

การก่อสร้างพื้นคอนกรีตอัดแรง ระบบชนิดมีแรงยึดเหนี่ยว (Post Tension Slab - Bonded system)

โครงการอาคารหอพักนักศึกษาแพทย์และแพทย์ใช้ทุน มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

โครงการก่อสร้าง อาคารหอพักนักศึกษาแพทย์และแพทย์ใช้ทุน มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ (คณะแพทยศาสตร์) ก่อสร้างภายในที่ดินของคณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา เป็นอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก สูง 16 ชั้น มีพื้นที่ใช้สอยอาคารประมาณ 25,000 ตารางเมตร มูลค่างานก่อสร้าง 427,000,000 บาท ได้ถูกออกแบบให้ใช้พื้นคอนกรีตอัดแรง (Post Tension Slab) เนื่องจากถูกออกแบบให้เป็นอาคารหอพักโดยมีจำนวนห้องพัก 614 ห้อง และมีพื้นที่การก่อสร้างที่จำกัด การออกแบบโครงสร้างพื้นจึงเป็นพื้นคอนกรีตอัดแรง (Post Tension Slab) ซึ่งเป็นระบบพื้นไร้คานที่มีลวดเหล็กกล้าตีเกลียวฝังอยู่ภายใน และจะทำการดึงลวดเหล็กกล้าตีเกลียวเมื่อคอนกรีตพื้นได้กำลังอัดตามที่ออกแบบไว้ โดยลวดเหล็กกล้าตีเกลียวเป็นตัวรับน้ำหนักของโครงสร้างพื้นทั้งอาคาร จึงไม่จำเป็นต้องมีคานมารองรับเพื่อถ่ายน้ำหนักลงเสา และสามารถก่อสร้างกับช่วงระยะเสาถึงเสาที่มีช่วงยาวได้ ทำให้มีจำนวนเสาที่น้อยลง จึงเป็นที่นิยมในการก่อสร้างอาคารที่ต้องการพื้นที่ใช้สอย เช่น ห้างสรรพสินค้า อาคารจอดรถ โรงแรม คอนโดมิเนียม เป็นต้น



รูปที่ 1 โครงการอาคารหอพักนักศึกษาแพทย์และแพทย์ใช้ทุน มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ระบบพื้นคอนกรีตอัดแรง (Post Tension Slab)

พื้นคอนกรีตอัดแรงแบ่งออกเป็น 2 ระบบ คือ

- 1. Bonded system** เป็นระบบที่มีลวดเหล็กกล้าตีเกลียวยึดเหนี่ยวกับคอนกรีตภายในท่อ Corrugated Sheath (ท่อ Galvanized) โดย 1 ท่อจะมีลวดเหล็กกล้าตีเกลียวร้อยอยู่ประมาณ 2- 7 เส้น ขึ้นอยู่กับการคำนวณและการออกแบบพื้น หลังจากที่มีการดึงลวดแล้วจะทำการอัดน้ำปูน (Grouting) เข้าภายในท่อ Corrugated Sheath ให้เต็มเพื่อให้เกิดการจับยึดระหว่างลวดกับท่อ Corrugated Sheath ให้เสมือนเป็นเส้นเดียวกันที่เรียกว่า Tendon ระบบนี้จะนิยมใช้กับโครงสร้างขนาดใหญ่ เช่น ห้างสรรพสินค้า อาคารจอดรถ เป็นต้น
- 2. Unbonded system** เป็นระบบที่ไม่มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างลวดเหล็กกล้าตีเกลียวกับคอนกรีต โดยระบบนี้ลวดเหล็กกล้าตีเกลียวจะหุ้มด้วยท่อ Polyethylene (PE) เพื่อป้องกันการยึดเหนี่ยวระหว่างลวดกับคอนกรีต โดย 1 ท่อจะมีลวดเหล็กกล้าตีเกลียว 1 เส้น และที่ปลายทั้ง 2 ข้างจะมีการจับยึดด้วย Anchorage การก่อสร้างระบบนี้เหมาะกับงานโครงสร้างสะพานเพราะระบบนี้ลวดสามารถขยับตัวได้ตลอดการใช้งาน แต่จะไม่เหมาะกับอาคารที่อาจมีการเปลี่ยนแปลงการใช้งาน

วัสดุสำหรับพื้นคอนกรีตอัดแรง (POST TENSION SLAB)

1. ลวดเหล็กกล้าตีเกลียว (High-Tensile Strand)

- ลวดเหล็กกล้าตีเกลียวชนิด 7 เส้น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.7 มิลลิเมตร (มม.)
- ลวดชนิดความล้าต่ำ (Wire Low Relaxation Strand) เกรด 270 KSI
- แรงดึงประลัยไม่ต่ำกว่าเส้นละ 18,760 กิโลกรัม (กก.)
- มาตรฐาน ASTM A416-A2001 หรือ มอก. 420-2540



2. สมอยึดจับลวด (Anchorage)

- มีกำลังยึดลวดเหล็กกล้าตีเกลียวไม่น้อยกว่า 95% ของแรงดึงประลัยระบุของลวดเหล็กกล้าตีเกลียว
- การถ่ายแรงกระทำสู่คอนกรีตได้มาตรฐาน ACI 318
- สมอยึดด้าน Stressing ใช้ชนิด Freyssinet 4S13
- ด้าน Dead End ใช้ชนิดหัวตะกร้อ (Onion Dead End)



3. ลิ้มจับลวดเหล็กกล้าตีเกลียว (Jaws)

- ผลิตด้วยเหล็ก ผิวภายนอกเรียบ ภายในมีคมฟัน
- สำหรับยึดลวดเหล็กกล้าตีเกลียวกับสมอยึดลวด เพื่อป้องกันการแตกร้าวเมื่อทำการดึงลวด



4. ท่อโลหะหุ้มลวดเหล็กกล้าตีเกลียว (Corrugated Sheath)

- ชนิด Corrugated Galvanized Sheath ความหนาไม่น้อยกว่า 0.3 มม.
- ท่อและข้อต่อต้องไม่เป็นสนิม และไม่ทำปฏิกิริยากับคอนกรีต
- สามารถป้องกันการรั่วซึมของน้ำปูนจากคอนกรีตไม่ให้เข้ามายึดกับลวด
- สามารถดัดโค้งงอให้ได้ระดับ Profile โดยไม่เสียรูปร่างและเกิดความเสียหายในขณะทำการก่อสร้าง



5. บาร์แชร์ (Support Barchair)

- ผลิตจากลวดเหล็กกล้า (PC Wire)
- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 - 5 มม. สำหรับความสูง 4 - 50 ซม.
- ใช้สำหรับจัดตำแหน่งและระดับของกลุ่มลวดเหล็กกล้าตีเกลียว (Tendon) ให้ได้ระดับตามที่ได้คำนวณออกแบบและแสดงออกมาในรูปของแบบ Shop drawing



