การพิจารณาออกแบบระยะการเคลื่อนขยายตัวของรอยต่อพื้นทางยกระดับที่เหมาะสมสำหรับทางพิเศษ

THE CONSIDERATION DESIGNED MOVEMENT FOR THE EXPANSION JOINT OF BRIDGE DECK IN THE EXPRESSWAY

ธราดล หงส์อติกุล[1,*] นันทวรรณ พิทักษ์พานิช[2] และ เทพฤทธิ์ รัตนปัญญากร[3]
[1] วิศวกรระดับปฏิบัติการ 5 กองวิจัยและพัฒนา การทางพิเศษแห่งประเทศไทย
[2] หัวหน้าแผนกทดสอบ ควบคุมคุณภาพและพัฒนามาตรฐาน กองวิจัยและพัฒนา การทางพิเศษแห่งประเทศไทย
[3] ผู้อำนวยการ กองวิจัยและพัฒนา การทางพิเศษแห่งประเทศไทย
[*]Corresponding author address: titharadon@gmail.com

บทคัดย่อ

ในโครงสร้างคอนกรีตของพื้นทางยกระดับทางพิเศษจะมีบริเวณที่ตัดแบ่งช่วงของโครงสร้างพื้นทางสำหรับใช้เป็นรอยต่อแยกโครงสร้างออกจากกัน เพื่อแยกการยึดรั้งระหว่างโครงสร้างออกจากกัน โดยไม่ให้เกิดการถ่ายเทแรงระหว่างกันภายในโครงสร้างพื้นทางยกระดับ ซึ่งรอยต่อนี้จะช่วยรองรับการเคลื่อนขยายตัวของโครงสร้างพื้นทางยกระดับ เพื่อป้องกันความเสียหายอันเนื่องมาจากการเคลื่อนขยายตัวชนกัน ในปัจจุบันรอยต่อพื้นทางสำหรับติดตั้งใช้งานบนทางยกระดับนั้นมีหลากหลายรูปแบบ การพิจารณาเลือกใช้รอยต่อจากการออกแบบระยะการเคลื่อนขยายตัวของโครงสร้างทางยกระดับให้สอดคล้องกับความสามารถในการรองรับการเคลื่อนขยายตัวของโครงสร้างพื้นทางของรอยต่อจึงเป็นสิ่งที่สำคัญ ซึ่งจะต้องคำนึงถึงผลของการยืดหดตัวของคอนกรีต (Shrinkage) การคืบ (Creep) และการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ (Thermal Effect) เพื่อให้รอยต่อพื้นทางสามารถรองรับการเคลื่อนขยายตัวของโครงสร้างทางที่เกิดขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ ลดความเสียหายที่เกิดขึ้นจากการเคลื่อนขยายตัวของโครงสร้างพื้นทาง ส่งผลทำให้โครงสร้างพื้นทางมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน นอกจากนี้ยังช่วยให้สามารถวางแผนในการซ่อมบำรุงรอยต่อพื้นทางได้อย่างมีประสิทธิภาพ และช่วยประหยัดงบประมาณ ในงานวิจัยนี้จึงศึกษาถึงวิธีในการออกแบบระยะการเคลื่อนขยายตัวของรอยต่อแบบแผ่นเหล็กฟันปลา (Steel Finger Joint) ที่ได้ติดตั้งใช้งานบริเวณพื้นทางยกระดับของทางพิเศษกาญจนาภิเษก เพื่อพิจารณาถึงความเหมาะสมในการเลือกใช้งานรูปแบบของรอยต่อพื้นทางในบริเวณดังกล่าว

คำสำคัญ: *ระยะการเคลื่อนขยายตัว, รอยต่อพื้นทาง, การยืดหดตัว, การคืบ, การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ*

Abstract

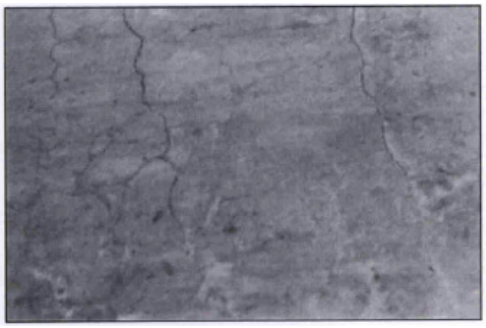
The expansion joints are commonly found between sections of the concrete superstructure of the expressway network to transfer and balance the internal bonding forces of the entire separated superstructure. This can prevent the damage from the collision movement between the structures. At present, there are many types of the expansion joint. When designing and selecting the expansion joint, the range of movement is a significant issue to consider. Therefore, results of shrinkage, creep, and thermal effect experienced in the concrete structure behaviour should be taken into account ensuring the structure allows movement and defined the expansion joint that can be supported to the movement range of the superstructure efficiently. This is to maximise the lifetime of the superstructure and to allow the efficient maintenance plan and budget. This paper provides the solution to deigned the range of movement of the steel finger joint installed on the Kanchanapisek Expressway to consider the suitable type of the expansion joint.

Keywords: *Movement Range, Expansion Joint, Shrinkage, Creep, Thermal Effect*

1. บทนำ

จากปัญหาความเสียหายของโครงสร้างพื้นทางยกระดับที่เกิดขึ้นในรูปแบบของการแตกร้าวแสดงดังรูปที่ 1 อ้างอิงจากคู่มือการตรวจสอบและบำรุงรักษาโครงสร้างทางพิเศษ [1] ที่พบว่ามีสาเหตุอันเนื่องมาจากการยืดและหดตัว (Shrinkage) จากการสูญเสียความชื้น การคืบ (Creep) จากการล้าของคอนกรีตจากแรงกระทำคงค้างอันเนื่องมาจากแรงที่เกิดจากการดึงลวดอัดแรงทำให้เกิดการหดตัวขึ้น และการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ (Thermal Effect) ที่เกิดขึ้นภายในโครงสร้างพื้นทางยกระดับ เพื่อลดความเสียหายจากการแตกร้าวที่อาจรุกรามจนทำให้ไม่สามารถควบคุมได้ ในโครงสร้างคอนกรีตของพื้นทางยกระดับ จึงต้องมีการตัดแบ่งช่วงของโครงสร้างพื้นทางสำหรับใช้เป็นรอยต่อแยกโครงสร้างออกจากกัน เพื่อแยกการยึดรั้งและการถ่ายเทแรงระหว่างกันภายในโครงสร้างพื้นทาง เพื่อให้โครงสร้างสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระในกรณีที่มีการยืดขยายตัวของโครงสร้างพื้นทาง และต้องมีการพิจารณาออกแบบระยะการเคลื่อนขยายตัวที่เกิดขึ้นในโครงสร้าง

พื้นทาง เพื่อนำมาใช้พิจารณาเลือกรูปแบบของรอยต่อสำหรับโครงสร้างพื้นทางได้อย่างเหมาะสม และสามารถรองรับรองรับการเคลื่อนขยายตัวที่เกิดขึ้นของโครงสร้างพื้นทางได้อย่างมีประสิทธิภาพ

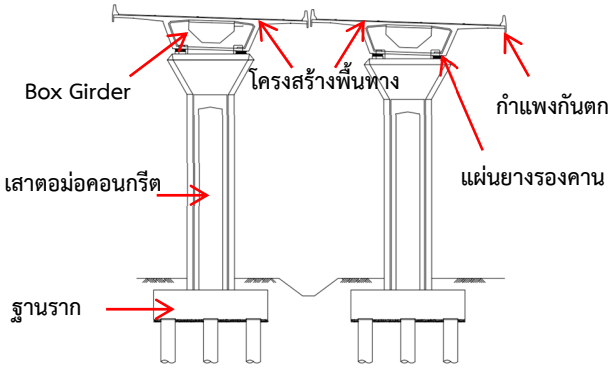


รูปที่ 1 การแตกร้าวที่เกิดขึ้นภายในโครงสร้างพื้นทาง

ในงานวิจัยนี้จะศึกษาถึงวิธีการในการออกแบบระยะการเคลื่อนขยายตัวที่เกิดขึ้นในโครงสร้างพื้นทางของบริเวณช่วงทางยกระดับทางพิเศษกาญจนาภิเษก เพื่อพิจารณาถึงความสามารถในการรองรับการเคลื่อนขยายตัวขนาดใหญ่ (Large Movement) ที่เกิดขึ้น โดยในช่วงของพื้นทางยกระดับที่พิจารณาดังกล่าวได้ออกแบบติดตั้งใช้งานรอยต่อแบบแผ่นเหล็กฟันปลา (Steel Finger Joint) ขนาด 160 mm. สำหรับรองรับการเคลื่อนขยายตัวของโครงสร้างที่เกิดขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2

รูปที่ 2 รูปแบบของรอยต่อแบบแผ่นเหล็กฟันปลา (Steel Finger Joint) ที่ได้มีการติดตั้งใช้งาน

บริเวณช่วงทางยกระดับทางพิเศษกาญจนาภิเษกเป็นโครงสร้างคานคอนกรีตรูปกล่อง (Box Girder) หล่อสำเร็จรูปติดตั้งบนเสาตอม่อคอนกรีตแบบเสาเหลี่ยมทรงเรขาคณิตสำหรับรองรับการถ่ายน้ำหนักลงสู่ฐานราก ซึ่งมีความยาวช่วงประมาณ 45.00 เมตร และความกว้างของถนนประมาณ 14.40 เมตร ประกอบด้วย 3 ช่องจราจร และ 1 ไหล่ทาง โดยใช้ฐานรากเป็นแบบเสาเข็มคอนกรีต ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 ชิ้นส่วนในโครงสร้างทางยกระดับทางพิเศษกาญจนาภิเษก

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1. การแบ่งประเภทของรอยต่อเพื่อการขยายตัว

ในปัจจุบันได้มีการออกแบบรอยต่อเพื่อการขยายตัว (Expansion Joint) มาใช้งานในพื้นทางยกระดับนั้นมีหลายรูปแบบ ซึ่งมีศักยภาพในการรองรับการเคลื่อนขยายตัว และความแข็งแรงที่แตกต่างกันออกไป นอกจากนี้ยังต้องคำนึงถึงองค์ประกอบของรอยต่อในสภาวะใช้งาน (Service Ability) ทั้งในด้านความสามารถในการป้องกันน้ำ เศษขยะและฝุ่นละออง ง่ายต่อการทำความสะอาดบำรุงรักษา และมีความเรียบเมื่อติดตั้งใช้งานส่งผลทำให้เกิดเสียงรบกวนน้อย มีความปลอดภัยต่อผู้ใช้ทางไม่ทำให้เกิดการลื่นไถลเมื่อการจราจรเคลื่อนที่ผ่านบริเวณรอยต่อดังกล่าว

การจำแนกชนิดของรอยต่อเพื่อการขยายตัว (Expansion Joint) อ้างอิงตามคู่มือ WSDOT Bridge Design Manual [2] ซึ่งได้จำแนกจากระยะการเคลื่อนขยายตัวสามารถแบ่งออกได้ 3 ประเภท คือ 1)รอยต่อสำหรับการเคลื่อนขยายตัวเล็กน้อย (Small Movement Joint) 2)รอยต่อสำหรับการเคลื่อนขยายตัวขนาดปานกลาง (Medium Movement Joint) 3)รอยต่อสำหรับการเคลื่อนขยายตัวขนาดใหญ่ (Large Movement Joint) โดยมีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การจำแนกชนิดของรอยต่อตามระยะการเคลื่อนขยายตัว

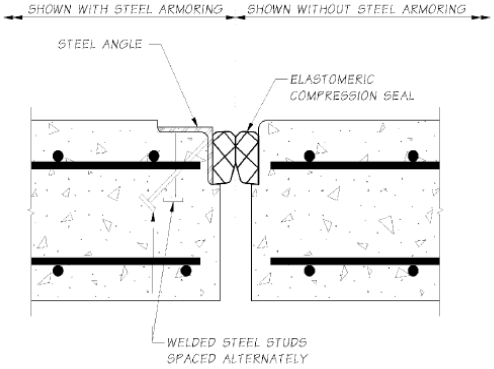
Joint Type	Movement (mm.)
Small Movement Joint	< 50 mm.
Medium Movement Joint	50 - 130 mm.
Large Movement Joint	> 130 mm.

2.1.1. รอยต่อเพื่อขยายตัวเล็กน้อย (Small Movement Joint)

รอยต่อเพื่อการขยายตัวเล็กน้อยเป็นรอยต่อสำหรับการ เคลื่อนขยายตัวน้อยกว่า 50 มิลลิเมตร แต่หากระยะการเคลื่อนตัวน้อยกว่า

5 มิลลิเมตร ในทางปฏิบัติจะไม่ต้องคำนึงถึงผลกระทบของรอยต่อมากนัก ซึ่งจะแก้ไขปัญหาช่องว่างที่เกิดขึ้นโดยการอุดช่องว่างที่เกิดขึ้นด้วยวัสดุที่มีความยืดหยุ่นทนทานสูง สามารถปรับผิวจราจรให้มีความเรียบมีความต่อเนื่องสามารถป้องกันน้ำมิให้ลงสู่รอยต่อและช่วยดูดซับแรงกระแทกได้ อาทิเช่น การใช้วัสดุยารอยต่อคอนกรีตแบบยืดหยุ่นชนิดเทร้อน (Asphaltic Plugs) การใช้วัสดุยารอยต่อ (Poured Sealant) การใช้วัสดุโฟมยาแนวรอยต่อ (Pre-formed Closed Cell Foam) การใช้วัสดุสารอีพอกซีเชื่อมประสานรอยต่อ (Epoxy-Bonded Elastomeric Glands) โดยต้องมีความหนาของวัสดุยืดหยุ่นไม่น้อยกว่า 120 มิลลิเมตร

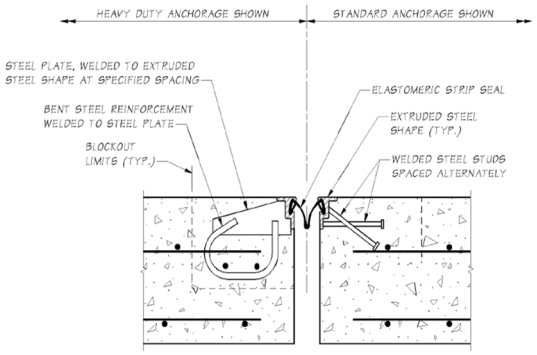
รอยต่อที่เป็นที่นิยมนำมาติดตั้งใช้งานสำหรับรอยต่อที่มีการเคลื่อนขยายตัวเล็กน้อยคือ การซีลยางปิดร่องรอยต่อพื้นทาง (Elastomeric Compression Seals) เนื่องจากช่วยรองรับการบีบอัดจากการเคลื่อนขยายตัวได้ และสามารถติดตั้งซ้ำได้หลายรอบทั้งในพื้นทางคอนกรีตผิวเรียบหรือเหล็กรอยต่อเหล็ก เมื่อติดตั้งเข้ากับคอนกรีตจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการรองรับแรงกระแทกและเพิ่มความเสียดทานให้แก่รอยต่อ ลดการลื่นไถลบริเวณรอยต่อ ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 การซีลยางอุดร่องรอยต่อพื้นทาง (Elastomeric Compression Seal Joint)

2.1.2. รอยต่อเพื่อขยายตัวปานกลาง (Medium Movement Joint)

รอยต่อเพื่อการขยายตัวขนาดกลางเป็นรอยต่อสำหรับการเคลื่อนขยายตัวอยู่ระหว่าง 50 - 130 มิลลิเมตร โดยรอยต่อที่นิยมนำมาติดตั้งใช้งานคือรอยต่อแบบรางโลหะซีลปิดร่องรอยต่อพื้นทางด้วยแถบยาง (Strip Seal Joint) เป็นระบบที่พัฒนาขึ้นให้สามารถรองรับการกระแทกได้ดีทนต่อการเคลื่อนบีบอัดตัว และมีแผ่นยาปิดร่องรอยต่อเพื่อป้องกันน้ำ เศษขยะ ดิน และหินไม่ให้ลงสู่โครงสร้างพื้นทางเพื่อไม่ให้เกิดความเสียหายแก่โครงสร้างทาง และดังแสดงในรูปที่ 5

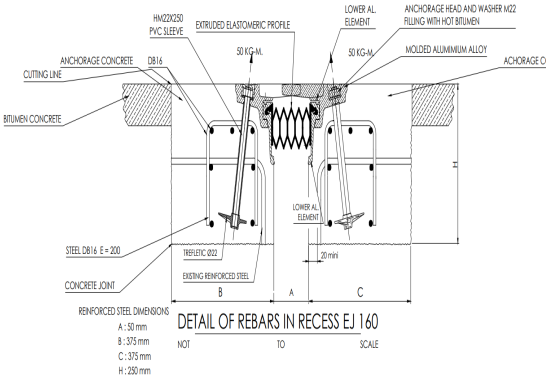


รูปที่ 5 การยารอยต่อแบบรางโลหะซีลปิดร่องรอยต่อพื้นทางด้วยแถบยาง (Strip Seal Joint)

นอกจากนี้ยังได้มีการประยุกต์ใช้รางโลหะซีลปิดร่องรอยต่อพื้นทางด้วยแผ่นเหล็กแบบเลื่อนได้ปิดแนวร่องรอยต่อพื้นทาง (Steel Sliding Plate) และการใช้แผ่นยางเสริมแผ่นเหล็กยึดด้วยสลักเกลียวปิดแนวร่องรอยต่อพื้นทาง (Bolt-Down Panel Joint) ซึ่งจะยึดติดตั้งลงในบล็อกเอาต์ (Block Out) คอนกรีตด้วยการยึดสลักเกลียวสำหรับรองรับการเคลื่อนขยายตัวที่เกิดขึ้นของโครงสร้างพื้นทาง

2.1.3. รอยต่อเพื่อขยายตัวขนาดใหญ่ (Large Movement Joint)

รอยต่อเพื่อการขยายตัวขนาดใหญ่เป็นรอยต่อสำหรับการเคลื่อนขยายตัวได้มากกว่า 130 มิลลิเมตร เนื่องจากเป็นรอยต่อสำหรับรองรับการเคลื่อนขยายตัวขนาดใหญ่ ในการออกแบบจึงต้องใช้ความพิถีพิถันเนื่องจากรอยต่อประเภทนี้มีกลไกทำงานที่ซับซ้อน ซึ่งรอยต่อประเภทนี้ที่นิยมใช้งานคือ รอยต่อแบบแผ่นเหล็กฟันปลา (Steel Finger Joint) ดังแสดงในรูปที่ 6 และรอยต่อแบบคานเหล็กแยกส่วน (Modular Joint) โดยรอยต่อดังกล่าวจะมีการเพิ่มแผ่นยางกันน้ำเข้ารองระหว่างช่องว่าง (Gap) เพื่อป้องกันน้ำ เศษขยะ ดิน และหินไม่ให้ลงสู่โครงสร้างทาง และให้ความสะดวกสบายในการขับขี่ที่ราบเรียบ ลดปัญหาการกระแทกบริเวณรอยต่อ และทนทานมีอายุการใช้งานยาวนานกว่า 20 ปี



รูปที่ 6 รอยต่อแบบแผ่นเหล็กฟันปลา (Steel Finger Joint)

นอกจากนี้จากการศึกษารูปแบบของจำแนกของชนิดรอยต่อเพื่อการขยายตัว [3] โดยได้จำแนกโดยระยะการเคลื่อนขยายตัวเช่นกัน ซึ่งสามารถแบ่งออกได้ 3 ชนิด คือรอยต่อเพื่อการขยายตัวขนาดเล็ก รอยต่อเพื่อการขยายตัวขนาดกลาง และรอยต่อเพื่อการขยายตัวขนาดใหญ่ ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การจำแนกชนิดของรอยต่อตามระยะการเคลื่อนขยายตัว

Joint Type	Movement (mm.)
Small Movement Joint	< 10 mm.
Medium Movement Joint	10 - 50 mm.
Large Movement Joint	> 50 mm.

2.2. แนวทางสำหรับการพิจารณาการเคลื่นขยายตัวของโครงสร้างพื้นทางยกระดับที่เกิดขึ้น

ในการพิจารณาระยะการเคลื่อนขยายตัวของโครงสร้างพื้นทางยกระดับที่เกิดขึ้น ตามคู่มือ WSDOT Bridge Design Manual [2] ได้เสนอให้ใช้วิธีการคำนวณบนพื้นฐานของการเคลื่อนขยายตัวของโครงสร้างพื้นทางในสภาวะใช้งาน ซึ่งจะมีปัจจัยที่ส่งผลต่อการเคลื่อนขยายตัวคือ ผลของการยืดหดตัวของคอนกรีต (Concrete Shrinkage) ผลของการคืบ (Creep) และผลของการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ (Thermal Effect) โดยจะพิจารณารวมผลของการเคลื่อนขยายตัวจากปัจจัยดังกล่าวข้างต้นได้ดังนี้

2.2.1. ผลของการยืดหดตัว (Shrinkage Effect)

การคำนวณระยะการเคลื่อนขยายตัวของโครงสร้างพื้นทางจากผลของการยืดหดตัว (Shrinkage Effects) ที่ถูกต้องแม่นยำจะคำนวณอยู่ในรูปแบบของช่วงระยะเวลาที่ต้องการพิจารณา ซึ่งจะคิดจากค่าเฉลี่ยความชื้น อัตราส่วนระหว่างปริมาตรต่อพื้นที่หน้าตัดผิว และรูปแบบการบ่มของคอนกรีตที่จะนำมาใช้พิจารณารวมอยู่ในรูปแบบของวิธีการออกแบบตามมาตรฐาน AASHTO LRFD bridge design specification [4] เนื่องจากรูปแบบของการติดตั้งรอยต่อพื้นทาง (Expansion Joint) ในบล็อกเอาต์ (Block Out) ของพื้นคอนกรีตโดยทั่วไปจะใช้ระยะเวลาอย่างน้อย 30 ถึง 60 วัน โดยที่จะต้องสามารถรองรับการหดตัวที่เกิดขึ้นในขณะนั้นและช่วงระยะเวลาต่อมาได้ ปรากฏการณ์ดังกล่าวที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่มาจากค่าความเครียดจากการหดตัว (Shrinkage Strain) ที่จะสมมติให้มีค่าเท่ากับ 0.0002 สำหรับคอนกรีตน้ำหนักปกติทั่วไปในสภาวะที่ไม่ถูกจำกัด การเลือกใช้ค่าดังกล่าวจากเงื่อนไขการยึดแน่นที่กำหนดจากรูปแบบของโครงสร้างทางยกระดับต่าง ๆ ดังสมการที่ (1)

$$\Delta L_{shrink} = \beta \cdot \mu \cdot L_{trib} \quad (1)$$

เมื่อ L_{trib} คือ ช่วงความยาวของโครงสร้างที่พิจารณาผลเนื่องจากการหดตัว (Shrinkage) หน่วยเป็น เมตร (m.)

β คือ ค่าความเครียดสูงสุดภายหลังจากการติดตั้งรอยต่อพื้นทาง ในที่นี้จะสมมติให้มีค่าประมาณ 0.0002 m./m. สำหรับแทนค่าในการคำนวณ

μ คือ ค่าสัมประสิทธิ์ในกรณีคิดผลของเงื่อนไขของการยึดติดตั้งชิ้นส่วนของโครงสร้างทางยกระดับก่อนเทหล่อพื้นคอนกรีต

กรณีที่ใช้คานเหล็กรูปพรรณ (Steel Girder) จะมีค่าเท่ากับ 0.0

กรณีที่ใช้คานคอนกรีตอัดแรงสำเร็จรูป (Precast Prestressed Concrete Girder) จะมีค่าเท่ากับ 0.5

กรณีที่ใช้คานรูปกล่อง (Concrete Box Girder) และคานรูปทรง T (T-Beam) จะมีค่าเท่ากับ 0.8

กรณีเป็นพื้นไร้คาน (Concrete Flat Slab) จะมีค่าเท่ากับ 1.0

2.2.2. ผลของการคืบ (Creep Effect)

การคำนวณระยะการเคลื่อนขยายตัวของโครงสร้างพื้นทางจากการพิจารณาคืบของคอนกรีตโครงสร้าง ซึ่งจะขึ้นอยู่ปัจจัยอันเนื่องมาจากผลของค่าหน่วยแรงสูงสุดที่เพิ่มขึ้น ผลของกำลังรับน้ำหนักของคอนกรีตที่เกิดขึ้นในขณะที่รับน้ำหนักบรรทุกคงที่ และผลของอุณหภูมิของคอนกรีต สามารถคำนวณได้คล้ายกันกับผลของการยืดหดตัว (Shrinkage Effects) ที่สภาวะการใช้งานจะกำหนดให้ใช้ค่าสัมประสิทธิ์คูณขยายที่ 1.0 เท่าของช่วงยืดขยายตัวในช่วงอิลาสติกที่เกิดขึ้นในขณะที่รับน้ำหนักบรรทุกคงที่

$$\Delta L_{Creep} = \beta \cdot \mu \cdot L_{trib} \quad (2)$$

เมื่อ L_{trib} คือ ช่วงความยาวของโครงสร้างที่พิจารณาผลเนื่องจากการคืบ (Creep) หน่วยเป็น เมตร (m.)

β คือ ค่าความเครียดสูงสุดภายหลังจากการติดตั้งรอยต่อพื้นทาง ในที่นี้จะสมมติให้มีค่าประมาณ 0.0002 m./m. สำหรับแทนค่าในการคำนวณ

μ คือ ค่าสัมประสิทธิ์ในกรณีคิดผลของเงื่อนไขของการยึดติดตั้งชิ้นส่วนของโครงสร้างทางยกระดับก่อนเทหล่อพื้นคอนกรีต

กรณีที่ใช้คานเหล็กรูปพรรณ (Steel Girder) จะมีค่าเท่ากับ 0.0

กรณีที่ใช้คานคอนกรีตอัดแรงสำเร็จรูป (Precast Prestressed Concrete Girder) จะมีค่าเท่ากับ 0.5

กรณีที่ใช้คานรูปกล่อง (Concrete Box Girder) และคานรูปทรง T (T-Beam) จะมีค่าเท่ากับ 0.8

กรณีเป็นพื้นไร้คาน (Concrete Flat Slab) จะมีค่าเท่ากับ 1.0

2.2.3. ผลของอุณหภูมิ (Thermal Effect)

การคำนวณระยะการเคลื่อนขยายตัวของโครงสร้างพื้นทางในทุกกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่ส่งผลกระทบต่อโครงสร้างพื้นทาง เนื่องจากทำให้โครงสร้างเกิดการยืดตัว หรือ หดตัว ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3) ระยะการเคลื่อนขยายตัวตามแนวยาวของวัสดุ นอกจากปัจจัยในด้านการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของโครงสร้างพื้นทางแล้ว ยังขึ้นอยู่กับช่วงความยาวของโครงสร้างพื้นทางนั้นด้วย

$$\Delta L_{Temp} = \alpha \cdot L_{trib} \cdot \Delta T \quad (3)$$

เมื่อ L_{trib} คือ ช่วงความยาวของโครงสร้างที่พิจารณาผลเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ (Thermal Variation) หน่วยเป็น เมตร (m.)

