จะนำทรายลักษณะดังกล่าวมาใช้ในการผลิตคอนกรีต เพราะมีความเสี่ยงสูงต่อการเกิดปัญหาเหล็กเสริมเป็นสนิมในระยะเวลาอันรวดเร็ว ซึ่งจำเป็นต้องมีการตรวจสอบอย่างละเอียด เพื่อให้มั่นใจก่อนการนำมาใช้งาน และต้องมีการตรวจสอบเป็นระยะเพื่อให้มั่นใจ
- 2) พัฒนาการทดสอบค่าคลอไรด์ของทรายที่สะดวกขึ้นและสามารถทำได้ที่ภาคสนาม (Field Test) โดยอาศัยหลักการทำปฏิกิริยากับสารเคมีบางชนิด ก่อนนำมาใช้ในการผลิตคอนกรีต: เป็นการป้องกันปัญหาที่ต้นเหตุ สามารถทดสอบทรายที่สงสัยว่ามีค่าคลอไรด์ค่อนข้างสูงได้ทันที เพื่อป้องกันการนำวัสดุที่มีปัญหาไปใช้และพบปัญหาภายหลัง และยังสามารถตรวจสอบเป็นระยะเพื่อให้มั่นใจได้
- 3) ออกแบบส่วนผสมคอนกรีตใหม่โดยเลือกใช้วัสดุทดแทนทรายบางส่วน สำหรับทรายที่มีค่าคลอไรด์ค่อนข้างสูงหรืออยู่ใน

พื้นที่ที่มีสภาพดินหรือน้ำใต้ดินเค็ม: โดยการออกแบบให้คอนกรีตมีความทึบน้ำสูง และเสนอข้อแนะนำของระยะหุ้มเหล็กเสริม (Covering) ในการออกแบบโครงสร้างกับผู้ออกแบบเพื่อป้องกันและยืดอายุการเกิดสนิมของเหล็กเสริมออกไป แต่วิธีนี้เป็นทางเลือกที่ปลายเหตุ และสิ้นเปลืองเกินความจำเป็น

2.2 คัดเลือกภาระกิจที่เหมาะสม

จากการประเมินทั้ง 3 ทางเลือก พบว่า ทางเลือกที่ 2) มีความเป็นไปได้ในเชิงธุรกิจมากที่สุด และตอบสนองนโยบายการผลิตคอนกรีตที่มีคุณภาพเพื่อสร้างความพึงพอใจให้กับลูกค้า

3. พัฒนารูปแบบเพื่อปฏิบัติงาน

ศึกษาวิธีการทดสอบมาตรฐานที่มีการใช้งานอยู่ในรายการทดสอบที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำมาประยุกต์สำหรับวิธีการทดสอบที่พัฒนาขึ้นเพื่อทดสอบคลอไรด์ภาคสนาม ซึ่งมีวิธีการที่เกี่ยวข้อง ได้แก่

3.1 การทดสอบปริมาณสารอินทรีย์ที่เจือปนในทราย

3.1.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

สารอินทรีย์ในทรายมักเกิดจากซากพืชและซากสัตว์ที่ผุเน่าแล้ว ถ้าในทรายมีปริมาณสารอินทรีย์มากเกินไปอาจมีผลกระทบต่อการทำงานของปูนซีเมนต์ นอกจากนี้ ยังมีผลทำให้กำลังอัดของคอนกรีตลดลงทั้งนี้เพราะสารอินทรีย์จะมีผลกระทบต่อปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์ ดังนั้นก่อนนำทรายไปผสมคอนกรีตจึงจำเป็นต้องทำการทดสอบประมาณสารอินทรีย์เบื้องต้นเสียก่อน การทดสอบปริมาณสารอินทรีย์เบื้องต้นด้วยวิธีการทดสอบความเข้มข้นของสี (Calorimetric Test) ทำได้โดยการแช่ตัวอย่างในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 3% โดยน้ำหนัก เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วจึงเปรียบเทียบสีของน้ำในขวดที่มีทรายกับสีของสารละลายมาตรฐานหรือแผ่นกระจกสีมาตรฐาน โดยถ้าสีของน้ำในขวดที่มีทรายเข้มกว่าสารละลายมาตรฐานหรือแผ่นกระจกสีมาตรฐานเบอร์ 3 ให้ถือในเบื้องต้นว่าทรายที่นำมาทดสอบนั้นมีสารอินทรีย์เจือปนมาก ไม่เหมาะสมที่จะนำมาผสมทำคอนกรีต ถ้ามี

