

ผลตอบสนองทางพลศาสตร์ของคานช่วงเดียวเนื่องจากน้ำหนัก

กระทำจากการเดินของมนุษย์

DYNAMIC RESPONSES OF A SIMPLE BEAM SUBJECTED TO PEDESTRIAN LOADING

จักรกฤษณ์ จิตรคำคุณ, เอกพงษ์ แจ่มจัน และ ปฤษฎัศว์ ศีตะปันย์

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ถนนพิษณุโลก 65000 E-mail : C.CHITKAMKOON@hotmail.com

บทคัดย่อ : งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาผลตอบสนองของคานช่วงเดียวที่เกิดจากพฤติกรรมเดินของมนุษย์ ซึ่งมีระยะห่างระหว่างคนสองคนที่ไม่เท่ากัน โดยแบ่งลักษณะการเดินออกเป็น 3 กลุ่ม โดยมีเงื่อนไขที่แตกต่างกัน โดยกลุ่มที่ 1 มีการพ้องกันระหว่างระยะห่างการเดินกับระยะการก้าวเดิน และกลุ่มที่ 2 ซึ่งเป็นการพ้องกันระหว่างความถี่จากระยะการก้าวเดินกับความถี่ธรรมชาติของคานช่วงเดียว และกลุ่มที่ 3 เป็นกลุ่มซึ่งไม่มีการพ้องกันของตัวแปรใดๆ เลย จากผลวิจัยพบว่าผลตอบสนองที่มากที่สุดของคานช่วงเดียว เกิดขึ้นในกรณีที่ลักษณะการเดินมีระยะห่างการเดินกับระยะการก้าวเดินที่พ้องกัน การสั่นพ้องจากอัตราการเดินทางนี้เป็นอีกปัจจัยสำคัญที่ต้องพิจารณาในการออกแบบโครงสร้าง

Abstract : The purpose of this paper is to study the dynamic responses of a simple beam subjected to pedestrian loading due to a variable distance between two humans. Patterns of human walking investigated here were divided into three conditions. The first condition was walking distance between two humans in synchronized with walking footstep. The second condition was that frequency of step walking was equal to natural frequency. Last condition was the general case in which there was no relationship among any parameters. The results showed that the highest amplification of the response of the simple beam was observed when walking distance between two humans was equal to walking step. Therefore, resonance

due to arrival rate is another significant factor in structural design.

