

## POUR STRIP



Closure strip หรือ Pour strip คือการแยกพื้นออกชั่วคราวเพื่อทำให้พื้นที่ทั้งสองฝั่งสามารถเคลื่อนตัวได้อย่างอิสระ จนกว่าจะเทเชื่อมกัน เพื่อลดผลของการยัดรี้ง และเพื่อให้การแยกพื้นมีประสิทธิภาพมากที่สุด ควรปล่อยระยะเวลาให้พื้นที่ทั้งสองฝั่งมีการหดตัวอย่างเต็มที่ก่อน จึงค่อยเทเชื่อมกัน สำหรับในพื้นที่ post tension มี 4 ปัจจัยสำคัญที่ทำให้พื้นหดตัวคือ

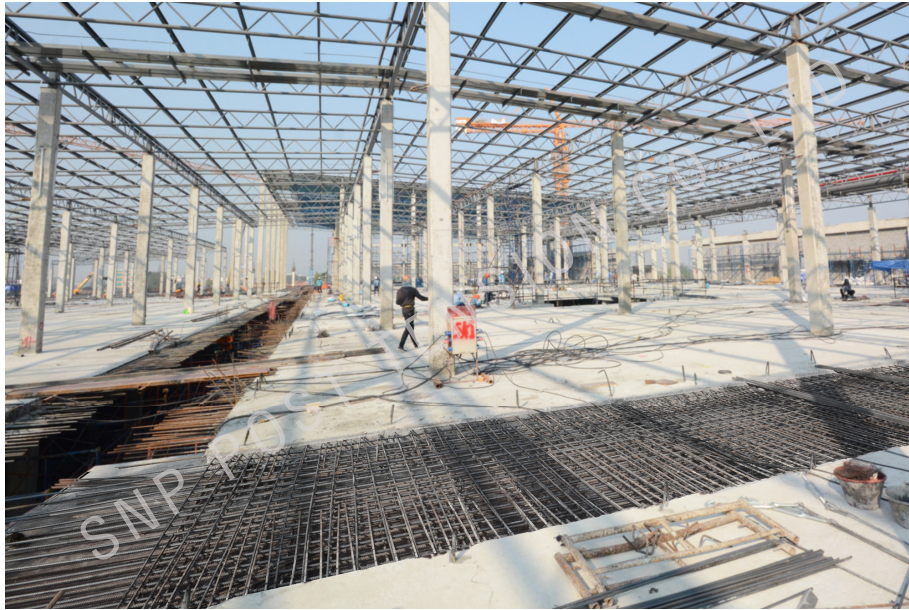
- Elastic shortening due to pre-compression
- Creep shortening due to pre-compression
- Shrinkage of concrete
- Temperature variation

ใน PTI Manual ได้ให้คำแนะนำในการใช้ closure strip กับความยาวของอาคารดังนี้

- ถ้าพื้นที่ที่มีความยาวน้อยกว่า 250 ft (76m) ยังไม่จำเป็นต้องมี closure strip หรือ Expansion joint



- สำหรับพื้นที่ที่มีความยาวระหว่าง 250 ft ถึง 325 ft (76 ถึง 99m) ควรจะมี closure strip ที่กึ่งกลางพื้นที่
- ถ้าพื้นที่มีความยาวระหว่าง 325 ft ถึง 400 ft (99 ถึง 122m) ควรจะมี closure strip 2 แนว และทิ้งระยะไว้ 60 วันก่อนเทเชื่อมกัน
- สำหรับพื้นที่ที่มีความยาวมากกว่า 400 ft (122m) ควรจะใช้เป็น Expansion joint

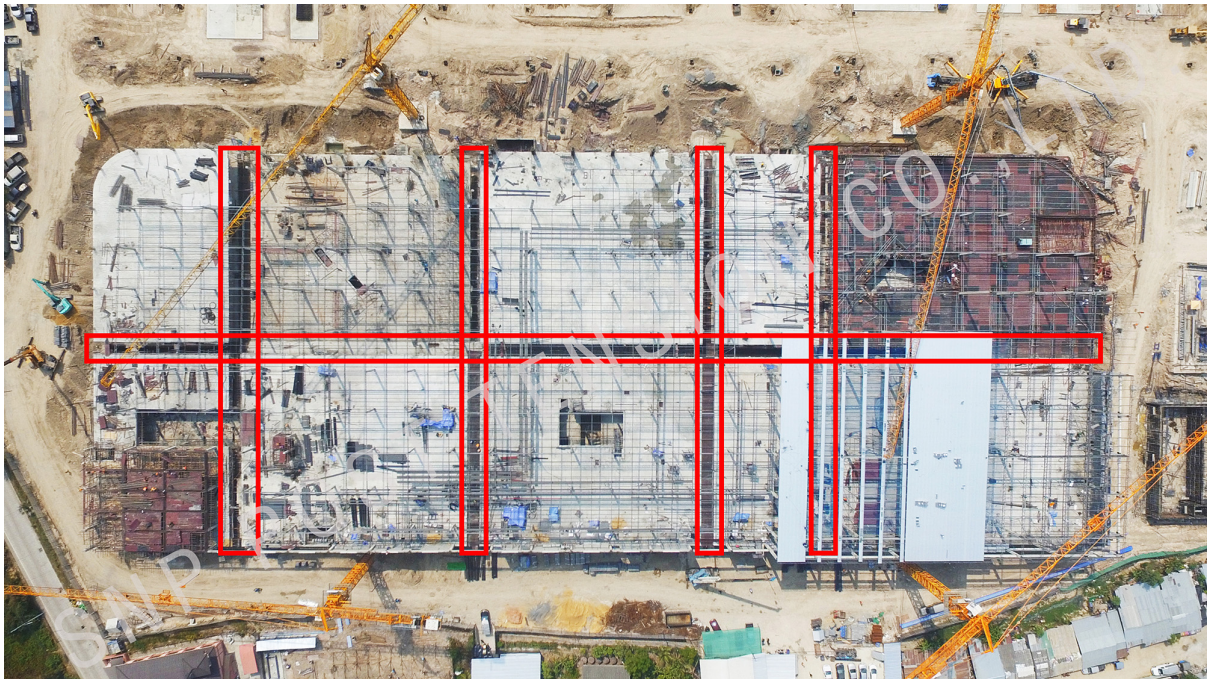
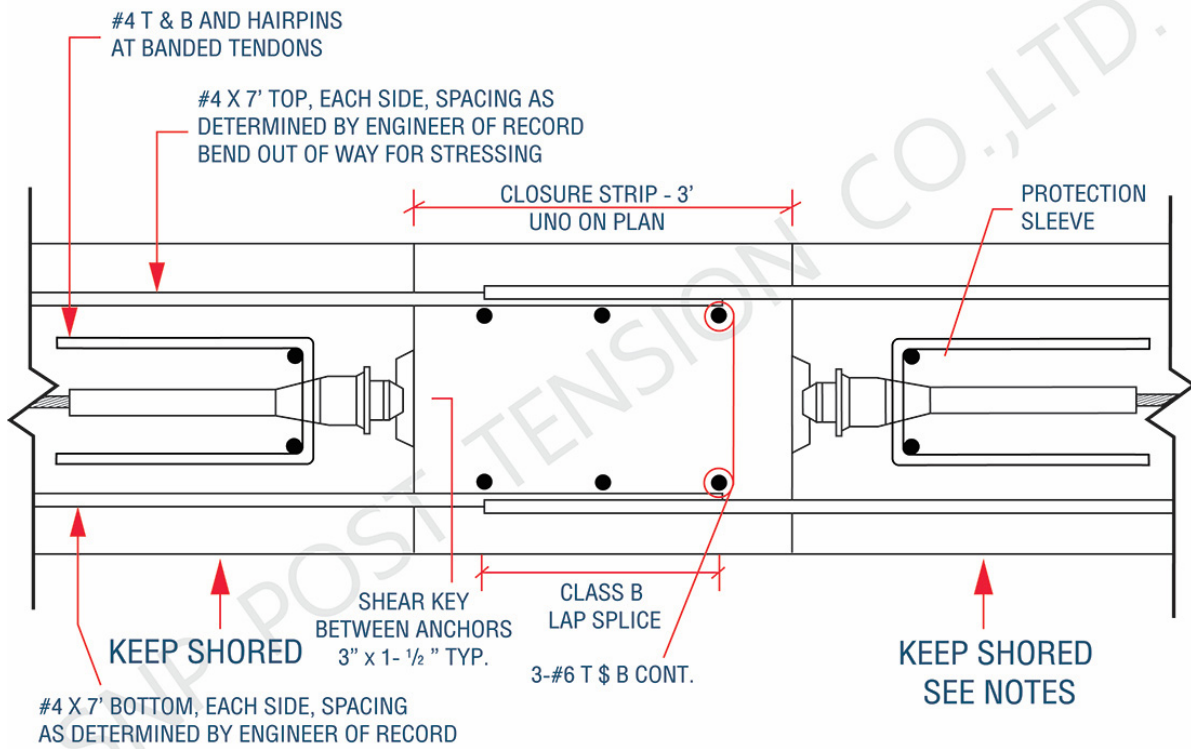


จากข้อแนะนำข้างต้นจำเป็นที่จะต้องพิจารณาร่วมกับ ผังของพื้นที่ ตำแหน่งและ stiffness ของเสาหรือชิ้นส่วนที่ใช้ต้านแรงด้านข้างอื่นๆ เช่น ผนังรับแรงเฉือน ซึ่งปัจจัยเหล่านี้จะมีผลต่อการยึดรั้งของพื้นที่

ความกว้างของ Closure strip ในการก่อสร้างพื้น post tension โดยทั่วไปกว้างประมาณ 3ft (0.90m) ทั้งนี้จะต้องกว้างเพียงพอสำหรับการวาง Hydraulic jack ถ้าจำเป็นต้องมีการดึงลวดในบริเวณนั้น การเสริมเหล็กจะยื่นออกจากขอบพื้นที่แล้วมีระยะทับภายใน closure strip เพื่อทำให้พื้นที่



มีความต่อเนื่อง ส่วนใหญ่ closure strip จะอยู่ที่ตำแหน่ง 1/4-1/3 ของระยะระหว่างเสา ซึ่งเป็นจุดที่โมเมนต์เกิดขึ้นน้อย รายละเอียดการเสริมเหล็กของ closure strip แสดงดังรูป

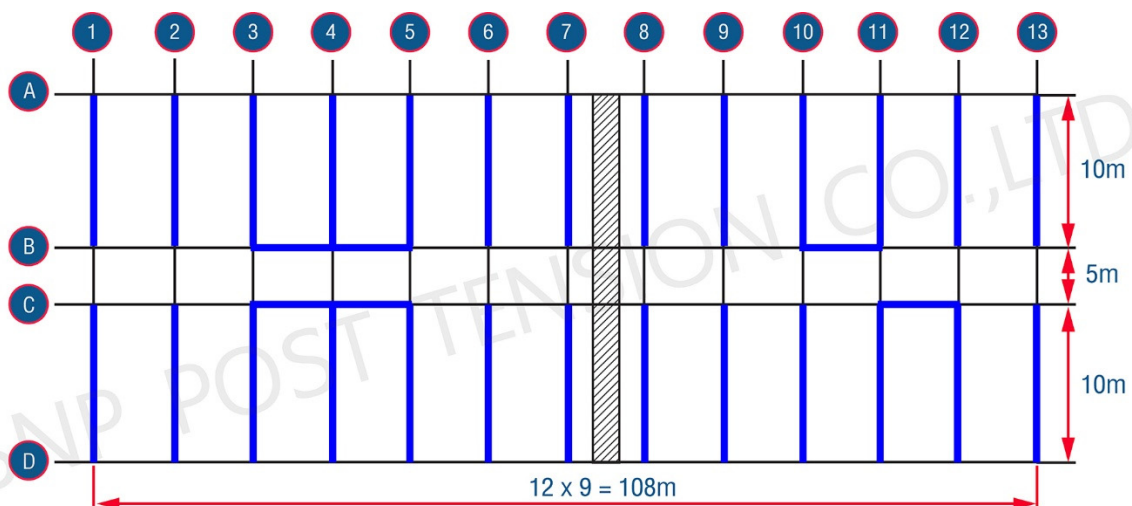


## หมายเหตุ

1. ค้างน้จ้งร้ำนไว้จ้จนกระทั่งก้ำลังของคอนกรีตที่ใช้เท closure strip ถึง 75% ของก้ำลังที่ระบุ
2. เลือกใช้คอนกรีตที่มีการหดตัวต่ำ
3. ทำผิวของขอบคอนกรีตให้ขรุขระ ทำความสะอาด และทำให้เปียกก่อนเทคอนกรีต
4. ป้องกันความผิดพลาดในเรื่องระดับระหว่างขอบทั้งสองฝั่ง ใช้ Hydraulic Jack ในการปรับระดับถ้าจำเป็น
5. ทำระบบกันซึมในกรณีที่ต้องการป้องกันปัญหาการรั่วซึม
6. ถ้า closure strip อยู่ในสภาพแวดล้อมที่รุนแรง ต้องทำการปิดบริเวณสมอยึดตามข้อกำหนดของโครงการ และปิดแนวรอยต่อด้วย flexible sealant
7. การทำงานจะต้องระลึกไว้ว่า จำเป็นต้องดูแลการน้จ้งร้ำนสำหรับพื้นที่ทั้งสองข้างของ closure strip เป็นพิเศษ โดยเฉพาะอาคารที่มีการก่อสร้างหลายชั้น

