บทที่ 3

การทดสอบและผลการทดสอบ

รายละเอียดในการทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรมที่มีความสำคัญต่อการใช้งานของคอนแขวนเคเบิลสำหรับงานวิจัยนี้ ได้แบ่งรายการทดสอบที่สำคัญ คือ การทดสอบภายใต้น้ำหนักบรรทุกสถิตย์ การทดสอบการกัดกร่อนสภาวะเร่งทดสอบ และ การทดสอบความล้ากรณีแรงกระทำเป็นวัฏจักร โดยคอนแขวนเคเบิลที่ใช้ทดสอบมีทั้งหมด 3 ประเภท ได้แก่ คอนไม้แขวนเคเบิล คอนเหล็กรูปตัวซี และ คอนกรีตอัดแรงสปัน

3.1 วัสดุทดสอบ

3.1.1 คอนไม้แขวนเคเบิล

คอนไม้แขวนเคเบิล (Wood crossarm) จัดเป็นวัสดุเดิมที่ใช้ในการติดตั้งงานข่ายสายเคเบิล มักนิยมใช้ไม้เนื้อแข็งในการผลิตเป็นคอนไม้แขวนเคเบิล ได้แก่ ไม้แดง ไม้เต็ง ไม้รัง และไม้สัก ไม้จะต้องมีผิวเรียบทุกระนาบและห้ามมีตำหนิของไม้ เช่น ตาไม้ การแตกของไม้ทางยาวที่ขวางกับวงปี การแตกของไม้ทางยาวที่เกิดระหว่างเส้นวงปี รอยแตกขวางกับเสี้ยนไม้ การแตกตามยาวของไม้ การโก่งงอของไม้ และ รูเล็ก ๆ ที่เป็นแหล่งอาศัยของแมลง โดยมีขนาดหน้าตัด 10 x 10 เซนติเมตร และยาว 150 เซนติเมตร มีการเจาะรูในคอนไม้ห่างจากปลายคอนไม้แขวนเคเบิล 10 เซนติเมตร ที่ปลายทั้งสองข้างเพื่อใส่โบลท์ในการยึดกับสายเคเบิล ลักษณะและรายละเอียดของคอนไม้แขวนเคเบิลสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.1ก

3.1.2 คอนเหล็กรูปตัวซี

คอนเหล็กรูปตัวซี (Channel steel crossarm) จัดเป็นวัสดุทดสอบประเภทหนึ่งที่จะนำมาใช้ทดแทนคอนไม้แขวนเคเบิล โดยมีขนาดหน้าตัด 100 x 50 มิลลิเมตร หนา 5 มิลลิเมตร และ ยาว 150 เซนติเมตร เป็นเหล็กโครงสร้างรูปพรรณประเภทเหล็กรางน้ำหรือเหล็กรูปตัวซีชนิดรีดร้อน โดยมีกำลังครากของเหล็ก 3,500 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และ กำลังดึงสูงสุดของเหล็ก 4,700 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร การชุบสังกะสีบนผิวเหล็กเป็นวิธีการจุ่มร้อนกัลวาไนซ์ (Hot dip galvanized) ค่าเฉลี่ยของความหนาของผิวชุบสังกะสีต้องไม่น้อยกว่า 120 ไมโครเมตร ลักษณะและรายละเอียดของคอนเหล็กรูปตัวซีสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.1ข

3.1.3 คอนกรีตอัดแรงสปัน

คอนกรีตอัดแรงสปัน (Spun prestressed concrete crossarm) เป็นวัสดุอีกประเภทหนึ่งที่จะนำมาใช้ทดแทนคอนไม้แขวนเคเบิล โดยมีขนาดหน้าตัด 100 x 100 มิลลิเมตร รูกลวงภายใน 40 มิลลิเมตร และ ยาว 160 เซนติเมตร ใช้เหล็กแรงดึงสูงขนาด 4 มิลลิเมตร จำนวน 12 เส้น มีระยะหุ้มของคอนกรีต 14 มิลลิเมตร กำลังอัดประลัยของคอนกรีตโดยทดสอบจากแท่งคอนกรีตทรงกระบอกมาตรฐาน ที่อายุ 28 วัน มีค่าไม่ต่ำกว่า 500 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และ กำลังดึงประลัยของเหล็กแรงดึงสูงมีค่าอย่างน้อยที่สุด 18,000 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ลักษณะและรายละเอียดของคอนกรีตอัดแรงสปันสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.1ค

3.2 รูปแบบการทดสอบ

3.2.1 การทดสอบภายใต้น้ำหนักบรรทุกสถิตย์

ในการกำหนดรูปแบบการทดสอบคอนแขวนเคเบิลทางด้านกำลังรับแรงดัดจำเป็นต้องทดสอบคอนแขวนเคเบิลให้มีพฤติกรรมใกล้เคียงกับการใช้งานจริง ๆ ดังแสดงดังรูปที่ 3.2 โดยที่การติดตั้งคอนแขวนเคเบิลกับเสาไฟฟ้าจะมีน้ำหนักของสายเคเบิลเป็นน้ำหนักบรรทุกกระทำในแนวดิ่ง เหล็กประกับจะทำหน้าที่ให้คอนแขวนเคเบิลเกิดความสมดุลของน้ำหนักบรรทุกที่กระทำเมื่อน้ำหนักของสายเคเบิลมีค่าไม่เท่ากันทั้งสองข้างและโบลท์ที่ยึดคอนแขวนเคเบิลกับเสาไฟฟ้าจะทำหน้าที่เป็นจุดรองรับที่กึ่งกลางคอนแขวนเคเบิล แต่ในการจำลองสภาพการทดสอบเราจะไม่คำนึงถึงเหล็กประกับที่ยึดติดกับคอนแขวนเคเบิลเพราะเหล็กประกับที่ใช้อยู่ในปัจจุบันมีอัตราส่วนความชะลูดค่อนข้างสูงดังนั้นโอกาสที่เหล็กประกับจะเกิดการโก่งเดาะจึงเป็นไปได้มาก เมื่อคอนแขวนเคเบิลมีน้ำหนักบรรทุกเนื่องจากน้ำหนักของสายเคเบิลจะสามารถเขียนเส้นความแอ่นตัวของคอนแขวนเคเบิลได้ดังแสดงได้ดังรูปที่ 3.3 เมื่อพิจารณารูปร่างความแอ่นตัวของคอนแขวนเคเบิลจะมีลักษณะเป็นโค้งคว่ำภายใต้น้ำหนักบรรทุกของสายเคเบิลในทำนองเดียวกันถ้าเราพลิกคอนแขวนเคเบิลหงายขึ้นรูปร่างความแอ่นตัวของคอนแขวนเคเบิลจะเป็นลักษณะโค้งหงาย ดังแสดงได้ดังรูปที่ 3.4 โดยที่น้ำหนักบรรทุกของสายเคเบิลจะกระทำที่จุดรองรับปลายทั้งสองข้างของคอนแขวนเคเบิลโดยจุดรองรับจะกำหนดเป็นประเภทของ Roller support เนื่องจากสายสะพานที่ยึดติดกับโบลท์ยึดแคลมป์สามารถเคลื่อนที่ไปทางด้านข้างได้ทั้งสองทิศทางอย่างอิสระและที่กึ่งกลางของคอนแขวนเคเบิลจะกำหนดเป็นจุดรองรับของแรงกระทำเนื่องจากน้ำหนักของสายเคเบิล

เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบเป็นเครื่องทดสอบ Servopulser ควบคุมการทำงานด้วยระบบไฮโดรลิคที่สามารถให้กำลังรับแรงดึงและแรงอัดได้สูงสุด 20 ตัน รวมทั้งระยะขึ้นลงของลูกสูบ $\pm$ 2.5 เซนติเมตร ในการทดสอบจะควบคุมการทำงานด้วยเครื่อง Controller 4825 โดยตั้งอัตราการเคลื่อนที่ของฐานรองรับไว้ 3 มิลลิเมตรต่อนาที ผ่านคานเหล็กรูปพรรณที่ออกแบบและเตรียมไว้เป็นพิเศษสำหรับการทดสอบเป็นคานเหล็กรูปพรรณชนิด Wide flange shap ขนาด WF 100 x 100 x 21.90 สามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้สูงสุด 10 ตัน ที่จุดรองรับของตัวอย่างมีการทำจุดรองรับเป็นประเภท Roller support เมื่อทำการทดสอบปลายทั้งสองข้างของคอนแขวนเคเบิลสามารถเคลื่อนที่ได้อิสระ ส่วนหัวกดที่เป็นจุดรองรับที่กึ่งกลางคอนแขวนเคเบิลก็จะมีการออกแบบไว้สำหรับคอนแขวนเคเบิลที่มีหน้าตัดสมมาตรและไม่สมมาตร ถ้าคอนแขวนเคเบิลที่มีหน้าตัดสมมาตรหัวกดที่ทดสอบจะใช้แท่ง Roller และ มีแผ่นเหล็กขนาด 6 x 15 x 2 เซนติเมตร สอดไว้ทางด้านล่างของแท่ง Roller เพื่อให้น้ำหนักบรรทุกจากหัวกดลงคอนแขวนเคเบิลสามารถกระจายออกทางข้างได้ ส่วนหน้าตัดของคอนแขวนเคเบิลที่ไม่สมมาตร เช่น คอนเหล็กรูปตัวซี จะต้องออกแบบหัวกดให้เหมาะสมกับการใช้งานโดยกำหนดความกว้างให้มีขนาดเท่ากับความกว้างของเสาไฟฟ้าประมาณ 20 เซนติเมตร ซึ่งหัวกดที่ใช้ทดสอบคอนแขวนเคเบิลสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.5