KEYWORDS : VIBRATION, PEDESTRIANS LOADING, HUMAN WALKING

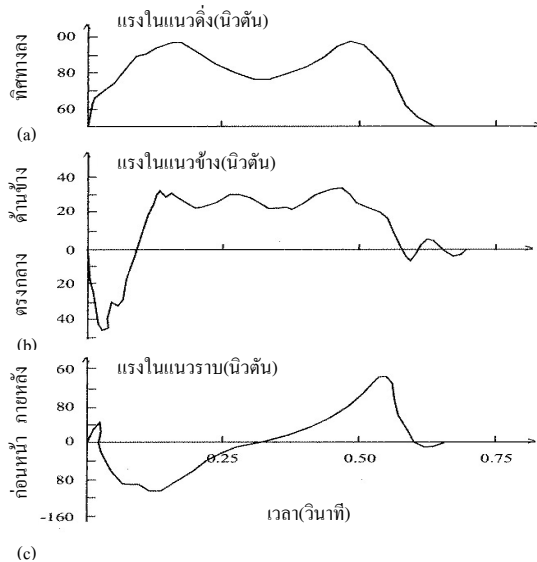
1. บทนำ

ในการออกแบบโครงสร้างในปัจจุบันมักออกแบบให้โครงสร้างมีความยาวและความกว้างมากขึ้นเพื่อประโยชน์ใช้งานที่มากขึ้นหรือความสวยงาม สอดคล้องกับการพัฒนาเทคโนโลยีและวัสดุการก่อสร้าง รวมถึงโปรแกรมที่ใช้คำนวณหาผลตอบสนองของโครงสร้างที่มีมากขึ้นแต่ก็มีโครงสร้างไม่น้อยที่เมื่อใช้งานแล้วสั่นไหวจนผู้ใช้งานรู้สึกได้ ผู้ออกแบบมักกำหนดน้ำหนักของมนุษย์ที่ใช้งานบนโครงสร้างเป็นน้ำหนักบรรทุกจรแบบสถิตศาสตร์ และคำนวณผลตอบสนองของโครงสร้างในรูปของการแอ่นตัว โมเมนต์ดัด และแรงเฉือนเท่านั้น ความเป็นจริงแล้วแรงที่เกิดจากการเดินของมนุษย์เป็นแรงทางพลศาสตร์ ดังนั้นโครงสร้างนอกจากจะต้านทานน้ำหนักที่กระทำได้แล้ว โครงสร้างต้องไม่เกิดการสั่นไหวเกินมาตรฐานที่กำหนดได้

งานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาผลตอบสนองของโครงสร้างที่เกิดจากระยะห่างของการเดิน เพื่อเปรียบเทียบกับผลตอบสนองทางสถิตศาสตร์ที่คำนวณโดยใช้เส้นอิทธิพล

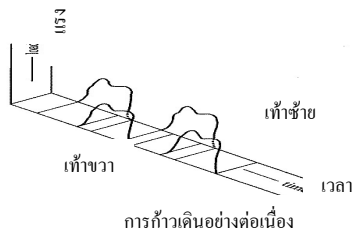
2. ลักษณะการเดินของมนุษย์

แรงที่เกิดขึ้นเนื่องจากการเดินของมนุษย์ ที่เกิดขึ้นจากการเดิน 1 ก้าว ทำให้ เกิดแรง สาม ทิศทางได้แก่ทิศทางที่เกิดขึ้นในแนวดิ่ง แนวราบและแนวข้างของการเดินรูปร่างของแรงในรูปแบบที่ 1 [1]



รูปที่ 1 ชนิดของแรงที่เกิดขึ้นในแนวดิ่ง แนวข้างและแนวราบของการเดิน [1]

ลักษณะการเดิน (Continuous ground contact) สังเกตได้จากรูปที่ 2 ซึ่งจะมีเส้นประอยู่ในช่วงของเส้นทึบซึ่งหมายความว่ามีการทับซ้อนกันของเวลาที่สัมผัสพื้นของเท้าทั้งสองข้างซึ่งเป็นผลทำให้แรงที่เกิดขึ้นในช่วงที่ทับซ้อนกันมีเพิ่มขึ้น [2]



รูปที่ 2 รูปแบบของแรงเนื่องจากการเดินตามตารางที่ 1 ปรกติทั่วไปมีค่าความถี่ 2 เฮิรตซ์ [2]

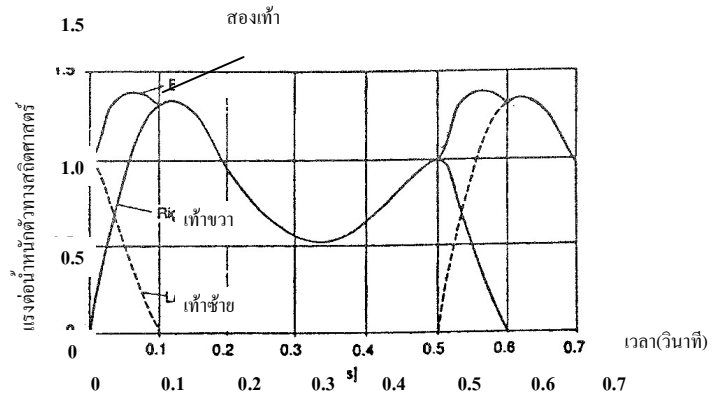
เมื่อมนุษย์เปลี่ยนพฤติกรรมจากการเดินไปสู่การวิ่ง ค่าความถี่ ความเร็ว และระยะก้าว จะมีค่าสูงขึ้นด้วยเช่นกัน ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ลักษณะพฤติกรรมการเดินของมนุษย์ [3]

กิจกรรม Activity	ความถี่ f_s (เฮิรตซ์)	ความเร็ว v_s (เมตร/ วินาที)	ระยะก้าว L_s (เมตร)
เดินช้าๆ	1.7	1.1	0.6
เดินปกติ	2	1.5	0.75

