

## การออกแบบและปรับส่วนผสมคอนกรีตความร้อนต่ำสำหรับฐานรากหอคอบคลุมวิทยุ การบิน สนามบินสุวรรณภูมิ

ชรินทร์ ธรรมาภิรมย์

ผู้จัดการส่งเสริมคุณภาพ CPAC กรุงเทพฯ 3

กิจการ CPAC กรุงเทพฯ

**บทคัดย่อ :** โครงการก่อสร้างหอคอบคลุมวิทยุการบินในสนามบินสุวรรณภูมิ เป็นโครงการที่ออกแบบโครงสร้างส่วนของฐานรากเป็นลักษณะรูปทรงจานคว่ำ ซึ่งฐานรากมีขนาดใหญ่ ความหนาประมาณ 2 เมตร ความยาวประมาณ 14 เมตร และเส้นผ่านศูนย์กลางของวงกลมประมาณ 24 เมตร จึงจำเป็นต้องมีการคำนึงถึงปัญหาเรื่องอุณหภูมิคอนกรีตในโครงสร้าง ซึ่งผู้ควบคุมงานต้องการใช้คอนกรีตที่มีลักษณะพิเศษคือ มีความร้อนต่ำ มีระยะเวลาการทำงานได้ที่นานกว่าคอนกรีตทั่วไป มีระยะเวลาเซ็ทตัวช้ากว่าคอนกรีตทั่วไป มีค่าการหดตัวที่ต่ำ และมีค่าการยึดตัว โดยคุณสมบัติที่จำเป็นทั้งหมดดังกล่าวนี้ จำเป็นต้องคำนึงถึงเนื่องจากรูปแบบของตัวโครงสร้างเอง และการรับแรงของโครงสร้าง ที่ออกแบบให้รับทั้งแรงอัดและแรงดัด นอกจากนี้ลักษณะการเทคอนกรีตก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ทำให้ต้องคำนึงถึงคุณสมบัติคอนกรีตดังกล่าวข้างต้น นับเป็นรูปแบบของโครงสร้างที่มีรูปแบบที่หาพบได้ยากในการก่อสร้างทั่วไป จึงถือเป็นโอกาสที่ดีในการนำมาจัดทำเป็นกรณีศึกษาเรื่องการปรับส่วนผสมคอนกรีต เพื่อให้เหมาะกับการใช้งาน ตลอดจนสภาพการทำงานจริง ว่ามีข้อจำกัดหรือปัญหาอุปสรรคอื่นใดที่เกิดขึ้น ซึ่งมีประโยชน์ในการนำไปประยุกต์กับงานโครงการที่มีรูปแบบที่คล้ายคลึงกันนี้ในอนาคต