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดค่าความแอ่นตัวของคอนแขวนเคเบิลจะใช้อุปกรณ์ที่ชื่อว่า LVDT (Linear variable differential transformer) เป็นอุปกรณ์ระบบไฟฟ้าที่ให้ค่าความละเอียดถึง 0.0001 มิลลิเมตร ซึ่งในการทำงานต้องใช้ความต่างศักย์ไฟฟ้าจากกระแสตรงในการจ่ายไฟให้กับ LVDT 6-24 โวลต์ แต่ในการทดสอบจะใช้หม้อแปลงไฟฟ้าแปลงกระแสไฟฟ้าจากกระแสสลับที่มาจากแหล่งจ่ายไฟให้เป็นกระแสตรงที่ให้ค่าแรงดันไฟฟ้าคงที่ 10 โวลต์ แล้วจึงทำการต่อกระแสตรงเข้าไปในสายไฟนำเข้าของ LVDT และวัดสัญญาณไฟฟ้าที่สายไฟส่งออกของ LVDT โดยสัญญาณจะส่งออกเป็นความต่างศักย์ไฟฟ้าเหมือนกันกับสายไฟฟ้านำเข้า ก่อนจะนำ LVDT ไปใช้ในงานทดสอบหาค่าความแอ่นตัวหรือค่าการเคลื่อนที่ของชิ้นงานจำเป็นต้องทำการปรับแก้ (Calibration) อุปกรณ์ทดสอบ LVDT ก่อน ทั้งนี้เพื่อให้ข้อมูลที่อ่านออกมามีความถูกต้องมากยิ่งขึ้นโดยทำการปรับแก้กับแท่งโลหะขนาดมาตรฐาน 5 มิลลิเมตร 10 มิลลิเมตร 15 มิลลิเมตร 20 มิลลิเมตร และ 25 มิลลิเมตร ตามลำดับ ซึ่งสัญญาณความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ส่งออกมาก็จะมีค่าขนาดต่าง ๆ กันตามขนาดความสูงของแท่งโลหะขนาดมาตรฐาน โดยความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเคลื่อนที่และความต่างศักย์ไฟฟ้าของ LVDT สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.6 ขณะที่การวัดค่าน้ำหนักบรรทุกการทดสอบของคอนแขวนเคเบิลจะอ่านสัญญาณการส่งออกจากเครื่องทดสอบ Servopulser ซึ่งสัญญาณที่ส่งออกมาจะเป็นค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่าง –5 ถึง 5 โวลต์ ที่จะให้ค่าน้ำหนักบรรทุกสูงสุด –20,000 กิโลกรัม ถึง 20,000 กิโลกรัม ตามลำดับ

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูลการทดสอบประกอบด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลที่มีความจุของ Hard disk 1.7 GB. ซึ่งทำการติดตั้งอุปกรณ์การเก็บข้อมูล Daq Board/216 A และ Software DASYLab3 ไว้ภายในตัวเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล โดย Daq Board/216A จะรับสัญญาณการส่งออกของเครื่องทดสอบ Servopulser และ สัญญาณการส่งออกของ LVDT ซึ่งสัญญาณทั้งสองจะถูกแปลงระบบข้อมูลจาก Analog เป็นระบบ Digital โดยข้อมูลที่ถูกแปลงสัญญาออกมาจะแสดงผลผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์เป็นค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าและค่าความต่างศักย์ไฟฟ้านี้จะถูกนำมาคูณกับค่าสัมประสิทธิ์การปรับแก้ในแต่ละค่า เพื่อให้ข้อมูลที่ได้แสดงผลผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์และบันทึกข้อมูลทั้งหมดลงสู่ฮาร์ดดิสก์ โดยข้อมูลที่แสดงผลและทำบันทึกจะเป็นน้ำหนักบรรทุกและการเคลื่อนที่ของตัวอย่างการทดสอบ

คอนแขวนเดเบิลที่ใช้ในการทดสอบภายใต้น้ำหนักบรรทุกสถิตย์จะทดสอบประเภทละ 30 ตัวอย่าง เพื่อต้องการให้ผลการทดสอบมีการกระจายข้อมูลลักษณะเป็นเส้นโค้งปกติ โดยที่คอนแขวนเดเบิลแต่ละประเภทจะมีการกำหนดสัญลักษณ์การทดสอบไว้ต่าง ๆ ดังนี้

SW1 คือ Static load of wood ตัวอย่างที่ 1
SC1 คือ Static load of concrete spun ตัวอย่างที่ 1
SS1 คือ Static load of steel ตัวอย่างที่ 1
SS1M คือ Static load of minor steel ตัวอย่างที่ 1

3.2.2 การทดสอบการกัดกร่อนในสภาวะเร่งทดสอบ

การทดสอบการกัดกร่อนในสภาวะเร่งการทดสอบแบบ Salt spay test เป็นการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM B117-95 ซึ่งเป็นการจำลองสภาพแวดล้อมที่มีบรรยากาศชายทะเล เพื่อใช้หาความต้านทานการกัดกร่อนของโลหะหรือโลหะผิวชุบในตู้ทดสอบ Chamber ในการทดสอบการกัดกร่อนในสภาวะเร่งการทดสอบนี้เราไม่สามารถทำนายหรือประเมินผลอัตราการกัดกร่อนของโลหะที่ยาวนานได้แต่ใช้ทดสอบเพื่อเปรียบเทียบความต้านทานการกัดกร่อนของโลหะหรือโลหะผิวชุบต่างชนิดกัน ดังนั้นในการทำนายหรือประเมินผลเพื่อหาอัตราการกัดกร่อนของโลหะที่เกิดขึ้นจริงจะต้องทดสอบในสถานที่ต่าง ๆ กันที่ใช้ช่วงระยะเวลาการทดสอบที่ยาวนาน ในการศึกษาคุณสมบัติความต้านทานการกัดกร่อนของคลอไรด์ที่กระทำต่อคอนแขวนเดเบิลแต่ละประเภทนั้นถ้านำคอนแขวนเดเบิลในแต่ละประเภทไปทดสอบสภาวะการใช้งานจริงจะต้องใช้เวลาในการทดสอบและการประเมินผลการทดสอบเป็นระยะเวลานานมาก ดังนั้นเพื่อให้ได้ผลการทดสอบที่รวดเร็วจึงจำเป็นต้องจำลองสภาพการทดสอบด้วยการทดสอบการกัดกร่อนแบบสภาวะเร่งทดสอบ (Accelerated corrosion test) โดยการ

ทดสอบนี้จะใช้เครื่องทดสอบ Salt spay test โดยการนำคอนแชวนเดเบิลแต่ประเภทไปวางในตำแหน่งที่รับการฟ่นของละอองสารละลายการกัดกร่อน (Corrosion solution) โดยตรง ซึ่งมักนิยมจะใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์ 5 เปอร์เซ็นต์ ตามมาตรฐาน ASTM B117-95 ที่เป็นการจำลองสภาพแวดล้อมที่เป็นบรรยากาศชายทะเล

เตรียมคอนแชวนเดเบิลทั้ง 3 ประเภท ได้แก่ คอนไม้แชวนเดเบิล คอนเหล็กรูปตัวซี และ คอนเกรียดอัดแรงสปัน อย่างละ 2 ตัวอย่าง มาทำการทดสอบลงในเครื่องทดสอบ Salt spay test ซึ่งก่อนทำการทดสอบได้นำคอนแชวนเดเบิลแต่ละประเภทมาทำทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกใช้งานอย่างละหนึ่งตัวอย่าง เพื่อต้องการให้ผิวด้านล่างของคอนแชวนเดเบิลบางประเภทเกิดรอยร้าว โดยที่น้ำเกลือสามารถซึมผ่านเข้าไปในช่องว่างรอยร้าวของคอนแชวนเดเบิลที่เกิดขึ้น เช่น การแตกร้าวของผิวชุบสังกะสีบนคอนเหล็กรูปตัวซีหรือการแตกร้าวที่ผิวด้านล่างของคอนเกรียดอัดแรงสปันเมื่อได้รับน้ำหนักบรรทุกใช้งานของสายเดเบิล จากตารางที่ 2.9 จะให้ค่าน้ำหนักบรรทุกใช้งานของสายเดเบิลที่กระทำผ่านกึ่งกลางคอนแชวนเดเบิลมีค่าเท่ากับ 2x214 = 428 กิโลกรัม หรือ ประมาณ 500 กิโลกรัม

การกำหนดสัญลักษณ์ของคอนแชวนเดเบิลในแต่ละประเภทที่ใช้ในการทดสอบการกัดกร่อนแบบเร่งทดสอบ สามารถกำหนดรูปแบบต่าง ๆ ได้ดังนี้

SSTW - L คือ Salt spay test of wood – Load
SSTW - UL คือ Salt spay test of wood – Unload
SSTS - L คือ Salt spay test of steel – Load
SSTS – UL คือ Salt spay test of steel – Unload
SSTC - L คือ Salt spay test of concrete spun – Load
SSTC - UL คือ Salt spay test of concrete spun – Unload

สำหรับอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการทดสอบการกัดกร่อนในสภาวะเร่งการทดสอบแบบ Salt spay test สำหรับคอนแชวนเดเบิลในแต่ละประเภท มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. เครื่องทดสอบการกัดกร่อนในสภาวะเร่งการทดสอบชนิด Q – FOG Corrosion Chamber
2. โซเดียมคลอไรด์ NaCl บริสุทธิ์ 99.5 เปอร์เซ็นต์
3. น้ำกลั่นที่ผลิตตามมาตรฐาน ASTM D1193
4. เครื่องตรวจสอบหาค่า pH ของสารละลายด้วยเครื่อง Glass pH – sensing electrode

5. สารละลายปรับค่า pH ได้แก่ สารละลายกรดอะซีติกและสารละลายเบสโซเดียมไฮดรอกไซด์
6. เครื่องทดสอบหาค่าความต่วงจำเพาะ
7. ปีกเกอร์ กระบอกตวงและ กรวยแก้วขนาดพื้นที่หน้าตัด 80 ตารางเซนติเมตร สำหรับเก็บละอองของน้ำเกลือในตู้ทดสอบ Chamber

อุปกรณ์ต่าง ๆ ของการทดสอบสามารถแสดงได้ในรูปที่ 3.7

3.2.3 การทดสอบความล้าภายใต้แรงกระทำเป็นวัฏจักร

การทดสอบความล้าของคอนแขวนเคเบิลในแต่ละประเภทที่ทดสอบภายใต้น้ำหนักบรรทุกกระทำซ้ำจะมีรูปแบบการทดสอบลักษณะเช่นเดียวกับการทดสอบภายใต้น้ำหนักบรรทุกสถิตย์แต่แตกต่างกันที่น้ำหนักบรรทุกที่กระทำเป็นน้ำหนักบรรทุกวัฏจักรโดยคำนึงถึงผลการกระทำของแรงลมและน้ำหนักของเคเบิลร่วมกัน การทดสอบความล้าของคอนแขวนเคเบิลในแต่ละประเภทนี้จะทำการทดสอบที่น้ำหนักบรรทุกกระทำซ้ำประมาณ 0 ถึง 1,000 กิโลกรัม โดยน้ำหนักจะกระทำผ่านกึ่งกลางคอนแขวนเคเบิล ในการทดสอบครั้งนี้จะใช้หัวกดพิเศษที่มีแผ่นเหล็กกว้าง 20 เซนติเมตร ที่สามารถเลื่อนเข้าออกได้แล้วทำการใส่โบลท์เข้าไปที่กึ่งกลางแผ่นเหล็กและคอนแขวนเคเบิลหลังจากนั้นทำการขันโบลท์ที่ใส่ไว้ให้แน่น เพื่อขณะทำการทดสอบความล้าภายใต้น้ำหนักบรรทุกกระทำซ้ำนี้จะตรวจสอบลักษณะความเสียหายของโบลท์ที่กึ่งกลางคอนแขวนเคเบิลด้วย ในขณะเดียวกันก็ทำการใส่โบลท์ที่ปลายทั้งสองข้างคอนแขวนเคเบิลเพื่อตรวจสอบแรงกดที่กระทำผ่านปลายทั้งสองข้างของคอนแขวนเคเบิล สำหรับการติดตั้ง LVDT จะติดตั้งไว้ที่กึ่งกลางและที่ระยะหนึ่งส่วนสามของช่วงความยาวของคอนแขวนเคเบิลทั้งสองฝั่งตรงกันข้ามกันเพื่อที่จะหาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกระทำซ้ำและค่าความแย่นตัว โดยลักษณะรูปแบบการทดสอบน้ำหนักบรรทุกกระทำซ้ำของคอนแขวนเคเบิลในแต่ละประเภทสามารถแสดงได้ในรูปที่ 3.8

