

การพัฒนาคอนกรีตเข็มเจาะเล็กสำหรับพื้นที่ จ.สมุทรปราการ

อภิรัตน์ ลีลาพฤทธิ

ผู้จัดการส่งเสริมคุณภาพ CPAC ภาคใต้ 2

กิจการ CPAC ภาคใต้

บทคัดย่อ: การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นการผลักดันให้เจ้าของงานและผู้รับเหมาก่อสร้างได้ให้ความสำคัญในการเลือกคอนกรีตสำหรับการก่อสร้างให้เหมาะสมกับสภาพการใช้งานและสภาพปัจจัยแวดล้อมของพื้นที่ที่ก่อสร้างเพื่อเป็นการยืดอายุการใช้งานของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก สืบเนื่องจากข้อมูลการค้นคว้าทางธรณีวิทยาในประเทศไทยของกรมทรัพยากรธรณีพบว่าพื้นที่บริเวณ กรุงเทพฯ และปริมณฑลรอบข้างเช่น จังหวัดสมุทรปราการ จังหวัดสมุทรสาคร ลักษณะชั้นดินมีสภาพเป็นตะกอนชายฝั่งทะเล ดินเหนียวทะเล และตะกอนเปลือกหอย ที่ระดับชั้นความลึกประมาณ 0-40 เมตร ซึ่งยังคงมีปริมาณคลอไรด์ และซัลเฟตตกค้างอยู่ในดินมากน้อยขึ้นอยู่กับสภาพพื้นที่ อีกทั้งยังมีปริมาณซัลเฟตบางส่วนจากน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรมซึ่งมีอยู่มากมายในพื้นที่ จังหวัดสมุทรปราการ และจังหวัดสมุทรสาคร ซึ่งเป็นตัวเสริมให้ปริมาณซัลเฟตในดินมีค่าเพิ่มสูงขึ้น ดังนั้นโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กในพื้นที่ดังกล่าว ที่ต้องสัมผัสพื้นดินและสัมผัสชั้นดินที่ระดับความลึก 0-40 เมตร จำเป็นที่จะต้องเลือกใช้คอนกรีตที่มีคุณสมบัติพิเศษเพิ่มเติมคือ การต้านทานต่อการกัดกร่อนของซัลเฟต และการต้านทานต่อการซึมผ่านของคลอไรด์ได้นอกเหนือจากข้อกำหนดเดิมที่ต้องการเฉพาะค่ากำลังอัด และค่ายุบตัว

โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่ต้องสัมผัสพื้นดินส่วนใหญ่คือ เสาเข็ม ฐานราก ตอม่อ และคานคอดิน เป็นต้น ซึ่งในบางโครงสร้างสามารถเลือกใช้คอนกรีตพิเศษที่ซีแพคได้ออกแบบและพัฒนาไว้แล้วคือ คอนกรีตชายฝั่งทะเล หรือ คอนกรีตทนซัลเฟตเป็นต้น แต่ในส่วนของเสาเข็มนั้นปัจจุบันยังไม่มีพัฒนาให้สามารถทนทานต่อสภาวะแวดล้อมดังกล่าวได้ ซึ่งจากการตรวจสอบสภาพพื้นที่ของ จ.สมุทรปราการ พบว่าการใช้งานเสาเข็มจะมีการใช้งานอยู่ 3 ประเภทคือ เข็มตอก (เสาเข็มอัดแรงสำเร็จรูป) เข็มเจาะใหญ่ และเข็มเจาะเล็ก ซึ่งงานเข็มตอก และเข็มเจาะใหญ่ส่วนใหญ่จะเป็นงานก่อสร้างโรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่และการก่อสร้างระบบสาธารณูปโภคขนาดใหญ่ ซึ่งมีอยู่แค่ประมาณ 20 % แต่งานเสาเข็มส่วนใหญ่ใน จ.สมุทรปราการ จะเป็นงานเข็มเจาะเล็ก ซึ่งมีความเหมาะสมและความสะดวกในการใช้งานมากกว่า เนื่องจากลักษณะพื้นที่ของ จ.สมุทรปราการจะเป็นชุมชนย่อยอยู่กันค่อนข้างหนาแน่นในตรอกและซอย ดังนั้นจึงไม่สามารถขนย้ายเสาเข็มสำเร็จรูปและเครื่องจักรขนาดใหญ่เข้าถึงจุดก่อสร้างได้ อีกทั้งความลึกในการขุดเจาะจะอยู่ที่ระดับชั้นความลึก 20-40 เมตร (จากข้อมูลกรม.งานเข็มเจาะเล็กในพื้นที่และข้อมูลชั้นดินใน จ.สมุทรปราการ) ซึ่งที่ระดับชั้นความลึกดังกล่าวยังมีความเสี่ยงจากผลกระทบจากซัลเฟต สำหรับโครงสร้างใต้ดินและผลกระทบจากคลอไรด์ สำหรับคอนกรีตใกล้บริเวณผิวดิน

ดังนั้นในการศึกษานี้จะมุ่งเน้นในการวิจัยและพัฒนาเฉพาะคอนกรีตสำหรับงานเข็มเจาะเล็ก ซึ่งผลจากการศึกษานี้จะพบว่าคอนกรีตสำหรับงานเข็มเจาะเล็กที่ใช้อยู่ปัจจุบันยังไม่มีคุณสมบัติการต้านทานต่อการกัดกร่อนของซัลเฟต และความสามารถในการต้านทานการซึมผ่านของคลอไรด์ที่เพียงพอกับสภาพแวดล้อมของ จังหวัดสมุทรปราการ

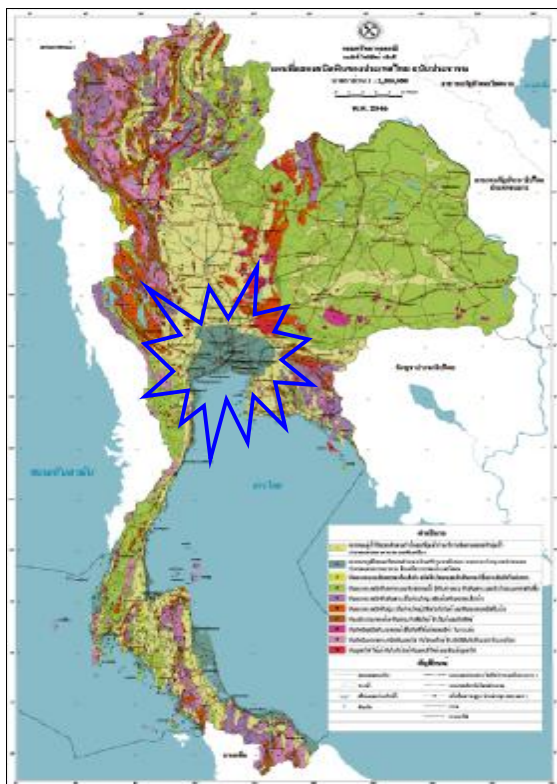
1. เข้าใจในนโยบายของผู้บริหาร

จากนโยบายของบริษัทฯ ที่มุ่งเน้นให้วิศวกรแต่ละพื้นที่ได้ศึกษาและพัฒนาคอนกรีตให้เหมาะสม กับสภาพการใช้งานและปัจจัยต่างๆในแต่ละพื้นที่ อีกทั้งเพื่อเป็นการเผยแพร่ความรู้ด้านคอนกรีตเทคโนโลยีและความรู้ในการเลือกใช้คอนกรีตได้อย่างถูกต้องเหมาะสมกับสภาพการใช้งาน เพื่อให้คนไทยได้ใช้คอนกรีตที่มีคุณภาพดีและเหมาะสมกับสภาพการใช้งานตามแนวทางของ Mr. Concrete Solution อีกทั้งเพื่อเป็นการยกระดับมาตรฐานคุณภาพของสินค้าและสร้างความแตกต่างเหนือคู่แข่ง