ความจำเป็นต้องนำมาใช้จริง ๆ ต้องนำทรายนั้นมาล้างจนแน่ใจว่า ปริมาณสารอินทรีย์ที่เจือปนนั้นไม่มากเกินไปกว่าที่กำหนด หรือต้องทำการทดสอบเพิ่มเติมโดยการนำทรายดังกล่าวมาทำก้อนมอร์ต้าเพื่อทดสอบกำลังอัด ทั้งนี้เพราะไม่ใช่สารอินทรีย์ทุกชนิดที่เป็นอันตรายต่อคอนกรีต สีที่เข้มผิดปกตินั้นอาจเนื่องมาจากทรายดังกล่าวมีแร่เหล็กมาก

การทดสอบปริมาณสารอินทรีย์ที่เจือปนในทรายนั้นต้องทำทุกครั้งเมื่อมีการเปลี่ยนแหล่งหินทรายใหม่ ซึ่งจะกระทำบ่อยเพียงใด ย่อมขึ้นอยู่กับความสม่ำเสมอของคุณสมบัติของทราย และเมื่อเวลาใดก็ตามที่คอนกรีตเกิดการแข็งตัวชำรุดปกติ

3.1.2 วิธีการทดสอบ

- 1) เตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยทำการละลายสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 3 ส่วนต่อน้ำ 97 ส่วน โดยน้ำหนักจะได้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 3%
- 2) นำทรายมาชั่งน้ำหนักประมาณ 450 กรัม จากนั้นใส่ทรายลงในขวดให้ได้ปริมาณ 130 มล.
- 3) เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 3% ให้ได้ปริมาตรรวมกับทรายถึงระดับ 200 มล. แล้วเขย่าใส่ฟองอากาศ จากนั้นปรับปริมาณสารละลายอีกครั้ง จนกระทั่งปริมาตรของทรายและสารละลายอยู่ที่ 200 มล. หลังการเขย่า
- 4) ปิดฝาขวดแก้วเขย่าแรง ๆ จนทรายและสารละลายเข้ากัน แล้วตั้งขวดแก้วทิ้งไว้ประมาณ 24 ชม.
- 5) เตรียมสารละลายมาตรฐานเพื่อเทียบสีโดยละลายผงโพแทสเซียมโครเมต (K_2CrO_4) ในกรดซัลฟูริกเข้มข้น (H_2SO_4) ในอัตรา 0.25 กรัมต่อกรด 100 มล. ซึ่งจะต้องเตรียมก่อนการใช้เทียบสีไม่เกิน 2 ชม. หรือใช้แผ่นกระจกสีมาตรฐานเบอร์ 3 ที่ได้รับการสอบเทียบเรียบร้อยแล้ว
- 6) นำของเหลวในขวดที่มีทรายมาเปรียบเทียบสีกับสารละลายมาตรฐานหรือแผ่นกระจกสีมาตรฐานเบอร์ 3

- 7) ถ้าสีของของเหลวเข้มกว่าสารละลายมาตรฐานหรือสีมาตรฐาน เบอร์ 3 ในแผ่นกระจกสีให้ถือว่าทรายที่นำมาทดสอบมีสารอินทรีย์เจือปนมา จึงไม่เหมาะสมที่จะนำมาผสมคอนกรีต ถ้าจำเป็นต้องนำมาผสมคอนกรีต จะต้องทำการทดสอบกำลังอัดของมอร์ต้า ก่อนที่จะนำทรายดังกล่าวไปใช้งานคอนกรีต