α คือ ค่าความเครียดสูงสุดภายหลังจากการติดตั้งวัสดุรอยต่อพื้นทางที่มีการยืดขยายตัวจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ในที่นี้จะสมมติให้มีค่าประมาณ 0.000012 m./m./°C สำหรับกรณีโครงสร้างคอนกรีต และค่าประมาณ 0.000013 m./m./°C สำหรับกรณีโครงสร้างเหล็ก

ΔT คือ ค่าอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปของบริเวณพื้นที่ภูมิประเทศที่ตั้งที่พิจารณาติดตั้งรอยต่อ หน่วยเป็น องศาเซลเซียส (°C)

โดยในการพิจารณาอุณหภูมิจะอ้างอิงตามมาตรฐานของ AASHTO LRFD bridge design specification [4] ที่ได้สรุปเป็นตารางที่ 3 ช่วงของอุณหภูมิต่ำสุด และสูงสุด สำหรับใช้ในการหาค่าอุณภูมิเฉลี่ย และนำมาคำนวณระยะการเคลื่อนขยายตัวของโครงสร้างพื้นทาง

ตารางที่ 3 ช่วงของอุณหภูมิต่ำสุด และสูงสุด

Climate	Steel or Aluminium	Concrete
Moderate	-18°C to 49 °C	-12°C to 27 °C
Cold	-18°C to 49 °C	-18°C to 27 °C

การพิจาณาค่าอุณหภูมิที่สูงสุดและต่ำสุดที่เปลี่ยนแปลงไปจะพิจารณาสำหรับใช้ในการคำนวณออกแบบระยะการเคลื่อนขยายตัวออกแบบของโครงสร้าง ดังสมการที่ (4)

$$T_{min} = 0.5 \cdot (T_L + T_u) - 0.5 \cdot \gamma_{TU} \cdot (T_U - T_L) \quad (4)$$

$$T_{max} = 0.5 \cdot (T_L + T_u) + 0.5 \cdot \gamma_{TU} \cdot (T_U - T_L) \quad (5)$$

เมื่อ T_{min} คือ ค่าอุณหภูมิต่ำสุดที่คูณขยายด้วยค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิสำหรับใช้ออกแบบ หน่วยเป็น องศาเซลเซียส (°C)

T_{max} คือ ค่าอุณหภูมิสูงสุดที่คูณขยายด้วยค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิสำหรับใช้ออกแบบ หน่วยเป็น องศาเซลเซียส (°C)

T_L คือ ค่าอุณหภูมิต่ำสุดที่ไม่ได้คูณขยายด้วยค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิสำหรับใช้ออกแบบ หน่วยเป็น องศาเซลเซียส (°C)

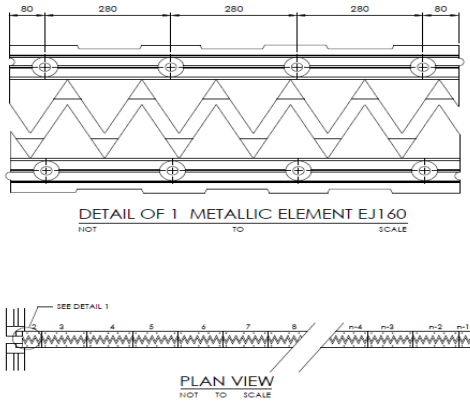
T_U คือ ค่าอุณหภูมิสูงสุดที่ไม่ได้คูณขยายด้วยค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิสำหรับใช้ออกแบบ หน่วยเป็น องศาเซลเซียส (°C)

γ_{TU} คือ ค่าสัมประสัมประสิทธิ์คูณขยายการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ (γ_{TU}) อ้างอิงตามมาตรฐาน AASHTO LRFD bridge design specification [3] ที่สภาวะการใช้งานจะกำหนดให้ (γ_{TU}) มีค่าเท่ากับ 1.00 หรือ 1.20

นอกจากนี้ยังได้จากการศึกษาผลของการยืดหดตัวของคานสะพานคอนกรีตและเสาสะพาน [5] โดยได้มีการพิจารณาการคำนวณหาขนาดการยืดหดตัวที่ต้องการของ Expansion Joint สามารถคำนวณได้กรณีที่กำหนดให้ค่าการล้าของคอนกรีต มีค่าเท่ากับ 0.0003 m./m. การหดตัวของคอนกรีตเนื่องจากการสูญเสียความชื้น มีค่าเท่ากับ 0.0001 m./m. และการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ (+20 °C/-15 °C) โดยคอนกรีตเสริมเหล็กมีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัว (α) ประมาณ 0.000011 / °C กรณีที่โครงสร้างของช่วงสะพานยาว 30+36 เมตร และมีจุดที่ไม่มีการเคลื่อนตัวของคานสะพานโดยประมาณอยู่กึ่งกลางความยาว จะได้ว่า การหดตัวที่ต้องการเท่ากับ (30+36)x(0.0003+0.0001+(15x0.000011) =0.037 ม. และการขยายตัวที่ต้องการมีค่าเท่ากับ (30+36)x20x0.000011 = 0.015 ม. เมื่อคำนวณค่าการเคลื่อนตัวที่ต้องการได้แล้วจึงทำการเลือกประเภท Expansion Joint และขนาดที่เหมาะสมต่อไป

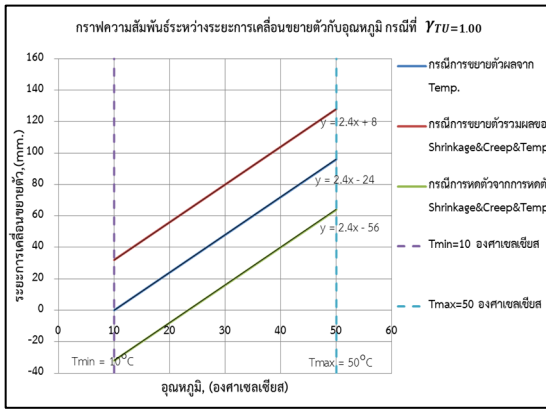
3. การออกแบบระยะการเคลื่อนขยายตัวของโครงสร้างพื้นทางที่เหมาะสมสำหรับทางพิเศษ