## ผลของ closure strip กับ shrinkage strain

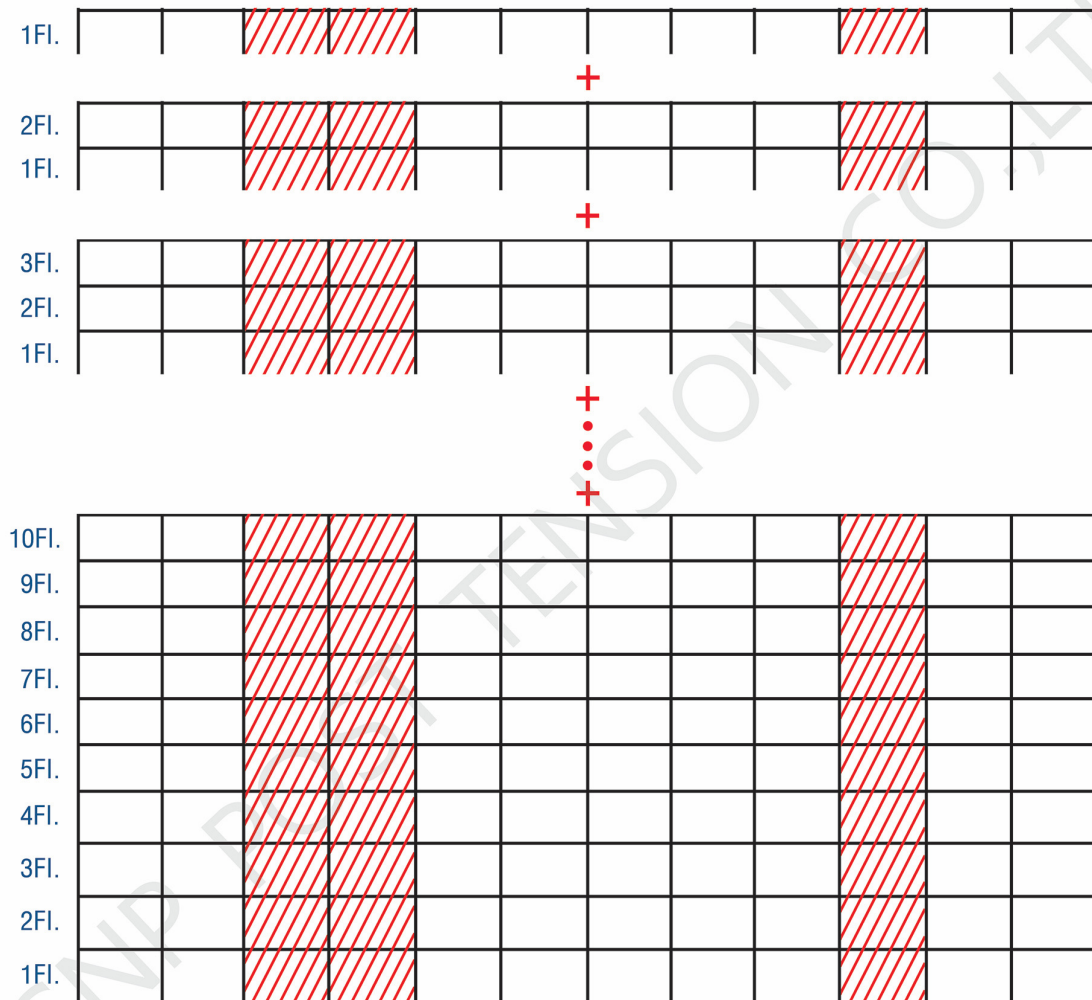
Han-Soo Kim กับ Suk-Hee Cho วิเคราะห์หา shrinkage strain ของอาคาร คสล. 10 ชั้น มีฝั่งอาคารแสดงดังรูปด้านล่าง โดยอาคารกว้าง 25m ยาว 108m มีความสูงระหว่างชั้น 3m พื้นคสล. หนา 270mm ผนัง คสล. หนา 300mm โดยมี closure strip อยู่ระหว่าง grid line 7 กับ 8 เพื่อลดผลกระทบของ shrinkage strain



โดยมีสมมติฐานเพื่อนำไปคำนวณ shrinkage strain ตามวิธีของ ACI และ CEB คือที่รองรับชั้นล่างสุดมีสภาพยึดแน่น การก่อสร้างใช้เวลา 20 วันต่อชั้น แต่ละชั้นบ่มด้วยความชื้น 7 วัน

## 1). ในกรณีที่ไม่มี closure strip

ทำการวิเคราะห์หา shrinkage strain 10 ครั้ง ดังรูป



เช่น ครั้งที่ 1 คำนวณ shrinkage strain เฉพาะชั้นที่ 1 ครั้งที่ 2 คำนวณผลของ shrinkage strain ชั้นที่ 1 รวมกับชั้นที่ 2 ทำเช่นนี้ จำนวน 10 ครั้ง ได้ผลลัพธ์ดังตารางด้านล่าง

### Results of analyses using ACI and CEB models

Story	ACI model				CEB model			
	$\sigma_{cl}$ (MPa)	$R_s$	$\sigma$ (MPa)	$I_{cr}$	$\sigma_{cl}$ (MPa)	$R_s$	$\sigma$ (MPa)	$I_{cr}$
10Fl.	2.51	0.463	1.16	0.437	0.36	0.454	0.16	0.061
9Fl.	1.20	0.463	0.56	0.208	0.14	0.454	0.07	0.024
8Fl.	0.47	0.463	0.22	0.082	0.10	0.454	0.05	0.017
7Fl.	0.19	0.463	0.09	0.032	0.20	0.454	0.09	0.033
6Fl.	0.21	0.463	0.10	0.037	0.46	0.454	0.21	0.078
5Fl.	0.50	0.463	0.23	0.086	0.95	0.454	0.43	0.163
4Fl.	1.18	0.463	0.52	0.195	1.84	0.454	0.84	0.314
3Fl.	2.30	0.463	1.06	0.400	3.39	0.454	1.54	0.578
2Fl.	4.53	0.463	2.10	0.187	6.03	0.454	2.74	1.031
1Fl.	8.55	0.463	3.96	1.493	10.39	0.454	4.71	1.754

**โดยที่  $\sigma$**  คือ shrinkage stress that considers creep

**$\sigma_{cl}$**  คือ shrinkage stress that does not considers creep

**$R_s$**  คือ Relaxation coefficient of shrinkage stress  $R_s = \sigma / \sigma_{cl}$

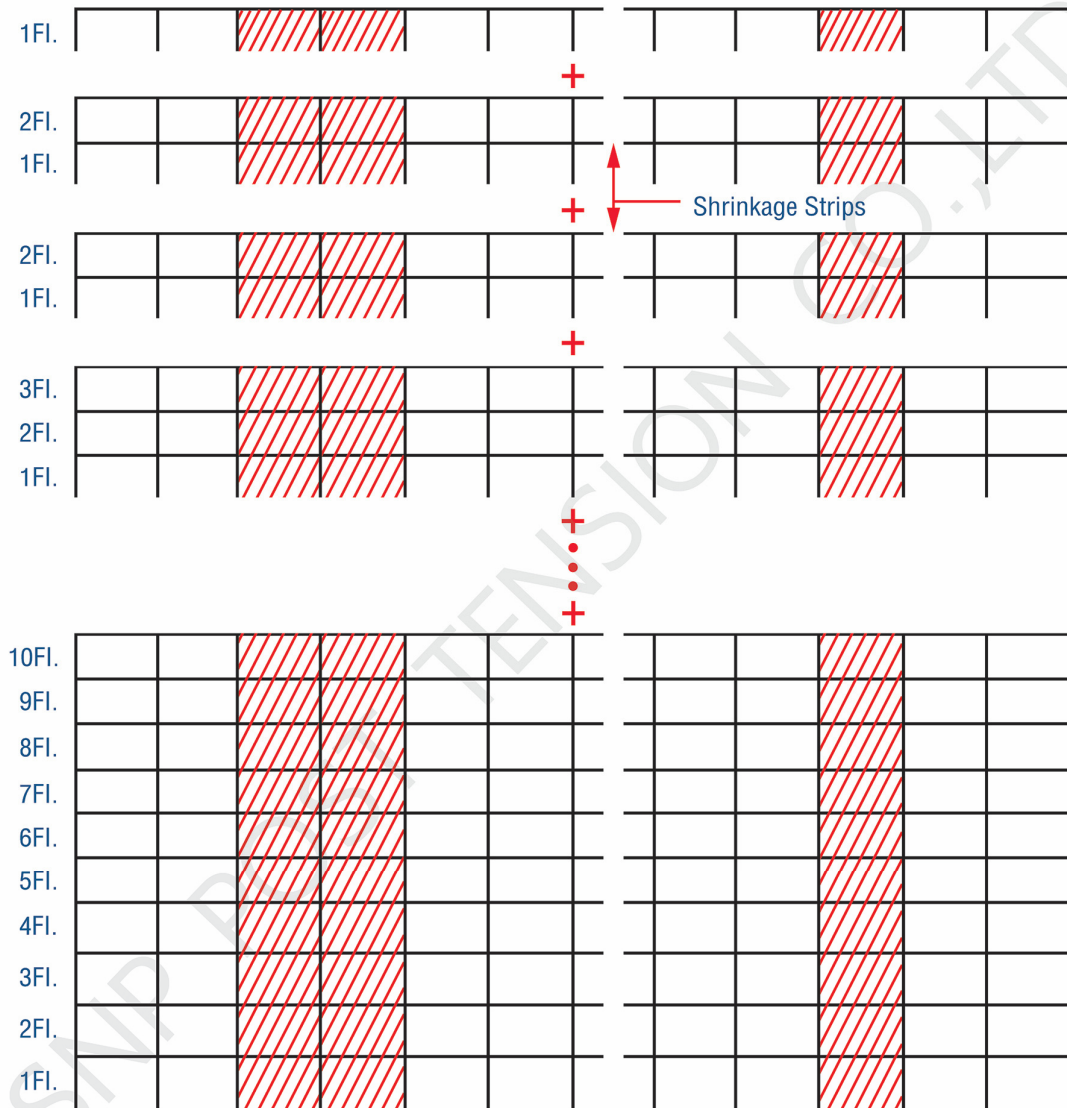
**$I_{cr}$**  คือ Ratio of shrinkage stress considering creep to Tensile strength of concrete

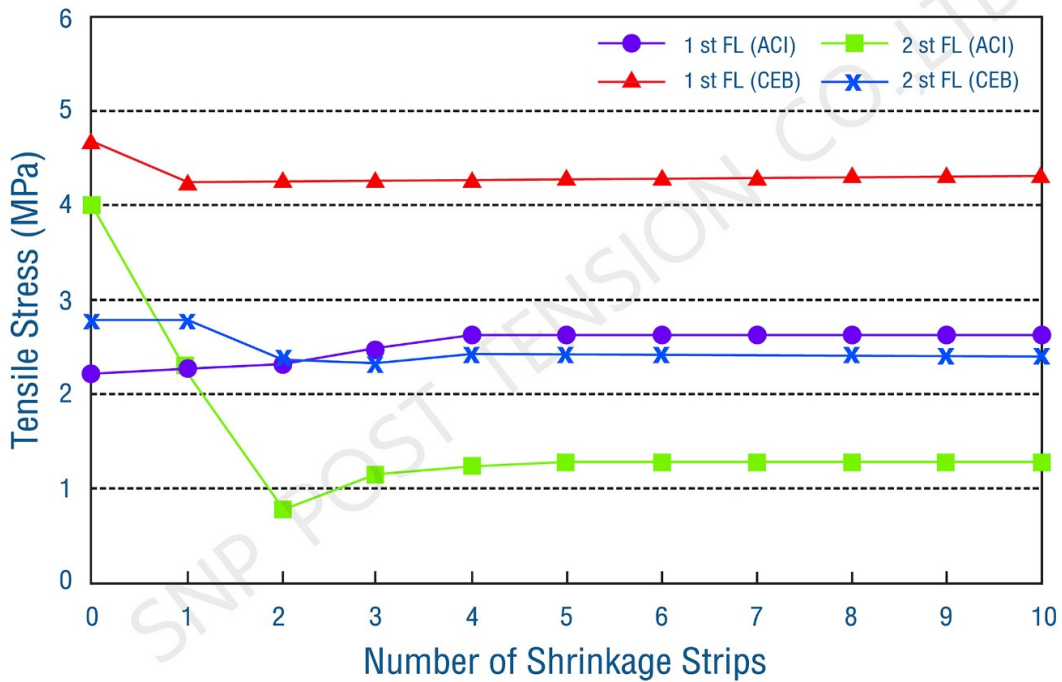
ผลของการคำนวณพบว่า เกิด stress สูงสุดอยู่ที่ระหว่าง gridline 5 และ 6 ส่วนชั้นที่มีค่า stress สูงสุดอยู่ที่ชั้นที่ 1 และมีค่าลดลงเรื่อยๆ ในชั้นบนถัดไป ชั้นที่มีค่า stress น้อยที่สุดจะอยู่ที่ชั้น 7 เมื่อคำนวณด้วย ACI และอยู่ที่ชั้น 8 เมื่อคำนวณด้วย CEB และมีค่าเพิ่มขึ้นอีกไม่มากเหนือชั้นดังกล่าว พบว่าชั้นที่ 1 และ 2 ค่า  $I_{cr}$  มีค่าเกินหนึ่ง ซึ่งหมายถึงเกิด stress เกินค่าหน่วยแรงดึงที่คอนกรีตรับได้ ดังนั้นจึงควรมี closure strip ที่ชั้นที่ 1 และ 2