คอนแขวนเคเบิลที่ใช้ในการทดสอบความล้าภายใต้น้ำหนักบรรทุกกระทำซ้ำนี้จะทำการทดสอบอย่างละ 1 ตัวอย่าง โดยสัญลักษณ์ของคอนแขวนเคเบิลในแต่ละประเภทที่ใช้ในการทดสอบน้ำหนักบรรทุกกระทำซ้ำจะกำหนดรูปแบบต่าง ๆ ไว้ดังนี้

RW1 คือ Repeated load of wood ตัวอย่างที่ 1
RS1 คือ Repeated load of steel ตัวอย่างที่ 1
RC2 คือ Repeated load of concrete spun ตัวอย่างที่ 2

3.3 วิธีการทดสอบ

3.3.1 การทดสอบภายใต้น้ำหนักบรรทุกสถิตย์

การทดสอบคอนแขวนเคเบิลในแต่ละประเภทที่ทดสอบภายใต้น้ำหนักบรรทุกสถิตย์ตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM D194-94 จะเป็นการทดสอบคอนแขวนเคเบิลให้มีพฤติกรรมใกล้เคียงกับการใช้งานจริง โดยที่ก่อนทำการทดสอบจะตั้งอัตราเร็วน้ำหนักบรรทุกการทดสอบเท่ากับ 3 มิลลิเมตรต่อนาที ที่สามารถหาได้จากสมการข้างล่างนี้

$$N = Za(3L-4a)/3h \qquad (3.1)$$

โดยที่ N คือ อัตราเร็วน้ำหนักบรรทุกการทดสอบ หน่วย มิลลิเมตรต่อนาที
Z คือ อัตราเร็วคงที่ของความเครียดภายนอกมีค่าเท่ากับ 0.0010 มิลลิเมตรต่อมิลลิเมตรต่อนาที
a คือ ระยะห่างระหว่างจุดรองรับกับน้ำหนักบรรทุก หน่วย มิลลิเมตร
h คือ ความสูงของคอนแขวนเคเบิล หน่วย มิลลิเมตร

การทดสอบคอนแขวนเคเบิลในแต่ละประเภทจะนำโบลท์ล็อคแคลมป์มาไว้ใส่ที่ปลายทั้งสองข้างของคอนแขวนเคเบิลเพื่อจะตรวจสอบความทนต่อแรงกดที่จุดรองรับปลายทั้งสองข้างของคอนแขวนเคเบิลขณะทำการทดสอบ จากนั้นนำคอนแขวนเคเบิลมาไว้บนคานเหล็กรูปพรรณที่มีจุดรองรับแบบ Roller support ทั้งสองข้าง โดยนำคอนแขวนเคเบิลหงายขึ้นเพื่อให้โบลท์สัมผัสกับแผ่นเหล็ก Roller support นำหัวกดที่เป็นจุดรองรับกึ่งกลางมาสัมผัสกับชิ้นงานคอนแขวนเคเบิลถ้าหน้าตัดของคอนแขวนเคเบิลสมมาตรควรนำแผ่นเหล็กมาวางข้างล่างแท่ง Roller เพื่อป้องกันไม่ให้ชิ้นงานของคอนแขวนเคเบิลเกิดการยุบตัวขณะทำการทดสอบแต่ถ้าหน้าตัดของคอนแขวนเคเบิลไม่สมมาตรควรใช้หัวกดที่ทำมาพิเศษเฉพาะงานแทนดังที่ได้กล่าวไว้ข้างต้นแล้ว ต่อจากนั้นทำการติดตั้ง LVDT ที่กึ่งกลางชิ้นงานของคอนแขวนเคเบิลและที่ระยะหนึ่งส่วนสามของความยาวช่วงคานเพื่อทำการวัดค่าความแอ่นตัวของชิ้นงานโดยทำการติดตั้งไว้สองฝั่งตรงกันข้ามกันแล้วจึงหาค่าเฉลี่ยของค่าความแอ่นตัว หลังจากติดตั้งเครื่องมือการทดสอบพร้อมทั้งต่อวงจรค่าความแอ่นตัวและน้ำหนักบรรทุกเข้ากับโปรแกรม DASYLab3 เรียบร้อย จึงทำการ RUN โปรแกรม DASYLab3 และ เครื่องทดสอบ Servopulser พร้อมกัน ซึ่งข้อมูลจะถูกเก็บบันทึกไว้ทุก ๆ 1 วินาที โดยจะเก็บข้อมูลที่เป็นน้ำหนักบรรทุกและค่าความแอ่นตัวไว้ที่ฮาร์ดดิสก์ หลังจากนั้นจึงทำการทดสอบจนกระทั่งตัวอย่างการทดสอบของ

คอนแขวนเคเบิลเกิดการวิบัติ รูปที่ 3.9 จะแสดงลักษณะการทดสอบของคอนแขวนเคเบิลทุกประเภทก่อนเริ่มทำการทดสอบ

3.3.2 การทดสอบการกัดกร่อนในสภาวะเร่งทดสอบ

การทดสอบการกัดกร่อนในสภาวะเร่งทดสอบเป็นการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM B117-95 ที่มีขั้นตอนต่าง ๆ ของการทดสอบ ดังต่อไปนี้

1. เตรียมน้ำเกลือจากสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 5 เปอร์เซ็นต์โดยมวล (เกลือโซเดียมคลอไรด์ 5 เปอร์เซ็นต์ บวกกับน้ำ 95 เปอร์เซ็นต์) ซึ่งน้ำเกลือที่เตรียมไว้มีปริมาณ 50 ลิตร ต่อจำนวนการทดสอบประมาณ 3 วัน ซึ่งจะเก็บไว้ในถังเก็บน้ำเกลือที่ต่อสายยางไว้ใกล้กับเครื่องทดสอบ Q – FOG Corrosion Chamber โดยน้ำเกลือที่ใช้ในช่วงระหว่างการทดสอบในตู้ทดสอบ Chamber จะถูกควบคุมอุณหภูมิที่ 35 °C และจะต้องมีค่า pH อยู่ช่วงระหว่าง 6.5 ถึง 7.2 ดังนั้นในการเตรียมน้ำเกลือจึงจำเป็นต้องทำการตรวจสอบค่า pH ก่อนนำไปใช้งาน ถ้าค่า pH ของน้ำเกลือมีค่าต่ำจะต้องปรับค่า pH ด้วยสารละลายเบสโซเดียมไฮดรอกไซด์แต่ถ้าค่า pH ของน้ำเกลือมีค่าสูงจะต้องปรับค่า pH ด้วยสารละลายกรดอะซีติก

2. นำคอนแขวนเคเบิลในแต่ละประเภทมาวางไว้ที่ตู้ทดสอบ Chamber โดยวางคอนแขวนเคเบิลแต่ละประเภทในแนวทแยงสลับฟันปลาเพื่อต้องการให้น้ำหนักของคอนแขวนเคเบิลกระจายลงมุมทั้งสี่ด้านของตู้ทดสอบ Chamber และนำคอนแขวนเคเบิลที่ตัดเป็นชิ้นส่วนขนาดเล็กมาวางไว้ตรงกลางตู้ทดสอบ Chamber เพื่อหาน้ำหนักที่สูญหายไปในระหว่างการทดสอบโดยชั่งน้ำหนักชิ้นส่วนขนาดเล็กของคอนแขวนเคเบิลไว้ก่อนทำการทดสอบ

3. นำกรวยแก้วครอบอยู่เหนือกระบอกตวงมาวางไว้ที่จุดใกล้สุดและไกลสุดของหัวฉีดน้ำเกลือเพื่อทำการตรวจสอบการกระจายของละอองน้ำเกลือว่าต้องเต็มตู้ทดสอบ Chamber รวมทั้งยังตรวจสอบความดันของหัวฉีดน้ำเกลือให้มีปริมาณการสะสมของน้ำเกลือในกระบวกตวงอยู่ในช่วง 1 ถึง 2 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง ซึ่งสิ่งนี้สามารถควบคุมได้จากการตั้งโปรแกรมควบคุมอัตราการไหลของน้ำเกลือ ประมาณ 0.4 ถึง 0.8 ลิตรต่อชั่วโมง

4. ตั้งเวลาในการทดสอบ 720 ชั่วโมง จากนั้นจึงเริ่มทำการกดปุ่มเดินเครื่องทดสอบ

5. ทำการบันทึกผลการทดสอบและตรวจสอบค่า pH ของน้ำเกลือให้มีค่าอยู่ในช่วง 6.5 ถึง 7.2 ค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำเกลือให้อยู่ในช่วง 1.0225 ถึง 1.0400 ที่อุณหภูมิ 25 °C อุณหภูมิของตู้ทดสอบ Chamber ให้อยู่ที่ 35 °C และปริมาณสะสมของน้ำเกลือที่อยู่ในกระบอกตวงทั้งใกล้และไกลกับหัวฉีดน้ำเกลือในแต่ละวัน

6. เมื่อทำการทดสอบครบ 720 ชั่วโมง นำคอนแขวนเคเบิลในแต่ละประเภทมาทำการตรวจสอบหาน้ำหนักบรรทุกสถิตย์และนำคอนแขวนเคเบิลที่เป็นชิ้นส่วนขนาดเล็กชั่งน้ำหนักที่สูญหายไป