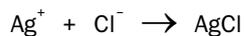
3.2 การทดสอบคลอไรด์ในห้องปฏิบัติการ

3.2.1 หลักการวิเคราะห์

ในการวิเคราะห์หาวิธีที่นิยมใช้ 2 วิธี คือ

- 1) วิธีไทเทรต โดยใช้สารละลายมาตรฐาน AgNO_3 สามารถวิเคราะห์หาคลอไรด์ในช่วง 2 mg/l เป็นต้นไป ใช้ในการวิเคราะห์น้ำตัวอย่างทั่วไป
- 2) วิธีไอออนโครมาโทกราฟี โดยใช้เครื่องไอออนโครมาโทกราฟี (CI) วิธีนี้สามารถวิเคราะห์หาไอออนอื่น ๆ ได้ในเวลาพร้อมกัน เช่น F^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , ortho-phosphate วิธีนี้จะใช้สำหรับการวิเคราะห์น้ำสะอาดเพราะมีช่วงการตรวจวิเคราะห์ที่ได้ต่ำถึง 0.1 mg/l เช่น การวิเคราะห์น้ำฝน น้ำจากเครื่องกลั่น หรือระบบ RO

ในห้องปฏิบัติการโดยทั่วไปจะใช้วิธีไทเทรตด้วย AgNO_3 คลอไรด์ในน้ำตัวอย่างจะทำปฏิกิริยากับ Ag^+ หรือ ในสภาวะที่เป็นกรดตั้งสมการ



ในการบอกจุดยุติจะอาศัยการเปลี่ยนสีของอินดิเคเตอร์ผสมระหว่างไดฟีนิลคาร์บาโซนกับบรอมฟีนอลบลู โดยจะให้สีม่วงที่จุดยุติอย่างชัดเจน



รูปที่ 2 อุปกรณ์ทดสอบคลอไรด์ในห้องปฏิบัติการ

3.2.2 สารเคมี

- 1) สารละลายมาตรฐาน 0.1 N AgNO_3
- 2) สารละลาย mix indicator
- 3) สารละลายกรดไนตริก 0.1 N
- 4) สารละลายมาตรฐาน 1000 mg/ Cl^-

3.2.3 วิธีวิเคราะห์

- 1) ปิเปตน้ำตัวอย่าง 50 ml ลงใน ฟลาสค์
- 2) หยด mix indicator 10 หยด จะได้สารละลายสีม่วงแดง
- 3) หยดกรดไนตริกลงในฟลาสค์พร้อมกับผสมให้เข้ากันตลอดเวลาจนอินดิเคเตอร์เปลี่ยนจากสีม่วงแดงเป็นสีเหลืองอ่อนแสดงว่าน้ำมี pH ประมาณ 2.5
- 4) ทำการไทเทรตด้วยสารละลาย 0.1 N AgNO_3 จนกระทั่งถึงจุดยุติที่สีเหลืองเปลี่ยนเป็นสีม่วงอย่างชัดเจน
- 5) บันทึกปริมาตรของสาร 0.1 N AgNO_3 ที่ใช้ในการไทเทรตเพื่อนำไปคำนวณหาปริมาณคลอไรด์

* หากน้ำตัวอย่างมีคลอไรด์ความเข้มข้นสูงควรลดปริมาตรน้ำตัวอย่างให้น้อยลง

** ทำ Blank โดยการใช้น้ำบริสุทธิ์แทนน้ำตัวอย่างแล้วบันทึกปริมาตรที่ทำให้อินดิเคเตอร์เปลี่ยนเป็นสีม่วงเป็นค่า blank (B) เพื่อนำไปใช้ในการคำนวณ

*** ทำการตรวจสอบความถูกต้องของการวิเคราะห์โดยไทเทรตสารละลายมาตรฐาน Cl 1000 mg/l

3.2.4 การคำนวณ

$$\text{Chloride (Cl}^-) \text{ mg/l} = \frac{V \times N \times 35450}{\text{ml sample}}$$