## 2). ผลของจำนวนชั้นที่ใส่ closure strip

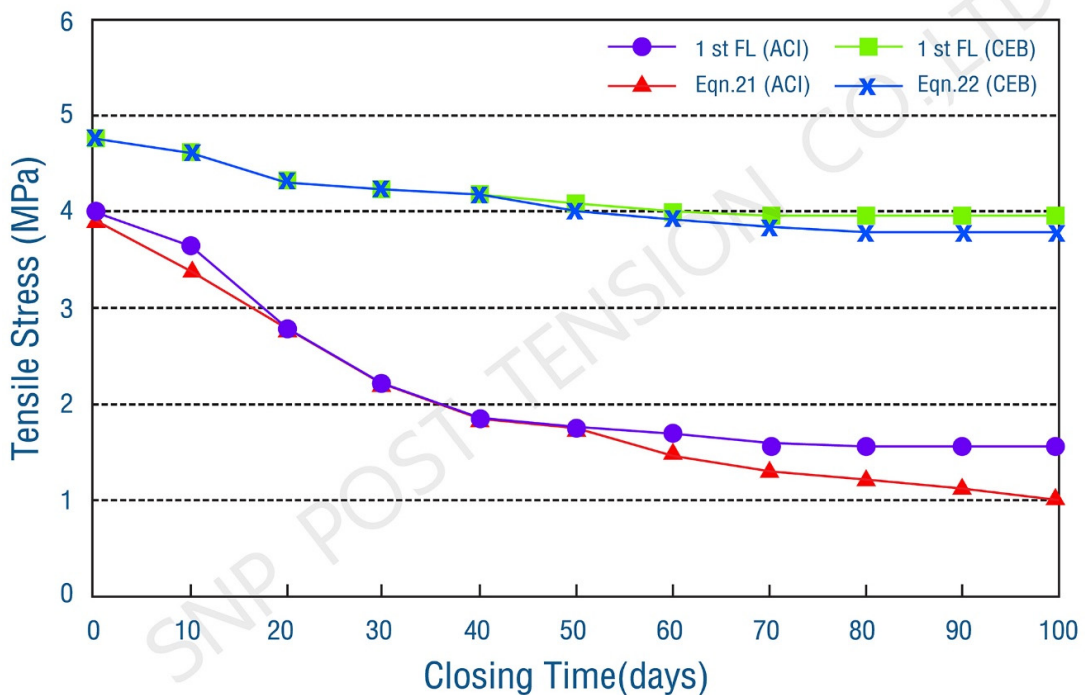
ใส่ closure strip กว้าง 1m อยู่ระหว่าง grid line 7 และ 8 ทำการคำนวณ 10 ครั้ง เช่น  
 คำนวณครั้งที่ 1 มี closure strip แค่ชั้นที่ 1 และ คำนวณครั้งที่ 2 มี closure strip ชั้นที่ 1 และ  
 2 ทำเช่นนี้จำนวน 10 ครั้ง ระยะเวลาที่เทปิด closure strip คือ 30 วัน





จากกราฟพบว่าเมื่อมี closure strip ที่ชั้น 1 จะทำให้ค่า tensile stress ลดลงมาก และเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเพิ่ม closure strip ในชั้นถัดไป

### 3). ผลของระยะเวลาการเทปิด closure strip

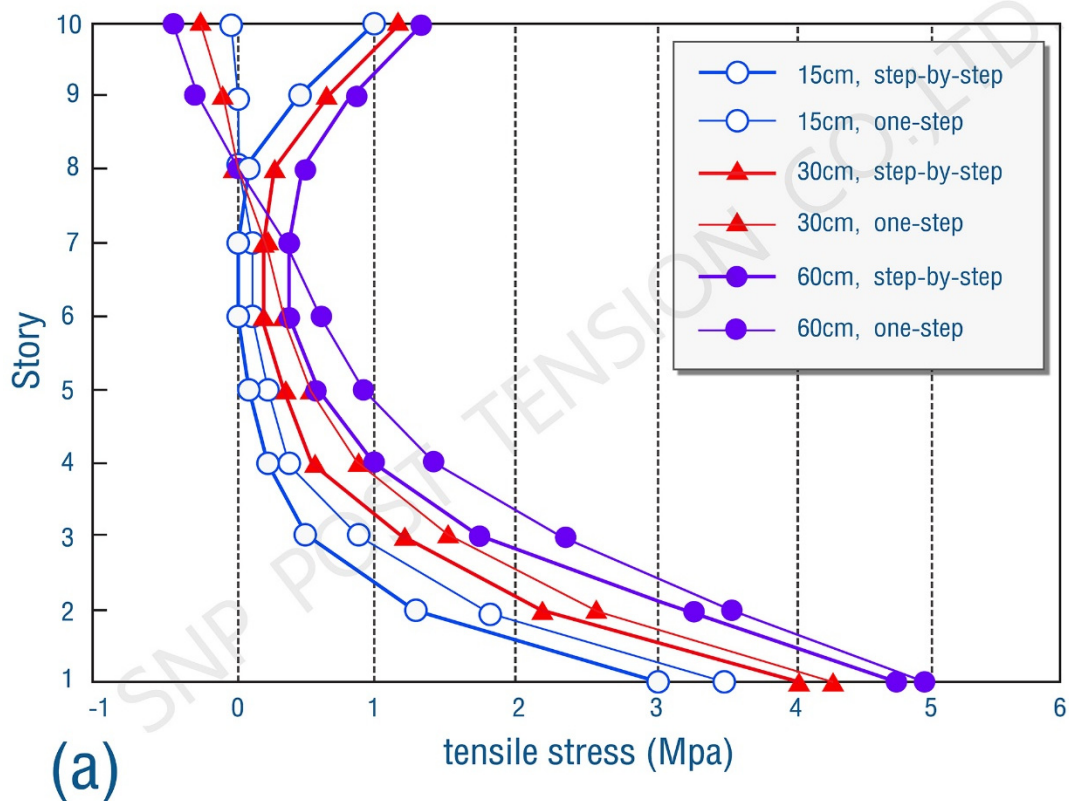


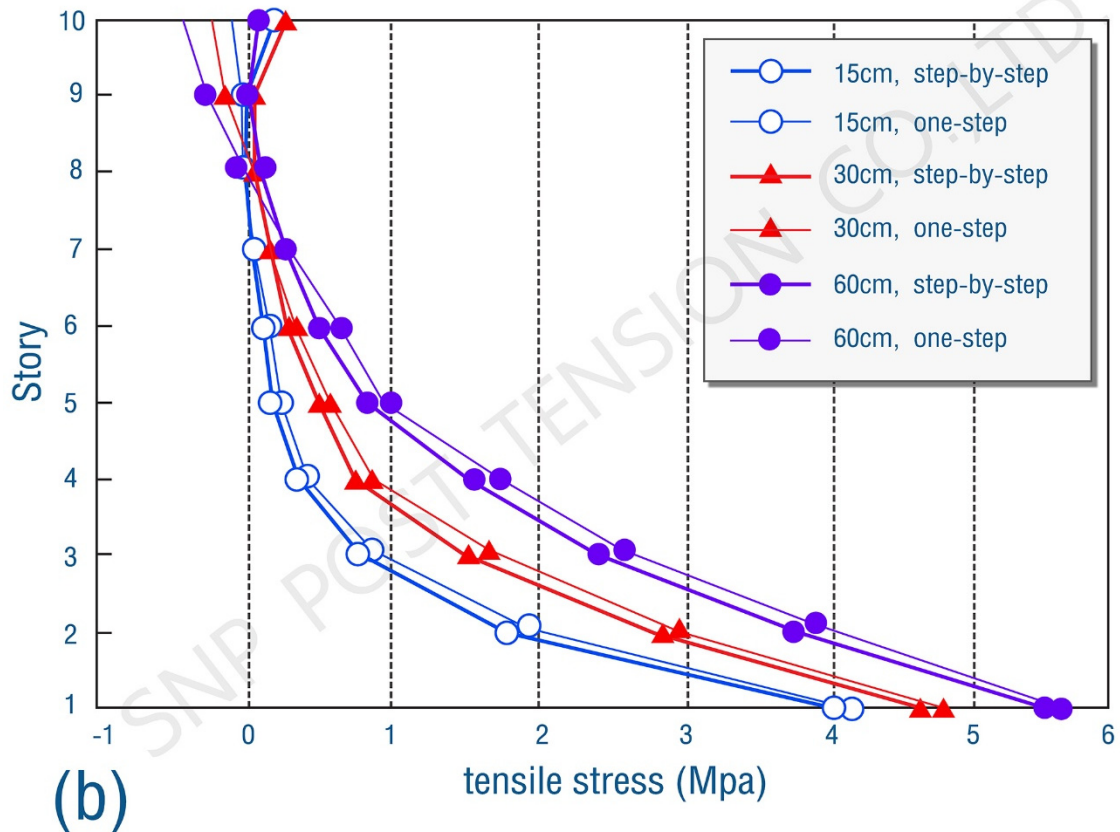


คำนวณค่า stress ที่ชั้น 1 โดยแปรผันระยะเวลาการเทปิด closure strip จาก 1 ถึง 100 วัน โดยเพิ่มการคำนวณทีละ 10 วัน จากกราฟพบว่า ACI แสดงว่ามีค่า Stress ลดลงมากกว่า การคำนวณด้วย CEB

#### 4). ผลของ Construction sequence

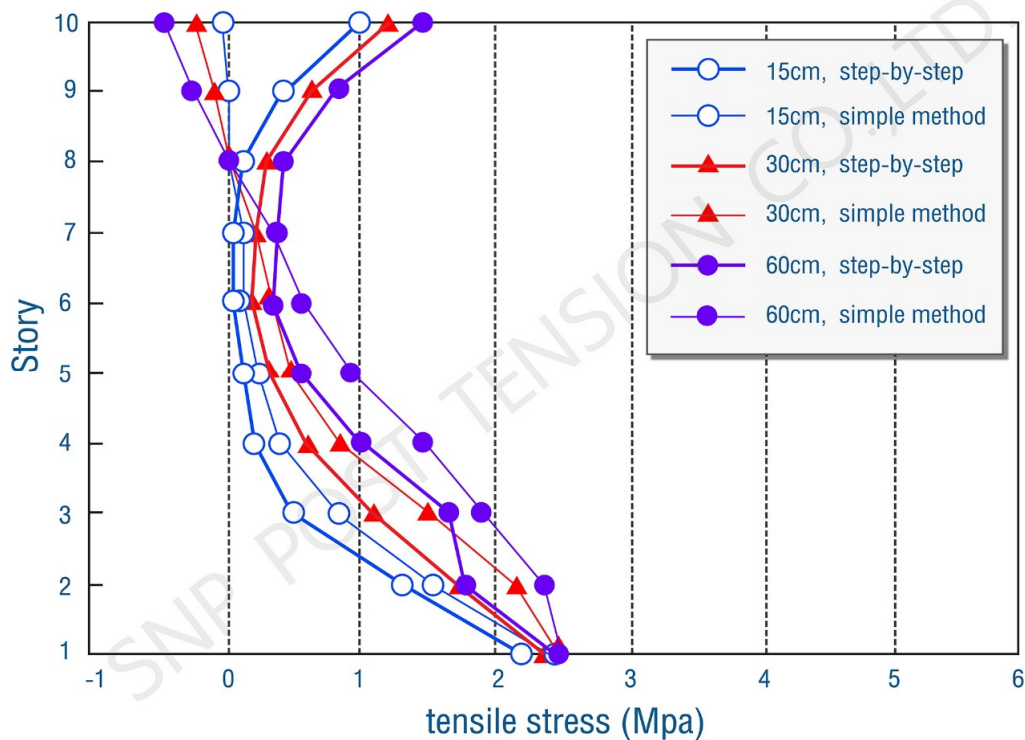
เปรียบเทียบการคำนวณทั้งอาคารกับการคำนวณแบบ step by step รวมทั้งแปรผัน ความหนาของผนัง 15cm 30cm และ 60cm โดยวิธีของ ACI และ CEB โดยไม่มี closure strip