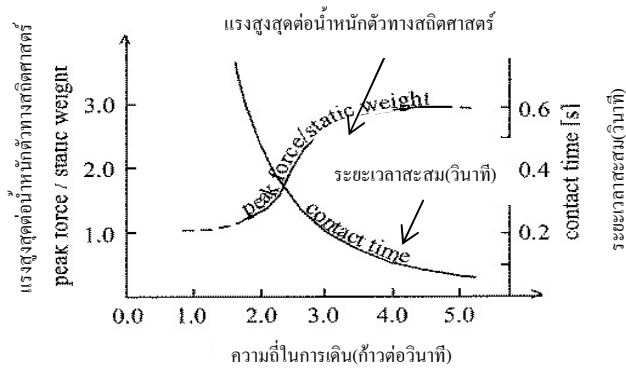
เดินเร็วๆ	2.3	2.2	1.0
วิ่งช้าๆ (จ็อกกิ้ง)	2.5	3.3	1.3
วิ่งเร็วๆ	3.2	5.5	1.75

จากรูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างการเดินของเท้าทั้งสองข้าง (ที่ความถี่ 2 เฮิรตซ์) จะมีเส้นประอยู่ในช่วงของเส้นทึบซึ่งหมายความว่ามีการทับซ้อนกันของเวลาที่สัมผัสพื้นของเท้าทั้งสองข้าง เป็นผลทำให้แรงที่เกิดขึ้นในช่วงที่ทับซ้อนกันมีเพิ่มขึ้น การเดินหนึ่งก้าวจะใช้เวลาร้อยละ 60 ของรอบการเดินและระยะเหลื่อมกันของเท้าทั้งสองข้างมีค่าร้อยละ 10 ของรอบการเดินเกิดขึ้นตั้งแต่เริ่มจนสิ้นสุดการเดิน [3]



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ของการก้าวเท้าทั้งสองข้าง [3]

การวิจัยแรงที่เกิดขึ้นเนื่องจากการเคลื่อนที่ของมนุษย์ซึ่งครอบคลุมจากเดินช้าๆ ไปจนถึงวิ่ง ตามรูปที่ 4 พบว่าความเร็วในการเคลื่อนที่ที่เพิ่มขึ้นความถี่ของแรงจะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย ในการเดินด้วยความถี่น้อยกว่า 1 เฮิรตซ์ แรงที่เกิดขึ้นไม่เกินน้ำหนักตัวของมนุษย์ การเดินด้วยความถี่น้อยกว่า 2 เฮิรตซ์ แรงจะเพิ่มขึ้น 1.25 - 1.35 เท่าของน้ำหนักตัว การเดินด้วยอัตรา 2.5 - 3 เฮิรตซ์ แรงที่เกิดขึ้นจะเพิ่มขึ้น 1.5 - 2 เท่าของน้ำหนักตัวและสูงสุดประมาณ 3 เท่าเมื่อเปลี่ยนจากเดินเป็นวิ่ง [4]



รูปที่ 4 รูปแบบของแรงที่เพิ่มขึ้นเมื่อความถี่ของการเดินเพิ่มขึ้น [4]

3. แบบจำลองของระบบ

3.1 แบบจำลองของโครงสร้างที่ใช้ในการวิเคราะห์มีลักษณะเป็นคานช่วงเดียวอย่างง่ายในรูปแบบของสะพานลอยคนเดินข้าม ขนาดกว้าง 2.50 เมตร ยาวช่วง 15 เมตร มีค่า $EI = 1.578 \times 10^{11}$ กิโลกรัม-ตารางเซนติเมตร คานคานทำด้วยเหล็ก WF ขนาด 400 x 107 x 2 รั้วแผ่นพื้นคอนกรีตขนาด กว้าง 2.50 เมตร หนา 0.12 เมตร ทำหน้าที่รับน้ำหนักกระทำจากการเดิน ถ่าน้ำหนักให้เหล็ก WF น้ำหนักของโครงสร้างมีค่าเท่ากับ 1034 กิโลกรัม ต่อความยาว 1 เมตร ความถี่ธรรมชาติของโครงสร้างเท่ากับ 2.7 เฮิรตซ์[5] ค่าอัตราส่วนความหน่วงของโครงสร้างร้อยละ 3 เนื่องจากโครงสร้างโดยทั่วไปมีค่าอัตราส่วนความหน่วงอยู่ระหว่างร้อยละ 1 ถึง 5 รูปแบบการสั่นไหวใช้ 10 รูปแบบสำหรับคานช่วงเดียวรูปแบบการสั่นจะอยู่ในรูปแบบสมการ

