เทคนิคการก่อสร้างฐานรากคอนกรีตขนาดใหญ่ ในงานอาคารสูง

ณัฐพงศ์ มกระธัช[1*] และ ยศพงศ์ วงศ์ระวีกุล[2]

บทคัดย่อ

โดยทั่วไปฐานรากคอนกรีตขนาดใหญ่ได้นำไปใช้ในการรองรับน้ำหนักของตัวโครงสร้างในอาคารสูง โดยทำหน้าที่ถ่ายน้ำหนักจากโครงสร้างเสาลงสูงเสาเข็ม เนื่องจากฐานรากคอนกรีตในอาคารสูงโดยทั่วไปมีขนาดที่ใหญ่มาก จึงมีความหนาสูง ซึ่งอาจส่งผลให้เกิดปัญหาการแตกร้าวของคอนกรีตที่มีขนาดใหญ่ เนื่องจากความแตกต่างอุณหภูมิความร้อนของคอนกรีตที่สูงขึ้นระหว่างที่ผิวบนและแกนกลางคอนกรีต บทความวิชาการนี้ได้แสดงกรณีศึกษาเทคนิคการก่อสร้างฐานรากคอนกรีตขนาดใหญ่ในงานอาคารสูง ฐานรากขนาดใหญ่นี้มีความกว้าง 30.1 เมตร ยาว 34.7 เมตร และมีความหนา 2.5 เมตร รองรับน้ำหนักตัวอาคารที่มีความสูง 146 เมตร (จำนวน 40 ชั้น) และมีสระว่ายน้ำที่ชั้นดาดฟ้า วิธีการก่อสร้างในงานเทคอนกรีตฐานรากขนาดใหญ่ได้แสดงไว้ในบทความนี้ด้วย โดยใช้คอนกรีตความร้อนต่ำในปริมาณที่สูงถึง 2,850 ม^3 ในการเทฐานราก ทำการวัดอุณหภูมิของฐานรากคอนกรีตจนถึงอายุ 7 วัน ซึ่งมีการบ่มด้วยฉนวน ผลการตรวจสอบพบว่าคอนกรีตความร้อนต่ำที่ใช้เถ้าถ่านหินเป็นส่วนผสมให้อุณหภูมิความร้อนสูงสุดเท่ากับ 76.4 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ความแตกต่างของอุณหภูมิที่ผิวและแกนกลางของฐานรากคอนกรีตมีค่าไม่เกิน 20 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นไปตามข้อกำหนดของรายการประกอบแบบโครงสร้าง และพบว่าฐานรากคอนกรีตขนาดใหญ่นี้ไม่เกิดปัญหาการแตกร้าวเนื่องจากอุณหภูมิของคอนกรีตที่สูงขึ้น เมื่อใช้เทคนิคการก่อสร้างฐานรากคอนกรีตขนาดใหญ่ด้วยวิธีนี้

คำสำคัญ : ฐานรากขนาดใหญ่, คอนกรีตหลา, การแตกร้าวเนื่องจากอุณหภูมิ, อาคารสูง, ประเทศไทย

---

[1] ศูนย์วิจัยความเป็นเลิศทางพลศาสตร์โครงสร้างและการจัดการเมือง ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

[2] บริษัท อิตาเลียน-ไทย ดีเวล๊อปเมนต์

[*] ผู้ติดต่อ, อีเมล์: nattapongm@kmutnb.ac.th รับเมื่อ 29 พฤษภาคม 2556 ตอบรับเมื่อ 26 มิถุนายน 2556

Construction Technology of Mat Foundation Concrete for Tall Building

Nattapong Makaratat[1*] and Yotsapong Wongraweekul[2]

Abstract

The mat foundation is generally used in tall building in order to transfer vertical load of columns down to piles. Because of the mat foundation had large dimension, especially the high thickness, the temperature rise of the concrete is concerned. Thermal cracking problem from the temperature difference between surface and centre of the mat foundation concrete has to be prevented. This paper presents a case study of construction technology for mat foundation concrete in tall building. The mat foundation had dimensions of 30.1x34.7 meter with thickness of 2.5 meter to support super structure of tall building which had total height of 146 meter (40 stories), and had sky pool at roof deck. The method statements of concrete work to construct the mat foundation were shown. The large volume of 2,850 m^3 of low heat concrete is supplied to cast the mat foundation. The temperature rises of mat foundation concrete were monitored until 7 days of curing with insulation. The results indicated that the low heat concrete containing fly ash generated the highest temperature of 76.4°C. In addition, the temperature difference between surface and centre of the mat foundation concrete were not more than 20°C, within structural specification limited. As a result, the thermal cracking is not occurred in this mat foundation concrete when this method statement of construction is performed.

Keywords : Mat foundation, Mass concrete, Thermal cracking, Tall building, Thailand

---

[1] Center of Excellence in Structural Dynamics and Urban Management, Department of Civil and Environmental Engineering, College of Industrial Technology, King Mongkut's University of Technology North Bangkok.

[2] Italian-Thai Development Public Company Limited.