ในการพิจารณาการออกแบบระยะการเคลื่อนขยายตัวของรอยต่อแบบแผ่นเหล็กฟันปลา (Steel Finger Joint) ซึ่งเป็นรอยต่อสำหรับพื้นทางที่มีการเคลื่อนขยายตัวขนาดใหญ่ (Large Movement Joint) รูปที่ 7 ติดตั้งใช้งานบริเวณรอยต่อของพื้นทางยกระดับของทางพิเศษกาญจนาภิเษกทุก ๆ 200 เมตร ของช่วงความยาวของพื้นทางของโครงสร้างคานคอนกรีตรูปกล่อง (Box Girder) หล่อสำเร็จรูป โดยกำหนดให้พิจารณาช่วงของอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 50 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิต่ำสุดเท่ากับ 10 องศาเซลเซียส สำหรับพื้นที่กรุงเทพมหานคร ในการคำนวณค่าการเคลื่อนขยายตัวของโครงสร้างที่เกิดขึ้น และผลของการยืดหดตัว (Shrinkage) และการคืบตัว (Creep) จะอ้างอิงตามคู่มือ WSDOT Bridge Design Manual [2] และมาตรฐาน AASHTO LRFD bridge design specification [4]

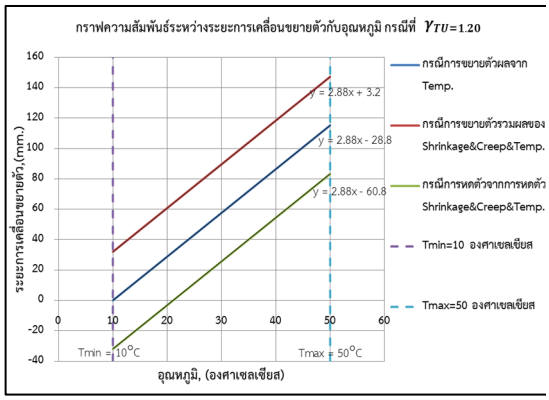


รูปที่ 6 รูปแบบของรอยต่อแบบแผ่นเหล็กฟันปลา (Steel Finger Joint) ที่ติดตั้งใช้งาน

ในการพิจารณาที่อุณหภูมิสูงสุดสำหรับใช้ในการออกแบบ (T_{max}) ที่ 50 องศาเซลเซียส มีค่าระยะการเคลื่อนขยายตัวของโครงสร้างพื้นทางสูงสุดเท่ากับ 128.00 mm. และอุณหภูมิต่ำสุดสำหรับใช้ในการออกแบบ (T_{min}) ที่ 10 องศาเซลเซียส มีค่าระยะการเคลื่อนขยายตัวของโครงสร้างพื้นทางต่ำสุดเท่ากับ 32.00 mm. โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์คูณขยายการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ (γ_{TU}) เท่ากับ 1.00 และในกรณีที่ใช้ค่าสัมประสิทธิ์คูณขยายการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ (γ_{TU}) เท่ากับ 1.20 จะพบว่าที่อุณหภูมิสูงสุดสำหรับใช้ในการออกแบบ (T_{max}) ที่ 50 องศาเซลเซียส มีค่าระยะการเคลื่อนขยายตัวของโครงสร้างพื้นทางสูงสุดเท่ากับ 147.20 mm. และอุณหภูมิต่ำสุดสำหรับใช้ในการออกแบบ (T_{min}) ที่ 10 องศาเซลเซียส โดยมีค่าระยะการเคลื่อนขยายตัวของโครงสร้างพื้นทางต่ำสุด เท่ากับ 32.00 mm. ตามลำดับ ซึ่งเมื่อนำมาพิจารณาระยะการเคลื่อนขยายตัวของโครงสร้างพื้นทางเนื่องจากผลของอุณหภูมิ (Thermal Effect) และ ผลของการยืดหดตัว (Shrinkage) และการคืบตัว (Creep) จะได้กราฟแสดงความสัมพันธ์ดังแสดงในรูปที่ 7 และ 8



รูปที่ 7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะการเคลื่อนขยายตัวของโครงสร้างพื้นทางเทียบกับอุณหภูมิ เมื่อ (γ_{TU}) เท่ากับ 1.00



รูปที่ 8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะการเคลื่อนขยายตัวของโครงสร้างพื้นทางเทียบกับอุณหภูมิเมื่อ (γ_{TU}) เท่ากับ 1.20

จากการพิจารณาค่าระยะการเคลื่อนขยายตัวของโครงสร้างพื้นทางที่เกิดขึ้นเปรียบเทียบกับระยะการเคลื่อนขยายตัวรอยต่อแบบแผ่นเหล็กฟันปลา (Steel Finger Joint) ที่กำหนดให้มีระยะช่องเปิดในการติดตั้งมีค่าเท่ากับ 50 mm. และอุณหภูมิการติดตั้งมีค่าเท่ากับ 27 องศาเซลเซียส เมื่อพิจารณารอยต่อที่ได้ออกแบบติดตั้งใช้งาน พบว่า ระยะการเคลื่อนขยายตัวปิดช่องสูงสุดของรอยต่อที่อุณหภูมิสูง (T_{max}= 50 องศาเซลเซียส เมื่อ (γ_{TU}) เท่ากับ 1.00) จะมีค่าเท่ากับ 56.00 mm. และ (T_{max}= 50 องศาเซลเซียส เมื่อ (γ_{TU}) เท่ากับ 1.20) จะมีค่าเท่ากับ 75.20 mm. และสำหรับในกรณีของระยะการเคลื่อนขยายตัวเปิดช่องสูงสุดของรอยต่อที่อุณหภูมิต่ำ (T_{min}= 10 องศาเซลเซียส เมื่อ (γ_{TU}) เท่ากับ 1.00) จะมีค่าเท่ากับ 80.80 mm. และ (T_{min}= 10 องศาเซลเซียส เมื่อ (γ_{TU}) เท่ากับ 1.20) จะมีค่าเท่ากับ 88.96 mm. ซึ่งจากผลการพิจารณาออกแบบใช้งานรอยต่อแบบแผ่นเหล็กฟันปลา (Steel Finger Joint) ขนาด 160 mm. ที่มีช่วงระยะการเคลื่อนขยายตัวของรอยต่อได้ตั้งแต่ 0-160 mm. จะเห็นได้ว่ารอยต่อที่ออกแบบใช้งานจะสามารถรองรับการเคลื่อนขยายตัวของโครงสร้างพื้นทางได้อย่างเพียงพอ และไม่ทำให้โครงสร้างพื้นทางมีความเสียหายเกิดขึ้นอันมีสาเหตุมาจากการแตกร้าวเนื่องจากการยืดหดตัวของโครงสร้างคอนกรีตพื้นทาง

4. สรุป

จากผลการศึกษาการพิจารณาระยะการเคลื่อนขยายตัวของโครงสร้างพื้นทางยกระดับของทางพิเศษกาญจนาภิเษก โดยพิจารณาผลของอุณหภูมิ (Thermal Effect) และผลของการยืดหดตัว (Shrinkage) และการคืบตัว (Creep) ที่สภาวะการใช้งาน โดยกำหนดให้พิจารณาช่วงของอุณหภูมิสูงสุด (T_{max}) เท่ากับ 50 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิต่ำสุด (T_{min}) เท่ากับ 10 องศาเซลเซียส ในกรณีที่พิจารณาใช้หลักการตามคู่มือ WSDOT Bridge Design Manual [2] และมาตรฐาน AASHTO LRFD bridge design specification [4] พิจารณารวมผลของระยะการเคลื่อนขยายตัวของ

โครงสร้างพื้นทาง(ΔL) ภายใต้ผลของอุณหภูมิ (Thermal Effect) ด้วยค่าสัมประสิทธิ์คูณขยายการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ (γ_{TU}) เท่ากับ 1.00 และ 1.20 และสำหรับผลของการยืดหดตัว (Shrinkage) และการคืบตัว (Creep) จะใช้ค่าสัมประสิทธิ์คูณขยายที่ 1.00 ที่สภาวะการใช้งาน พบว่าที่ระยะการเคลื่อนขยายตัวสูงสุดและต่ำสุดของโครงสร้างพื้นทางที่เกิดขึ้นจะมีค่าไม่เกินช่วงระยะการขยายตัวของรอยต่อแบบแผ่นเหล็กฟันปลา (Steel Finger Joint) ที่สามารถรองรับการเคลื่อนขยายตัวได้ตั้งแต่ 0-160 mm. ซึ่งจัดอยู่ในรูปแบบของรอยต่อสำหรับรองรับการเคลื่อนขยายตัวขนาดใหญ่ (Large Movement Joint) ของโครงสร้างพื้นทาง การออกแบบใช้งานรอยต่อแบบแผ่นเหล็กฟันปลา (Steel Finger Joint) ในบริเวณช่วงทางยกระดับทางพิเศษกาญจนาภิเษก จึงมีความเหมาะสมสอดคล้องกับระยะการเคลื่อนขยายตัวอันเนื่องมาจากการยืดหดตัวของโครงสร้างคอนกรีตพื้นทาง (ΔL) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยไม่สร้างความเสียหายต่อโครงสร้างพื้นทางและรอยต่อที่ติดตั้งใช้งาน ส่งผลทำให้โครงสร้างพื้นทางและรอยต่อมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน และช่วยประหยัดงบประมาณในการซ่อมบำรุงโครงสร้าง นอกจากนี้ระยะการเคลื่อนขยายตัวของโครงสร้างพื้นทางยังขึ้นอยู่กับช่วงความยาวของโครงสร้างพื้นทาง ที่มีผลต่อการเคลื่อนขยายตัวของโครงสร้าง ในการออกแบบใช้งานรอยต่อในแต่ละรูปแบบ จึงต้องพิจารณาช่วงความยาวของโครงสร้างพื้นทางที่เหมาะสมประกอบด้วย

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่พนักงานกองวิจัยและพัฒนา การทางพิเศษแห่งประเทศไทย และผู้มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่าน ที่ได้ให้คำปรึกษา และเสียสละเวลาอันมีค่าช่วยเหลือในการค้นคว้าวิจัยข้อมูล สำหรับใช้ในการศึกษาวิจัยนี้ให้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ที่วางไว้

6. การอ้างอิง

[1] การทางพิเศษแห่งประเทศไทย (2549). คู่มือการตรวจสอบและบำรุงรักษาโครงสร้างทางพิเศษ (ฉบับปรับปรุง), กรุงเทพฯ

[2] WSDOT, B. (2019). Bridge design manual (LRFD). Washington State Department of Transportation, Olympia, Washington, July.

[3] Lee, David j., Bridge and Expansion Joints, 2nd. ed., E&FN Spon, London, 1994.

[4] LRFD, AASHTO. (2017). AASHTO LRFD bridge design specifications. American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, DC.

[5] ชวลิต มัชฌิมดำรง, บริษัท เอฟซิลอน จำกัด, “การยืดหดตัวของคานสะพานคอนกรีตและผลต่อเสาสะพาน,”วารสารคอนกรีต TCA e-magazine สมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย ฉบับที่ 10, สิงหาคม 2010.