

การศึกษาคุณสมบัติคอนกรีตที่เหมาะสมกับงานโรงหล่อคานสะพานอัดแรง

อรรถพล เลิศศรีมงคล

ผู้จัดการส่งเสริมคุณภาพ CPAC ภาคตะวันตก 2

กิจการ CPAC ภาคตะวันตก

บทคัดย่อ: วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้ เพื่อทราบถึงพฤติกรรมการใช้งานและความต้องการคุณสมบัติต่างๆของคอนกรีตสำหรับงานโรงหล่อคานสะพานอัดแรง (Pre-stressed Girder) โดยใช้ระบบ Pre-Tension และทำการทดลองออกแบบส่วนผสมที่มีคุณสมบัติสามารถรองรับการใช้งานได้อย่างเหมาะสม ซึ่งจากการสำรวจพฤติกรรมการใช้งานของโรงหล่อบริษัททรไฟลิ่ง จำกัด ซึ่งรับงานหล่อคานสะพานอัดแรงดังกล่าวจากโครงการทางด่วนขั้นที่ 3 สายใต้ ตอน S1 และทางยกระดับเข้าออกสนามบินสุวรรณภูมิ พบว่าคุณสมบัติหลักของคอนกรีตที่ใช้ในการหล่อคาน ได้แก่ กำลังอัด (Strength) ขั้นต่ำที่สามารถตัดลวดอัดแรง (PC Strand) ได้ตามระยะเวลาที่ต้องการ ความชันเหลว (Slump) ที่เหมาะสมสำหรับการเทผ่านลวด และเหล็กเสริมที่ค่อนข้างแน่น และระยะเวลาการก่อตัวที่พอเหมาะกับการหมุนเวียนแบบหล่อได้ตามแผนงานที่ลูกค้าวางไว้ และการศึกษาสามารถสรุปส่วนผสมที่เหมาะสมในการผลิตและจัดส่งของโรงงานบางเลนถึงหน่วยงานดังกล่าวได้ โดยอาศัยคุณสมบัติของน้ำยาผสมคอนกรีตประเภทหน่วงการก่อตัว (Type D) ร่วมกับน้ำยาประเภทลดน้ำปริมาณมาก (Superplasticizer ; Type F) เป็นตัวกำหนดคุณสมบัติของคอนกรีตให้เหมาะสมกับระยะเวลาการจัดส่งและอัตราการทำงานของลูกค้า ซึ่งคุณสมบัติของคอนกรีตที่ออกแบบได้ยังช่วยแก้ปัญหาในเรื่องการเป็นโพรงเนื่องจากต้องเทคอนกรีตผ่านเหล็กเสริมและลวดอัดแรงที่ค่อนข้างหนาแน่น รวมถึงทำให้ผิวของชิ้นงานที่ได้มีความเรียบสวยมากขึ้น นอกจากนี้ลูกค้าสามารถทำการหล่อคานได้เร็วยิ่งขึ้นและสามารถรับงานจากทางโครงการฯ ได้เพิ่มมากขึ้นด้วย

อนึ่งการศึกษารูปแบบส่วนผสมคอนกรีตในครั้งนี้นอกจากจะมุ่งเน้นให้เกิดความเหมาะสมกับสภาพการใช้งานโรงหล่อคานสะพานอัดแรง (Girder) แล้ว ยังพิจารณาขยายผลสู่โรงหล่อคอนกรีตสำเร็จรูปอื่นๆในพื้นที่ภาคตะวันตก 2 เพื่อเป็นการขยายตลาดคอนกรีตสำหรับงานโรงหล่อซึ่งมีแนวโน้มขยายตัวในอนาคต

1. เข้าใจในนโยบายของผู้บริหาร

จากนโยบายกลยุทธ์การขยายตลาดคอนกรีตผสมเสร็จซีแพคสู่กลุ่มงานก่อสร้างขนาดเล็ก รวมถึงการเจาะตลาดกลุ่มงานก่อสร้างใหม่ๆในท้องถิ่นทั่วทุกภูมิภาคของประเทศ ซึ่งสำหรับพื้นที่ภาคตะวันตก 2 โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณ อ.บางเลน จ.นครปฐม เป็นพื้นที่ที่มีผู้ประกอบการโรงหล่อชิ้นส่วนสำเร็จรูปเป็นจำนวนมาก ดังนั้นจึงมีแนวทางที่จะสำรวจและศึกษาพฤติกรรมการใช้งานคอนกรีตในกลุ่มงาน โรงหล่อต่างๆ เพื่อนำผลที่ศึกษาได้เป็นข้อมูลทางเทคนิคที่ใช้ในการสนับสนุนการขยายตลาดคอนกรีตผสมเสร็จซีแพคไป