$$\phi_n(x) = \sin \frac{n\pi x}{l} \quad (1)$$

และความถี่ของโครงสร้างที่โหมดใด ๆ

$$\omega_n = \frac{n^2 \pi^2}{l^2} \sqrt{\frac{EI}{m}} \quad (2)$$

เมื่อ

ω_n = ความถี่ธรรมชาติของโครงสร้างที่โหมด n

$\phi_n(x)$ = รูปร่างการสั่นไหวของโครงสร้างที่โหมด

n

m = มวลของโครงสร้าง (กิโลกรัม)

l = ความยาวของโครงสร้าง (เมตร)

n = โหมดการสั่นไหวที่ 1, 2, 3...

E = โมดูลัสยืดหยุ่นของวัสดุ (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)

I = โมเมนต์ความเฉื่อยของหน้าตัด (เมตร⁴)

3.2 แบบจำลองของแรงที่กระทำบนโครงสร้างในการคำนวณแรงที่เกิดขึ้นเนื่องจากการเดินจำเป็นต้องสร้างสมการที่สามารถสร้างรูปแบบการเดินให้ใกล้เคียงกับรูปแบบที่วัดได้จากการทดลอง สมการที่ใช้ในการคำนวณแรงของการเดิน

$$p(t) = W [1.2 \sin \omega (t - t_o) + 0.4 \sin 3\omega (t - t_o)] \quad (3)$$

เมื่อ $t_o \leq t \leq t_o + t_d$

$p(t)$ = แรงกระทำที่มีผลกระทบต่อการสั่นไหวของ

โครงสร้างซึ่งเป็นผลโดยตรงจากการเดิน

W = น้ำหนักเฉลี่ยของคน (กิโลกรัม)

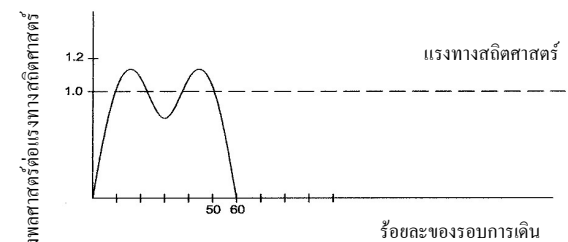
ω = ความถี่เนื่องจากการเดิน = $\pi u / 1.2$

u = จำนวนก้าวต่อวินาที

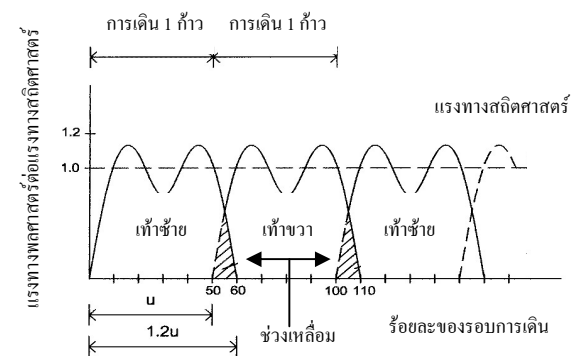
t_o = เวลาที่เริ่มเดิน (วินาที)

t = เวลาในขณะที่เดิน (วินาที)

t_d = เวลาที่ใช้เดินในแต่ละก้าว (วินาที)



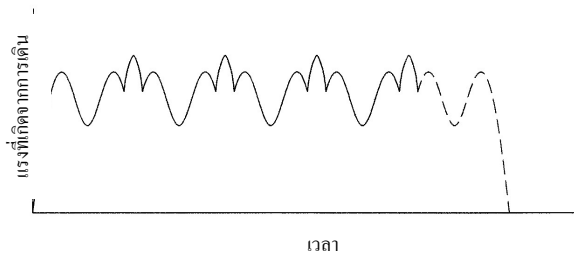
รูปที่ 5 รอบการเดินของการก้าวเท้า 1 ก้าว [2]



รูปที่ 6 รอบการเดินของการก้าวเท้าต่อเนื่อง [2]

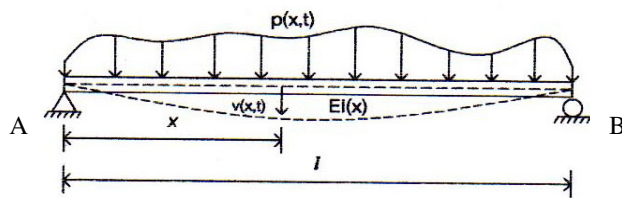
จากรูปที่ 5 และรูปที่ 6 การเดินหนึ่งก้าวจะมีค่าร้อยละ 60 ของหนึ่งรอบการเดินและเมื่อเคลื่อนเท้าเดินต่อไปจะมีระยะเหลื่อมกันของการเดินร้อยละ 10 ดังนั้นระยะก้าวเดินจะมีค่าร้อยละ 50 ของหนึ่งรอบการเดิน ผลจากระยะที่เหลื่อมกันของการเดินจะมีค่าเพิ่มขึ้นจากผลรวมของแรงที่เกิดขึ้นของเท้าทั้งสอง

เป็นวัฏจักรเช่นนี้ ตั้งแต่เริ่มเดินจนถึงจุดสิ้นสุดการเดินจะได้แบบจำลองการเดินอย่างต่อเนื่องตาม รูปที่ 7



รูปที่ 7 แบบจำลองแรงที่เกิดจากการเดินตลอดช่วงคาน [2]

3.3 แบบจำลองโครงสร้าง



$p(x,t)$ คือ แรงกระทำต่อคาน
 $v(x,t)$ คือ ระยะการโก่งตัวของคาน
 EI คือ ความแข็งแรงของโครงสร้าง
 x คือ ระยะที่พิจารณา
 l คือ ความยาวทั้งหมดของคาน

รูปที่ 8 คานช่วงเดียววางบนที่รองรับอย่างง่าย [6]

จากรูปที่ 8 ลักษณะคานช่วงเดียววางบนที่รองรับอย่างง่ายสามารถใช้หลักการของงานเสมือน (principle of virtual work) [7] ถ้าให้การแอ่นตัวของโครงสร้างแอ่นตัวในรูปร่างการสั่นไหวในโหมดที่ 1 สามารถเขียนสมการการเคลื่อนที่ในรูปพิกัดมาตรฐาน (generalized coordinate) ของระบบที่มีดีกรีความอิสระเท่ากับ 1 ในโหมดที่ 1 ได้ดังนี้

$$m^* \ddot{Y}(t) + c^* \dot{Y}(t) + k^* Y(t) = p^*(t) \quad (4)$$

โดยที่

$$\text{มวลมาตรฐาน} \quad m^* = \int_0^L m(x) \phi(x)^2 dx$$

ความหน่วงมาตรฐาน

$$c^* = a_1 \int_0^L EI(x) \phi''(x)^2 dx$$

ความแข็งแรงมาตรฐาน

$$k^* = \int_0^L EI(x) \phi''(x)^2 dx$$

แรงมาตรฐาน

$$p^*(t) = \int_0^L p(x,t) \phi(x) dx \quad \text{โดยที่ } \phi(x) = \text{รูปร่างการสั่นของ}$$

โครงสร้างโหมดที่ 1

สามารถเขียนสมการการเคลื่อนที่ให้อยู่ในรูปของอัตราส่วนความหน่วงได้ดังนี้

$$\ddot{Y} + 2\xi\omega^* \dot{Y} + \omega^{*2} Y = \frac{p^*(t)}{m^*} \quad (5)$$

$$\text{โดยที่} \quad \xi = \frac{c^*}{2m^* \omega^*}$$

$$\omega^* = \sqrt{\frac{k^*}{m^*}} = \frac{\pi^2}{l^2} \sqrt{\frac{EI}{m}}$$

$$m^* = \frac{ml}{2}$$

$$p^*(t) = \int_0^L p(x,t) \phi(x) dx$$

เมื่อ

$$\ddot{Y} = \text{ความเร่งของพิกัดมาตรฐาน}$$

$$\dot{Y} = \text{ความเร็วของพิกัดมาตรฐาน}$$

$$Y = \text{พิกัดมาตรฐาน}$$

$$\xi = \text{อัตราส่วนความหน่วง}$$

$$\omega^* = \text{ความถี่ธรรมชาติของโครงสร้างในรูปร่าง}$$

การสั่น

โหมดที่ 1

4. วิธีดำเนินการวิจัยและผลการวิจัย

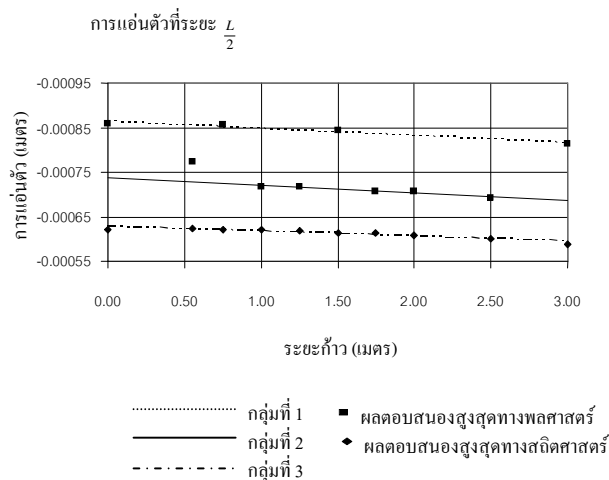
แบบจำลองการเดินและแบบจำลองโครงสร้างวิเคราะห์หาผลตอบสนองทางพลศาสตร์ของโครงสร้างโดยแบ่งการเดินออกเป็น 3 กลุ่ม โดยแต่ละกลุ่มมีระยะห่างการเดินดังนี้

1) กลุ่มที่ 1 ระยะห่างการเดินพ้องกับระยะก้าวเท้า มีระยะ 0.00, 0.75, 1.50, 2.25 และ 3.00 เมตร

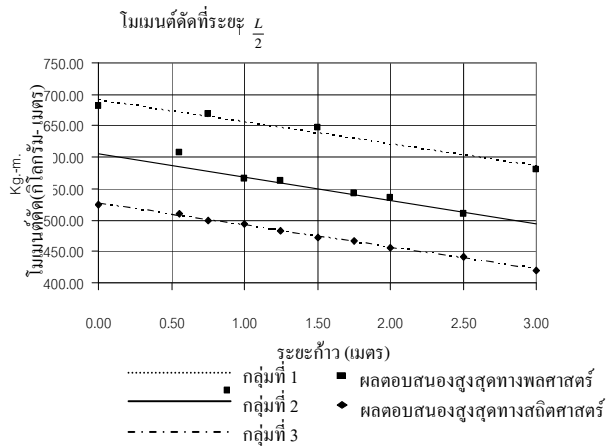
2) กลุ่มที่ 2 ระยะห่างการเดิน เมื่อความถี่จากความเร็วในการเดินกับความถี่ธรรมชาติของโครงสร้างมีค่าเท่ากันการสั่นพ้องและมีระยะห่างการเดินเท่ากับ 0.555 เมตร

3) กลุ่มที่ 3 กรณีทั่วไปซึ่งไม่มีความสัมพันธ์ระหว่างกับตัวแปรใดๆ มีระยะห่างการเดิน 1.00, 1.25, 2.00 และ 2.50 เมตร

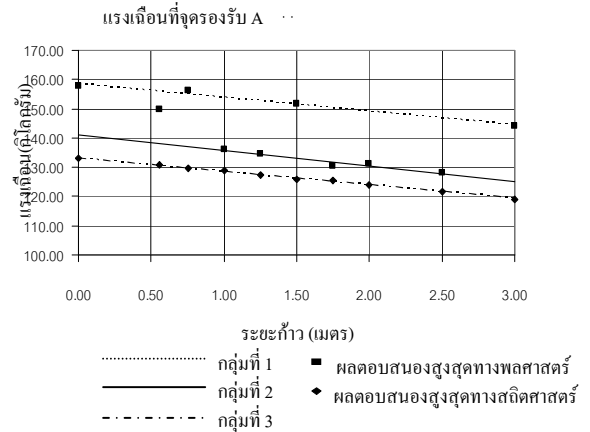
ผลตอบสนองของโครงสร้าง ได้แก่ การแอ่นตัว โมเมนต์คัตที่กลางโครงสร้าง และแรงเฉือนที่จตุรรองรับ คำนวณด้วยวิธีเชิงตัวเลข แสดงในรูปที่ 9 ถึง 12



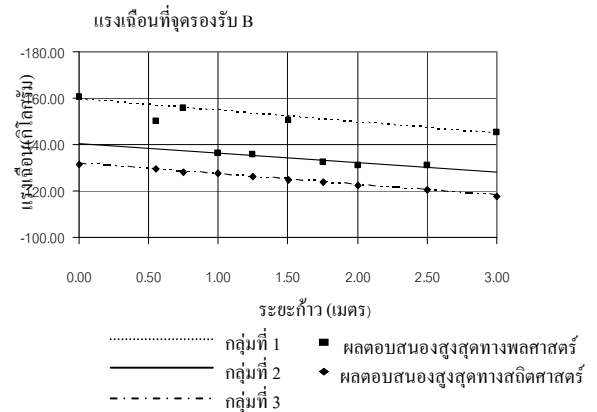
รูปที่ 9 ค่าการแอ่นตัวที่กลางโครงสร้าง



รูปที่ 10 โมเมนต์คัตที่กลางโครงสร้าง



รูปที่ 11 แรงเฉือนที่จตุรรองรับ A



รูปที่ 12 แรงเฉือนที่จตุรรองรับ B

รูปที่ 9 ถึง 12 แสดงผลตอบสนองสูงสุดทางพลาสติกและผลตอบสนองสูงสุดทางสถิติศาสตร์ พบว่าผลตอบสนองทางสถิติศาสตร์ที่คำนวณโดยใช้เส้นอิทธิพลพบว่ามีขนาดลดลงมีแนวโน้มเป็นเส้นตรงเมื่อระยะห่างการเดินเพิ่มมากขึ้น ส่วนผลตอบสนองสูงสุดทางพลาสติกมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงตามระยะทางที่เพิ่มขึ้นไม่เป็นเส้นตรงมีลักษณะแตกต่างตามลักษณะการเดิน จากรูปพบว่าการเดินในกลุ่มที่ 3 ซึ่งเป็นกลุ่มการเดินที่ไม่มีความสัมพันธ์ของตัวแปรใดๆ ให้ผลตอบสนองพลาสติกของโครงสร้างใกล้เคียงกับผลตอบสนองสูงสุดสถิติศาสตร์ โดยมีค่าสูงกว่าผลตอบสนองสูงสุดทางสถิติศาสตร์เฉลี่ยเท่ากับ 1.161, 1.160, 1.055 และ 1.017 เท่า สำหรับ ค่าการแอ่นตัว โมเมนต์คัต แรงเฉือนที่จตุรรองรับ A และ B ตามลำดับ

สำหรับผลตอบสนองพลาสติกของโครงสร้างจากลักษณะการเดินกลุ่มที่ 1 ซึ่งเป็นการป้องกันระหว่างระยะห่างการเดินกับระยะของก้ำวการเดิน จากรูปจะเห็นได้ว่าผลตอบสนองพลาสติกสูงสุด ให้ผลตอบสนองสูงสุดของโครงสร้างมากกว่า

การเดินในกลุ่ม 3 ในทุกผลการตอบสนองของโครงสร้าง โดยเฉลี่ยของผลตอบสนองสูงกว่าผลตอบสนองทางสถิติศาสตร์ประมาณ 1.372, 1.344, 1.200 และ 1.153 เท่า สำหรับ ค่าการแอ่นตัว โมเมนต์คัต แรงเฉือนที่จตุรรองรับ A และ B ตามลำดับ

สำหรับผลตอบสนองพลศาสตร์ของโครงสร้างจากลักษณะการเดินกลุ่มที่ 2 ซึ่งเป็นการเดินที่พ้องกันระหว่างความถี่จากความเร็วการเดินกับความถี่ธรรมชาติของโครงสร้าง พบว่าให้ผลการตอบสนองของโครงสร้างเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับ การเดินของกลุ่มที่ 3 ในทุกผลตอบสนองโดยมีค่าสูงกว่าผลตอบสนองทางสถิติศาสตร์ประมาณ 1.240, 1.197, 1.146, และ 1.099 เท่า สำหรับ ค่าการแอ่นตัว โมเมนต์คัต แรงเฉือนที่จตุรรองรับ A และ B ตามลำดับ

5. สรุปผลวิจัย

ผลวิจัยสรุปได้ว่าระยะห่างของการเดินที่กระทำบนคานช่วงเดียว ที่เกิดขึ้นมีผลต่อผลตอบสนองทางพลศาสตร์ของโครงสร้าง จากผลวิจัยพบว่าการเดินของกลุ่มที่ 1 ซึ่งเป็นการพ้องระหว่างระยะห่างการเดินกับระยะก้าวเดินมีผลเพิ่มผลตอบสนองได้มากที่สุด นั่นคือการเข้าถึงโครงสร้างของน้ำหนักจากการเดินของคน ที่เดินตามหลังส่งผลต่อผลตอบสนองของโครงสร้าง และการเดินของกลุ่มที่ 2 ซึ่งเกิดจากการสั่นพ้องระหว่างความถี่จากการเดินกับความถี่ธรรมชาติของโครงสร้างให้ผลตอบสนองของโครงสร้างเพิ่มขึ้นเป็นอันดับต่อมา โดยกลุ่มที่ 1 มีค่าผลตอบสนองของโมเมนต์มีค่าสูงกว่าค่าทางสถิติศาสตร์ ประมาณ 1.3 เท่า

การสั่นพ้อง (resonance) ในระบบอาจเกิดได้จากการพ้องกันของความถี่จากหลายแหล่ง การสั่นพ้องจากอัตราการเข้าถึง (arrival rate) เป็นอีกปัจจัยที่ควรพิจารณาในการออกแบบ

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Andriacchi, T.P., Ogle, J.A., & Galante, J.O. (1977). Walking speed as a basis for normal and abnormal gait measurements. Journal of Biomechanics, 10, 261–268.
- [2] Galbraith, F.W. & Barton, M.V. (1970) Ground loading from footsteps. Journal of the Acoustic Society of America, 48 (5), 1288–1292.

- [3] Bachmann, H. & Ammann, W. (1987) Vibrations in Structures – Induced by Man and Machines, Structural Engineering Documents, Zurich: International Association of Bridge and Structural Engineering (IABSE)
- [4] Wheeler, J.E. (1980) Pedestrian - Induced vibrations in footbridges, in: Proceedings of the 10th Australian Road Research Board (ARRB) Conference, 10 (3), 21–35
- [5] พรพิไล กิรินทร์ตระการ (2546). การศึกษาพฤติกรรมการสั่นสะเทือนของพื้นคอนกรีตอัดแรงสำเร็จรูปเนื่องจากกิจกรรมของมนุษย์. วิทยานิพนธ์ วศ.ม., มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
- [6] Biggs, J.M. (1964). Introduction to Structural Dynamics. USA: McGraw Hill Inc. United States of America.
- [7] Clough, R.W. & Penzien, J. (1993). Dynamics of Structures. (2nd ed.) Taiwan: McGraw-Hill, R.O.C., Taipei

7. เกี่ยวกับผู้เขียน



นายจักรกฤษณ์ จิตรคำคูณ
นิสิตปริญญาโท สาขาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
ประวัติการศึกษา :
ปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร



นายเอกพงษ์ ไช้จั่น
นิสิตปริญญาโท สาขาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
ประวัติการศึกษา :
ปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร



ดร.ปฤษฎัศว์ สีตะปันย์
อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยนเรศวร