



การตรวจสอบและประเมินสภาพโครงสร้างทางพิเศษบูรพาวิถี ที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการทรุดตัวต่างกันของฐานราก

The Inspection and Evaluation of Structure Condition of BURAPAWITHI Expressway which Related to Differential Settlement Problem of Foundation

รัฐธรรม อิศโรพาร (RATTATAM ISARORANIT)¹

วรวัช ลิ้มพันธ์อุดม (VORAWAT LIMPHANUDOM)²

สุทธิศักดิ์ สรลัมพ์ (SUTTISAK SORALUMP)³

¹วิศวกรปฐพี (nuk_civil@yahoo.com) ²วิศวกรโยธา (tum_gambit@hotmail.com) ³ผู้ช่วยศาสตราจารย์ (Soralump_s@yahoo.com)
ศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมปฐพีและฐานราก ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

บทคัดย่อ : ทางพิเศษบูรพาวิถี มีทางขึ้นลงจำนวน 27 ทางขึ้นลงและบันไดทางขึ้นด้านเก็บค่าผ่านทางจำนวน 28 บันได เปิดใช้งานตลอดเส้นทางในปี พ.ศ. 2543 ลักษณะปัญหาที่พบสำหรับทางขึ้นลง คือเกิดการทรุดตัวที่แตกต่างกันของโครงสร้าง ทำให้โครงสร้างเกิดความเสียหาย การใช้เส้นทางไม่สะดวกสบาย สำหรับบันไดทางขึ้นด้านเก็บค่าผ่านทางพบปัญหาการทรุดตัวทำให้ฐานรองรับบันไดมีระยะห่างมากกว่าปกติ จึงต้องมีการศึกษาเพื่อหาสาเหตุและแนวทางการแก้ไขปัญหาดังกล่าว ซึ่งการเก็บข้อมูลลักษณะความเสียหายที่เกิดขึ้นและการวิเคราะห์ผลที่ได้จากการตรวจสอบอย่างเป็นระบบ จะทำให้สามารถประเมินสภาพของโครงสร้างได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยการตรวจสอบแบ่งออกเป็น การสำรวจลักษณะโดยทั่วไปของทางขึ้น-ลง การตรวจสอบรอยแตกร้าวของผนังคอนกรีต การตรวจสอบลักษณะรอยต่อระหว่างโครงสร้าง การตรวจสอบรอยต่อของผนังกันตก และรอยต่อของผิวถนนด้านบนทางขึ้น-ลง ส่วนบันไดทางขึ้นด้านเก็บค่าผ่านทางจะทำการตรวจสอบการเคลื่อนตัวของฐานรองรับบันได จากนั้นนำข้อมูลการตรวจสอบมาประเมินสภาพโดยใช้วิธีดัชนีสภาพตามสัดส่วนคะแนนของแต่ละความเสียหาย ผลที่ได้จากการประเมินใช้เพื่อจัดลำดับความเสียหายที่เกิดขึ้น และหาแนวทางการซ่อมแซมที่เหมาะสม นอกจากนี้ยังสามารถนำผลที่ได้ไปวิเคราะห์ร่วมกับปริมาณการจราจรในแต่ละทางขึ้นลง เพื่อใช้วางแผนจัดลำดับก่อนหลังในการซ่อมแซมแก้ไขตามความรุนแรงของความเสียหาย และความสำคัญของการใช้งานต่อไป

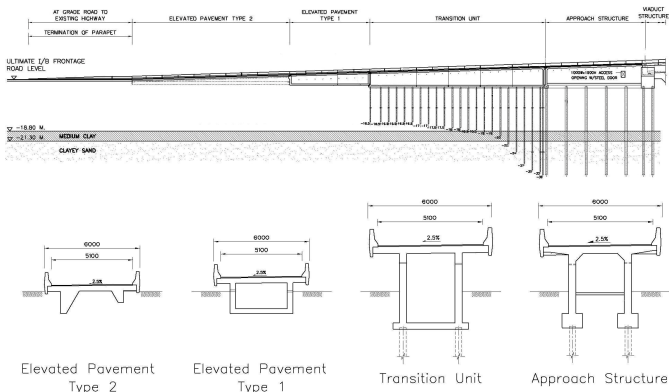
ABSTRACT : BURAPAWITHI expressway consists of 27 approach structures and 28 stair towers. All route of expressway has been in service since year 2000. The Differential Settlement caused problems in approach structure and the stair tower. Therefore, the systematic inspection and analysis method was used to the safety condition of the structure. The inspection consists of the overall inspection, concrete wall cracking, joint movement of transition unit and parapet and road surface cracking. As for the stair towers, the movement of stair support was inspected. Then, the condition index method was applied to evaluation by the damages proportion. The results from the evaluation are used to choose appropriate repairing methods and the priority of the repair.

KEYWORDS : Differential settlement, Approach structure, Stair tower, Inspection, BURAPAWITHI expressway.

1. บทนำ

ทางพิเศษบูรพาวิถีมีจุดเริ่มต้นที่ปลายทางพิเศษสายบางนา-อาจณรงค์ มุ่งไปทางทิศตะวันออก โดยใช้พื้นที่เกาะกลางถนนของทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 34 (ถนนบางนา-บางปะกง) ข้ามแม่น้ำบางปะกง ถึง จังหวัดชลบุรี อยู่ภายใต้การกำกับดูแลของการทางพิเศษแห่งประเทศไทย เป็นทางพิเศษยกระดับ 6 ช่องจราจร มียาวประมาณ 55 กิโลเมตร มีทางขึ้นลงจำนวน 27 ทางขึ้นลงและบันไดทางขึ้นด้านเก็บค่าผ่านทางจำนวน 28 บันไดเปิดใช้งานมาแล้วประมาณ 9 ปี เนื่องจากทางพิเศษก่อสร้างบนพื้นที่ชั้นดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ ทำให้พบปัญหาการทรุดตัวที่แตกต่างกันของโครงสร้างของฐานรากต่างประเทศกัน ทำให้โครงสร้างเกิดความเสียหาย การใช้เส้นทางไม่สะดวกสบายสำหรับบันไดทางขึ้นด้านเก็บค่าผ่านทางพบปัญหาการทรุดตัวทำให้ฐานรองรับบันไดมีระยะห่างมากกว่าปกติ จึงต้องมีการศึกษาเพื่อหาสาเหตุและแนวทางการแก้ไขปัญหาดังกล่าว โดยในที่นี้จะกล่าวถึง การสำรวจความเสียหาย การวิเคราะห์ผลจากการสำรวจ และการประเมินสภาพโครงสร้างทางขึ้น-ลง และบันไดทางขึ้นด้านเก็บค่าผ่านทาง

ทางขึ้นลงทางพิเศษประกอบด้วยโครงสร้าง 4 รูปแบบ คือ Approach Structures, Transition Unit, Elevated Pavement และ At Grade Road ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ส่วนประกอบโครงสร้างทางขึ้น-ลงทางพิเศษบูรพาวิถี [1]

Viaduct Structure เป็นโครงสร้างทางยกระดับแบบคานรูปกล่อง (Box-Segment Girder) ที่เชื่อมต่อจากทางขึ้นลงไปยังทางพิเศษ ซึ่งไม่อยู่ในขอบเขตของการศึกษา เนื่องจากไม่พบปัญหาการทรุดตัวแตกต่างกัน เพราะ ปลายเสาเข็มวางอยู่ในชั้นดินที่มีความลึกใกล้เคียงกัน

Approach Structures เป็นโครงสร้างที่มีลักษณะเป็นผนังรับแรง มีความยาว 24 เมตร วางอยู่บนเสาเข็มยาวประมาณ 30 เมตร

Transition Unit เป็นโครงสร้างที่มีลักษณะเป็นกล่องที่มีความยาวประมาณ 8 เมตรต่อชิ้น เรียงต่อกัน มีความยาวรวมตั้งแต่ 44 ถึง 104 เมตร โดยวางอยู่บนเสาเข็มพอนความยาว (Relief Pile) ที่มีความยาวของเสาเข็มตั้งแต่ 10 ถึง 36 เมตร (ขึ้นอยู่กับทางขึ้นลง)

Elevated Pavement แบ่งเป็น 2 รูปแบบ คือ

- Type 1 โครงสร้างแบบกล่องเช่นเดียวกับ Transition Unit แต่ไม่มีเสาเข็มรองรับ
- Type 2, Type 3 โครงสร้างแบบพื้นวางบนดิน และมีขาสองด้านฝังลงในดิน

At Grade Road เป็นโครงสร้างที่เหมือนกับถนนคอนกรีตทั่วไป เป็นส่วนเชื่อมต่อกับถนนทางคู่ขนานเดิม

2. การสำรวจความเสียหาย

2.1 โครงสร้างทางขึ้นลงทางพิเศษ

การสำรวจความเสียหายของโครงสร้างทางขึ้นลง แบ่งออกเป็น 5 ส่วน คือ

- การสำรวจลักษณะโดยทั่วไปของทางขึ้น-ลง และพื้นที่โดยรอบ
- การตรวจสอบรอยแตกร้าวของผนังคอนกรีต
- การตรวจสอบลักษณะรอยต่อระหว่างโครงสร้าง
- การตรวจสอบรอยต่อของผนังกันตก (Parapet)
- การตรวจสอบรอยต่อของถนนด้านบน

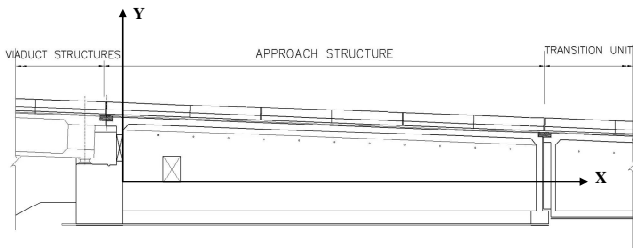
2.1.1 การสำรวจลักษณะโดยทั่วไปของทางขึ้น-ลง และพื้นที่โดยรอบ

ทำการสำรวจลักษณะพื้นที่ด้านข้างทางขึ้น-ลง ทั้งฝั่งที่ติดกับถนนหลัก (Main Road) และถนนทางคู่ขนาน (Frontage Road) ทั้งลักษณะการทรุดตัวของดินข้างทางขึ้น-ลง ความต่างระดับของถนน การท่วมขังของน้ำ รวมถึงลักษณะการใช้ประโยชน์พื้นที่ด้านข้างถนน เพื่อใช้ประกอบการพิจารณากำหนดตำแหน่งเจาะสำรวจดิน รวมทั้งตำแหน่งการติดตั้งเครื่องมือตรวจวัดพฤติกรรม

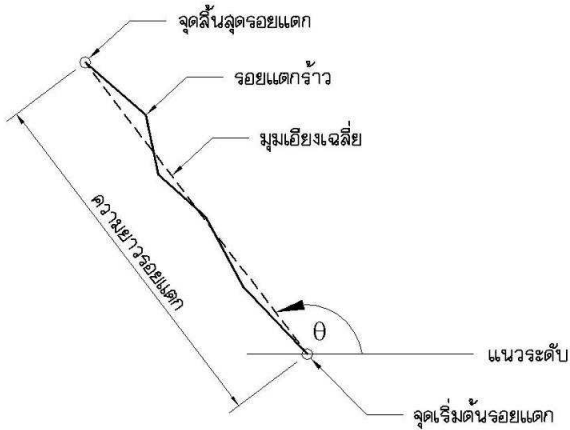
2.1.2 ขั้นตอนการตรวจสอบรอยแตกร้าวของผนังคอนกรีต

รอยแตกร้าวของผนังคอนกรีตเกิดขึ้นทั้งในส่วนของ Approach Structures และ Transition Unit มีขั้นตอนการตรวจสอบมีดังนี้

- (1) ตรวจสอบรอยแตกร้าวบริเวณผนังทางขึ้นลง
- (2) วัดระยะตามแนวราบ และแนวดิ่ง (X,Y) โดยใช้ขอบของ Approach Structure และระดับขอบด้านล่างของประตูทางเข้า Approach Structure เป็นระดับอ้างอิง (X=0, Y=0) ดังภาพที่ 2
- (3) วัดมุมเอียงของรอยแตกร้าว โดยวัดจากแนวราบในทิศทวนเข็มนาฬิกา ดังภาพที่ 3 และ 4
- (4) วัดความยาวรอยแตก และความกว้างรอยแตก



ภาพที่ 2 ระดับอ้างอิงสำหรับการตรวจสอบรอยแตกของผนังคอนกรีต



ภาพที่ 3 หลักการการวัดมุมเอียง และความยาวของรอยแตกร้าว

2.1.3 ขั้นตอนการตรวจสอบรอยต่อด้านข้าง

การตรวจสอบรอยต่อด้านข้างทางขึ้นลง บริเวณโครงสร้าง Transition Unit ทำโดยการวัดระยะห่างของรอยต่อ 3 ตำแหน่ง คือ

