บทที่ 3
องค์ประกอบหลักและผลการวิเคราะห์

3.1 องค์ประกอบที่มีอิทธิพลต่อพฤติกรรมของโครงสร้างสะพานคอนกรีต

การศึกษาผลของคานขวางต่อพฤติกรรมของสะพานคอนกรีตช่วงยาว จะทำการศึกษาความสัมพันธ์ขององค์ประกอบที่มีอิทธิพลต่อพฤติกรรมของสะพานคอนกรีตซึ่งมีฐานรองรับอย่างง่ายทั้งสองข้าง ซึ่งงานวิจัยนี้เลือกทำการศึกษาระบบโครงสร้างสะพานคอนกรีตแบบพื้น-คาน และระบบโครงสร้างสะพานคอนกรีตรูปกล่อง โครงสร้างระบบแรกประกอบด้วยแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อในที่ยึดติดกับคานทางยาวคอนกรีตอัดแรง (AASHTO Type 4) 5 ตัว และมีคานคอนกรีตเสริมเหล็กยึดทางขวางระหว่างช่วงพาดของสะพาน รูปที่ 2.1 และรูปที่ 2.2 แสดงแปลนและรูปตัดของโครงสร้างจริง สำหรับโครงสร้างจำลองและรูปร่างหน้าตัดขององค์อาคารได้แสดงในรูปที่ 2.3 และ 2.4 ตามลำดับ ส่วนโครงสร้างสะพานรูปกล่องได้ศึกษาสะพานรูปกล่อง แบบ 2 เซล มีปีกยื่นด้านข้าง และมีแผ่นครีบแข็งเกร็งบริเวณฐานรองรับอย่างง่ายทั้งสองข้าง ดังแสดงในรูปที่ 2.6 ซึ่งอาจจำลองโครงสร้างได้ดังแสดงในรูปที่ 2.8 โดยพิจารณาคุณสมบัติของหน้าตัดได้ตามที่แสดงในรูปที่ 2.7

ในการศึกษาพฤติกรรมภายใต้น้ำหนักบรรทุกของระบบโครงสร้างสะพานดังกล่าว ได้กำหนดให้มีน้ำหนักบรรทุกแบบจุดขนาดหนึ่งหน่วยกระทำในแนวดิ่งที่กึ่งกลางช่วงพาดของสะพาน โดยกำหนดตัวแปรขององค์ประกอบหลักในระบบโครงสร้างดังนี้

3.1.1 ระบบโครงสร้างสะพานคอนกรีตแบบพื้น-คาน

องค์ประกอบหลักที่ศึกษาสำหรับระบบโครงสร้างชนิดนี้คือ

1. อัตราส่วนของค่าคงที่ต้านการดัดขององค์อาคารทางขวางต่อค่าคงที่ต้านการดัดขององค์อาคารทางยาว (Flexural Constant Ratio , I_y/I_x)
2. อัตราส่วนของความยาวช่วงพาดต่อความกว้างของสะพาน , L/B
3. จำนวนของคานขวางในระหว่างช่วงพาดของสะพาน , N

3.1.2 ระบบโครงสร้างสะพานคอนกรีตแบบรูปกล่อง

ในโครงสร้างระบบนี้จะกำหนดให้มีน้ำหนักกระทำตรงตำแหน่งแผ่นเอวบริเวณขอบของกล่องเพื่อให้เกิดแรงบิดสูงสุด และแปรค่าองค์ประกอบที่สำคัญ ๆ ดังนี้

1. อัตราส่วนของค่าคงที่ต้านการดัดขององค์อาคารทางขวางต่อค่าคงที่ต้านการดัดขององค์อาคารทางยาว, I_y/I_x
2. จำนวนของแผ่นครีบทางขวางระหว่างฐานรองรับ โดยจะทำการเสริมแผ่นครีบให้ตรงกับตำแหน่งองค์อาคารทางขวางของโครงสร้างจำลองในรูปที่ 2.8

3.2 คุณสมบัติของคอนกรีต

เนื่องจากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าเหล็กเสริมมีนัยสำคัญต่อพฤติกรรมของระบบโครงสร้างคอนกรีตน้อยมาก ดังนั้นในการคำนวณคุณสมบัติขององค์อาคารในโครงสร้างจำลองจึงสมมุติให้องค์อาคารมีหน้าตัดเป็นคอนกรีตล้วนโดยไม่คำนึงถึงเหล็กเสริม และค่าคุณสมบัติของคอนกรีตในการศึกษาสมมุติให้คอนกรีตมีค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่น , E เท่ากับ 3.2×10^5 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ค่าอัตราส่วนของปัวซอง , u เท่ากับ 0.15 ส่วนค่าโมดูลัสของแรงเฉือน , G คำนวณจากความสัมพันธ์ $G = E/2(1+u)$

3.3 ผลการวิเคราะห์

ผลการวิเคราะห์อิทธิพลของคานขวางที่มีต่อความสามารถในการกระจายน้ำหนักบรรทุกทางขวางระหว่างคานทางยาวในโครงสร้างสะพานคอนกรีต ถูกนำเสนอในเทอมของแรงปฏิกริยาที่ฐานรองรับ โมเมนต์บิดที่ฐานรองรับ โมเมนต์ดัดในคานทางยาวและค่าระยะการโก่งตัวที่กึ่งกลางช่วงพาดของคานหลักแต่ละตัว ค่าต่าง ๆ ที่ใช้ในการศึกษาเปรียบเทียบจะทำให้เป็นค่าไร้หน่วยด้วยการหารค่าของแรงปฏิกริยาที่ฐาน โมเมนต์ดัด และระยะการโก่งตัวของคานในโครงสร้างจำลองด้วยค่าแรงปฏิกริยา โมเมนต์ดัดและระยะการโก่งตัวของคานตัวเดียวซึ่งมีฐานรองรับอย่างง่ายและมีความยาวช่วงพาดเท่ากันกับโครงสร้างสะพานจริง และเรียกค่าเหล่านี้ว่า ค่าสัมประสิทธิ์ของแรงปฏิกริยา ค่าสัมประสิทธิ์ของโมเมนต์ดัด และค่า

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สัมประสิทธิ์ของระยะการโก่งตัว สำหรับค่าโมเมนต์บิดที่ฐานรองรับของโครงสร้างจริงจะถูกหารด้วยค่าโมเมนต์ดัดของคานตัวเดียวซึ่งมีฐานรองรับอย่างง่าย เพื่อทำให้เป็นค่าไร้หน่วยเช่นเดียวกับค่าอื่น ๆ และเรียกว่าค่าสัมประสิทธิ์ของโมเมนต์บิด

3.3.1 <u>ผลของคานขวางต่อระบบโครงสร้างสะพานคอนกรีตแบบพื้น-คาน</u>

รูปที่ 3.1 - 3.3 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ของแรงปฏิกริยาที่ฐานรองรับในโครงสร้างสะพานคอนกรีตแบบพื้น-คานตามอัตราส่วนของค่าคงที่ต้านการดัดขององค์อาคารทางขวางต่อค่าคงที่ต้านการดัดขององค์อาคารทางยาว, อัตราส่วนของความยาวช่วงพาดต่อความกว้างของสะพานและจำนวนคานขวางในระหว่างช่วงพาดตามลำดับ ซึ่งในแต่ละรูปได้แปรค่าองค์ประกอบหลักที่ต้องการพิจารณาในขณะที่องค์ประกอบหลักอื่น ๆ มีค่าคงที่ เพื่อแสดงให้เห็นอิทธิพลขององค์ประกอบหลักแต่ละตัวที่มีต่อพฤติกรรมการกระจายน้ำหนักบรรทุกทางขวางในโครงสร้างสะพานคอนกรีตได้อย่างชัดเจน

สัมประสิทธิ์ของแรงปฏิกริยาที่ฐานรองรับ สัมประสิทธิ์ของโมเมนต์ดัดที่กึ่งกลางช่วงพาด สัมประสิทธิ์ของระยะการโก่งตัวที่กึ่งกลางช่วงพาด และสัมประสิทธิ์ของโมเมนต์บิดที่ฐานรองรับของคานทางยาวเมื่อโครงสร้างสะพานคอนกรีตมีองค์ประกอบหลักในสัดส่วนต่าง ๆ กันได้เสนอไว้ในภาคผนวก ข

ก. <u>อิทธิพลของอัตราส่วนของค่าคงที่ต้านการดัดขององค์อาคารทางขวางต่อค่าคงที่ต้านการดัดขององค์อาคารทางยาว</u>

พิจารณาอิทธิพลของอัตราส่วนของค่าคงที่ต้านการดัดขององค์อาคารทางขวางต่อค่าคงที่ต้านการดัดขององค์อาคารทางยาวที่มีต่อพฤติกรรมการกระจายน้ำหนักบรรทุกทางขวางในระบบโครงสร้างสะพานซึ่งมีคานขวางยึดระหว่างคานทางยาวตรงตำแหน่งหนึ่งในสี่ของช่วงพาด อัตราส่วนของความยาวต่อความกว้างเท่ากับ 1.75 และมีน้ำหนักกระทำตรงตำแหน่งกึ่งกลางช่วงพาดของคานตัวริม ดังแสดงในรูปที่ 3.1 พบว่าเมื่ออัตราส่วนของค่าคงที่ต้านการดัดขององค์อาคารทางขวางต่อค่าคงที่ต้านการดัดขององค์อาคารทางยาวมีค่ามากขึ้นทำให้มีการกระจายน้ำหนักบรรทุกจากคานตรงตำแหน่งน้ำหนักกระทำไปยังคานตัวอื่น ๆ เพิ่มมากขึ้น โดย

สัดส่วนการกระจายน้ำหนักจะมีค่ามากเมื่ออัตราส่วนของค่าคงที่ต้านการดัดขององค์อาคารทางขวางต่อค่าคงที่ต้านการดัดขององค์อาคารทางยาวเพิ่มขึ้นในช่วงแรก และสัดส่วนการกระจายน้ำหนักบรรทุกจะค่อย ๆ ลดลงที่อัตราส่วนของค่าคงที่ต้านการดัดขององค์อาคารทางขวางต่อค่าคงที่ต้านการดัดขององค์อาคารทางยาวมีค่าสูง ๆ จากกราฟจะเห็นว่ามีการกระจายน้ำหนักจากคานตรงตำแหน่งน้ำหนักบรรทุกไปยังคานตัวอื่น ๆ น้อยมากเมื่ออัตราส่วนของค่าคงที่ต้านการดัดขององค์อาคารทางขวางต่อค่าคงที่ต้านการดัดขององค์อาคารทางยาวมีค่ามากกว่า 0.30 ซึ่ง ณ.จุดนี้น้ำหนักที่รับโดยคานตรงตำแหน่งกระทำมีค่าประมาณ 0.60 ของน้ำหนักบรรทุกทั้งหมด สำหรับโครงสร้างสะพานซึ่งมีค่าขององค์ประกอบหลักอื่น ๆ ต่างไปจากที่เสนอในรูปที่ 3.1 (ภาคผนวก ข.) อิทธิพลของอัตราส่วนของค่าคงที่ต้านการดัดขององค์อาคารทางขวางต่อค่าคงที่ต้านการดัดขององค์อาคารทางยาวที่มีต่อพฤติกรรมของโครงสร้างสะพานยังคงมีลักษณะเช่นเดิม จะต่างกันที่ขนาดของค่าสัมประสิทธิ์เท่านั้น จากการศึกษาในที่นี้พบว่าอัตราส่วนของค่าคงที่ต้านการดัดที่มีนัยสำคัญต่อพฤติกรรมการกระจายน้ำหนักบรรทุกทางขวางมีค่าสูงสุดประมาณ 0.50 ซึ่งหมายถึงอัตราส่วนของค่าคงที่ต้านการดัดที่มีค่ามากกว่า 0.50 จะไม่ช่วยให้มีการกระจายน้ำหนักบรรทุกทางขวางได้เพิ่มขึ้นอีก ส่วนอัตราส่วนของค่าคงที่ต้านการดัดที่เหมาะสมในระหว่างช่วง 0 - 0.50 จะมีค่าเป็นเท่าใดนั้นขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลักอื่น ๆ ในโครงสร้างสะพานคอนกรีตนั้น ๆ จะมีสัดส่วนเป็นอย่างไร ทำนองเดียวกันอิทธิพลของอัตราส่วนของค่าคงที่ต้านการดัดขององค์อาคารทางขวางต่อค่าคงที่ต้านการดัดขององค์อาคารทางยาวที่มีต่อค่าสัมประสิทธิ์ของโมเมนต์ดัดในคานทางยาวหรือค่าสัมประสิทธิ์ของระยะโก่งตัวที่กึ่งกลางช่วงพาด จะมีลักษณะเช่นเดียวกับที่มีต่อค่าสัมประสิทธิ์ของแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับ (ภาคผนวก ข) สำหรับค่าสัมประสิทธิ์ของโมเมนต์บิดที่ฐานรองรับจะมีค่าเพิ่มขึ้นในคานตรงตำแหน่งน้ำหนักกระทำเมื่ออัตราส่วนของค่าคงที่ต้านการดัดขององค์อาคารทางขวางต่อค่าคงที่ต้านการดัดขององค์อาคารทางยาวมีค่าเพิ่มขึ้น แต่สัมประสิทธิ์ของโมเมนต์บิดนี้จะมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับค่าสัมประสิทธิ์อื่น ๆ

ข. <u>อิทธิพลของอัตราส่วนของความยาวช่วงพาดต่อความกว้างของสะพาน</u>

พิจารณารูปที่ 3.2 ซึ่งแสดงสัมประสิทธิ์ของแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับตามอัตราส่วนของความยาวช่วงพาดต่อความกว้างของโครงสร้างสะพานซึ่งมีอัตราส่วนของค่าคงที่ต้านการดัดขององค์อาคารทางขวางต่อค่าคงที่ต้านการดัดขององค์อาคารทางยาวเป็น 0.20

และมีจำนวนคานขวางในระหว่างพาดเท่ากับ 3 พบว่าความสามารถในการกระจายน้ำหนักบรรทุกระหว่างคานทางยาวในโครงสร้างสะพานคอนกรีตนอกจากจะถูกกำหนดด้วยค่าอัตราส่วนของค่าคงที่ต้านการดัดขององค์อาคารทางขวางต่อค่าคงที่ต้านการดัดขององค์อาคารทางยาวดังกล่าวในข้อ ก แล้วยังถูกกำหนดด้วยอัตราส่วนของความยาวช่วงพาดต่อความกว้างด้วย โดยที่คานตรงตำแหน่งน้ำหนักกระทำในโครงสร้างสะพานที่มีอัตราส่วนของความยาวช่วงพาดต่อความกว้างมาก จะรับน้ำหนักบรรทุกน้อยกว่าเมื่อเทียบกับคานตรงตำแหน่งน้ำหนักกระทำในโครงสร้างสะพานที่มีอัตราส่วนของความยาวช่วงพาดต่อความกว้างน้อย เนื่องจากการเพิ่มค่าอัตราส่วนของความยาวช่วงพาดต่อความกว้างเสมือนกับองค์อาคารทางขวางมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับองค์อาคารทางยาว ซึ่งทำให้มีการกระจายน้ำหนักบรรทุกจากคานตรงตำแหน่งน้ำหนักกระทำไปยังคานข้างเคียงได้เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับการเพิ่มค่าอัตราส่วนของค่าคงที่ต้านการดัดขององค์อาคารทางขวางต่อค่าคงที่ต้านการดัดขององค์อาคารทางยาว แต่พบว่าอัตราส่วนของความยาวช่วงพาดต่อความกว้างของสะพาน มีนัยสำคัญต่อพฤติกรรมการกระจายน้ำหนักบรรทุกทางขวางน้อยกว่าเมื่อเทียบกับอัตราส่วนของค่าคงที่ต้านการดัดขององค์อาคารทางขวางต่อค่าคงที่ต้านการดัดขององค์อาคารทางยาว

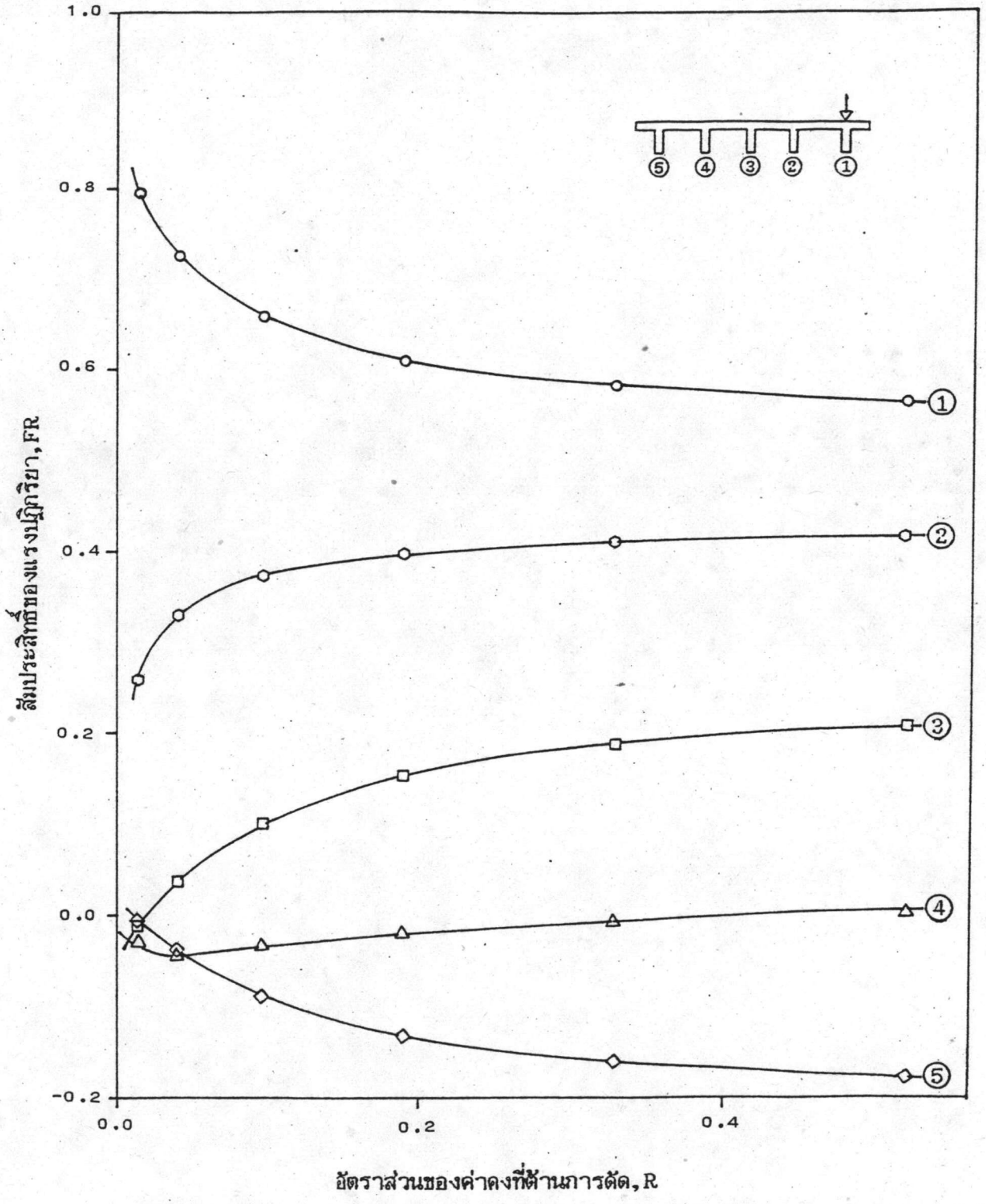
ค. <u>อิทธิพลของจำนวนของคานขวางในระหว่างช่วงพาดของสะพาน</u>

รูปที่ 3.3 แสดงสัมประสิทธิ์ของแรงปฏิกริยาที่ฐานรองรับตามจำนวนคานนขวางในระหว่างช่วงพาดของโครงสร้างสะพานซึ่งมีอัตราส่วนของค่าคงที่ต้านการดัดขององค์อาคารทางขวางต่อค่าคงที่ต้านการดัดขององค์อาคารทางยาวเป็น 0.20 อัตราส่วนของความยาวช่วงพาดต่อความกว้างเป็น 1.75 การศึกษาพบว่าเมื่อจำนวนคานขวางในระหว่างช่วงพาดของโครงสร้างสะพานเพิ่มขึ้นจะมีผลต่อพฤติกรรมของโครงสร้างสะพานนั้นๆ คือ สัมประสิทธิ์ของแรงปฏิกริยาและสัมประสิทธิ์ของระยะการโก่งตัว มีค่าลดลงในคานตรงตำแหน่งน้ำหนักกระทำ แต่จะมีค่าเพิ่มขึ้นในคานข้างเคียง โดยที่สัดส่วนการลดลงของสัมประสิทธิ์ของแรงปฏิกริยาและสัมประสิทธิ์ของระยะการโก่งตัวจะลดลงเมื่อจำนวนคานขวางเพิ่มขึ้นในขณะที่มีคานขวางมากๆ และการเพิ่มจำนวนคานขวางจะมีผลต่อพฤติกรรมของโครงสร้างสะพานเล็กน้อยเมื่อมีจำนวนคานขวางมากกว่า 3 แต่สำหรับค่าสัมประสิทธิ์ของโมเมนต์ดัดในคานทางยาวนั้นการเพิ่มจำนวนคานขวางในระหว่างช่วงพาดมีนัยสำคัญต่อค่าสัมประสิทธิ์ของโมเมนต์ดัดในคาน

ทางยาวแต่ละตัวน้อยมาก สำหรับค่าสัมประสิทธิ์ของโมเมนต์บิดที่ฐานรองรับจะมีขนาดเพิ่มขึ้นในคานตรงตำแหน่งน้ำหนักกระทำเมื่อจำนวนคานขวางในระหว่างช่วงพาดของโครงสร้างเพิ่มขึ้น แต่พบว่าค่าสัมประสิทธิ์ของโมเมนต์บิดที่ฐานรองรับจะมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากเมื่อเพิ่มหรือลดจำนวนคานขวางในระหว่างช่วงพาดของระบบโครงสร้างสะพานชนิดนี้

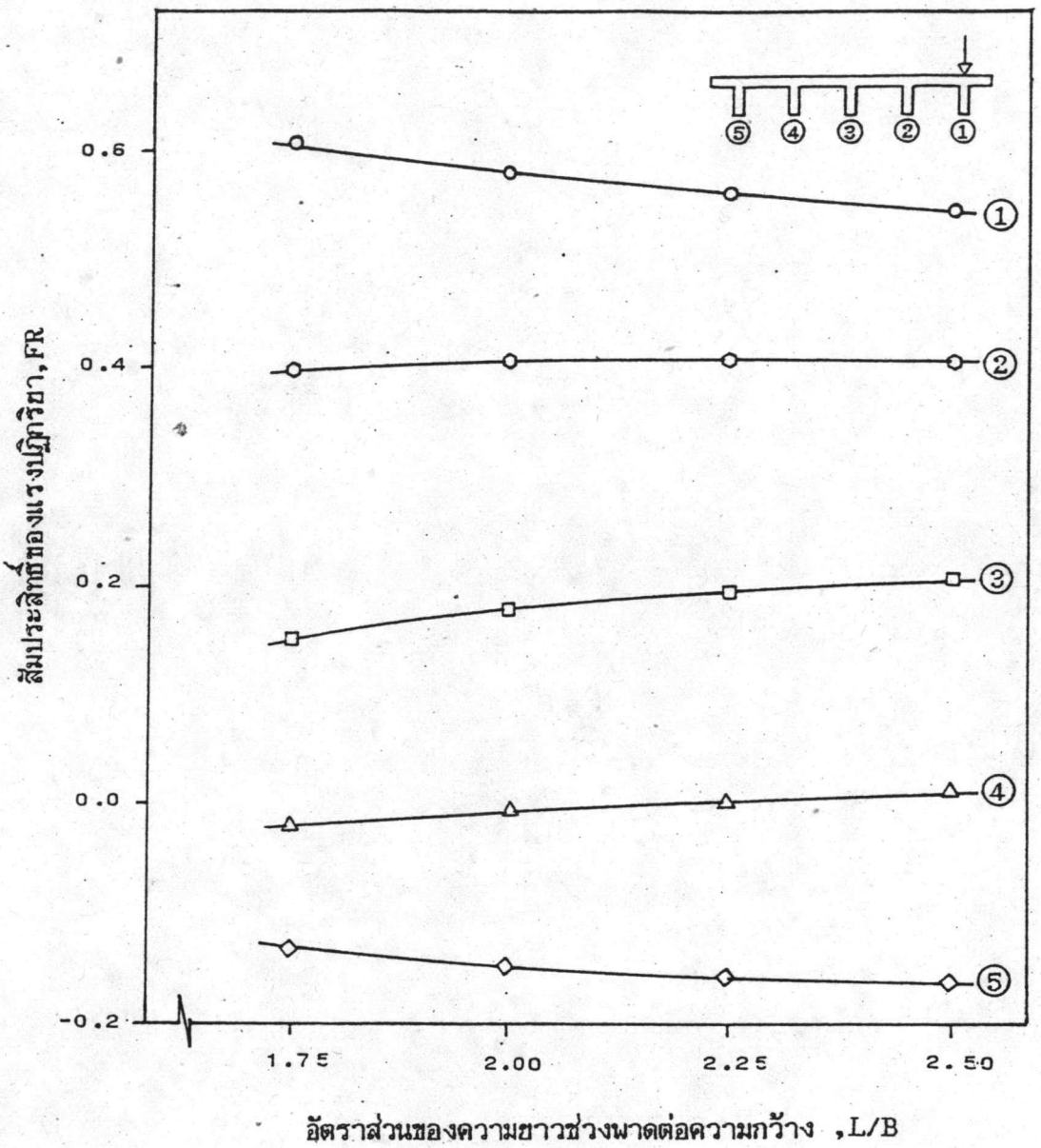
3.3.2 ผลของแผ่นครีบต่อระบบโครงสร้างสะพานคอนกรีตแบบรูปกล่อง

ผลของการวิเคราะห์ระบบโครงสร้างสะพานคอนกรีตแบบรูปกล่องด้วยวิธีแนวทางโครงสร้างกริด ซึ่งโครงสร้างมีขนาดของมิติต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.7 โครงสร้างสะพานมีช่วงพาด 30.00 ม. วางอยู่บนฐานรองรับอย่างง่ายและมีน้ำหนักกระทำที่คานขอบเพื่อให้เกิดแรงบิดสูงสุด รูปที่ 3.4 แสดงค่าของแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับเมื่อมีแผ่นครีบขนาดต่าง ๆ เสริมที่กึ่งกลางช่วงพาด พบว่าขนาดความแข็งแรงที่เพิ่มขึ้นของแผ่นครีบแทบจะไม่มีผลต่อพฤติกรรมการกระจายน้ำหนักบรรทุกทางขวางของระบบโครงสร้างสะพานดังกล่าว ทำนองเดียวกัน ผลการวิเคราะห์ที่เสนอใน รูป 3.5 ซึ่งแสดงค่าของแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับเมื่อมีการเสริมแผ่นครีบขนาดความกว้าง 0.40 ม. และสูงเท่าความลึกของหน้าตัดสะพาน ที่ทุก ๆ ระยะ L/2 , L/4 และL/8 ระหว่างฐานรองรับทั้งสองข้าง พบว่าการเพิ่มจำนวนของแผ่นครีบไม่มีผลต่อพฤติกรรมการกระจายน้ำหนักบรรทุกทางขวางของโครงสร้างสะพานคอนกรีตแบบรูปกล่องที่เลือกมาศึกษาเช่นเดียวกัน

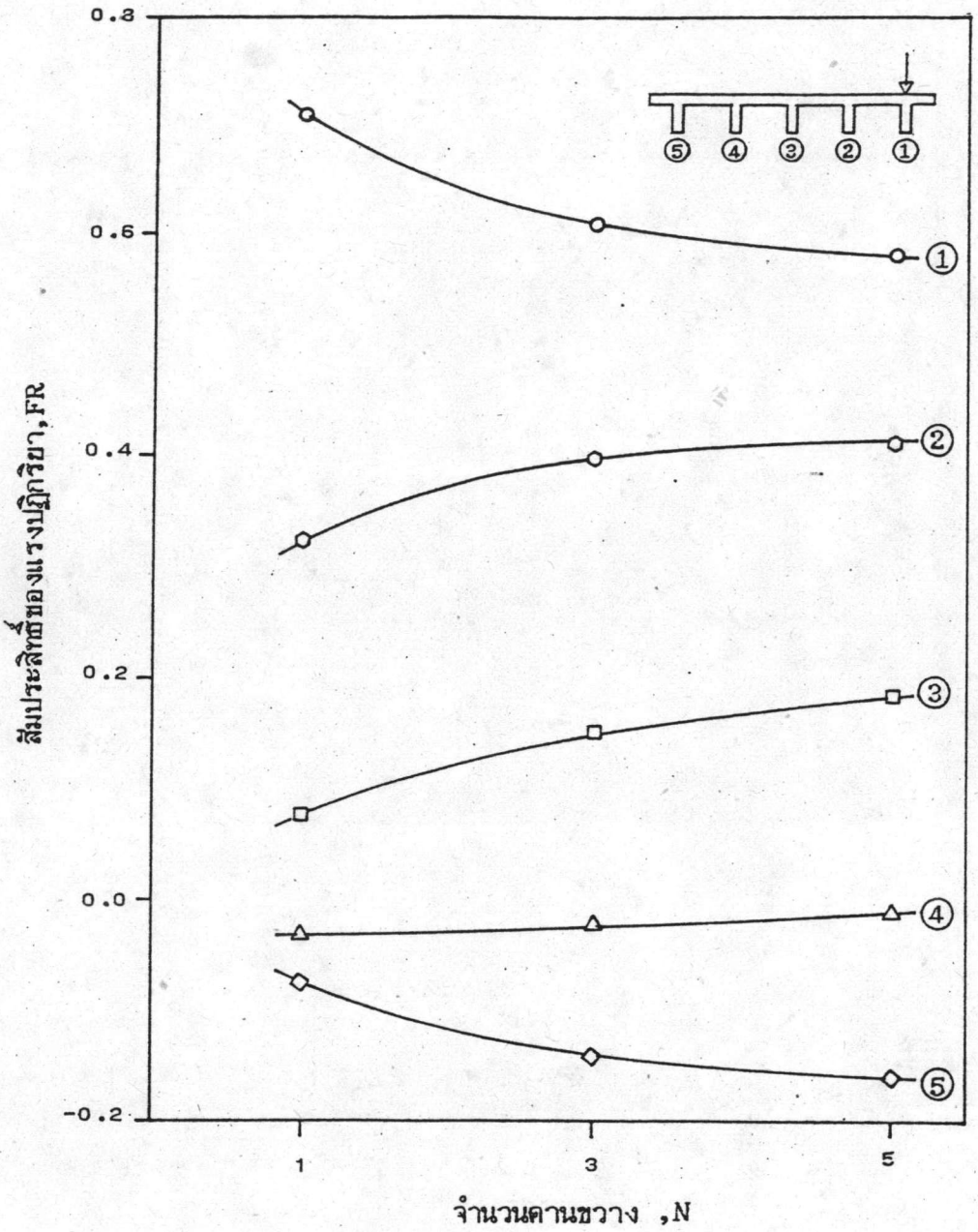


รูปที่ 3.1 สัมประสิทธิ์ของแรงปฏิกริยาตามอัตราส่วนของค่าคงที่ต้านการดัด

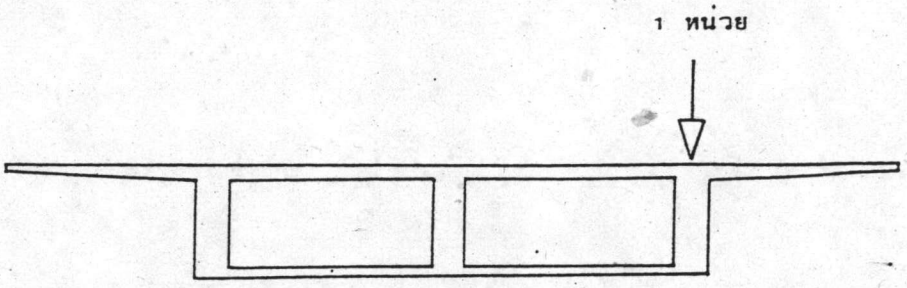
(N=3 , L/B=1.75)



รูปที่ 3.2 สัมประสิทธิ์ของแรงปฏิกิริยาตามอัตราส่วนของความยาวช่วงพาดต่อความกว้าง (R=0.2 , N=3)



รูปที่ 3.3 สัมประสิทธิ์ของแรงปฏิกริยาตามจำนวนคานขวางในระหว่างช่วงพาด
(R=0.2 , L/B=1.75)



○	0.079	0.167	0.254
⬡	0.079	0.167	0.254
□	0.079	0.167	0.254
△	0.079	0.167	0.254

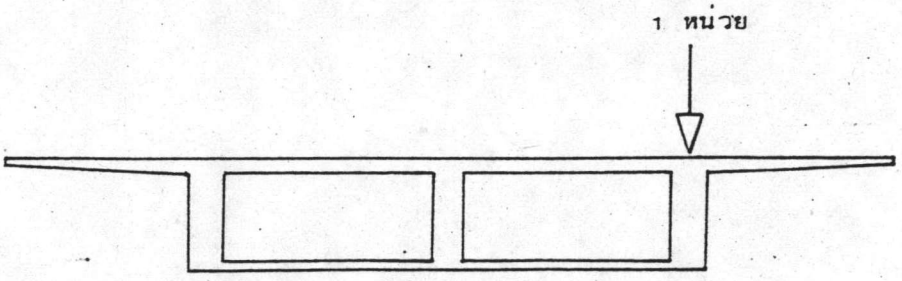
○ ไม่เสริมแผ่นครีบ

⬡ เสริมแผ่นครีบขนาด 0.40x0.60 ม.

□ เสริมแผ่นครีบขนาด 0.40x1.00 ม.

△ เสริมแผ่นครีบขนาด 0.40x1.50 ม.

รูปที่ 3.4 สัมประสิทธิ์ของแรงปฏิกริยา (เสริมแผ่นครีบที่ระยะ L/2)



○	0.079	0.167	0.254
⬡	0.079	0.167	0.254
□	0.079	0.167	0.254
△	0.078	0.167	0.255

○ ไม่เสริมแผ่นครีบ

⬡ เสริมแผ่นครีบที่ระยะ L/2

□ เสริมแผ่นครีบที่ระยะ L/4

△ เสริมแผ่นครีบที่ระยะ L/8

รูปที่ 3.5 สัมประสิทธิ์ของแรงปฏิกริยา (เสริมแผ่นครีบขนาด 0.40x1.50)