

การสูญเสียแรงเนื่องจากแรงเสียดทานในการอัดแรงของแผ่นพื้น  
คอนกรีตชนิดดึงที่หลังที่มีเทנדอนโค้งในระนาบ

FRICION LOSS OF POST-TENSIONED CONCRETE SLAB WITH  
HORIZONTALLY CURVED TENDONS

ภาคภูมิ วาณิชกมลนันท์

SNP POST TENSION CO., LTD

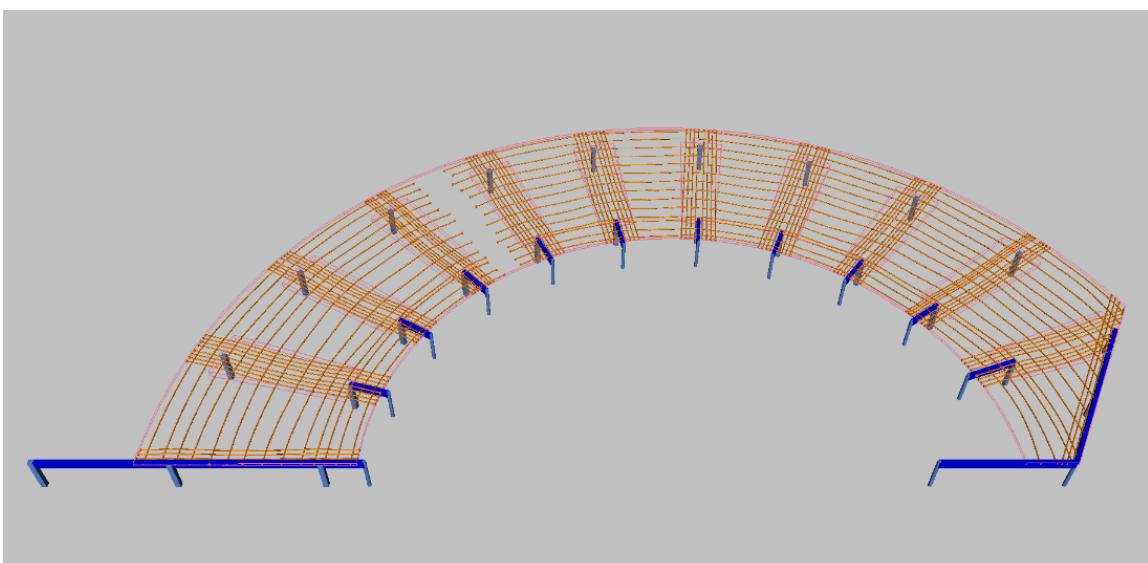
ความเชี่ยวชาญ : ออกแบบโครงสร้าง, โครงสร้างคอนกรีตอัดแรง, งานเสริมกำลังโครงสร้าง

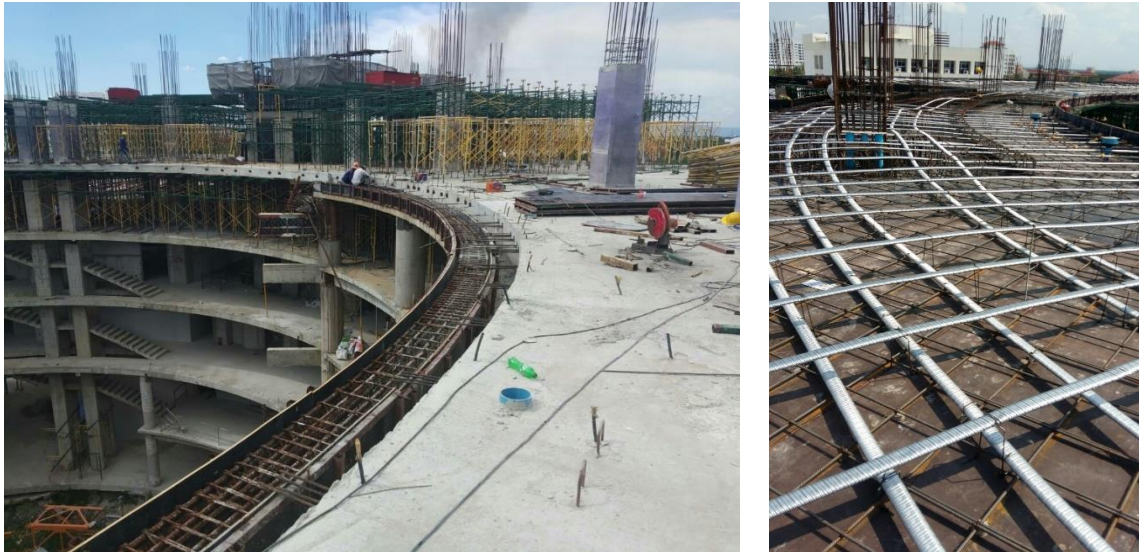


THEARITH CHEN

SNP POST TENSION CO., LTD

ความเชี่ยวชาญ : คอนกรีตอัดแรง, โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก, โครงสร้างต้านทานแรงแผ่นดินไหว





**รูปที่ 1** การวางลวดอัดแรงที่มีลักษณะโค้งในระนาบซึ่งจะทำให้เกิดแรงเสียดทานเยอะกว่าการวางลวดในแนวตรงปกติ

(เอื้อเพื่อภาพประกอบ: ภาณุวัฒน์ จ้อยกัลดี)

ปัจจุบันระบบพื้นไร้คานคอนกรีตอัดแรงชนิดอัดแรงภายหลัง (Post-Tensioned Slab) ได้รับความนิยมอย่างกว้างขวางในงานก่อสร้างอาคาร ทั้งนี้ในการออกแบบต้องคำนวณหาแรงประสิทธิผล (Effective Forces) ของลวดอัดแรงแต่ละเส้น โดยต้องคำนวณการสูญเสียแรงในลวดอัดแรงให้ครบถ้วน การสูญเสียแรงเนื่องจากแรงเสียดทาน (Friction Loss) มีสัดส่วนมากที่สุดของการสูญเสียแรงทั้งหมด อาคารที่มีลักษณะทางกายภาพของแผ่นพื้นและการจัดวางผังตำแหน่งเสาเป็นลักษณะโค้งและจำเป็นต้องวางลวดอัดแรงเป็นแนวโค้งในระนาบ (โค้งในแนวนอน) จะทำให้เกิดการสูญเสียแรงเนื่องจากแรงเสียดทานมากกว่าการวางลวดอัดแรงเป็นแนวตรง ในบทความนี้จะแสดงตัวอย่างผลกระทบของการวางลวดอัดแรงที่มีลักษณะเป็นแนวโค้งในระนาบ ที่ทำให้เกิดการสูญเสียแรงเนื่องจากแรงเสียดทานเพิ่มขึ้นมากกว่าการวางลวดอัดแรงแนวแบบปกติ ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 1

ในที่นี้กำหนดรูปแบบเป็นกรณีศึกษา ดังนี้ พื้นไร้คานคอนกรีตอัดแรงชนิดอัดแรงภายหลัง หนา 0.25 เมตร

Span ที่ 1 เป็นพื้นยื่นด้านซ้าย ยื่น 2.0 เมตร จากขอบพื้นถึงกึ่งกลางเสา

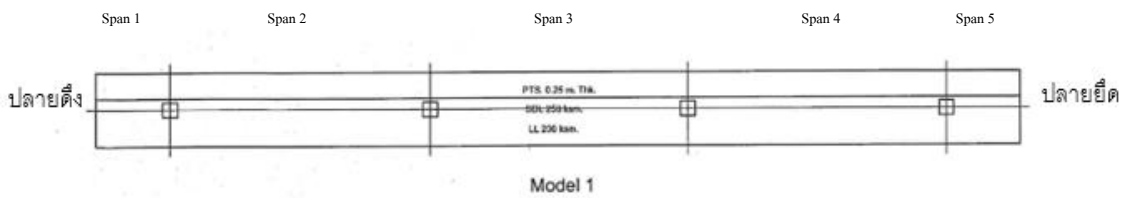
Span ที่ 2 พาดจากกึ่งกลางเสาต้นที่ 1 ถึงกึ่งกลางเสาต้นที่ 2 เท่ากับ 7.0 เมตร

Span ที่ 3 พาดจากกึ่งกลางเสาต้นที่ 2 ถึงกึ่งกลางเสาต้นที่ 3 เท่ากับ 7.0 เมตร

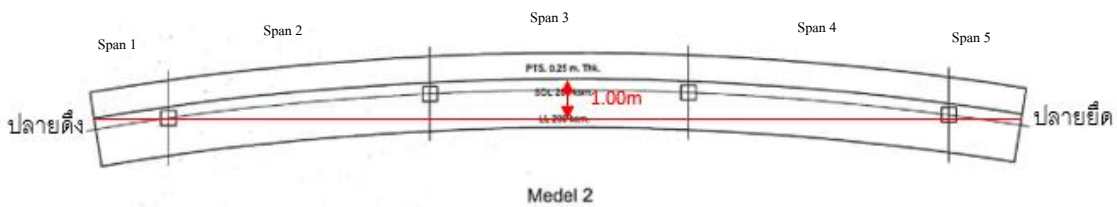
Span ที่ 4 พาดจากกึ่งกลางเสาต้นที่ 3 ถึงกึ่งกลางเสาต้นที่ 4 เท่ากับ 7.0 เมตร

Span ที่ 5 เป็นพื้นยื่นด้านขวา ยื่น 2.0 เมตร จากกึ่งกลางเสาถึงขอบพื้น

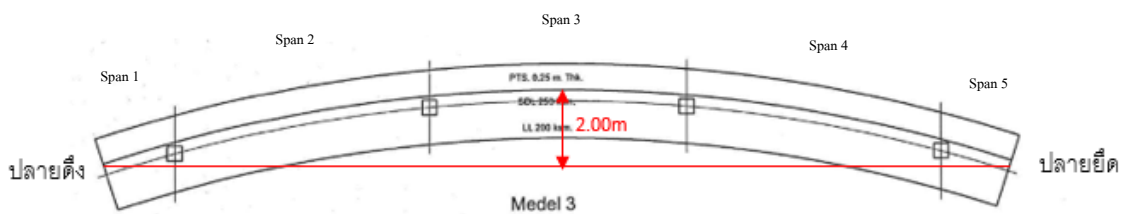
จากนั้นคำนวณหาความสูญเสียเนื่องจากแรงเสียดทานในกรณีที่เสาวางเรียงเป็นแนวตรง เทียบกับกรณีที่แนวเสามีความโค้งในระนาบที่รัศมีมีความโค้งต่างๆ กัน โดยระยะยื่นและระยะห่างระหว่างเสามีค่าเหมือนกันในทุกแบบจำลอง ดังรูปที่ 2



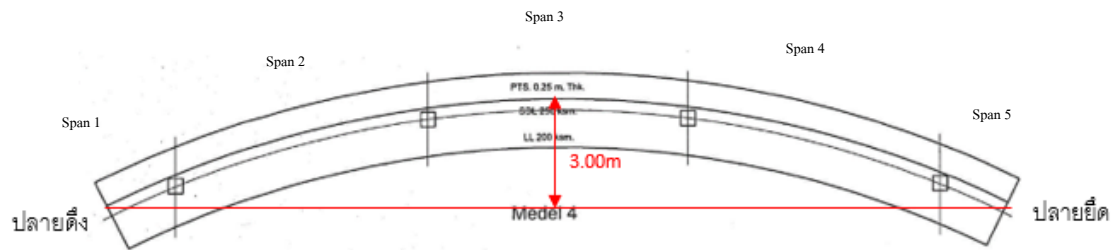
(ก) ลักษณะแบบจำลอง Model 1



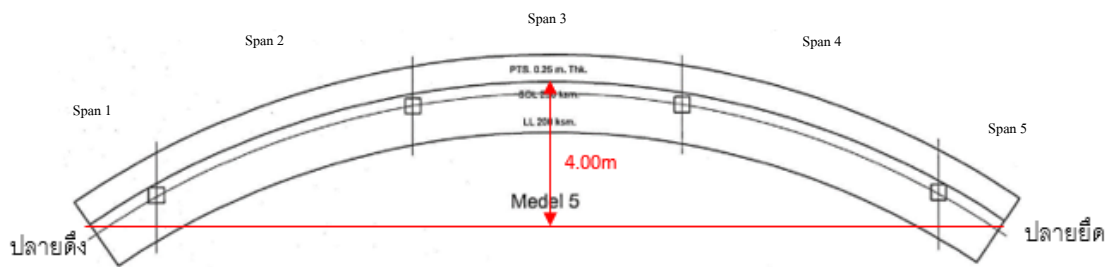
(ข) ลักษณะแบบจำลอง Model 2



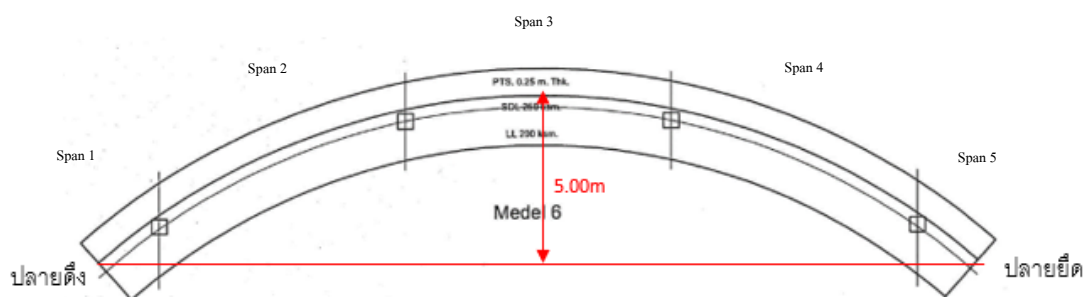
(ค) ลักษณะแบบจำลอง Model 3



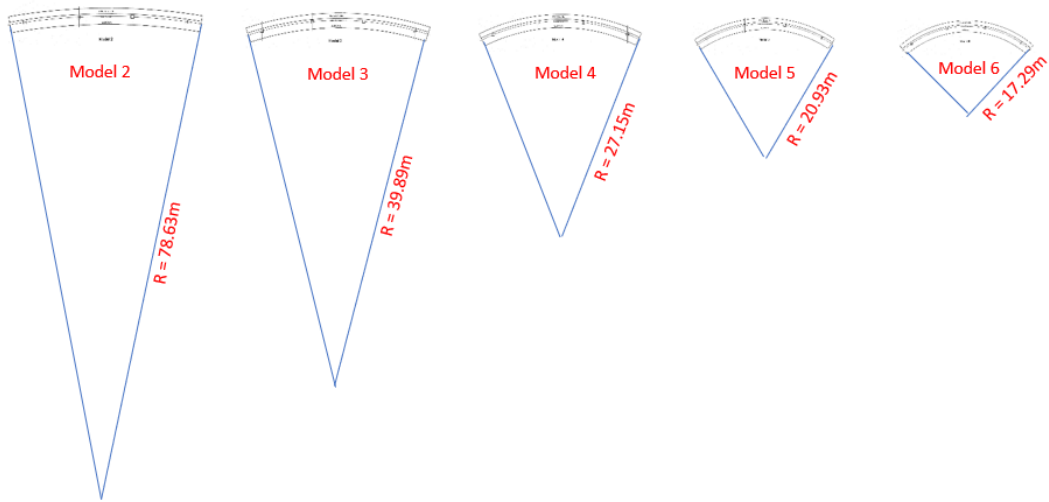
(ง) ลักษณะแบบจำลอง Model 4



(จ) ลักษณะแบบจำลอง Model 5

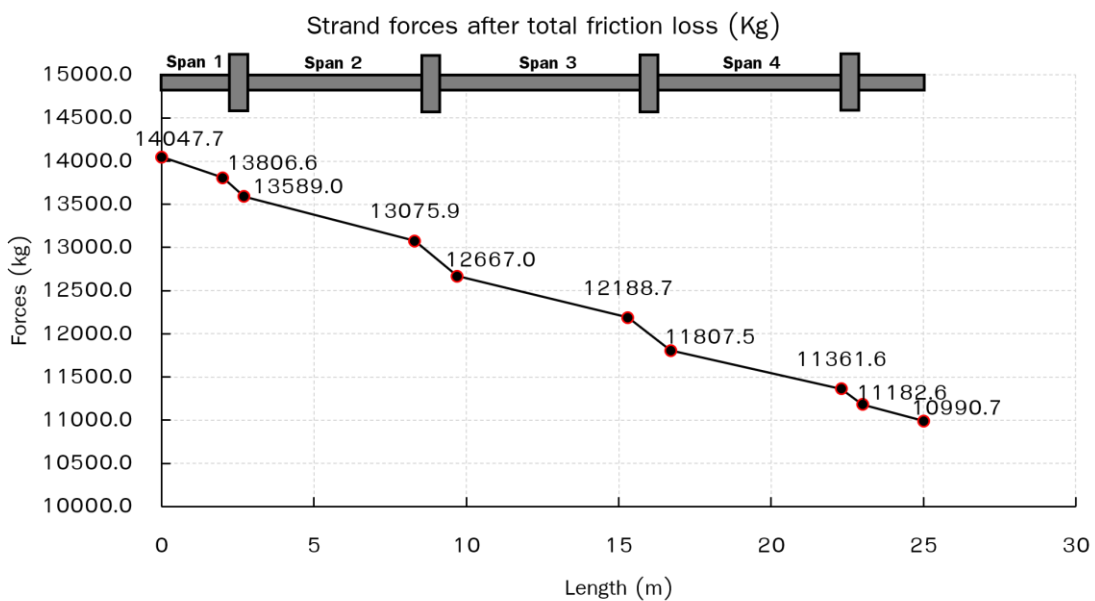


(ฉ) ลักษณะแบบจำลอง Model 6



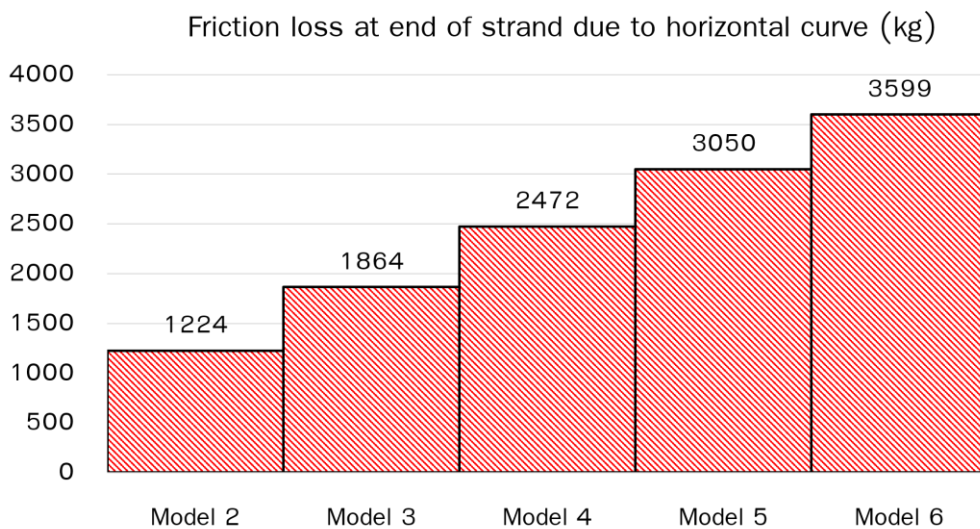
รูปที่ 2 ลักษณะของแบบจำลองต่างๆ

แบบจำลองที่ 1 ซึ่งเป็นการวางลวดอัดแรงแบบปกติ แสดงค่าแรงดึงในลวดอัดแรงได้ดังรูปที่ 3 จากกราฟพบว่า ผลต่างของแรงที่ปลายตั้ง (Stressing End) กับแรงที่ปลายยึด (Dead End) คือความสูญเสียเนื่องจากแรงเสียดทาน มีค่าเท่ากับ 3,057 kg



รูปที่ 3 แสดงแรงในลวดอัดแรงของแบบจำลองที่ 1

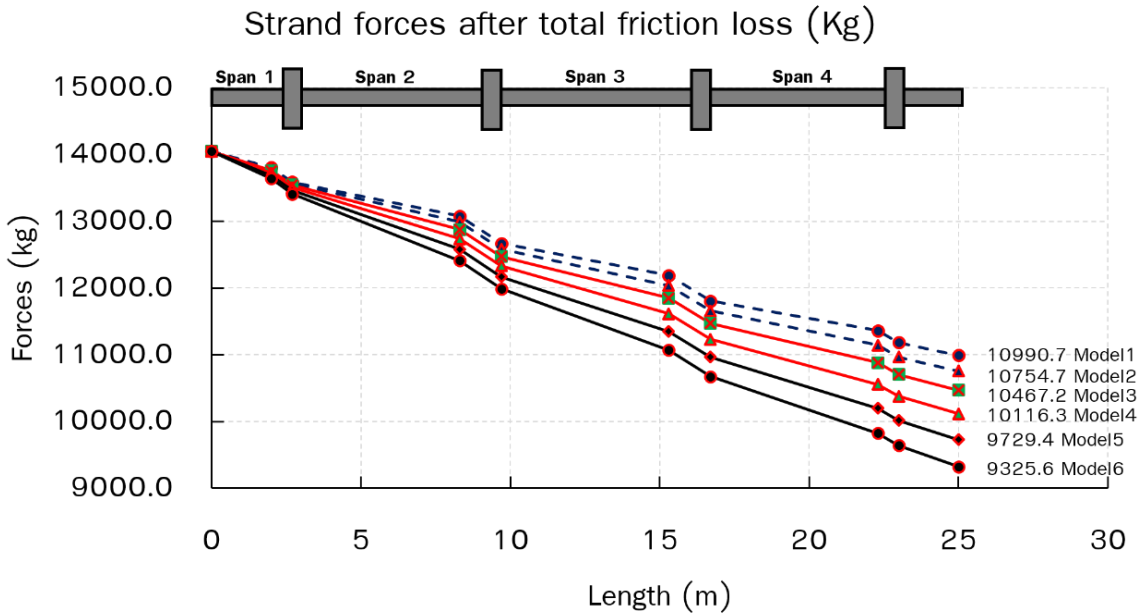
สำหรับแบบจำลองที่ 2 ถึงแบบจำลองที่ 6 ซึ่งเป็นการวางลวดอัดแรงเป็นแนวโค้งในระนาบ ความสูญเสียเนื่องจากแรงเสียดทานเฉพาะในระนาบ ของแต่ละแบบจำลองมีค่าดังรูปที่ 4



**รูปที่ 4** แสดงความสูญเสียในลวดอัดแรงของแต่ละแบบจำลอง โดยพิจารณาผลของการวางลวดอัดแรงโค้งในระนาบเท่านั้น

รวมผลของความสูญเสียเนื่องจากแรงเสียดทานปกติ และแรงเสียดทานเนื่องจากลวดอัดแรงโค้งในระนาบ ด้วยการรวมแบบเวกเตอร์ จะได้ค่าแรงเสียดทานทั้งหมดของแต่ละแบบจำลองดังแสดงในรูปที่

5



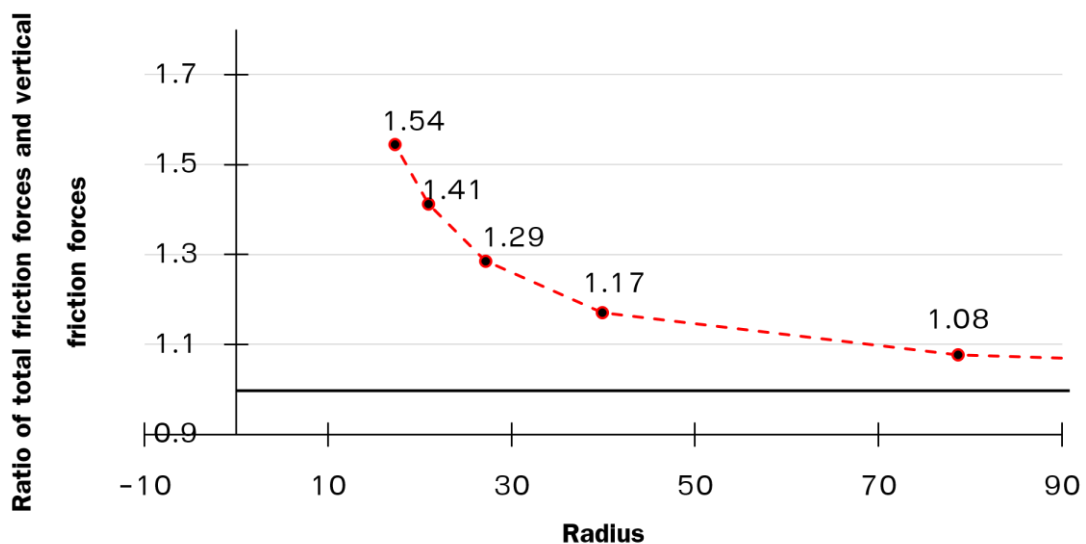
รูปที่ 5 แรงในลวดที่ปลายทั้งสองข้างของแต่ละแบบจำลอง (kg)

เมื่อนำค่าความสูญเสียเนื่องจากแรงเสียดทานรวม (การรวมแรงเสียดทานเมื่อลวดอัดแรงโค้งในระนาบและแรงเสียดทานปกติแบบเวกเตอร์) และค่าความสูญเสียเนื่องจากแรงเสียดทานในแบบปกติมาสร้างเป็นอัตราส่วนของค่าความสูญเสียเนื่องจากแรงเสียดทานรวมเทียบกับค่าความสูญเสียเนื่องจากแรงเสียดทานในแบบปกติ เพื่อศึกษาการเพิ่มขึ้นของแรงเสียดทานเมื่อรัศมีความโค้งมากขึ้น พิจารณากรณีที่ลวดอัดแรงวางแนวตรงปกติ (รัศมีความโค้งมีค่าเป็นอนันต์) ค่าความสูญเสียเนื่องจากแรงเสียดทานเนื่องจากลวดอัดแรงโค้งในระนาบมีค่าเท่ากับศูนย์ ค่าอัตราส่วนของค่าความสูญเสียเนื่องจากแรงเสียดทานรวมเทียบกับค่าความสูญเสียเนื่องจากแรงเสียดทานในแบบปกติมีค่าเท่ากับหนึ่ง ถ้ารัศมีความโค้งมีค่าน้อยลง (ความโค้งชันขึ้น) ค่าอัตราส่วนของค่าความสูญเสียเนื่องจากแรงเสียดทานรวมเทียบกับค่าความสูญเสียเนื่องจากแรงเสียดทานในแบบปกติจะมีค่าสูงขึ้น โดยจะเห็นว่าในแบบจำลองที่ 6 ค่าแรงเสียดทานรวมมีค่ามากขึ้นจากค่าแรงเสียดทานแบบปกติถึง 54%

ตารางที่ 1 ตารางแสดงความสัมพันธ์ของรัศมีความโค้งกับอัตราส่วนระหว่างค่าความสูญเสียเนื่องจากแรงเสียดทานรวมต่อค่าความสูญเสียเนื่องจากแรงเสียดทานปกติ

Radius of curvature (m)	Ratio of total friction forces and normal friction forces
200	1
78.63	1.08
39.89	1.17
27.15	1.29
20.93	1.41
17.29	1.54

Radius VS Ratio of total friction forces and normal friction forces



รูปที่ 6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนระหว่างค่าความสูญเสียเนื่องจากแรงเสียดทานรวมต่อค่าความสูญเสียเนื่องจากแรงเสียดทานปกติกับรัศมีความโค้ง



จากการคำนวณสรุปได้ว่า เมื่อจำเป็นต้องวางลวดอัดแรงให้มีลักษณะโค้งในระนาบ จำเป็นต้องคำนวณการสูญเสียเนื่องจากแรงเสียดทาน (Friction Loss) เป็นพิเศษ โดยพิจารณาผลของการสูญเสียแรงเนื่องจากแรงเสียดทานเมื่อลวดอัดแรงถูกวางโค้งในระนาบด้วย โดยเฉพาะถ้าความโค้งในระนาบมีรัศมีน้อยหรือโค้งชันมาก การสูญเสียแรงจะมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ในแบบจำลองที่ 2 ที่ระยะกึ่งกลางของลวดอัดแรง (12.5 เมตร) เบี่ยงออกจากแนวเดิมเพียง 1 เมตร เกิดความสูญเสียเนื่องจากแรงเสียดทานรวมมากกว่าความสูญเสียเนื่องจากแรงเสียดทานแบบปกติถึง 8% ดังนั้นในกรณีนี้ถ้าออกแบบพื้นไร้คานคอนกรีตอัดแรงชนิดอัดแรงภายหลังโดยใช้วิธีโครงข้อแข็งเทียบเท่า (Equivalent Frame Method) โดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ก็ควรเลือกโปรแกรมที่สามารถคิดผลของความสูญเสียเนื่องจากแรงเสียดทานที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากลวดอัดแรงโค้งในระนาบได้ด้วย นอกจากนี้การวางลวดอัดแรงโค้งในระนาบไม่เพียงทำให้แรงดึงในลวดอัดแรงลดลง แต่ก็ส่งผลต่อค่าการค้ำยัด (Elongation) ของลวดอัดแรงด้วย ค่ารัศมีความโค้งยิ่งมาก จะทำให้ค่าแรงดึงในลวดอัดแรงหายไปมาก ทำให้ค่าระยะยัดของลวดอัดแรงลดลงตามไปด้วย

**ตารางที่ 2** เปรียบเทียบค่าความสูญเสียเนื่องจากแรงเสียดทานรวม โดยวิธีการคำนวณมือและคำนวณโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่สามารถพิจารณาผลของการวางลวดอัดแรงโค้งในระนาบ

ความสูญเสียเนื่องจากแรงเสียดทานรวมคำนวณ มือ (kg)	ความสูญเสียเนื่องจากแรงเสียดทานรวม คำนวณ โดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (kg)
3057.0	3096
3292.9	3196
3580.5	3456
3931.4	3776
4318.3	4136
4722.1	4456

### เอกสารอ้างอิงหรือบรรณานุกรม

- [1] Adapt Technical Note (2004) Prestressing Losses and Elongation Calculations. T9-04: 01-16.
- [2] Aalami, B. O., & Jurgens, J. D. (2003) Guidelines for the Design of Post-Tensioned Floors. Concrete International; 77-83.
- [3] Adapt Technical Note (2004) Design Process using Adapt-Builder Platform. 01-22.

### เกี่ยวกับผู้แต่งบทความ

ภาคภูมิ วานิชกมลนันท์ บริษัท เอสเอ็นพี โปส เท็นชั่น จำกัด (SNP POST TENSION CO., LTD) 110/18 หมู่ 2 ถ.ปลายบาง ต. มหาสวัสดิ์ อ.บางกรวย จ. นนทบุรี

Thearith CHEN บริษัท เอสเอ็นพี โปส เท็นชั่น จำกัด (SNP POST TENSION CO., LTD) 110/18 หมู่ 2 ถ.ปลายบาง ต. มหาสวัสดิ์ อ.บางกรวย จ. นนทบุรี

### การอ้างอิงบทความ (citation)

ภาคภูมิ วานิชกมลนันท์ และ Chen, T. (2564), "การสูญเสียแรงเนื่องจากแรงเสียดทานในการอัดแรงของแผ่นพื้นคอนกรีตชนิดดิ่งที่หลังที่มีเทนด์อนโค้งในระนาบ (Friction loss of post-tensioned concrete slab with horizontally curved tendons)," วารสารคอนกรีต, สมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย, ปีที่ 15, ฉบับที่ 3, บทความหมายเลข TCA\_M 150301, กันยายน-ธันวาคม, 10 หน้า.

Vanitkamonnunt, P., & Chen, T. (2021) "Friction loss of post-tensioned concrete slab with horizontally curved tendons," TCA Magazine, Thailand Concrete Association, Vol.15, Issue 3, Paper ID TCA\_M 150301, Sep.-Dec., 10 pages.