- (1) ระยะห่างบน ที่ระยะ 0.30-0.50 เมตร เหนือเส้นระดับอ้างอิง (จากขอบประตู ในภาพที่ 2)

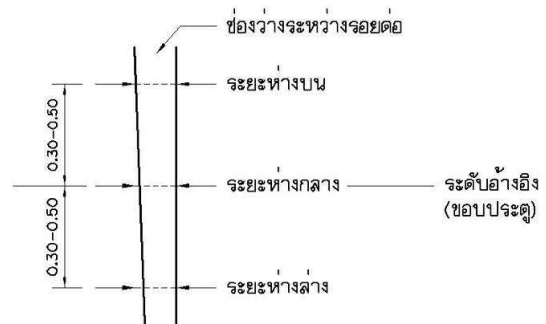
- (2) ระยะห่างกลาง บริเวณระดับอ้างอิง

- (3) ระยะห่างล่าง ที่ระยะ 0.30-0.50 เมตร ใต้เส้นระดับอ้างอิง ดังภาพที่ 5 และ 6

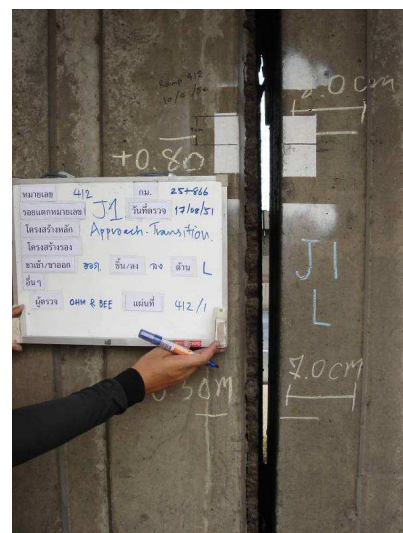


ภาพที่ 4 การวัดมุมเอียง และความยาวของรอยแตกร้าวในสนาม

กรณีที่ยรอยต่ออยู่ต่ำกว่าระดับอ้างอิง จะใช้การกำหนดระยะในแนวดิ่งประมาณ 0.3 ถึง 0.5 เมตร แล้ววัดระยะห่างของรอยต่อที่ระดับบนและล่าง หรือกรณีที่บริเวณรอยต่อมีการเคลื่อนตัวทางด้านข้างให้ทำการจดบันทึกเพิ่มเติมในหมายเหตุ



ภาพที่ 5 หลักการการวัดระยะห่างของรอยต่อด้านข้าง



ภาพที่ 6 การวัดระยะห่างของรอยต่อด้านข้างในสนาม

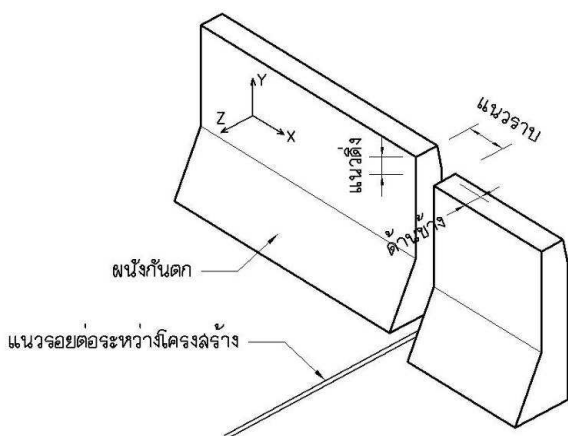
2.1.4 ขั้นตอนการตรวจสอบผนังกันตก

ลักษณะความเสียหายของผนังกันตก (Parapet) แสดงในรูปที่ 7 โดยการตรวจสอบมีขั้นตอนดังนี้

- (1) ตรวจสอบบริเวณรอยต่อของถนนด้านบน โดยกำหนดให้รอยต่อระหว่าง Approach Structure กับ Transition Unit เป็นตำแหน่งอ้างอิง ทั้งนี้เพื่อให้ทราบถึงความเสียหายที่สอดคล้องกับรอยต่อของช่วง Transition Unit ซึ่งมีรอยต่อทุกระยะ 8.0-10.0 เมตร
- (2) วัดระยะการเคลื่อนตัวของผนังกันตก ทั้งในแนวราบ แนวตั้ง และการเคลื่อนตัวด้านข้าง ดังภาพที่ 7 โดยผนังกันตกในสภาพปกติจะมีระยะห่างประมาณ 2.50 เซนติเมตร



ภาพที่ 7 ลักษณะความเสียหายของผนังกันตก

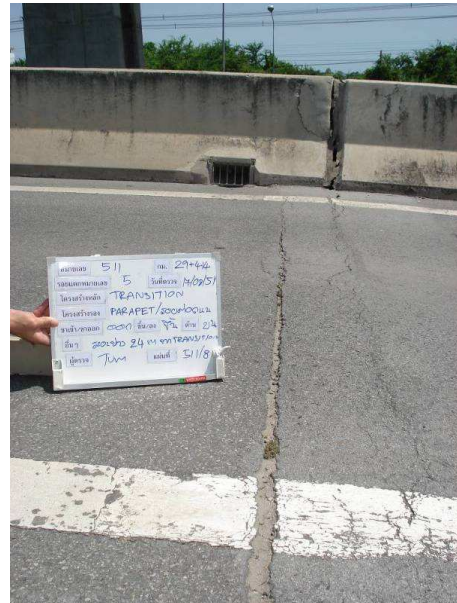


ภาพที่ 8 การวัดการเคลื่อนตัวของผนังกันตก

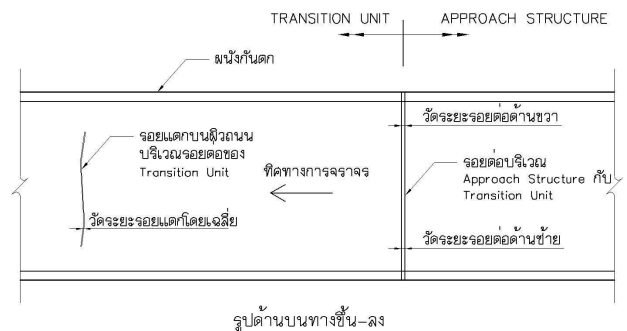
2.1.5 ขั้นตอนการตรวจสอบรอยต่อของถนนด้านบน

การตรวจสอบรอยต่อบริเวณผิวถนนด้านบนสามารถดำเนินการไปพร้อมกับการตรวจผนังกันตก โดยมีลักษณะความเสียหายดังภาพที่ 9 และมีขั้นตอนการตรวจสอบดังนี้

- (1) วัดความกว้างของรอยต่อบนพื้นถนนระหว่าง Viaduct Structure กับ Approach Structure และรอยต่อระหว่าง Approach Structure กับ Transition Unit ซึ่งเป็นรอยต่อหลัก ทั้งด้านซ้ายและด้านขวา
- (2) วัดความกว้างรอยต่อบนพื้นถนนในช่วง Transition Unit บริเวณที่เกิดการแตกร้าว ซึ่งเป็นความกว้างโดยเฉลี่ยของรอยแตกร้าว ดังภาพที่ 10



ภาพที่ 9 ลักษณะความเสียหายของผิวถนนด้านบน



ภาพที่ 10 การวัดรอยต่อของผิวถนนด้านบน

2.2 บันไดทางขึ้นด้านเก็บค่าผ่านทาง

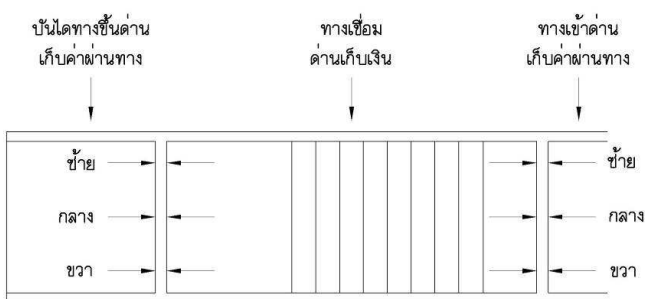
ปล่องบันไดทางขึ้นด้านเก็บค่าผ่านทาง (Stair Tower) ใช้โครงสร้างแบบผนังรับแรง 2 ด้าน และมีสะพานเชื่อมต่อระหว่างทางพิเศษกับปล่องบันไดด้านบน โดยฐานรากของปล่องบันไดใช้เสาเข็มเจาะยาว 21-25 เมตร ในขณะที่เสาเข็มของโครงสร้างทางพิเศษมีความยาว 30-44 เมตร ดังนั้นสะพานเชื่อมจึงถูกรองรับโดยโครงสร้าง 2 ข้างที่มีความยาวเสาเข็มที่ไม่เท่ากันทำ

ให้สะพานเคลื่อนตัวหลุดจากฐานรองรับ เนื่องจากการทรุดตัวของปล่องบันไดมากกว่าการทรุดตัวของทางพิเศษ ลักษณะความเสียหายแสดงดังภาพที่ 11 และมีขั้นตอนการตรวจสอบดังนี้

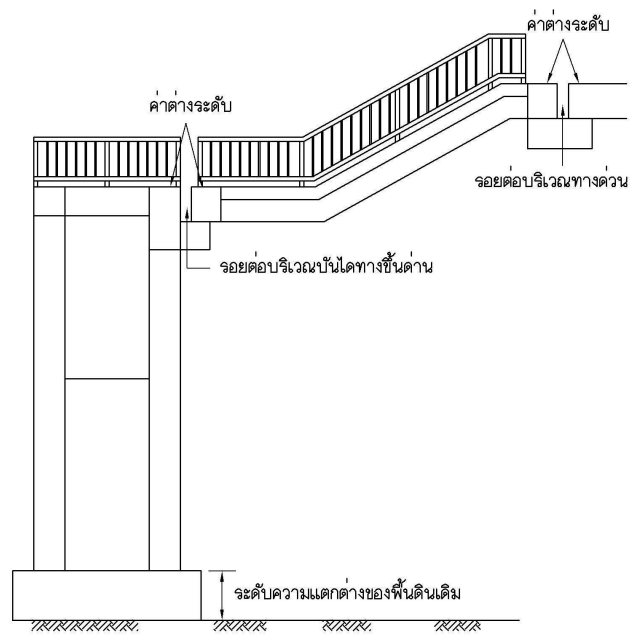
- (1) ตรวจสอบการทรุดตัวโดยประมาณของพื้นดินเดิมบริเวณด้านข้างบันได โดยสังเกตจากรอยระดับดินเดิม หรือลักษณะการเสริมชั้นบันได
- (2) ตรวจสอบห่างของรอยต่อบริเวณฐานรองรับบันไดที่เชื่อมระหว่างทางพิเศษกับปล่องบันไดทางขึ้น โดยวัดด้านซ้ายกลาง และขวาของรอยต่อ นอกจากนั้นยังวัดค่าความต่างระดับของรอยต่อดังกล่าวด้วย ดังภาพที่ 12 และ 13 ตามลำดับ



ภาพที่ 11 ลักษณะการเคลื่อนตัวของบริเวณฐานรองรับบันได



ภาพที่ 12 การวัดระยะห่างของรอยต่อบริเวณฐานรองรับบันได



ภาพที่ 13 การวัดระยะทรุดตัวของพื้นดินเดิม และความต่างระดับของรอยต่อบริเวณฐานรองรับบันได

3. ผลการสำรวจสภาพความเสียหาย

3.1 โครงสร้างทางขึ้นลง

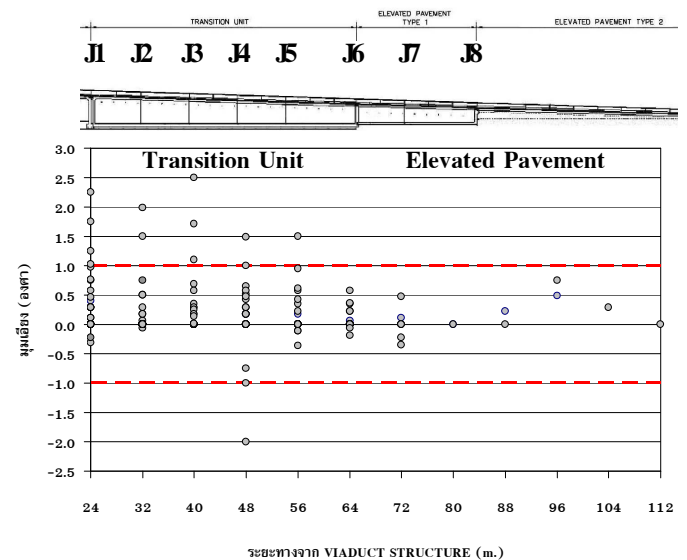
3.1.1 รอยแตกของผนังคอนกรีต

จากผลสำรวจความเสียหายของทางขึ้นลง เมื่อวิเคราะห์จำนวนรอยแตกบนผนังคอนกรีตกับตำแหน่งที่เกิดรอยแตกในแต่ละทางขึ้นลง พบว่าจำนวนรอยแตกที่มากที่สุด น้อยที่สุด และค่าเฉลี่ย คือ 79, 9 และ 32 ตำแหน่งตามลำดับ รอยแตกส่วนใหญ่เกิดบริเวณช่วง Approach Structure (ช่วง 0-24 เมตร) โดยผนังด้านซ้ายของทางขึ้นลง (ฝั่งที่ติดกับถนนคู่ขนาน) มีจำนวนรอยแตกมากกว่าด้านขวา (ด้านที่ติดกับถนนหลัก) ดังภาพที่ 14 ที่แสดงจำนวนรอยแตกตามระยะทางของทุกทางขึ้นลง นอกจากนั้นความสัมพันธ์ระหว่างขนาดความกว้างรอยแตกกับตำแหน่งที่เกิดรอยแตก พบว่าร้อยละ 66 เป็นรอยแตกที่มีความกว้างน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.2 มม. และร้อยละ 34 เป็นรอยแตกที่มีความกว้างมากกว่า 0.2 มม. ดังภาพที่ 15

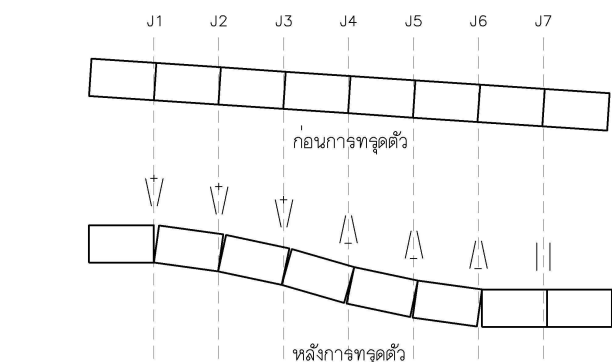
3.1.2 รอยต่อระหว่างโครงสร้าง

การสำรวจระยะห่างระหว่างรอยต่อของโครงสร้างสามารถนำมาคำนวณหามุมเอียงระหว่างรอยต่อ เมื่อกำหนดให้มุมเอียงที่มีค่าเป็นบวก คือมุมเอียงที่ระยะด้านบนมากกว่าด้านล่าง และมุมเอียงที่มีค่าเป็นลบ คือมุมเอียงที่ระยะด้านบนน้อยกว่าด้านล่าง โดยค่ามุมเอียงระหว่าง -1.0 ถึง 1.0 องศา เป็นมุมเอียงที่ยังอยู่ในช่วงปกติ

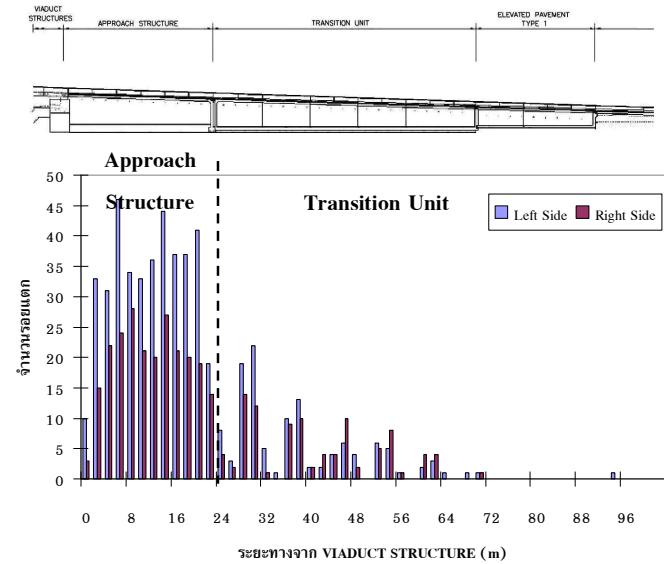
จากผลการสำรวจทำให้ทราบว่ารอยต่อจะมีการเอียงตัวมากบริเวณรอยต่อลำดับที่ 1 ถึง 5 (J1 – J5 ที่ระยะ 24 ถึง 56 เมตร จาก Viaduct Structure) โดยมีการเอียงตัวในทิศทางบวกที่รอยต่อที่ 1 ถึง 3 และมีการเอียงตัวในทิศทางลบสำหรับบางทางขึ้นลงที่รอยต่อลำดับที่ 4 และ 5 ดังภาพที่ 16 ซึ่งสามารถแสดงในลักษณะแบบจำลองของการเอียงตัวดังภาพที่ 17



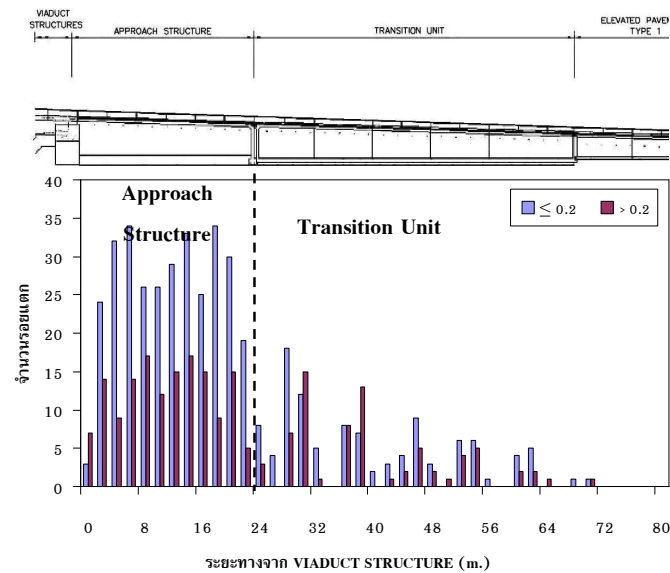
ภาพที่ 16 มุมเอียงของรอยต่อตามระยะของทางขึ้นลงทางด่วน



ภาพที่ 17 แบบจำลองการเอียงของรอยต่อตามระยะของทาง



ภาพที่ 14 จำนวนรอยแตกร้าวตามระยะของทางขึ้นลงทางด่วน



ภาพที่ 15 จำนวนความกว้างรอยแตกร้าวตามระยะของทางขึ้นลงทางด่วน

ACI Committee 224 (1972) [2] ได้เสนอขนาดความกว้างของรอยแตกที่จะไม่มีผลต่อเหล็กเสริมภายในคอนกรีตในสภาวะต่างๆ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ความกว้างสูงสุดของรอยแตกที่ขอมให้ในสภาวะต่างๆ [2]

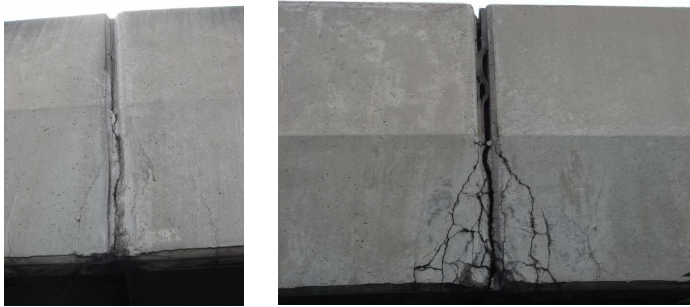
สภาวะ	ความกว้างสูงสุดที่ขอมให้ (มิลลิเมตร)
Dry air or protective membrane	0.40
Humid, moist air or soil	0.30
De-icing chemicals	0.20
Seawater and sweater spray, wetting and drying	0.15
Water retaining structures	0.10

3.1.3 รอยต่อของผนังกันตก

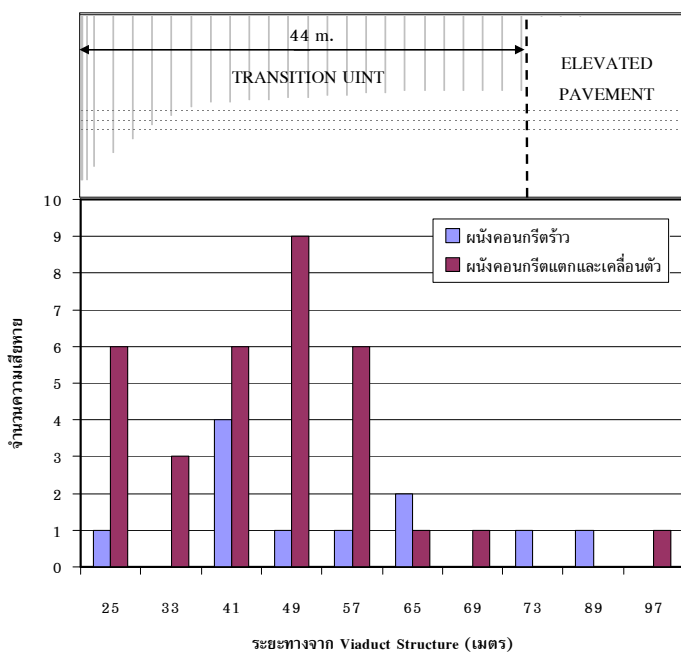
ความเสียหายที่เกิดขึ้นบริเวณผนังกันตกจะเกิดจากการทรุดตัวของตัวที่แตกต่างกันของโครงสร้างด้านล่าง ทำให้เกิดการเบียดกันระหว่างโครงสร้างด้านบน โดยลักษณะความเสียหายที่เกิดขึ้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ระดับ คือ

- (ก) ผนังคอนกรีตร้าว
- (ข) ผนังคอนกรีตแตกและเคลื่อนตัว ดังภาพที่ 18

ความเสียหายของผนังกันตกส่วนใหญ่เกิดขึ้นในช่วง Transition Unit ซึ่งห่างจาก Viaduct Structure เป็นระยะทาง 41 ถึง 57 เมตร (รอยต่อที่ 3 ถึง 5) และเป็นความเสียหายแบบผนังคอนกรีตแตกและเคลื่อนตัว ดังภาพที่ 19 ซึ่งส่วนใหญ่บริเวณดังกล่าวเป็นตำแหน่งที่เสาเข็มลอยอยู่ในชั้นดินอ่อน



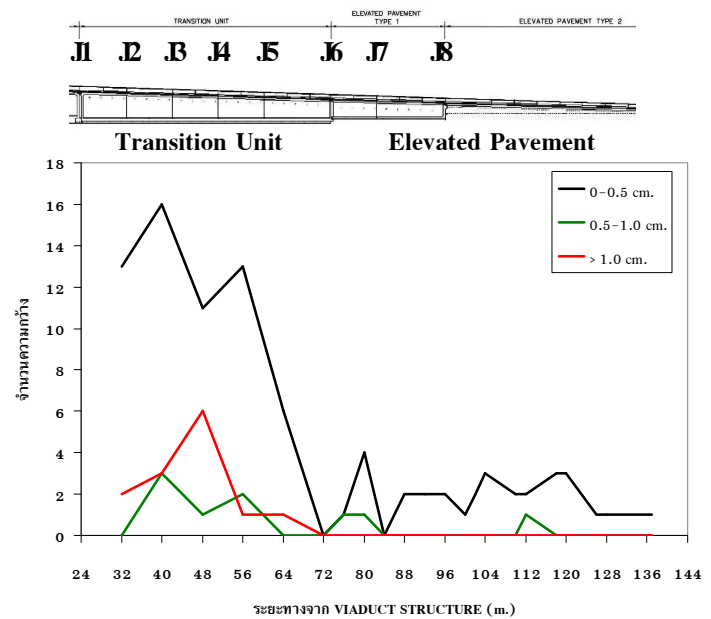
ภาพที่ 18 ลักษณะความเสียหายของผนังกันตก



ภาพที่ 19 จำนวนความเสียหายของผนังกันตกตามระยะของทางขึ้นลง

3.1.4 ความกว้างของรอยต่อถนนด้านบน

ความกว้างของรอยต่อถนนด้านบนที่ระยะต่างๆ บริเวณทางขึ้นลงทางด่วน แสดงดังภาพที่ 20 ซึ่งพบว่าส่วนใหญ่รอยแตกจะเกิดช่วงระยะ 32-64 เมตร (รอยต่อลำดับที่ 2-6) มีความกว้างมากที่สุดคือ 4.8 ซม. (ไม่รวมรอยต่อบริเวณ Approach Structure กับ Transition Unit) ความกว้างเฉลี่ยคือ 0.5 ซม. ซึ่งมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความเสียหายที่เกิดกับรอยต่อระหว่างโครงสร้าง และความเสียหายบริเวณรอยต่อของผนังกันตก



ภาพที่ 20 ความกว้างของรอยต่อถนนด้านบนตามระยะของทางขึ้นลง

3.2 บันไดทางขึ้นด้านเก็บค่าผ่านทาง

ผลสำรวจความเสียหายของบันไดทางขึ้นด้านเก็บค่าผ่านทาง พบว่าความเสียหายหลัก คือการเคลื่อนตัวของฐานรองรับบันได (Support) ที่ด้านหนึ่งวางอยู่บนทางด่วนหลักและอีกด้านหนึ่งวางอยู่บนปล่องบันได (Stair Tower) โดยระยะการเคลื่อนตัวที่พบแสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ระยะการเคลื่อนตัวของฐานรองรับบันได

ตำแหน่งฐานรองรับ	ระยะการเคลื่อนตัว	จำนวนบันได
บันได	(ซม.)	(ตัว)
ฐานรองรับด้านบน	0-5	22
	5-10	6
	>10	0
ฐานรองรับด้านล่าง	0-5	23
	5-10	4
	>10	1

4. การประเมินสภาพโครงสร้าง

การประเมินสภาพโครงสร้างใช้หลักการให้คะแนนความสำคัญ ตามลักษณะความเสียหายต่างๆ โดยผลที่ได้ผลการประมวลในระดับสุดท้ายจะออกมาเป็น “ดัชนีสภาพ” (Condition Index) ซึ่งเป็นตัวเลขมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 100 ซึ่งบ่งถึงสภาพโครงสร้างนั้นเมื่อเทียบกับสภาพที่มีความเสียหายเต็มที่ (CI = 100) แต่ละองค์ประกอบจะต้องพิจารณาให้น้ำหนักความสำคัญ (W_i) ต่อตัวโครงสร้างรวมเป็นสัดส่วนที่แตกต่างกัน และความเสียหายที่จะเกิดตามมาจากองค์ประกอบส่วนนั้นเกิดซ้ำเกิดขึ้น

ข้อมูลจากการสำรวจความเสียหายจะถูกเปลี่ยนเป็นคะแนนเพื่อนำมาใช้ในการประเมินสภาพโครงสร้างโดยใช้สมการที่ 1 และ 2

$$CI_{sum} = \sum_{i=1}^7 CI_i \quad (1)$$

$$CI_i = \frac{P_i \times w_i}{P_{i(max)}} \times 100 \quad (2)$$

เมื่อ

CI_{sum} = ผลรวมเปอร์เซ็นต์สภาพความเสียหาย

CI_i = เปอร์เซ็นต์สภาพความเสียหาย

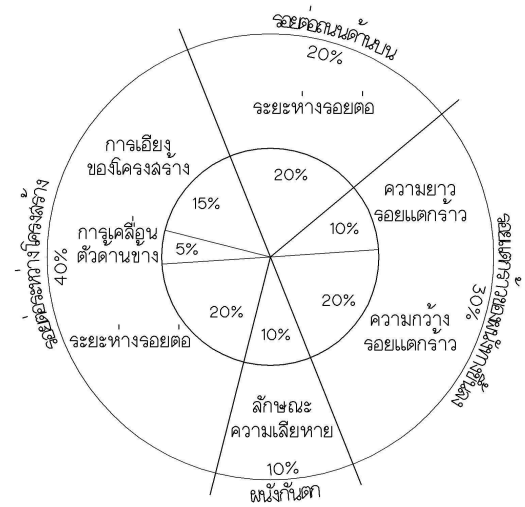
P_i = คะแนนความเสียหายของแต่ละทางขึ้นลง

$P_{i(max)}$ = คะแนนความเสียหายที่มากที่สุดของทางขึ้นลงทั้งหมด

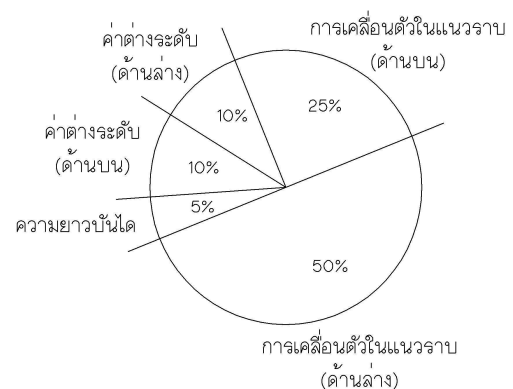
i = สภาพความเสียหาย ดังนี้

- 1 : สภาพความเสียหายเนื่องจากความกว้างรอยแตกกว้าง
- 2 : สภาพความเสียหายเนื่องจากความยาวรอยแตกกว้าง
- 3 : สภาพความเสียหายเนื่องจากระยะห่างรอยต่อด้านข้าง
- 4 : สภาพความเสียหายเนื่องจากการเอียงของโครงสร้าง
- 5 : สภาพความเสียหายเนื่องจากการเคลื่อนตัวด้านข้าง
- 6 : สภาพความเสียหายของผนังกันตก
- 7 : สภาพความเสียหายเนื่องจากระยะห่างของรอยต่อด้านบน

โดยสัดส่วนการให้คะแนนความเสียหายสำหรับปัจจัยหลักของทางขึ้นลงและบันไดทางขึ้นด้าน แสดงดังรูปที่ 21 และ 22 และมีรายละเอียดการให้คะแนนดังตารางที่ 3 และ 4 ตามลำดับ



ภาพที่ 21 สัดส่วนการให้คะแนนความเสียหายของทางขึ้นลง



ภาพที่ 22 สัดส่วนการให้คะแนนความเสียหายของบันไดทางขึ้นด้าน

ตารางที่ 3 รายละเอียดการให้คะแนนสำหรับโครงสร้างทางขึ้นลง

ปัจจัยที่ใช้ในการประเมิน	จำนวน	คะแนนความสำคัญ
ความกว้าง	0-10	1
รอยแตก	0.1 mm.	2
	>20	3
0.2 mm.	0-10	2
	11-20	3
0.3 mm.	>20	4
	0-5	4
6-10	11-15	5
	16-20	6
>20	11-15	6
	16-20	7
>20	>20	8



ตารางที่ 3 (ต่อ) รายละเอียดการให้คะแนนสำหรับโครงสร้างทางขึ้นลง

ปัจจัยที่ใช้ในการประเมิน	จำนวน	คะแนนความสำคัญ	
ความกว้าง	0-5	7	
รอยแตก	6-10	8	
	0.4 mm.	9	
	11-15	10	
	16-20	11	
	>20	11	
≥ 0.5 mm.	0-5	10	
	6-10	11	
	11-15	12	
	16-20	13	
	>20	14	
ความยาว	ไม่เกินครึ่ง	1-10	1
รอยแตก	ของความยาว	11-20	2
	ในแนวตั้ง	>20	3
	เกินครึ่งของ	1-10	3
	ความยาวใน	11-20	4
	แนวตั้ง	>20	5
เพิ่มความยาว	1-10	5	
	ในแนวตั้ง	11-20	6
	>20	7	
ระยะห่างรอยต่อ	1-4	1	
ระหว่าง	2-4 cm.	5-10	2
โครงสร้าง	>10	3	
(ช่วง Transition Unit)	1-2	3	
4.1-7 cm.	3-8	4	
	>8	5	
	1-2	5	
	>7 cm.	3-8	6
	>8	7	
การเอียงตัวของ	0-2 องศา	-	1
โครงสร้าง	>2 องศา	-	3
ผนังกันตก	1-2	1	
	ร้าว	3-4	2
	>4	3	
	1	3	
	แตกและเคลื่อนตัว	2-4	4
	>4	5	
ระยะห่างรอยต่อ	1	1	
ถนนด้านบน	0-0.5 cm.	2-4	2
	>4	3	

ตารางที่ 3 (ต่อ) รายละเอียดการให้คะแนนสำหรับโครงสร้างทางขึ้นลง

ปัจจัยที่ใช้ในการประเมิน	จำนวน	คะแนนความสำคัญ	
ระยะห่างรอยต่อ	1	3	
ถนนด้านบน	0.51-1 cm.	2-4	4
	>4	5	
ระยะห่างรอยต่อ	1	5	
ถนนด้านบน	> 1 cm.	2-4	6
	>4	7	

ตารางที่ 4 รายละเอียดการให้คะแนนสำหรับบันไดทางขึ้นด้านๆ

ปัจจัยที่ใช้ในการประเมิน	คะแนนความสำคัญ	
ระยะห่างบริเวณ	0-3 cm.	1
รอยต่อ	3.1-6 cm.	2
	6.1-9 cm.	3
	9.1-12 cm.	4
	12.1-15 cm.	5
	>15 cm.	6
ค่าต่างระดับ	0-3 cm.	1
	>3 cm.	3
ความยาวบันได	0-10 m.	1
	>10 m.	2

เมื่อพิจารณาองค์ประกอบในการประเมินร่วมกับสภาพความเสียหายที่เกิดขึ้นจริงของแต่ละทางขึ้นลง ทำให้สามารถกำหนดช่วงคะแนนเพื่อแบ่งกลุ่มของสภาพความเสียหาย โดยคะแนนที่มีค่ามากหมายถึงโครงสร้างมีความเสียหายมาก ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ช่วงคะแนนสำหรับประเมินสภาพโครงสร้างทางขึ้นลงและบันไดทางขึ้นด้านๆ

ระดับ	ช่วงคะแนน	คำอธิบาย
1	0-49	โครงสร้างอยู่ในสภาพปกติ หรือมีความเสียหายเล็กน้อย
		และลักษณะความเสียหายไม่เด่นชัด
2	50-74	โครงสร้างเกิดความเสียหายไม่เกิน 3 ส่วนประกอบ และสามารถสังเกตเห็นได้ชัดเจน (มีคะแนนมากกว่า 75% ของคะแนนในส่วนย่อยนั้นๆ)
		โครงสร้างเกิดความเสียหายมากกว่า 3 ส่วนประกอบ และสามารถสังเกตเห็นได้ชัดเจน
3	75-100	หรือเกิดความเสียหายรุนแรงต่อโครงสร้าง

ผลจากการวิเคราะห์พบว่าทางขึ้นลงส่วนใหญ่มีผลการประเมินอยู่ในระดับที่ 2 (50-74 คะแนน) และบันไดทางขึ้นด้านๆ มีผลการประเมินอยู่ในระดับที่ 1 (0-49 คะแนน) โดยทางขึ้นลงที่มีความเสียหายมากที่สุดอยู่ในช่วง กม.29 ซึ่งมีความสอดคล้องกับความเสียหายที่เกิดขึ้นจริงที่ได้จากการสำรวจ

5. สรุป

การตรวจสอบและประเมินสภาพโครงสร้างทางพิเศษบูรพาวิถีที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการทรุดตัวต่างกันของฐานราก เป็นการนำเสนอลักษณะของโครงสร้างทางขึ้น-ลง และบันไดทางขึ้นด้านเก็บค่าผ่านทาง ลักษณะสภาพปัญหาที่เกิดขึ้น รวมถึงเสนอขั้นตอนในการตรวจสอบความเสียหายดังกล่าว และการประเมินผลโดยใช้หลักการดัชนีสภาพ เพื่อจัดลำดับความเสียหายที่เกิดขึ้น และหาแนวทางการซ่อมแซมที่เหมาะสม

จากผลการสำรวจพบว่ารอยแตกของผนังคอนกรีต ส่วนใหญ่เกิดบริเวณ Approach Structure (ช่วง 0-24 เมตร) โดยรอยแตกส่วนใหญ่มีความกว้างน้อยกว่า 0.2 มิลลิเมตร สำหรับรอยต่อระหว่างโครงสร้าง รอยต่อของผนังกันตก และระยะห่างของรอยต่อของถนนด้านบน ความเสียหายส่วนใหญ่มีความสัมพันธ์กัน คือพบมากช่วงระยะ 32-64 เมตร (บริเวณรอยต่อลำดับที่ 2-6) ซึ่งมีสาเหตุมาจากการทรุดตัวที่แตกต่างกันของโครงสร้างเนื่องมาจากความยาวเสาเข็มที่ต่างกันในช่วง Transition Unit สำหรับบันไดทางขึ้นด้านเก็บค่าผ่านทาง พบความเสียหายหลักคือการเคลื่อนตัวของบริเวณฐานรองรับบันได โดยระยะการเคลื่อนตัวส่วนใหญ่อยู่ระหว่าง 0-15 เซนติเมตร ซึ่งมีสาเหตุมาจากการทรุดตัวต่างกันของโครงสร้างเช่นเดียวกัน

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ กองบำรุงรักษาทาง การทางพิเศษแห่งประเทศไทย สำหรับการให้โอกาสในการทำการศึกษาวิจัย รวมถึงแฉง การทางสมุทรปราการ แฉงการทางฉะเชิงเทรา และการประสานครหลวง สาขาสมุทรปราการ ที่ช่วยอำนวยความสะดวกให้การดำเนินงานสำเร็จลุล่วงด้วยดี

7. บรรณานุกรม

- [1] การทางพิเศษแห่งประเทศไทย. 2543. แบบก่อสร้างทางพิเศษบูรพาวิถี. กระทรวงคมนาคม.
- [2] ACI Committee 224. 1972. Control of Cracking in Concrete Structures. ACI 224R-80 Revised 1984, ACI Journal. 717-753.