ยังลูกค้ากลุ่มดังกล่าวต่อไป นอกจากนี้ยังเป็นการยกระดับคุณภาพสินค้าและสร้างความแตกต่างที่เหนือกว่าคู่แข่งชั้นอีกทางหนึ่ง

2. กำหนดงานที่จะทำ

2.1 สำรวจพฤติกรรมการทำงานของการหล่อ Girder โดยใช้ระบบ Pre-Tension และความเสียหายที่เกิดขึ้นกับคอนกรีต รวมถึงสอบถามถึงความต้องการคุณสมบัติพิเศษอื่นๆของคอนกรีตจากลูกค้า

2.2 ออกแบบและทดลองส่วนผสมของคอนกรีต
เพื่อให้มีคุณสมบัติเหมาะสมกับพฤติกรรมการใช้งาน
และความต้องการของลูกค้ำ

2.3 สำรองตลาดกลุ่มงานโรงหล่อคอนกรีตสำเร็จรูปอื่นๆ
ในพื้นที่ภาคตะวันตก 2 เพื่อขยายตลาดคอนกรีตสำหรับ
งานโรงหล่อต่อไป

3. วิธีการเพื่อให้งานสำเร็จ

3.1 สำรองพฤติกรรมการทำงานหล่อคานสะพานอัดแรง
คานสะพานอัดแรง (Prestressed Girder) เป็นโครงสร้าง
สำเร็จรูปที่ใช้กับงานก่อสร้างสะพาน ทางยกระดับ หรือ
ทางด่วนในยุคปัจจุบัน ซึ่งงานก่อสร้างดังกล่าวมักมี
ข้อจำกัดเรื่องสถานที่ก่อสร้าง ระยะเวลาการก่อสร้าง
และวิธีการเทหล่อในที่ของหน่วยงานก่อสร้าง ดังนั้น
การหล่อ Girder ในโรงงานผลิต (โรงหล่อ) แล้วจึง
เคลื่อนย้ายไปประกอบหรือติดตั้งที่หน้างานจึงเป็น
วิธีการแก้ปัญหที่เกิดขึ้นได้



รูปที่ 1 คานสะพานอัดแรงของโครงการทางด่วนขั้นที่ 3
สายใต้ ตอน S1

สำหรับโครงการทางด่วนขั้นที่ 3 สายใต้ ตอน S1 และ
ทางยกระดับเข้าออกสนามบินสุวรรณภูมิ ได้ทำการหล่อ
Girder ด้วยระบบดึงลวดอัดแรงก่อนเทคอนกรีต (Pre-
Tension)



รูปที่ 2 การดึงลวดอัดแรงตามระบบ Pre-Tension

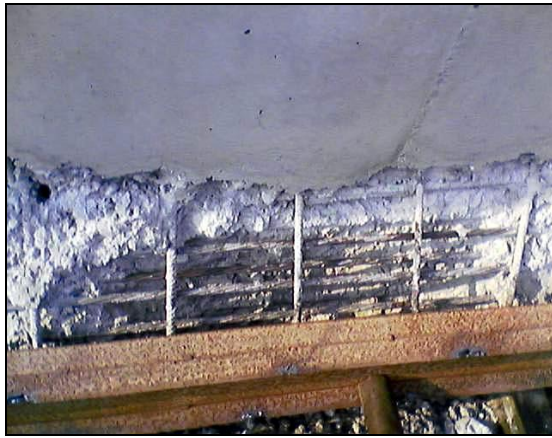
โดยออกแบบให้ Girder มีขนาดความกว้างตั้งแต่
0.50 – 0.60 เมตร สูง 1.60 – 1.70 เมตร และยาว
20 – 30 เมตรโดยมีลวดอัดแรง (PC Strand) เสริมอยู่
ด้านล่างจำนวนสูงสุดถึง 38 เส้นต่อหน้าตัด ซึ่งแต่ละ
เส้นจะถูกดึงด้วยแรง 13.8 ตัน โดยเมื่อเทคอนกรีตและ
ทำการตัดลวดอัดแรงแล้วจึงสามารถยกขึ้นประกอบเป็น
โครงสร้างคานสะพานที่รับน้ำหนักได้ตามที่ออกแบบไว้



รูปที่ 3 การผูกเหล็กเสริมและลวดอัดแรงก่อนเข้าแบบ

สำหรับคุณสมบัติคอนกรีตที่เหมาะสมในการเทที่ลูกค้ำ
ต้องการมีดังต่อไปนี้

- กำลังอัด 450 ksc. Cube ที่อายุ 28 วัน
- กำลังอัด 360 ksc. Cube ที่อายุ 48 ชม. เพื่อใช้
ในการตัดลวดอัดแรง (Transfer Stage)
- กำลังอัด 180 ksc. Cube ที่อายุ 18 ชม. เพื่อใช้
ในการถอดแบบ
- ค่ายุบตัว 8-12 ซม. เพื่อเทผ่านเหล็กเสริมและ
ลวดอัดแรงโดยไม่เป็นโพรง



รูปที่ 4 ปัญหาการเทคอนกรีตที่ลูกค้ำเคยประสบ



รูปที่ 5 การทดสอบค่ายุบตัวของคอนกรีต

3.2 การออกแบบและทดลองส่วนผสม

จากการสำรวจความต้องการของลูกค้ำและข้อมูลสภาพปัญหา จึงทำการกำหนดแนวทางการออกแบบคอนกรีตให้มีคุณสมบัติเหมาะสมกับการใช้งาน โดยพิจารณาควบคู่กับความเป็นไปได้ในการผลิตคอนกรีตของโรงงานบางเลนซึ่งได้แก่ประเภทของปูนซีเมนต์ ประเภทของน้ำยาผสมคอนกรีต และระยะเวลาการจัดส่ง รวมถึงอัตราการเทคอนกรีตที่หน้างาน เป็นต้น โดยกำหนดวัตถุประสงค์ที่ใช้ในการทดลองส่วนผสมดังนี้

- ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (ตราช้าง)
- น้ำประปา
- หิน 3/4" กำหนดขนาดคละตาม ASTM C 33
- ทรายหยาบ กำหนดขนาดคละตาม ASTM C 33
- น้ำยาผสมคอนกรีต
 - Plasticizer : Type D (Daratard P 50R)
 - Superplasticizer : Type F (Mighty MX)
 - Superplasticizer : Type G (Sikament 520)

ทั้งนี้คุณสมบัติคอนกรีตที่ทำการทดสอบเพื่อใช้ในการพิจารณาได้แก่

- กำลังอัด (Compressive Strength) : BS 1881 ทดสอบที่อายุ 18,24,48 ชม.และ 7,28 วัน
- ความสามารถเทได้ (Workability) : ASTM C 143 ทดสอบค่ายุบตัวเริ่มต้น (Initial Slump) และการสูญเสียค่ายุบตัว (Slump Loss)
- ระยะเวลาการก่อตัว (Setting Time) : ASTM C 403 ทดสอบเพื่อหาค่า Stiffening Time และ Initial Setting Time



รูปที่ 6 การทดสอบระยะเวลาการก่อตัวของคอนกรีต



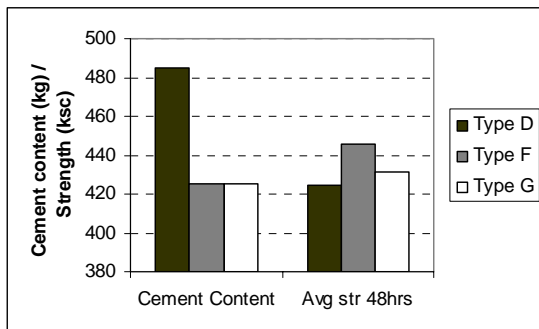
รูปที่ 7 การเก็บตัวอย่างเพื่อทดสอบกำลังอัด



รูปที่ 8 การทดลองส่วนผสมโดยการปรับเปลี่ยนน้ำยาผสมคอนกรีตประเภทต่างๆ

4. การปฏิบัติตามแผนงาน

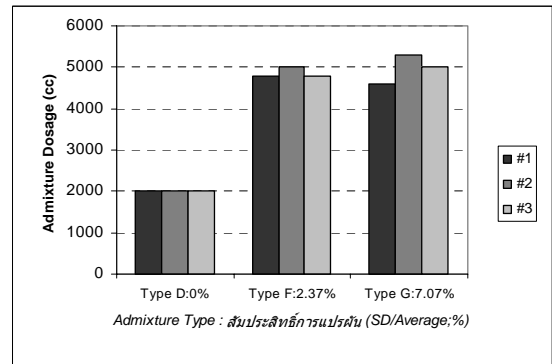
การทดลองเพื่อค้นหาส่วนผสมคอนกรีตที่สามารถรับรองคุณสมบัติที่ลูกค้าต้องการ ได้พิจารณาเปรียบเทียบคุณสมบัติคอนกรีตโดยแยกตามประเภทของน้ำยาผสมคอนกรีต ซึ่งได้แก่ น้ำยาลดน้ำและหน่วงการก่อตัว (Plasticizer : Type D) น้ำยาลดน้ำปริมาณมาก (Superplasticizer : Type F) และ น้ำยาลดน้ำปริมาณมากและหน่วงการก่อตัว (Superplasticizer : Type G) โดยได้ผลการทดลองดังนี้



รูปที่ 9 ปริมาณซีเมนต์และผลกำลังอัดที่ 48 ชม.

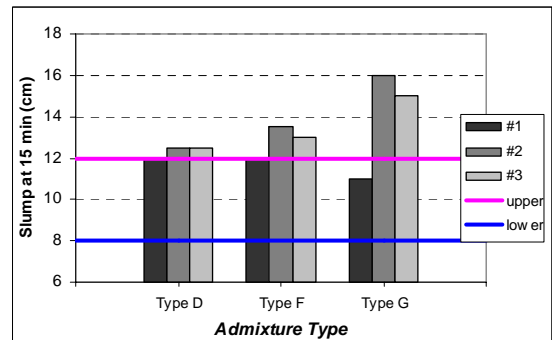
จากผลการทดลองพบว่าเพื่อให้ได้กำลังอัดที่ต้องการ คอนกรีตที่ผสมน้ำยา Type D ต้องใช้ปริมาณปูนซีเมนต์สูง (485 กก./ลบ.ชม.) ขณะที่น้ำยา Type F และ Type G ใช้ซีเมนต์น้อยกว่า (425 กก./ลบ.ชม.) เนื่องจากคุณสมบัติการลดน้ำที่ต่างกัน

ซึ่งจะมีผลทำให้ต้นทุนของคอนกรีตที่ผสมน้ำยา Type D ค่อนข้างสูง และไม่สามารถแข่งขันได้