6. น้ำปูนซีเมนต์ (Grouting Cement)

- อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ไม่เกิน 0.45
- กำลังอัดประลัยของแท่งคอนกรีตทรงกระบอกที่อายุ 28 วัน (f'_c) ต้องไม่ต่ำกว่า 280 กก./ซม.² (มาตรฐาน ASTM C 190)
- ผสมน้ำยาหน่วงคอนกรีต (Daratard) เพื่อหน่วงการก่อตัวของคอนกรีต
- ผสมผงอลูมิเนียม (Aluminum Pastes) เพื่อขยายการก่อตัวของน้ำปูนซีเมนต์ให้เต็มภายในท่อ Corrugated Sheath



- อัดน้ำปูนเข้าภายในท่อ Corrugated Sheath หลังมีการดึงลวดเพื่อไม่ให้ลวดเกิดสนิม และทำให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างลวดกับคอนกรีต

7. คอนกรีต (Concrete)

- กำลังอัดประลัยของแท่งคอนกรีตทรงกระบอกที่อายุ 28 วัน (f'_c) ต้องไม่ต่ำกว่า 320 กก./ซม.²
- กำลังอัดประลัยของแท่งคอนกรีตทรงกระบอก ขณะดึงลวด (At Transfer) ต้องไม่ต่ำกว่า 75% ของกำลังประลัยที่ 28 วัน (240 กก./ซม.²)



8. เหล็กเสริมทั่วไป (Mild Steel)

- เหล็กมีผิวสะอาด ปราศจากฝุ่น สี น้ำมัน สนิม ไม่มีรอยแตกร้าวและเป็นเส้นตรง
- เหล็กเส้นกลม (Round Bar) ขนาด 9 มม. ตามมาตรฐานมอก. 20-2559
ชั้นคุณภาพ SR24
- เหล็กข้ออ้อย (Deformed Bar) ขนาด 12-25 มม. ตามมาตรฐานมอก. 24-2559
ชั้นคุณภาพ SD40



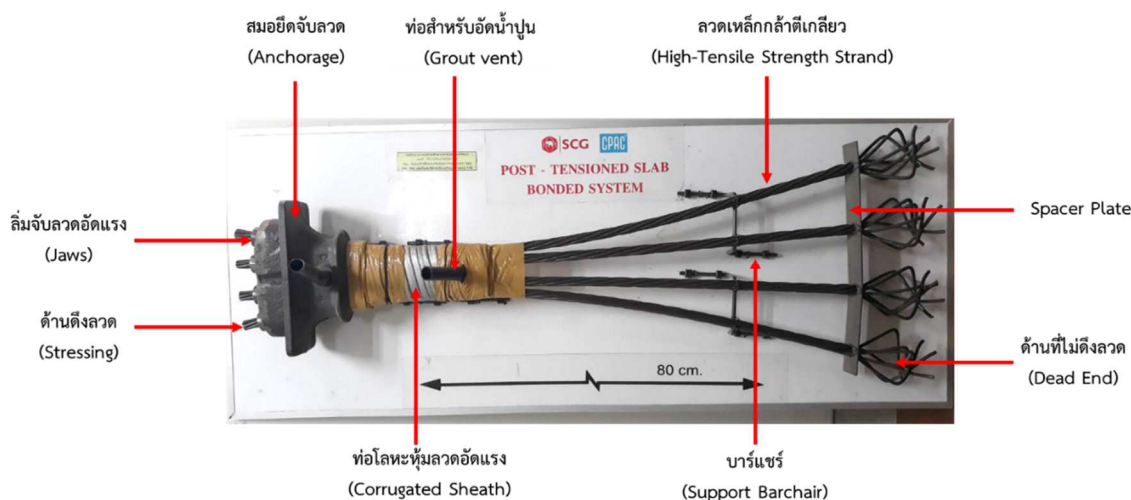
9. Spacer Plate

- ใช้สำหรับติดตั้งบริเวณ Dead End เพื่อให้ปลายลวดเหล็กกล้าตีเกลียวแผ่ออกตามแบบ Typical Details



10. Pocket Former

- ใช้สำหรับติดตั้งบริเวณด้าน Stressing ติดกับชุดสมอยึดจับลวด (Anchorage) และยึดติดกับแบบด้านข้างและจะถูกถอดออกเมื่อคอนกรีตแข็งตัว เพื่อติดตั้งอุปกรณ์สำหรับดึงลวดเหล็กกล้าตีเกลียว



รูปที่ 2 วัสดุสำหรับพื้นคอนกรีตอัดแรง (POST TENSION SLAB)

เครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับพื้นคอนกรีตอัดแรง (POST TENSION SLAB)

1. เครื่องดึงลวด (Hydraulic Jack & Pump)

เครื่องดึงลวดเหล็กกล้าตีเกลียว ประกอบด้วย ชุดเครื่องดึง (Jack) และชุดแรงดัน (Pump) ทำงานด้วยระบบ Hydraulic โดยจะมี หน้าปัดอ่านความดัน (Pressure Gauge) สำหรับแปลงค่าความดันเป็นแรงดึง โดยเครื่องดึงลวดจะได้รับการสอบเทียบ (Calibrate) กับ หน่วยงานทดสอบที่กำหนดให้ใช้ในโครงการทุกๆ 6 เดือน



ชุดแรงดัน (Pump)



ชุดเครื่องดึง (Jack)

รูปที่ 3 เครื่องดึงลวด (Hydraulic Jack & Pump)

2. เครื่องผสมน้ำปูน (Grouting Machine)

เครื่องผสมน้ำปูน ประกอบด้วย ชุดผสมน้ำปูน และชุดอัดน้ำปูนโดยใช้แรงดันอัดน้ำปูนเข้าท่อ Corrugated Sheath ให้เต็มท่อนตลอดความยาวแต่ละกลุ่มลวดเหล็กกล้าตีเกลียว



Grouting Machine

รูปที่ 4 เครื่องผสมน้ำปูน (Grouting Machine)

การดำเนินการก่อนก่อสร้างพื้นคอนกรีตอัดแรง (POST TENSION SLAB)