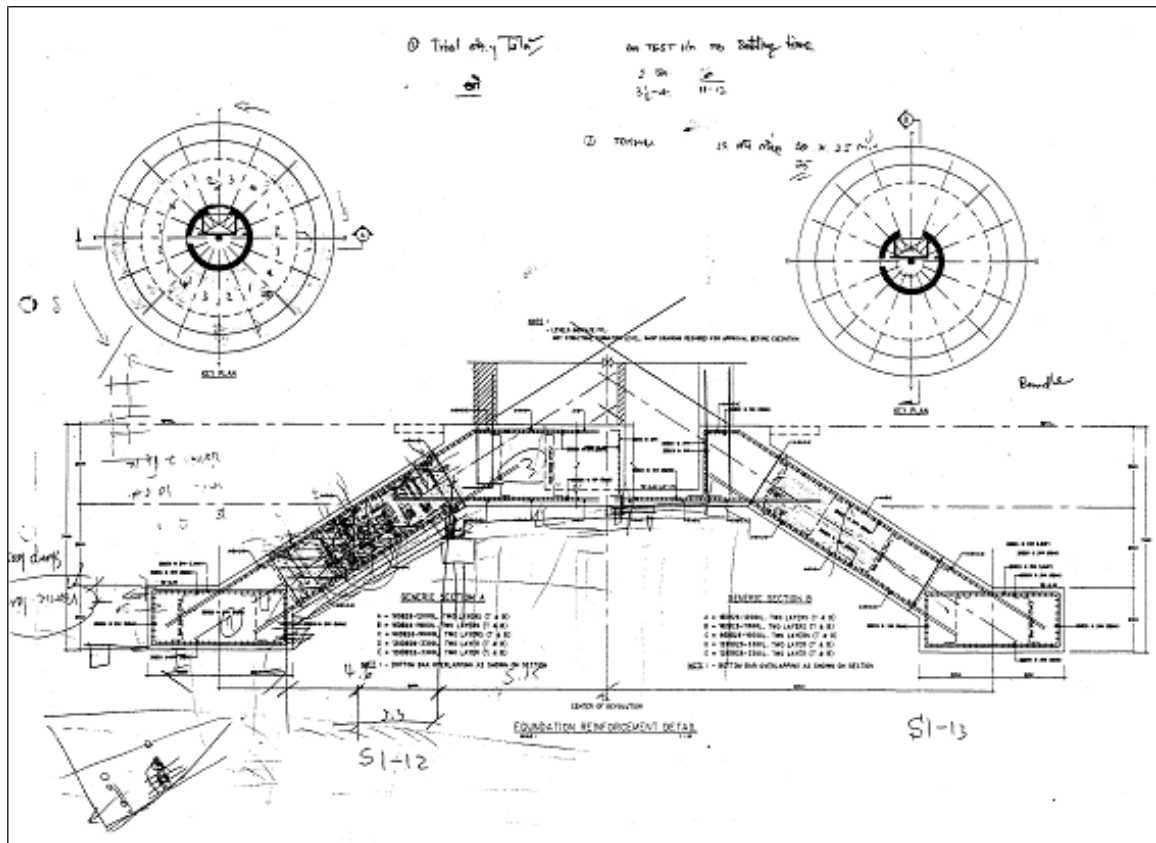
### 1. เข้าใจในนโยบายของผู้บริหาร

สืบเนื่องจากนโยบายการเพิ่มยอดผลิตสินค้าพิเศษซีแพคในปี 2547 โดยสินค้าพิเศษที่มีอยู่ประมาณ 15 ชนิดนั้น เหมาะสมกับทั้งงานขนาดเล็ก งานชาวบ้าน ตลอดจนงานขนาดกลางถึงใหญ่ สำหรับคอนกรีตความร้อนต่ำส่วนมากจะถูกเลือกใช้งานในโครงการขนาดใหญ่ เนื่องจากจุดขายของตัวสินค้าเองที่ก่อให้เกิดความร้อนในคอนกรีตต่ำ จึงเหมาะที่จะใช้กับโครงสร้างที่มีขนาดใหญ่ (มิติแต่ละด้านไม่ต่ำกว่า 50 เซนติเมตร)งานสนามบินสุวรรณภูมิ เป็นอีกหน่วยงานที่เป็นเป้าหมายของการเสนอขายคอนกรีตความร้อนต่ำ ซึ่งคอนกรีตความร้อนต่ำที่มีการใช้งานมากที่สุดได้

แก่ คอนกรีตความร้อนต่ำ เนื่องจากมีจำนวนของฐานรากขนาดใหญ่ที่จำเป็นต้องคำนึงเรื่องรอยแตกร้าวที่เกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิที่กึ่งกลางโครงสร้างและที่ผิว

### 2. กำหนดงานที่จะทำ

โครงสร้างที่จะใช้คอนกรีตความร้อนต่ำแสดงได้ดังภาพด้านล่าง



รูปที่ 1 แสดงรูปโครงสร้างที่ฐานหอควบคุมวิทยุการบิน โดยมีลักษณะเป็นภาพรูปทรงจานคว่ำ

สำหรับคอนกรีตความร่อนต่ำในโครงการหอควบคุมวิทยุการบินมีประเด็นปัญหาที่อาจเกิดขึ้นระหว่างการเทคอนกรีต ซึ่งที่ปรึกษาโครงการได้ชี้แจงประเด็นปัญหาเหล่านั้นดังนี้

## 2.1 ประเด็นปัญหาคอนกรีตสด

2.1.1 ปัญหาเรื่องการทรุดตัวของเริ่มแรกของโครงสร้าง (Immediate Settlement) หากกำลังอัดคอนกรีตในระยะเริ่มต้น (early strength) มีค่าน้อย เมื่อคอนกรีตเกิดการทรุดตัวจะทำให้เกิดการแตกร้าวในคอนกรีต ซึ่งคาดว่าจะเกิดการทรุดตัวดังกล่าวประมาณ 3 เซนติเมตร ภายในระยะเวลา 10 ชั่วโมง

2.1.2 ปัญหาเรื่องการยึดที่ส่งผลให้คอนกรีตส่วนบนของโครงสร้างอ่อนแอกว่าปกติ จึงต้องการคอนกรีตที่มีค่าการยึดที่ต่ำ

2.1.3 รอยแตกร้าวที่เกิดจากการทรุดตัวแบบพลาสติก (Plastic Settlement) ของคอนกรีตที่จะเกิดขึ้นหลังจากเทคอนกรีต

2.1.4 ค่ายุบตัวที่เหมาะสมของคอนกรีต เพราะเหล็กเสริมในโครงสร้างค่อนข้างหนาแน่น อีกทั้งด้วยรูปแบบของโครงสร้างที่เป็นช่องเอียงลาดชันทำให้เข้าไปทำงานได้ยากขึ้น