V = ปริมาตรของสารละลายมาตรฐาน
AgNO₃ ที่ใช้ในการไทเทรต

N = normality ของสารละลายมาตรฐาน
AgNO₃ คือ 0.1 N

4. วิธีการเพื่อให้งานสำเร็จ

หลักการทำปฏิกิริยากับสารเคมีบางชนิด เป็นการทดสอบความเข้มของสี (Calorimetric Test)

4.1 การทดสอบคลอไรด์ภาคสนาม (Field Test)

ใช้หลักการทำปฏิกิริยากับสารเคมีบางชนิด ได้แก่

- 1) ซิลเวอร์ไนเตรต (AgNO₃)
- 2) โพแทสเซียมโครเมต (K₂CrO₄)
- 3) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Na(OH))

เป็นการประยุกต์มาจากวิธีไทเทรตแต่ไม่ต้องการความละเอียดมากนักโดยใช้สารละลายที่เกี่ยวข้องจากการทดสอบสารอินทรีย์ที่เจือปนในทรายและการทดสอบด้วยวิธีไทเทรตและสังเกตการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นที่ค่อนข้างชัดเจน



รูปที่ 3 สารละลายที่ใช้ทดสอบคลอไรด์ภาคสนาม

4.2 การทำปฏิกิริยากับคลอไรด์

- 1) ซิลเวอร์ไนเตรต (AgNO₃)
สารละลาย AgNO₃ เมื่อหยดใส่สารละลายมาตรฐาน (โซเดียมคลอไรด์) ทำปฏิกิริยาได้

ตะกอนสีขาวขุ่น เมื่อทิ้งไว้จะตกตะกอนเป็นสีเทาเงิน

- 2) โพแทสเซียมโครเมต (K₂CrO₄)
สารละลาย K₂CrO₄ เมื่อหยดใส่สารละลายมาตรฐาน (โซเดียมคลอไรด์) ไม่สังเกตพบการเปลี่ยนแปลง
- 3) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Na(OH))
สารละลาย Na(OH) เมื่อหยดใส่สารละลายมาตรฐาน (โซเดียมคลอไรด์) ไม่สังเกตพบการเปลี่ยนแปลง



รูปที่ 4 การทำปฏิกิริยากับคลอไรด์ของสารละลายแต่ละชนิด

4.3 การทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่าง Ag⁺ กับ Cl⁻

1. เตรียมสารละลาย Cl⁻ ความเข้มข้น 100, 200, 300, 400, 500, 750 และ 1000 mg/l ปริมาตรตัวอย่างละ 100 ml ใส่ในปิเปกเกอร์ขนาด 250 ml
2. หยดสารละลาย AgNO₃ 0.1 M ลงในสารละลาย Cl⁻ ที่เตรียมไว้ ทีละ 1 หยด จะเกิดตะกอนสีขาวขุ่น แกว่งปิเปกเกอร์ให้ Ag⁺ กับ Cl⁻ ทำปฏิกิริยากันจนหมด
3. ทำซ้ำตามข้อ 2. จนกระทั่ง ไม่มีตะกอนเกิดขึ้นเพิ่มอีก
4. นับจำนวนหยด AgNO₃ 0.1 M ที่ทำปฏิกิริยาพอดีกับสารละลาย Cl⁻ แต่ละตัวอย่าง
5. หาความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนหยด AgNO₃ 0.1 M กับความเข้มข้น Cl⁻



รูปที่ 5 ตะกอนสีขาวขุ่นที่เกิดขึ้นกับสารละลาย Cl^- แต่ ละความเข้มข้น



รูปที่ 6 ตัวอย่างทรายที่แช่น้ำกลั่นแล้ว 24 ชั่วโมง

4.4 การทดสอบคลอไรด์ในทราย

ทำโดยการเตรียมตัวอย่างทรายแห้ง 200 กรัม แซ่ตัวอย่างทรายในน้ำกลั่น 200 กรัมเท่ากัน เป็น เวลา 24 ชั่วโมง เพื่อให้ Cl^- จากทรายละลายในน้ำ กลั่น ซึ่งเป็นระยะเวลาเดียวกับการทดสอบสารอินทรีย์ ในทราย แล้วจึงกรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1 เพื่อ กรองฝุ่นละอองและสิ่งสกปรกที่อยู่ในทราย ก่อนนำมา ทดสอบกับสารละลายที่เตรียมไว้ และสังเกตการ เปลี่ยนแปลง