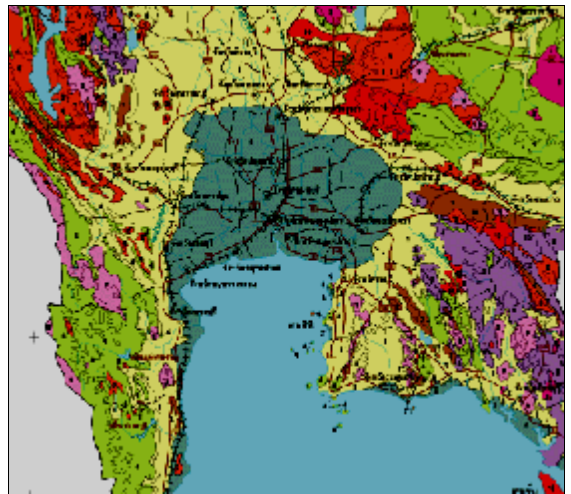
2. กำหนดงานที่จะทำ

2.1 สืบรวจสภาพปัจจุบัน

จากการสำรวจข้อมูลสภาพชั้นดินทางด้านธรณีวิทยาของประเทศไทยซึ่งสำรวจโดยกรมทรัพยากรธรณีพบว่าพื้นที่บริเวณกรุงเทพฯและปริมณฑลรอบข้าง (สมุทรปราการ สมุทรสาคร ฯลฯ)

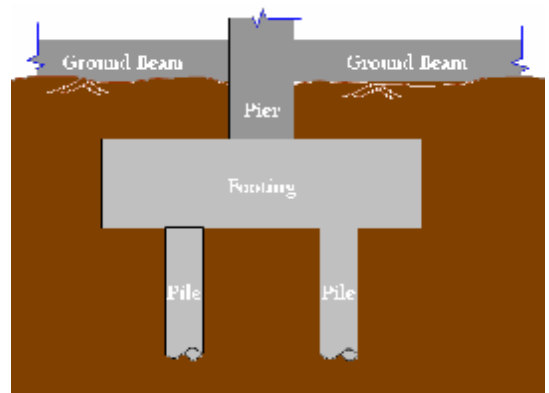


รูปที่ 1 แผนที่ทางธรณีวิทยา ประเทศไทย



รูปที่ 2 แผนที่แสดงชั้นดินบริเวณ กรุงเทพฯ และปริมณฑล

ลักษณะของชั้นดินเป็นตะกอนชายฝั่งทะเล ตะกอนดินเหนียว และตะกอนของเปลือกหอย ซึ่งยังมีปริมาณของคลอไรด์และซัลเฟต หลงเหลืออยู่ในดินในปริมาณมากน้อยขึ้นอยู่กับแต่ละพื้นที่ โดยมีความลึกเฉลี่ยของชั้นตะกอนดินเหนียวชายฝั่งทะเล จะอยู่ที่ 0-40 เมตรจากผิวดิน ดังนั้นผลกระทบจากปัจจัยดังกล่าว จะมีผลกระทบโดยตรงกับโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่สัมผัสกับพื้นดินรวมถึงโครงสร้างที่อยู่ใต้ดินที่ชั้นความลึกดังกล่าว เช่น เสาเข็ม ฐานรากคานคอดิน และตอม่อ เป็นต้น



รูปที่ 3 โครงสร้างที่ต้องสัมผัสกับดิน

ซึ่งโครงสร้าง ฐานราก คานคอดิน และตอม่อ ปัจจุบันสามารถใช้คอนกรีตที่ซีแพคได้มีการพัฒนาและมีการใช้งานไปแล้ว เช่น คอนกรีตทนซัลเฟต (Sulphate - Resisting Concrete) ,คอนกรีตชายฝั่งทะเล (Marine - Concrete) เป็นต้น แต่ในส่วนของเสาเข็มนั้น ปัจจุบัน

ยังไม่มีการพัฒนาคอนกรีตที่มีความสามารถในการต้านทานต่อการกัดกร่อนของซัลเฟต และการซึมผ่านของคลอไรด์

ปัจจุบันงานเสาเข็มจะมีอยู่ 2 ประเภท คือ เสาเข็มตอกหรือเสาเข็มที่หล่อในที่ (Pre-Stress-Concrete) และเสาเข็มเจาะ (Bore Pile) ซึ่งในส่วนของเสาเข็มเจาะยังสามารถแบ่งออกได้เป็นอีก 2 ประเภท ตามกระบวนการเจาะและขนาดของเสาเข็ม คือ เข็มเจาะเล็ก และเข็มเจาะใหญ่ ซึ่งจากสำรวจข้อมูลในพื้นที่ จ.สมุทรปราการ พบว่าการก่อสร้างในพื้นที่ส่วนใหญ่ งานเข็มเจาะใหญ่จะใช้กับงานโครงการขนาดใหญ่เช่น โรงงานอุตสาหกรรม และงานระบบสาธารณูปโภค

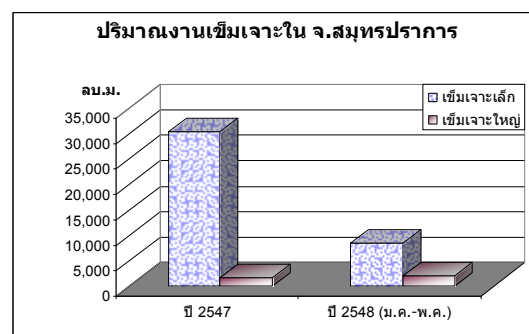


รูปที่ 4 การขุดเจาะเข็มเจาะใหญ่ของโครงการขนาดใหญ่ ใน จ.สมุทรปราการ

แต่ถ้าเป็นงานขนาดเล็กเกือบ 100% จะใช้เข็มเจาะเล็ก เพราะจากลักษณะพื้นที่ จ.สมุทรปราการ จะเป็นชุมชนขนาดเล็กกระจายอยู่ทั่วไปตาม ตรอก ซอย ต่างๆ ดังนั้นในการก่อสร้างหรือต่อเติมจึงไม่สะดวกที่จะใช้เสาเข็มตอก เนื่องจากไม่สามารถขนส่งเสาเข็มเข้าไปตาม ตรอก ซอย ได้ อีกทั้งลักษณะชุมชนที่มีบ้านเรือนหนาแน่นมาก การใช้เสาเข็มตอกจะเกิดแรงสั่นสะเทือนจากการตอกเข็มนรบกวนบ้านเรือนหรืออาคารใกล้เคียง ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อโครงสร้างใกล้เคียงเกิดการแตกร้าวได้