3.3.3 การทดสอบความล้าภายใต้แรงกระทำเป็นวัฏจักร

การทดสอบความล้าภายใต้แรงกระทำเป็นวัฏจักรในรูปแบบของแรงดัดที่พฤติกรรมของการทดสอบใกล้เคียงกับการใช้งานจริงยังไม่มีการระบุในมาตรฐานการทดสอบใด ๆ ดังนั้นการทดสอบความล้าภายใต้แรงกระทำเป็นวัฏจักรนี้จึงใช้มาตรฐาน ASTM D194-94 เป็นแนวทางสำหรับการทดสอบโดยเปลี่ยนน้ำหนักบรรทุกสถิตย์เป็นน้ำหนักบรรทุกกระทำซ้ำที่เป็นวัฏจักร 0 ถึง 1,000 กิโลกรัม โดยความถี่ที่ใช้ในการทดสอบต้องมากกว่าความถี่ธรรมชาติของสายเคเบิลที่ให้ค่าสูงสุด 1.37 เฮิรตซ์ (จากภาคผนวก ก) สำหรับการทดสอบความล้าภายใต้แรงกระทำเป็นวัฏจักรของคอนแขวนเคเบิลในแต่ละประเภทนี้จะกำหนดความถี่การทดสอบไว้ที่ 3 เฮิรตซ์ และ จำนวนรอบที่ทำการทดสอบ 2,000,000 รอบ โดยตั้งโปรแกรมการทดสอบไว้ที่เครื่องทดสอบ Servopulser จากนั้นตรวจสอบการทำงานของโปรแกรม DASYLab3 ให้เรียบร้อยจึงเริ่มทำการเดินเครื่องทดสอบ โดยข้อมูลที่ทำการทดสอบจะถูกบันทึกไว้ในฮาร์ดดิสก์และข้อมูลจะถูกเก็บบันทึกตามจำนวนรอบที่ทำการทดสอบดังนี้ รอบที่ 1: 1,000 : 3,000 : 5,000 : 10,000 : 30,000 : 50,000 : 100,000 : 200,000 แล้วเก็บบันทึกข้อมูลต่อไปทุก ๆ 100,000 รอบ จนครบ 2,000,000 รอบ หลังจากนั้นนำคอนแขวนเคเบิลแต่ละประเภทมาทำการทดสอบหาน้ำหนักบรรทุกสถิตย์จนกระทั่งคอนแขวนเคเบิลวิบัติ เพื่อหาค่าน้ำหนักบรรทุกขีดจำกัดสัดส่วนหรือน้ำหนักบรรทุกคราก และน้ำหนักบรรทุกประลัย

3.4 ผลการทดสอบ

ผลการทดสอบแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่ม ตามลักษณะของการทดสอบ คือ กลุ่มการทดสอบภายใต้น้ำหนักบรรทุกสถิตย์ กลุ่มการทดสอบการกัดกร่อนในสภาวะเร่งทดสอบ และกลุ่มการทดสอบความล้าภายใต้แรงกระทำเป็นวัฏจักร

3.4.1 ผลการทดสอบภายใต้น้ำหนักบรรทุกสถิตย์

3.4.1.1 คอนไม้แขวนเคเบิล

เมื่อเริ่มทำการทดสอบโดยเพิ่มน้ำหนักบรรทุกอย่างช้า ๆ ที่อัตราเร็วคงที่ 3 มิลลิเมตรต่อนาที คอนไม้จะเริ่มเกิดการแอ่นตัวโดยที่น้ำหนักบรรทุกที่กระทำและค่าความแอ่นตัวของคอนไม้แขวนเคเบิลจะมีความสัมพันธ์ของกราฟเป็นลักษณะเส้นตรง เมื่อน้ำหนักบรรทุกที่กระทำมีค่ามากจนถึงค่าขีดจำกัดสัดส่วน (Proportional limit) ที่น้ำหนักบรรทุกประมาณ 4,129 กิโลกรัม ความสัมพันธ์ของกราฟระหว่างน้ำหนักบรรทุกและค่าความแอ่นตัวของคอนไม้แขวน

เคเบิลจะเริ่มไม่เป็นเส้นตรงและกราฟเริ่มโค้งงอ โดยการทดสอบจะเริ่มได้ยินเสียงการแตกร้าวของเสี้ยนไม้อย่างไรก็ตามคอนไม้แขวนเคเบิลยังคงรับน้ำหนักบรรทุกเพิ่มขึ้นได้อีก เนื่องจากเสี้ยนไม้บางส่วนยังไม่ฉีกขาดแยกออกจากกันแต่อัตราการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักบรรทุกมีค่าไม่มากนักในขณะที่ค่าความแอ่นตัวกลับมีค่าเพิ่มขึ้นมากอย่างชัดเจน จนกระทั่งถึงจุดที่เสี้ยนไม้ของคอนไม้แขวนเคเบิลที่ยังไม่ฉีกขาดเริ่มไม่สามารถรับน้ำหนักบรรทุกที่เพิ่มขึ้นได้ เสี้ยนไม้ก็จะฉีกขาดออกจากกันจนหมดในส่วนพื้นที่รับแรงดึง (Tension zone) ซึ่งอยู่บริเวณด้านล่างของคอนไม้แขวนเคเบิล จากนั้นน้ำหนักบรรทุกที่กระทำจะมีค่าลดลงอย่างทันทีทันใดพร้อมทั้งเกิดเสียงการแตกหักของคอนไม้แขวนเคเบิลอย่างรุนแรงจึงทำการลดน้ำหนักบรรทุกที่กระทำลงจนกระทั่งน้ำหนักบรรทุกมีค่าเป็นศูนย์ โดยน้ำหนักบรรทุกประลัยที่ได้จากการทดสอบจะมีค่าประมาณ 5,327 กิโลกรัม ส่วนลักษณะการวิบัติของคอนไม้แขวนเคเบิลที่เกิดขึ้นขณะทำการทดสอบแรงดัดโดยส่วนมากจะเกิดการวิบัติในลักษณะของ Tension failure ดังแสดงได้ดังรูปที่ 3.10 ขณะที่การวิบัติของคอนไม้แขวนเคเบิลที่เกิดจากตำหนิของไม้อันได้แก่ ตาไม้ จะเกิดขึ้นกับตัวอย่างทดสอบ SW3 SW13 SW20 และ SW25 ซึ่งการวิบัติของคอนไม้แขวนเคเบิลที่เกิดจากตาไม้สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.11 ส่วนการวิบัติเนื่องจากแรงกดของโบลท์ที่กระทำต่อปลายทั้งสองข้างของคอนไม้แขวนเคเบิลจะไม่ปรากฏความเสียหายเกิดขึ้น โดยที่ผลการทดสอบของคอนไม้แขวนเคเบิล 30 ตัวอย่าง สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 3.1 และกราฟผลการทดสอบสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.12

3.4.1.2 คอนเหล็กรูปตัวซี

คอนเหล็กรูปตัวซีจะทดสอบในลักษณะที่แตกต่างกับคอนไม้แขวนเคเบิลตรงที่หัวกดต้องทำมาเป็นพิเศษเนื่องจากหน้าตัดของคอนเหล็กรูปตัวซีมีความไม่สมมาตร ในการทดสอบจะกำหนดอัตราเร็วของน้ำหนักบรรทุกไว้ 3 มิลลิเมตรต่อนาที ซึ่งการทดสอบคอนเหล็กรูปตัวซีจะมีการทดสอบอยู่ 2 แบบ ได้แก่ การทดสอบคอนเหล็กรูปตัวซีในทิศแกนหลักและการทดสอบคอนเหล็กรูปตัวซีในทิศแกนรอง

การทดสอบคอนเหล็กรูปตัวซีในทิศแกนหลัก จะพบว่าในช่วงแรกเมื่อคอนเหล็กรูปตัวซีมีน้ำหนักบรรทุกมากระทำความสัมพันธ์ของกราฟระหว่างน้ำหนักบรรทุกและค่าความแอ่นตัวจะมีลักษณะเป็นเส้นตรง เมื่อน้ำหนักบรรทุกที่กระทำมีค่าเพิ่มขึ้นจนทำให้คอนเหล็กรูปตัวซีถึงน้ำหนักบรรทุกที่จุดครากประมาณ 3,166 กิโลกรัม ความสัมพันธ์ของกราฟระหว่างน้ำหนักบรรทุกและค่าความแอ่นตัวจะเริ่มไม่เป็นเส้นตรงและกราฟเริ่มโค้งงอโดยที่คอนเหล็กรูปตัวซีเริ่มเกิดการบิดเสียรูปอย่างมากพร้อมกับเกิดการแอ่นตัวพร้อม ๆ กัน จนถึงน้ำหนักบรรทุกประลัยประมาณ 4,433 กิโลกรัม คอนเหล็กรูปตัวซีบิดรูปอย่างมากทำให้ที่ปลายแผ่นเหล็กรองรับโบลท์

ของคอนเหล็กรูปตัวซีเกิดการเคลื่อนที่ออกไปจากจุดเดิมโดยเคลื่อนไปข้างหน้าตามการเสียรูปของคอนเหล็กรูปตัวซี ดังแสดงได้ดังรูปที่ 3.13 หลังจากนั้นจึงทำการลดน้ำหนักบรรทุกที่กระทำลงจนกระทั่งน้ำหนักบรรทุกเป็นศูนย์ จากการสังเกตไม่เกิดการวิบัติแรงกดของโบลท์ที่กระทำต่อปลายทั้งสองข้างของคอนเหล็กรูปตัวซีขณะทำการทดสอบ โดยที่ผลการทดสอบของคอนเหล็กรูปตัวซีในทิศแกนหลัก 30 ตัวอย่าง สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 3.2 และ กราฟผลการทดสอบสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.14

การทดสอบคอนเหล็กรูปตัวซีในทิศทางแกนรองลักษณะการทดสอบจะแตกต่างจากการทดสอบในทิศแกนหลักโดยการทดสอบนี้จะดูผลของแรงดึงของสายสะพานที่กระทำต่อคอนเหล็กรูปตัวซี ในการทดสอบคอนเหล็กรูปตัวซีในทิศทางแกนรองจะทดสอบคอนเหล็กรูปตัวซีในลักษณะหงายขึ้นเนื่องจากขาของคอนเหล็กรูปตัวซีทั้งสองข้างจะไม่ช่วยในการรับน้ำหนักหรือในทางตรงกันข้ามถ้าทดสอบคอนเหล็กรูปตัวซีในลักษณะคว่ำลงขาของคอนเหล็กรูปตัวซีทั้งสองข้างจะช่วยทำหน้าที่เป็นสติฟเฟนเนอร์ (Stiffener) หรือเป็นเหล็กเสริมข้างคอนเหล็กรูปตัวซีโดยจะช่วยรับน้ำหนักบรรทุกเพิ่มขึ้นเมื่อคอนเหล็กรูปตัวซีแอ่นตัวลงมา ในการทดสอบช่วงแรกความสัมพันธ์ของกราฟระหว่างน้ำหนักบรรทุกและค่าความแอ่นตัวจะมีลักษณะเป็นเส้นตรงจนกระทั่งคอนเหล็กรูปตัวซีถึงจุดดรากที่น้ำหนักบรรทุกประมาณ 1,297 กิโลกรัม เมื่อน้ำหนักบรรทุกมีค่าเพิ่มขึ้นความสัมพันธ์ของกราฟจะเริ่มไม่เป็นเส้นตรงและกราฟเริ่มโค้งงอโดยที่อัตราการเพิ่มของน้ำหนักบรรทุกมีค่าลดลงและค่าความแอ่นตัวมีค่าเพิ่มมากขึ้นแต่การทดสอบยังคงดำเนินต่อไปเรื่อย ๆ จนระยะลูกสูบของเครื่องทดสอบ Servopulser หมดลง ที่น้ำหนักบรรทุกประลัยประมาณ 2,032 กิโลกรัม จึงทำการลดน้ำหนักที่กระทำลงจนกระทั่งน้ำหนักบรรทุกเป็นศูนย์ ลักษณะการเสียรูปของคอนเหล็กรูปตัวซีในทิศทางแกนรองสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.15 โดยที่ผลการทดสอบของคอนเหล็กรูปตัวซีในทิศแกนรอง 30 ตัวอย่าง สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 3.3 และ กราฟผลการทดสอบสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.16

3.4.1.3 คอนกรีตอัดแรงสปัน

คอนกรีตอัดแรงสปันจะทดสอบในลักษณะเช่นเดียวกันกับคอนไม้แขวนเคเบิลเนื่องจากหน้าตัดมีความสมมาตรโดยอัตราเร็วของน้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่อคอนกรีตอัดแรงสปันมีค่าคงที่ 3 มิลลิเมตรต่อนาที เมื่อคอนกรีตอัดแรงสปันเริ่มรับน้ำหนักบรรทุกที่กระทำความสัมพันธ์ของกราฟระหว่างน้ำหนักบรรทุกและค่าความแอ่นตัวจะมีลักษณะเป็นเส้นตรงซึ่งช่วงนี้ยังไม่เกิดร้อยร้าวที่ผิวล่างของคอนกรีตอัดแรงจนกระทั่งน้ำหนักบรรทุกที่กระทำมีค่าประมาณ 955 กิโลกรัม ซึ่งค่านี้จะเป็นจุดเริ่มเกิดรอยร้าวที่ผิวล่างของคอนกรีตอัดแรง (First crack) ดังแสดงได้ดังรูปที่ 3.17 เมื่อน้ำหนักบรรทุกที่กระทำมีค่าเพิ่มมากขึ้นและรอยร้าวที่

เกิดเริ่มเคลื่อนตัวสูงขึ้นแต่ความสัมพันธ์ของกราฟที่ได้ก็ยังคงเป็นเส้นตรงเนื่องจากหน่วยแรงของเหล็กแรงดึงสูงยังไม่ถึงจุดคราก (First yielding) เมื่อหน่วยแรงของเหล็กแรงดึงสูงถึงจุดครากที่น้ำหนักบรรทุกกระทำประมาณ 2,129 กิโลกรัม อัตราการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักบรรทุกจะลดลง ขณะเดียวกันค่าความแอ่นตัวจะมีค่ามากขึ้นโดยที่รอยร้าวของคอนกรีตอัดแรงสปันจะเริ่มขยายตัวมากและจะกระจายออกเป็นวงกว้าง เมื่อเพิ่มน้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่อคอนกรีตอัดแรงสปันจะทำให้เกิดการวิบัติขึ้นอย่างทันทีทันใดที่น้ำหนักบรรทุกประลัยประมาณ 2,146 กิโลกรัม จากนั้นจึงทำการลดน้ำหนักบรรทุกที่กระทำลงจนกระทั่งน้ำหนักบรรทุกเป็นศูนย์ ซึ่งการวิบัติที่เกิดขึ้นกับคอนกรีตอัดแรงสปันจะเกิดในลักษณะการอัดระเบิด (Crushing failure) ที่ผิวรับแรงอัดที่อยู่ส่วนบนของหน้าตัดคอนกรีตอัดแรงสปัน โดยลักษณะการวิบัติที่เกิดขึ้นสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.18 ส่วนแรงกดของโบลท์ที่กระทำต่อปลายทั้งสองข้างของคอนกรีตอัดแรงสปันจะไม่ปรากฏความเสียหายเกิดขึ้น โดยที่ผลการทดสอบของคอนกรีตอัดแรงสปัน 30 ตัวอย่าง สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 3.4 และ กราฟผลการทดสอบสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.19

3.4.2 ผลการทดสอบการกัดกร่อนสภาวะเร่งทดสอบ

ผลการตรวจสอบในแต่ละวันของการกัดกร่อนคอนแขวนเคเบิลสภาวะเร่งการทดสอบของตู้ทดสอบ Chamber สามารถแสดงได้ในตารางที่ 3.5 และ ผลจากปฏิกิริยาของน้ำเกลือทำกับคอนแขวนเคเบิลในแต่ละสัปดาห์สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.20 ส่วนผลการชั่งน้ำหนักก่อนและหลังการทดสอบการกัดกร่อนสภาวะเร่งทดสอบของคอนแขวนเคเบิลที่ตัดเป็นชิ้นส่วนขนาดเล็กสามารถแสดงได้ในตารางที่ 3.6

3.4.2.1 คอนไม้แขวนเคเบิล

จากการทดสอบการกัดกร่อนสภาวะเร่งทดสอบของคอนไม้แขวนเคเบิลพบว่าคอนไม้แขวนเคเบิลจะเปียกชุ่มไปด้วยน้ำเกลือตลอดระยะเวลาที่ทำการทดสอบและไม่ปรากฏการผุของคอนไม้แขวนเคเบิลเกิดขึ้น หลังจากการทดสอบการกัดกร่อนสภาวะเร่งการทดสอบเสร็จสิ้นได้นำคอนไม้แขวนเคเบิลที่ตัดเป็นชิ้นส่วนขนาดเล็กไปทำการชั่งน้ำหนักเพื่อหาน้ำหนักที่สูญเสียไป ปรากฏว่าน้ำหนักของคอนไม้แขวนเคเบิลหลังการทดสอบมีค่ามากกว่าน้ำหนักของคอนไม้แขวนเคเบิลที่ได้ชั่งไว้ก่อนทำการทดสอบการกัดกร่อนสภาวะเร่งทดสอบเนื่องจากน้ำเกลือได้ซึมผ่านตามโพรงของเสี้ยนไม้ทำให้น้ำหนักของคอนไม้แขวนเคเบิลมีค่าเพิ่มขึ้น จากนั้นจึงนำคอนไม้แขวนเคเบิลทั้งสองตัวอย่างคือ SSTW-L และ SSTW-UL มาทำการทดสอบน้ำหนักบรรทุกสถิตย์ พบว่ากำลังการรับน้ำหนักบรรทุกสถิตย์ของคอนไม้แขวนเคเบิลทั้งสองตัวอย่างมีค่าใกล้เคียงกันและให้ค่าใกล้เคียงกับการทดสอบน้ำหนักบรรทุกสถิตย์

ของคอนไม้แขวนเดเบิลทั้ง 30 ตัวอย่าง โดยที่ คอนไม้แขวนเดเบิล SSTW-L จะให้ค่าน้ำหนักบรรทุกขีดจำกัดสัดส่วนและน้ำหนักบรรทุกประลัยเท่ากับ 3,858 และ 5,327 กิโลกรัม และ SSTW-UL จะให้ค่าน้ำหนักบรรทุกขีดจำกัดสัดส่วนและน้ำหนักบรรทุกประลัยเท่ากับ 4,129 และ 5,327 กิโลกรัม ขณะที่น้ำหนักบรรทุกขีดจำกัดสัดส่วนเฉลี่ยและน้ำหนักบรรทุกประลัยเฉลี่ยของคอนไม้แขวนเดเบิล 30 ตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 4,129 และ 5,327 กิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งผลการทดสอบน้ำหนักบรรทุกสถิตย์ของคอนไม้แขวนเดเบิลทั้งสองประเภทหลังจากทดสอบสภาวะเร่งการกัดกร่อนเสร็จสิ้น จะแสดงไว้ในตารางที่ 3.7 และ กราฟการทดสอบจะแสดงไว้ในรูปที่ 3.21 ส่วนลักษณะความเสียหายที่เกิดขึ้นจากการทดสอบน้ำหนักบรรทุกสถิตย์สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.22

3.4.2.2 คอนเหล็กรูปตัวซี

สัปดาห์แรกของการทดสอบการกัดกร่อนในสภาวะเร่งการทดสอบเริ่มมีคราบน้ำเกลือมาเกาะที่ผิวคอนเหล็กรูปตัวซีซึ่งคราบน้ำเกลือยังมีปริมาณไม่มากนักและยังไม่ปรากฏคราบสนิมเกิดขึ้น หลังจากการทดสอบดำเนินต่อไปจนถึงสัปดาห์ที่สองปริมาณของคราบน้ำเกลือที่เกาะบนผิวคอนเหล็กรูปตัวซีเริ่มมีค่าเพิ่มมากขึ้นและเริ่มปรากฏคราบสนิมเหล็กเกิดขึ้น การทดสอบยังคงดำเนินต่อไปในสัปดาห์ที่สามจะสังเกตคราบสนิมเหล็กสีน้ำตาลแดงเริ่มมีปริมาณมากและปริมาณของคราบน้ำเกลือที่เกาะบนผิวคอนเหล็กรูปตัวซีมีค่ามากขึ้น จนกระทั่งการทดสอบดำเนินจนครบสัปดาห์ที่สี่ หรือ 720 ชั่วโมง สังเกตว่าคราบสนิมเหล็กเริ่มมีปริมาณมากและกัดกร่อนเข้าไปในคอนเหล็กรูปตัวซี เมื่อการทดสอบเสร็จสิ้นจึงได้นำคอนเหล็กรูปตัวซีที่เป็นชิ้นส่วนขนาดเล็กไปหาน้ำหนักที่สูญหายด้วยการชำระล้างคราบน้ำเกลือและน้ำสนิมที่เกาะบนผิวคอนเหล็กรูปตัวซีออกไปก่อน การตรวจสอบน้ำหนักบรรทุกที่สูญหายของคอนเหล็กรูปตัวซีมีค่าเท่ากับ 4.9 กรัม จากนั้นจึงนำคอนเหล็กรูปตัวซี SSTS-L และ SSTS-UL มาทำการทดสอบหาค่าน้ำหนักบรรทุกสถิตย์ จากการทดสอบจะพบว่าน้ำหนักบรรทุกสถิตย์ทั้งสองตัวอย่างมีค่าไม่แตกต่างกัน โดยที่ SSTS-L ให้ค่าน้ำหนักบรรทุกดรากและน้ำหนักบรรทุกประลัยเท่ากับ 3,375 และ 4,337 กิโลกรัม ส่วน SSTS-UL ให้ค่าน้ำหนักบรรทุกดรากและน้ำหนักบรรทุกประลัยเท่ากับ 3,332 และ 4,401 กิโลกรัม ซึ่งน้ำหนักบรรทุกดรากและน้ำหนักบรรทุกประลัยทั้งสองตัวอย่างนี้มีค่าใกล้เคียงกับการทดสอบน้ำหนักบรรทุกสถิตย์ของคอนเหล็กรูปตัวซีในทิศแกนหลัก 30 ตัวอย่างที่ให้ค่าน้ำหนักบรรทุกดรากเฉลี่ยและน้ำหนักบรรทุกประลัยเฉลี่ยเท่ากับ 3,166 และ 4,433 กิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งผลการทดสอบน้ำหนักบรรทุกสถิตย์ของคอนเหล็กรูปตัวซีทั้งสองประเภทหลังจากทดสอบสภาวะเร่งการกัดกร่อนเสร็จสิ้นจะแสดงไว้ในตารางที่ 3.7 และ กราฟการทดสอบจะแสดงไว้ในรูปที่ 3.21 ส่วนลักษณะความเสียหายที่เกิดขึ้นจากการทดสอบน้ำหนักบรรทุกสถิตย์สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.23

