บทที่ 7

การวิเคราะห์ผลการทดลอง

การวิเคราะห์ผลการทดลองได้รวบรวมไว้ในตารางที่ 7.1 ถึง 7.10 และกราฟตั้งแต่รูปที่ 7.1 ถึง 7.11 ตัวอย่างการคำนวณได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข. การสรุปและวิเคราะห์อ้างอิงจากตารางและกราฟดังกล่าวนี้ การหย่อนตัวที่อ้างถึงจะหมายถึงระยะดิ่งจากแนวระดับของคอร์ดระหว่างปลายทั้งสองข้างของโครงสร้างจำลอง

7.1 ความสัมพันธ์ของน้ำหนักบรรทุกกับการหย่อนตัวและแรงดึงในเคเบิ้ล

กราฟแสดงความสัมพันธ์ของน้ำหนักบรรทุกกระจายสม่ำเสมอเต็มช่วง กับการหย่อนตัวที่ความยาวช่วงต่าง ๆ แสดงไว้ในรูปที่ 7.1 ในกรณีน้ำหนักบรรทุกกระทำเป็นจุด แสดงไว้ในรูปที่ 7.2 ในการทดลองกระทำในเฉพาะช่วงอีลาสติกของวัสดุ จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าที่แรงดึง 1300 กิโลกรัมต่อเส้นในเคเบิ้ล (เส้นลวดอัดแรง) ของความยาวช่วงโครงสร้างจำลอง 9.00 เมตร นั้น ความสัมพันธ์ของน้ำหนักบรรทุกและการหย่อนตัวเป็นแบบไร้เชิงเส้น ซึ่งตามทฤษฎีจะอยู่ในรูปของฟังก์ชั่นอัตราการหย่อนตัวที่เพิ่มขึ้นยกกำลังสามกับน้ำหนักบรรทุก ตามสมการที่ 3.15

ส่วนแรงดึงในเคเบิ้ลนั้น ยิ่งเคเบิ้ลมีความตึงมาก น้ำหนักบรรทุกที่เพิ่มขึ้นมานั้นจะไปเพิ่มแรงดึงในเคเบิ้ลน้อยลง ในกราฟรูปที่ 7.1 ที่ความยาวช่วงของโครงสร้างจำลอง 3.00 เมตร เส้นกราฟความสัมพันธ์ของน้ำหนักบรรทุกกับแรงดึงในเคเบิ้ลเกือบเป็นเส้นระดับหรือแรงดึงในเคเบิ้ลคงที่ แม้น้ำหนักบรรทุกจะเพิ่มขึ้นก็ตาม ในรูปที่ 7.3 แสดงความสัมพันธ์ของแรงดึงส่วนที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่ออัตราการเพิ่มของน้ำหนักบรรทุกคงที่กับการหย่อนตัวของโครงสร้างจำลอง จากเส้นกราฟแสดงว่าเมื่อการหย่อนตัวต่อความยาวช่วงเพิ่มมากขึ้น อัตราการเพิ่มของแรงที่เปลี่ยนแปลงไปในเคเบิ้ลจึงจะมากขึ้น

ในกรณีของน้ำหนักบรรทุกกระทำเป็นจุดนั้น พฤติกรรมของการหย่อนตัวและแรงดึงในเคเบิ้ลเป็นในทำนองเดียวกันกับกรณีน้ำหนักบรรทุกกระจายสม่ำเสมอ

สำหรับการหย่อนตัวที่จุดกึ่งกลางช่วง จากการวัดค่าที่ได้จากการทดลอง ได้ผลใกล้เคียงกับทฤษฎีซึ่งค่าความผิดพลาดอยู่ระหว่าง 5 ถึง 11 เปอร์เซนต์ และสำหรับกรณีน้ำหนักบรรทุกกระทำเป็นจุดค่าความผิดพลาดอยู่ระหว่าง 2 ถึง 7 เปอร์เซ็นต์ รูปที่ 7.5 และ 7.6 แสดงกราฟของการหย่อนตัวกับความยาวช่วงที่แรงดึงคงที่ มีลักษณะการหย่อนตัวตามสมการพาราโบลา

7.2 <u>น้ำหนักบรรทุกสแตติคเยื้องศูนย์</u>

ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ตามหลักการในบทที่ 4 แสดงอยู่ในตารางที่ 7.9 มุมบิดของแผ่นพื้นจะมากที่สุดที่ตำแหน่งที่แรงบิดภายนอกมากระทำ แต่เมื่อรวมผลการหย่อนตัวของเคเบิ้ลแล้วจะเกิดการหย่อนตัวมากที่สุดที่บริเวณกึ่งกลางช่วง แรงบิดที่เกิดขึ้นในแผ่นพื้นมีค่าไม่มาก แรงดึงที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการบิดเกิดในเคเบิ้ลแถวนอกสุดจะมีค่ามากที่สุด ส่วนบริเวณศูนย์ถ่วงของหน้าตัดจะไม่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการบิดนี้ ความสัมพันธ์ของแรงบิดกับมุมของการบิดแสดงในรูปที่ 7.11

7.3 <u>ความถี่ของการสั่น</u>

กราฟแสดงความสัมพันธ์ของความถี่ค่าต่ำสุดของการสั่น (natural frequency) กับการหย่อนตัวที่ไม่มีหน่วยได้แสดงไว้ในรูปที่ 7.7 ถึง 7.9 ที่ค่าแรงดึงต่าง ๆ กัน จากผลการทดลองได้ผลใกล้เคียงกับการคำนวณ แต่ที่แรงดึงต่าง ๆ กัน จากผลการทดลองได้ผลใกล้เคียงกับการคำนวณ แต่ที่แรงดึงสูงมาก ๆ การคำนวณที่ได้จากทฤษฎีประเมินค่าความถี่ของการสั่นได้สูงกว่าผลการทดลอง ทั้งนี้อาจจะเนื่องจากการวิเคราะห์โดยอาศัยทฤษฎีพลังงานส่วนใหญ่จะให้คำตอบชนิด upper bound การเปรียบเทียบผลของการทดลองกับทฤษฎีแสดงไว้ในตารางที่ 7.10

การสั่นของโครงสร้างเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกไดนามิคในขั้นต้น mode ของการสั่นจะซับซ้อนเพราะเคเบิ้ลมี infinite degree of freedom ซึ่งในการทดลองไม่สามารถกำหนดให้โครงสร้างสั่นใน mode ที่ต้องการได้ ในการวัดค่าความถี่ของการสั่นที่ fundamental mode จึงอาศัยหลักการที่ว่า เมื่อโครงสร้างถูกทำให้สั่นเมื่อระยะเวลาผ่านไปพอสมควร

โครงสร้างนั้นจะสั่นตัวอยู่ใน fundamental mode โดย mode อื่น ๆ จะ damp หายไป จึงทำการวัดค่าที่ปลายช่วงคลื่น ซึ่ง mode ส่วนใหญ่จะเป็น fundamental mode แล้ว จากรูปที่ 7.10 แสดง mode ของการสั่นในรูปของ sine wave ที่จะได้ค่าความถี่ต่ำสุดของการสั่น

7.4 การคาดหมายพฤติกรรมโครงสร้างต้นแบบ

ในการสร้างโครงสร้างจำลอง เพื่อศึกษา จะจำลองรูปร่าง (model geometry) เหมือนโครงสร้างต้นแบบ (prototype) แต่การจำลองรูปร่างเหมือนแล้วลดขนาดลงมานั้น ไม่สามารถย่อส่วน พารามิเตอร์ (parameters) ของโครงสร้างจำลองและโครงสร้างต้นแบบจริงได้อย่างตรงไปตรงมา เพื่อที่จะทราบพฤติกรรมของโครงสร้างต้นแบบ จึงต้องศึกษา dimensional analysis[10] ในปัญหาสแตติค โดยมีพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง คือ

พารามิเตอร์	สัญญลักษณ์	หน่วย
พื้นที่หน้าตัดเคเบิ้ล	A	L^2
ค่าคงที่อีลาสติค	E	FL^{-2}
ความยาวช่วง	L	L
การเคลื่อนที่ตามแนวดิ่ง	v	L
แรงดึงตามแนวราบ	H	F
น้ำหนักบรรทุกกระทำเป็นจุด	P	F
น้ำหนักบรรทุกกระจายสม่ำเสมอตามความยาวช่วง	w	FL^{-1}

เมื่อเลือกรูปร่างโครงสร้างจำลองเหมือนโครงสร้างต้นแบบจะได้ความสัมพันธ์ในเทอมที่ไม่มีหน่วยคือ

ปัญหา สแตติค

1) $\left(\frac{EA}{H}\right)_m = \left(\frac{EA}{H}\right)_p$

อักษรห้อย m แทนโครงสร้างจำลอง, P แทนโครงสร้างต้นแบบ

$$H_m = H_p \frac{E_m}{E_p} \frac{A_m}{A_p}$$

ถ้า $E_m = E_p$

$$H_m = H_p \frac{A_m}{A_p} = H_p \frac{1}{\lambda^2}$$

เมื่อ λ = scale ratio

2) $\left(\frac{P}{H}\right)_m = \left(\frac{P}{H}\right)_p$

$$P_m = P_p \frac{H_m}{H_p} = P_p \frac{1}{\lambda^2}$$

3) $\left(\frac{wL}{H}\right)_m = \left(\frac{wL}{H}\right)_p$

$$w_m = w_p \frac{L_p}{L_m} \frac{H_m}{H_p} = w_p \lambda \frac{1}{\lambda^2}$$

$$= w_p \frac{1}{\lambda}$$

ถ้าเงื่อนไขจากกรณี 1 ถึง 3 สอดคล้องกัน การคาดการเคลื่อนที่หรือการหย่อนตัวจะได้ความสัมพันธ์ คือ

$$\left(\frac{v}{L}\right)_p = \left(\frac{v}{L}\right)_m$$

$$v_p = v_m \lambda$$

ในตารางที่ 7.11 แสดงแรงดึงและการหย่อนตัวของโครงจำลองช่วงยาว 9.00 เมตร ที่น้ำหนักบรรทุกขนาดต่าง ๆ และการคาดหมายพฤติกรรมโครงสร้างต้นแบบจากโครงสร้างจำลองขนาดความยาวช่วง 9.00 เมตร โดยกำหนดโครงสร้างจำลองใช้ความสัมพันธ์ข้อ 1 ถึงข้อ 3 ในการวิเคราะห์มิติ คาดหมายพฤติกรรมโครงสร้างต้นแบบที่ความยาวช่วง 40 เมตร ซึ่งสมมติให้โครงสร้างต้นแบบมีแรงดึงในเคเบิ้ลรวมเท่ากับ 700 ตัน แผ่นพื้นกว้าง 2.80 เมตร หนาโดยเฉลี่ยประมาณ 0.15 เมตร ดังแสดงในตารางที่ 7.12