จากกราฟที่ชั้นล่างผลของ construction sequence จะไม่มีผลมากเหมือนชั้นบน

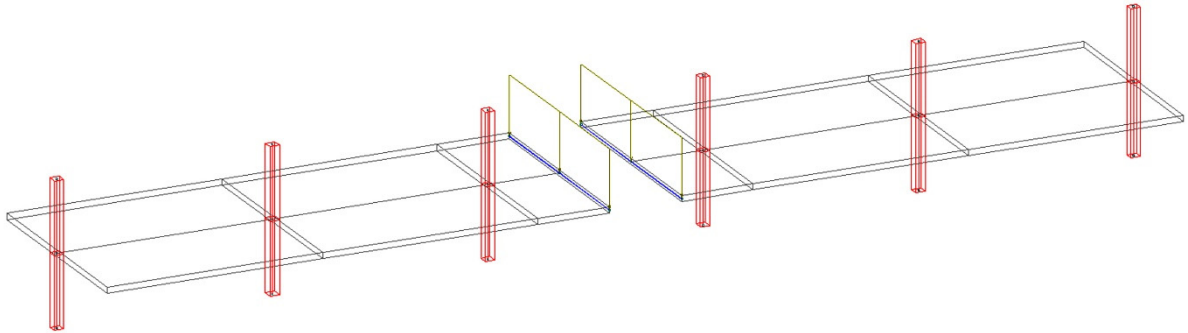
ส่วนในกรณีที่มี closure strip 0 ค่า stress จะลดลงมากดังกราฟด้านล่าง



## การออกแบบ พื้น post tension ในกรณีที่มี closure strip

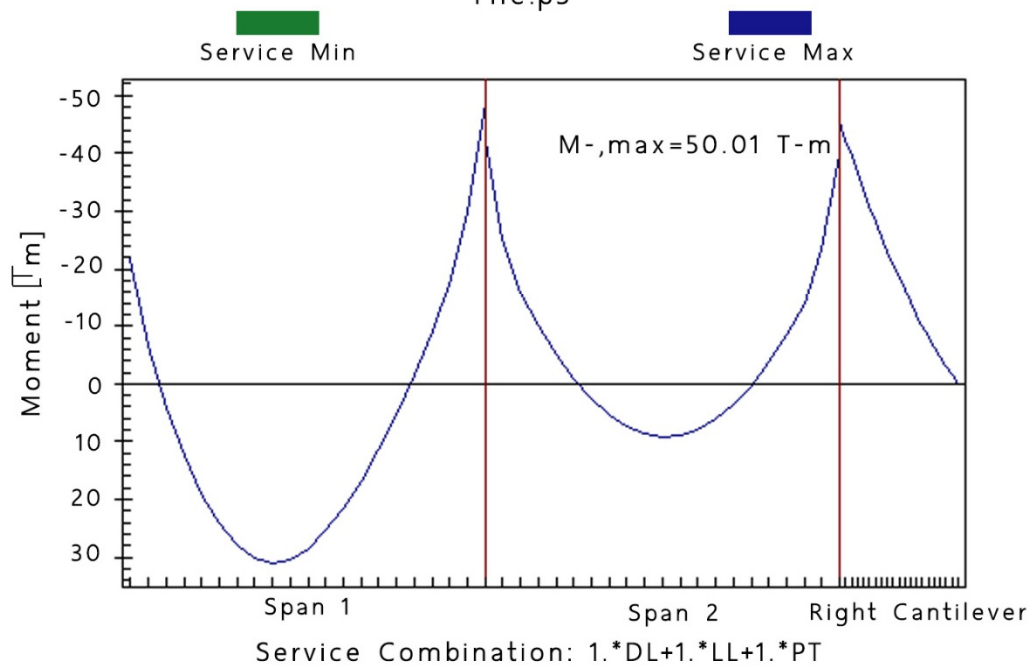
### แนวทางการคำนวณ Pour Strip แนวทางที่ 1

พิจารณาให้พื้นที่ทั้งสองฝั่งเป็นพื้นยื่นเพื่อรับน้ำหนักพื้นคอนกรีตเมื่อเทปิด closure strip



### Moment Diagrams

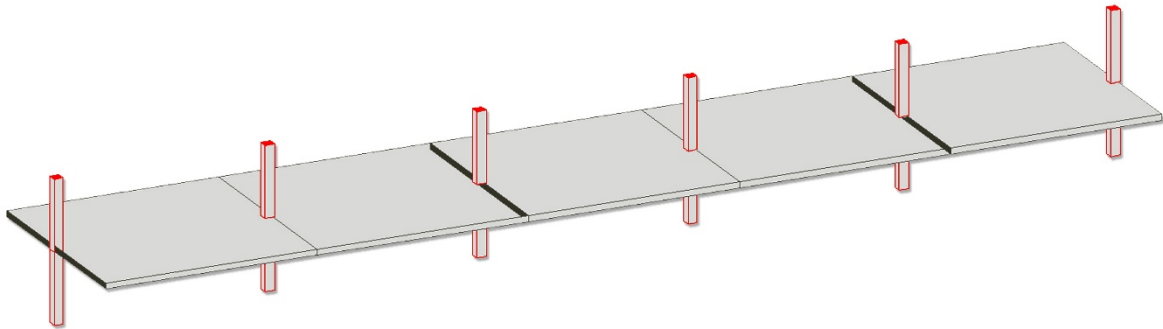
File:p3





## แนวทางการคำนวณ Pour Strip แนวทางที่ 2

ออกแบบเป็นเหมือนพื้นต่อเนื่อง โดยบริเวณรอยต่อระหว่างพื้นที่กับ closure strip เหล็กเสริมจะต้องสามารถถ่ายโมเมนต์ได้ และบริเวณที่เป็น closure strip จะต้องไม่มีแรงพยุ่ง เนื่องจากไม่มีลวดอัดแรง สามารถถอดนั่งร้านบริเวณ closure strip ได้ก็ต่อเมื่อกำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้เท closure strip ถึง 75% ของที่ระบุ



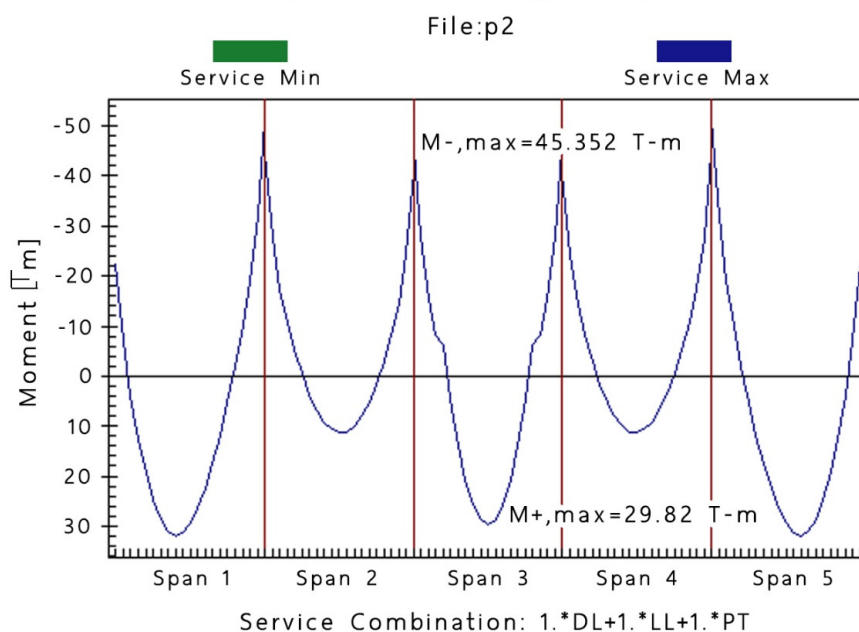
B	13.212		23
C	13.212		23

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

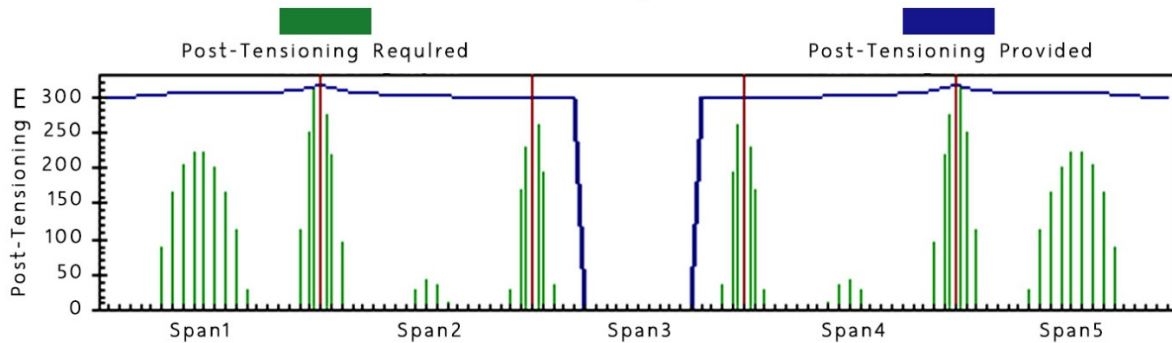
Red arrows indicate the extent of the closure strip between spans 2 and 3.

### Moment Diagrams



## Post-Tensioning Diagrams

File:p2



### ปัจจัยอื่นๆ ในการพิจารณาใส่ Closure strip

นอกจากการลดปัญหาเรื่องการยัดรั้งเนื่องจาก shrinkage แล้ว การใส่ closure strip ยังช่วยลดปัญหาในการก่อสร้างได้ดังนี้

1. ความยาวของลวดอัดแรง โดยปกติความยาวพื้น Post tension ถ้ามีช่วงยาวมาก ก็จะมี friction loss มาก โดยปกติจะกำหนดให้ความยาวลวดอัดแรงในพื้นที่ไม่เกิน 30m สำหรับการตั้งลวดทางเดียว และ ความยาวลวดอัดแรงในพื้นที่ระหว่าง 30m-60m สำหรับการตั้งลวด 2 ทาง

2. ความสามารถในการ supply คอนกรีตไปที่หน่วยงานก่อสร้าง ในบางสถานที่ก่อสร้างที่แคบ การจราจรคับคั่ง หรืออยู่ห่างไกล plant คอนกรีต ไม่สามารถเทคอนกรีตพื้นที่เดียวทั้งผืนได้ จำเป็นต้องแบ่งพื้นออกเป็นสองส่วน ก็จะใช้ closure strip ในการแบ่ง

3. ปริมาณการใช้งานนั่งร้าน ถ้ามีนั่งร้านปริมาณจำกัดไม่สามารถติดตั้งพร้อมกันสำหรับพื้นที่ผืนได้ ก็ จะแบ่งพื้นออกเป็นสองส่วน

4. ความรวดเร็วในการก่อสร้าง ถ้าแบ่งพื้นออกเป็นสองส่วนด้วย closure strip ทำให้พื้นผืนเล็กลง จะใช้เวลาในการก่อสร้างพื้นที่แต่ละส่วนเร็วขึ้น และถ้าทำเหลื่อมเวลากัน จะช่วยให้งานเร็วขึ้น โดยไม่ต้องใช้เวลาเหมือนการทำพื้นผืนใหญ่

---

## เอกสารอ้างอิง

1. “Post-tensioning Manual”; Post-Tensioning Institute
2. “Detailing Corner: Closure strips and lapped reinforcement”; Concrete International, V.33 No.4, April 2011, pp.45-53
3. “Closure strip strategies”; Concrete International, V.39, July 2017, pp. 29-35
4. “Shrinkage stress analysis of concrete slabs with shrinkage strips in a multistory building”; Computers and Structures, March 2004, pp.1143-1152
5. “Shrinkage and Temperature Reinforcement”; B.Suprenant, Concrete International, V.24, No.9, September 2002, pp. 72-76

## เรียบเรียงโดย

ภาคภูมิ วานิชกมลนันท์ [วย. 1924]