2.1.5 ประเด็นเรื่องการแยกตัวของคอนกรีตที่เทในส่วนของโครงสร้างที่เป็นช่องลาดเอียง

## 2.2 ประเด็นปัญหาคอนกรีตแข็งตัวแล้ว

2.2.1 ในการเทโครงสร้างขนาดใหญ่ หากเทเป็นครั้งเดียว คาดว่าจะเกิดการหดตัวสูง ดังนั้นจึงวางแผนแบ่งเทคอนกรีตออกเป็น 16 ส่วน

2.2.2 ความเหมาะสมในการทำรอยต่อเพื่อการขยายตัว (Expansion Joint) ที่รอยต่อระหว่างโครงสร้างที่เทคนละครั้ง

2.2.3 การบ่มคอนกรีตความร่อนต่ำ เพื่อป้องกันปัญหาการแตกร้าวเนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิ (Thermal Crack)

2.2.4 อุณหภูมิภายในโครงสร้างคอนกรีต ควรจะมีค่าอย่างไรจึงจะไม่เกิดปัญหารอยแตกร้าวในโครงสร้าง

เมื่อรับทราบประเด็นปัญหาที่ทางที่ปรึกษา ต้องการแล้ว จึงนำความต้องการเหล่านั้นมาออกแบบ คอนกรีตให้เหมาะสมกับสภาพการทำงานจริงมากขึ้น ดังนี้

โดยข้อกำหนดทั้งหมดที่กล่าวมา ได้จากข้อกำหนดของงานและการร่วมประชุมโดยมีทุกๆ ฝ่ายที่เกี่ยวข้องเข้าร่วม ได้แก่ ผู้รับเหมา ที่ปรึกษา และเจ้าของงาน โดยสามารถกำหนดงานที่จะทำหลังจากการ ได้รับข้อกำหนดต่างๆจนครบถ้วนแล้วดังนี้

1) ออกแบบและปรับส่วนผสมให้มีคุณสมบัติ คอนกรีตเป็นไปตามข้อกำหนดงาน

2) ทดลองส่วนผสมคอนกรีตที่ปรับส่วนผสม แล้วในห้องทดลองที่ศูนย์ทดสอบบางซื่อ พร้อมทั้ง เชิญตัวแทนผู้รับเหมา ที่ปรึกษางานมาร่วมพิจารณา ด้วย

3) ทดลองส่วนผสมคอนกรีตที่โรงงานและ ทดลองเทคอนกรีตจริงในแบบทรงลูกบาศก์ขนาดใหญ่ ปริมาตร 1 ลูกบาศก์เมตร (Big Cube) บริเวณหน่วยงานก่อสร้าง

4) ติดตั้งเครื่องวัดอุณหภูมิเพื่อพิจารณา อุณหภูมิคอนกรีตที่เพิ่มขึ้นและความแตกต่างระหว่าง อุณหภูมิคอนกรีตที่จุดกึ่งกลางกับที่ผิวบนและล่าง

5) สรุปผลการทดลองทั้งหมดจัดทำเป็น Proposal นำเสนอต่อบริษัทที่ปรึกษาเพื่อขออนุมัติใช้ งานคอนกรีตความร้อนต่ำ

6) ติดตามผลการใช้งานคอนกรีตที่หน้างาน จริง เพื่อเก็บเป็นข้อมูลสำหรับการดำเนินงานใน ลักษณะที่คล้ายกัน



รูปที่ 2 แสดงภาพการประชุมเพื่อชี้แจงคุณสมบัติและ ข้อจำกัดต่างๆในการทำงานเพื่อรวบรวมไปออกและ ปรับส่วนผสมคอนกรีต ณ สำนักงานใหญ่บางซื่อ อาคาร 4 ชั้น 2

### 3. พัฒนารูปแบบการปฏิบัติงาน

จากการกำหนดงานที่จะทำในขั้นตอนที่ 2 นั้น สามารถนำมาจัดทำแผนการปฏิบัติงานได้ ดังนี้

3.1 ศึกษาแบบโครงสร้างและวิธีการก่อสร้างเพื่อเป็น ข้อมูลประกอบการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตให้ตรงกับ ความต้องการลูกค้า

3.1.1 ระยะเวลาการก่อตัวของคอนกรีตที่ระยะเวลา 10 -11 ชั่วโมง

3.1.2 การหดตัวของคอนกรีตต่ำ

3.1.3 ความสามารถในการเทได้สูง คือ มีอัตราการสูญเสียค่ายุบตัวต่ำ (ค่ายุบตัวไม่ต่ำกว่า 15 ซม. ภายในระยะเวลา 90 นาที)

