เทคนิคพิเศษในการเทคอนกรีต เพื่อการก่อสร้างอุโมงค์ใต้ดิน

ณัฐพร วงศ์วัฒนะเดช
ผู้จัดการส่งเสริมคุณภาพ CPAC กรุงเทพ 2
กิจการ CPAC กรุงเทพ

บทคัดย่อ : การก่อสร้างโครงการอุโมงค์ใต้ดิน โครงการอุโมงค์ป้องกันน้ำท่วมในเขตกรุงเทพมหานคร จำเป็นต้องเทคอนกรีตใต้น้ำ ในการก่อสร้างส่วนของปล่องใต้ดิน และจำเป็นต้องทำการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยวิธี Cement Column บริเวณรอบปล่องใต้ดิน โดยที่ผ่านมาพบปัญหาและอุปสรรคในการปฏิบัติงาน ดังนั้น เพื่อให้สอดคล้องกับนโยบายบริษัทในการเป็น Concrete Solution Provider และความเป็นผู้นำในด้านคอนกรีตเทคโนโลยี จึงพัฒนาออกแบบคอนกรีตสำหรับเทใต้น้ำ และมอร์ต้าสำหรับใช้ปรับปรุงคุณภาพดินด้วยวิธีการ Cement Column พร้อมทั้งให้คำปรึกษาเกี่ยวกับเทคนิคการปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้ได้งานที่มีคุณสมบัติตามที่ต้องการ จากนั้นจึงได้จัดทำข้อแนะนำในการเทคอนกรีตใต้น้ำ เพื่อใช้เผยแพร่และส่งเสริมการขายต่อไป

1. เข้าใจในนโยบายของผู้บริหาร

การก่อสร้างโครงการอุโมงค์ใต้ดินสำหรับโครงการอุโมงค์ส่งน้ำ ป้องกันน้ำโดยกรุงเทพมหานคร เป็นโครงการในพื้นที่ของ CPAC กรุงเทพ 2 มีความต้องการคอนกรีตสำหรับเทใต้น้ำ ในส่วนของโครงสร้างส่วนล่างของปล่องใต้ดิน โดยที่ผ่านมาลูกค้ามีการใช้คอนกรีตทั่วไปเทและใช้วิธีการเทคอนกรีตที่ไม่เหมาะสม ทำให้เกิดปัญหาไม่สามารถดึงท่อ Tremie บางส่วนที่ใช้ในการเทคอนกรีตขึ้นมาได้และเกิดการชะล้างของคอนกรีตจากน้ำใต้ดิน อีกทั้งลูกค้ามีความต้องการคอนกรีตสำหรับเท Cement Column สำหรับทำการปรับปรุงสภาพดินบริเวณรอบ ๆ ปล่องใต้ดิน เพื่อเป็นการป้องกันน้ำใต้ดินไหลเข้ามาในปล่องระหว่างที่หัวเจาะอุโมงค์เริ่มทำการเจาะออก และเข้ามาภายในปล่องใต้ดิน

ผู้ดำเนินโครงการก่อสร้างดังกล่าวได้ขอคำปรึกษาจากบริษัท เรื่องวัสดุและส่วนผสมที่เหมาะสมกับงาน รวมทั้งขั้นตอนการปฏิบัติงานที่ถูกต้องตามหลักวิชาการ ส่งเสริมคุณภาพ CPAC กรุงเทพ 2 จึงได้พัฒนาออกแบบคอนกรีตที่เหมาะสมกับการเทใต้น้ำในลักษณะดังกล่าว และออกแบบส่วนผสมสำหรับใช้เท Cement Column อีกทั้งให้คำปรึกษาและแนะนำวิธีการเทคอนกรีตให้สอดคล้องกับหลักวิชาการและสภาพหน้างานจริง เพื่อสร้างความพอใจในคุณภาพสินค้าและบริการของบริษัทฯ ซึ่งเป็นการสร้างความเชื่อมั่นในตราสินค้า และเป็นการดำเนินการตามนโยบาย Concrete Solution Provider อีกทั้งดำรงความเป็นผู้นำทางคอนกรีตเทคโนโลยี ซึ่งพบว่าภายหลังการใช้งานสินค้าที่ได้พัฒนาออกแบบเฉพาะนี้ ลูกค้ามีความพึงพอใจเป็นอย่างมาก ซึ่งจะเป็นจุดเริ่มต้นที่จะผลักดันสินค้าชนิดนี้ให้เป็นผลิตภัณฑ์พิเศษ และยังเป็นโอกาสอันดีที่จะส่งเสริมให้ลูกค้าใช้ผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ของ CPAC ต่อไป

2. วัตถุประสงค์

พัฒนาส่วนผสมของคอนกรีต และศึกษาวิธีการเทที่เหมาะสมกับงานการเทคอนกรีตใต้น้ำในปล่องใต้ดิน และงานการปรับปรุงคุณภาพดินโดยรอบ เพื่อให้ได้คอนกรีตที่ตรงความต้องการของลูกค้าในราคาที่ลูกค้าพอใจ

3. แนวทางและแผนการดำเนินการ

การดำเนินการ	ปี 2547				ปี 2548		
	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
1. **เทคนิคพิเศษการเทคอนกรีตใต้น้ำ**							
1.1 ศึกษาและสำรวจสภาพการทำงาน และ ความต้องการของลูกค้า							
1.2 ศึกษาหลักการเทคอนกรีตใต้น้ำ							
1.3 ออกแบบคอนกรีตเทใต้น้ำและทดสอบเพื่อพัฒนา							
1.4 ทดลองใช้งานจริงที่หน่วยงาน							
1.5 กำหนดมาตรฐานการใช้งานของสินค้า							
2. **เทคนิคพิเศษการเทคอนกรีต Cement Column ปรับปรุงคุณภาพดิน**							
2.1 ศึกษาและสำรวจสภาพการทำงาน และ ความต้องการของลูกค้า							
2.2 ออกแบบคอนกรีตเทใต้น้ำและทดสอบเพื่อพัฒนา							
2.3 ทดลองใช้งานจริงที่หน่วยงาน							
2.4 กำหนดมาตรฐานการใช้งานของสินค้า							

