บทที่ 4

การเปรียบเทียบวิธีการวิเคราะห์กับการทดลอง

4.1 บทนำ

เนื่องจากพฤติกรรมภายใต้น้ำหนักบรรทุกระยะเวลาสั้น โดยวิธีการวิเคราะห์เป็นที่ยอมรับกันอย่างกว้างขวาง ดังนั้น เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของวิธีการวิเคราะห์กับการทดลอง จึงแสดงการเปรียบเทียบเฉพาะพฤติกรรมภายใต้น้ำหนักบรรทุกค้างเท่านั้น การเปรียบเทียบอาศัยข้อมูลผลการทดลองต่อไปนี้คือ

1. Washa และ Fluck (9) ในการทดสอบคานคอนกรีตเสริมเหล็กภายใต้น้ำหนักบรรทุกค้าง

2. Corley และ Sozen (10) ในการทดสอบคานคอนกรีตเสริมเหล็กภายใต้น้ำหนักบรรทุกค้าง

3. Green และ Breen (11) ในการทดสอบเสาชะลูดคอนกรีตเสริมเหล็กภายใต้น้ำหนักบรรทุกค้าง

4. Goyal และ Jackson (12) ในการทดสอบเสาชะลูดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบปลายยึดหมุนภายใต้น้ำหนักบรรทุกค้าง

5. Furlong และ Ferguson (13)ในการทดสอบโครงคอนกรีตเสริมเหล็กรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าภายใต้น้ำหนักบรรทุกค้าง

4.2 การทดสอบคานคอนกรีตเสริมเหล็กภายใต้น้ำหนักบรรทุกค้างโดย Washa และ Fluck

Washa และ Fluck (9) ได้ศึกษาผลกระทบของเหล็กเสริมรับแรงอัดต่อการคืบของคานคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยการทดสอบคาน 30 ตัวที่มีฐานรอบรับแบบธรรมดาภายใต้น้ำหนักของตัวคานเอง และน้ำหนักบรรทุกอย่างสม่ำเสมอจากก้อนคอนกรีตเป็นเวลา 2½ ปี คาน 30 ตัวนั้นแบ่งเป็น คานที่มีเฉพาะเหล็กเสริมรับแรงดึง 10 ตัว คานที่มีเหล็กเสริมรับแรงอัดปริมาณครึ่งหนึ่งของเหล็กเสริมรับแรงดึง 10 ตัว และคานที่มีปริมาณเหล็กเสริมรับแรงอัดเท่ากับ - เหล็กเสริมรับแรงดึง 10 ตัว รายละเอียดของคานทั้งหมดได้สรุปไว้ในตารางที่ 4.1

ในการวิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบกับการทดลองจะแบ่งคานออกเป็น 10 ชิ้นส่วนย่อย และแบ่งน้ำหนักบรรทุกซึ่งกระทำอย่างสม่ำเสมอไปเป็นน้ำหนักกระทำเป็นจุดที่แต่ละจุดต่อตลอดความยาวของคาน โดยใช้ค่าการโก่งตัวที่กึ่งกลางคานภายหลังการรับน้ำหนักบรรทุกเป็นระยะเวลาต่าง ๆ กันเป็นตัวเปรียบเทียบ

รูปที่ 4.1 - 4.3 แสดงค่าโก่งตัวที่กึ่งกลางคานเมื่อคานรับน้ำหนักบรรทุกเป็นระยะเวลาต่าง ๆ กัน ค่าสังเกตุและค่าจากการวิเคราะห์ของค่าโก่งตัวที่กึ่งกลางคานที่เวลาเป็นศูนย์ และที่เวลา $2\frac{1}{2}$ ปี ได้เปรียบเทียบไว้ในตารางที่ 4.2 ค่าสังเกตุได้จากการวัดเส้นโค้งจากเอกสารอ้างอิง (9) รูปที่ 4.1 - 4.3 ดังที่ได้แสดงไว้ จุดแบบต่าง ๆ ใช้แทนค่าสังเกตุ ส่วนเส้นทึบใช้แทนค่าจากการวิเคราะห์ ที่เวลาเป็นศูนย์โดยส่วนใหญ่ค่าสังเกตุจะมีค่าน้อยกว่าค่าจากการวิเคราะห์จากตารางที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าที่เวลาเป็นศูนย์ อัตราส่วนของค่าสังเกตุต่อค่าจากการวิเคราะห์มีค่าตั้งแต่ 0.70 ถึง 1.03 ภายใต้น้ำหนักบรรทุกค้างค่าที่ได้จากการวิเคราะห์จะเพิ่มขึ้นในอัตราที่ลดลง และมีค่าน้อยกว่าค่าสังเกตุที่เวลา $2\frac{1}{2}$ ปี คานในชุด A,B, C และ D ค่าจากการวิเคราะห์และค่าสังเกตุให้ค่าสอดคล้องกันเป็นอย่างดี แต่ผลการเปรียบเทียบไม่สอดคล้องในคานชุด E ซึ่งมีอัตราส่วนความยาวต่อความลึกมากที่สุด (L/T = 70) โดยที่มีความลึกคานทั้งหมดเพียง 3 นิ้ว ถ้าไม่นับค่าจากชุด E แล้วที่เวลา $2\frac{1}{2}$ ปี อัตราส่วนของค่าสังเกตุต่อค่าจากการวิเคราะห์มีค่าตั้งแต่ 1.08 ถึง 1.26 ซึ่งเป็นไปได้ว่าค่าที่แตกต่างนี้เกิดจากปัจจัยต่าง ๆ ที่ไม่ได้พิจารณาในการวิเคราะห์ เช่น ผลของการหดตัว (Shrinkage) และอัตราส่วนความยาวต่อความลึกของคาน เป็นต้น

4.3 การทดสอบคานคอนกรีตเสริมเหล็กภายใต้น้ำหนักบรรทุกค้างโดย Corley และSozen

Corley และ Sozen (10) ได้ทดสอบคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีฐานรองรับแบบธรรมดา ซึ่งไม่มีเหล็กเสริมรับแรงอัด เป็นจำนวน 4 ตัว แต่จะนำมาเปรียบเทียบกับการวิเคราะห์เพียง 3 ตัว เนื่องจากคาน C2 ใช้ในการศึกษาผลของการหดตัว รายละเอียดของหน้าตัดคานได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.3

คาน C1, C3 และ C4 นั้นมีน้ำหนักกระทำห่างจากปลายทั้งสองข้างเป็นระยะ 1/4 ของความยาวคาน น้ำหนักที่กระทำ P มีค่าเท่ากับ 1016 กก.(2240 ปอนด์) สำหรับคานทุก

ตัว โดยใช้เวลาในการทดสอบ 23 เดือน การวิเคราะห์จะแบ่งคานออกเป็น 8 ชิ้นส่วนย่อย ที่มีขนาดยาวเท่า ๆ กัน ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.4 น้ำหนักที่กระทำเป็นจุด $\frac{P}{2}$ กระทำที่จุดต่อที่ 3 และ 7

รูปที่ 4.4 แสดงค่าโก่งตัวที่กึ่งกลางคานที่ได้จากการสังเกตุ และจากการวิเคราะห์ภายหลังการรับน้ำหนักเป็นระยะเวลาต่าง ๆ กันจนถึง 23 เดือน ค่าโก่งตัวที่กึ่งกลางคานทั้งค่าสังเกตุและค่าจากการวิเคราะห์ได้เปรียบเทียบไว้ในตารางที่ 4.4 ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.4 จุดแบบต่าง ๆ แสดงค่าจากการทดลอง ส่วนผลจากการวิเคราะห์แทนด้วนเส้นทึบ จากการเปรียบเทียบพบว่าค่าโก่งตัวที่กึ่งกลางคานสอดคล้องกันเป็นอย่างดีในทุกกรณี ความแตกต่างระหว่างค่าสังเกตุ และค่าจากการวิเคราะห์มีค่าตั้งแต่ -4% ถึง + 19% ดังจะเห็นได้จากตารางที่ 4.4

4.4 การทดสอบเสาคอนกรีตเสริมเหล็กภายใต้น้ำหนักบรรทุกค้างโดย Green และ Breen

Green และ Breen (11) ได้รายงานการทดสอบเสายาวคอนกรีตเสริมเหล็กแบบที่ปลายไม่มีการยึดรั้งภายใต้น้ำหนักบรรทุกค้างจำนวน 10 ต้น คุณสมบัติของเสาแต่ละต้นได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.5 โดยเสาจะรับน้ำหนักแบบเยื้องศูนย์เป็นเวลา 9 เดือน

การวิเคราะห์จะแบ่งเสาแต่ละต้นออกเป็น 10 ชิ้นส่วนย่อยยาวเท่า ๆ กัน และทำการเปรียบเทียบค่าโก่งตัวทางด้านข้างที่กึ่งกลางเสากับค่าจากการสังเกตุภายใต้การรับน้ำหนักเป็นเวลาต่าง ๆ กัน ดังแสดงในรูปที่ 4.5 และ 4.6 ค่าสังเกตุจากการทดลองได้จากการวัดเส้นโค้งที่แสดงไว้ในเอกสารอ้างอิง (11)

รูปที่ 4.5 และ 4.6 ได้แสดงค่าสังเกตุในรูปของจุดแบบต่าง ๆ และค่าจากการวิเคราะห์ในรูปของเส้นทึบ เสา S1,S2, S3 และ S7 ค่าโก่งตัวทางด้านข้างที่กึ่งกลางเสาจากการสังเกตุและจากการวิเคราะห์ให้ค่าที่สอดคล้องกันเป็นอย่างดีที่ทุกระยะเวลาของการรับน้ำหนักบรรทุก เสา S10 ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์มีค่าต่ำกว่าค่าสังเกตุที่ทุกระยะเวลาของการรับน้ำหนัก โดยมีความแตกต่างมากภายใต้การรับน้ำหนักระยะเวลาสั้น และมีค่าใกล้เคียงกันมากขึ้นเมื่อเวลาในการรับน้ำหนักเพิ่มขึ้น เสา S8 ค่าจากการวิเคราะห์มีค่ามากกว่าค่าสังเกตุที่ทุกระยะเวลาของการรับน้ำหนัก โดยมีค่าใกล้เคียงกันที่เวลาเป็นศูนย์ และเมื่อรับน้ำหนักบรรทุกมากกว่า 100 วัน แต่ช่วงเวลาระหว่างนั้นค่าจากการวิเคราะห์แตกต่างจากค่า

1735841

สังเกตุมาก และจะสังเกตุได้ว่าค่าโก่งตัวจากการสังเกตุมีอัตราการเพิ่มที่รวดเร็วมาก ทำให้วิธีการวิเคราะห์นี้ไม่สามารถทำนายพฤติกรรมได้ใกล้เคียง อัตราส่วนของค่าจากการวิเคราะห์ต่อค่าสังเกตุ มีค่าตั้งแต่ 0.80 ถึง 1.22 ภายหลังการรับน้ำหนักเป็นเวลา 9 เดือน และมีค่าตั้งแต่ 0.84 ถึง 1.29 ภายใต้การรับน้ำหนักบรรทุกระยะเวลาสั้น ดังสรุปไว้ในตารางที่ 4.6

รูปที่ 4.6 ได้แสดงการเปรียบเทียบพฤติกรรมของเสา S4, S5และS6 กับวิธีการวิเคราะห์เสา S5 ค่าจากการวิเคราะห์และค่าสังเกตุสอดคล้องกันเป็นอย่างดีที่ทุกระยะเวลาของการรับน้ำหนัก เสา S4 และ S6 ค่าโก่งตัวทางด้านข้างที่กึ่งกลางเสาจากการสังเกตุมีค่ามากกว่าค่าจากการวิเคราะห์ที่ทุกระยะเวลาของการรับน้ำหนัก โดยเกิดการวิบัติในเสา S4 และ S6 เมื่อรับน้ำหนักบรรทุกเป็นเวลา 73 ชั่วโมง (3วัน) และ 1036 ชั่วโมง (43 วัน) ตามลำดับ จากวิธีที่ใช้วิเคราะห์เวลาที่เกิดการวิบัติเป็น 7 วันในเสา S4 และ 100 วันในเสา S6

เสา S9 ไม่ได้ทำการเปรียบเทียบไว้ เนื่องจากเสา S9 นั้นเกิดการวิบัติภายหลังการรับน้ำหนักเป็นเวลาเพียง 23 นาทีเท่านั้น

4.5 การทดสอบเสาชะลูดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบปลายยึดหมุนภายใต้น้ำหนักบรรทุกค้างโดย Goyal และ Jackson

Goyal และ Jackson (12) ได้ทำการทดสอบเสาชะลูดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบปลายยึดหมุน จำนวน 46 ต้น การทดสอบให้เสารับน้ำหนักบรรทุกระยะเวลาสั้นจำนวน 26 ต้น และรับน้ำหนักบรรทุกค้างจำนวน 20 ต้น โดยมีค่าน้ำหนักบรรทุกค้างเป็น 40% และ 60% ของกำลังรับน้ำหนักบรรทุกระยะเวลาสั้นของเสาที่มีคุณสมบัติเหมือนกัน เสารับน้ำหนักบรรทุกค้างเป็นเวลา 6 เดือน ถ้าหากว่ายังไม่เกิดการวิบัติจะทำการเพิ่มน้ำหนักบรรทุกอย่างรวดเร็วจนกระทั่งเกิดการวิบัติ

เนื่องจากเสาที่ทดลองมีจำนวนมากจึงเลือกเฉพาะเสา H,G, R และ P เพื่อเปรียบเทียบค่าจากการวิเคราะห์กับค่าสังเกตุ ในการวิเคราะห์จะแบ่งเสาแต่ละต้นออกเป็น 10 ชิ้นส่วนย่อยยาวเท่า ๆ กัน ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.6 และ 4.7

ค่าโก่งตัวทางด้านข้างที่กึ่งกลางเสาของเสา H, G และ R ที่ได้จากการวิเคราะห์และจากการสังเกตุได้เปรียบเทียบไว้ในรูปที่ 4.6 จะเห็นความสอดคล้องเป็นอย่างดีในเสา H และ G สำหรับเสา R ภายใต้การรับน้ำหนักบรรทุกระยะเวลาสั้น ค่าโก่งตัวที่กึ่งกลางความสูงที่ได้จากการวิเคราะห์มีค่าน้อยกว่าค่าสังเกตุมาก แต่ภายหลังการรับน้ำหนักผ่านไปแล้ว 1 วัน ค่าจากการวิเคราะห์กลับใกล้เคียงกับค่าสังเกตุ ความแตกต่างระหว่างค่าสังเกตุและค่าจากการวิเคราะห์ในเสา R ภายหลังการรับน้ำหนักบรรทุกเป็นเวลา 6 เดือน มีค่าราว 7.7%

รูปที่ 4.7 แสดงเส้นโค้งน้ำหนักบรรทุก กับการโก่งตัวที่กึ่งความสูงสำหรับเสา P ซึ่งรับน้ำหนักบรรทุกค้างเป็นเวลา 6 เดือน และเพิ่มน้ำหนักบรรทุกอย่างรวดเร็วจนกระทั่งเกิดการวิบัติ ค่าจากการวิเคราะห์และค่าสังเกตุให้ผลใกล้เคียงกันทุกช่วงของการทดลอง ณ ตำแหน่งที่เกิดการวิบัติ ค่าน้ำหนักบรรทุกที่ได้จากการวิเคราะห์เป็น 6,950 กิโลกรัม ขณะที่ค่าจากการสังเกตุเป็น 6,840 กิโลกรัม

4.6 การทดสอบโครงคอนกรีตเสริมเหล็กรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าภายใต้น้ำหนักบรรทุกค้างโดย Furlong และ Ferguson

Furlong และ Ferguson(31) ได้รายงานการศึกษาโครงคอนกรีตเสริมเหล็กรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าจำนวน 7 โครง ซึ่งรับน้ำหนักบรรทุกแบบสมมาตร ทำให้เสาโก่งแบบโค้งเดียว (Single Curvature)การทดสอบได้เพิ่มน้ำหนักบรรทุกอย่างรวดเร็วกับโครงจำนวน 6 โครง (F1 - F6) จนกระทั่งเกิดการวิบัติ โครงตัวที่ 7(F7) จะรับน้ำหนักบรรทุกค้างมีค่าราว60% ของความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกระยะเวลาสั้น เป็นเวลา 100 วัน หลังจากนั้นจะเพิ่มน้ำหนักบรรทุกอย่างรวดเร็วจนกระทั่งวิบัติ

ในที่นี้จะทำการเปรียบเทียบเฉพาะโครง F7 เท่านั้น ซึ่งรายละเอียดทางโครงสร้างได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.8 การวิเคราะห์จะคิดเพียงหนึ่งในสี่ของโครง เนื่องจากมีคุณสมบัติสมมาตรสองแกนของทั้งโครงสร้างและน้ำหนักบรรทุก

รูปที่ 4.10 ได้แสดงการเปรียบเทียบพฤติกรรมของโครง F7 ที่ได้จากการวิเคราะห์กับการทดสอบ ซึ่งให้พฤติกรรมที่สอดคล้องกันเป็นอย่างดี ที่ระดับน้ำหนักบรรทุกค้างค่าโก่งตัวที่กึ่งความสูงของเสาที่เกิดขึ้นทันทีทันใด และภายหลังการบรรทุกค้างเป็นเวลา 100 วันค่าจากการวิเคราะห์มีค่ามากกว่าค่าสังเกตุราว 8.5% น้ำหนักบรรทุกวิบัติจากการวิเคราะห์

เป็น 36.20 ตัน ขณะที่น้ำหนักบรรทุกวิบัติที่เกิดขึ้นจริงเป็น 35.61 ตัน

4.7 สรุป

การเปรียบเทียบค่าโก่งตัวที่ได้จากการวิเคราะห์กับค่าจากการสังเกตุ ซึ่งกระทำโดยนักวิจัยที่มีชื่อเสียงหลายท่าน ให้ผลสอดคล้องกันเป็นอย่างดีในเกือบทุกกรณี ความผิดพลาดสัมพัทธ์ที่เกิดขึ้นมีค่าราว ± 30% วิธีการวิเคราะห์นี้จะใช้ในการวิเคราะห์ผลกระทบของคาน-คอนกรีตเสริมเหล็กที่มีผลต่อกำลังรับน้ำหนักของเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก ในโครงสร้างภายใต้น้ำหนักบรรทุกค้างต่อไป