รูปที่ 7 ตัวอย่างน้ำแช่ทราย 24 ชั่วโมง ที่กรองผ่าน กระดาษกรองเบอร์ 1 แล้ว

5. การปฏิบัติตามแผนงาน

แผนงาน	2546						2547					
	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.
1.ศึกษามาตรฐานคลอไรด์ในทรายและ ในคอนกรีต	█											
2.ศึกษาการทดสอบคลอไรด์ ตามวิธีมาตรฐาน				█								
3.พัฒนาวิธีการใหม่ในการทดสอบคลอไรด์ ของทรายแบบง่าย ๆ							█					
4.ทดสอบคลอไรด์ของทรายภาคสนามจริง เปรียบเทียบผลกับวิธีมาตรฐาน										█		
5.สรุปผลวิธีการทดสอบคลอไรด์ภาคสนาม												█
												█

6. การตรวจสอบผล

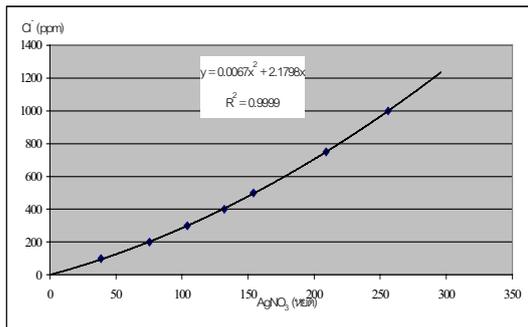
6.1 ผลการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่าง Ag^+ กับ Cl^-

จากวิธีการที่เสนอตาม ข้อ 4.2 ได้ความสัมพันธ์ดังรูป

จากรูปเมื่อหาความสัมพันธ์เป็นสมการได้ดังนี้

$$Cl^- = 0.0067X^2 + 2.1798X$$

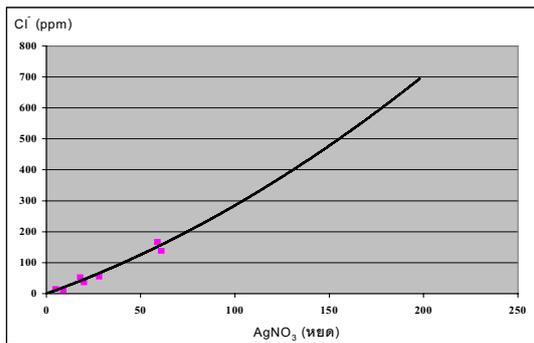
โดยที่ X = จำนวนหยด $AgNO_3$ 0.1 M ที่ทำปฏิกิริยาพอดีกับน้ำตัวอย่าง



รูปที่ 8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $AgNO_3$ กับ Cl^-

6.2 ผลการทดสอบคลอไรต์ในน้ำบาดาล

จากการทดสอบคลอไรต์ในน้ำบาดาลด้วยวิธีที่เสนอเปรียบเทียบกับผลการทดสอบจาก SRD ได้ผลดังรูป

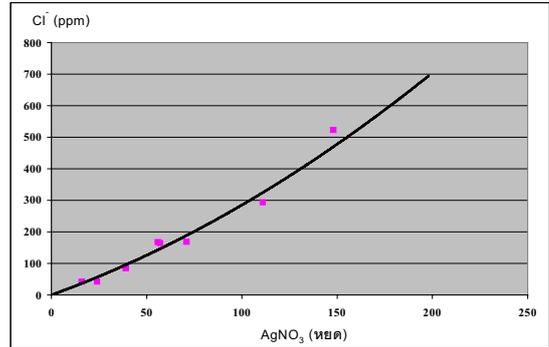


รูปที่ 9 ผลทดสอบคลอไรต์ในน้ำบาดาลด้วยวิธีที่เสนอเปรียบเทียบกับผลการทดสอบจาก SRD

ค่าความผิดพลาดของวิธีที่เสนอจากการทดสอบคลอไรต์ในน้ำบาดาลมีค่าไม่เกิน ± 20 mg/l

6.3 ผลการทดสอบคลอไรต์ในทราย

จากการทดสอบคลอไรต์ในทรายด้วยวิธีที่เสนอเปรียบเทียบกับผลการทดสอบจาก SRD ได้ผลดังรูป



รูปที่ 10 ผลทดสอบคลอไรต์ในทรายด้วยวิธีที่เสนอเปรียบเทียบกับผลการทดสอบจาก SRD

ค่าความผิดพลาดของวิธีที่เสนอจากการทดสอบคลอไรต์ในทรายมีค่าไม่เกิน ± 55 mg/kg

7. การกำหนดมาตรฐาน

ข้อกำหนดคุณภาพคอนกรีตของ วสท. กำหนดปริมาณคลอไรต์รวมในคอนกรีตผสมเสร็จไว้ไม่เกิน 0.3 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตรคอนกรีต โดยถ้าคำนวณปริมาณคลอไรต์จากเฉาะทรายและน้ำ ซึ่งเป็นสาเหตุหลักของภาคีสานแล้ว ค่าคลอไรต์สูงสุดที่ยอมให้ของทรายจะมีค่าประมาณ 260 mg/kg

ดังนั้นวิธีการทดสอบคลอไรต์ภาคสนาม (Field Test) ที่เสนอ สามารถใช้ตรวจสอบคลอไรต์ในทรายก่อนนำมาใช้ผสมคอนกรีตได้ โดยเมื่อค่าความผิดพลาด ± 55 mg/kg หรือไม่เกิน 200 mg/kg โดยวิธีการทดสอบคลอไรต์ภาคสนาม

โดยน้ำที่ได้หลังจากแช่ตัวอย่างทรายในน้ำกลั่นเป็นเวลา 24 ชั่วโมง และกรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1 แล้ว เมื่อเปรียบเทียบสีของน้ำกับสีของสารละลายมาตรฐานหรือแผ่นกระจกสีมาตรฐานต้องไม่เข้มเกินเบอร์ 3 จึงสามารถทดสอบคลอไรต์ในทรายโดยวิธีการทดสอบคลอไรต์ภาคสนามได้ โดยมีค่าความผิดพลาดไม่เกิน ± 55 mg/kg

กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้ตามวัตถุประสงค์ได้ด้วยความช่วยเหลือจากกลุ่มบุคคลดังนี้ คือคุณนฤชา เกษมสำราญ ผู้จัดการพัฒนาผลิตภัณฑ์ ที่เป็นที่ปรึกษา และให้คำแนะนำการดำเนินการโครงการนี้ และ พนักงานในหน่วยงานพัฒนาผลิตภัณฑ์ ในความช่วยเหลือในการทำการทดสอบ และข้อมูลทางเทคนิค และ คุณนิติเทพ ไชยช่วย บริษัทสยามวิจัยและพัฒนา จำกัด ที่ได้ให้คำแนะนำเกี่ยวกับข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่อการดำเนินการ

เอกสารอ้างอิง

- บริษัทผลิตภัณฑ์และวัตถุดิบก่อสร้าง จำกัด, “คู่มือการทดสอบ หิน ทราย และคอนกรีต”, 2541.
- คณะอนุกรรมการคอนกรีตและวัสดุ, “ความคงทนของคอนกรีต”, 2543.
- ส่วนคอนกรีตเทคโนโลยี, “เอกสารประกอบหลักสูตรการฝึกอบรมคอนกรีตเทคโนโลยีแบบบูรณาการ สำหรับวิศวกร เรื่อง การออกแบบส่วนผสมคอนกรีต”, 2545.