4. เทคนิคพิเศษของการเทคอนกรีตใต้น้ำ

ผู้รับเหมาก่อสร้างโครงการอุโมงค์ส่งน้ำป้องกันน้ำท่วม ของ กทม. : IN JV ซึ่งเป็น Joint Venture ระหว่าง บมจ.อิตาเลียนไทย และ บจก.ไทยนิชิมัตซึ ได้มาขอคำปรึกษาเกี่ยวกับการเทคอนกรีตโครงสร้างส่วนล่างของปล่องใต้ดิน เพื่อจะทำให้โครงสร้างดังกล่าวไม่มีน้ำไหลเข้ามา และจะทำการเทคอนกรีตชั้นฐานเพื่อวางรางสำหรับหัวเจาะอุโมงค์ต่อไป

รูปที่ 1 โครงสร้างปล่องใต้ดินที่จะเทคอนกรีตใต้น้ำ

โดยได้กล่าวให้ทีมงานทราบถึงปัญหาที่เคยเกิดขึ้นเมื่อใช้คอนกรีตทั่วไปและวิธีการเทธรรมดา ซึ่งไม่สามารถดึงท่อ Tremie บางส่วนที่ใช้ในการเทขึ้นมาได้ และเกิดการชะล้างของคอนกรีตจากน้ำใต้ดิน เนื่องจากมีขั้นตอนการเทที่ไม่เหมาะสม

โดยลักษณะพื้นที่เป็นดังนี้ คือลักษณะของปล่องดังกล่าวมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 ม. ลึก 33 ม. และอยู่ต่ำกว่าระดับน้ำใต้ดิน ซึ่งส่งผลให้น้ำใต้ดินไหลเข้ามากันหลุม (ส่วนล่างของอุโมงค์) ตลอดเวลา จึงทำให้ต้องเทคอนกรีตใต้น้ำ โดยทางลูกค้าต้องการให้หาคอนกรีตที่เหมาะกับการเทใต้น้ำและขอคำแนะนำสำหรับการเทคอนกรีตดังกล่าว โดยจะเทหนาประมาณ 1 ม.

รูปที่ 2 ปัญหาท่อ Tremie ที่ใช้ในการเทคอนกรีตติดกับคอนกรีตที่เทไปแล้ว

4.1 การศึกษาการเทคอนกรีตใต้น้ำ

การเทคอนกรีตใต้น้ำมีหลายลักษณะ คือการเทส่วนโครงสร้าง (Structural Elements) และการเทที่ไม่ใช่ส่วนโครงสร้าง (Non-Structural Elements) โดยการเทที่เป็นส่วนของโครงสร้าง ได้แก่ ตอม่อสะพาน โครงสร้างของท่าเรือ ท่อคอนกรีตใต้น้ำ เขื่อน ฐานรากในแม่น้ำหรือทะเล เสาเข็มเจาะขนาดใหญ่ เป็นต้น และการเทที่ไม่ใช่ส่วนของโครงสร้าง ได้แก่ Cofferdam หรือ Caisson Seal เป็นต้น โดยจะพบว่าวิธีใช้ท่อ Tremie เป็นเทคนิคการเทคอนกรีตใต้น้ำที่นิยมมากที่สุด ส่วนวิธีการปั๊ม (Pumping) โดยตรงก็เป็นที่นิยมเช่นกัน

<u>หลักพื้นฐาน</u>

1. มีการป้องกันน้ำไหลผ่านบริเวณที่ก่อสร้าง
2. การเทด้วยท่อ Tremie หรือปั๊ม ประกอบด้วย 3 ขั้นตอน คือ
   2.1 แยกคอนกรีตในท่อกับน้ำไม่ให้สัมผัสกัน โดยใช้ Go-Devil หรือ Pig ซึ่งเป็นลูกบอลใส่ในท่อ
   2.2 เทคอนกรีตสดลงในท่อ ยกท่อขึ้น ประมาณ 10-15 ซม. เพื่อให้ลูกบอลหลุดออกจากปากท่อ ทำให้คอนกรีตไหลออกรอบปากท่อ และทำหน้าที่เหมือนเป็นตัวป้องกันน้ำ (Seal)
   2.3 คอนกรีตใหม่จะเข้าไปแทนที่ในคอนกรีตที่อยู่ใต้ปากท่อ ทำให้เกิดการไหล สิ่งสำคัญคือคอนกรีตจะต้องไม่สัมผัสกับน้ำโดยตรง

<u>ส่วนผสมคอนกรีต</u>

- ปริมาณวัสดุประสานไม่น้อยกว่า 356 กก./ลบ.ม. (โดยปกติจะใช้วัสดุประสาน 385 กก./ลบ.ม. หรือมากกว่า) หรืออัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานสูงสุดไม่เกิน 0.45
- โดยทั่วไปการผสมวัสดุปอซโซลาน (ประมาณ 15% ของวัสดุประสานโดยน้ำหนัก) จะช่วยปรับปรุงคุณสมบัติการไหลให้ดีขึ้น
- มวลรวมละเอียด 45-55% ของมวลรวมทั้งหมดโดยปริมาตร
- โดยทั่วไปขนาดหินโตสุดที่ใช้คือ ¾ นิ้ว(19 มม.) สำหรับคอนกรีตเสริมเหล็ก และไม่เกิน 1 1/2 นิ้ว (38 มม.) สำหรับคอนกรีตไม่เสริมเหล็ก
- ใช้สารผสมเพิ่มที่ช่วยปรับปรุงคุณสมบัติความสามารถในการไหล (Flowability) เช่น น้ำยาเพิ่มและกักกระจายฟองอากาศ (Air-Entraining Admixture) , น้ำยาลดน้ำ หรือน้ำยาลดน้ำและหน่วงการก่อตัว (Water Reducing and Retarding Admixture) , น้ำยาลดน้ำจำนวนมาก (Water Reducing –High Range) และน้ำยาป้องกันการชะล้าง (Anti-Washout Admixture)
- ค่าการยุบตัว 15-23 ซม. บางครั้งอาจสูงกว่านั้นเล็กน้อย เมื่อมีสิ่งที่จะฝังติดในคอนกรีตกีดขวาง

การไหล หรือเมื่อต้องการ การไหลในแนวนอนที่มากขึ้น

- ถ้าเป็นไปได้ในการเลือกส่วนผสมขั้นสุดท้าย ควรทำการทดลองเทคอนกรีตใต้น้ำ แล้วไล่น้ำออกภายหลังการเท ตรวจดูความเรียบของผิว , ปริมาณ Laitance , คุณภาพของคอนกรีตส่วนที่ไหลไกลสุดและการไหลรอบสิ่งที่จะฝังในคอนกรีต

<u>การเทด้วยวิธีใช้ท่อ Tremie</u>

1. **ท่อ Tremie (Tremie Pipe)**

- การเทลึก ๆ จะประสบปัญหาการลอยตัว ดังนั้นการใช้ท่อที่หนาและหนักขึ้นจะช่วยได้
- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 20-30 ซม. เพื่อป้องกันการอุดตัน
- การเทลึก ๆ ท่อที่ใช้ควรมีรอยต่อที่ถอดประกอบได้
- รอยต่อ ควรกันน้ำได้ และควรทดสอบก่อนใช้งาน
- ควรมีเครื่องหมายบอกระยะจากผิวน้ำกับปากท่อที่หาได้โดยง่าย

รูปที่ 3 ท่อ Tremie ที่ใช้เทคอนกรีตใต้น้ำ

2. **วิธีการเท**

2.1 ระยะห่างท่อ (Pipe Spacing)

- ควรมีหนึ่งท่อ ทุก ๆ พื้นที่ผิว 28 ตร.ม. (300 ตารางฟุต) หรือมีระยะห่างระหว่างศูนย์กลางท่อประมาณ 4.5 ม. (15 ฟุต) ตามข้อกำหนดของ ACI
- การเทพื้นที่กว้าง ๆ ในทางปฏิบัติทำได้ยาก เพราะไม่สามารถจัดหาคอนกรีตและท่อ Tremie ได้เพียงพอ
- ระยะห่างท่อที่ใช้จริงขึ้นอยู่กับ ความหนาของการเท ความหนาแน่นที่เกิดจากเหล็กเสริมหรือเสาเข็ม ความสามารถในการผลิตคอนกรีตและความสามารถในการเทคอนกรีตผ่านท่อ Tremie

2.2 การเริ่มเท

- ใช้เทคนิค End-Plate , Dry-Pipe โดยเทคอนกรีตเข้าไปในท่ออย่างช้า ๆ ทำให้มีแรงกระทำกับ Go-Devil ในท่อให้เคลื่อนที่ลง ก่อนที่จะยกท่อขึ้นมาสูงสุด 15 ซม. อย่างช้า ๆ (เพื่อให้กระทบกระเทือนวัสดุแวดล้อมรอบ ๆ ปากท่อให้น้อยที่สุด) เพื่อให้ Go-Devil หลุดออกจากปากท่อไป
- จะยกท่อขึ้นอีกครั้งเมื่อมีกองคอนกรีตสูงเพียงพอโดยรอบบริเวณปากท่อ
- ควรฝังท่ออยู่ในคอนกรีตสดอีก 1.0-1.5 เมตร ขึ้นอยู่กับอัตราการเท และเวลาการก่อตัวของคอนกรีต
- การเคลื่อนที่ในแนวดิ่งของท่อ ควรทำอย่างช้า ๆ และระมัดระวัง เพื่อป้องกันการสูญเสียคอนกรีตที่ทำหน้าที่ป้องกันน้ำ (Loss of Seal)
- ถ้าหากดึงท่อขึ้นเร็วจนเกินไป ทำให้สูญเสีย Seal ควรหยุดทันที ดึงท่อขึ้นมา และเริ่มการเทใหม่ แต่ไม่ต้องใส่ Go-Devil แล้ว เพื่อป้องกันการชะล้างคอนกรีตที่เทแล้ว

2.3 การเท

- ควรเทคอนกรีตอย่างต่อเนื่อง ความล่าช้าเกินไปอาจทำให้คอนกรีตเริ่มแข็ง และไหลยาก
- เมื่อหยุดเท สามารถเทคอนกรีตได้อีกครั้ง โดยไม่ต้องมีวิธีการพิเศษใด ๆ หากเทใหม่ภายใน 30 นาที
- หากหยุดเทเกินกว่า 30 นาที แต่ไม่เกินกว่าระยะการก่อตัวเริ่มต้น (Initial Setting time) ของคอนกรีต ควรจะดึงท่อขึ้นมา (แต่ไม่เลยจุดที่คอนกรีตจมอยู่) , ป้องกันน้ำเข้าท่อใหม่ (Resealing) และเริ่มวิธีการเทใหม่
- การหยุดเทนานมากกว่าเวลาการก่อตัวเริ่มต้น ให้ปฏิบัติเหมือนเป็นรอยต่อจากการก่อสร้าง (Construction Joint)
- อัตราการยกท่อที่แนะนำ คือ 0.3-3.0 ม./ชม.
- ถ้าเกิดการอุดตันในท่อในขณะเท ควรระวังเรื่องการป้องกันการสูญเสีย Seal ทำโดยดึงท่อขึ้นอย่างรวดเร็ว 15-60 ซม. แล้วหย่อนท่อลง

2.4 การกระจายในแนวนอนของคอนกรีต

- การเคลื่อนที่ท่อในแนวนอนในขณะเท เช่น มีคลื่นซัด จะทำให้ผิวคอนกรีตที่เทแล้วเสียหาย เกิด Laitanceเพิ่มขึ้น และอาจเกิดการสูญเสีย Seal
- มี 2 วิธีในการเทคอนกรีตที่มีพื้นที่กว้างๆ ให้กระจายในแนวนอนได้ดี

1) วิธีแบ่งชั้นในแนวนอน (Horizontal Layer Method)

โดยเทคอนกรีตในพื้นที่ทั้งหมดด้วยท่อ Tremie พร้อม ๆ กัน หรือเทปูพรม ด้วยระยะห่างระหว่างท่อถึงท่อไม่เกิน 4.5 ม.

2) วิธีความชัน (Advancing Slope Method)

โดยเทบริเวณหนึ่งจนได้ระดับแล้วจึงย้ายท่อ Tremie มาเทบริเวณที่ต่ำกว่าที่ติดกัน โดยความชันของคอนกรีต 1 : 6 (แนวดิ่ง : แนวราบ)

2.5 การประเมินผลภายหลังการเท

- Coring ในพื้นที่ที่มีการไหลของคอนกรีตไกลสุด หรือบริเวณที่สงสัยคุณภาพ
- หลังจากไล่น้ำออก ทำการสำรวจความถูกต้องของผิวคอนกรีต เอาแบบหล่อหรือ Sheet Pile ออก ตรวจสอบผิวภายนอกของคอนกรีต ตรวจสอบรอยร้าว ช่องว่าง และรูโพรง

การเทด้วยวิธีการปั๊มโดยตรง(Direct Pumping)

โดยทั่วไปมีการประยุกต์เทคนิคการเทด้วยท่อ Tremie เข้ากับการเทคอนกรีตใต้น้ำด้วยวิธีการปั๊มโดยตรง แต่มีรายละเอียดที่แตกต่างกัน ดังนี้

- คอนกรีตไหลผ่านท่อด้วยแรงดันปั๊มมากกว่าแรงโน้มถ่วงโลก
- คอนกรีตที่เทด้วยวิธีการปั๊มจะไหลได้ง่ายกว่า
- ท่อที่ใช้ปั๊มจะเล็กกว่าท่อ Tremie
- การปั๊มสามารถเป็นเหตุให้ท่อเคลื่อนที่ทางด้านข้าง ซึ่งจะเพิ่มการเกิด Laitance
- มีวาล์วป้องกันการเกิด Vacuum Blockage

4.2 การออกแบบและทดลองส่วนผสมของคอนกรีตเทใต้น้ำ

ในการออกแบบคอนกรีตเทใต้น้ำนั้นได้ออกแบบส่วนผสมให้ใกล้เคียงกับงานเข็มเจาะใหญ่ทั่วไปเนื่องจากมี Workability ที่เหมาะสม โดยมีความสามารถในการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง (Deformability) และการต้านทานการแยกตัว (Segregation Resistance) ที่ดี เพื่อลดปัญหาการ Block ของคอนกรีตในท่อ Tremie โดยมีส่วนผสมดังนี้

ตารางที่ 1 ส่วนผสมคอนกรีตเทใต้น้ำ ที่ใช้ในการทดลอง

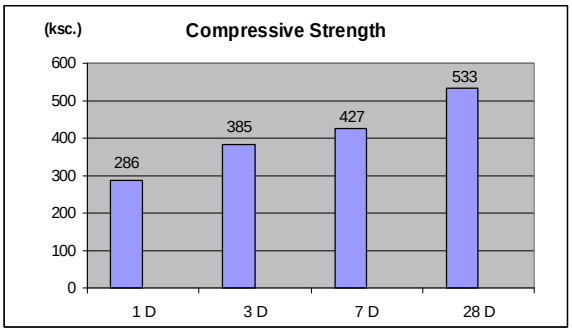
Mix No.	Cement (kg.)	PFA (kg.)	น้ำ (Ltr.)	ทราย (kg.)	หิน (kg.)	น้ำยา Type D (cc.)	W/B	S/A
1	350	150	193	700	980	1,665	0.39	0.42

โดยมีแนวคิดในการออกแบบ ดังนี้

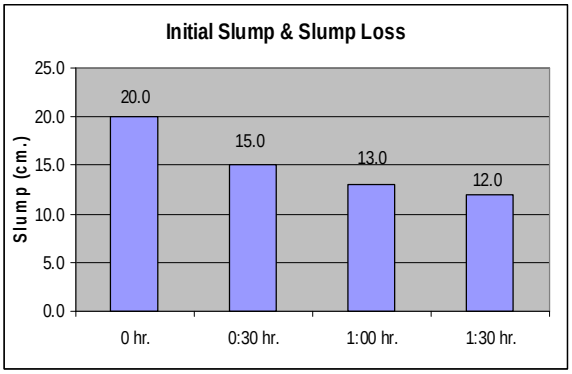
- ให้ได้กำลังอัดตามที่ลูกค้าต้องการคือไม่น้อยกว่า 400 ksc. (Cylinder) โดยกำหนดปริมาณวัสดุประสานต่ำสุด 500 kg./m^3 (โดยทั่วไปจะใช้วัสดุประสาน 385 กก./ลบ.ม. หรือมากกว่า) และ W/B เท่ากับ 0.39 เพื่อให้มีกำลังอัด ไม่น้อยกว่า 400 ksc.(Cylinder)
- ใช้วัสดุปอซโซลาน คือ PFA ในปริมาณ 30% โดยน้ำหนักรวมของวัสดุประสาน เพื่อช่วยปรับปรุงคุณสมบัติการไหลให้ดีขึ้น
- Slump 15-22 ซม. เพื่อให้คอนกรีตสามารถไหลในแนวนอนได้ดี
- ใช้น้ำยาผสมคอนกรีต Type D (CPAC 40401 : Daratard P48R) ซึ่งเป็นสารเคมีผสมเพิ่มประเภท

ลดน้ำและหน่วงการก่อตัว ในปริมาณ 475 cc./100 kg.cement เพื่อช่วยให้คอนกรีตมีคุณสมบัติดีขึ้นทั้งคอนกรีตสดและคอนกรีตแข็งตัวแล้ว ตามมาตรฐาน ASTM C 494

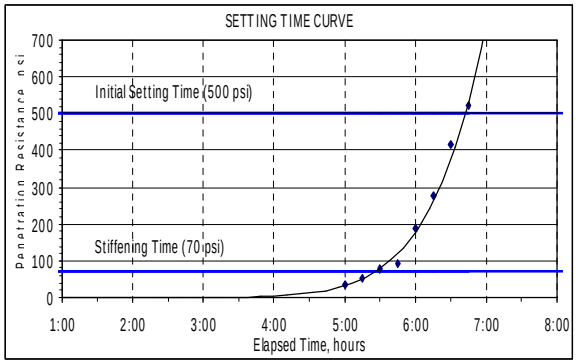
- กำหนดค่าอัตราส่วนทรายต่อมวลรวม (S/A) โดยน้ำหนักที่เหมาะสมกับการใช้งาน



รูปที่ 4 ผลกำลังอัดคอนกรีตเทใต้น้ำ ทีอายุ 1, 3 , 7, 28 วัน



รูปที่ 5 ผล Initial Slump และ Slump Loss



รูปที่ 6 กราฟแสดงค่า Initial Setting Time

รูปที่ 7 สภาพเนื้อคอนกรีตสำหรับเทใต้น้ำ

รูปที่ 8 การวัดค่า Slump ของคอนกรีตสำหรับเทใต้น้ำ

จากผลการทดลองพบว่า กำลังอัดของคอนกรีตที่ 28 วัน ได้ 533 ksc. ซึ่งผ่านเกณฑ์ที่ต้องการที่ 400 ksc. และค่าการยุบตัวเป็นไปที่ต้องการ คือ 20 ซม. สำหรับคอนกรีตที่อายุ 1:30 ชม. มีค่าการยุบตัวที่ 12 ซม. ซึ่งแสดงว่ามีความสามารถในการปั๊มได้ที่ดี สำหรับค่า Initial Setting Time อยู่ที่ 6 ชม. 40 นาที

โดยสรุปจากแนวคิดในการออกแบบคอนกรีตใต้น้ำและผลการทดลองที่ได้แสดงว่าคอนกรีตที่ออกแบบไว้นั้น เหมาะสมสำหรับการเทคอนกรีตใต้น้ำได้

4.3 **การเทคอนกรีตใต้น้ำที่หน่วยงาน (เมื่อวันที่ 15 พ.ย.47)**

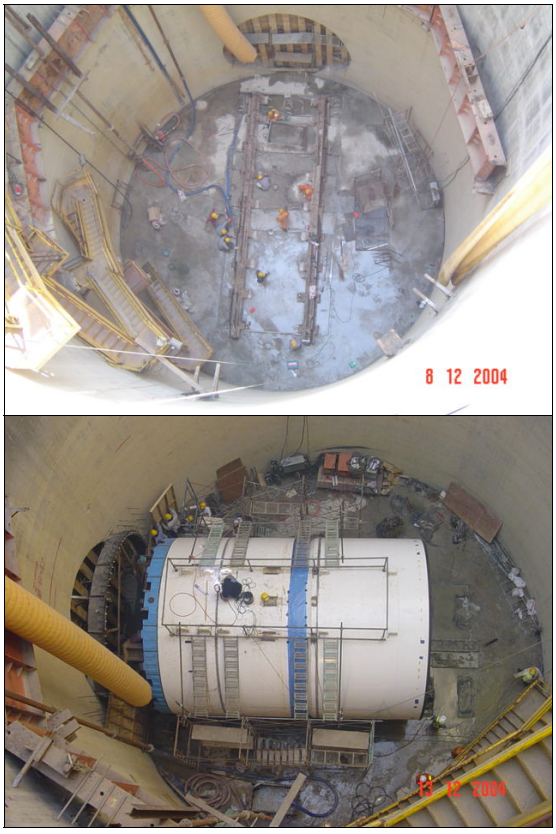
รูปที่ 9 , 10 , 11 การเทคอนกรีตใต้น้ำโดยใช้ Pump ผ่านท่อ Tremie

รูปที่ 12 การเทคอนกรีตใต้น้ำและการดึงท่อ Tremie ขึ้น เพื่อป้องกันท่อติดกับคอนกรีตที่เทไปแล้ว

รูปที่ 13 ทีมประดาน้ำสำรวจความลึกของน้ำ เพื่อคำนวณระยะฝังท่อ Tremie ให้เหมาะสม

รูปที่ 14 การสูบน้ำออกเพื่อตรวจสอบคอนกรีตใต้น้ำที่เท

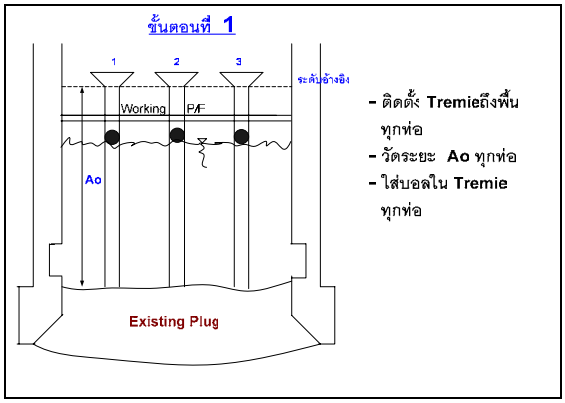
รูปที่ 15 ก้อน Coring ของคอนกรีตใต้น้ำที่เท

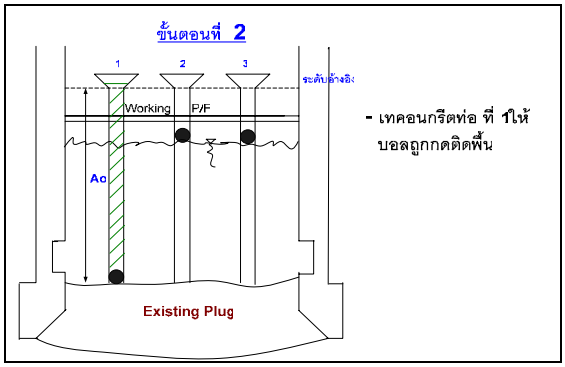


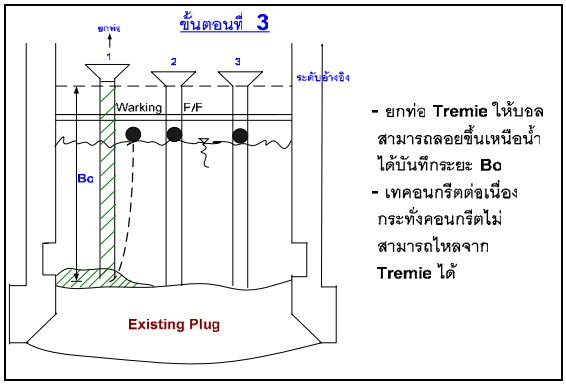
รูปที่ 16 ,17 การติดตั้ง Guide หัวเจาะ และหัวเจาะอุโมงค์

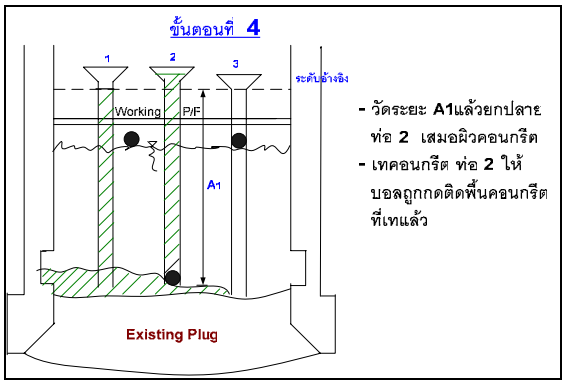
4.4 ข้อแนะนำในการเทคอนกรีตใต้น้ำ

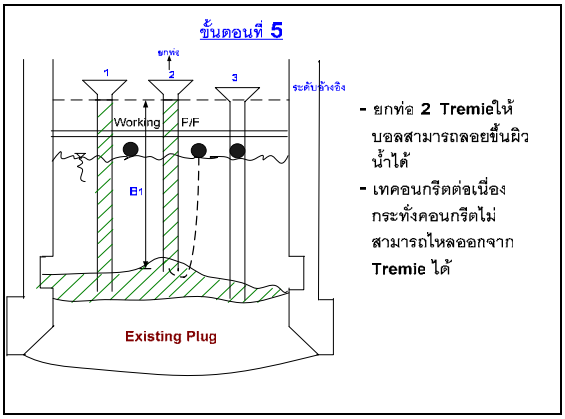
จากการศึกษาการเทคอนกรีตใต้น้ำ และจากผลการเทคอนกรีตใต้น้ำที่หน่วยงาน ส่งเสริมคุณภาพ CPAC กรุงเทพ 2 ได้กำหนดเป็นข้อแนะนำสำหรับการเทคอนกรีตใต้น้ำที่เหมาะสม เป็นภาพประกอบดังนี้คือ

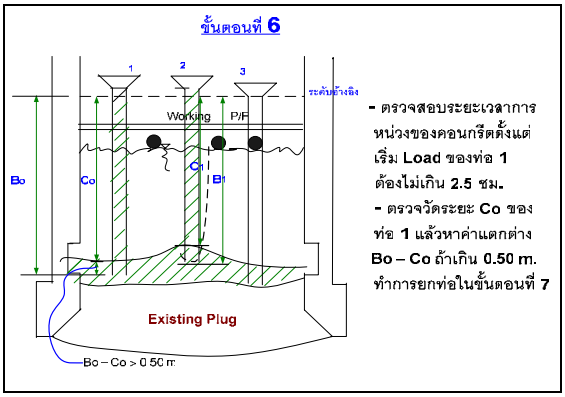


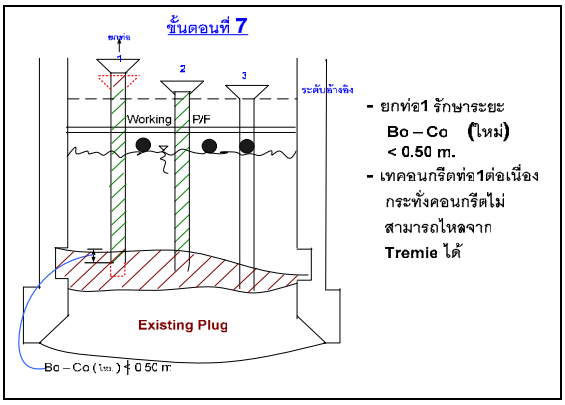


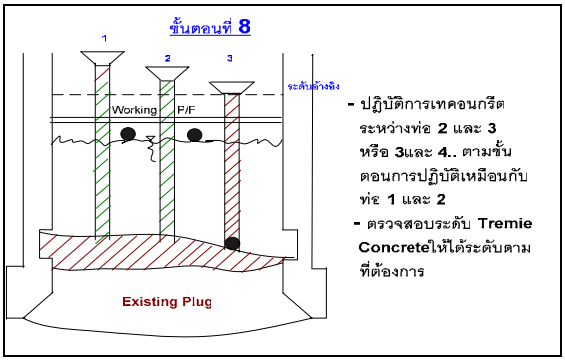












5. เทคนิคพิเศษการเทคอนกรีตสำหรับปรับปรุงคุณภาพดิน ด้วยวิธี Cement Column

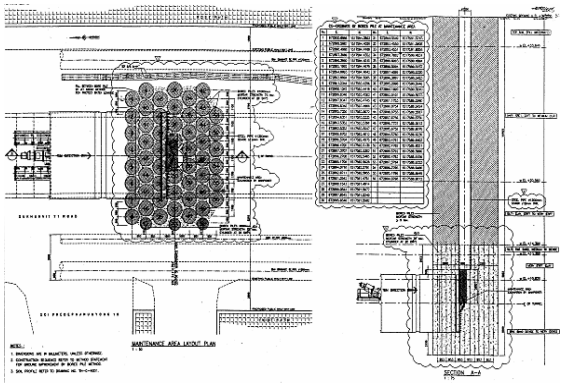
ผู้รับเหมาโครงการอุโมงค์ส่งน้ำป้องกันน้ำท่วม กทม. ต้องการคอนกรีตสำหรับเทปรับปรุงคุณภาพดินด้วยวิธี Cement Column เพื่อเป็นป้องกันน้ำใต้ดินไหลเข้ามาในปล่องทั้งหมด 3 แห่ง ได้แก่

1. บริเวณจุดที่หัวเจาะจะเริ่มเจาะออก โดยจะทำด้านที่หัวเจาะออก

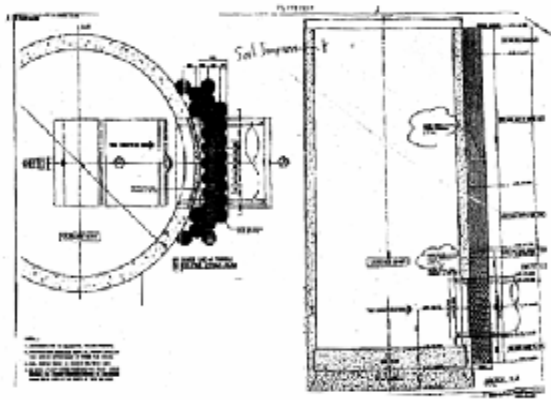
2. บริเวณจุด Maintenance หัวเจาะ (ช่วงกึ่งกลางเส้นทางการเจาะ) โดยจะทำรอบ ๆ ปล่อง

3. จุดสิ้นสุดการเจาะ โดยจะทำด้านที่หัวเจาะเข้ามาในปล่อง (เส้นทางการเจาะอุโมงค์ทั้งหมด 5.38 กม.) โดยคุณสมบัติของคอนกรีตที่ลูกค้าต้องการ คือ ต้องทำให้หัวเจาะอุโมงค์เจาะผ่านได้ โดยไม่ทำให้ฟันเจาะเกิดความเสียหาย

ในที่นี้จะกล่าวถึงบริเวณการบำรุงหัวเจาะอุโมงค์ ตรง ถ.สุขุมวิท 71 โดย Bored Piles มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.00 เมตร ความลึกประมาณ 33.00 เมตร และมีการจัดเรียงตำแหน่งตามแบบดังนี้

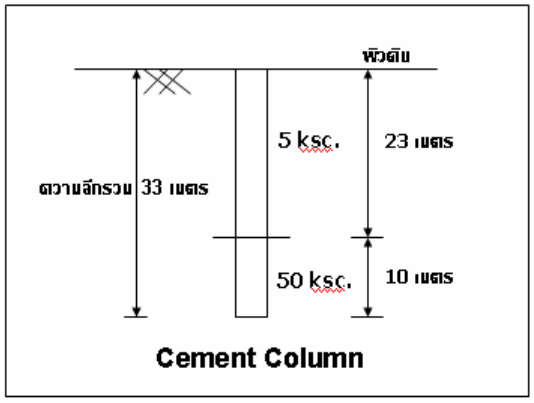


รูปที่ 18 การวางตำแหน่งของเสาเข็มเจาะ 56 ต้น และภาพตัดแนวตั้งของเสาเข็มเจาะบริเวณจุดบำรุงหัวเจาะอุโมงค์



รูปที่ 19 การวางตำแหน่งของเสาเข็มเจาะ 36 ต้น และภาพตัดแนวตั้งของเสาเข็มเจาะบริเวณจุดที่หัวเจาะจะเริ่มออก

โดยกำลังอัดที่ลูกค้าต้องการ คือ 50 ksc. (Cylinder) เทประมาณ 10 ม. แล้วต้องการคอนกรีตกำลังอัดประมาณ 5 ksc. ที่ 23 ม. ถัดมาทางด้านบน ดังภาพประกอบ



รูปที่ 20 ภาพตัดแนวตั้งของเสาเข็มเจาะ Cement Column

<u>ทางเลือกในการออกแบบ มีดังนี้</u>

1. คอนกรีตทั่วไป
2. Flowable Fill
3. Mortar

จากทั้งสามทางเลือกนั้น ทางผู้จัดทำได้เลือกแนวทางการใช้คอนกรีต Mortar และ Flowable Fill แทนการใช้คอนกรีตทั่วไป เนื่องจากหินในคอนกรีตมีความแข็งประมาณ 500 ksc. อาจทำให้ฟันของหัวเจาะเสียหายได้ ดังนั้นจึงได้ทำการออกแบบมอร์ต้าที่กำลังอัด 50 , 75 ,100 ksc. (Cylinder) และ Flowable Fill กำลังอัดประมาณ 5 ksc.

5.1 การออกแบบ และทดลองส่วนผสมของมอร์ต้าสำหรับการปรับปรุงดิน

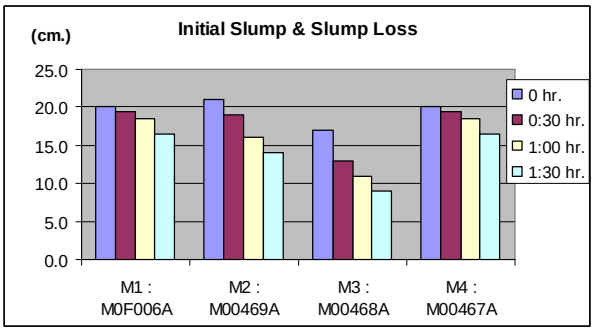
ในการทดลองเพื่อพัฒนาการออกแบบ ได้ออกแบบส่วนผสมมอร์ต้า จำนวน 4 Mix ดังนี้

ตารางที่ 2 ส่วนผสมมอร์ต้าสำหรับการปรับปรุงดิน ที่ใช้ในการทดลอง

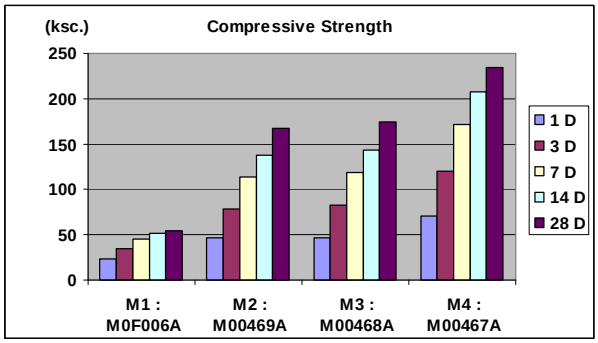
Mix No.	Cement (kg.)	PFA (kg.)	น้ำ (kg.)	ทราย (kg.)	น้ำยา Type D (cc.)	น้ำยา Darafill (cc.)	W/B	Strength (ksc.)	Slump (cm.)
1	140	60	165	1,450	-	45	0.83	5	15-20
2	246	104	250	1,650	985	-	0.72	50	15-20
3	264	112	250	1,630	1,060	-	0.67	75	15-20
4	298	128	250	1,580	1,195	-	0.59	100	15-20

โดยมีแนวคิดในการออกแบบ ดังนี้

- ให้ได้กำลังอัดตามที่ลูกค้าต้องการคือไม่น้อยกว่า 75 ,50 ,30 ksc. ขึ้นอยู่กับการเลือกใช้ให้เหมาะสมกับดินและความลึกของปล่องในแต่ละบริเวณ
- ใช้วัสดุปอซโซลาน คือ PFA ในปริมาณ 30% โดยน้ำหนักรวมของวัสดุประสาน เพื่อช่วยปรับปรุงคุณสมบัติการไหลให้ดีขึ้น
- Slump 15.0 - 20.0 ซม.
- สำหรับ Mix ที่ 2-4 ใช้น้ำยาผสมคอนกรีต Type D (CPAC 40401 : Daratard P48R) ซึ่งเป็นสารเคมีผสมเพิ่มประเภทลดน้ำและหน่วงการก่อตัว ในปริมาณ 400 cc./100 kg.cement และสำหรับ Mix ที่ 1 ใช้น้ำยาผสมคอนกรีต Darafill (CPAC 40801) ตามมาตรฐาน ASTM C 494



รูปที่ 21 ผลกำลังอัดของคอนกรีต ที่อายุ 1 , 3 , 7 , 14 , 28 วัน

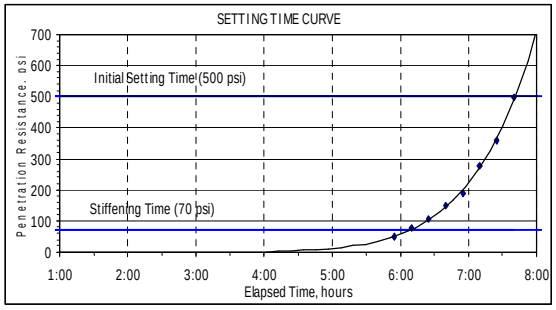


รูปที่ 22 ค่า Initial Slump และ Slump Loss ที่อายุ 30 ,60 , 90 นาที

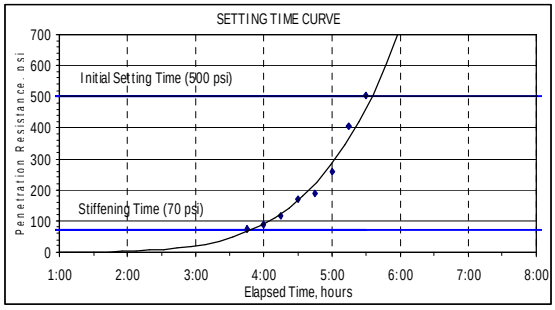
รูปที่ 23 สภาพเนื้อคอนกรีตของ M2 : M00469A

รูปที่ 24 การวัดค่า Slump ของ M2 : M00469A

รูปที่ 27 การวัดค่า Slump ของ M1 : M0F006A



รูปที่ 25 กราฟแสดงค่า Initial Setting Time ของ Mix M2 : M00469A



รูปที่ 28 กราฟแสดงค่า Initial Setting Time ของ Mix M1 : M0F006A

รูปที่ 26 สภาพเนื้อคอนกรีตของ M1 : M0F006A

จากผลการทดลองข้างต้นนั้น ทางผู้ออกแบบได้เลือกใช้ Mix M2 : M00469A สำหรับเทปรับปรุงคุณภาพดินที่บริเวณ Ventilation Shaft และ Maintenance Shaft เนื่องจากผลกำลังอัดที่ 14 วัน เท่ากับ 138 ksc. ซึ่งมากกว่าที่ออกแบบไว้ที่ 75 ksc. และมีค่า Initial Setting Time ที่ 7 ชม. 45 นาที และ Mix M1 : M0F006A สำหรับเทส่วนที่ต้องการกำลังอัดประมาณ 5 ksc. ซึ่งมีค่า Initial Setting Time ที่ 5 ชม. 40 นาที โดยลำดับการเทจะต้องเทมอร์ต้า M1 : M0F006A ลงไปก่อนที่ความลึก 23 ม. แล้วตามด้วยมอร์ต้า M2 : M00469A ที่ความลึกประมาณ 10 ม.

5.2 การเทมอร์ต้าสำหรับปรับปรุงคุณภาพดินด้วยวิธี Cement Column ที่หน่วยงาน

รูปที่ 29 การฝังท่อ Casting เข็มเจาะหน้าปล่อง (Block out) สำหรับงานปรับปรุงคุณภาพดิน

รูปที่ 30 การขุดดินจาก Casting เข็มเจาะ

รูปที่ 31 การเทคอนกรีตสำหรับงานปรับปรุงคุณภาพดิน ด้วยวิธี Cement Column

รูปที่ 32 , 33 การปรับปรุงสภาพดินด้วยวิธี Grout Cement Column ระหว่างเข็มเจาะ เพื่อป้องกันน้ำใต้ดินไหลเข้าปล่องอุโมงค์

6. แผนงานในอนาคต

- ติดตามผลการใช้งานคอนกรีตเทใต้น้ำและมอร์ต้าสำหรับใช้ปรับปรุงคุณภาพดิน สำหรับโครงการอุโมงค์ป้องกันน้ำท่วม กทม. ที่เหลืออีก 2 จุด

- ติดตาม และแนะนำการใช้งานคอนกรีตเทใต้น้ำและมอร์ต้าสำหรับใช้ปรับปรุงคุณภาพดิน สำหรับโครงการอุโมงค์ป้องกันน้ำท่วม กทม. ในส่วนสัญญาของ บริษัท ช.การช่าง จำกัด (มหาชน) ในพื้นที่ CPAC กรุงเทพ 3

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้ตามวัตถุประสงค์ได้ด้วยความช่วยเหลือจากกลุ่มบุคคลดังนี้ คือ

- คุณรัชต์ชยุตม์ เกษมชัยศิริ หน่วยงาน คอนกรีตเทคโนโลยี ที่เป็นที่ปรึกษา และให้คำแนะนำการดำเนินการโครงงานนี้ และ พนักงานในหน่วยงานพัฒนาผลิตภัณฑ์ รวมทั้งพนักงานในหน่วยงานส่งเสริมคุณภาพ CPAC กรุงเทพ 2 และ 3 ในความช่วยเหลือในการทำการทดสอบและข้อมูลทางเทคนิค
- คุณคมกริช นามวิชา , คุณ สุวิชา สายสีนวล บริษัท อิตาเลียนไทย จำกัด (มหาชน) ที่ได้ให้คำแนะนำเกี่ยวกับข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่อการดำเนินการ

เอกสารอ้างอิง

ส่วนคอนกรีตเทคโนโลยี , “เอกสารประกอบหลักสูตรการฝึกอบรมคอนกรีตเทคโนโลยีแบบบูรณาการสำหรับวิศวกร เรื่อง การออกแบบส่วนผสมคอนกรีต , คอนกรีตสดและอายุเริ่มต้น , การเทคอนกรีตที่ใช้เทคนิคพิเศษ” , 2545