1. การจัดทำรายการคำนวณและออกแบบนั่งร้านรับน้ำหนักวัสดุและอุปกรณ์สำหรับการก่อสร้างพื้นคอนกรีตอัดแรง ประกอบไปด้วย น้ำหนักคอนกรีต น้ำหนักโครงคร่าวและไม้แบบพื้น น้ำหนักอุปกรณ์และผู้ปฏิบัติงานขณะดำเนินการเทคอนกรีต เป็นต้น โดยผู้รับจ้างจัดทำเอกสารรายการคำนวณและออกแบบนั่งร้านเสนอต่อผู้ควบคุมงานพิจารณาและตรวจสอบก่อนการดำเนินงานติดตั้งนั่งร้าน
2. ทำการทดสอบคุณสมบัติวัสดุเหล็กเส้น, ลวดเหล็กกล้าตีเกลียวกับสถาบันทดสอบที่กำหนดให้ใช้ในโครงการ ก่อนนำมาใช้ก่อสร้าง

ขั้นตอนและวิธีการก่อสร้างพื้นคอนกรีตอัดแรง (POST TENSION SLAB)

1. ตั้งนั่งร้าน วางไม้แบบรับท้องพื้น และแบบข้างพื้น



2. วางเหล็กเสริมล่างพื้น เหล็ก Shear Stirrup ติดตั้งท่อ Sleeve งานระบบไฟฟ้าสื่อสาร และระบบสุขาภิบาล



3. วางท่อ Corrugated Sheath และร้อยลวดเหล็กกล้าตีเกลียวเข้าท่อ Corrugated Sheath ตามแบบ Shop drawing



4. ติดตั้งชุด Anchorage กับแบบข้างพื้น และติดตั้งท่อสำหรับอัดน้ำปูน



5. ติดตั้ง Barchair ตามแนวท่อ Corrugated Sheath ให้ได้ระดับ Profile ตามแบบ Shop drawing



6. ติดตั้งเหล็กกันระเบิด และเหล็กเสริมตาม Typical Detail



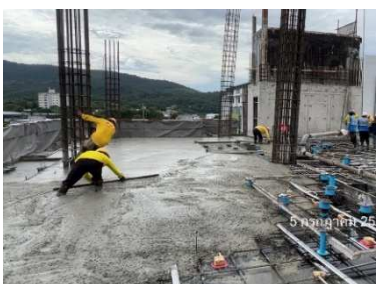
7. ติดตั้งท่องานระบบไฟฟ้าและสื่อสาร และระบบสุขาภิบาล



8. ตรวจสอบความถูกต้องของระดับ Profile และระยะห่างของท่อ Corrugated Sheath, เหล็กเสริม, งานระบบท่อต่างๆ



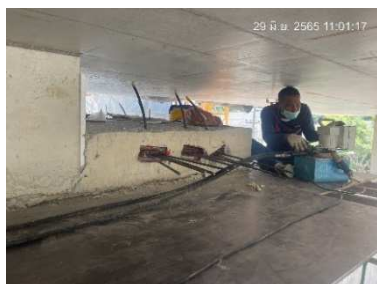
9. ทำการเทคอนกรีตพื้น



10. บ่มคอนกรีต และถอดแบบข้างพื้น



11. ถอด Pocket Former และติดตั้ง Anchor Block และ Jaws เข้ากับ Anchor Guide เพื่อเตรียมดึงลวดเหล็กกล้าตีเกลียว



12. ทำการดึงลวดเหล็กกล้าตีเกลียว เมื่อคอนกรีตได้กำลังอัดไม่ต่ำกว่า 75% ของกำลังอัดประลัย ที่อายุ 28 วัน (240 กก./ซม.²) โดยบันทึกผลการดึงลวดเหล็กกล้าตีเกลียวทุกเส้นและทุกแนว



13. เมื่อตรวจสอบผลการดึงลวดเหล็กกล้าตีเกลียวแล้ว ทำการตัดปลายลวด อุดปิดช่องบริเวณ Stressing End ด้วยปูนทรายและทำการอัดน้ำปูนเข้าท่อ Corrugated Sheath และตัดท่อสำหรับอัดน้ำปูนเมื่อทำการอัดน้ำปูนครบ 24 ชั่วโมง



14. ถอดแบบท้องพื้น, นั่งร้าน และเสริมค้ำยันกลับกรณีที่มีการก่อสร้างพื้นชั้นถัดไปตามรายการคำนวณการรับน้ำหนัก

การดึงลวดเหล็กกล้าตีเกลียว

การเตรียมการก่อนทำการดึงลวดเหล็กกล้าตีเกลียว

1. การเตรียมพื้นที่การทำงาน

ก่อนทำการดึงลวดเหล็กกล้าตีเกลียว ต้องทำการแกะ Former บริเวณ Stressing End โดยพื้นที่ที่จะทำการดึงลวดต้องมีน้ำหนักรวมของวัสดุ อุปกรณ์ต่างๆ ที่วางไว้บนพื้นไม่เกินการคำนวณการรับน้ำหนักของพื้นที่ที่กำหนดไว้ และตรวจสอบความปลอดภัยของพื้นที่การทำงาน โดยจะต้องมีนั่งร้านยื่นออกจากขอบพื้นที่ทำการดึงลวดไม่น้อยกว่า 80 ซม. (ตามรูปที่ 5.1)

2. การติดตั้ง Anchor Block และ Jaws

ตรวจสอบความยาวของลวดแต่ละเส้นให้มีความยาวไม่น้อยกว่า 50 ซม. (ตามรูปที่ 5.2) ทำความสะอาดบริเวณ Anchor Guide และปลายลวดไม่ให้มีเศษคอนกรีตหรือเศษวัสดุอื่นๆ จากนั้นติดตั้ง Anchor Block โดยร้อยเข้าจากปลายลวด พร้อมทั้งติดตั้ง Jaws เข้าไปภายในรู Anchor Block แล้วดันให้ประกบคู่กัน รวมถึงพันสีที่ลวดเพื่อใช้ตรวจสอบว่าทำการดึงลวดแล้ว



ไม้แบบยื่นออกมาไม่น้อยกว่า 80 ซม.

รูปที่ 5.1



ความยาวลวดไม่น้อยกว่า 50 ซม.