3.1.4 การเยิ้มที่ต่ำกว่าคอนกรีตทั่วไป

3.1.5 การมีเนื้อคอนกรีตที่สม่ำเสมอ ไม่แยกตัวระหว่างการเท

3.1.6 อุณหภูมิสูงสุดของคอนกรีตไม่ก่อให้เกิด รอยร้าวในโครงสร้าง

3.1.7 ความแตกต่างของอุณหภูมิตั้งแต่จุดกึ่ง กลางกับที่ผิวไม่ก่อให้เกิดการแตกร้าวภายในโครงสร้าง

3.1.8 ระยะเวลาตกโดยอิสระของคอนกรีต (Free Fall)

### 3.2 การออกแบบและปรับส่วนผสม

#### 3.2.1 การตรวจสอบข้อกำหนดหลักของคอนกรีต มีดังนี้

3.2.1.1 กำลังอัดทรงกระบอกที่ 28 วัน ไม่ต่ำกว่า 350 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

3.2.1.2 ค่าความยุบตัวอยู่ในช่วงที่สามารถเทคอนกรีตในโครงสร้างที่ลาดชันและเข้าไปทำงานได้ค่อนข้างยาก

3.2.1.3 ข้อกำหนดย่อยเพิ่มเติมอื่นๆ ตามที่ได้กล่าวถึงแล้วในขั้นตอนที่ 2

#### 3.2.2 การทดลองส่วนผสมคอนกรีตในห้องทดลอง (Trial Mix)

การทดลองส่วนผสมคอนกรีตในห้องทดลอง จะต้องจัดเตรียมวัสดุดิบแต่ละประเภทในสัดส่วนที่เพียงพอต่อการสุ่มตัวอย่างทดสอบคุณสมบัติต่างๆ และจะต้องทดสอบค่าความชื้น หาย เพื่อการปรับปริมาณน้ำให้ถูกต้องตามที่ต้องการ โดยที่การทดลองผสมคอนกรีตในห้องทดลองนั้นมีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบคุณสมบัติว่าเป็นไปตามที่ออกแบบหรือไม่ ดังนั้นต้องจัดเตรียมเครื่องมือในการทดสอบ ได้แก่ เครื่องวัดระยะเวลาก่อตัวคอนกรีต เครื่องมือทดสอบการหดตัวของคอนกรีต แบบหล่อก้อนปูนตัวอย่างทรงกระบอก และชุดเครื่องมือวัดค่ายุบตัว



รูปที่ 3 แสดงการทดลองส่วนผสมคอนกรีตในห้องทดสอบคอนกรีต ศูนย์ทดสอบบางซื่อ



รูปที่ 4 แสดงเนื้อคอนกรีตที่ได้หลังจากปรับส่วนผสมคอนกรีตครั้งแรก



รูปที่ 5 แสดงการเตรียมคอนกรีตสำหรับทดสอบระยะเวลาก่อตัวของคอนกรีตในห้องทดสอบ

### 3.3 การทดลองส่วนผสมคอนกรีตที่โรงงาน และการทดลองเทในแบบ (Mockup Trial Mix)

การผลิตคอนกรีตเพื่อทดลองเทจริงที่หน้านั้น มีวัตถุประสงค์เพื่อพิจารณาสภาพคอนกรีตที่นำไปเทในโครงสร้างจริง เพื่อตรวจสอบคุณสมบัติต่อไปนี้ เนื้อคอนกรีต อัตราการสูญเสียค่าความยุบตัว ระยะตกโดยอิสระของคอนกรีตที่จะไม่ทำให้เกิดการแยกตัว อุณหภูมิสูงสุดในเนื้อคอนกรีต และความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิที่จุดกึ่งกลางและที่ผิว



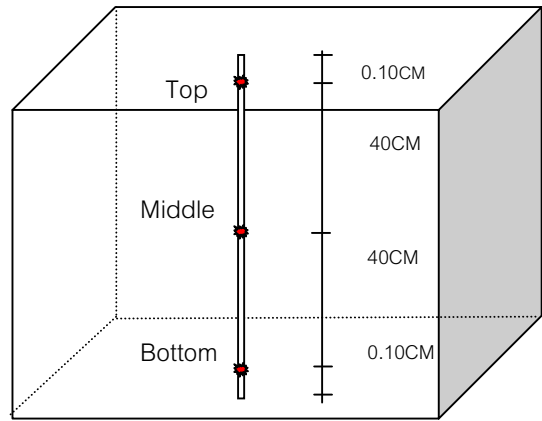
รูปที่ 6 แสดงการทดลองส่วนผสมคอนกรีตที่โรงงาน มีการตรวจสอบค่ายุบตัวเริ่มต้น (Initial Slump)



รูปที่ 7 แสดงสภาพเนื้อคอนกรีตก่อนเทลงแบบ ทดลองขนาด 1 ลูกบาศก์เมตร (Big Cube) โดยมีค่า ยุบตัว 19 เซนติเมตร



รูปที่ 8 แสดงการทดลองเทคอนกรีตในทดลองขนาด 1 ลูกบาศก์เมตร (Big Cube) ที่จัดเตรียมไว้หน้างาน เพื่อตรวจสอบระยะเวลาการตกและอุณหภูมิคอนกรีต



รูปที่ 9 แสดงตำแหน่งที่ติดตั้งจุดวัดอุณหภูมิในแบบ จำลองคอนกรีตปริมาตร 1 ลูกบาศก์เมตร

#### 4. วิธีการเพื่อให้งานสำเร็จ

จากข้อกำหนดและความต้องการพิเศษต่างๆ ไม่ว่าจะ เป็นในกรณีของคอนกรีตสดหรือคอนกรีตแข็งตัวแล้ว ล้วนแต่ต้องนำมาออกแบบและปรับส่วนผสมคอนกรีต ดังนี้

ส่วนผสมคอนกรีตความร้อนต่ำกำลังอัดทรง กระบอก 350 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

ส่วนผสมคอนกรีตก่อนทำการปรับแก้

ซีเมนต์	เถ้าลอย	หิน	ทราย	น้ำ	น้ำยา Type D	น้ำยา Type F
220	220	1000	850	150	485	3300

ส่วนผสมคอนกรีตหลังจากการปรับแก้แล้ว

ซีเมนต์	เถ้าลอย	หิน	ทราย	น้ำ	น้ำยา Type D	น้ำยา Type F
220	220	950	850	160	660	3600

\* น้ำยาลดน้ำและหน่วงการก่อตัว (Type D) หน่วยเป็น ซีซี/ลูกบาศก์เมตร

\*\* น้ำยาลดน้ำปริมาณมาก (Type F) หน่วยเป็น ซีซี/ลูกบาศก์เมตร

**หลักการออกแบบและปรับส่วนผสมคอนกรีต**

ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้องการของลูกค้า สิ่งที่ CPAC แนะนำและรายละเอียดการออกแบบและปรับส่วนผสมคอนกรีต

ข้อจำกัดและความต้องการ	คำแนะนำจาก CPAC	รายละเอียดการออกแบบ
<ul style="list-style-type: none"> <li>ปัญหาเรื่องการหลุดตัวของเริ่มแรกของโครงสร้าง (Immediate Settlement) ซึ่งคาดว่าจะเกิดการหลุดตัวดังกล่าวประมาณ 3 เซนติเมตร ภายในระยะเวลา 10 ชั่วโมง</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ออกแบบคอนกรีตให้มีระยะเวลาการก่อตัวของคอนกรีตที่ระยะเวลา 10 - 11 ชั่วโมง</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ปริมาณน้ำยาทั้ง 2 ประเภท (Type D &amp; Type F) ที่ใส่มีอัตราที่สูงกว่าปกติเพราะคอนกรีตจะต้องมีค่ายุบตัวเริ่มต้นที่สูงกว่าปกติ เพื่อเพื่อระยะเวลาการทำงานที่นานขึ้นได้</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>ปัญหาเรื่องการโยกที่ส่งผลให้คอนกรีตส่วนบนของโครงสร้างอ่อนแอกว่าปกติ จึงต้องการคอนกรีตที่มีเปอร์เซ็นต์การโยกที่ต่ำ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>การโยกที่ต่ำกว่าคอนกรีตทั่วไปคือไม่เกิน 4%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>การออกแบบคอนกรีตให้มีปริมาณน้ำส่วนเกินน้อยที่สุดและควบคุมวัสดุดิบให้มีขนาดคละที่ต่อเนื่อง</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>รอยแตกร้าวที่เกิดจากการหลุดตัวแบบพลาสติก (Plastic Settlement) ของคอนกรีตที่จะเกิดขึ้นหลังจากเทคอนกรีต</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>สามารถทำการจี้เขย่าซ้ำได้ทราบใดที่คอนกรีตยังไม่ก่อตัว</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>การออกแบบคอนกรีตให้มีปริมาณน้ำส่วนเกินน้อยที่สุดเพื่อให้เกิดการหลุดตัวจากการที่คอนกรีตเหลวเกินไปน้อยที่สุด</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>ค่ายุบตัวที่เหมาะสมของคอนกรีต เพราะเหล็กเสริมในโครงสร้างค่อนข้างหนาแน่น อีกทั้งด้วยรูปแบบของโครงสร้างที่เป็นช่องเอียงลาดชัน ทำให้เข้าไปทำงานได้ยากขึ้น</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ออกแบบให้คอนกรีตมีค่ายุบตัวเริ่มต้นสูงโดยคำนึงถึงโอกาสในการแยกตัว</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>น้ำยาผสมคอนกรีตที่ใช้ เป็นน้ำยา Type G ซึ่งเหมาะสำหรับย่านความยุบตัวที่ต้องการ (15-20 ซม.)</li> </ul>

ข้อจำกัดและความต้องการ	คำแนะนำจาก CPAC	รายละเอียดการออกแบบ
<ul style="list-style-type: none"> <li>ปัญหาการใช้เวลาในการเทคอนกรีตนาน เนื่องจากความยากของรูปแบบโครงสร้างและพื้นที่กว้างมาก</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ความสามารถในการเทได้สูง คือ มีอัตราการสูญเสียค่ายุบตัวต่ำ (ค่ายุบตัวไม่ต่ำกว่า 15 ซม. ภายในระยะเวลา 90 นาที)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ปริมาณน้ำในส่วนผสมมีค่าไม่ต่ำกว่า 160 กก./ลบ.ม. เพื่อให้คอนกรีตมีความสามารถในการทำงานได้นาน</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>ประเด็นเรื่องการแยกตัวของคอนกรีตที่เทในส่วนของโครงสร้างที่เป็นช่องลาดเอียง</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ต้องออกแบบให้คอนกรีตมีเนื้อคอนกรีตที่เหนียวและสม่ำเสมอ มีสัดส่วนของมวลรวมละเอียดที่เพิ่มขึ้น</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ปรับอัตราส่วนมวลรวมละเอียดต่อมวลรวมทั้งหมดให้ค่าสูงขึ้น คืออยู่ในช่วงประมาณ 42 - 43 เพื่อให้คอนกรีตมีความเหนียวมากขึ้น ลดโอกาสการแยกตัว</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>ในการเทโครงสร้างขนาดใหญ่ หากเทเป็นครั้งเดียว คาดว่าจะเกิดการหดตัวสูง ดังนั้นจึงวางแผนแบ่งเทคอนกรีตออกเป็น 8 ส่วน</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ต้องทำให้มีการหดตัวของคอนกรีตต่ำไม่เกิน 0.03%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>การออกแบบคอนกรีตให้มีปริมาณน้ำส่วนเกินน้อยที่สุด เพื่อลดการเกิดการหดตัวแบบแห้งในระยะยาว</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>ความเหมาะสมในการทำรอยต่อเพื่อการขยายตัว (Expansion Joint) ที่รอยต่อระหว่างโครงสร้างที่เทคนละครั้ง</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>สามารถทำได้</li> </ul>	<p>-</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>การบ่มคอนกรีตความร้อนต่ำ เพื่อป้องกันปัญหาการแตกร้าว เนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิ (Thermal Crack)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ควรบ่มคอนกรีตแบบแห้งเป็นระยะเวลาประมาณ 2 สัปดาห์ หลังจากนั้นจึงบ่มเปียกจนถึง 28 วัน</li> </ul>	<p>-</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>อุณหภูมิภายในโครงสร้างคอนกรีตควรจะมีค่าอย่างไรจึงจะไม่เกิดปัญหาการแตกร้าวในโครงสร้าง</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>อุณหภูมิสูงสุดของคอนกรีตไม่ก่อให้เกิดรอยร้าวในโครงสร้าง</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>การออกแบบคอนกรีตความร้อนต่ำจะทำการใช้สารผสมเพิ่มเข้าล้อยในส่วนผสมในสัดส่วน 50% ทั้งนี้เพื่อลดปริมาณความร้อนอันเกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชันจากซีเมนต์ในคอนกรีต</li> </ul>

## 5. การปฏิบัติตามแผนงาน

การทดลองส่วนผสมตามที่ได้ออกแบบและปรับไว้แล้วนั้นได้ผลการทดลองดังนี้

### 5.1 การทดลองในห้องทดสอบศูนย์ทดสอบบางซื่อ

#### 5.1.1 กำลังอัดคอนกรีต ได้กำลังอัดคอนกรีตรูปทรงกระบอกตามตารางด้านล่าง

ผลการทดสอบกำลังอัดคอนกรีต ณ ศูนย์ทดสอบบางซื่อ

อายุ (วัน)	กำลังอัดทรงกระบอก (ก.ก./ตร.ซม.)			
	ก้อนที่ 1	ก้อนที่ 2	ก้อนที่ 3	เฉลี่ย
3	300	303	302	302
7	357	375	366	366
28	577	574	576	576

#### 5.1.2 ค่าความสามารถในการทำงานได้

Product / Mix code	ZBDM40A3A0		
Temperature	Ambient / Concrete	°C	33/34
Slump	Initial	cm	23.0
	At 0:30 hr	cm	20.0
	At 1:00 hr	cm	16.0
	At 1:30 hr	cm	13.0
	At 2:00 hr	cm	8.5

#### 5.1.3 ระยะเวลาเซ็ทตัวของคอนกรีต

Product / Mix code	ZBDM40A3A0		
Temperature	Ambient / Concrete	°C	33/34
Setting Time	Stiffening	hr	8:55
	Initial	hr	10:00

#### 5.1.4 ค่าการหดตัวของคอนกรีต

ตัวอย่าง	เปอร์เซ็นต์การหดตัวที่ระยะเวลาต่างๆ (%)					
	1 วัน	3 วัน	5 วัน	14 วัน	24 วัน	28 วัน
1	-	0.0088	0.0180	0.0344	0.0336	0.0272
2	-	0.0124	0.0160	0.0340	0.0332	0.0276
3	-	0.0104	0.0184	0.0356	0.0356	0.0316



## 5.2 การทดลองส่วนผสมคอนกรีตที่โรงงาน และการทดลองเทในแบบ (Mockup Trial Mix)

### 5.2.1 กำลังอัดคอนกรีต ได้กำลังอัดคอนกรีตรูปทรงกระบอกตามตารางด้านล่าง

ผลการทดสอบกำลังอัดคอนกรีต ณ โรงงานสนามบินสุวรรณภูมิ

อายุ (วัน)	กำลังอัดทรงกระบอก (ก.ก./ตร.ซม.)			
	ก้อนที่ 1	ก้อนที่ 2	ก้อนที่ 3	เฉลี่ย
1	233	236	239	236
2	291	300	294	295
3	326	337	329	331
4	366	363	360	363
5	386	395	389	390
6	404	409	398	404
7	432	430	421	428
28	623	611	617	617

#### สรุปผลการทดลอง

กำลังอัดคอนกรีตเป็นไปตามที่ออกแบบ คือมีกำลังอัดทรงกระบอกเกิน 350 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และมีค่าส่วนเผื่อจากผลการทดสอบก้อนปูนก้อนข้างสูง ทำให้ลดปัญหากำลังอัดคอนกรีตในส่วนที่เกิดการเอียงยังคงเป็นไปตามเกณฑ์ที่ต้องการ ไม่ว่าจะเป็นการทดลองส่วนผสมที่ห้องทดลองหรือที่โรงงาน

### 5.2.2 ค่าความสามารถในการทำงานได้

Product / Mix code	ZBDM40A3A0		
Temperature	Ambient / Concrete	°C	36/36
Slump	Initial	cm	23.0
	At 0:30 hr	cm	19.5
	At 1:00 hr	cm	19.0
	At 1:30 hr	cm	17.5
	At 2:00 hr	cm	11.5

#### สรุปผลการทดลอง

ค่ายุบตัวของคอนกรีตมีอัตราการลดลงที่ค่อนข้างช้า เนื่องจากการปรับน้ำยาและน้ำผสมคอนกรีตด้วยปริมาณที่เหมาะสม นอกจากนี้ยังเกิดจากมีเถ้าลอยซึ่งเกิดปฏิกิริยาช้ากว่าผสมอยู่ในสัดส่วนที่สูง ทำให้ผลการทดสอบทั้งหน้างานและห้องทดลองเป็นไปตามที่ลูกค้าต้องการ

### 5.2.3 ระยะเวลาก่อตัวของคอนกรีต

การทดลองที่หน้างาน ไม่ได้มีการทดสอบคุณสมบัติระยะเวลาก่อตัว เนื่องจากข้อจำกัดในเรื่องของเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ ไม่สามารถเคลื่อนย้ายได้ ดังนั้น จึงสรุปผลโดยการอ้างอิงผลการทดลองในศูนย์ทดสอบบางซื่อเป็นหลัก

### สรุปผลการทดลอง

ระยะเวลาก่อตัวของคอนกรีตมีค่าการก่อตัวเริ่มต้นที่ 10 ชั่วโมง ซึ่งจะมากกว่าคอนกรีตทั่วไปถึงประมาณ 2 เท่า ทั้งนี้เนื่องจากการปรับอัตราการใช้น้ำยาผสมคอนกรีต ไม่ว่าจะเป็นประเภทหน่วงการก่อตัวหรือลดน้ำปริมาณมาก ซึ่งเป็นไปตามความต้องการของลูกค้า

#### 5.2.4 ค่าการหดตัวของคอนกรีต

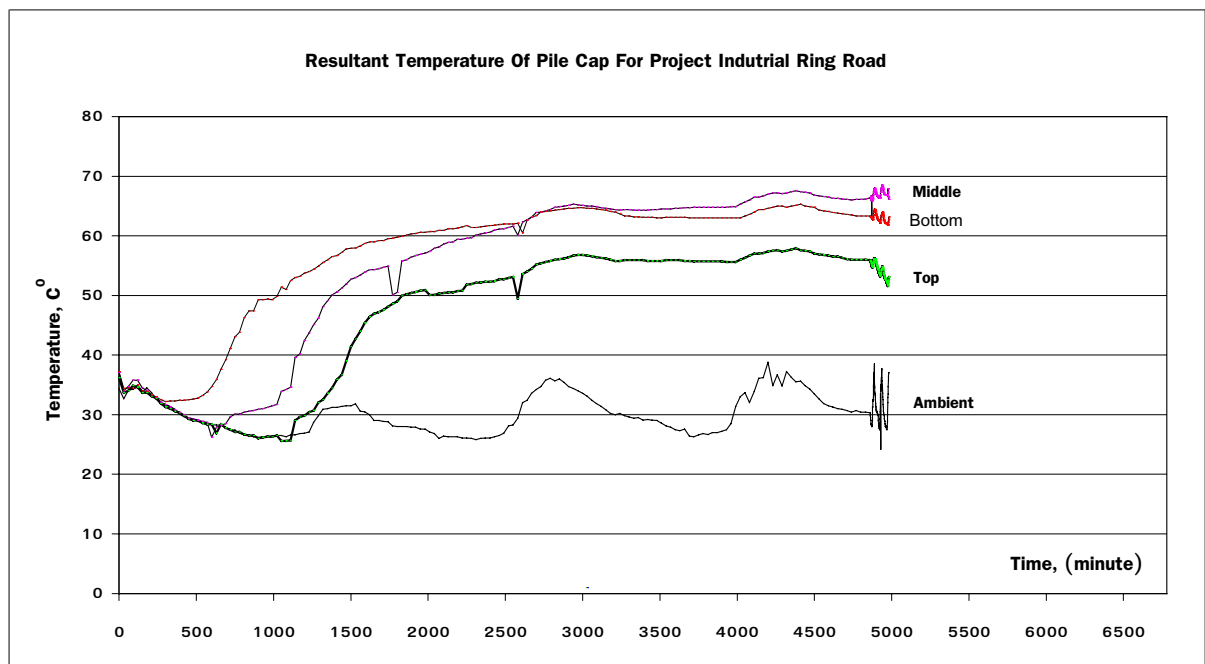
เช่นเดียวกันกับการทดสอบระยะเวลาการก่อตัว การทดลองที่หน้างาน ไม่ได้มีการทดสอบคุณสมบัติค่าการหดตัวของคอนกรีต เนื่องจากได้ใช้ผลการทดสอบในศูนย์ทดสอบเป็นค่าอ้างอิงในการวิเคราะห์ที่ไปแล้ว

### สรุปผลการทดลอง

ค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวของคอนกรีตที่ระยะเวลาต่างๆ อยู่ที่ประมาณ 0.03% ทั้งนี้จะสูงสุดที่ประมาณ 14 วัน ซึ่งแม้ว่าจะมีค่าเกิน 0.03% ไปบ้าง แต่ก็ไม่ได้มากอย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตามค่าการหดตัวดังกล่าว ได้ถูกแจ้งให้กับผู้ออกแบบทราบ

## 6. การตรวจสอบผล

จากการทดลองส่วนผสมในศูนย์ทดสอบบางข้อและการจัดการทดลองจำลองสภาพการแท้จริงที่โรงงานสุวรรณภูมิ ในลำดับต่อไปจะเป็นขั้นตอนการแท้จริง ซึ่งคาดว่าจะเริ่มต้นประมาณเดือนกรกฎาคม 2547



รูปที่ 10 แสดงการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิในโครงสร้างที่มีความหนา 2 เมตร โดยมีปริมาณซีเมนต์และเถ้าลอยอย่างละ 220 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

## 7. แผนงานในอนาคต

เก็บข้อมูลการทดสอบกรีตจริงและจัดทำเป็นมาตรฐาน  
สำหรับงานก่อสร้างที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน



รูปที่ 11 แสดงการจัดวางแบบเตรียมงานสำหรับโครงสร้างหอคอยควบคุมวิทยุการบิน

### กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้ตามวัตถุประสงค์ได้  
ด้วยความช่วยเหลือจากกลุ่มบุคคลดังนี้ คือ  
พนักงานในหน่วยงานพัฒนาผลิตภัณฑ์ ในความช่วยเหลือ  
เหลือในการทำการทดสอบ และข้อมูลทางเทคนิค และ  
คุณ พรินทร์ ผู้จัดการโครงการก่อสร้างหอคอยควบคุมวิทยุ  
การบิน บริษัท ชีโนไทย เอ็นจิเนียริง มหาชน จำกัด ที่  
ได้ให้คำแนะนำเกี่ยวกับข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่อการ  
ดำเนินการ

### เอกสารอ้างอิง

- ส่วนคอนกรีตเทคโนโลยี, “เอกสารประกอบ  
หลักสูตรการฝึกอบรมคอนกรีตเทคโนโลยี  
แบบบูรณาการ สำหรับวิศวกร เรื่อง การออกแบบ  
แบบส่วนผสมคอนกรีต”, 2545