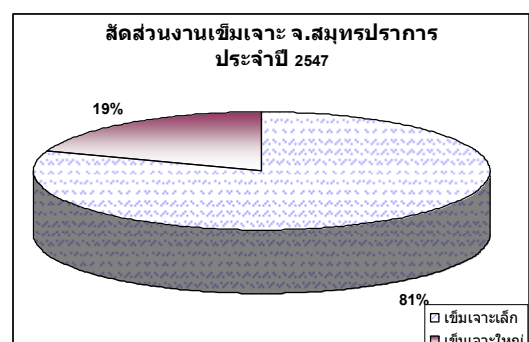


รูปที่ 5 การขุดเจาะเข็มเจาะเล็กซึ่งพบเห็นได้ทั่วไปใน จ.สมุทรปราการ



รูปที่ 6 ยอดผลิตงานเข็มเจาะเล็กเปรียบเทียบกับเข็มเจาะใหญ่ ใน จ.สมุทรปราการ ปี 2547

ซึ่งยอดผลิตคอนกรีตงานเข็มเจาะใน จ.สมุทรปราการ โดยรวมในปี 2547 ประมาณ 32,000 ลบ.ม. คิดเป็น 6% ของยอดคอนกรีตทั้งหมดของจังหวัดสมุทรปราการ ซึ่งจากยอดผลิตดังกล่าวเป็นเข็มเจาะเล็กถึง 81% และมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นเป็น 40,000 ลบ.ม. ในปี 2548 (ตาม Sale Forecast '48)



รูปที่ 7 สัดส่วนงานเข็มเจาะ จ.สมุทรปราการ ปี 2547

เนื่องจากปริมาณการใช้ซีเมนต์จะเล็กน้อยในพื้นที่ จังหวัดสมุทรปราการ ก่อนข้างสูงเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณการใช้ซีเมนต์ใหญ่ตั้งนั้นในการศึกษาของโครงการนี้จึงมุ่งเน้นเฉพาะคอนกรีตสำหรับงานซีเมนต์เล็กน้อย จังหวัดสมุทรปราการเป็นหลักตั้งนั้นในการศึกษาเบื้องต้นจึงได้ทำการค้นคว้าข้อมูลสภาพพื้นดินเพิ่มเติมจากหน่วยงานราชการที่เกี่ยวข้องเพื่อหาข้อมูลผลการทดสอบสภาพดินและน้ำใต้ดิน ซึ่งจากการตรวจสอบข้อมูลการเจาะสำรวจชั้นดินและตรวจวัดคุณภาพน้ำใต้ดินที่ชั้นความลึกต่างๆของกับกรมทรัพยากรธรณีพบว่าสภาพน้ำใต้ดินของจังหวัดสมุทรปราการ ในหลายพื้นที่ที่อยู่ใกล้ทะเลยังมีปริมาณคลอไรด์และซัลเฟตในปริมาณที่ยังสูงอยู่ ซึ่งถ้าต้องการใช้น้ำเพื่อบริโภคจะต้องเจาะบาดาลถึงชั้นความลึกประมาณ 80 – 100 เมตร แต่เนื่องจากปัจจุบันยังไม่มีหลักเกณฑ์ใดในการกำหนดค่าความรุนแรงของคลอไรด์ที่มีผลต่อคอนกรีตตั้งนั้นในการกำหนดค่าความรุนแรงของคลอไรด์เบื้องต้นจึงได้นำหลักเกณฑ์ที่ได้กำหนดไว้ใน C-Conc เรื่อง “การศึกษาระดับความรุนแรงของสารคลอไรด์และสารซัลเฟตในพื้นที่ภาค 3 (ตต)” มาเป็นเกณฑ์ในการพิจารณาค่าความรุนแรงซึ่งกำหนดไว้ดังนี้

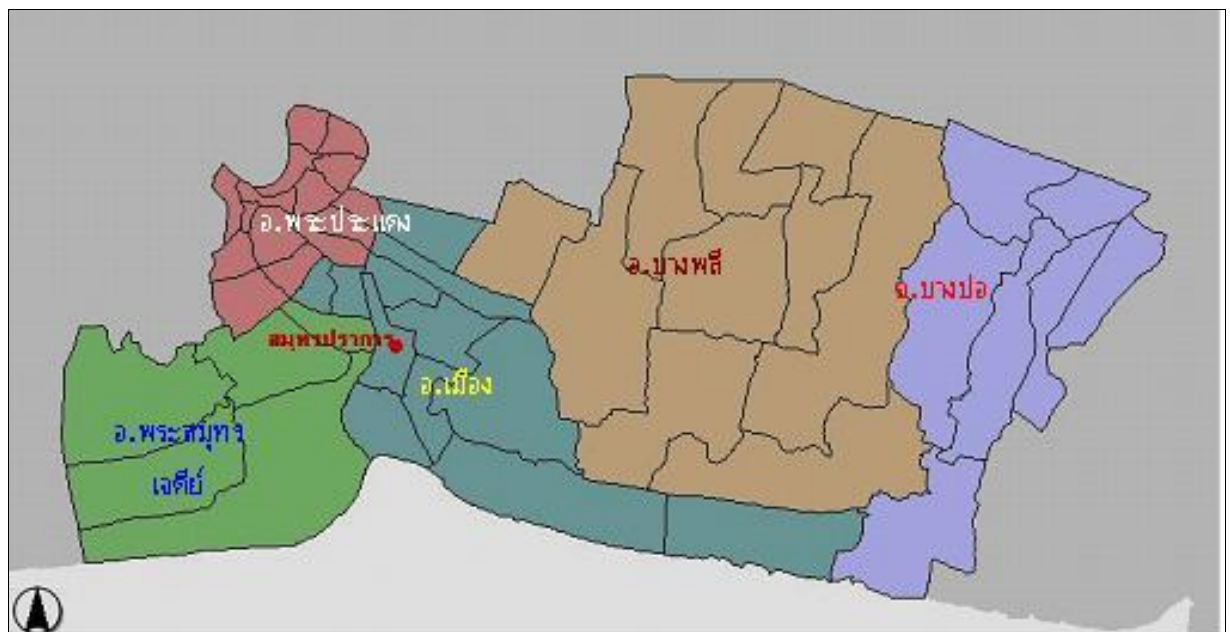
สภาพแวดล้อม คลอไรด์	สารคลอไรด์ในน้ำ (ppm)
เบาบาง	< 1,000
ปานกลาง	1,000 – 10,000
รุนแรง	10,000 – 27,000
รุนแรงมาก	> 27,000