[*] Corresponding author, E-mail: nattapongm@kmutnb.ac.th Received 29 May 2013, Accepted 26 June 2013

1. บทนำ

ในช่วง 10 ปีที่ผ่านมา การก่อสร้างโครงการขนาดใหญ่ในประเทศไทยได้มีการพัฒนาไปอย่างรวดเร็วมาก ตามการเจริญเติบโตของธุรกิจอสังหาริมทรัพย์รวมถึงการพัฒนาโครงสร้างระบบขนส่งพื้นฐานของภาครัฐทำให้พบเห็นอาคารสูงขนาดใหญ่ที่กำลังก่อสร้างเป็นจำนวนมากในบริเวณพื้นที่เศรษฐกิจที่สำคัญหรือบริเวณโดยรอบสถานีรถไฟฟ้าโดยเฉพาะอาคารสูงประเภทอาคารชุดพักอาศัยที่มีความสูงมากๆ จัดได้ว่าเป็นอาคารขนาดใหญ่ชนิดหนึ่ง ที่ต้องใช้เทคโนโลยีในการก่อสร้างค่อนข้างสูง เพื่อลดปัญหาในการก่อสร้างและทำให้การก่อสร้างอาคารแล้วเสร็จทันตามเวลาที่กำหนดไว้ โครงสร้างฐานรากของอาคารสูงโดยทั่วไปเป็นโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่ต้องรับน้ำหนักจากตัวอาคารทั้งหมด ทำให้ต้องออกแบบฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็กให้มีความหนาค่อนข้างมาก และทั่วไปมีความหนาประมาณ 2.00 – 3.50 เมตร ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับน้ำหนักของตัวอาคาร ระบบโครงสร้างของอาคาร รวมถึงระยะของช่วงเสาตอม่อด้วย เทคโนโลยีการก่อสร้างในงานคอนกรีตจึงมีบทบาทสำคัญที่จะนำไปใช้ในก่อสร้างฐานรากขนาดใหญ่ที่มีความลึกมากๆ เพื่อให้เกิดความสมบูรณ์ของโครงสร้างและไม่ให้เกิดความเสียหายหรือเกิดการแตกร้าว เนื่องจากปัญหาความร้อนของคอนกรีตที่สูงขึ้นจนทำให้อุณหภูมิของคอนกรีตมีความแตกต่างกันระหว่างภายในแกนกลางและที่ผิวของคอนกรีตจนก่อให้เกิดปัญหาการยึดรั้งภายใน (Internal restraint) และการยึดรั้งภายนอก (External restraint) ของคอนกรีต ทำให้เกิดการแตกร้าวของฐานรากคอนกรีตในที่สุด [1] มาตรฐาน ACI 207 [2]ได้กล่าวไว้ว่าโครงสร้างคอนกรีตหลา คือ โครงสร้างใดๆที่มีขนาดใหญ่หรือมีปริมาตรมากพอที่จะส่งผลให้ความร้อนที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์ทำให้คอนกรีตเกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาตรและทำให้เกิดการแตกร้าวได้หรือเรียกว่า Thermal cracking

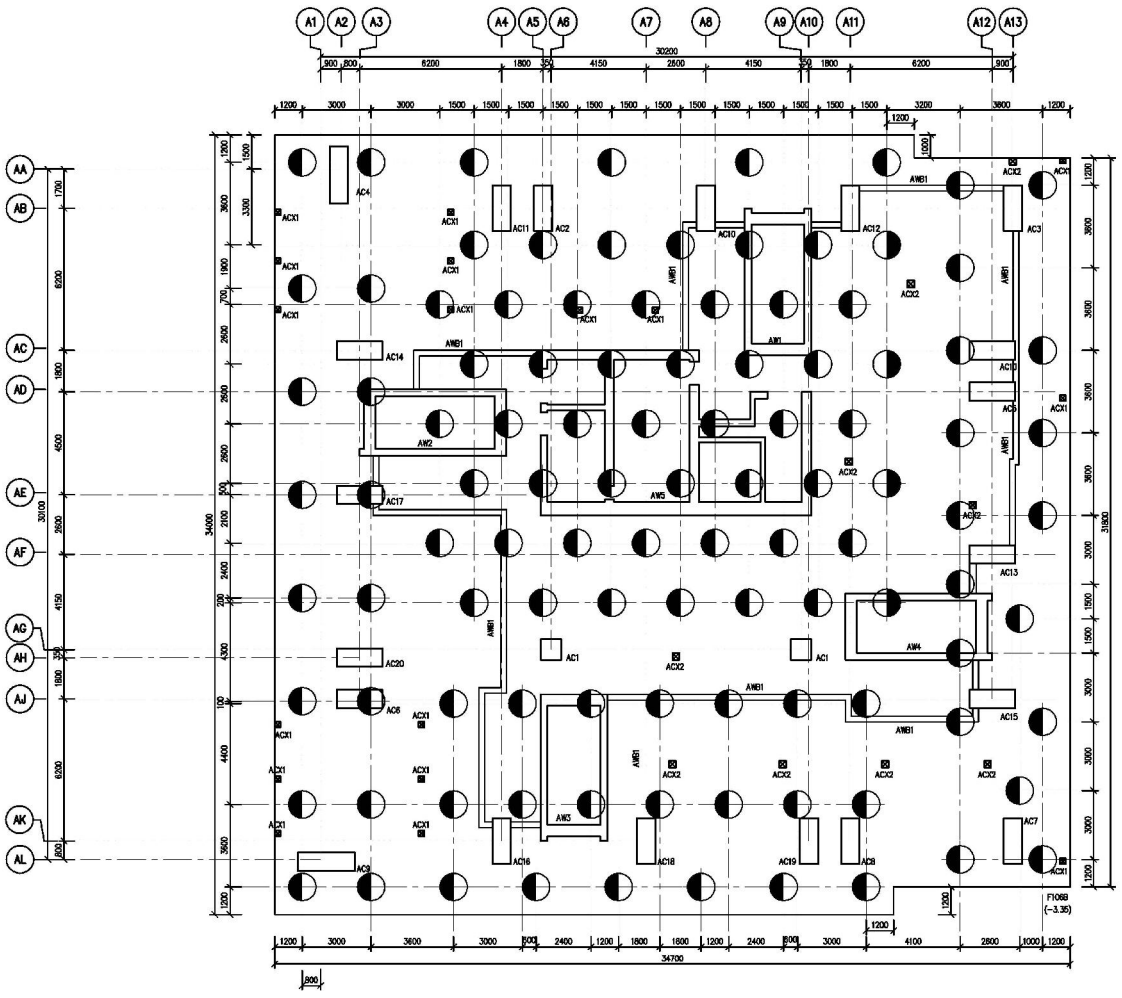
ดังนั้นฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็กของอาคารสูงจึงจัดได้ว่าเป็นคอนกรีตหลาที่ต้องระวังปัญหาการแตกร้าวเนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิภายในและภายนอก (Thermal cracking)ของโครงสร้างคอนกรีต ถ้าเจ้าของโครงการ ผู้วางแผนการก่อสร้าง ผู้ออกแบบ ผู้ควบคุมงานก่อสร้าง และผู้รับเหมา ไม่คำนึงถึงปัญหาการแตกร้าวของฐานรากคอนกรีตขนาดใหญ่ที่อาจเกิดขึ้นจะส่งผลให้เกิดปัญหาแตกร้าวของคอนกรีตในระหว่างการก่อสร้าง เสียค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซม หรืออาจทำให้ระยะเวลาการก่อสร้างของโครงการล่าช้าออกไปอีก บทความวิชาการนี้จึงเสนอวิธีการก่อสร้างฐานรากคอนกรีตในอาคารสูง ไว้เป็นกรณีศึกษาเพื่อให้เจ้าของโครงการ วิศวกร หรือผู้ที่เกี่ยวข้อง ได้ใช้เป็นแนวทางปฏิบัติ หรือเตรียมวิธีการก่อสร้างให้ถูกต้องเพื่อป้องกันปัญหาการแตกร้าวของฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็กขนาดใหญ่และป้องกันไม่ให้เกิดความขัดแย้งกันระหว่างผู้ที่เกี่ยวข้องในระหว่างการก่อสร้างอีกด้วย

2. ลักษณะของโครงสร้างฐานรากคอนกรีต, ข้อกำหนดและมาตรฐาน

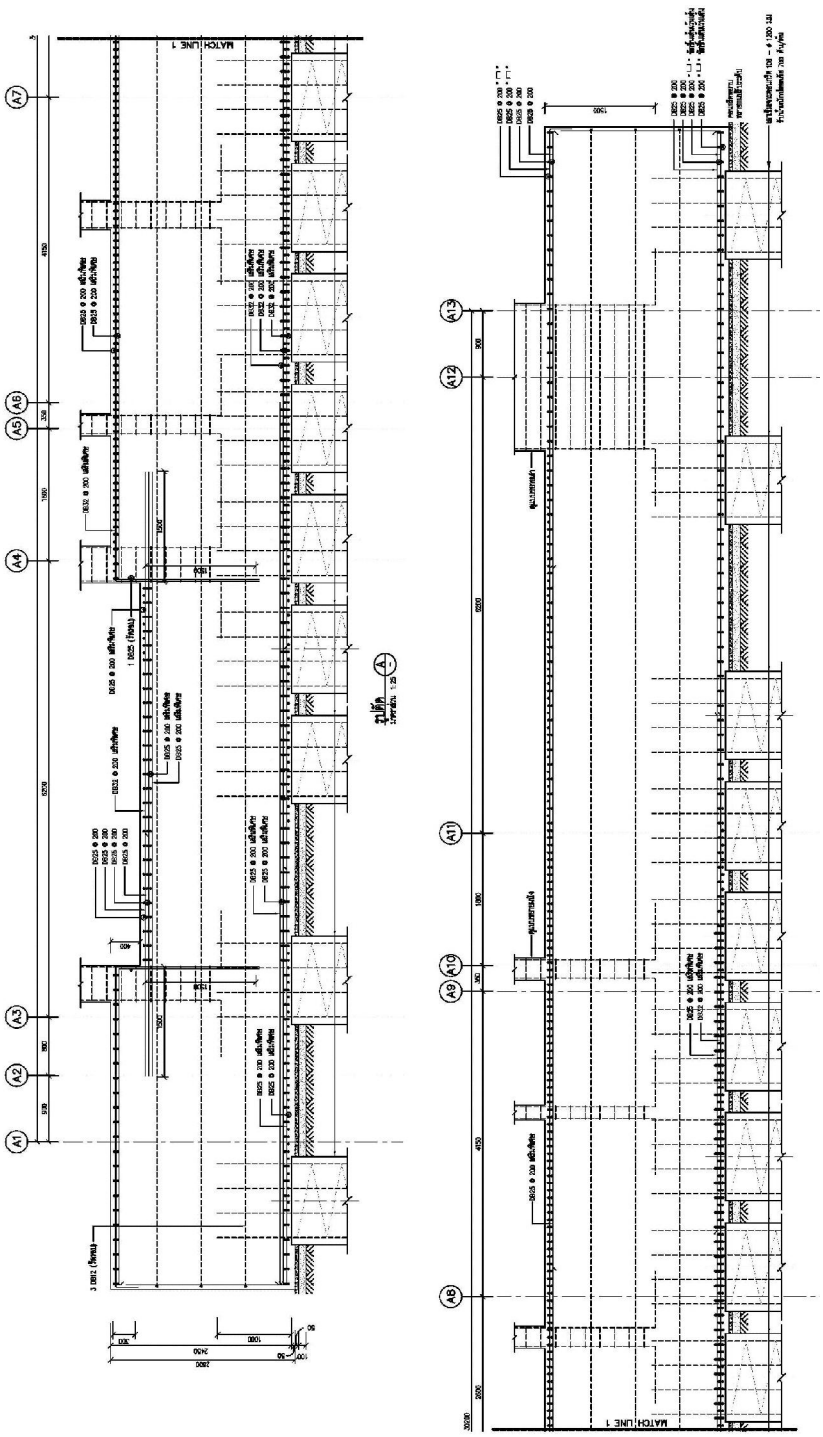
2.1ลักษณะโครงสร้างฐานรากคอนกรีต

ฐานรากที่ใช้เป็นกรณีศึกษานี้เป็นฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็กมีความหนา 2.50 เมตร กว้าง 30.10 เมตร ยาว 34.70 เมตร ซึ่งแสดงดังรูปที่ 1 รองรับน้ำหนักจากอาคารสูง 146 เมตร จำนวน 40 ชั้น และมีชั้นสระว่ายน้ำบนดาดฟ้ารายละเอียดการเสริมเหล็กได้แสดงในรูปที่ 2

สำหรับรูปที่ 3 แสดงรูปโครงสร้างระบบค้ำยันเข็มพืด (Sheet pile bracing system) ป้องกันดินในระหว่างการขุดดินเพื่อทำการก่อสร้างฐานราก รายการประกอบแบบกำหนดให้ใช้คอนกรีตความร้อนต่ำ (Low heat concrete) ที่ให้กำลังอัดประลัยที่อายุ 28 วัน เท่ากับ 280 กก/ซม^2 และที่อายุ 56 วันเท่ากับ 350 กก/ซม^{2}เหล็กเสริมใช้เกรด SD-50 (กำลังคราก = 5,000 กก/ซม^2)คิดเป็นปริมาณคอนกรีตที่ใช้ทั้งหมดประมาณ 2,850 ม^{3}รูปที่ 4 แสดงการทำงานเหล็กเสริมในฐานรากคอนกรีต



รูปที่ 1 แปลนฐานรากคอนกรีต



รูปที่ 2 รายละเอียดการเสริมเหล็กในฐานราก

รูปที่ 3 โครงสร้างระบบค้ำยันเข็มพืด (Sheet pile bracing system)

รูปที่ 4 การทำงานเหล็กเสริมในฐานรากคอนกรีต

2.2 ข้อกำหนดและมาตรฐานงานก่อสร้างฐานรากคอนกรีต

ACI 301 [3] ได้ให้รายละเอียดประกอบการทำงานโครงสร้างคอนกรีตขนาดใหญ่ไว้ว่า อุณหภูมิของคอนกรีตสดในระหว่างการเทคอนกรีตต้องไม่เกิน 21 องศาเซลเซียส ให้เทคอนกรีตเป็นชั้นๆ ชั้นละไม่เกิน 0.45 เมตร และอุณหภูมิสูงสุดของคอนกรีตที่แกนกลางต้องไม่เกิน 70 องศาเซลเซียส แนวทางป้องกันปัญหาการแตกร้าวที่เกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิความร้อนในคอนกรีตขนาดใหญ่สามารถทำได้โดยใช้คอนกรีตความร้อนต่ำ (Low heat concrete) ใช้วัสดุปอซโซลานแทนที่ปูนซีเมนต์ เช่น เถ้าถ่านหิน (Class F) หรือปูนซีเมนต์ที่ผสมตะกรันเตาถลุงเหล็ก (Slag cement) ทำการลดอุณหภูมิในส่วนผสมคอนกรีตให้คอนกรีตมีอุณหภูมิต่ำ และทำการบ่มคอนกรีตด้วยฉนวนเป็นระยะเวลาอย่างน้อย 7 วันนอกจากนี้ให้ทำการบ่มชื้นต่อเนื่องเมื่ออุณหภูมิของสภาพอากาศสูงกว่า 32 องศาเซลเซียส

โดยทั่วไปควรพิจารณาโครงสร้างที่มีความหนาตั้งแต่ 0.75 เมตร ขึ้นไป หรือโครงสร้างคอนกรีตที่ใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ตั้งแต่ 355 กก/ม^3 ขึ้นไป ให้ถือว่าเป็นโครงสร้างคอนกรีตที่ต้องคำนึงถึงปัญหาความร้อนที่อาจทำให้เกิดรอยแตกร้าวจากความร้อน (Thermal cracking) [4] ในขณะที่รายการประกอบแบบของโครงการนี้ได้กำหนดให้โครงสร้างคอนกรีตที่มีความหนาตั้งแต่ 1.50 เมตร ต้องทำการแบ่งชั้นในการเทคอนกรีตเป็น 2 ชั้น และต้องพิจารณาเหล็กตะแกรงเสริมพิเศษที่ผิวบนของชั้นคอนกรีตที่ถูกแบ่งออกด้วย ทำให้เกิดปัญหาว่าเหล็กเสริมพิเศษจากการแบ่งชั้นในการเทคอนกรีตนั้น ใครจะเป็นผู้รับผิดชอบ นอกจากนี้รายการประกอบแบบยังกำหนดให้ทำการควบคุมอุณหภูมิคอนกรีตก่อนเทไม่เกิน 36 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุดที่แกนกลางต้องไม่เกิน 77 องศาเซลเซียส และความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างแกนกลางภายในและผิวภายนอกโครงสร้างคอนกรีตต้องไม่เกิน 20 องศาเซลเซียส ดังนั้นทางโครงการจึงเลือกที่จะเทคอนกรีตทั้งหมดให้เป็นชิ้นเดียว คือทำการเทคอนกรีตครั้งเดียว ไม่ทำการแบ่งเทเป็นชั้น เพื่อหลีกเลี่ยงค่าใช้จ่ายของเหล็กเสริมพิเศษที่จะเกิดขึ้นและยังคงดำเนินการปฏิบัติงานเทคอนกรีตฐานรากตามข้อกำหนดของผู้ออกแบบไว้ นอกจากนี้ยังทำการปรับลดปริมาณการใช้ปูนซีเมนต์ไม่เกิน 220 กก/ม^3 โดยใช้เถ้าถ่านหินแทนที่ปูนซีเมนต์ ร้อยละ 35 โดยน้ำหนัก เป็นวัสดุประสานในคอนกรีตความร้อนต่ำ (Low heat concrete)

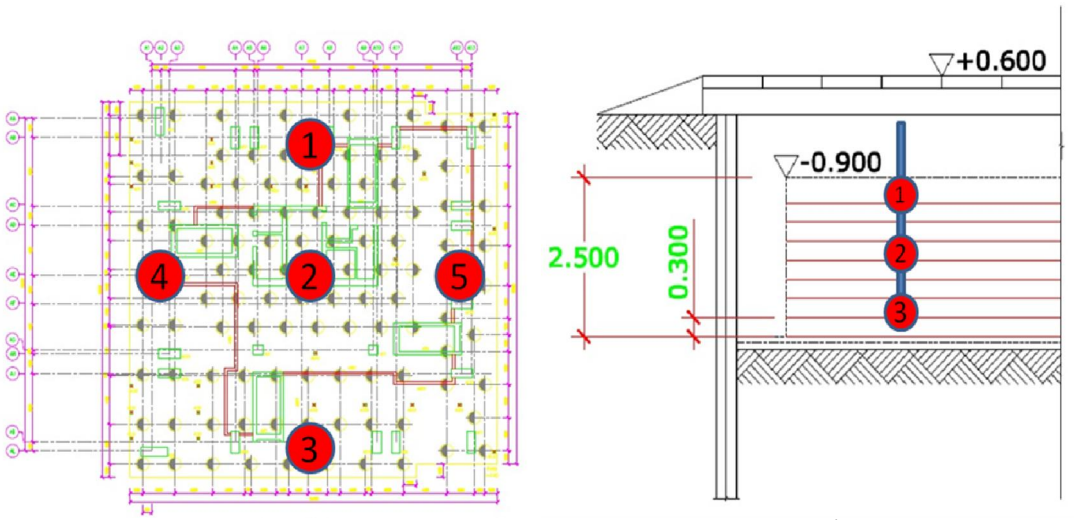
3. แผนการทำงานเทคอนกรีต

ขั้นตอนที่ 1 การเตรียมความพร้อมในการเทคอนกรีต รูปที่ 5 แสดงแผนการวางตำแหน่ง เครื่องมือเครื่องจักร กำลังคน และเส้นทางขนส่งคอนกรีต โรงงานคอนกรีตผสมเสร็จต้องสามารถผลิตคอนกรีตแล้วขนส่งถึงหน่วยงาน ได้ไม่น้อยกว่า 200 ม^{3}ต่อชั่วโมง ซึ่งต้องใช้ทั้งหมดจำนวน 10 โรงงาน ใช้ปั๊มคอนกรีต 3 เครื่องสำรองอีก 2 เครื่อง พร้อมช่างซ่อมบำรุงให้คอยดูแลประจำที่หน่วยงานฐานรากนี้ต้องการอัตราการเทคอนกรีตที่ 260 ม^3 ต่อชั่วโมง จึงต้องลำเลียงคอนกรีตผ่านปั๊มให้ได้ไม่น้อยกว่า 55-65 ม^3 ต่อชั่วโมงต่อปั๊ม 1 เครื่อง นอกจากนี้เตรียมราง PVC สำหรับเทคอนกรีตจำนวน 8 ชุด เตรียมกำลังคนงานในการเทคอนกรีตไม่น้อยกว่า 15 คนต่อปั๊มคอนกรีต 1 ตัว และกำลังคนงานเทคอนกรีตด้วยราง PVC 10 คนต่อ 1 ราง รวมใช้

กำลังคนงานทั้งหมด 125 คน เตรียมเครื่องสั่นคอนกรีตให้พร้อมใช้งาน 12 เครื่องและสำรองใช้อีก 18 เครื่อง ก่อนเทคอนกรีต 1 วัน ให้ทำการติดตั้งเครื่องมือวัดอุณหภูมิตามตำแหน่งของฐานรากคอนกรีตเป็นจำนวน 5 ตำแหน่งคือที่ตำแหน่งตรงกลางและกึ่งกลางทุกด้านของฐานรากนอกจากนี้เตรียมจุดวัดอุณหภูมิ 3 จุดต่อ 1 ตำแหน่ง คือที่ระดับต่ำกว่าผิวบนของคอนกรีต 10 ซม ที่ระดับกึ่งกลางความหนาของฐานรากคอนกรีต และที่ระดับความสูงประมาณ 30 ซม จากระดับคอนกรีตหยาบรองท้องแบบ ฐานราก ดังแสดงในรูปที่ 6 และ 7 ตามลำดับจัดเตรียมผ้าใบคลุมป้องกันฝนในกรณีฝนตกหนักขณะเทคอนกรีตด้วย

ขั้นตอนที่ 2 การเทคอนกรีตลงในฐานราก ทำการกำหนดจุดที่จะเข้าเทให้ชัดเจน และเตรียมเจ้าหน้าที่ดูแลให้สัญญาณเพื่อบอกเส้นทางการเดินรถขนส่งคอนกรีตให้ชัดเจน รวมถึงเจ้าหน้าที่ประจำจุดเทต้องคอยให้สัญญาณป้องกันอุบัติเหตุไม่ให้รถขนส่งคอนกรีตถอยหลังตกลงไปในบ่อฐานราก

รูปที่ 5 แผนผังการวางตำแหน่ง เครื่องมือ เครื่องจักร กำลังคน และเส้นทางขนส่งคอนกรีต



ก. แปลนตำแหน่งการวัดอุณหภูมิ ข. รูปตัดตำแหน่งการติดตั้งวัดอุณหภูมิในฐานราก

รูปที่ 6 ตำแหน่งการติดตั้งเครื่องวัดอุณหภูมิในฐานราก

รูปที่ 7 การติดตั้งเครื่องวัดอุณหภูมิในฐานรากคอนกรีต

ให้เจ้าหน้าที่ทำการตรวจสอบค่าการยุบตัว(Slump)ของคอนกรีตสดต้องไม่เกิน 10±2.5 ซม และอุณหภูมิของคอนกรีตสดต้องไม่เกิน 35 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ 8 ทำการเก็บก้อนตัวอย่างคอนกรีตจำนวน 3 ก้อน จากปริมาณการเทคอนกรีตทุกๆ50 $ม^3$ เพื่อให้การเทคอนกรีตสามารถทำได้อย่างต่อเนื่อง ก่อนเข้าเทคอนกรีตรถขนส่งคอนกรีตต้องเข้าถึงหน่วยงานไม่น้อยกว่า 20 คัน โดยอยู่ที่ปั๊มคอนกรีตจุดละ 2 คัน และรอ ณ ตำแหน่งที่กำหนดอีก 14 คัน จึงเริ่มเทคอนกรีต ได้ทำการเทคอนกรีตเป็นชั้นๆ ชั้นละ 62.5 ซม ภายในระยะเวลา 4 ชั่วโมงต่อชั้น ให้ทำการเทคอนกรีตเป็นชั้นๆ ตามทิศทางที่ได้วางแผนไว้ดังรูปที่ 9โดยแบ่งพื้นที่ในการจี้เขย่าคอนกรีตเป็น3 พื้นที่ โดยใช้เครื่องจี้เขย่าพื้นที่ละ 3 เครื่อง และเพิ่มชุดจี้เขย่าคอนกรีตเฉพาะบริเวณตอเหล็กเสาและผนังอีกพื้นที่ละ 1 เครื่อง (จำนวน 3 เครื่อง)รูปที่ 10 ได้แสดงการเทคอนกรีตผ่านปั๊มคอนกรีต ส่วนรูปที่ 11 แสดงการเทคอนกรีตด้วยราง PVC ในระหว่างการเทคอนกรีต เมื่อคอนกรีตได้ระดับในการเทอาจเกิดการเยิ้มน้ำ (Bleeding) ที่ผิวคอนกรีตต้องเตรียมคนงานตกแต่งผิวบริเวณนั้นโดยทันทีก่อนคอนกรีตจะแข็งตัว ทำการเทคอนกรีตตั้งแต่เวลา 10.00 – 22.00 น. รวมเป็นระยะเวลาทั้งสิ้น 14 ชั่วโมงทำการเริ่มวัดอุณหภูมิหลังจากการเทคอนกรีตชั้นที่ 1 หรือ 4 ชั่วโมง และวัดครั้งต่อไปทุกๆ 1 ชั่วโมง ดังแสดงในรูปที่ 12และหลังจากทำการบ่มคอนกรีตด้วยฉนวนให้วัดอุณหภูมิทุกๆ ครึ่งชั่วโมงเป็นเวลา 7 วัน

ขั้นตอนที่ 3 การบ่มคอนกรีต ทำการควบคุมอุณหภูมิที่กึ่งกลางความหนาของฐานรากให้มีค่าไม่เกิน 77 องศา-เซลเซียส ตามรายการประกอบแบบ และควบคุมผลต่างของอุณหภูมิที่ผิวคอนกรีตและภายในแกนกลางให้มีค่าไม่เกิน 20 องศาเซลเซียส ด้วยฉนวนป้องกันความร้อน โดยทำการปูแผ่นพลาสติกและคลุมด้วยแผ่นโฟม ซึ่งมีความหนาประมาณ 1 นิ้ว ดังแสดงในรูปที่ 13 การบ่มคอนกรีตต้องบ่มต่อเนื่องอย่างน้อย 7 วัน จึงจะสามารถถอดแบบได้ หรืออุณหภูมิที่ผิวบนมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิสภาพอากาศของวันนั้น +30 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิที่แกนกลางควรเริ่มลดลงในระดับที่ผิวบนและแกนกลางมีอุณหภูมิต่างกันไม่เกิน 20 องศาเซลเซียส จึงทยอยถอดฉนวนป้องกันความร้อนออก จากนั้นเริ่มทำการถอดแบบข้างได้

รูปที่ 8 การวัดอุณหภูมิของคอนกรีตสดก่อนเทคอนกรีต

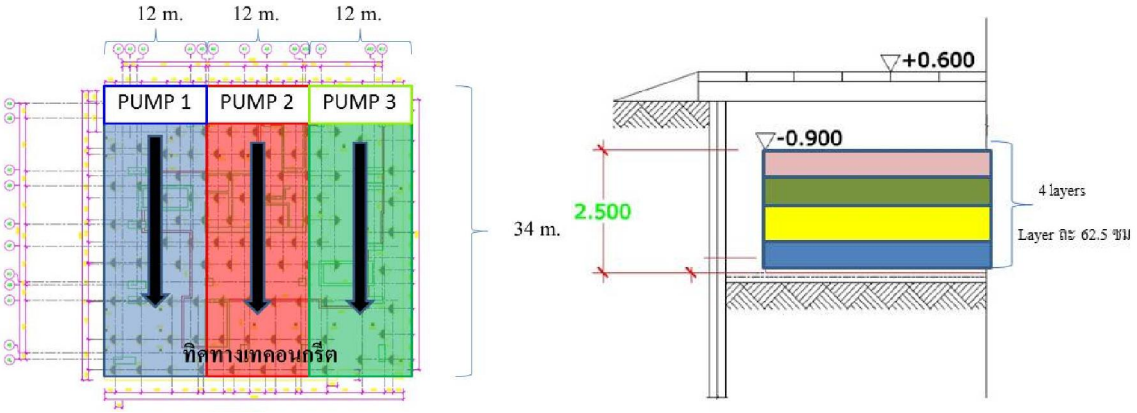
ขั้นตอนที่ 4 ทำการก่อสร้างโครงสร้างส่วนบน (Super structure) หลังจากฐานรากคอนกรีตมีกำลังอัดประลัยเกิน 180 กก/$ซม^2$ จึงสามารถทำงานก่อสร้างโครงสร้างเหนือฐานรากต่อไปได้โดยให้รีบทำการถมทรายด้านข้างฐานราก และทำการบ่มชื้นโดยทันที

4. ผลการตรวจวัดอุณหภูมิและการสำรวจโครงสร้างฐานรากหลังจากการเทคอนกรีต

หลังจากทำการบ่มคอนกรีตด้วยฉนวนเป็นระยะเวลา 7 วัน จึงเริ่มถอดฉนวนออก รวมทั้งรื้อแบบด้านข้างเพื่อทำการก่อสร้างโครงสร้างที่อยู่เหนือหลังฐานรากต่อไป ซึ่งผลการตรวจวัดความแตกต่างของอุณหภูมิ และสภาพของโครงสร้างฐานรากหลังจากการถอดแบบหล่อ มีรายละเอียดดังนี้

4.1 ผลการตรวจวัดความแตกต่างของอุณหภูมิ

ผลการตรวจวัดความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างที่ผิวของคอนกรีตกับที่แกนกลางคอนกรีต ตามตำแหน่งทั้ง 5 ตำแหน่งซึ่งได้แสดงในรูปที่ 14–18 ตามลำดับ พบว่าอุณหภูมิสูงสุดเกิดขึ้นที่แกนกลางของคอนกรีตในตำแหน่งที่ 2 คือแกนกลางของฐานราก เท่ากับ 76.4 องศาเซลเซียส ซึ่งมีค่าไม่เกินข้อกำหนดของรายการประกอบแบบ คือเท่ากับ 77 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุดนี้เกิดขึ้นที่ระยะเวลาประมาณ 48 ชั่วโมง หลังจากเวลาเริ่มผสมคอนกรีตเกือบทุกจุดที่ทำการวัด หลังจากนั้นอุณหภูมิของคอนกรีตจะค่อยๆ เริ่มลดลง โดยในช่วงต้นอุณหภูมิที่ผิวล่างของคอนกรีตมีค่าสูงกว่าที่ผิวบน แต่หลังจาก 24 ชั่วโมงไปแล้ว พบว่าอุณหภูมิที่ผิวบนมีค่าสูงกว่าที่ผิวล่างของคอนกรีตจนถึงเวลา 168 ชั่วโมง (7 วันในการบ่ม) นอกจากนี้ที่ตำแหน่งทุกจุดตรวจวัดไม่พบความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างแกนกลางและที่ผิวของคอนกรีตแตกต่างกันเกิน 20 องศาเซลเซียส ดังนั้นผลการตรวจวัดอุณหภูมิของฐานรากคอนกรีตขนาดใหญ่นี้ ชี้ให้เห็นว่าไม่มีความเสี่ยงต่อการเกิดปัญหาการแตกร้าวเนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิ (Thermal-cracking) ภายในฐานราก



รูปที่ 9 การแบ่งพื้นที่เทคอนกรีตและจำนวนชั้นในการเทคอนกรีต

รูปที่ 10 การเทคอนกรีตผ่านปั้มคอนกรีต

รูปที่ 11 การเทคอนกรีตด้วยราง PVC

รูปที่ 12 การวัดอุณหภูมิระหว่างการเทคอนกรีต

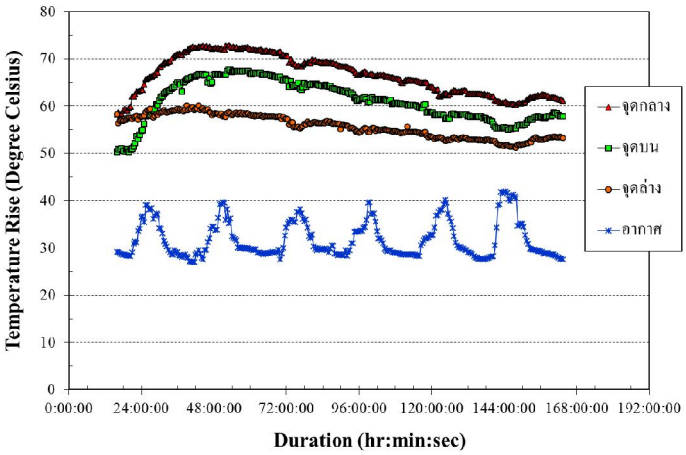
รูปที่ 13 การปูแผ่นพลาสติกและคลุมด้วยแผ่นโฟมเพื่อใช้เป็นฉนวนป้องกันความร้อนในการบ่มคอนกรีต

4.2 ผลการสำรวจโครงสร้างหลังจากทำการถอดแบบหล่อ

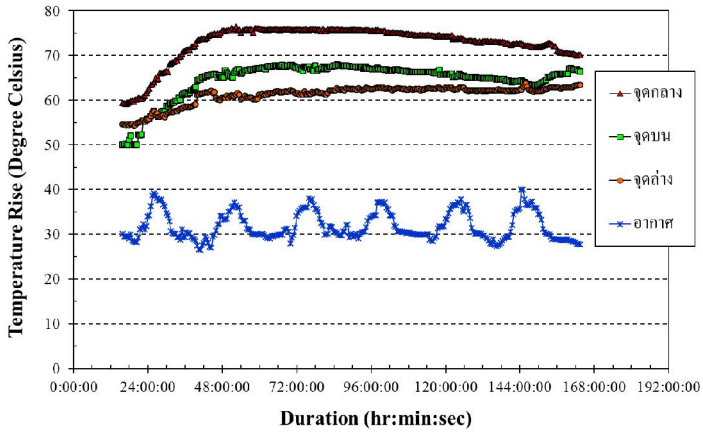
หลังจากการถอดแบบหล่อด้านข้างของฐานรากคอนกรีตขนาดใหญ่ออกแล้วได้ทำการสำรวจสภาพพื้นผิวของคอนกรีต พบว่าสภาพผิวคอนกรีตมีความราบเรียบ ไม่พบรอยแตกร้าวใดๆ ทั้งจากการยึดรั้งทั้งภายใน (Internal-restraint) และการยึดรั้งภายนอก (External restraint) ของฐานรากคอนกรีต จึงสามารถสรุปได้ว่าฐานรากคอนกรีตขนาดใหญ่ของอาคารสูงที่ได้ทำการศึกษานี้ไม่พบปัญหาการแตกร้าวเนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิ (Thermal cracking) ดังแสดงในรูปที่ 19 และ 20

5. บทสรุปและข้อเสนอแนะ

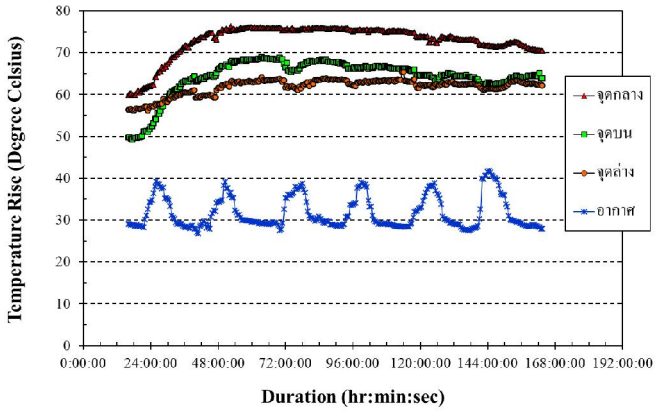
การทำงานเทคอนกรีตฐานรากขนาดใหญ่ในงานอาคารสูง ควรใช้คอนกรีตที่มีความร้อนต่ำ (Low heat concrete) เพื่อป้องกันปัญหาการแตกร้าวเนื่องจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นของคอนกรีต นอกจากนี้ผู้ที่เกี่ยวข้องในการก่อสร้างควรมีการวางแผนและเตรียมการทำงานเทคอนกรีตในฐานรากขนาดใหญ่ตั้งแต่เริ่มเตรียมโครงการหรือตั้งแต่ขั้นตอนการออกแบบ เพื่อให้ผู้รับเหมาและผู้ควบคุมงานได้มีแนวทางเลือกในการใช้วัสดุคอนกรีต รวมถึงงบประมาณที่ต้องใช้ในการวางแผนเตรียมการเทคอนกรีตในฐานรากขนาดใหญ่ ดังแสดงในกรณีศึกษานี้



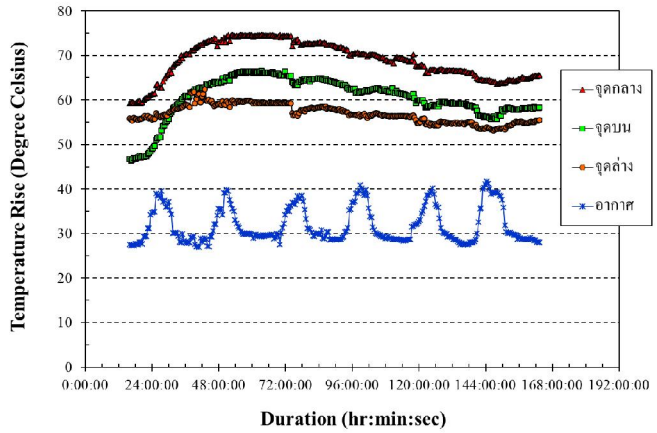
รูปที่ 14 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นในฐานรากคอนกรีตกับระยะเวลา ในตำแหน่งที่ 1



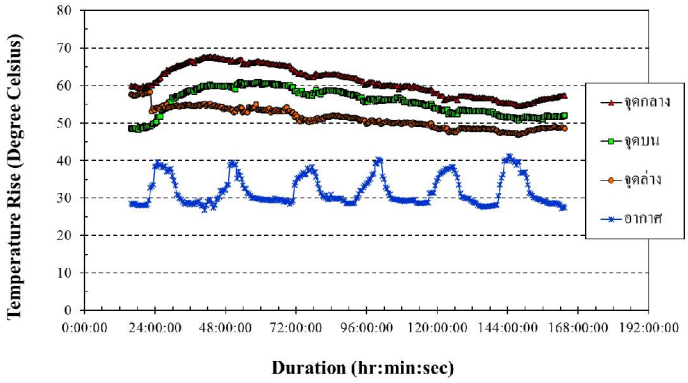
รูปที่ 15 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นในฐานรากคอนกรีตกับระยะเวลา ในตำแหน่งที่ 2



รูปที่ 16 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นในฐานรากคอนกรีตกับระยะเวลา ในตำแหน่งที่ 3



รูปที่ 17 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นในฐานรากคอนกรีตกับระยะเวลา ในตำแหน่งที่ 4



รูปที่ 18 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นในฐานรากคอนกรีตกับระยะเวลา ในตำแหน่งที่ 5

รูปที่ 19 สภาพพื้นผิวด้านข้างของฐานรากคอนกรีต

รูปที่ 20 สภาพพื้นผิวบนของฐานรากคอนกรีต

6. เอกสารอ้างอิง

[1] P.B. Bamforth, “Mass Concrete”, In: Issue 2 of Concrete Society Digest, Concrete Society Publisher, 1984.

[2] ACI Committee 207.1R-05, 2012, “Guide to Mass Concrete”, In: ACI Manual of Concrete Practice, American Concrete Institute, Farmington Hills (USA), 30 p.

[3] ACI Committee 301-10, 2012, “Specifications for Structural Concrete”, In: ACI Manual of Concrete Practice, American Concrete Institute, Farmington Hills (USA), 77 p.

[4] B.A.Suprenant and W.R. Malisch, “Contractors’ guide to mass concrete”, Concrete International 30 (1), 2008, pp. 37-40.

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณบริษัท อิตาเลียน-ไทย ดีเวล๊อปเมนต์ที่ให้การประสานงานและให้ข้อมูลอย่างดีเยี่ยมตลอดเวลาการทำงานขอขอบคุณสมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย และขอขอบคุณวิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือที่ให้การสนับสนุนบทความวิชาการนี้