

การศึกษาผลกระทบของคาร์บอนชั้นที่มีผลต่อการทดสอบกำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีตแบบไม่ทำลายจาก กรณีศึกษา สะพานข้ามคลองในกรุงเทพฯ

Study on Effect of Carbonation to Non-Destructive Concrete Ultimate Compressive Strength Test by Case Study of Canal Bridges in Bangkok

อานนท์พร สุวรรณพลาย แหลมทอง เหล่าคงถาวร สุพจน์ ศรีนิล
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

เนื่องจากสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ได้ทำการสำรวจตรวจสอบความมั่นคงของโครงสร้างและการเสื่อมสภาพของสะพานคอนกรีตเสริมเหล็กจำนวน 3 สะพาน ในพื้นที่กรุงเทพฯ ได้แก่ สะพานผ่านฟ้าลีลาศ สะพานผ่านพิภพลีลา และสะพานพิทยเสถียร สะพานเหล่านี้เป็นโครงสร้างที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบัน และมีอายุการใช้งานไม่ต่ำกว่า 20 ปี โดยทำการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตด้วยวิธี Rebound Hammer Test (RHT) และวิธี Coring Test และทดสอบการเสื่อมสภาพด้วยวิธี Carbonation Depth Test ผลทดสอบเหล่านี้ถูกนำมาจัดหมวดหมู่แล้วทำการวิเคราะห์ห้ถึงผลกระทบของการแทรกซึมของคาร์บอนชั้น ที่มีผลต่อการทดสอบกำลังรับแรงอัดด้วยวิธีการทั้งสอง จากผลการวิเคราะห์พบว่าสะพานที่เปิดเผยต่อสภาพบรรยากาศที่เต็มไปด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จะมีการแทรกซึมของคาร์บอนชั้นลงไปในระดับที่ลึกมากถึง 50 มม. และมีผลทำให้เนื้อคอนกรีตที่บริเวณผิวมีความแข็งมากขึ้น ทำให้ค่ากำลังรับแรงอัดประลัยที่ทดสอบด้วยวิธี RHT มีค่ามากกว่า Coring Test และมีผลมากขึ้นเมื่อความลึกคาร์บอนชั้นมีค่าเพิ่มขึ้น

คำสำคัญ : รีบาวด์แฮมเมอร์, สะพาน, คาร์บอนชั้น, คอนกรีต, กำลังรับแรงอัดประลัย

Abstract

Due to the School of Civil Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang had investigated and tested stability and deterioration of 3 reinforced concrete bridges in Bangkok area, comprising of Phan Fa Lilat Bridge, Phan Phiphop Lila Bridge, Phithaya Sathian Bridge. These Bridges have been currently used for at least 20 years hence their concrete compressive strength value were determined by the Rebound Hammer Test (RHT) method , the Coring Test and the

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Carbonation Depth Test. These test results were classified and analyzed to investigate the effect of carbonation infiltration (Carbonation Depth) to two test methods of ultimate compressive strength. Results of the analysis showed that the bridge disclosed to atmosphere filled with carbon dioxide, the carbonation infiltrated (Carbonation Depth) into a depth up to 50 mm. and affected to increasing hardness of concrete surface. So it makes the compressive strength values tested by the RHT are more than Coring Test, especially, when increase of carbonation depth.

Keywords : Rebound Hammer Test (RHT), bridges, Carbonation, Concrete, Ultimate Compressive Strength

1. บทนำ

ในช่วงอายุการใช้งานของสะพานนั้น มีความเป็นไปได้ที่สภาพการใช้งานอาจเปลี่ยนแปลงหรือแตกต่างไปจากสภาวะหรือเงื่อนไขที่ใช้ในการออกแบบ เช่น กรณีที่น้ำหนักบรรทุกที่ใช้งานมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นกว่าที่ได้ออกแบบไว้ สะพานบางแห่ง มีการใช้งานมาเป็นเวลานานซึ่งโครงสร้างอาจเสื่อมสภาพตามระยะเวลาการใช้งาน หรือสภาพแวดล้อมกับปัจจัยข้างเคียงที่ได้ปรับเปลี่ยนไปก็เป็นปัจจัยในการใช้งานของสะพานแต่ละแห่งเช่นกัน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการทดสอบ ประเมินคุณสมบัติและค่ากำลังวัสดุในสภาวะปัจจุบัน เพื่อเป็นข้อมูลที่สำคัญสำหรับการตัดสินใจและกำหนดแนวทางหรือวิธีการแก้ไขปัญหานั้นที่เหมาะสม ทางกรุงเทพมหานคร จึงได้ทำการสำรวจตรวจสอบสภาพโครงสร้างสะพานข้ามคลองคอนกรีตเสริมเหล็กในกรุงเทพฯ จำนวน 3 สะพาน ในพื้นที่กรุงเทพฯ ได้แก่ สะพานผ่านฟ้าลีลาศ สะพานผ่านพิภพลีลา และสะพานพิทยเสถียร (ดังรูปที่ 1-3) เพื่อประเมินความสามารถการใช้งานประกอบการบูรณะซ่อมแซม เนื่องจากสะพานเหล่านี้มีอายุการใช้งานมากกว่า 20 ปีผู้วิจัยจึงได้เล็งเห็นความสำคัญของข้อมูลที่ได้จากการเก็บข้อมูลในสภาพการใช้งานจริงซึ่งเป็นโครงสร้างที่อยู่ภายใต้สภาพแวดล้อมที่รุนแรง(มีฝุ่นและควันทัน)และมีข้อมูลจำนวนมากนี้ เพื่อทำการศึกษาผลกระทบของการแทรกซึมของปฏิกิริยาคาร์บอนเนชั่น ที่มีผลต่อการทดสอบกำลังรับแรงอัดด้วยวิธี Rebound Hammer Test และ Coring Test

2. วิธีการศึกษา

มีรายละเอียดดังหัวข้อต่อไปนี้

2.1. ขอบเขตงานวิจัย

สะพานข้ามคลองในกรุงเทพมหานครที่ทำการศึกษานี้ มีจำนวน 3 สะพาน ได้แก่ สะพานผ่านฟ้าลีลาศ สะพานผ่านพิภพลีลา และสะพานพิทยเสถียร

2.2. การทดสอบกำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีต โดย Rebound Hammer Test (RHT)

การทดสอบโดยเครื่องมือรีบาวด์แฮมเมอร์ หรือ ชมิคท์แฮมเมอร์ (Schmidt Hammer, Swiss Hammer, Impact Hammer, Rebound Hammer) [1] ถูกพัฒนาขึ้นในปลายทศวรรษ 1940 โดยวิศวกรชาวสวิดซ์, Ernst Schmidt โดยการวัดความแข็งแกร่งของผิวหน้าคอนกรีต เพื่อใช้ประเมินกำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีต ข้อดีของเครื่องมือรีบาวด์แฮมเมอร์ที่เห็นได้ชัดเจน คือ เป็นวิธีที่สะดวกรวดเร็วและค่าใช้จ่ายต่ำ จึงทำให้เกิดความนิยมในการใช้เครื่องมือรีบาวด์แฮมเมอร์ ในการประเมินคอนกรีตเป็นอย่างมาก อย่างไรก็ตามวิธีการนี้มีข้อจำกัดและมีผลกระทบจากตัวแปรหลายประการ [2-6]

การทดสอบด้วยวิธีนี้จะทำตามข้อกำหนดมาตรฐาน American Society for Testing and Materials (ASTM) C 805 [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1: สะพานผ่านฟ้าลีลาศ



รูปที่ 4: แสดงการทดสอบ Rebound Hammer Test



รูปที่ 2: สะพานผ่านพิภพทูลเกล้าฯ

2.3. การทดสอบหาค่ากำลังรับแรงอัดประลัยคอนกรีตแบบ Core Drilling

การทดสอบเพื่อประเมินหาค่ากำลังอัดประลัยของคอนกรีต (Compressive Ultimate Strength) โดยวิธี Core Drilling เป็นการทดสอบคอนกรีตแบบกึ่งทำลายตามมาตรฐาน American Society for Testing and Materials (ASTM) C 42 [7] โดยเป็นการเจาะแท่งตัวอย่างคอนกรีตจากชิ้นส่วนของโครงสร้าง เพื่อนำมาทดสอบกำลังอัดประลัยของคอนกรีต และนำค่าที่ได้มาปรับ Correction Factor เพื่อจะได้เป็นกำลังรับแรงอัดประลัย (Compressive Ultimate Strength) ของคอนกรีต



รูปที่ 3: สะพานพิทยเสถียร



รูปที่ 5: แสดงการทดสอบ Coring Test

2.4. การทดสอบหาค่าการเกิดปฏิกิริยา Carbonation

เป็นขบวนการที่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ หรือ Acidic Gases อื่นๆ ในอากาศแทรกซึมเข้าไปในเนื้อคอนกรีตแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำปฏิกิริยากับ $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ใน Cement Paste และความชื้นแล้วมีผลทำให้สภาพความเป็นด่างของเนื้อคอนกรีต ($\text{Ph}>12$) ลดลงเป็นด่างอ่อนหรือเป็นกลาง ($\text{Ph}<8$) ขบวนการดังกล่าวจะเกิดขึ้นที่ผิวคอนกรีตก่อนแล้วค่อยๆ แทรกซึมเข้าไปจนถึงตำแหน่งของเหล็กเสริม หลังจากนั้น Passivity Film จะถูกทำลายแล้วการผุกร่อนของเหล็กเสริมก็จะเริ่มขึ้น

การตรวจวัดค่าคาร์บอนเนชั่นของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กเป็นไปตามทฤษฎีของ[8] ซึ่งสามารถตรวจสอบได้ง่ายโดยการพ่นสารละลาย Phenolphthalein ซึ่งจะเปลี่ยนสีตามค่าที่เปลี่ยนแปลงไปตามค่า pH หรืออาจเจาะเก็บผงเนื้อคอนกรีตที่ระยะความลึกต่างๆ มาทดสอบหาค่า pH-value ในห้องปฏิบัติการ

2.5. การทดสอบคุณสมบัติของสะพาน

ได้ทำการทดสอบหาค่า Ultimate Compressive Strength ของคอนกรีตแบบ Core Drilling ในโครงสร้างสะพานสำหรับ Beam, Cross Beam, Bracing และ Abutment โดยเลือกตำแหน่งที่สามารถเป็นตัวแทนได้ดีคือ คอนกรีตมีเนื้อดี ไม่มีโพรงหรือรูพรุน และไม่ทำให้โครงสร้างเดิมเกิดความเสียหาย โดยใช้เครื่อง Profometer แสกนหาตำแหน่งเหล็ก เพื่อให้เจาะไม่โดนเหล็กเสริมเสียหาย จากนั้นนำก้อนตัวอย่างที่เจาะมาทดสอบด้วยเครื่องทดสอบกำลังอัด UTM (Universal Testing Machine) การทดสอบหาค่า Ultimate Compressive Strength ของคอนกรีตโดย Rebound Hammer Test (RHT) ได้ทำการทดสอบในบริเวณเดียวกันกับที่ทำการทดสอบ Core Drilling

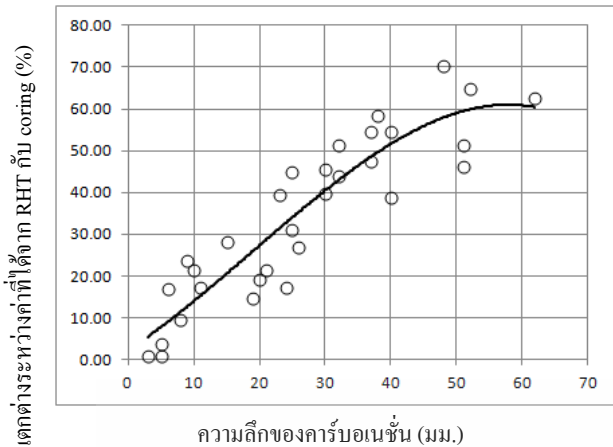
การทดสอบหาค่าการเสื่อมสภาพของคอนกรีตเนื่องจากปฏิกิริยา Carbonation ในโครงสร้างสะพาน ได้ทำการทดสอบในตำแหน่งใกล้เคียงกับตำแหน่งที่ทำการทดสอบ Rebound Hammer Test โดยทำการทดสอบทุกๆ ความลึก 0.5 ซม. จนถึงความลึก 7 ซม. หรือถึงระดับไม่พบผลจากปฏิกิริยา ซึ่งจะทำการทดสอบ 3 ครั้งต่อตำแหน่งทดสอบเพื่อนำค่ามาเฉลี่ยหาค่าความลึกของการเกิดคาร์บอนเนชั่น

3. ผลการทดสอบ

ผลทดสอบความลึกของการเกิดคาร์บอนเนชั่นที่มีผลกระทบต่อการประเมินกำลังรับแรงอัดประลัยของสะพานคอนกรีตด้วยวิธี RHT และ Coring Test สะพานคอนกรีตข้ามคลองของ 3 สะพาน แสดงดังตารางที่ 1 โดยเรียงตามค่าความลึกคาร์บอนเนชั่นที่ทดสอบได้จากค่ามากไปหาน้อย คอลัมน์สุดท้ายแสดงค่าความแตกต่างระหว่างกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ได้จากการทดสอบด้วย RHT และ Coring Test ในรูปของเปอร์เซ็นต์

4. วิเคราะห์ผล

จากผลทดสอบในตารางที่ 1 จะพบว่าผลทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ได้จากการทดสอบด้วยวิธี RHT มีค่ามากกว่าที่ได้จากการทดสอบด้วย Coring Test ค่าความลึกคาร์บอนเนชั่นที่ทดสอบได้มีค่ามากที่สุดเท่ากับ 62 มม. การแทรกซึมของคาร์บอนเนชั่นลงไปในระดับความลึกต่างๆ และมีผลทำให้เนื้อคอนกรีตบริเวณผิวหน้าแน่นยิ่งขึ้น และส่งผลให้ความแข็งแรงของผิวหน้าของคอนกรีตสูงขึ้นไปด้วย อย่างไรก็ตามปฏิกิริยานี้ไม่ได้เพิ่มกำลังอัดให้เนื้อคอนกรีตโดยภาพรวม ดังนั้นการประเมินกำลังอัดของคอนกรีตโดยวิธี Rebound Hammer Test จะพบว่ามีค่าที่สูงกว่าวิธี Coring Test เพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์สามารถนำค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างค่ากำลังรับแรงอัดประลัยที่ได้จากการทดสอบด้วยวิธี RHT และ Coring Test และ ความลึกของคาร์บอนเนชั่นจำนวน 31 ความสัมพันธ์ไปพล็อตกราฟได้ดังแสดงในรูปที่ 6 จากกราฟพบว่า คอนกรีตที่มีค่าความลึกของคาร์บอนเนชั่นเท่ากับศูนย์ ผลทดสอบที่ได้จาก RHT มีค่ามากกว่า Coring Test ประมาณ 5% แสดงให้เห็นว่ามีปัจจัยอื่นๆ ที่มีผลกระทบต่อผลทดสอบ RHT อยู่บ้าง เมื่อค่าความลึกของคาร์บอนเนชั่นมากขึ้น จะส่งผลต่อค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของผล RHT จากค่าที่ได้จาก Coring Test มากขึ้น นั่นคือค่าความลึกคาร์บอนเนชั่นที่มากขึ้นมีแนวโน้มที่ค่า RHT จะมีค่ามากกว่า Coring ยิ่งขึ้นไปอีก.



รูปที่ 6: แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความลึกของคาร์บอนชั้นกับเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างค่ากำลังรับแรงอัดประลัย

ดังจะเห็นได้จากจุดข้อมูลที่อยู่ใน (รูปที่ 6) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสารประกอบของแข็ง (CaCO_3) ที่ผิวคอนกรีตที่เกิดจากปฏิกิริยาคาร์บอนชั้นมีความหนาแน่นมากขึ้นเมื่อคาร์บอนชั้นซึมแพร่เข้าไปในเนื้อคอนกรีตลึกมากขึ้น จากกราฟพบว่าค่า RHT เพิ่มขึ้น ประมาณ 1.33% ต่อความลึกคาร์บอนชั้นที่เพิ่มขึ้นทุก 1 มม. จนถึงระยะความลึก 30 มม. หลังจากนั้นเส้นกราฟจะเริ่มมีความชันน้อยลง ทั้งนี้เนื่องจากค่าที่อ่านได้จาก RHT เป็นการอ่านค่าที่ผิวระยะประมาณ 2-3 ซม.

5. สรุปผล

จากกรณีศึกษาการทดสอบในสะพานคอนกรีตข้ามคลองสามารถสรุปได้ดังนี้

- 1) ผลทดสอบที่ได้จาก RHT มีค่ามากกว่าที่ได้จาก Coring Test โดยขึ้นกับปัจจัยหลายประการ เช่น ความแข็งแรงของเม็ดหิน ความลึกของคาร์บอนชั้นที่ผิวคอนกรีต เป็นต้น
- 2) ความลึกของการเกิดคาร์บอนชั้นมีผลทำให้กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ทดสอบด้วย RHT มีค่ามากกว่า Coring Test ประมาณ 1.33% ต่อความลึกคาร์บอนชั้นที่เพิ่มขึ้นทุก 1 มม. (ที่ความลึก 0 - 30 มม.)
- 3) คอนกรีตของสะพานข้ามคลองในกรณีศึกษาส่วนใหญ่ได้รับผลกระทบจากการแพร่ของคาร์บอนชั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] D.C.K. Tay and C.T.Tam, "In situ investigation of the strength of deteriorated concrete", Construction and Building Materials, vol. 10, pp. 17-26, 1996.
- [2] J.H. Bungey and S.G. Millard, "Testing of Concrete in Structures", Third edition, Blackie Academic & Professional, Chapman & Hall, 1996.
- [3] S. Poolsawat and K. Maleesee, "The effect of Stirrup Tie and Vertical Reinforcement Steel with the Compressive Strength Derived from Nondestructive Test Method by Schmidt Hammer Test", Proceedings of Annual Concrete Conference 6, Phetchaburi, Thailand, October 20-22, 2010.
- [4] British Standards Committee, "BS 1881: Part 202 Recommendations for Surface Hardness Testing by Rebound Hammer", British Standards Institution, London, 1986.
- [5] กรมโยธาธิการและผังเมือง, "มาตรฐานการตรวจสอบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลาย วิธีหาค่าความ แข็งแรงของคอนกรีตด้วยค้อนกระทบ (Rebound Hammer), กรุงเทพฯ, กรมโยธาธิการและผังเมือง, 2551
- [6] ASTM C 805/C805M-08, Standard Test Method for Rebound Number of Hardened Concrete", Annual Book of ASTM Standards
- [7] ASTM C 42/C42M-08, Standard Test Method for Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete", Annual Book of ASTM Standards
- [8] RILEM Committee TC 56, 1998, "Measurement of hardened concrete carbonation depth", Draft RILEM recommendation CPC-18, Material and Structure, Vol.21 (126), pp. 453.

ตารางที่ 1 ผลทดสอบความลึกของคาร์บอนชั้นเทียบกับกำลังรับแรงอัดด้วยวิธี RHT และ Coring

No.	Bridge Name	Structure	Element	Carbonation Depth(mm.)	Compressive Strength(kg/cm ²)		Error (%)
					RHT	Coring Test	
1	สะพานทวยเสถียร	Beam	B205	62	340	208.99	62.69
2	สะพานทวยเสถียร	Cross Beam	CB201	52	308	186.89	64.80
3	สะพานผ่านทิวทูลีลา	Abutment (สท.1)	ABM3 (line 2)	51	352	232.64	51.31
4	สะพานผ่านทิวทูลีลา	Abutment (สท.1)	ABM4 (line 2)	51	340	232.64	46.15
5	สะพานทวยเสถียร	Cross Beam	CB306	48	378	221.87	70.37
6	สะพานผ่านทิวทูลีลา	Beam (สท.1)	B1	40	319	206.57	54.43
7	สะพานผ่านทิวทูลีลา	Abutment (สท.5)	ABM3 (line 2)	40	393	283.05	38.84
8	สะพานทวยเสถียร	Cross Beam	CB206	38	300	189.34	58.45
9	สะพานผ่านทิวทูลีลา	Abutment (สท.4)	ABM3 (line 2)	37	449	290.65	54.48
10	สะพานผ่านทิวทูลีลา	Abutment (สท.4)	ABM2 (line 2)	37	429	290.65	47.60
11	สะพานผ่านทิวทูลีลา	Abutment (สท.4)	ABM1 (line 1)	32	319	210.64	51.44
12	สะพานผ่านทิวทูลีลา	Beam (สท.5)	B5	32	401	278.78	43.84
13	สะพานผ่านทิวทูลีลา	Abutment (สท.2)	ABM1 (line 1)	30	402	287.93	39.62
14	สะพานทวยเสถียร	Beam	B302	30	348	238.99	45.61
15	สะพานทวยเสถียร	Beam	B102	26	328	258.66	26.81
16	สะพานผ่านทิวทูลีลา	Abutment (สท.2)	ABM3 (line 2)	25	352	243.18	44.75
17	สะพานผ่านทิวทูลีลา	Abutment (สท.2)	ABM2 (line 2)	25	319	243.18	31.18
18	สะพานผ่านทิวทูลีลา	Cross Beam (สท.7)	CB303	24	289	246.53	17.23
19	สะพานผ่านทิวทูลีลา	Cross Beam (สท.1)	CB204	23	319	228.66	39.51
20	สะพานผ่านทิวทูลีลา	Cross Beam (สท.7)	CB204	21	358	294.63	21.51
21	สะพานผ่านทิวทูลีลา	Cross Beam (สท.4)	CB201	20	481	403.52	19.20
22	สะพานผ่านทิวทูลีลา	Cross Beam (สท.1)	CB302	19	313	273.19	14.57
23	สะพานผ่านทิวทูลีลา	Cross Beam (สท.2)	CB304	15	283	220.61	28.28
24	สะพานผ่านทิวทูลีลา	Bracing (สท.4)	BR105	11	373	318.1	17.26
25	สะพานผ่านทิวทูลีลา	Cross Beam (สท.5)	CB202	10	369	303.8	21.46
26	สะพานผ่านทิวทูลีลา	Cross Beam (สท.3)	CB203	9	315	254.46	23.79
27	สะพานผ่านทิวทูลีลา	Bracing (สท.2)	BR101	8	331	302.52	9.41
28	สะพานผ่านทิวทูลีลา	Cross Beam (สท.6)	CB301	6	313	267.56	16.98
29	สะพานผ่านทิวทูลีลา	Bracing (สท.5)	BR101	5	488	470.12	3.80
30	สะพานผ่านทิวทูลีลา	Bracing (สท.3)	BR101	5	315	312.04	0.95
31	สะพานผ่านทิวทูลีลา	Bracing (สท.6)	BR101	3	441	438	0.68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้