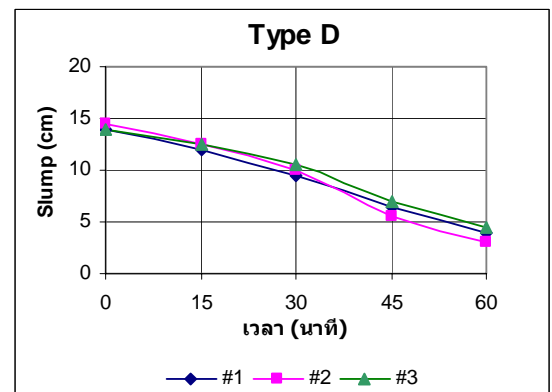


รูปที่ 10 อัตราการใช้น้ำยาแต่ละประเภท

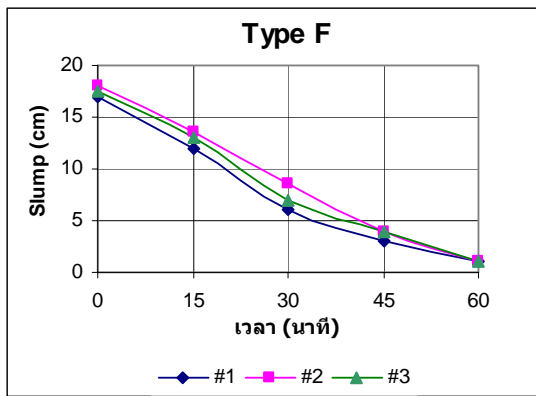
ผลการทดลองพบว่าเพื่อให้ได้ค่ายุบตัวคงที่นั้น คอนกรีตที่ผสมน้ำยา Type D จะมีอัตราใช้น้ำยาที่คงที่ ในขณะที่น้ำยา Type F และ Type G จะมีอัตราค่อนข้างผันแปร ไม่สม่ำเสมอเนื่องจากมีความไวต่อปริมาณน้ำที่มากกว่า โดยเฉพาะอย่างยิ่งในน้ำยา Type G



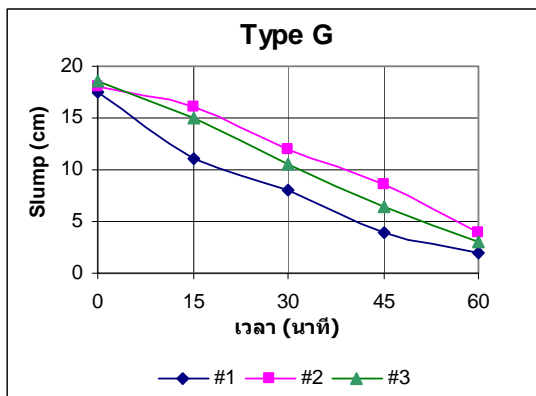
รูปที่ 11 ค่ายุบตัวที่ได้จากน้ำยาแต่ละประเภท



รูปที่ 12 การสูญเสียค่ายุบตัวของน้ำยา Type D

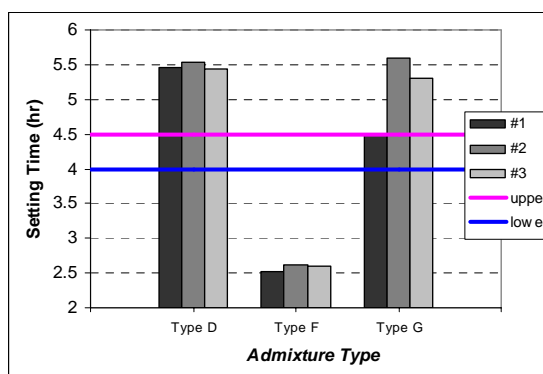


รูปที่ 13 การสูญเสียค่ายุบตัวของน้ำยา Type F



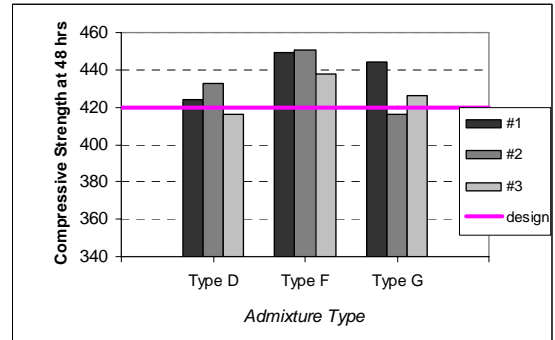
รูปที่ 14 การสูญเสียค่ายุบตัวของน้ำยา Type G

จากผลการทดลองพบว่าค่ายุบตัวหลังจาก 15 นาที (ระยะเวลาจัดส่งถึงหน้างาน) ของคอนกรีตที่ผสมน้ำยา Type G มีความผันแปรสูงกว่าน้ำยาอื่น เนื่องจากอัตราการใช้น้ำยาที่ไม่สม่ำเสมอ จึงทำให้ควบคุมคุณสมบัติคอนกรีตได้ยาก และอัตราการสูญเสียค่ายุบตัวของคอนกรีตที่ผสมน้ำยา Type F จะรวดเร็วกว่าเนื่องจากไม่มีคุณสมบัติด้านการหน่วงการก่อตัว จึงอาจส่งผลให้ลูกค้ทำงานไม่ทัน



รูปที่ 15 ระยะเวลาก่อตัวของคอนกรีตที่ใช้น้ำยาแต่ละประเภท

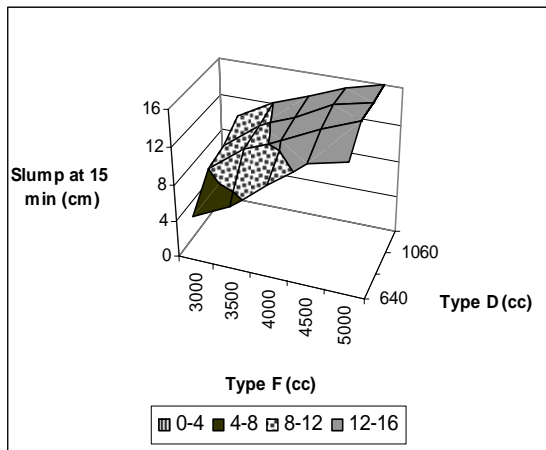
ผลการทดลองพบว่าระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้น (Initial Setting Time) ของคอนกรีตที่ผสมน้ำยาแต่ละประเภทยังไม่สามารถควบคุมให้อยู่ในข้อกำหนดที่ออกแบบได้ ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อกรอดแบบของลูกค้ที่ต้องล่าช้าออกไป



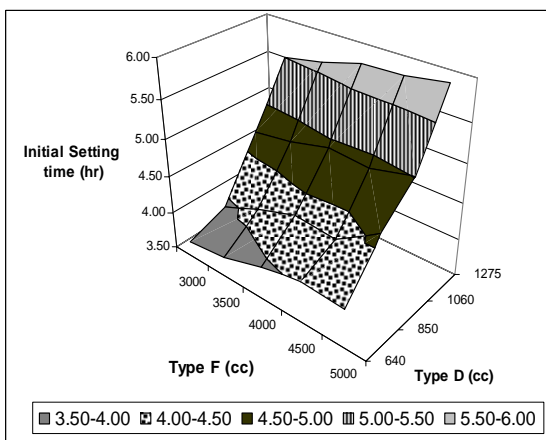
รูปที่ 16 กำลังอัด 48 ชม. ที่ได้จากน้ำยาแต่ละประเภท

ดังนั้นเพื่อให้คอนกรีตมีคุณสมบัติตรงตามความต้องการของลูกค้มากที่สุดจึงได้เลือกใช้แนวทางการผสมน้ำยา Type D และ น้ำยา Type F ร่วมกัน เพื่อเป็นการแยกการควบคุมระดับค่ายุบตัวและอัตราการสูญเสียค่ายุบตัวที่เหมาะสม ออกจากระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้นและอัตราการลดน้ำ โดยการปรับอัตราการใช้ น้ำยาของทั้ง 2 ตามการทดลองดังต่อไปนี้

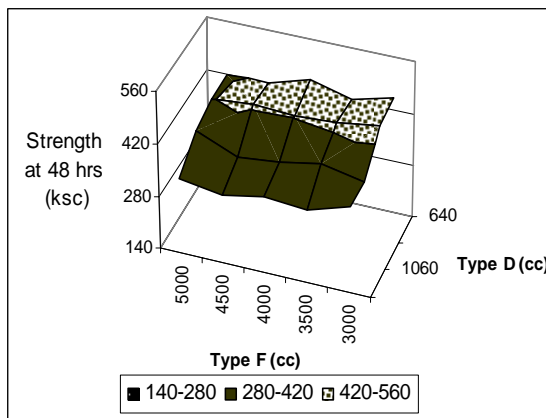
Mix No.	Mix Proportion			
	Cement;kg	Water;l	Type D;cc	Type F;cc
D+F1	425	165	640	3000
D+F2	425	165	640	3500
D+F3	425	165	640	4000
D+F4	425	165	640	4500
D+F5	425	165	640	5000
D+F6	425	165	850	3000
D+F7	425	165	850	3500
D+F8	425	165	850	4000
D+F9	425	165	850	4500
D+F10	425	165	850	5000
D+F11	425	165	1060	3000
D+F12	425	165	1060	3500
D+F13	425	165	1060	4000
D+F14	425	165	1060	4500
D+F15	425	165	1060	5000
D+F16	425	165	1275	3000
D+F17	425	165	1275	3500
D+F18	425	165	1275	4000
D+F19	425	165	1275	4500
D+F20	425	165	1275	5000



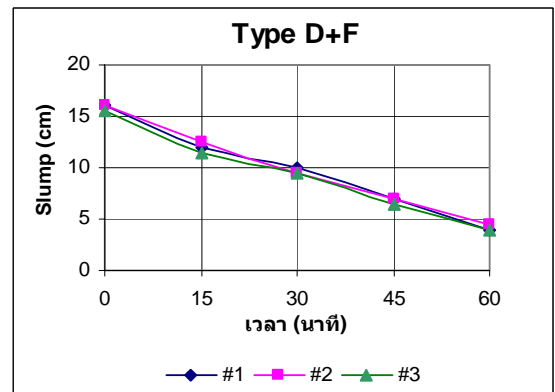
รูปที่ 17 ค่ายุบตัวของคอนกรีตน้ำยา Type D+F



รูปที่ 18 ระยะเวลาก่อตัวของคอนกรีตน้ำยา Type D+F



รูปที่ 19 กำลังอัดคอนกรีตที่ 48 ชม.ของคอนกรีตน้ำยา Type D+F



รูปที่ 20 อัตราการสูญเสียค่ายุบตัวของน้ำยา Type D+F

จากผลการทดลองพบว่าการใช้น้ำยา Type D และ Type F ในปริมาณต่างๆ จะส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติของคอนกรีตในด้านต่างๆ ดังนี้

- ด้านความสามารถเทได้ (Workability)

การใช้ปริมาณน้ำยา Type D ที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่ายุบตัวเพิ่มขึ้นไม่มากนัก เมื่อเทียบกับน้ำยา Type F ซึ่งสำหรับหน่วยงานดังกล่าวที่มีระยะเวลาจัดส่ง 15 นาที และต้องการค่ายุบตัว 8-12 cm. นั้น ปริมาณน้ำยาที่เหมาะสม ระหว่าง Type D และ Type F คือ 850-1060 cc. และ 3000-4000 cc. ตามลำดับ ดังพื้นที่ลายจุดของกราฟรูปที่ 17

- ด้านระยะเวลาก่อตัวเริ่มต้น (Initial Setting Time)

การใช้ปริมาณน้ำยา Type D ที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ระยะเวลาก่อตัวเริ่มต้นเพิ่มขึ้น ในขณะที่น้ำยา Type F มีผลน้อย ซึ่งสำหรับหน่วยงานดังกล่าวที่ต้องถอดแบบที่ระยะเวลา 18 ชม. นั้นควรควบคุมให้คอนกรีตมี Initial Setting Time ที่ 4-4:30 ชม. ซึ่งปริมาณน้ำยาที่เหมาะสม ระหว่าง Type D และ Type F คือ 640-850 cc. และ 3000-5000 cc. ตามลำดับ ดังพื้นที่ลายจุดของกราฟรูปที่ 18

- ด้านกำลังอัด (Compressive Strength)

การใช้ปริมาณน้ำยา Type D ที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้กำลังอัดที่ 48 ชม. ลดลงเนื่องจากผลของการหน่วงการก่อตัว แต่ น้ำยา Type F จะช่วยให้ลดน้ำและซดเซยให้กำลังอัดช่วงต้นเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งสำหรับหน่วยงานดังกล่าวต้องออกแบบให้คอนกรีตมีกำลังอัดที่ 48 ชม. มีค่า 420 ksc. นั้น ปริมาณน้ำยาที่เหมาะสม ระหว่าง

Type D และ Type F คือ 640-850 cc. และ 3500-4500 cc.
ตามลำดับ ดังพื้นที่ลายจุดของกราฟรูปที่ 19

ดังนั้นเมื่อนำพื้นที่ลายจุดของกราฟทั้ง 3 รูป
มาซ้อนทับกัน (Intersection) จะสามารถสรุปส่วนผสม
ที่เหมาะสมสำหรับงานหล่อ Girder ของหน่วยงาน
ดังกล่าวได้ดังนี้

กำลังอัดที่ 48 ซม.	360 ksc.
ค่ายุบตัว	8-12 cm.
Cement Type I	425 kg.
น้ำ	165 ltr.
ทราย	810 kg.
หิน 3/4"	1,080 kg.
น้ำยา Type D	850 cc.
น้ำยา Type F	3200-3600 cc.

5. การตรวจสอบผล

จากการออกแบบส่วนผสมและทำการผลิตจัดส่งให้กับ
ลูกค้าจากโรงงานบางเลน ซึ่งใช้เวลาในการเดินทาง
ประมาณ 15 นาที พบว่าคอนกรีตสดที่หน้างานมีความ
ชื้นเหลวพอเหมาะสำหรับการทำงาน และลูกค้าสามารถ
ถอดแบบและตัดลวดได้ตามที่วางแผนไว้ ซึ่งทำให้ลูกค้า
เกิดความพึงพอใจ และสั่งใช้งานอย่างต่อเนื่อง
นอกจากนี้ลูกค้ายังสามารถรับงานหล่อคานสะพานอัด
แรง (Prestressed Girder) จากโครงการก่อสร้างทาง
ด่วนขั้นที่ 3 สายใต้ ตอน S1 และทางยกระดับเข้าออก
สนามบินสุวรรณภูมิได้เพิ่มมากขึ้น ซึ่งจากเดิมทาง
โครงการฯ ต้องทำการหล่อเองที่หน้างานบางส่วน



รูปที่ 21 การจัดส่งคอนกรีตให้กับหน่วยงาน



รูปที่ 22 สภาพเนื้อคอนกรีตที่ผลิตได้ถึงหน่วยงาน



รูปที่ 23 การเทคอนกรีตลงแบบหล่อ Girder



รูปที่ 24 Girder ที่หล่อแล้วเสร็จพร้อมขนส่งไปติดตั้ง



รูปที่ 25 การขนส่ง Girder ไปติดตั้งยังโครงการก่อสร้าง

6. การจัดสู่การทำงานปกติ

กิจกรรม	ผู้รับผิดชอบ
1. จัดทำตารางสรุปการออกแบบส่วนผสมสำหรับงานโรงหล่ออื่นๆตาม	ผจก.สค.ตต.2
2. ตรวจสอบและขยายผลกับกลุ่มตลาดงานโรงหล่อในแต่ละพื้นที่ของภาค	ผจก.สค.ตต.2 จนท.ปช.ตต.2
3. ให้ความรู้แก่ จนท.ปช. และพนักงานโรงงานที่เกี่ยวกับตัวสินค้าเพื่อนำเสนอขายต่อไป	ผจก.สค.ตต.2

7. แผนงานในอนาคต

ออกแบบส่วนผสมคอนกรีตที่เหมาะสมกับความต้องการของโรงหล่ออื่นๆที่สำรวจได้ และนำเสนอให้กับลูกค้าเพื่อเป็นการขยายตลาดสูงงานโรงหล่อคอนกรีตสำเร็จรูปทุกประเภทให้ครอบคลุมทั่วพื้นที่

กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้ตามวัตถุประสงค์ได้ด้วยความช่วยเหลือจากกลุ่มบุคคลดังนี้ คือ

- คุณ รัชต์ชยุตม์ เกษมชัยสิริ ที่เป็นที่ปรึกษาและให้คำแนะนำการดำเนินการโครงการนี้
- พนักงานในหน่วยงานพัฒนาผลิตภัณฑ์ ในความช่วยเหลือในการทำการทดสอบและข้อมูลทางเทคนิค
- คุณ ชัยพร สุรังสิมันต์กุล วิศวกรบริษัท ภัทรไพล์ลิ่ง จำกัด ที่ได้ให้คำแนะนำเกี่ยวกับข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่อการดำเนินการ

เอกสารอ้างอิง

- วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์, ความคงทนของคอนกรีต, คณะอนุกรรมการคอนกรีตและวัสดุ ภายใต้คณะกรรมการวิชาการสาขาวิศวกรรมโยธา
- เอกสารประกอบหลักสูตรการฝึกอบรมคอนกรีตเทคโนโลยีแบบบูรณาการ, การออกแบบส่วนผสมคอนกรีต
- เอกสารการนำเสนอวิธีการก่อสร้างคานสะพานอัดแรง(Prestressed Girder) บริษัทภัทรไพล์ลิ่ง จำกัด