รูปที่ 5.2

3. การตรวจสอบกำลังอัดคอนกรีตก่อนดึงลวดเหล็กกล้าตีเกลียว

กำลังอัดของคอนกรีตขณะทำการดึงลวดต้องไม่น้อยกว่า 75% ของกำลังอัดประลัยที่ 28 วัน (240 กก./ซม.^2) (ตามรูปที่ 6) เพื่อให้คอนกรีตมีความแข็งแรงเพียงพอ (ตามรายการคำนวณออกแบบ) ขณะทำการดึงลวด ทั้งนี้ต้องตรวจสอบความสมบูรณ์ของเนื้อคอนกรีตรอบๆ บริเวณ Stressing End หากสภาพคอนกรีตไม่สมบูรณ์ต้องทำการแก้ไขก่อนทำการดึงลวด



คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
รายงานผลการทดสอบกำลังของวัสดุ

เลขที่ 153/66 วันที่ 7 ธ.ค. 65

ศูนย์บริการวิชาการทางวิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ได้ทำการทดสอบความต้านทานแรงอัดของแท่งคอนกรีตชนิดกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 150 มม. โดยใช้เครื่อง ELE Compression Testing Machine จากตัวอย่างที่นำส่งโดย นายชินนาร์ สายปือ ตำแหน่งของ บริษัท คอนกรีตภัณฑ์ เอสพี เทค จำกัด

เป็นตัวอย่างจากโครงการ สัตว์ทะเลหายากที่ศูนย์ศึกษาและพัฒนาชุมชน และเพื่อใช้ปูนไม่น้อยกว่า 600 ปูน (240 กก.) โดยมี คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ เป็นผู้จ้าง และมี บริษัท โกลบอลเอส จำกัด (มหาชน) เป็นผู้รับจ้าง

จากหลักฐานนำส่งตัวอย่างเมื่อ 29 พ.ค. 65

ศูนย์บริการฯ ได้รับตัวอย่างเมื่อ 2 ธ.ค. 65 และทดสอบเมื่อ 6 ธ.ค. 65 รวมอายุ 7 วัน

จากตัวอย่างที่ศูนย์บริการฯ ได้รับ ปรากฏผลการทดสอบ ดังนี้

20-11-65 หอศิลป์ ส.เขต 14 อาคาร B 387583A800 SL12.0cm	1	2	3	เฉลี่ย
เครื่องหมายที่ตัวอย่าง	A4/9	A5/9	A6/9	
น้ำหนัก	กก.	8.138	8.549	8.296
ความกว้าง	ซม.	15.10	15.80	15.40
ความยาว	ซม.	15.10	15.10	15.10
ความสูง	ซม.	15.10	15.10	15.10
ความหนาแน่น	กก./ม. ³	2,360	2,370	2,363
แรงดึงสูงสุด	กก.	86,700	88,400	89,300
ความต้านทานแรงอัด	กก./ซม. ²	380	371	384
ค่าเฉลี่ยความต้านทานแรงอัดที่อายุ 7 วัน	เท่ากับ	สามร้อยเจ็ดสิบแปด	กก./ซม. ²	378

ค่าเฉลี่ยความต้านทานแรงอัดที่อายุ 7 วัน เท่ากับ สามร้อยเจ็ดสิบแปด กก./ซม.²

กำลังอัดของคอนกรีตไม่น้อยกว่า 75% (240 กก./ซม.^2)

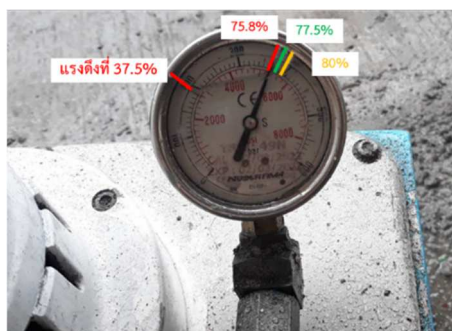

(ผ.ดร.ภาณุกร จิววิเศษวงศ์)
ผู้ควบคุมการทดสอบ


รองศาสตราจารย์ ดร.ภาณุกร จิววิเศษวงศ์
ผู้อำนวยการศูนย์บริการวิชาการ

รูปที่ 6 แสดงผลกำลังอัดคอนกรีตไม่น้อยกว่า 75% ก่อนทำการดึงลวด

4. การกำหนดตำแหน่งบน Pressure Gauge

นำค่า Gauge Reading ที่ได้จากการ Calibrate มากำหนดตำแหน่งไว้บน Pressure Gauge (37.5%, 75.8%, 80%) เพื่อความถูกต้องแม่นยำและสะดวกกับการทำงานของผู้ทำการดึงลวดเหล็กกล้าตีเกลียว



5. เตรียมเอกสาร Stressing Report

เพื่อทำการบันทึกค่า โดยค่า Elongation ที่กำหนดในตารางมาจากการคำนวณตามความยาวและ Profile ของลวด โดยบันทึกค่า Elongation และค่าความคลาดเคลื่อน +/- 5%



THE SIAM CEMENT (TA LUANG) CO., LTD.
CPAC POST-TENSION TEL. 02-555-5999 FAX. 02-555-5841



STRESSING DATA REPORT

PROJECT : หอพักนักศึกษาแพทย์ คณะแพทยศาสตร์ มอ.หาดใหญ่

FLOOR/ZONE			DATE	INSPECTOR	ENGINEER APPROVED	PAGE									
16th (Zone B)			9-01-2566	ไพฑูริย์		1 / 5									
Tend. No.	Theoretical Elongation (mm.)		Jack 49 H	Pump 49 H	Jack 126 H	Pump 126 H	Slip	Gold Name	Seq. No.						
			Elongation At Scale Reading (mm.)		Total Elongation					After Transfer (mm.)					
	9.8%	1.86	1.05	75.8%	77.5%	80.0%	75.8%	77.5%	80.0%						
1	63	66	69				33			66		28	2	X1	1
2							34			68		29	2		
3							33			66		28	2		
4							33			66		28	2		
5	63	66	69	33						66	28		2	X1	37
6				34						68	29		2		
7				34						68	29		2		
8				33						66	28		2		
9	63	66	69				33			66		28	2	X1	2
10							34			68		29	2		
11							33			66		28	2		
12							33			66		28	2		
13	63	66	69	33						66	28		2	X1	36
14				33						66	28		2		
15				33						66	28		2		
16	96	101	106				51			102		46	2	X2	3
17							52			104		47	2		
18							52			104		47	2		
19							51			102		46	2		
20	96	101	106	51						102	46		2	X2	39
21				52						104	47		2		
22				52						104	47		2		
23				51						102	46		2		
24	96	101	106				52			104		47	2	X2	4
25							53			106		48	2		
26							52			104		47	2		
27	99	104	109	52						104	47		2	X3	40
28										106	48		2		
29				53						106	48		2		
30				52						104	47		2		
31	99	104	109				52			104		47	2	X3	5
32							53			106		48	2		
33							53			106		48	2		
34							52			104		47	2		
35	59	62	65				31			62		26	2	X4	6
36							32			64		27	2		
37							31			62		26	2		
38							32			64		27	2		
39							32			64		27	2		
40							31			62		26	2		
41							32			64		27	2		
42							32			64		27	2		
43							31			62		26	2		
44							31			62		26	2		
45							32			64		27	2		
46							31			62		26	2		
47	59	62	65				32			64		27	2	X4	41
48							31			62		26	2		
49							31			62		26	2		
50							32			64		27	2		

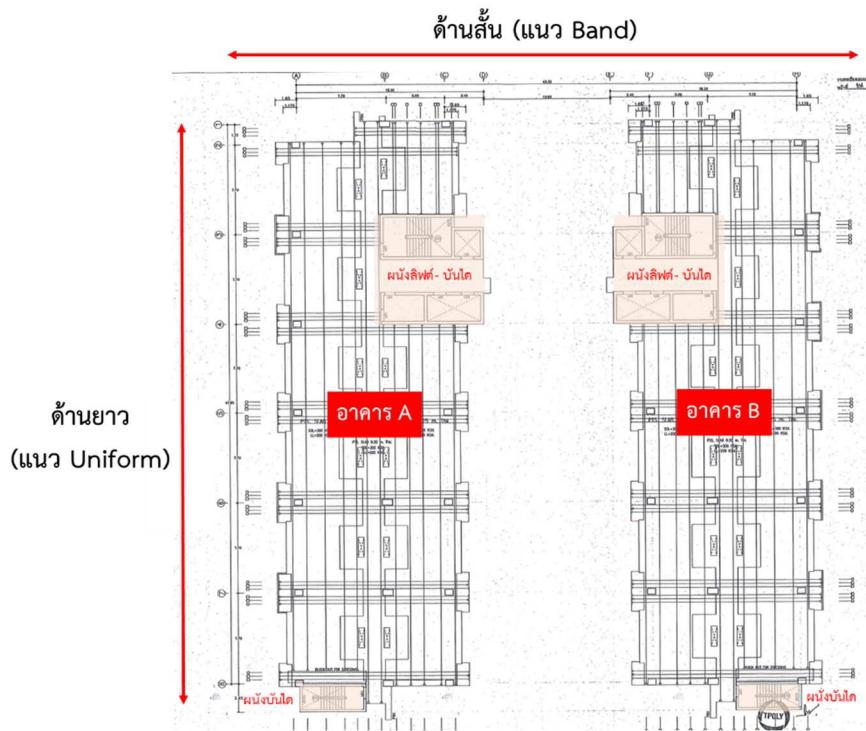
160505 Cross : 210/25050 Total Tendon = 237 R21.1 Checkman : Slip On End 1 & 3 Slip On End 4 & 6

รูปที่ 7 ตัวอย่างแบบบันทึกผลการดึงลวดเหล็กกล้าตีเกลียว

6. การจัดลำดับในการดึงลวด

ทำการดึงลวดส่วนพื้นด้านสั้น (แนว Band) ก่อนที่ 50% ในแต่ละแถบเสา เนื่องจากพื้นส่วนด้านสั้นจะเป็นการดึงลวดเพียง 1 ด้าน เพื่อเป็นการเตรียมพื้นก่อนการดึงลวดส่วนพื้นด้านยาว (แนว Uniform) ที่มีการดึงลวดทั้ง 1 และ 2 ด้าน ที่ 100% หลังจากดึงลวดส่วนพื้นด้านยาว (แนว Uniform) ทั้งหมดแล้วให้กลับไปดึงลวดส่วนพื้นด้านสั้น (แนว Band) 50% ที่เหลือให้ครบถ้วน และค่อยไปดึงลวดชนิด Extra และลวดที่หยุดตามผนังลิฟต์, ช่องเปิดต่างๆ ทั้งหมดให้ครบถ้วน

หมายเหตุ การดึงลวดของหัว Anchorage ในกลุ่มลวดเดียวกัน ให้เริ่มดึงจากศูนย์กลางออกไปทางซ้ายและทางขวาตามลำดับ



รูปที่ 8 แสดงแนวการดึงลวดเหล็กกล้าตีเกลียวพื้น Post tension

การดำเนินการดึงลวดเหล็กกล้าตีเกลียวและการวัดค่า Elongation

สำหรับโครงการนี้ได้กำหนดให้ลวดเหล็กกล้าตีเกลียวต้องถูกดึงด้วยแรงขั้นต่ำไม่น้อยกว่า 14.2 ตัน แต่ต้องไม่เกิน 15 ตัน เมื่อแปลงเป็นค่ากำหนดการดึงของ Pressure Gauge จะอยู่ที่ระหว่าง 75.8% ถึง 80.0% เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความเสียหายต่อลวดเหล็กกล้าตีเกลียว

1. ทำการดึงลวดเหล็กกล้าตีเกลียว

โดยทำการดึงลวดโดยเริ่มจากให้แรงที่ 37.5% เพื่อเป็นการเตรียมการ ก่อนที่ให้แรงที่ 75.8% เพื่อบันทึกผลการดึงลวด



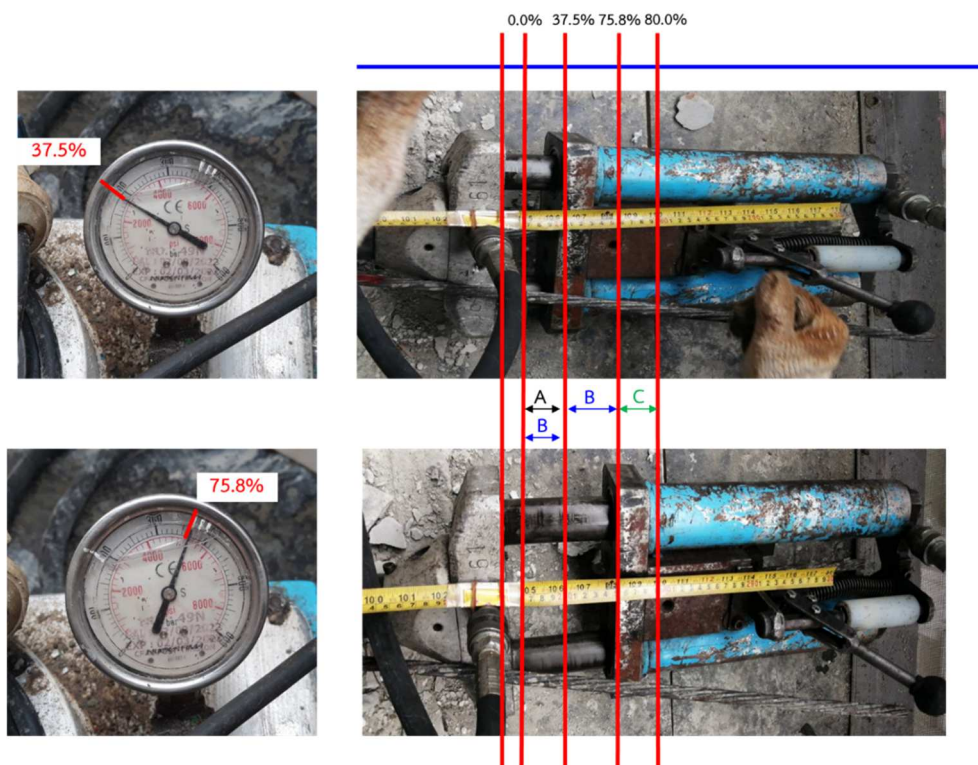
2. วิธีวัดระยะยืดของลวดเหล็กกล้าตีเกลียว (Elongation)

นำค่าที่เปลี่ยนแปลงจาก 37.5% ถึง 75.8% มาบันทึกค่า Elongation ที่ 75.8% และนำค่าที่ได้มาคูณ 2 เพื่อหาค่า Total Elongation เนื่องจากที่ระยะเริ่มถึง 37.5% ไม่สามารถหาค่า Elongation ได้ เพราะมีการตกร่องข้างของลวดเหล็กกล้าตีเกลียว

$$\text{Total Elongation ที่ 75.8\%} = (\text{ค่า Elongation ที่ 75.8\%}) \times 2 = B \times 2$$

ข้อสังเกต ค่า Total Elongation ที่วัดได้จริง จะมีค่ามากกว่าค่า Elongation ที่ได้จากการคำนวณแต่จะไม่เกิดค่าความคลาดเคลื่อน 5% หากค่า Elongation ยังไม่อยู่ในช่วงค่าที่ได้จากการคำนวณให้เพิ่มแรงจากที่ 75.8% เป็น 80% โดยค่า Total Elongation จะได้จากค่า Elongation ที่ 75.8% บวกกับค่า Elongation ที่ 80%

$$\text{Total Elongation ที่ 80\%} = (\text{ค่า Elongation ที่ 0-37.5\%}) + (\text{ค่า Elongation ที่ 37.5-75.8\%}) = B + C$$



รูปที่ 9 แสดงการหาค่า Total Elongation

3. การวัดค่าระยะหดกลับของลวดเหล็กกล้าตีเกลียว (Slip)

เมื่อบันทึกค่าที่ 75.8% แล้วให้อัด Jaws เข้ากับ Block โดยลดแรงจาก 75.8% มาที่ 37.5% และทำการวัดค่าระยะยืดที่ลดลงเพื่อบันทึกค่าเป็นค่า After transfer เพื่อทำการหาค่าหดกลับ (Slip) โดยค่า Slip คำนวณได้จาก

$$\text{Slip} = \text{ค่า Elongation} - \text{ค่า After transfer} - \text{ค่าการหดตัวของหางลวด (3 มม.)}$$

ข้อสังเกต ค่าระยะหดกลับของลวดเหล็กกล้าตีเกลียว (Slip) ที่ได้จากการดึงลวดเหล็กกล้าตีเกลียวไม่ควรเกิน 3 มม. ต่อหนึ่งด้านของการดึงลวด

4. กรณีการดึงลวด 2 ทิศทาง

ถ้าความยาวลวดมากกว่า 30 เมตร จะต้องทำการดึงลวด 2 ทิศทางเพื่อเป็นการลด Friction loss ของลวดเหล็กกล้าตีเกลียว โดยขั้นตอนการดึงลวดจะทำเช่นเดียวกันกับการดึงลวดทิศทางเดียว โดยจะทำการดึงลวดเส้นเดียวกันทั้งสองทิศทางพร้อมกัน

หลังทำการดึงลวดเหล็กกล้าตีเกลียว

1. เมื่อทำการดึงลวดเหล็กกล้าตีเกลียวครบถ้วน ผู้รับจ้างจะนำส่งรายงานผลการดึงลวดแก่ผู้ควบคุมงานเพื่อพิจารณาตรวจสอบเบื้องต้น และผู้ควบคุมงานนำเสนอต่อวิศวกรผู้ออกแบบเพื่อตรวจสอบเป็นลำดับสุดท้าย



THE SIAM CEMENT CO., LTD.
CPAC POST-TENSION TEL. 02-555-5999 FAX. 02-555-5841



STRESSING DATA REPORT

PROJECT : หอพักนักศึกษาแพทย์ คณะแพทยศาสตร์ มอ.หาดใหญ่

FLOOR/ZONE				DATE		INSPECTOR		ENGINEER APPROVED				PAGE	
16th (Zone B)				9-01-2566		ไพฑูริย์						1 / 5	
Tend. No.	Theoretical Elongation (mm.)			Jack & Pump Elongation At Scale Reading (mm.)		Total Elongation (mm.)		After Transfer (mm.)		Slip (mm.)	Gold Name	SEQ. No.	
	63	66	69	49 N (I)	49 N (II)	126 N (I)	(I)	(II)	(I)				(II)
1	63	66	69				66	28	2		X1	1	
2							68	29	2				
3							66	28	2				
4							66	28	2				
5	63	66	69	33			66	28	2		X1	37	
6				34			68	29	2				
7				34			68	29	2				
8				33			66	28	2				
9	63	66	69			33	66	28	2		X1	2	
10						34	68	29	2				
11						33	66	28	2				
12						33	66	28	2				
13	63	66	69	33			66	28	2		X1	38	
14				33			66	28	2				
15				33			66	28	2				
16	96	101	106			51	102	46	2		X2	3	
17						52	104	47	2				
18						52	104	47	2				
19						51	102	46	2				
20	96	101	106	51			102	46	2		X2	39	
21				52			104	47	2				
22				52			104	47	2				
23				51			102	46	2				
24	96	101	106			52	104	47	2		X2	4	
25						53	106	48	2				
26						52	104	47	2				
27	99	104	109	52			104	47	2		X3	40	
28				53			106	48	2				
29				53			106	48	2				
30				52			104	47	2				
31	99	104	109			52	104	47	2		X3	5	
32						53	106	48	2				
33						53	106	48	2				
34						52	104	47	2				
35	59	62	65			31	62	26	2		X4	6	
36						32	64	27	2				
37						31	62	26	2				
38						32	64	27	2				
39						31	62	26	2				
40						32	64	27	2				
41						32	64	27	2				
42						32	64	27	2				
43						31	62	26	2				
44						31	62	26	2				
45						32	64	27	2				
46						31	62	26	2				
47	59	62	65			32	64	27	2		X4	41	
48						31	62	26	2				
49						31	62	26	2				
50						32	64	27	2				

T00995 Check : 24/10/2556 Drawn : PRL 16.8 Total Tension = 237 R2.1

REVISIONS Remarks : 1. Double Slip One End x 3 <Double> Slip Both End x 3

ค่า Elongation ที่ได้ +/- 5% (A)

ค่าที่ได้จากการดึงลวดที่ 75.8% (B)

ค่า Total Elongation (Bx2) ; ไม่เกินค่า (A)

ค่า After Transfer ค่าที่ได้จากการลดแรงที่ 75.8% เหลือ 37.5%

ค่า Slip = ค่า Total Elongation - ค่า After Transfer - 3 มม.

ระบุกลุ่มลวด

ลำดับการดึงลวด

รูปที่ 10 แสดงตัวอย่างผลการดึงลวดเหล็กกล้าตีเกลียวพื้น Post tension

2. เมื่อขั้นตอนตรวจสอบผลการดึงลวดเหล็กกล้าตีเกลียวเป็นที่เรียบร้อยแล้ว จะทำการตัดหางลวดและอุดปิดช่องบริเวณ Stressing End ด้วยปูนทราย เพื่อเตรียมการอัดน้ำปูนเข้าท่อ Corrugated Sheath ต่อไป

การอัดน้ำปูน (Grouting)

การอัดน้ำปูน (Grouting) เป็นขั้นตอนที่สำคัญอีกขั้นตอนหนึ่งของการก่อสร้างพื้นคอนกรีตอัดแรง ระบบชนิดมีแรงยึดเหนี่ยว (Post Tension Slab - Bonded system) เนื่องจากการอัดน้ำปูนเข้าท่อ Corrugated Sheath เป็นการยึดจับลวดเหล็กกล้าตีเกลียวที่ผ่านกระบวนการดึงเข้ากับผิวท่อ Corrugated Sheath หรือ Tendon ให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างลวดเหล็กกล้าตีเกลียวกับหน้าตัดคอนกรีตของพื้น รวมถึงไม่ให้เกิดการเคลื่อนตัวและป้องกันไม่ให้เกิดสนิม ดังนั้นการอัดน้ำปูนต้องควบคุมคุณภาพของการทำงานและมีความระมัดระวังเป็นอย่างมาก โดยการอัดน้ำปูนเข้าท่อ Corrugated Sheath มีขั้นตอน ดังนี้

1. การเตรียมงานอัดน้ำปูน ตรวจสอบตำแหน่งท่อที่ใช้อัดน้ำปูนให้ถูกต้องตามตำแหน่ง Shop drawing และตรวจสอบความเรียบร้อยของปูนทรายที่ปิดช่องบริเวณ Stressing End เพื่อไม่ให้เกิดการรั่วของน้ำปูนในขณะที่ทำการอัดเข้าท่อ Corrugated Sheath และทำการไล่ลมในท่อ Corrugated Sheath ทุกเส้น เพื่อเป็นตรวจสอบเศษวัสดุที่จะทำให้เกิดการอุดตันขณะทำการอัดน้ำปูน

2. เตรียมส่วนผสมของน้ำปูน ประกอบไปด้วย ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1, น้ำยาหน่วงคอนกรีต เพื่อยืดระยะเวลาการก่อตัวของปูนซีเมนต์, ผงอลูมิเนียม และน้ำสะอาด โดยอัตราส่วนของน้ำและปูนซีเมนต์ (Water/Cement Ratio) ไม่เกิน 0.45 โดยก่อนการผสมน้ำปูน ต้องวัดอุณหภูมิของอากาศ, ปูนซีเมนต์ และน้ำ



3. ทำการผสมน้ำปูน โดยน้ำปูนที่ผสมเสร็จควรมีอุณหภูมิไม่ควรเกิน 40 °C (ตามรูปที่ 11.1) และทำการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำปูน คือ

3.1 การทดสอบความสามารถในการไหลของน้ำปูน (Fluidity) โดยทำการปิดปากกรวยทดสอบการไหลของน้ำปูน และเทน้ำปูนปริมาณ 1 ลิตรลงในกรวยทดสอบ จากนั้นทำการปล่อยให้น้ำปูนไหล และจับเวลา โดยค่าเวลามาตรฐานในการไหลของน้ำปูนไม่ควรน้อยกว่า 11 วินาที ซึ่งในโครงการนี้ใช้เวลาอยู่ที่ 15 วินาที (ตามรูปที่ 11.2)

3.2 การทดสอบกำลังอัดของก้อนปูน โดยทำการเก็บตัวอย่างก้อนปูนทรงลูกบาศก์ขนาด 5 x 5 x 5 ซม. จำนวน 6 ก้อน เพื่อทำการทดสอบกำลังอัดที่ 7 และ 28 วัน โดยกำลังอัดก้อนปูนที่ 7 วันต้องได้กำลังอัดมากกว่า 175 กก./ตร.ซม.² และกำลังอัดก้อนปูนที่ 28 วันต้องได้กำลังอัดมากกว่า 280 กก./ตร.ซม.² (ตามรูปที่ 11.3) โดยก่อนนำก้อนปูนไปทดสอบกำลังอัดให้นำก้อนปูนที่บ่มไว้ขึ้นมาผึ่งให้แห้งก่อน 1 วัน



รูปที่ 11.1



รูปที่ 11.2



รูปที่ 11.3

4. ทำการอัดน้ำปูน โดยทำการอัดน้ำปูนโดยใช้ปั๊มลมที่แรงดันไม่เกิน 15 บาร์ เมื่อน้ำปูนที่อัดเข้าไปในท่ออัดน้ำปูนอีกด้านหนึ่งให้ปล่อยน้ำปูนช่วงแรกทิ้งไป เพื่อไล่เศษวัสดุหรือสิ่งสกปรกตกค้างอยู่ภายในท่อ หลังจากนั้นให้ทำการหักท่อแล้วผูกด้วยลวด หากมีท่อที่มีการอุดตันหรือเกิดการรั่วในขณะที่ทำการอัดน้ำปูนนั้น ให้ทำการไล่น้ำปูนออกด้วยน้ำสะอาดเพื่อไม่ให้ น้ำปูนที่ค้างอยู่ในท่อเกิดการแข็งตัว ทำการซ่อมแซมแก้ไขท่อและทำการอัดน้ำปูนใหม่อีกครั้ง



5. เมื่อทำการอัดน้ำปูนครบถ้วนครบ 24 ชั่วโมงแล้วถึงทำการตัดปลายท่ออัดน้ำปูนได้ และทำการก่อสร้างงานอื่นๆในขั้นตอนถัดไป

ข้อควรระวังสำหรับพื้นคอนกรีตอัดแรง (POST TENSION SLAB)

ก่อนดำเนินการก่อสร้าง

1. ตรวจสอบรายละเอียดการติดตั้งนั่งร้าน ตามรายการคำนวณออกแบบที่รับรองโดยวิศวกรโยธา เนื่องจากเมื่อทำการเทคอนกรีตจะมีน้ำหนักที่ถ่ายลงนั่งร้านที่รองรับ โดยต้องคำนึงถึงน้ำหนักของคอนกรีต น้ำหนักเครื่องมือ เครื่องจักรและอุปกรณ์ต่างๆ รวมถึงน้ำหนักของคานงานทั้งหมดบนชั้นที่กำลังดำเนินการก่อสร้าง ที่สำคัญนอกจากความแข็งแรงและปลอดภัยของนั่งร้านที่รองรับชั้นที่มีการดำเนินการก่อสร้างแล้ว ต้องมีการค้ำยันนั่งร้านชั้นรองลงไปเป็นอย่างน้อย 2 ชั้น โดยการค้ำยันให้เป็นไปตามรายการคำนวณการรับน้ำหนัก
2. จัดลำดับขั้นตอนการทำงานทั้งของงานโครงสร้าง งานระบบทั้งหมด และงานพื้น Post Tension ให้ไม่เกิดขวางการทำงานซึ่งกันและกัน และระมัดระวังการทำงานหากต้องมีการเชื่อมไม้ให้สะเก็ดไฟที่เกิดจากการเชื่อมโดนเหล็กโครงสร้างหรือท่อ Corrugated Sheath ที่หุ้มลวดเหล็กกล้าตีเกลียว ได้รับความเสียหายเนื่องจากจะส่งผลต่อกำลังแรงดึงของทั้งเหล็กเส้นและลวดเหล็กกล้าตีเกลียว
3. ตรวจสอบระดับ Profile และระยะห่างของลวดเหล็กกล้าตีเกลียวให้เป็นไปตามแบบ Shop drawing โดยมีความคลาดเคลื่อนไม่เกินข้อกำหนด เนื่องจากระดับ Profile และระยะห่างของลวดเหล็กกล้าตีเกลียวมาจากการคำนวณเพื่อการรับน้ำหนักของลวดเหล็กกล้าตีเกลียว หากมีค่าความคลาดเคลื่อนเกินกว่าที่กำหนด อาจทำให้เกิดความเสียหายต่อพื้น Post Tension ได้
4. ตรวจสอบความเรียบร้อยของอุปกรณ์งานพื้น Post Tension ให้ครบถ้วน เช่น บริเวณหัวจับยึดลวดเหล็กกล้าตีเกลียว เพราะหากถ้าไม่แน่นหนา จะทำให้หลุดระหว่างที่มีการเทคอนกรีต และทำให้คอนกรีตเข้าไปในท่อ Corrugated Sheath ทำให้เกิดการอุดตันและต้องทำการแก้ไขอีกครั้งเมื่อต้องดำเนินการอัดน้ำปูน หรือทำให้น้ำเข้าไปเข้าไปในท่อ Corrugated Sheath ทำให้ลวดเป็นสนิมได้

ระหว่างทำการก่อสร้าง

1. การจัดการดำเนินการเทคอนกรีตให้ได้คุณภาพ โดยคอนกรีตต้องมีค่ายุบตัว (Slump) เป็นไปตามที่ออกแบบและจัดการความต่อเนื่องของการเทคอนกรีตโดยไม่ทิ้งระยะห่างของการเทคอนกรีตมากเกินไปกว่าอายุของคอนกรีต เพราะจะทำให้คอนกรีตเกิดการแข็งตัวและแยกชั้นกัน ซึ่งจะส่งผลให้พื้น Post tension เกิดความเสียหาย
2. ระหว่างการเทคอนกรีตต้องมีช่างของทุกส่วนงานอยู่เตรียมพร้อมสำหรับการแก้ไขงานโดยทันที

หลังการก่อสร้าง

1. บ่มคอนกรีตด้วยน้ำยาบ่มคอนกรีต โดยฉีดพ่นให้ครอบคลุมทุกพื้นที่ของพื้น Post Tension
2. จัดลำดับการทำงานของงานอัดน้ำปูนและงานอื่นๆ เช่น งานก่ออิฐฉาบฉวย (งานสถาปัตยกรรม) ที่ต้องมีการเจาะเสาเอ็น ที่อาจเกิดความผิดพลาดไปเจาะโดนแนวลวดเหล็กกล้าตีเกลียว ทำให้เมื่อทำการอัดน้ำปูน เกิดการรั่วของน้ำปูนตามแนวการเจาะเสาเอ็น นอกจากนั้นอาจทำให้เกิดความเสียหายต่อลวด และส่งผลต่อการรับน้ำหนักของพื้น Post Tension

3. การใช้งานพื้น Post Tension ในการนำวัสดุไปวางไว้เพื่อเตรียมงานอื่นๆ เช่น งานก่ออิฐฉาบฉวย ครอบกระดาน้ำหนักและคำนวณน้ำหนักวัสดุ เครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ เพื่อไม่ให้พื้น Post Tension รับน้ำหนักมากเกินไปจนกว่าค่าน้ำหนักที่ได้ออกแบบไว้เพราะจะทำให้พื้น Post Tension เกิดความเสียหาย เช่น เกิดรอยร้าวที่พื้น
4. เมื่อพื้น Post Tension เกิดรอยร้าวขึ้น ให้ประเมินความเสียหายที่เกิดขึ้น หาวิธีการแก้ไขรอยร้าวดังกล่าว และจัดทำเอกสารเสนอวิธีการแก้ไขรอยร้าวดังกล่าวให้ผู้ควบคุมงานพิจารณา

จะเห็นได้ว่าจากที่กล่าวมาข้างต้นการก่อสร้างพื้นคอนกรีตอัดแรง ระบบชนิดมีแรงยึดเหนี่ยว (Post Tension Slab - Bonded system) อาจจะมีข้อดีกว่าพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กในการลดขั้นตอนการก่อสร้างทำให้ใช้เวลาน้อยลง แต่ยังคงต้องมีความระมัดระวังในการทำงานค่อนข้างสูงในการติดตั้งและจัดวางลวดเหล็กกล้าตีเกลียวให้ถูกต้องตรงตามที่วิศวกรได้คำนวณและออกแบบไว้ และยังคงเป็นงานที่ต้องควบคุมคุณภาพคอนกรีตและวัสดุต่างๆ ให้ได้มาตรฐานทางวิศวกรรม หากดำเนินการก่อสร้างไม่เป็นไปตามมาตรฐานทางวิศวกรรมจะทำให้พื้นคอนกรีตอัดแรงที่ก่อสร้างไม่สามารถใช้ประโยชน์ใดๆ ได้ตามที่ต้องการ ทำให้เสียงบประมาณในการแก้ไข, รื้อถอน และทำการก่อสร้างใหม่ได้ ดังนั้นผู้ปฏิบัติงานต้องมีความรู้ ความเชี่ยวชาญ และความเข้าใจในการก่อสร้างพื้นคอนกรีตอัดแรงเป็นอย่างดี