3.4.2.3 คอนกรีตอัดแรงสปัน

จากการทดสอบการกัดกร่อนสภาวะเร่งทดสอบของคอนกรีตอัดแรงสปันจะสังเกตเห็นน้ำสนิมเหล็กมาเคลือบที่บริเวณภายนอกหน้าตัดปลายทั้งสองข้างของคอนกรีตอัดแรงสปันและภายในรูกลวง เนื่องจากที่ปลายทั้งข้างของคอนกรีตอัดแรงสปันเป็นตำแหน่งที่เหล็กแรงดึงสูงสัมผัสกับน้ำเกลือโดยตรงหรืออาจสังเกตได้จากน้ำสนิมที่มาเคลือบผิวหน้าตัดคอนกรีตอัดแรงสปันที่ตัดเป็นชิ้นส่วนขนาดเล็กซึ่งจะเกิดขึ้นตั้งแต่สัปดาห์แรกจนกระทั่งครบสัปดาห์ที่สี่ หลังจากทดสอบการกัดกร่อนสภาวะเร่งทดสอบเสร็จสิ้นจึงทำการชั่งน้ำหนักที่สูญหายของคอนกรีตอัดแรงสปันที่ตัดเป็นชิ้นส่วนขนาดเล็กพบว่าไม่สามารถหาค่าน้ำหนักที่สูญหายได้ เนื่องจากขณะที่ทำการทดสอบน้ำเกลือสามารถซึมเข้าไปภายในช่องว่างของเนื้อคอนกรีตซึ่งทำให้น้ำหนักของคอนกรีตอัดแรงสปันที่ตัดเป็นชิ้นส่วนขนาดเล็กหลังทำการทดสอบมีค่ามากกว่าน้ำหนักของคอนกรีตอัดแรงสปันที่ตัดเป็นชิ้นส่วนขนาดเล็กที่ชั่งน้ำหนักไว้ก่อนทำการทดสอบการกัดกร่อนสภาวะเร่งทดสอบ ขณะเดียวกันได้นำคอนกรีตอัดแรงสปันทั้งสองตัวอย่าง คือ SSTC-L และ SSTC-UL มาทำการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกสถิตย์พบว่าค่าน้ำหนักบรรทุกครากและน้ำหนักบรรทุกประลัยทั้งสองตัวอย่างมีค่าไม่ลดลง อาจเป็นไปได้ว่าในการทดสอบการกัดกร่อนสภาวะเร่งทดสอบของคอนกรีตอัดแรงสปันน้ำเกลืออาจซึมเข้าไปในเนื้อคอนกรีตได้ยากบริเวณที่กึ่งกลางของคอนกรีตอัดแรงสปัน ซึ่งแม้ว่าจะมีการนำตัวอย่างคอนกรีตอัดแรงสปัน SSTC-L มากดรับน้ำหนักบรรทุกใช้งานก่อนทำการทดสอบการกัดกร่อนสภาวะเร่งทดสอบแต่เนื่องจากน้ำหนักบรรทุกใช้งานยังมีค่าน้อยกว่าน้ำหนักบรรทุกที่ทำให้เกิดรอยร้าวผิวด้านล่างของคอนกรีตอัดแรงสปันซึ่งมีค่าประมาณ 1,031 กิโลกรัม ส่งผลทำให้ผิวด้านล่างกึ่งกลางของคอนกรีตอัดแรงสปันจึงไม่เกิดคราบสนิมเหล็ก จากการทดสอบน้ำหนักบรรทุกสถิตย์ของคอนกรีตอัดแรงสปันทั้งสองตัวอย่างพบว่า คอนกรีตอัดแรงสปัน SSTC-L สามารถรับน้ำหนักบรรทุกครากและน้ำหนักบรรทุกประลัยเท่ากับ 2,503 และ 2,108 กิโลกรัม และ SSTC-UL ให้ค่าน้ำหนักบรรทุกครากและน้ำหนักบรรทุกประลัยเท่ากับ 2,686 และ 2,661 กิโลกรัม ซึ่งน้ำหนักบรรทุกครากและน้ำหนักบรรทุกประลัยทั้งสองตัวอย่างนี้มีค่าใกล้เคียงกับการทดสอบน้ำหนักบรรทุกสถิตย์ของคอนกรีตอัดแรงสปัน 30 ตัวอย่างที่ให้ค่าน้ำหนักบรรทุกครากเฉลี่ยและน้ำหนักบรรทุกประลัยเฉลี่ยเท่ากับ 2,129 และ 2,146 กิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งผลการทดสอบน้ำหนักบรรทุกสถิตย์ของคอนกรีตอัดแรงสปันทั้งสองประเภทหลังจากทดสอบการกัดกร่อนสภาวะเร่งทดสอบเสร็จสิ้นจะแสดงไว้ในตารางที่ 3.7 และ กราฟการทดสอบจะแสดงไว้ในรูปที่ 3.21 ส่วนลักษณะความเสียหายที่เกิดขึ้นจากการทดสอบน้ำหนักบรรทุกสถิตย์สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.24

3.4.3 ผลการทดสอบความล้าภายใต้แรงกระทำเป็นวัฏจักร

3.4.3.1 คอนไม้แขวนเดเบิล

การทดสอบน้ำหนักบรรทุกกระทำซ้ำของคอนไม้แขวนเดเบิลที่น้ำหนักบรรทุกประมาณ 0 ถึง 1,000 กิโลกรัม จะเริ่มทดสอบโดยการให้น้ำหนักบรรทุกเฉลี่ยมากระทำที่กึ่งกลางคอนไม้แขวนเดเบิลประมาณ 500 กิโลกรัม หลังจากนั้นเริ่มปรับค่าแอมปลิจูดเป็นน้ำหนักบรรทุกวัฏจักรให้มีค่าบวกและลบ 500 กิโลกรัม ซึ่งน้ำหนักบรรทุกกระทำซ้ำที่ได้จะมีค่าประมาณ 0 ถึง 1,000 กิโลกรัม ตามลำดับ จากนั้นจึงเริ่มบันทึกค่าการทดสอบรอบแรกโดยความสัมพันธ์ของกราฟการทดสอบระหว่างน้ำหนักบรรทุกกระทำซ้ำและค่าความแอ่นตัวจะมีลักษณะเป็นเส้นตรงซึ่งเริ่มจากน้ำหนักบรรทุกที่เพิ่มขึ้นและลดลงจาก 0 ถึง 1,000 กิโลกรัม เพราะน้ำหนักบรรทุกที่กระทำซ้ำยังไม่เกินค่าขีดจำกัดสัดส่วนของคอนไม้แขวนเดเบิล ในช่วงการทดสอบน้ำหนักบรรทุกกระทำซ้ำในแต่ละจำนวนรอบที่เพิ่มขึ้นจะให้ค่าความแอ่นตัวของคอนไม้แขวนเดเบิลมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ ทั้งที่ระดับน้ำหนักบรรทุกกระทำซ้ำยังคงมีค่าเท่าเดิม สิ่งนี้อาจเป็นผลมาจากความล้าของคอนไม้แขวนเดเบิล จากการทดสอบหลังจำนวน 1,300,000 รอบ เราพบว่าโบล์ที่ใส่กึ่งกลางคอนไม้แขวนเดเบิลเกิดการขาดสังเกตจากความสัมพันธ์ของกราฟน้ำหนักบรรทุกกระทำซ้ำและค่าความแอ่นตัวของคอนไม้แขวนเดเบิลให้ระยะความแอ่นตัวของคอนไม้แขวนเดเบิลมีค่าเพิ่มมากขึ้นจากเดิมประมาณ 0.4 มิลลิเมตร แต่การทดสอบน้ำหนักบรรทุกกระทำซ้ำของคอนไม้แขวนเดเบิลยังคงดำเนินการต่อไปเนื่องจากการขาดของโบลท์เราไม่สามารถทราบได้ขณะที่ทำการทดสอบว่าขาดไปแล้วหลังจำนวนรอบ 1,300,000 รอบ จนกระทั่งการทดสอบดำเนินไปจนครบจำนวน 2,000,000 รอบ เครื่องทดสอบจึงหยุดการทำงาน จากข้อมูลที่ได้ทำการบันทึกจะให้ค่าระยะความแอ่นตัวของคอนไม้แขวนเดเบิลมีค่าสูงสุดเท่ากับ 1.15 มิลลิเมตร ตั้งแต่เริ่มต้นจนการทดสอบเสร็จสิ้น ขณะทำการทดสอบตั้งแต่รอบแรกจนถึงสองล้านรอบไม่ปรากฏรอยร้าวหรือรอยแตกของเสี้ยนไม้ปรากฏให้เห็นและที่ปลายทั้งสองข้างของคอนไม้แขวนเดเบิลไม่เกิดการวิบัติเนื่องจากแรงกดของโบลท์ที่กระทำต่อปลายทั้งสองข้างของคอนไม้แขวนเดเบิล รูปที่ 3.25 จะแสดงการทดสอบน้ำหนักบรรทุกกระทำซ้ำตั้งแต่รอบแรกจนครบสองล้านรอบของคอนไม้แขวนเดเบิล และ รูปที่ 3.26 จะแสดงการขาดของโบลท์ที่กึ่งกลางคอนไม้แขวนเดเบิลหลังจากทดสอบน้ำหนักบรรทุกกระทำซ้ำที่จำนวน 1,300,000 รอบ ขณะที่ผลการทดสอบน้ำหนักบรรทุกกระทำซ้ำของคอนไม้แขวนเดเบิลสามารถแสดงได้ในตารางที่ 3.8 และ กราฟผลการทดสอบจะแสดงไว้ในรูปที่ 3.27