ตารางที่ 1 เกณฑ์การแบ่งระดับความรุนแรงของคลอไรด์ (Cl) ในน้ำ

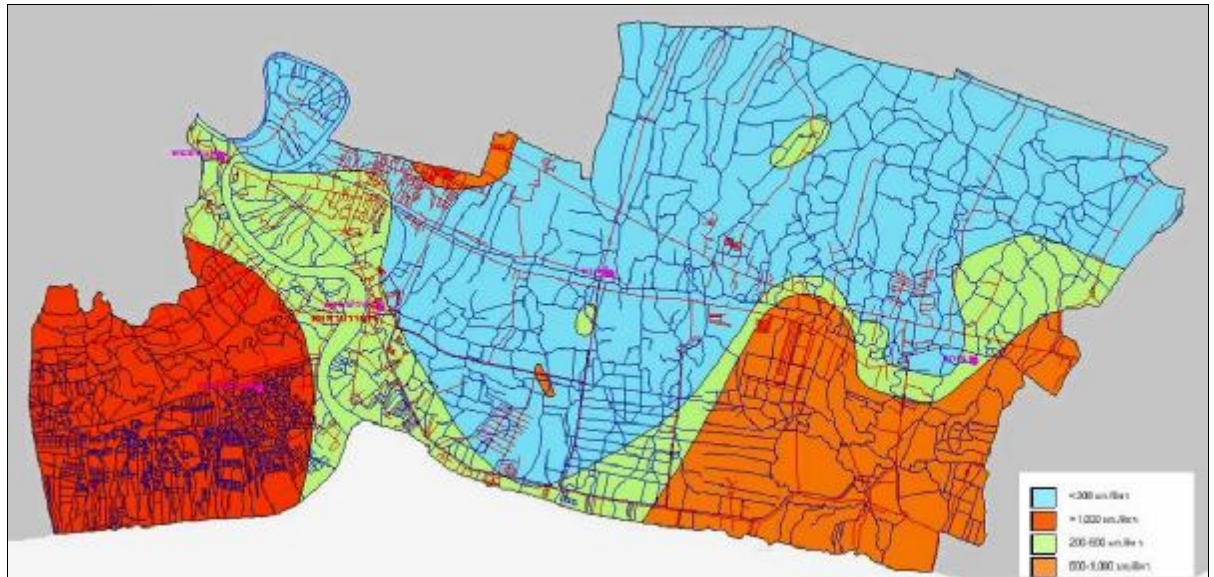
ในส่วนของหลักเกณฑ์ในการกำหนดค่าความรุนแรงสารซัลเฟตในน้ำ ได้อ้างอิงหลักเกณฑ์ตามมาตรฐาน ACI Committee 201 : Guide for Durable Concrete ได้กำหนดหลักเกณฑ์ไว้ดังนี้

สภาพแวดล้อมซัลเฟต	ซัลเฟต (SO ₄) ในน้ำ (ppm)
เบาบาง	0 - 150
ปานกลาง	150 - 1,500
รุนแรง	1,500 - 10,000
รุนแรงมาก	> 10,000

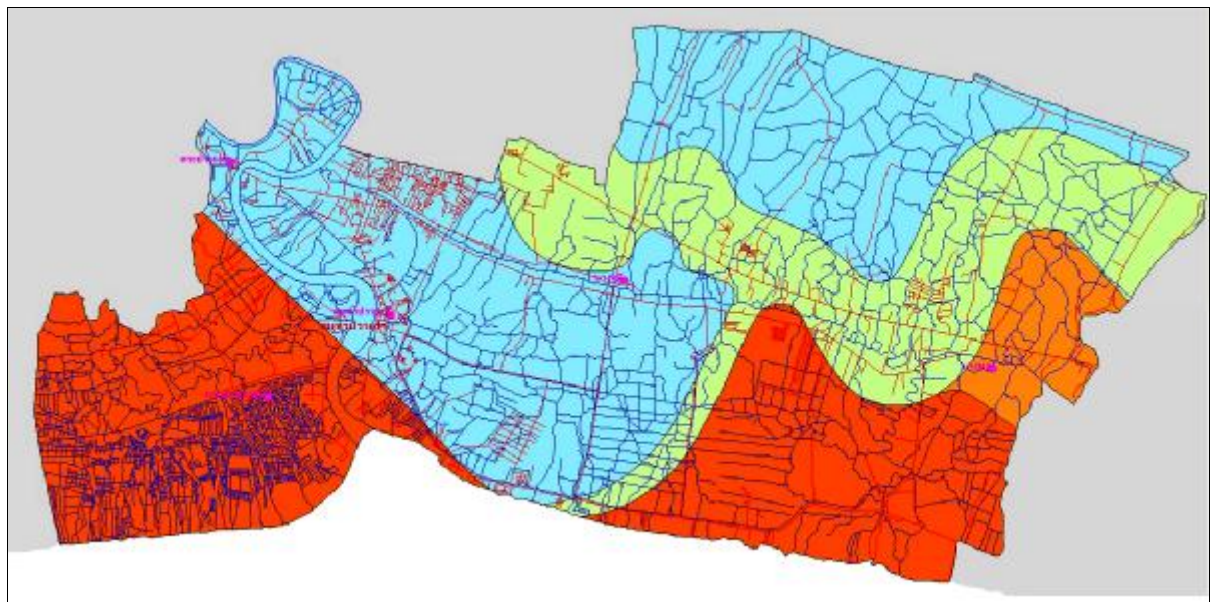
ตารางที่ 2 เกณฑ์การแบ่งระดับความรุนแรงของซัลเฟต (SO₄²⁻) ในน้ำ



รูปที่ 8 แผนที่ จ.สมุทรปราการ แยกเป็นอำเภอ



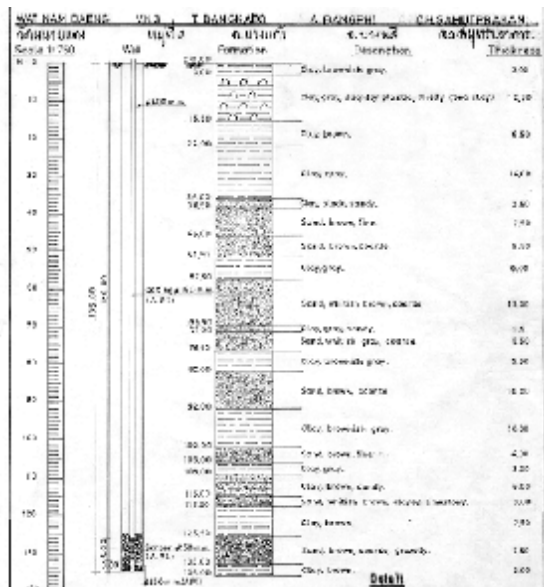
รูปที่ 9 ปริมาณโคลไรต์ในดินที่ความลึกไม่เกิน 150 เมตร



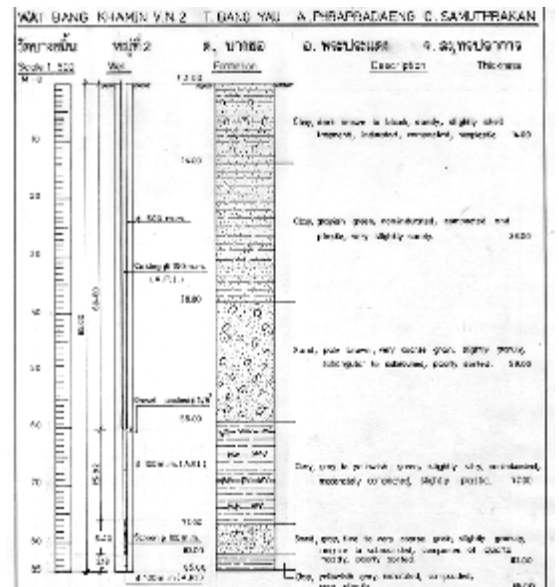
รูปที่ 10 ปริมาณซิลเฟตในดินที่ความลึกไม่เกิน 150 เมตร

จากผลการตรวจวัดปริมาณซิลเฟตและโคลไรต์ดังกล่าว พบว่าค่าความรุนแรงของโคลไรต์และซิลเฟตในหลายพื้นที่อยู่ในระดับปานกลางถึงรุนแรง ซึ่งส่งผลกระทบต่อโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กของเข็มเจาะเล็ก เนื่องจากการขุดเจาะเข็มเจาะเล็กในพื้นที่ จังหวัดสมุทรปราการ นั้น จะขุดเจาะถึงชั้นความ

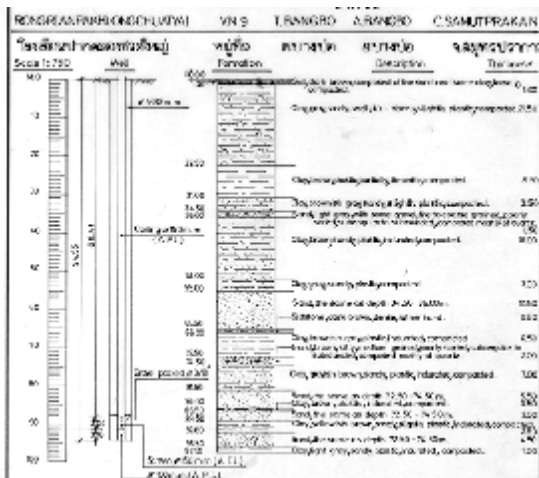
ลึกทรายชั้นแรกซึ่งอยู่ที่ระดับความลึก 20-40 เมตรจากระดับผิวดิน ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องคำนึงถึงผลกระทบจากปัจจัยดังกล่าวมาพิจารณาในการออกแบบคอนกรีตสำหรับเข็มเจาะเล็ก เพื่อใช้งานในพื้นที่ จ.สมุทรปราการ ด้วย



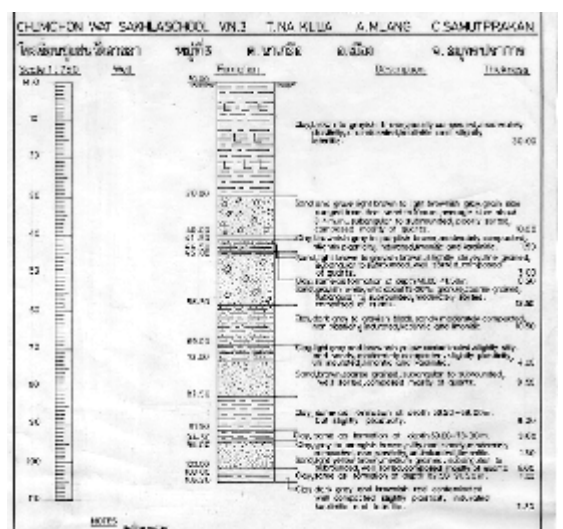
รูปที่ 11 ภาพตัดแสดงชั้นดินของ อ.บางพลี
จ.สมุทรปราการ



รูปที่ 13 ภาพตัดแสดงชั้นดินของ อ.พระประแดง
จ.สมุทรปราการ



รูปที่ 12 ภาพตัดแสดงชั้นดินของ อ.บางบ่อ
จ.สมุทรปราการ



รูปที่ 14 ภาพตัดแสดงชั้นดิน อ.เมือง
จ.สมุทรปราการ

2.2 การตรวจสอบวัดผลในสนาม

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลน้ำใต้ดินดังกล่าวของกรมทรัพยากรธรณี ซึ่งระบุถึงปริมาณคลอไรด์และซัลเฟตที่มีปริมาณสูงในหลายพื้นที่ ดังนั้นเพื่อเป็นการตรวจสอบผล จึงได้มีการสุ่มตัวอย่างน้ำใต้ดินในพื้นที่ต่างๆ จำนวน 3 จุด โดยทำการเก็บตัวอย่างน้ำจากกันหลุมเข็มเจาะเล็ก (ความลึกประมาณ 21-30 เมตร) โดยได้ทำการเก็บตัวอย่างดังนี้

ตัวอย่างที่	สถานที่	ความลึก (m.)	คลอไรด์ (Cl ⁻) (ppm)	ซัลเฟต (SO ₄ ²⁻) (ppm)
1	อ.เมือง	24	14,048	709
2	อ.บางพลี	30	2,949	1,071
3	อ.บางบ่อ	21	7,317	301

จากผลการทดสอบน้ำตัวอย่างที่เก็บจากทั้ง 3 แหล่ง พบว่าปริมาณคลอไรด์และซัลเฟตในน้ำใต้ดินเป็นไปในทิศทางเดียวกันคือปริมาณคลอไรด์และซัลเฟตอยู่ในระดับความรุนแรงปานกลางถึงรุนแรง



รูปที่ 15 การเก็บตัวอย่างน้ำจากกันหลุมเข็มเจาะเพื่อทดสอบหาคลอไรด์และซัลเฟต

3. พัฒนาวิธีการเพื่อให้งานสำเร็จ

ออกแบบส่วนผสมคอนกรีตเข็มเจาะเล็กใหม่ เพื่อให้มีคุณสมบัติเพิ่มเติมด้านการต้านทานการซึมผ่านของคลอไรด์และทนต่อการกัดกร่อนของซัลเฟต พร้อมทั้งตรวจสอบคุณสมบัติที่ต้องการเบื้องต้นของ เข็มเจาะเล็กเพื่อยืนยันผลการออกแบบ โดยคุณสมบัติที่พิจารณามีดังนี้

คุณสมบัติพื้นฐาน

1. กำลังอัดประลัยของคอนกรีตที่อายุ 28 วัน (Compressive Strength)
2. การสูญเสียค่าความยุบตัว (Slump Loss)
3. ระยะเวลาการก่อตัว (Setting Time)
4. ค่ายุบตัวที่เหมาะสม (Slump)

คุณสมบัติพิเศษเพิ่มเติม

1. ความต้านทานต่อการซึมผ่านของคลอไรด์ (Rapid Chloride Test)
2. ความทนทานต่อการกัดกร่อนของซัลเฟต

4. วิธีการเพื่อให้งานสำเร็จ

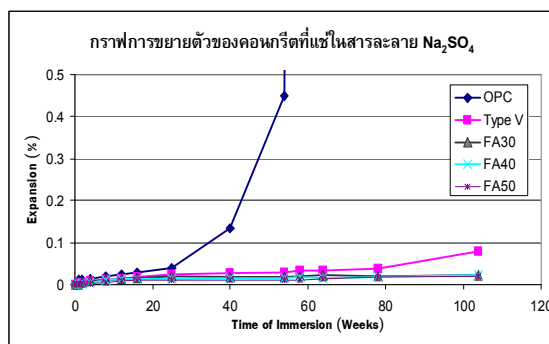
แผนการดำเนินงาน		มี.ค	เม.ย	พ.ค	มิ.ย
1 รวบรวมข้อมูล	P				
	A				
2 เก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินเพื่อทดสอบหาค่าคลอไรด์และซัลเฟต	P				
	A				
3 ออกแบบส่วนผสมคอนกรีต	P				
	A				
4 ทดลองส่วนผสมคอนกรีตและทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีตสดและคอนกรีตแข็งตัวแล้ว	P				
	A				
5 วิเคราะห์และทบทวนผลการทดลอง	P				
	A				
6 กำหนดเป็นมาตรฐาน	P				
	A				

5. การปฏิบัติตามแผนงาน

การออกแบบส่วนผสมคอนกรีต

5.1 คุณสมบัติการทนทานต่อการกัดกร่อนจากซัลเฟต

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวของคอนกรีตกับระยะเวลาที่คอนกรีตสัมผัสกับสารละลายซัลเฟต ซึ่งจะเห็นได้ว่าส่วนผสมคอนกรีตที่มีการทดแทนด้วย PFA ตั้งแต่ 30% ขึ้นไปจะมีการขยายตัวค่อนข้างต่ำ เมื่อเทียบกับส่วนผสมคอนกรีตที่ใช้ซีเมนต์ประเภทที่ 1 และซีเมนต์ประเภทที่ 5 เนื่องจากซัลเฟตจะทำปฏิกิริยาสารประกอบ $\text{Ca}(\text{OH})_2$ และ CAH ซึ่งมีอยู่ในองค์ประกอบของซีเมนต์ที่เหลือจากปฏิกิริยาไฮเดรชันเกิดเป็นยิปซัมและแคลเซียมซัลโฟลูมินต ซึ่งทำให้คอนกรีตเกิดการขยายตัวและแตกร้าว



รูปที่ 16 การขยายตัวของคอนกรีตในสารละลาย Na_2SO_4

ปฏิกิริยาไฮเดรชัน

- $\text{C}_3\text{S}, \text{C}_2\text{S} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CSH} + \text{Ca}(\text{OH})_2$
- $\text{C}_3\text{A} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CAH}$

ปฏิกิริยาของโซเดียมซัลเฟต

- $\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{Na}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{ยิปซัม} + \text{NaOH}$
- $\text{CAH} + \text{Na}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Ettringite} + \text{NaOH}$
- $\text{ยิปซัม} + \text{CAH} \rightarrow \text{Ettringite} + \text{Ca}(\text{OH})_2$

แต่เนื่องจากมาตรฐานในการออกแบบคอนกรีตที่ต้องการความทนทานต่อสารซัลเฟตในระดับปานกลาง จำเป็นต้องคำนึงถึงปริมาณ Binder ขั้นต่ำและ

อัตราส่วนน้ำต่อ Binder (W/B) ด้วยซึ่งตามมาตรฐาน ACI 210.2R-01 ระบุไว้ดังนี้

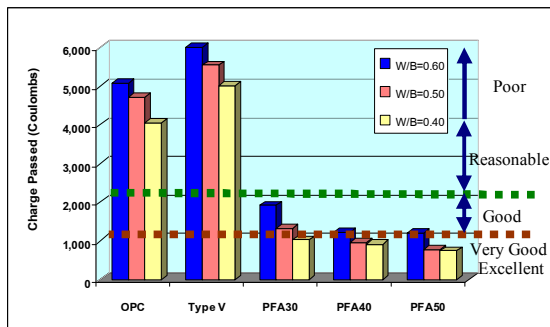
Severity	Sulphate (SO_4) in Water (ppm)	W/B
Class 0	0 to 150	No Special Requirements for Sulphate Resistance
Class 1	>150 and <1,500	≤ 0.50
Class 2	1,500 to <10,000	≤ 0.45
Class 3	10,000 or greater	≤ 0.40

Table 2.3 – Requirements to protect against damage to concrete by sulphate attack from external sources of sulphate

ประกอบกับข้อแนะนำในการออกแบบคอนกรีตเพื่อให้มีความทนทานต่อการกัดกร่อนจากซัลเฟต จากหัวข้อ Minimum Requirements for Concrete to Resist Sulphate Attack ของหนังสือ Minimum Requirement for Durable Concrete ซึ่งระบุไว้ว่าถ้าต้องการออกแบบคอนกรีตให้มีความสามารถในการต้านทานต่อการกัดกร่อนจากซัลเฟตในสภาวะความรุนแรงปานกลาง (Moderately Aggressive) จะต้องออกแบบให้มีปริมาณ Binder ขั้นต่ำ 340 กก./ลบ.ม. ซึ่งจากผลของการทดสอบหาปริมาณซัลเฟตในน้ำใต้ดินพบว่าบริเวณที่มีปริมาณซัลเฟตสูงสุดมีปริมาณซัลเฟตเท่ากับ 1,071 ppm ดังนั้นในการออกแบบจะต้องออกแบบให้คอนกรีตมีค่าปริมาณ Binder ไม่น้อยกว่า 340 กก./ลบ.ม. และมีค่าอัตราส่วน W/B ≤ 0.50

5.2 คุณสมบัติการต้านทานต่อการซึมผ่านของคลอไรด์

ในการพิจารณาประเด็นของการต้านทานการซึมผ่านของคลอไรด์ จะพิจารณาจากกราฟผลการทดสอบ Chloride Ion Penetrability Bases on Charged Passed (Coulombs) ของความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวของคอนกรีตที่อายุ 28 วัน ที่ใช้ Binder และอัตราส่วน W/B ต่างๆ ดังนี้



รูปที่ 17 กราฟแสดงผลการทดสอบ Chloride Charged Passed ของคอนกรีตที่อายุ 28 วัน ที่ใช้ Binder และ W/B ต่างๆ

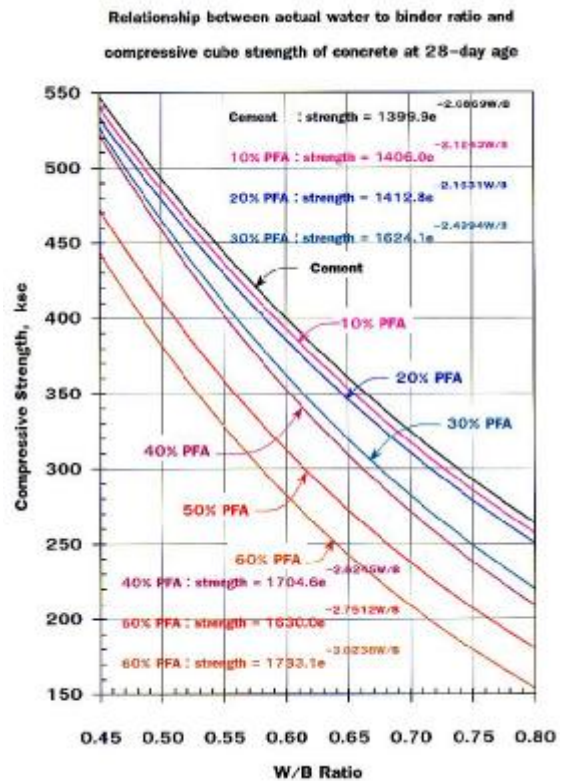
Total charge pass (Coulombs)	Permeability Class	Water Permeability	Concrete Quality
More than 4000	High	More than 115	Poor
2,000 – 4,000	Moderate	65 – 115	Reasonable
1,000 – 2,000	Low	25 – 65	Good
100 – 1,000	Very Low	Less than 25	Very Good
Less than 100	Negligible	-	Excellent

ตารางแสดงเกณฑ์การแบ่งคุณภาพของคอนกรีตตามความรุนแรงของ Chloride Charged Passed

ซึ่งจากผลการทดสอบเพื่อหาปริมาณคลอไรด์ของน้ำได้ดินพบว่า ปริมาณคลอไรด์อยู่ในระดับปานกลางถึงรุนแรง ดังนั้นในการออกแบบเบื้องต้นจึงพิจารณาค่าความรุนแรงของ Charged Passed อยู่ในช่วง 100 – 1,000 Coulombs นั่นคือคุณภาพของคอนกรีตยังอยู่ในเกณฑ์ดีมาก และเมื่อพิจารณาจากกราฟ Chloride Charged Passed พบว่าส่วนผสมของคอนกรีตจะต้องมีค่า $W/B \leq 0.50$ และทดแทนด้วย PFA 50% ดังนั้นในการออกแบบเบื้องต้น เพื่อให้คอนกรีตมีคุณสมบัติในการต้านทานต่อการกัดกร่อนจากซัลเฟตและต้านทานการซึมผ่านของคลอไรด์ ส่วนผสมคอนกรีตจะต้องมีข้อกำหนดเบื้องต้นดังนี้

- Binder ≥ 340 กก./ลบ.ม.
- $W/B \leq 0.50$
- PFA Replacement 50%

5.3 คุณสมบัติด้านกำลังอัด



รูปที่ 18 กราฟแสดงค่ากำลังอัดของคอนกรีตที่ 28 วัน เทียบกับค่า W/B และ ค่า %PFA Replacement ต่างๆ

เมื่อพิจารณาจากกราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่ากำลังอัดของคอนกรีตที่ 28 วัน กับอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน (W/B) เพื่อออกแบบค่ากำลังอัดของคอนกรีต โดยออกแบบตามข้อกำหนดเบื้องต้น พบว่าสมการที่ใช้ออกแบบค่ากำลังอัดของคอนกรีตเมื่อ

- $W/B \leq 0.50$
- PFA Replacement 50%

คือ

$$\text{Strength} = 1630.0e^{-2.7512W/B}$$

ดังนั้นส่วนผสมคอนกรีตเข้มเจาะเล็ก สำหรับงานในพื้นที่ที่มีซัลเฟตและคลอไรด์ในดินที่ออกแบบใหม่คือ

Strength (ksc)		Slump	Ce I	PFA	น้ำ	W/B	ทราย	หิน3/4"- #4	Type D
Cube	Cyl	(cm.)	(kg.)	(kg.)	(ลิตร)		(kg.)	(kg.)	(cc.)
210	180	10±2.5	186	186	172	0.46	780	1,100	840
240	210	10±2.5	188	188	172	0.46	780	1,100	850
280	240	10±2.5	192	192	172	0.45	770	1,100	865
300	250	10±2.5	198	198	172	0.43	760	1,100	895
320	280	10±2.5	206	206	172	0.42	760	1,080	930
350	300	10±2.5	214	214	172	0.40	750	1,080	965

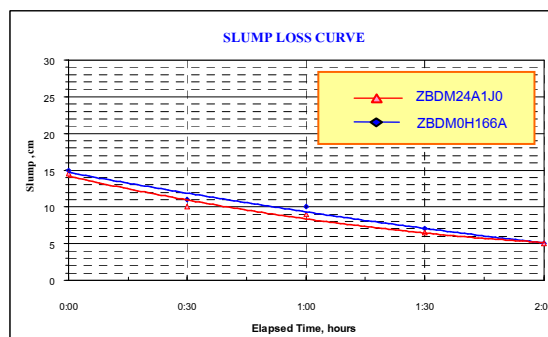
6. การตรวจสอบผล

ในการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตเชิงเสาะเล็ก สำหรับพื้นที่ที่มีผลกระทบจากซัลเฟตและคลอไรด์ได้ออกแบบไว้ทั้งหมด 6 ชั้นคุณภาพเพื่อให้ลูกค้าสามารถเลือกใช้ได้ตามข้อกำหนดของงาน และเพื่อเป็นการยืนยันผลของการออกแบบ จึงได้ทำการทดลองผสมจริง (Trial-Mixed) โดยได้เลือกส่วนผสมค่ากำลังอัด 240 ksc. (Cube) ตามตารางข้างต้นเป็นตัวแทนในการทำการทดสอบเนื่องจากเป็นชั้นคุณภาพที่มีการใช้งานมากที่สุด และทำการทดสอบเปรียบเทียบคุณสมบัติด้านต่างๆ กับส่วนผสมคอนกรีตเชิงเสาะเล็กมาตรฐาน ZBDM24A1J0 (JX3X0) ซึ่งมี PFA ทดแทนซีเมนต์อยู่ 30% โดยผลการทดสอบเปรียบเทียบคุณสมบัติด้านต่างๆ สรุปได้ดังนี้

• ค่ายุบตัว (Slump)



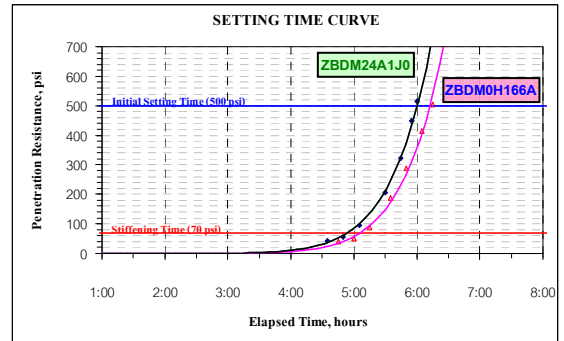
• ค่าสูญเสียค่าความยุบตัว (Slump Loss)



รูปที่ 19 กราฟแสดงค่า Slump Loss

จากกราฟจะเห็นว่าอัตราของการสูญเสียค่าความยุบตัวของคอนกรีตทั้ง 2 สูตรผสม มีอัตราการสูญเสียค่าความยุบตัวที่ใกล้เคียงกัน

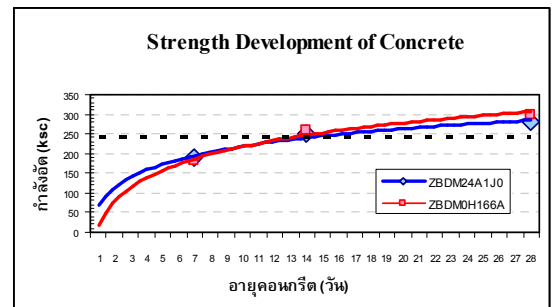
• ระยะเวลาการก่อตัว (Setting Time)



รูปที่ 20 กราฟแสดงค่า Setting Time

การพัฒนา กำลังอัดของคอนกรีต

(Strength Development of Concrete)



รูปที่ 21 กราฟแสดงค่า Strength Development

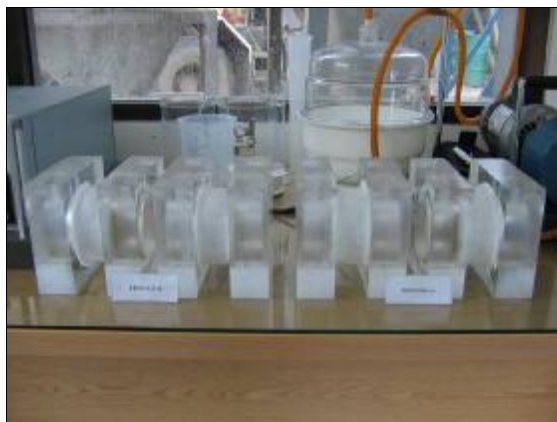
• การทดสอบความต้านทานต่อการซึมผ่านของคลอไรด์ (Rapid Chloride Permeability Test)



รูปที่ 22 การเก็บก้อนตัวอย่างทรงกระบอกขนาดเล็ก ($\varnothing 100 \times 200$ mm.)



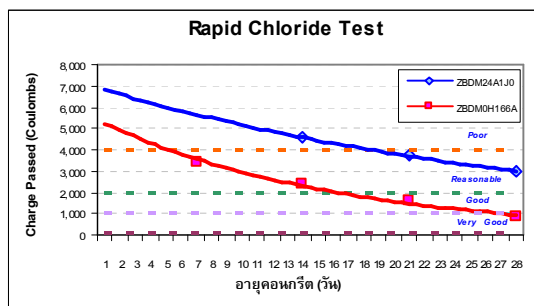
รูปที่ 23 การเตรียมก้อนตัวอย่างความหนา 2" เพื่อรอทดสอบ Chloride Charged Passed



รูปที่ 24 การทดสอบ Chloride Charged Passed



รูปที่ 25 การทดสอบ Chloride Charged Passed ก่อนตัวอย่างเป็นเวลา 6 ชั่วโมง



รูปที่ 26 ผลการทดสอบ Chloride Charged Passed ของก้อนตัวอย่างจากการทำ Trial Mixed

จากผลการทดลองส่วนผสมเพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติด้านต่าง ๆ ของคอนกรีตซีเมนต์เจาะเล็กมาตรฐานเดิมที่เคยใช้งานอยู่กับส่วนผสมคอนกรีตซีเมนต์เจาะเล็กสำหรับต้านทานต่อการกัดกร่อนจากซัลเฟตและต้านทานต่อการซึมผ่านของคลอไรด์ที่ออกแบบใหม่เพื่อให้เหมาะกับการใช้งานในพื้นที่ จังหวัดสมุทรปราการ ทั้งด้านคุณสมบัติพื้นฐานของคอนกรีตซีเมนต์เจาะเล็ก คือ กำลังอัดของคอนกรีตที่อายุ 28 วัน Setting Time Slump Loss และคุณสมบัติพิเศษที่ต้องการเพิ่มเติมคือ การต้านทานต่อการซึมผ่านของคลอไรด์ สรุปได้ คอนกรีตซีเมนต์เจาะเล็กสำหรับต้านทานต่อการกัดกร่อนจากซัลเฟตและต้านทานต่อการซึมผ่านของคลอไรด์ ที่ออกแบบใหม่มีคุณสมบัติดีกว่าคอนกรีตซีเมนต์เจาะเล็กมาตรฐานเดิมที่ใช้อยู่ทุกด้าน

7.การจัดเข้าสู่การทำงานปกติ

กิจกรรม	ผู้รับผิดชอบ
1.จัดทำสรุปข้อมูลทางเทคนิคเพื่อใช้ในการนำเสนอลูกค้า	ผจก.สค.ภต.2
2.ผลักดันการขายคอนกรีตเสริมจะเล็กสำหรับพื้นที่ที่มีซัลเฟตและคลอไรด์ในดิน ทดแทนเข็มจะเล็กเดิมที่ใช้อยู่ใน จังหวัดสมุทรปราการโดยจัดทำเป็นC-Marketing ของ ผจก.ผ.บางนา ต่อไป	ผจก.สค.ภต.2 ผจก.ผ.บางนา จนท.ปช. หน.รง.ใน พื้นที่
3.เสริมบริการทดสอบคุณสมบัติพิเศษ ทางด้านการต้านทานต่อการซึมผ่านของคลอไรด์ สำหรับกลุ่มลูกค้า Platinum และ Gold สำหรับการใช้งานครั้งแรก	ผจก.สค.ภต.2 ผจก.ผ.บางนา จนท.ปช.

8.แผนงานในอนาคต

ติดตามผลการใช้งานในระยะยาวและนำหลักการนี้ไปพัฒนาคอนกรีตสำหรับงานเข็มจะใหญ่และเสาเข็มสำเร็จรูป (Precast Concrete) สำหรับใช้งานในพื้นที่ที่มีผลกระทบจากซัลเฟตและคลอไรด์ในดินต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้ตามวัตถุประสงค์ได้ด้วยความช่วยเหลือจากกลุ่มบุคคลดังนี้ คือ

- คุณ พชร ภูวัฒนานุสรณ์ ผู้จัดการCPACกรุงเทพ 4ที่ให้คำแนะนำและแนวคิดในการดำเนินการโครงการนี้
- คุณรัชต์ชยุตม์ เกษมชัยศิริ หน่วยงานพัฒนาผลิตภัณฑ์ ที่ให้คำแนะนำในการดำเนินโครงการ
- คุณวสันต์ จันทร์แสง กรมทรัพยากรธรณี ที่เอื้อเฟื้อข้อมูลผลการทดสอบน้ำใต้ดินใน จังหวัดสมุทรปราการ

- ทีมงานส่งเสริมคุณภาพ กรุงเทพ 3 ที่ให้ความช่วยเหลือในการทำ Trial Mixed
- ทีมงานส่งเสริมคุณภาพ ภาคใต้ 2 ที่ให้ความช่วยเหลือในการทำ Chloride Test
- ผจก.ผ.บางนา โรงงานปากน้ำ และศูนย์รับจ่ายงานบางนา ที่ให้ความช่วยเหลือในการหาข้อมูลงานเข็มจะเล็กและเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อทดสอบ

เอกสารอ้างอิง

- เอกสารประกอบหลักสูตรการฝึกอบรมคอนกรีตเทคโนโลยีแบบบูรณาการ สำหรับวิศวกร
- American Concrete Institute
- ACI COMMITTEE 201
- Guide for durable concrete
- ACI 201.2R-92, 1992
- กรมทรัพยากรธรณี กองวิเคราะห์น้ำบาดาล
<http://www.dgr.go.th>