หลังจากเสร็จสิ้นการทดสอบน้ำหนักบรรทุกกระทำซ้ำของคอนไม้แขวนเดเบิลครบสองล้านรอบได้นำคอนไม้แขวนเดเบิลมาทำการทดสอบน้ำหนักบรรทุกสถิตย์โดยรูปแบบการ

ทดสอบจะมีลักษณะเช่นเดียวกับน้ำหนักบรรทุกกระทำซ้ำแต่แตกต่างกันที่การให้น้ำหนักบรรทุกกระทำซ้ำเป็นน้ำหนักบรรทุกสถิตย์ที่อัตราเร็วของการทดสอบ 3 มิลลิเมตรต่อนาที เมื่อเริ่มทำการทดสอบความสัมพันธ์ของกราฟระหว่างน้ำหนักบรรทุกและค่าความแอ่นตัวจะมีลักษณะเป็นเส้นตรงเมื่อน้ำหนักบรรทุกมีค่ามากขึ้นจนถึงค่าขีดจำกัดสัดส่วนของคอนไม้แขวนเดเบิลที่น้ำหนักบรรทุกประมาณ 3,847 กิโลกรัม ความสัมพันธ์ของกราฟระหว่างน้ำหนักบรรทุกและค่าความแอ่นตัวของคอนไม้แขวนเดเบิลจะเริ่มไม่เป็นเส้นตรงเมื่อน้ำหนักบรรทุกมีค่าเพิ่มมากขึ้นจะเริ่มได้ยินเสียงการแตกร้าวของเสี้ยนไม้เป็นครั้งคราว จนกระทั่งน้ำหนักบรรทุกประลัยที่กระทำมีค่าประมาณ 6,000 กิโลกรัม เสี้ยนไม้ที่อยู่ในส่วนพื้นที่ของแรงดึงเกิดฉีกขาดออกจากกัน จากนั้นจึงเริ่มลดน้ำหนักบรรทุกที่กระทำลงจนกระทั่งน้ำหนักบรรทุกมีค่าเป็นศูนย์ ลักษณะการวิบัติที่เกิดขึ้นกับคอนไม้แขวนเดเบิลเป็น Tension failure ดังแสดงได้ดังรูปที่ 3.28 โดยผลการทดสอบน้ำหนักบรรทุกสถิตย์ของคอนไม้แขวนเดเบิลจะแสดงไว้ในตารางที่ 3.7 และกราฟการทดสอบจะแสดงไว้ในรูปที่ 3.29

3.4.3.2 คอนเหล็กรูปตัวซี

การทดสอบน้ำหนักบรรทุกกระทำซ้ำของคอนเหล็กรูปตัวซีที่น้ำหนักบรรทุกประมาณ 0 ถึง 1,000 กิโลกรัม นั้นรูปแบบการทดสอบจะมีลักษณะเช่นเดียวกับการทดสอบของคอนไม้แขวนเดเบิลโดยเริ่มจากน้ำหนักบรรทุกเฉลี่ย 500 กิโลกรัม กระทำที่กึ่งกลางคอนเหล็กรูปตัวซีก่อนจากนั้นจึงปรับค่าแอมปลิจูดเป็นน้ำหนักบรรทุกวัฏจักรให้มีค่าบวกและลบ 500 กิโลกรัม จากการทดสอบน้ำหนักบรรทุกกระทำซ้ำในรอบแรกของคอนเหล็กรูปตัวซีจะให้ความสัมพันธ์ของกราฟระหว่างน้ำหนักบรรทุกกระทำซ้ำและค่าความแอ่นตัวมีลักษณะเป็นเส้นตรงเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกกระทำซ้ำที่กระทำต่อคอนเหล็กรูปตัวซียังไม่เกินน้ำหนักบรรทุกคราก จากการทดสอบความล้าในแต่ละรอบคอนเหล็กรูปตัวซีจะมีการบิดตัวเมื่อน้ำหนักบรรทุกกระทำซ้ำให้ค่าสูงสุดและจะคืนตัวกลับเมื่อน้ำหนักบรรทุกกระทำซ้ำมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ในการบิดตัวของคอนเหล็กรูปตัวซีเกิดจากน้ำหนักบรรทุกไม่ได้กระทำผ่านจุดศูนย์กลางของแรงเฉือน ขณะที่การทดสอบน้ำหนักบรรทุกกระทำซ้ำที่จำนวนรอบเพิ่มขึ้นพบว่าระยะความแอ่นตัวของคอนเหล็กรูปตัวซีมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ ทั้งที่ระดับของน้ำหนักบรรทุกกระทำซ้ำยังคงมีค่าเท่าเดิมสิ่งนี้อาจเป็นผลจากความล้าของคอนเหล็กรูปตัวซี ขณะที่ได้ทำการทดสอบถึงจำนวนรอบที่ 971,090 รอบ ได้ทำการเปลี่ยนโบลท์ที่กึ่งกลางคอนเหล็กรูปตัวซีจากนั้นจึงเริ่มทำการทดสอบต่อไปเมื่อทำการทดสอบจนถึงจำนวนรอบที่ 1,891,630 รอบ ปรากฏว่าโบลท์ที่ใส่ไว้กึ่งกลางคอนเหล็กรูปตัวซีเกิดการขาดจึงหยุดทำการทดสอบชั่วคราวเพื่อที่จะทำการเปลี่ยนโบลท์ทดสอบใหม่ เมื่อทำการใส่โบลท์ที่กึ่งกลางคอนเหล็กรูปตัวซีเสร็จสิ้นจึงเริ่มดำเนินการทดสอบต่อไปจนครบสองล้านรอบซึ่งเครื่องทดสอบจะหยุดการทำงานเมื่อครบจำนวนรอบที่ทำการทดสอบ จากข้อมูลที่ได้

ทำการบันทึกจะให้ค่าระยะค่าความแอ่นตัวของคอนเหล็กรูปตัวซีมีค่าสูงสุดเท่ากับ 1.46 มิลลิเมตร ตั้งแต่เริ่มต้นจนการทดสอบเสร็จสิ้น ขณะทำการทดสอบตั้งแต่รอบแรกจนถึงสองล้านรอบไม่ปรากฏรอยร้าวหรือรอยฉีกขาดของคอนเหล็กรูปตัวซีปรากฏให้เห็นและที่ปลายทั้งสองข้างของคอนเหล็กรูปตัวซีไม่เกิดการวิบัติเนื่องจากแรงกดของโบลท์ที่กระทำต่อปลายคอนเหล็กรูปตัวซี รูปที่ 3.30 จะแสดงการทดสอบน้ำหนักบรรทุกกระทำซ้ำตั้งแต่รอบแรกจนครบสองล้านรอบของคอนเหล็กรูปตัวซี และ รูปที่ 3.31 จะแสดงการขาดของโบลท์ที่กึ่งกลางคอนเหล็กรูปตัวซีหลังจากทดสอบน้ำหนักบรรทุกกระทำซ้ำจำนวน 920,540 รอบ ขณะที่ผลการทดสอบน้ำหนักบรรทุกกระทำซ้ำของคอนเหล็กรูปตัวซีสามารถแสดงได้ในตารางที่ 3.9 และ กราฟผลการทดสอบจะแสดงไว้ในรูปที่ 3.32

หลังจากเสร็จสิ้นการทดสอบน้ำหนักบรรทุกกระทำซ้ำของคอนเหล็กรูปตัวซีครบสองล้านรอบได้นำคอนเหล็กรูปตัวซีมาทำการทดสอบน้ำหนักบรรทุกสถิตย์โดยรูปแบบการทดสอบจะมีลักษณะเช่นเดียวกับน้ำหนักบรรทุกกระทำซ้ำแต่แตกต่างกันที่ให้น้ำหนักบรรทุกกระทำซ้ำมาเป็นน้ำหนักบรรทุกสถิตย์ที่อัตราเร็วการทดสอบ 3 มิลลิเมตรต่อนาที เมื่อเริ่มทำการทดสอบความสัมพันธ์ของกราฟระหว่างน้ำหนักบรรทุกและค่าความแอ่นตัวจะมีลักษณะเป็นเส้นตรงเมื่อน้ำหนักบรรทุกมีค่ามากขึ้นจนถึงน้ำหนักบรรทุกคร่ากประมาณ 2,582 กิโลกรัม ความสัมพันธ์ของกราฟระหว่างน้ำหนักบรรทุกและค่าความแอ่นตัวของคอนเหล็กรูปตัวซีจะเริ่มไม่เป็นเส้นตรงและกราฟเริ่มโค้งงอโดยที่คอนเหล็กรูปตัวซีจะบิดตัวและเสียรูปมากขึ้นอีกทั้งค่าความแอ่นตัวของคอนเหล็กรูปตัวซีมีค่าเพิ่มมากขึ้นพร้อม ๆ กัน จนน้ำหนักบรรทุกที่กระทำมีค่าเพิ่มมากขึ้นที่ค่าน้ำหนักบรรทุกประลัยประมาณ 3,919 กิโลกรัม ความสัมพันธ์ของกราฟระหว่างน้ำหนักบรรทุกและค่าความแอ่นตัวจะมีค่าลดลงจากนั้นจึงเริ่มลดน้ำหนักบรรทุกที่กระทำให้มีค่าลดลงจนกระทั่งน้ำหนักบรรทุกมีค่าเป็นศูนย์จึงเลิกทำการทดสอบ ลักษณะการวิบัติที่เกิดขึ้นกับคอนเหล็กรูปตัวซีจะเกิดการบิดเสียรูปอย่างเดียวดังแสดงได้ดังรูปที่ 3.33 โดยที่ไม่เกิดการวิบัติเนื่องจากแรงกดของโบลท์ที่กระทำต่อปลายทั้งสองข้างของคอนเหล็กรูปตัวซีและไม่ปรากฏรอยร้าวและการฉีกขาดของคอนเหล็กรูปตัวซี โดยผลการทดสอบน้ำหนักบรรทุกสถิตย์ของคอนเหล็กรูปตัวซีจะแสดงไว้ในตารางที่ 3.7 และ กราฟการทดสอบจะแสดงไว้ในรูปที่ 3.29

3.4.3.3 คอนกรีตอัดแรงสปัน

การทดสอบน้ำหนักบรรทุกกระทำซ้ำของคอนกรีตอัดแรงสปันที่น้ำหนักบรรทุกประมาณ 0 ถึง 1,000 กิโลกรัม นั้น รูปแบบการทดสอบจะมีลักษณะเช่นเดียวกับการทดสอบของคอนไม้แขวนเคเบิลโดยเริ่มจากน้ำหนักบรรทุกเฉลี่ย 500 กิโลกรัม กระทำที่กึ่งกลางคอนกรีตอัดแรงสปันก่อนจากนั้นจึงปรับค่าแอมปลิจูดเป็นน้ำหนักบรรทุกวัฏจักรให้มีค่าบวกและลบ 500

กิโลกรัม ซึ่งน้ำหนักบรรทุกกระทำซ้ำที่ได้จะมีค่าประมาณ 0 ถึง 1,000 กิโลกรัม ตามลำดับ จากนั้นจึงเริ่มบันทึกค่าการทดสอบรอบแรกของคอนกรีตอัดแรงสปันโดยความสัมพันธ์ของกราฟการทดสอบระหว่างน้ำหนักบรรทุกกระทำซ้ำและค่าความแอ่นตัวจะมีลักษณะเป็นเส้นตรงและจากการทดสอบคอนกรีตอัดแรงสปันจะเกิดการแอ่นตัวเมื่อน้ำหนักบรรทุกระทำซ้ำมีค่าเพิ่มขึ้น และการแอ่นตัวจะคืนกลับเมื่อน้ำหนักบรรทุกกระทำซ้ำมีค่าลดลง จากการตรวจสอบที่ผิวด้านล่างกึ่งกลางคอนกรีตอัดแรงสปันปรากฏรอยร้าวเกิดขึ้นซึ่งสามารถวัดความกว้างของรอยร้าวที่เกิดขึ้นได้ประมาณ 0.1 มิลลิเมตร เมื่อทำการทดสอบน้ำหนักบรรทุกกระทำซ้ำในแต่ละจำนวนรอบที่เพิ่มขึ้นพบว่าค่าความแอ่นตัวและความกว้างของรอยร้าวของคอนกรีตอัดแรงสปันมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ จนกระทั่งการทดสอบถึงจำนวนรอบที่ 1,000,000 รอบ ปรากฏรอยร้าวเล็ก ๆ ที่กึ่งกลางคอนกรีตอัดแรงสปันเพิ่มขึ้นอีกหนึ่งรอยมีขนาดความกว้างประมาณ 0.1 มิลลิเมตร ซึ่งขนานกับรอยร้าวเดิมที่มีความกว้างขยายเพิ่มขึ้นประมาณ 0.25 มิลลิเมตร โดยห่างจากรอยร้าวเดิมออกไปประมาณ 5 เซนติเมตร เมื่อทำการทดสอบต่อเนื่องไปจนถึงรอบที่ 1,030,000 รอบ ปรากฏผิวด้านล่างของคอนกรีตอัดแรงสปันเกิดหลุดล่วงลงมาตามแนวรอยร้าวที่ปรากฏไว้ก่อนหน้านี้โดยสามารถสังเกตเห็นถึงเหล็กปลอกของคอนกรีตอัดแรงสปันและจากการตรวจสอบความสัมพันธ์ของกราฟระหว่างน้ำหนักบรรทุกกระทำซ้ำและค่าความแอ่นตัวของคอนกรีตอัดแรงสปันเริ่มจะไม่เกาะกลุ่มจากเดิมโดยที่ระดับของน้ำหนักบรรทุกกระทำซ้ำมีค่าลดลงเหลือ 122 ถึง 918 กิโลกรัม และ ค่าความแอ่นตัวมีค่าเพิ่มมากขึ้นประมาณ 2.12 มิลลิเมตร ขณะทำการทดสอบจำเป็นต้องลดความถี่ของการทดสอบจาก 3 เฮิรตซ์ มาเป็น 1 เฮิรตซ์ เพื่อต้องการรักษาระดับของน้ำหนักบรรทุกกระทำซ้ำให้มีค่าอยู่ที่ 0 ถึง 1,000 กิโลกรัม ตามลำดับ อย่างไรก็ตามขณะที่การทดสอบยังคงดำเนินต่อไปนั้นการหลุดล่วงของคอนกรีตที่กึ่งกลางคอนกรีตอัดแรงสปันก็ยังคงเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งการทดสอบน้ำหนักบรรทุกกระทำซ้ำมาถึงจำนวนรอบที่ 1,056,700 รอบ ปรากฏว่าโบลท์ที่ใส่ไว้กึ่งกลางคอนกรีตอัดแรงสปันเกิดขาดจึงจำเป็นต้องหยุดทำการทดสอบความล้าเพราะจากการตรวจสอบที่ผิวด้านล่างกึ่งกลางคอนกรีตอัดแรงสปันส่วนที่เป็นพื้นที่รับแรงดึงเกิดการหลุดล่วงเกือบหมดแล้วสามารถสังเกตเห็นเหล็กแรงดึงสูงและเหล็กปลอกถ้าทำการทดสอบต่อเนื่องไปอาจเกิดอันตรายขึ้นได้ จากข้อมูลที่ได้ทำการบันทึกจะให้ระยะความแอ่นตัวของคอนกรีตอัดแรงสปันที่จำนวนรอบของการทดสอบ 1,056,700 รอบ มีค่าสูงสุดเท่ากับ 10.82 มิลลิเมตร ตั้งแต่เริ่มต้นจนการทดสอบเสร็จสิ้น ขณะทำการทดสอบไม่เกิดการวิบัติเนื่องจากแรงกดของโบลท์ที่กระทำต่อปลายทั้งสองข้างของคอนกรีตอัดแรงสปัน และ รูปที่ 3.34 จะแสดงการทดสอบน้ำหนักบรรทุกกระทำซ้ำของคอนกรีตอัดแรงสปันตั้งแต่รอบแรกจนถึงรอบที่ 1,056,700 รอบ และ รูปที่ 3.35 จะแสดงรอยร้าวที่ผิวด้านล่างกึ่งกลางคอนกรีตอัดแรงสปันขณะทำการทดสอบน้ำหนักบรรทุกกระทำซ้ำ และ รูปที่ 3.36 จะแสดงการขาดของโบลท์ที่กึ่งกลางคอนกรีตอัดแรงสปันหลังจากทดสอบน้ำหนักบรรทุกกระทำ

ซ้ำที่จำนวน 1,056,700 รอบ ขณะที่ผลการทดสอบน้ำหนักบรรทุกกระทำซ้ำของคอนกรีตอัดแรงสปันสามารถแสดงได้ในตารางที่ 3.10 และ กราฟผลการทดสอบจะแสดงไว้ในรูปที่ 3.37

หลังจากเสร็จสิ้นการทดสอบน้ำหนักบรรทุกกระทำซ้ำของคอนกรีตอัดแรงสปันได้นำคอนกรีตอัดแรงสปันมาทำการทดสอบน้ำหนักบรรทุกสถิตย์โดยรูปแบบการทดสอบจะมีลักษณะเช่นเดียวกับน้ำหนักบรรทุกกระทำซ้ำแต่แตกต่างกันที่ให้น้ำหนักบรรทุกกระทำซ้ำมาเป็นน้ำหนักบรรทุกสถิตย์ที่อัตราเร็วการทดสอบ 3 มิลลิเมตรต่อนาที เมื่อเริ่มทำการทดสอบความสัมพันธ์ของกราฟระหว่างน้ำหนักบรรทุกและความแอ่นตัวของคอนกรีตอัดแรงสปันจะมีอัตราเพิ่มขึ้นเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกที่กระทำต้องเอาชนะแรงเสียดทานที่เกิดจากการขันโบลท์แน่นตรงกึ่งกลางคอนกรีตอัดแรงสปัน ขณะที่คอนกรีตอัดแรงสปันเริ่มเคลื่อนที่ขึ้นและเหล็กแรงดึงสูงที่กึ่งกลางคอนกรีตอัดแรงสปันมาสัมผัสกับโบลท์ที่กึ่งกลางนั้นน้ำหนักบรรทุกจะมีค่าคงที่อยู่สักครู่ใหญ่เมื่อเหล็กแรงดึงสูงเริ่มสัมผัสกับโบลท์ที่กึ่งกลางคอนกรีตอัดแรงสปันแล้วน้ำหนักบรรทุกที่กระทำจะมีค่าเพิ่มขึ้นซึ่งจะให้ความสัมพันธ์ของกราฟระหว่างน้ำหนักบรรทุกและค่าความแอ่นตัวมีลักษณะเป็นเส้นตรงจนเมื่อน้ำหนักบรรทุกที่กระทำมีค่าเพิ่มมากขึ้นจนถึงน้ำหนักบรรทุกครากประมาณ 1,884 กิโลกรัม อัตราการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักบรรทุกมีค่าลดลงเนื่องจากเหล็กแรงดึงสูงที่กึ่งกลางคอนกรีตอัดแรงสปันมีการโค้งงอ หลังจากนั้นอัตราการเพิ่มน้ำหนักบรรทุกก็มีค่าเพิ่มขึ้นอีกครั้งเนื่องจากคอนกรีตอัดแรงสปันส่วนที่เป็นพื้นที่รับแรงอัดยังไม่เกิดรอยร้าว จนกระทั่งน้ำหนักบรรทุกประลัยมีค่าประมาณ 2,451 กิโลกรัม คอนกรีตอัดแรงส่วนที่เป็นพื้นที่รับแรงอัดเริ่มเกิดการอัดระเบิดขึ้นจึงทำการลดน้ำหนักบรรทุกที่กระทำให้มีค่าลดลงจนกระทั่งน้ำหนักบรรทุกมีค่าเป็นศูนย์จึงหยุดทำการทดสอบ ส่วนลักษณะการวิบัติที่เกิดขึ้นกับคอนกรีตอัดแรงสปันจะแสดงได้ดังรูปที่ 3.38 โดยการทดสอบจะไม่ปรากฏการวิบัติเนื่องจากแรงกดของโบลท์ที่กระทำต่อปลายทั้งสองข้างของคอนกรีตอัดแรงสปัน โดยผลการทดสอบน้ำหนักบรรทุกสถิตย์ของคอนกรีตอัดแรงสปันจะแสดงไว้ในตารางที่ 3.7 และกราฟการทดสอบจะแสดงไว้ในรูปที่ 3.29

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย