

การศึกษาเปรียบเทียบการตอบสนองของแผ่นพื้น ชนิดต่าง ๆ ภายใต้การกระทำของการเดิน *

กิตติศักดิ์ ชันติวิชัย¹⁾ วิวัฒน์ พัทธศานนท์¹⁾ เกรียงศักดิ์ แก้วกุลชัย¹⁾ และ สุชาติ ลิมกตัญญู²⁾

¹⁾ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

²⁾ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

Email: kittisak.ubu@gmail.com

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอพฤติกรรมการสั่นของแผ่นพื้น 3 ชนิด ได้แก่ แผ่นพื้นคอนกรีตท้องเรียบขนาดใหญ่ (Long-span flat concrete floor, LF) แผ่นพื้นแบบประกอบ (Composite floor, CF) และแผ่นพื้นสำเร็จรูปแบบกลวง (Hollow core floor, HF) ภายใต้กิจกรรมของมนุษย์อันได้แก่ การเดิน การศึกษาได้ทำการสอบเทียบวิธีการสร้างแบบจำลองไฟไนท์อีลิเมนต์ของแผ่นพื้นชนิดต่าง ๆ ที่ทราบคุณสมบัติพื้นฐานแล้วโดยใช้โปรแกรม SAP2000 Nonlinear เพื่อทำการตรวจสอบความถูกต้องของกระบวนการในการสร้างแบบจำลองของแผ่นพื้น โดยเปรียบเทียบกับข้อมูลการทดลองของแผ่นพื้นจริงที่ค้นคว้าได้จากการทบทวนวรรณกรรม ทั้งนี้ค่าตัวแปรที่ใช้ในการเปรียบเทียบได้แก่ ค่าความถี่ธรรมชาติของแผ่นพื้น หลังจากนั้นจึงนำกระบวนการสร้างแบบจำลองที่ได้สอบเทียบความถูกต้องแล้วมาสร้างแบบจำลองของแผ่นพื้นตัวอย่างทั้ง 3 ชนิด ที่มีขนาดเท่ากันคือ 9.5x9.5 เมตร ในการศึกษาการตอบสนองทางพลศาสตร์ของแผ่นพื้นภายใต้การเดิน โดยในบทความนี้จะพิจารณาการตอบสนองในรูปแบบของค่าการแอ่นตัวและค่าอัตราเร่งของแผ่นพื้นภายใต้เงื่อนไขของโครงสร้างซึ่งได้แก่ จตุรรองรับ ค่าความหน่วงของแผ่นพื้น ค่าความถี่ของการให้น้ำหนักจำนวนน้ำหนักที่กระทำ และลักษณะรูปแบบการกระทำของน้ำหนักที่เปลี่ยนไป ซึ่งผลลัพธ์ของการตอบสนองทางพลศาสตร์ของแผ่นพื้นที่ได้จะถูกนำมาตรวจสอบกับค่าที่ยอมให้ในการออกแบบและทำการเปรียบเทียบพฤติกรรมการสั่นของแผ่นพื้นทั้ง 3 ชนิด ภายใต้แรงกระทำแบบการเดิน อนึ่งผลการศึกษายังสามารถใช้ในการบ่งชี้ถึงลักษณะการสั่นของแผ่นพื้นที่ไม่พึงประสงค์ที่อาจทำให้เกิดความรู้สึกถึงความไม่สบายของมนุษย์หรือในกรณีที่ร้ายแรง คือการพังทลายของโครงสร้างได้

คำสำคัญ : การตอบสนองทางพลศาสตร์, การสั่นเนื่องจากมนุษย์, การสั่นของแผ่นพื้น, ระเบียบวิธีไฟไนท์อีลิเมนต์

*

รับต้นฉบับเมื่อวันที่ 9 พฤศจิกายน 2548 และได้รับบทความฉบับแก้ไขเมื่อวันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2549

A comparative study on dynamic response of different floor types subjected to walking load^{*}

Kittisak Kuntiyawichai¹⁾ Wiwat Puatatsananon¹⁾ Griengsak Kaewkulchai¹⁾
and Suchart Limkatanyu²⁾

¹⁾ Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Ubonratchatani University

²⁾ Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University

Email: kittisak.ubu@gmail.com

ABSTRACT

This paper focuses on dynamic behaviors of different floor types, i.e. Long-span flat concrete floor (LF), Composite floor (CF) and Hollow core floor (HF), subjected to human induced vibrations, i.e. walking load. First of all, Finite Element (FE) models of all floors are modeled by using SAP2000 Nonlinear program in order to validate the modeling technique (compared with the results, i.e. natural frequencies of the floor, obtained from the literature). Secondly, FE model of all three types of the floor modeled using the same technique as the first part of this study is created. All floors with the same size, i.e. 9.5x9.5 m. are used to perform dynamic time history analysis. The results are obtained in terms of displacement and accelerations time history. Parametric studies including the effects of different types of support, damping ratios, frequencies of load, number of loads and the patterns of load are investigated. The results obtained from this study are then compared with the limit value proposed by design standards. The results of this study can also be used to identify the occurrence of unwanted vibrations that could cause human discomfort or, in extreme cases, structural failure.

Keywords : Dynamic response, Human-induced vibration, Floor vibration, Finite element analysis

^{*} Original manuscript submitted: November 9, 2005 and Final manuscript received: February 1, 2006

บทนำ

ในปัจจุบันนี้ปัญหาของการสั่นภายในอาคารเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นบ่อยครั้ง ทั้งนี้เป็นผลมาจากการเลือกใช้วัสดุที่แข็งแรงขึ้นเพื่อช่วยในการลดขนาดของโครงสร้าง การออกแบบรูปร่างของอาคารที่ค่อนข้างซับซ้อน โครงสร้างมีน้ำหนักที่เบา เป็นต้น ซึ่งสาเหตุเหล่านี้จะเป็นบ่อเกิดของปัญหาเนื่องจากการสั่น โดยสาเหตุของการสั่นภายในอาคารสามารถแบ่งออกได้ 2 สาเหตุคือ

1. **การสั่นภายในอาคาร** ซึ่งมักเกิดจากการสั่นของเครื่องจักรกลภายในอาคารเช่น เครื่องกำเนิดพลังงานไฟฟ้า ค้อนหรือเครื่องทุทุ้ง ปั่นจั่นสำหรับยกของหนัก และจากกิจกรรมต่างๆของมนุษย์ เช่น การเดิน การกระโดด การเต้น และการวิ่ง เป็นต้น
2. **การสั่นภายนอกอาคาร** ซึ่งมักเกิดจากการสั่นของรถ รถไฟ กิจกรรมการก่อสร้าง เช่น การตอกเสาเข็ม การขุดอุโมงค์ การบดอัดหน้าดิน และแผ่นดินไหว เป็นต้น ซึ่งผลเนื่องจากการสั่นนี้จะส่งผลให้เกิดความรำคาญแก่ผู้อยู่อาศัยภายในอาคารรวมทั้งส่งผลให้เกิดความเสียหายแก่โครงสร้างได้

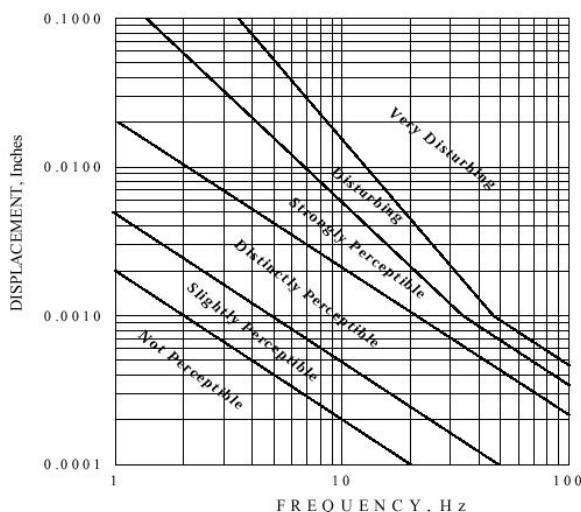
สืบเนื่องมาจากปัญหาของการสั่นภายในอาคารอันเนื่องมาจากกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ที่กล่าวมาแล้วข้างต้น การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างพฤติกรรมของแผ่นพื้นกับน้ำหนักบรรทุกที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ อันได้แก่ การเดิน (Walking) จะถูกศึกษาในงานวิจัยนี้โดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนท์อีลิเมนต์ (Finite Element Analysis) ซึ่งชนิดของแผ่นพื้นที่จะทำการศึกษาเป็นแผ่นพื้นที่ถูกเลือกใช้อย่างแพร่หลายจำนวน 3 ชนิด ซึ่งได้แก่ พื้นคอนกรีตแบบทอเรียบขนาดใหญ่ (Long-span flat concrete floor, LF) พื้นประกอบ (Composite floor, CF) และพื้นกลวง (Hollow core floor, HF) โดยผลที่ได้จากการศึกษาสามารถนำไปประยุกต์และใช้เป็นข้อแนะนำแก่วิศวกรโครงสร้างโดยทั่วไปในการเลือกใช้ชนิดของแผ่นพื้นในอาคารขนาดใหญ่ที่ต้องการพื้นที่ใช้สอยค่อนข้างมาก ทั้งนี้เพื่อให้เกิดความปลอดภัยและลดปัญหาการสั่นสะเทือนของแผ่นพื้น

แรงพลวัตที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์

แหล่งกำเนิดของแรงจากกิจกรรมของมนุษย์ได้แก่ การเดิน (Walking) และ กระโดด (Jumping) โดย Lenzen (1966) ได้กล่าวไว้ว่าพื้นโดยทั่วไปจะไม่อยู่ในสถานที่ที่ถูกกระตุ้นเนื่องจากเครื่องจักรหรือที่เรียกว่า Steady-state vibration เนื่องจากเราสามารถวางเครื่องจักรให้อยู่แยกจากระบบพื้นได้ การสั่นจึงไม่เกิดขึ้น ดังนั้นการท้าวิจัยเกี่ยวกับการสั่นของระบบพื้นจึงมุ่งเน้นไปที่ผลกระทบของ Transient และ Steady-state vibration ที่เกิดจากมนุษย์เท่านั้น (Human-induced vibration) สำหรับลักษณะการกระจายของแรงไปสู่ผู้รับนั้น ในกรณีของการสั่นในระบบพื้นตัวกลางที่เป็นตัวผ่านแรงก็คือโครงสร้างของอาคาร ส่วนผู้รับแรงที่กระจายผ่านโครงสร้างก็คือผู้อยู่อาศัยที่อยู่ในอาคารและระบบพื้นเดียวกับแหล่ง กำเนิดของแรงนั้น

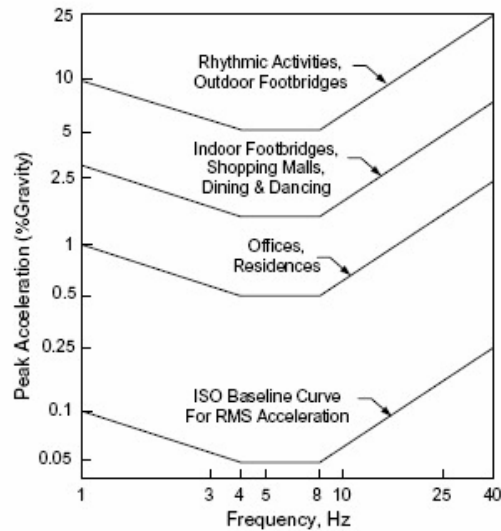
แต่ตามปกติแล้วมนุษย์มีความสามารถที่จะทนต่อแรงสั่นสะเทือนได้เพียงระดับหนึ่ง เช่นคนที่อาศัยในอาคารสำนักงานหรือที่พักอาศัยที่ถูกใช้ทำกิจกรรม จะสามารถทนต่อแรงชนิดนี้ได้้น้อยกว่าคนที่กำลังร่วม

กิจกรรมนั้นอยู่ (Allen, 1990b) นอกจากนี้ Hanes (1970) ได้เสนอผลการวิจัยเกี่ยวกับความรู้สึกของผู้โดยสารบนรถยนต์หรือเครื่องบินว่า ค่าความถี่ธรรมชาติของมนุษย์มีค่าอยู่ระหว่าง 5-8 เฮิร์ตซ์ ดังนั้นถ้าระบบพื้นมีค่าความถี่ธรรมชาติอยู่ในช่วงที่เป็นความถี่ธรรมชาติของมนุษย์ก็จะเป็นไปได้ที่จะเป็นสาเหตุให้ผู้โดยสารเกิดความรู้สึกไม่สบาย โดย Murray (1991) ได้ทำการศึกษาระบบพื้นตัวอย่างที่เกิดปัญหาการสั่นกว่า 100 ตัวอย่าง พบว่าความถี่ธรรมชาติของพื้นส่วนใหญ่จะอยู่ในช่วง 5-8 เฮิร์ตซ์ จากปัญหาที่พบดังกล่าวส่งผลให้ปัจจุบันได้มีการวิจัยค้นคว้าและกำหนดมาตรฐานที่ใช้วัดความสามารถของมนุษย์ในการตอบสนองต่อการสั่นไหวในระบบพื้นทั้งแบบ Transient และ Steady-state vibration ดังตัวอย่างของ Reiher และ Meister (1930) ได้สร้างกราฟแสดงความสามารถในการตอบสนองของมนุษย์ต่อการสั่นแบบ Steady-state vibration ของระบบพื้น โดยทำการเทียบกับค่าความถี่และขนาดของการสั่น (Murray, 1979) ดังแสดงในรูปที่ 1



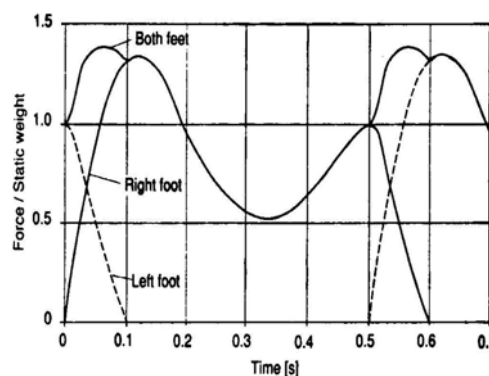
รูปที่ 1 Reiher-Meister Scale (Murray, 1979)

สำหรับกิจกรรมที่มีการกระโดด (Jumping exercise) ตัวอย่างเช่น High impact aerobic จะก่อให้เกิดแรงในลักษณะที่เป็น Sinusoidal loading components ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อเท้าทั้งสองลอยพ้นจากพื้น แล้วตกกระทบพื้นตามจังหวะเพลง โดยที่แรงนี้อาจจะเป็นจำนวนเท่าของฮาร์โมนิกหรือฮาร์โมนิกของเพลงนั้นๆ (Allen, 1990a) ขณะเดียวกัน Allen (1990b) ได้เสนอข้อกำหนดที่เกี่ยวกับการออกแบบพื้นเพื่อใช้สำหรับกิจกรรมที่มีการเต้นหรือการออกกำลังกาย นั่นคือ ความเร่งขนาดไม่เกิน 2%g หรือ 7.75 in/s² จะใช้สำหรับกิจกรรมการเต้นแอโรบิกและการยกน้ำหนักในชั้นเดียวกัน และ ความเร่งขนาดไม่เกิน 7%g หรือ 27.0 in/s² จะใช้สำหรับพื้นที่มีกิจกรรมการเต้นแอโรบิกเพียงอย่างเดียว ในส่วนค่าความเร่งที่ยอมให้ในกรณีของ Walking load นั้น International Standard Organization (1989) ก็ได้กำหนดขีดจำกัดของความเร่งโดยแสดงอยู่ในรูปของกราฟซึ่งจะแบ่งตามลักษณะการใช้งานของอาคารนั้นดังแสดงในรูปที่ 2



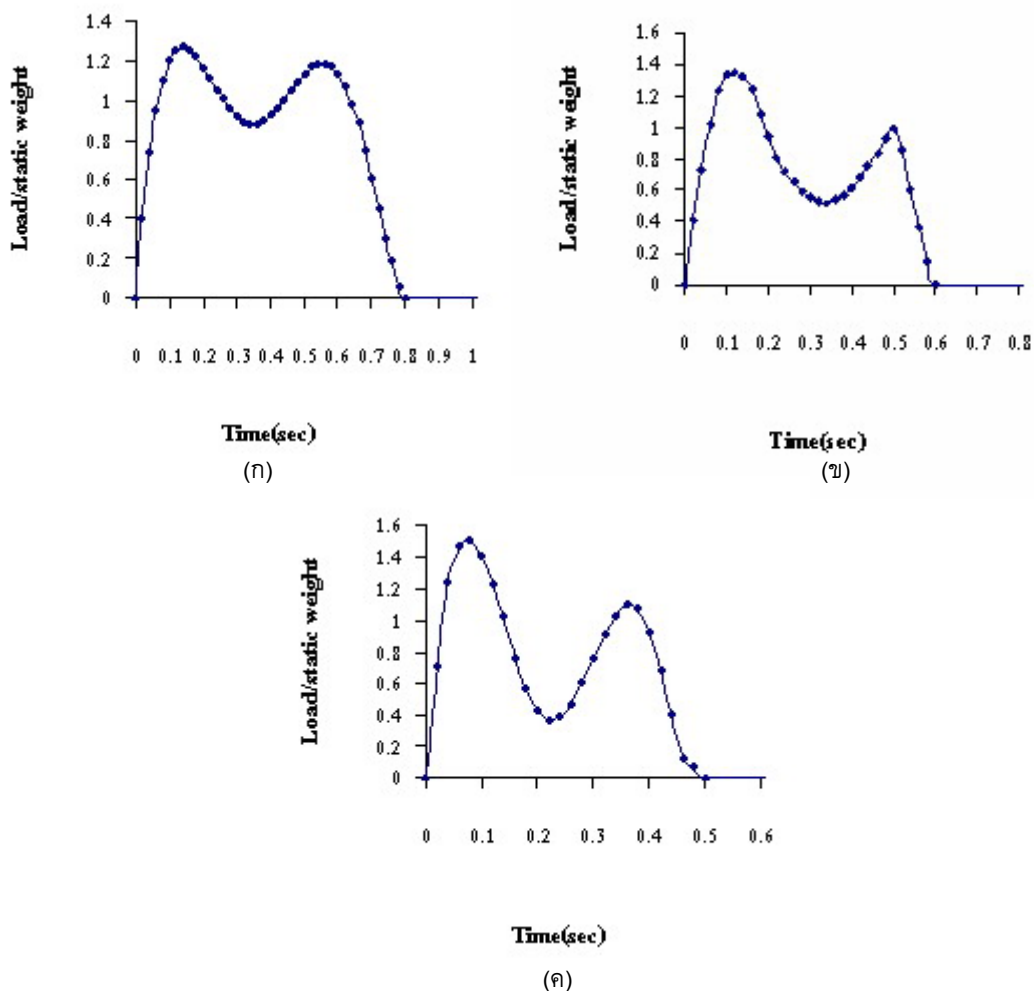
รูปที่ 2 Peak accelerations for human comfort for vibrations due to human activities
(International Standard Organization, 1989)

ในส่วนของการวิจัยค้นคว้าเกี่ยวกับวิธีการลดปัญหาการรบกวนพื้นจากการสั่นจากการเดินของผู้อาศัยในอาคารนั้นๆ นักวิจัยหลายคนอาทิเช่น Allen และ Rainer (1975), Allen (1990b), Murray (1991), Kuntiyawichai และ Sangtian (2002) และ Nilrat et al. (2004) ได้ทำการศึกษาและเสนอข้อแนะนำในการออกแบบระบบพื้นเพื่อป้องกัน การรบกวนพื้นจากการสั่น ซึ่งหลังจากที่ได้มีการเสนอข้อกำหนดในการออกแบบระบบพื้นออกมาแล้ว นักวิจัยจึงได้มุ่งความสนใจไปยังรูปร่างลักษณะและฟังก์ชันของน้ำหนักจากการเดินซึ่งหนึ่งในนั้นคือ Bachmann (1987) ได้ทำการทดลองเพื่อวัดขนาดของแรงที่เกิดขึ้นบนพื้นอันเนื่องมาจากคนเดินแต่ละก้าว ซึ่งได้ผลการทดลองดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 แรงที่เกิดขึ้นที่พื้นเมื่อเดินแบบ Normal walking load (Bachmann, 1987)

ขณะเดียวกัน Mouring (1994) ก็ได้ทำการทดลองในลักษณะเดียวกันแต่เปลี่ยนลักษณะการเดินเป็นแบบซำๆ และ เดินอย่างเร่งรีบ ซึ่งได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 แรงที่เกิดขึ้นที่พื้นเมื่อเดินแบบต่างๆ (Mouring, 1994)

Da Silva (2003) ได้เปรียบเทียบแรงที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ โดยแบ่งแยกชนิดของความเร็วที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมของมนุษย์ดังตารางที่ 1 โดยพารามิเตอร์ต่างๆ ที่จะต้องพิจารณาได้แก่ ความเร็ว (Velocity : v , m/s) ความยาวก้าว (step size : l_p , m) ความถี่ (Frequency : f_p , Hz) อนึ่งมาตรฐาน The Canadian Steel Buildings Design Standard, CAN/CSA-S16.1-94 (National Research Council of Canada, 1995) พิจารณาว่า มนุษย์ที่อยู่คนเดียวหรือเป็นกลุ่ม สามารถกำเนิดแรงแบบคาบ (Periodic forces) และจะมีค่าความถี่อยู่ในช่วง 1-4 Hz ดังนั้นข้อมูลนี้สามารถใช้อ้างอิงเป็นแรงพลวัตที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์กับการทำแบบจำลอง (Dynamical loading modeling) โดยครอบคลุมในตารางที่ 1

ชนิดแรงพลวัต	ความเร็ว: (m/s)	ความยาวก้าว: (m)	ความถี่: (Hz)
การเดินช้า	1.1	0.6	1.7
การเดินธรรมดา	1.5	0.75	2.00
การเดินเร็ว	2.2	1.0	2.30
การวิ่งธรรมดา	2.3	1.3	2.50
การวิ่งเร็ว	5.5	1.75	3.20

ตารางที่ 1 ชนิดของแรงพลวัตที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ (Da Silva, 2003)

Bachmann และ Ammann (1987) ได้เสนอสมการอธิบายลักษณะของการเดินซึ่งโดยปกติแล้ว การเดิน (Walking) จะเกิดแรงตลอดเวลาโดยเท้าทั้งสองข้าง โดยน้ำหนักบรรทุกต่อโครงสร้างจะคิดแบบ Static parcel ซึ่งประกอบด้วยน้ำหนัก (Weight) และ แรงฮาร์โมนิกที่เกิดจากผลของการเพิ่มขึ้นและการลดลงของแรงเนื่องจากการขึ้นลงของเท้า โดยสมการอธิบายลักษณะของการเดินสามารถเขียนได้ดังสมการที่ 1

$$F(t) = P + \Delta P_1 \sin(2\pi f_p t) + \Delta P_2 \sin(4\pi f_p t - \phi_1) + \Delta P_3 \sin(6\pi f_p t - \phi_2) \quad (1)$$

เมื่อ

$F(t)$	=	น้ำหนักบรรทุกเทียบกับเวลา
P	=	น้ำหนัก (N)
$\Delta P_1, \Delta P_2, \Delta P_3$	=	Harmonic amplitudes (N)
ϕ_1, ϕ_2	=	Harmonic phase angles
f_p	=	ความถี่ของมนุษย์ (Frequency of the human step) (Hz)

ชนิดแผ่นพื้นที่ทำการศึกษา

แผ่นพื้นคอนกรีตท้องเรียบขนาดใหญ่

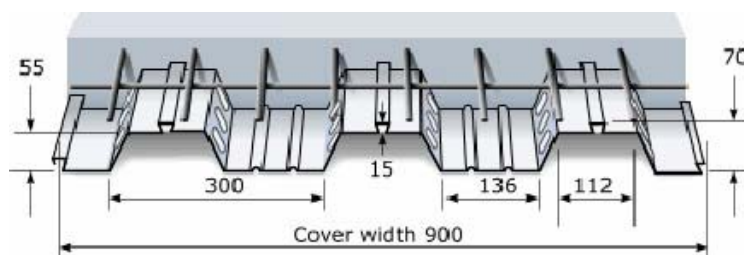
เป็นโครงสร้างที่ใช้งานง่ายที่สุด ซึ่งความหนาของคอนกรีตจะมีผลต่อการออกแบบโครงสร้างแผ่นพื้น โดยโครงสร้างแผ่นพื้นแบบนี้มีข้อดีและข้อเสียดังต่อไปนี้

- ข้อดี คือ มีความแข็งแรง สามารถรับน้ำหนักได้ดี กันน้ำได้ เหมาะสำหรับทำห้องน้ำหรือชั้นดาดฟ้า วัสดุที่ใช้ปูผิวมีให้เลือกมาก เช่น ปาร์เก้ กระเบื้องเคลือบ หินอ่อน แกรนิต
- ข้อเสีย คือ เป็นงานเปียก เลอะเทอะง่าย ค่อนข้างยุ่งยากในการก่อสร้าง ต้องใช้ช่างที่มีประสบการณ์ ต้องมีระยะเวลาปูคอนกรีต ใช้เวลานานจึงจะใช้งานได้ มีน้ำหนักมาก

แผ่นพื้นประกอบ

แผ่นพื้นชนิดนี้ใช้หล่อในที่โดยใช้แผ่นเหล็กพับขึ้นรูปเป็นลอนลักษณะต่างๆ ที่ผลิตจากโรงงาน แผ่นเหล็กที่วางพาดบนคานจะต้องมีหัวมุดเหล็ก (Shear stud) ยึดเป็นระยะๆ และแผ่นเหล็กนี้จะเป็นทั้งแบบและเหล็กเสริมไปในตัว ดังนั้นเหล็กเสริมจะลดน้อยลงกว่าแผ่นพื้นระบบอื่นๆ แต่ยังคงต้องเสริมเหล็กเพื่อกันร้าว (แผ่นเหล็กจะเป็นทั้งไม้แบบและฝ้าเพดานสำหรับชั้นใต้พื้นนั้นไปในตัวด้วย) อย่างไรก็ตามจะต้องป้องกันเหล็กไม่ให้เป็นสนิม และต้องกันไฟด้วย พื้นชนิดนี้มีน้ำหนักค่อนข้างเบาและก่อสร้างรวดเร็วแต่จะมีราคา

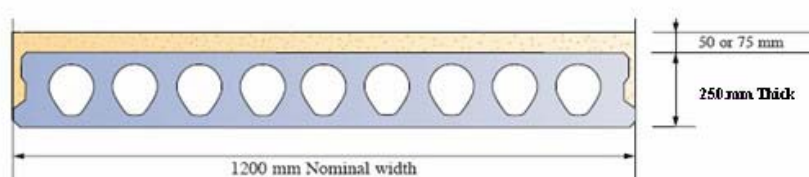
ค่อนข้างแพง โดยทั่วไปมักใช้ประกอบกับโครงสร้างเหล็ก เช่น วางบนคานเหล็ก เป็นต้น รูปแบบของพื้นประเภทนี้มักประกอบด้วยแผ่น Profiled Steel Sheet หนาประมาณ 1 หรือ 2 มม. วางบนคานและทำหน้าที่เป็นแบบสำหรับการเทคอนกรีตทับหน้า (Topping) หนาประมาณ 5 ซม. แผ่นเหล็กนี้บางครั้งอาจออกแบบให้เป็นส่วนหนึ่งของโครงสร้างประกอบเพื่อรับน้ำหนักบรรทุกด้วยประเภทแผ่นเหล็กดัดลอนเป็นรูปต่างๆที่สามารถเลือกใช้ได้แสดงไว้ในรูปที่ 5 ประโยชน์ของระบบพื้นนี้คือ เบาล ติดตั้งง่าย ส่วนข้อเสียเปรียบคือต้องเทปูนซึ่งทำให้เกิดระบบเปียกชื้น และข้อด้อยคือ มีราคาค่อนข้างแพงและเช่นเดียวกับโครงสร้างเหล็กอื่นๆที่ต้องใช้ฝีมือแรงงานในการประกอบหรือเชื่อมต่อส่วนประกอบต่าง ๆ เข้าด้วยกัน ข้อด้อยของพื้นเหล็กได้แก่ ลื่น เสียงดัง ทำความสะอาดยาก และมีปัญหาเรื่องสนิม จึงมักใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม โดยเฉพาะอย่างยิ่งในส่วนที่ไม่ได้รับน้ำหนักบรรทุกมากเช่น สะพานทางเดินในโกดังเก็บสินค้าหรือชั้นลอยต่างๆ หรืออาจใช้พื้นแบบโปร่งที่ถักเป็นตารางคล้ายฝาตะแกรงเพื่อให้น้ำหนักเบา บางกรณีอาจต้องเคลือบหรือทาสีผิวหน้าด้วยวัสดุอื่นเพื่อลดข้อด้อยดังกล่าวข้างต้น



รูปที่ 5 แผ่นพื้นประกอบ

แผ่นพื้นกลวง

ระบบแผ่นพื้นสำเร็จที่ประกอบด้วยส่วนที่ผลิตจากโรงงาน ยกมาติดตั้ง หรือวางบนคานแล้วเสริมเหล็กและเทคอนกรีตทับหน้าเพื่อให้เป็นผืนเดียวกัน ระบบแบบนี้เรียกว่าระบบแผ่นพื้นคอนกรีตหล่อสำเร็จ หรือแผ่นพื้นสำเร็จรูปอัดแรงชนิดแผ่นเรียบ (Precast plank) รูปหน้าตัดสี่เหลี่ยมทึบตัน เสริมลวดอัดแรง ความหนาจึงไม่มากนัก นิยมใช้โดยเฉพาะอาคารขนาดเล็กหรือที่พักอาศัยเพราะมีลักษณะเหมือนแผ่นกระดานที่สามารถวางพาดบนคานเรียงกันโดยไม่ต้องใช้ไม้แบบ ผูกเหล็กเสริมกันรัวและเทคอนกรีตทับหน้าได้ทันที และใช้ค้ำยันเท่าที่จำเป็นตามคำแนะนำของผู้ผลิต เช่น ที่กึ่งกลางของช่วงพื้นเท่านั้น ข้อดีของพื้นชนิดนี้คือได้ท้องพื้นจะเรียบจึงไม่จำเป็นต้องฉาบแต่งผิว อนึ่งแผ่นพื้นชนิดนี้เมื่อช่วงยาวขึ้นหรือมีความหนาเพิ่มขึ้น ผู้ผลิตก็อาจทำให้แกนกลางตามยาวของแผ่นพื้นมีลักษณะกลวง เพื่อลดทอนน้ำหนักของแผ่นพื้น ซึ่งลักษณะของแผ่นพื้นกลวงที่พิจารณาในบทความนี้มีขนาดหน้าตัดดังแสดงใน รูปที่ 6



รูปที่ 6 หน้าตัดแผ่นพื้นแบบกลวง

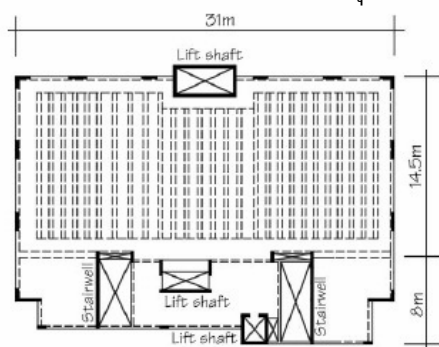
คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในแบบจำลอง

มีค่าโมดูลัสยืดหยุ่น $E_{conc} = 27.81 \text{ GPa}$ อัตราส่วนปัวซองส์ $\nu_{con} = 0.2$ และ ความหนาแน่น $\rho = 2400 \text{ kg/m}^3$ ซึ่งในที่นี้จะพิจารณาคุณสมบัติของคอนกรีตที่อยู่ในช่วงขีดจำกัดยืดหยุ่น (Elastic) เท่านั้น เนื่องจากว่าน้ำหนักที่มากกระทามีค่าน้อยจึงส่งผลให้วัสดุมีการเสียรูปอยู่ในขีดจำกัด

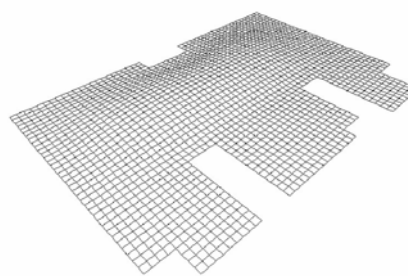
ผลการสอบเทียบวิธีการสร้างแบบจำลองของแผ่นพื้น

การเปรียบเทียบค่าความถี่ธรรมชาติจากการสร้างแบบจำลองแผ่นพื้นคอนกรีตต้องเรียบขนาดใหญ่

เพื่อให้การสร้างแบบจำลองของแผ่นพื้นมีคุณสมบัติทางกายภาพที่ใกล้เคียงกับแผ่นพื้นจริงมากที่สุดงานวิจัยนี้จึงได้ทำการเปรียบเทียบคุณสมบัติของแผ่นพื้นที่ทราบค่าความถี่ธรรมชาติแล้ว (รูปที่ 7ก) โดยขั้นตอนของการศึกษาสามารถสรุปได้ดังนี้



(ก)

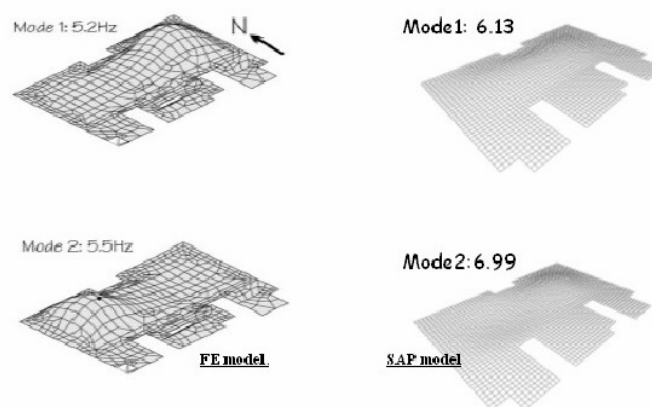


(ข)

รูปที่ 7 แสดงลักษณะแผ่นพื้นที่มีการทดสอบวัดค่าความถี่ธรรมชาติ (Pavic et al., 2001) และ FE model ที่สร้างโดยใช้โปรแกรม Sap2000 Nonlinear (งานวิจัยนี้)

1. จากแบบแปลนแผ่นพื้นคอนกรีตในรูปที่ 7 ได้มีการติดตั้งอุปกรณ์วัดค่าความถี่ธรรมชาติ (Pavic et al., 2001) โดยค่าที่วัดได้จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับค่าความถี่ธรรมชาติที่ได้จากแบบจำลองของแผ่นพื้นที่สร้างโดยใช้โปรแกรม SAP2000 Nonlinear
2. จากข้อมูลในรูปที่ 7ก แบบจำลองไฟไนท์อีลิเมนต์ของแผ่นพื้นคอนกรีตต้องเรียบขนาดใหญ่ จะถูกสร้างขึ้นโดยใช้โปรแกรม SAP2000 Nonlinear ชนิดของ element ที่ใช้คือ shell element สำหรับจุดรองรับได้สมมติให้เป็นแบบหมุดหมุนทั้งหมดหนึ่งเพื่อลดความซับซ้อนของแบบจำลองและเวลาในการวิเคราะห์โครงสร้างทางพลศาสตร์เชิงเส้นจึงไม่ได้ถูกคำนึงในแบบจำลองนี้ แต่อย่างไรก็ตามผลที่ได้ก็มีความใกล้เคียงกับค่าที่วัดได้จริงดังแสดงในรูปที่ 7ข
3. จากแบบจำลองของแผ่นพื้นที่สร้างโดยใช้โปรแกรม SAP2000 Nonlinear ทำการคำนวณค่าความถี่ธรรมชาติและ Mode shape ต่างๆของการสั่นซึ่งผลการเปรียบเทียบได้แสดงในรูปที่ 8 และตารางที่ 2

Mode shapes and natural frequencies



รูปที่ 8 เปรียบเทียบ Mode shape ของการสั่นระหว่างงานวิจัยนี้ (ภาพขวา) และผลการศึกษาจากงานวิจัยอื่น (Pavic et al., 2001)

Mode shape No.	ค่าความถี่ธรรมชาติ (Natural frequencies ,Hz)				
	เครื่องมือวัด (Measured)	งานวิจัยอื่น (Pavic et. al. 2001)		งานวิจัยนี้	
		ค่าที่ได้	%ความแตกต่าง	ค่าที่ได้	%ความแตกต่าง
1	6.4	5.2	18.75	6.1	4.68
2	6.9	5.5	20.28	6.9	0
3	8.2	6.6	19.51	9.6	17.07

ตารางที่ 2 แสดงการเปรียบเทียบค่าความถี่ธรรมชาติ (Natural frequencies) ระหว่างงานวิจัยอื่น (Pavic et al., 2001) งานวิจัยนี้และค่าจากการวัดแผ่นพื้นจริง

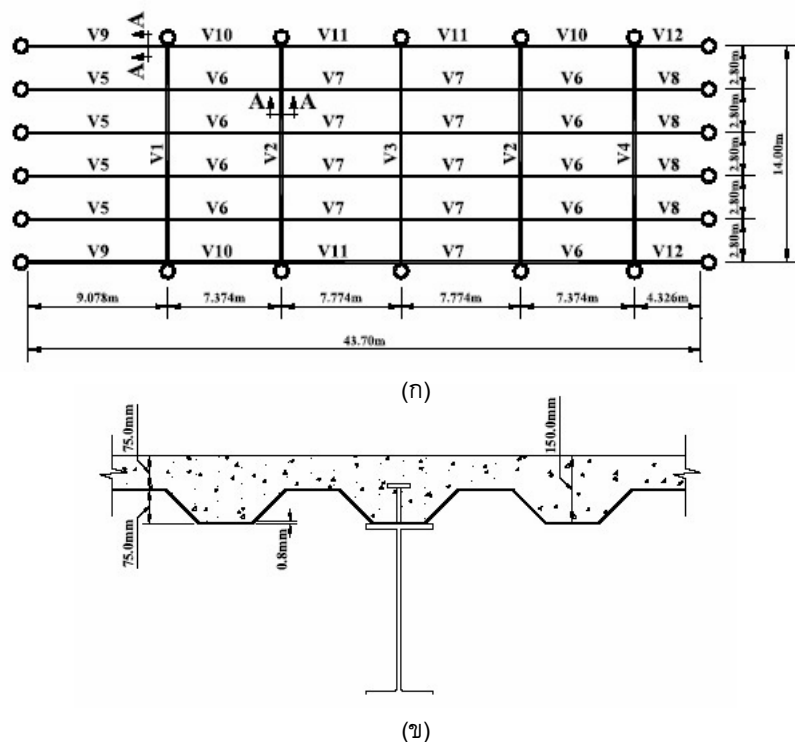
การเปรียบเทียบค่าความถี่ธรรมชาติจากการสร้างแบบจำลองแผ่นพื้นประกอบ

เพื่อให้การสร้างแบบจำลองแผ่นพื้นประกอบที่ถูกต้อง ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองของแผ่นพื้นประกอบดังต่อไปนี้

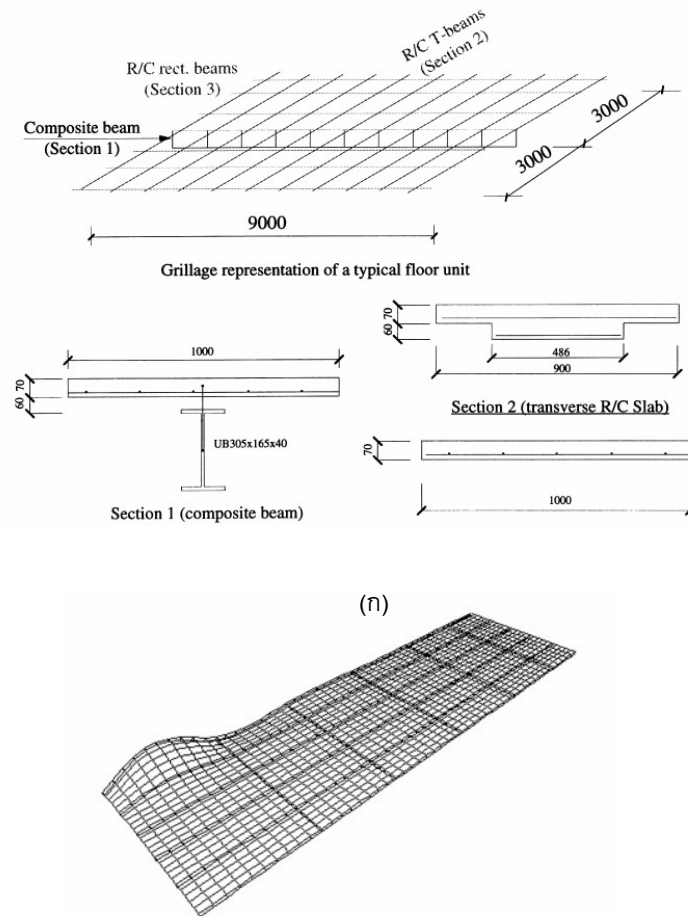
1. จากรูปที่ 9ก และรูปที่ 9ข และข้อมูลคุณสมบัติของวัสดุ ทำให้สามารถสร้างแบบจำลองของแผ่นพื้นประกอบได้ ซึ่งในการวิเคราะห์ในงานวิจัยชิ้นนี้จะใช้เทคนิคในการจำลองแผ่นพื้นประกอบโดยใช้วิธี Grillage model ในการสร้างแบบจำลองไฟไนต์อีลิเมนต์ ดังแสดงในรูปที่ 10 โดยในทิศทางของ R/C T Beams (Section 2) จะถูกแปลงให้มีหน้าตัดแบบตัว T ที่มีความกว้างของปีกบนเท่ากับ ความกว้างของ Typical unit of composite floor (0.9 เมตร) และมีพื้นที่หน้าตัดเท่ากัน ซึ่ง R/C T Beams (Section 2) นี้จะมีหน้าที่รับโมเมนต์ดัดและแรงบิดหลักของแผ่นพื้น ส่วนในทิศทางของ R/C rect. Beams (Section 3) จะถูกจำลองให้มีหน้าตัดเป็นแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีความกว้าง 1

เมตร และมีความหนาเท่ากับความหนาของคอนกรีตส่วนที่เหนือตัวยูขึ้นไป ซึ่ง R/C rect. Beams (Section 3) นี้จะมีหน้าที่รับโมเมนต์ดัดและแรงบิดของของแผ่นพื้น สำหรับจุดรองรับได้สมมติให้เป็นแบบยึดแน่นที่บริเวณหัวเสา

- รูปที่ 11 แสดงการเปรียบเทียบค่าความถี่ธรรมชาติระหว่างค่าที่วัดได้จากแผ่นพื้นประกอบ ค่าที่คำนวณจากจากงานวิจัยนี้และงานวิจัยอื่น (Da Silva, 2003)



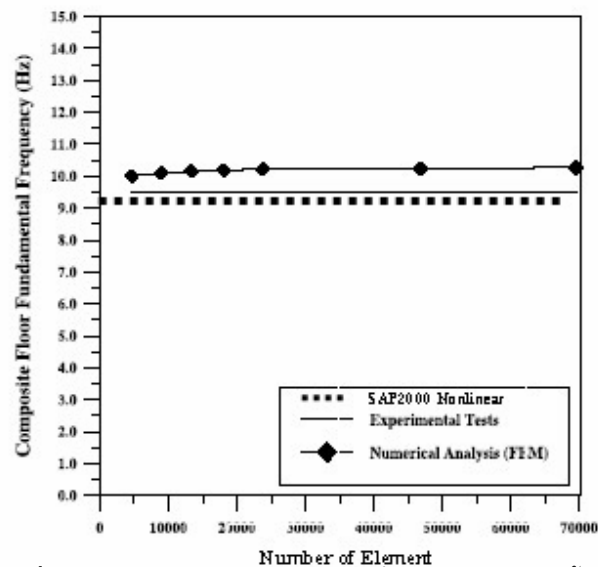
รูปที่ 9 แสดงผังของแผ่นพื้นประกอบและการลักษณะการจัดเรียงของพื้นประกอบที่ใช้ในการสอบเทียบแบบจำลอง (Da Silva, 2003)



(ข)

รูปที่ 10 ก) เทคนิคในการจำลองแผ่นพื้นประกอบโดยใช้วิธี Grillage model (หน่วยเป็น มิลลิเมตร)

ข) แบบจำลองไฟไนท์อีลิเมนต์ของแผ่นพื้นประกอบ



รูปที่ 11 แสดงการเปรียบเทียบค่าความถี่ธรรมชาติของแผ่นพื้นประกอบ

จากรูปที่ 11 จะเห็นว่าค่าความถี่ธรรมชาติที่คำนวณได้จากงานวิจัยนี้มีค่าความถี่ธรรมชาติใกล้เคียงกับค่าความถี่ธรรมชาติที่วัดจากแผ่นพื้นจริงกว่าผลในศึกษาใน Da Silva (2003) สำหรับหลักการที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองแผ่นพื้นกลวงนั้นเป็นหลักการเดียวกับที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองของแผ่นพื้นประกอบ

ผลการศึกษาพฤติกรรมการสั่นของแผ่นพื้นภายใต้พฤติกรรมการเดิน

ภายหลังที่ได้สอบเทียบวิธีการสร้างแบบจำลองของแผ่นพื้นแล้ว จึงสร้างแบบจำลองด้วยกระบวนการที่ได้สอบเทียบความถูกต้องแล้วมาสร้างแบบจำลองของแผ่นพื้นทั้ง 3 ชนิด ที่มีขนาดเท่ากัน คือ 9.5x9.5 เมตร เพื่อศึกษาพฤติกรรมทางพลศาสตร์ของแผ่นพื้นทั้ง 3 ชนิด ภายใต้พฤติกรรมการเดิน รวมทั้งจะทำการเปรียบเทียบพฤติกรรมของแผ่นพื้นอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรที่มีผลต่อพฤติกรรมทางพลศาสตร์ของแผ่นพื้น ดังแสดงต่อไปนี้

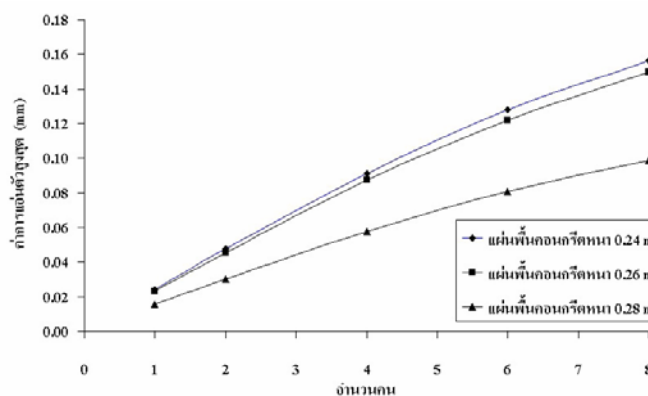
1. ลักษณะแรงที่มากระทำ
 - การเดินแบบช้า แบบธรรมดา และแบบเร็ว
2. เงื่อนไขของโครงสร้าง
 - ความหนาของแผ่นพื้น
 - ชนิดของจตุรรองรับ
 - ค่าความหน่วง

โดยกราฟของการเดินในรูปที่ 4 จะถูกใส่ลงไปในรูปแบบจำลองไฟไนท์อีลิเมนต์ของพื้นแต่ละชนิด โดยจะกระทำ ณ จุดกึ่งกลางของพื้นที่ขอบด้านหนึ่งและเคลื่อนที่ไปยังขอบอีกด้านหนึ่งของแผ่นพื้น ซึ่งผลการวิเคราะห์จากโปรแกรมไฟไนท์อีลิเมนต์จะถูกแสดงผลในรูปของการแอ่นตัว (Displacement time history) และความเร่ง (Acceleration time history) ซึ่งในหัวข้อถัดไปจะนำเสนอผลการศึกษาแต่ละตัวแปร ซึ่งในการศึกษา

พฤติกรรมตอบสนองของแผ่นพื้นตัวอย่างภายใต้แรงกระทำจากการเดิน โดยผลการศึกษาสามารถแบ่งออกได้เป็นกลุ่มหลักๆตามการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรที่มีผลต่อพฤติกรรมทางพลศาสตร์ของแผ่นพื้นดังรายละเอียดดังต่อไปนี้

ผลของความหนาของแผ่นพื้น

สำหรับผลของความหนาของแผ่นพื้นต่อพฤติกรรมทางพลศาสตร์จะนำเสนอเฉพาะกรณีของแผ่นพื้นคอนกรีตท้องเรียบขนาดใหญ่ เนื่องจากแผ่นพื้นอีก 2 ชนิด (แผ่นพื้นประกอบและแผ่นพื้นกลวงทางเดียว) นั้นจะมีความหนาที่ถูกกำหนดโดยผู้ผลิตให้มีค่าคงที่ จึงไม่ได้ศึกษาในพื้นอีก 2 ชนิดที่เหลือ ซึ่งหลังจากที่ได้ทำการวิเคราะห์แผ่นพื้นที่โดยใช้ไฟไนท์อีลิเมนต์



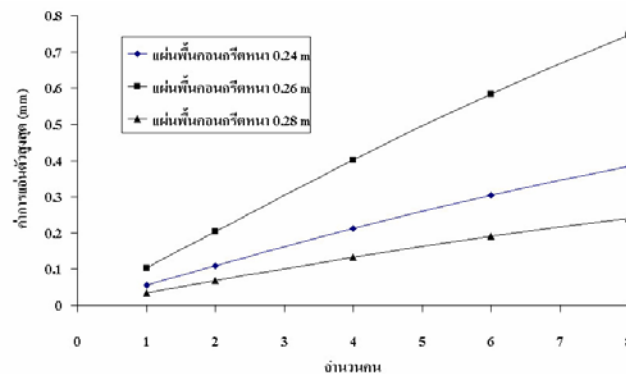
รูปที่ 12 กราฟเปรียบเทียบลักษณะการแอ่นตัวของแผ่นพื้นคอนกรีตท้องเรียบขนาดใหญ่ภายใต้เงื่อนไข จูตรองรับแบบยึดแน่น ความหน่วงที่ 0% ความถี่ของการเดินแบบช้า และลักษณะการเดินแบบหน้ากระดาน

จากรูปที่ 12 แสดงให้เห็นว่าลักษณะของกราฟไม่เป็นเส้นตรง เนื่องจากเมื่อน้ำหนักบรรทุกเพิ่มขึ้นค่าการแอ่นตัวสูงสุดไม่เพิ่มขึ้นเป็นอัตราส่วนที่คงที่ และเป็นที่สังเกตว่าเมื่อความหนาเพิ่มขึ้นการแอ่นตัวสูงสุดของแผ่นพื้นคอนกรีตจะลดลง ดังนั้นจึงสามารถสรุปพฤติกรรมทางพลศาสตร์ของแผ่นพื้นคอนกรีตท้องเรียบขนาดใหญ่เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความหนาของแผ่นพื้น ได้ดังนี้

- เมื่อความหนาของแผ่นพื้นเปลี่ยนไปการแอ่นตัวสูงสุดของแผ่นพื้นคอนกรีตจะลดลง แต่อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนความหนาของแผ่นพื้นจะทำให้ความถี่ธรรมชาติของแผ่นพื้นเปลี่ยนไป โดยถ้าหากความถี่ธรรมชาติของแผ่นพื้นมีความสอดคล้องกับความถี่ของการเดินจะทำให้ค่าการตอบสนองมีค่ามากกว่าปกติ จึงทำให้สามารถสรุปได้ว่าการเพิ่มความหนาของแผ่นพื้นนั้นไม่ได้ส่งผลในการลดค่าการแอ่นตัวของแผ่นพื้นเสมอไป

ผลของการเปลี่ยนแปลงของจูตรองรับ

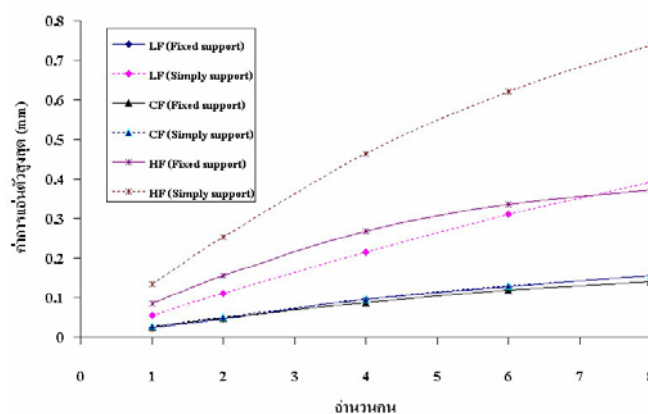
เมื่อมีการเปลี่ยนจูตรองรับเป็นแบบง่าย (เงื่อนไขอื่นๆในรูปที่ 12 คงเดิม)



รูปที่ 13 กราฟเปรียบเทียบค่าการแอ่นตัวสูงสุดของแผ่นพื้นคอนกรีตท้องเรียบขนาดใหญ่ภายใต้เงื่อนไข จูตรองรับแบบง่าย ความหน่วงที่ 0% ความถี่ของการเดินแบบช้า และลักษณะการเดินแบบหน้ากระดาน

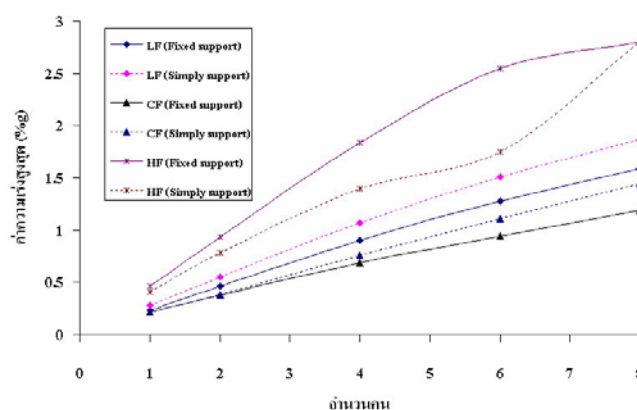
จากรูปที่ 13 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงจูตรองรับจากแบบยึดแน่นเป็นแบบง่ายลักษณะของแผ่นพื้นคอนกรีตหนา 0.26 เมตร มีค่าการแอ่นตัวสูงสุดมากกว่าแผ่นพื้นคอนกรีตความหนา 0.24 และ 0.28 เมตร ทุกจำนวนน้ำหนักบรรทุก (1-8 คน) เนื่องจากเกิดการเสริมกันของความถี่ในแผ่นพื้นคอนกรีตความหนา 0.26 เมตร นั่นคือ ค่าความถี่ของการเดินแบบช้า (1.87 Hz) มีค่าใกล้เคียงกลับ 1/5 ของความถี่ธรรมชาติของแผ่นพื้น (8.928 Hz) สภาวะเช่นนี้เรียกว่า **ก้ำทอน** ซึ่งถือว่าเป็นกรณีที่วิกฤตที่สุดของการสั่นของแผ่นพื้นนั้นๆ อนึ่งค่าการแอ่นตัวสูงสุดของแผ่นพื้นที่มีจูตรองรับแบบยึดแน่นจะมีค่าน้อยกว่าแผ่นพื้นที่มีจูตรองรับแบบง่ายเนื่องจากจูตรองรับแบบยึดแน่นจะเพิ่มความแกร่งให้แผ่นพื้น จึงเป็นสาเหตุให้ค่าการแอ่นตัวลดลง

สำหรับการเปรียบเทียบผลของการเปลี่ยนแปลงของจูตรองรับต่อการตอบสนองของแผ่นพื้นคอนกรีตท้องเรียบขนาดใหญ่กับแผ่นพื้นที่เหลืออีก 2 ชนิด สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 14



รูปที่ 14 กราฟเปรียบเทียบค่าการแอ่นตัวสูงสุดของแผ่นพื้นทั้ง 3 ชนิดภายใต้การเปลี่ยนแปลงชนิดของจูตรองรับ ความหน่วงที่ 3% ความถี่ของการเดินแบบช้า และลักษณะการเดินแบบหน้ากระดาน

จากรูปที่ 14 จะเห็นได้ว่าค่าการแอ่นตัวของแผ่นพื้นแบบ HF จะมีค่าสูงสุดเมื่อเทียบกับพื้นอีก 2 ชนิด (LF และ CF) เมื่อทำการเปลี่ยนเงื่อนไขของจตุรรองรับเป็นแบบยึดแน่น (Fixed support) พบว่าค่าการแอ่นตัวสูงสุดลดลงประมาณ 50% ในกรณีของพื้น LF และ HF สำหรับกรณีของพื้น CF จะมีผลน้อยมากเนื่องจากลักษณะของการจัดเรียงของ Profiled Steel Sheet นั้นจะถูกวางอยู่บนคานย่อย (Secondary beam) ที่เชื่อมโยงไปที่คานหลัก (Primary beam) อีกครั้งหนึ่ง ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงชนิดของจตุรรองรับจึงมีผลน้อยมากกับพื้นชนิดนี้ สำหรับความเร่งที่เกิดจากการสั่นของแผ่นพื้นทั้ง 3 ชนิด ได้แสดงใน รูปที่ 15

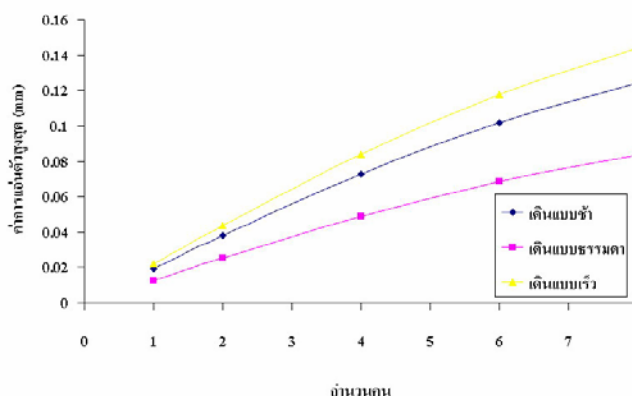


รูปที่ 15 กราฟเปรียบเทียบค่าความเร่งสูงสุดของแผ่นพื้นทั้ง 3 ชนิดภายใต้การเปลี่ยนแปลงชนิดของจตุรรองรับ ความหน่วงที่ 3% ความถี่ของการเดินแบบช้า และลักษณะการเดินแบบหน้ากระดาน

จากรูปที่ 15 พบว่าค่าความเร่งสูงสุดจะเปลี่ยนไปเมื่อมีการเปลี่ยนชนิดของจตุรรองรับ โดยที่แนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงจะขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ธรรมชาติของแผ่นพื้นกับความถี่ของการเดิน ดังตัวอย่างในรูปที่ 15 พบว่า LF และ CF มีแนวโน้มเหมือนกันคือเมื่อจตุรรองรับเป็นแบบง่ายแผ่นพื้นจะมีความเร่งสูงสุดของการสั่นสูงกว่ากรณีจตุรรองรับแบบยึดแน่น ทั้งนี้เนื่องจากความถี่ของการเดินมีค่าใกล้เคียงองค์ประกอบฮาร์โมนิคของแผ่นพื้น โดยพื้น HF มีแนวโน้มที่ตรงข้ามแต่อย่างไรก็ตามสามารถอธิบายโดยใช้เหตุผลเช่นเดียวกันกับพื้น LF และ CF หากพิจารณาถึงค่าความเร่งสูงสุดของการสั่นของพื้นตัวอย่างทั้ง 3 ชนิดนี้เมื่อเทียบกับค่าที่ยอมให้ (International Standard Organization, 1989) พบว่าพื้น LF และ CF อยู่ในค่าที่ยอมให้ในกรณีของแผ่นพื้นในศูนย์การค้า ($<2\%$ g) แต่มากกว่าค่าที่ยอมให้ในกรณีของพื้นสำนักงาน ($<0.63\%$ g) สำหรับพื้น HF ไม่ผ่านในทุกกรณีซึ่งหมายความว่าพื้น HF มีขนาดที่ใหญ่เกินไปและไม่เหมาะสมสำหรับโครงสร้างที่ต้องคำนึงถึงความสะดวกสบายของผู้อยู่อาศัยภายในชั้นเดียวกัน อย่างไรก็ตามสามารถแก้ปัญหาได้โดยการลดขนาดของแผ่นพื้นให้มีขนาดเล็กลง

ผลของความถี่ของการเดิน (การเดินแบบช้า การเดินแบบธรรมดา และการเดินแบบเร็ว)

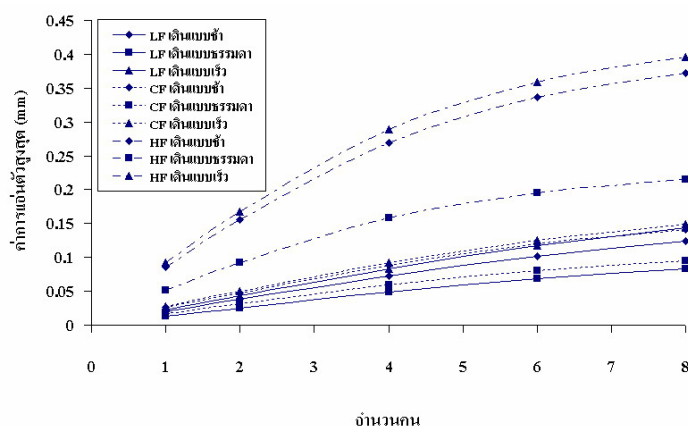
เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าความถี่ในการเดินจะทำให้ค่าการแอ่นตัวสูงสุด มีความแตกต่างกันดังแสดงในรูปที่ 16



รูปที่ 16 กราฟเปรียบเทียบลักษณะการแอ่นตัวของแผ่นพื้นคอนกรีตท้องเรียบขนาดใหญ่หนา 0.26 เมตร ภายใต้การเปลี่ยนแปลงค่าความถี่ของการเดิน จูตรองรับแบบยึดแน่น ความหน่วงที่ 3% ลักษณะการเดินหน้ากระดาน

จากกราฟรูปที่ 16 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าความถี่ในการเดินจะทำให้ค่าการแอ่นตัวสูงสุดมีความแตกต่างกัน ซึ่งจากการวิเคราะห์พบว่าที่ความถี่ในการเดิน แบบเร็วจะให้ค่าค่าการแอ่นตัวสูงสุด มีค่ามากที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากความถี่ในการเดินแบบเร็ว (ค่าความถี่เท่ากับ 2.77 Hz) มีค่าใกล้เคียงกับ $1/6$ ของความถี่ธรรมชาติของแผ่นพื้นจึงทำให้พฤติกรรมการสั่นของแผ่นพื้นคอนกรีตได้รับความถี่ที่เพิ่มขึ้น รองลงมาคือ ความถี่ของการเดินแบบช้าซึ่งมีค่าความถี่เท่ากับ 1.87 Hz และสุดท้ายคือ ความถี่ในการเดินแบบธรรมดาซึ่งมีค่าความถี่เท่ากับ 2.0 Hz ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าการตอบสนองทางพลศาสตร์ของแผ่นพื้นคอนกรีตท้องเรียบขนาดใหญ่ภายใต้การเปลี่ยนแปลงค่าความถี่ของการเดินจะขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ของการเดินกับความถี่ธรรมชาติของแผ่นพื้น

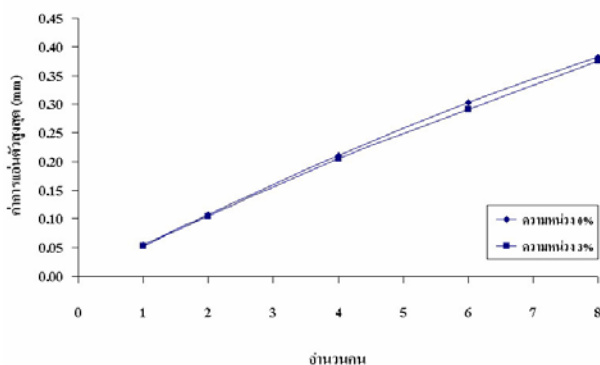
ในกรณีการเปรียบเทียบผลของค่าการแอ่นตัวสูงสุดของการเดิน ต่อการตอบสนองของแผ่นพื้นคอนกรีตท้องเรียบขนาดใหญ่กับแผ่นพื้นที่เหลืออีก 2 ชนิด สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 17



รูปที่ 17 กราฟเปรียบเทียบค่าการแอ่นตัวสูงสุดของแผ่นพื้นทั้ง 3 ชนิดเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าความถี่ของการเดิน จูตรองรับแบบง่าย ความหน่วงที่ 3% ความถี่ของการเดินแบบช้า

จากรูปที่ 17 พบว่าเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความถี่ของการเดินจะทำให้ค่าการแอ่นตัวสูงสุดของแผ่นพื้นทั้ง 3 ชนิด เปลี่ยนไป โดยแนวโน้มของการตอบสนองของพื้นทั้ง 3 ชนิดเป็นไปในทางเดียวกันเรียงตามลำดับจากมากไปหาน้อยคือ การเดินแบบเร็ว การเดินแบบช้า และการเดินแบบธรรมดา ตามลำดับ อนึ่งพื้น LF และ CF มีค่าการแอ่นตัวสูงสุดใกล้เคียงกันเนื่องจากค่าความถี่ธรรมชาติของพื้นทั้ง 2 มีค่าใกล้เคียงกัน ($LF=8.928$ Hz และ $CF=9.1214$ Hz) ส่วนพื้น HF มีค่าความถี่ธรรมชาติที่แตกต่างไป ($HF=5.8651$ Hz) จึงทำให้มีค่าการแอ่นตัวสูงสุดแตกต่างจากพื้นอีก 2 ชนิดอย่างเห็นได้ชัด อนึ่งสาเหตุที่พื้น HF มีค่าการแอ่นตัวสูงสุดค่อนข้างมากเมื่อเทียบกับพื้นอีก 2 ชนิด เนื่องจากความถี่ของการเดินมีค่าใกล้เคียงกับ $1/3$ ของความถี่ธรรมชาติของแผ่นพื้น จึงทำให้พฤติกรรมการสั่นของแผ่นพื้นเพิ่มขึ้นมาก สำหรับค่าความเร่งสูงสุดที่เกิดขึ้นของพื้นทั้ง 3 ชนิดภายใต้เปลี่ยนแปลงความถี่ของการเดิน พบว่าจะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนกับการเพิ่มจำนวนคนเช่นเดียวกับกรณีอื่นๆ

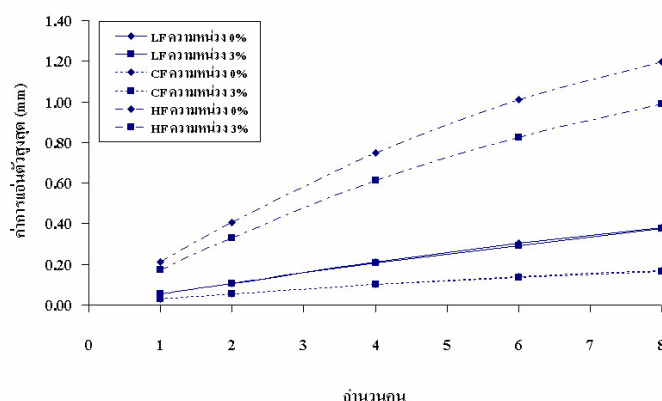
ผลของความหน่วง



รูปที่ 18 กราฟเปรียบเทียบลักษณะการแอ่นตัวของแผ่นพื้นคอนกรีตท้องเรียบขนาดใหญ่หนา 0.26 เมตร ภายใต้การเปลี่ยนแปลงความหน่วงของโครงสร้าง จตุรกรับแบบง่าย ความถี่ของการเดินแบบเร็ว ลักษณะการเดินหน้ากระดาน

จากรูปที่ 18 พบว่าความหน่วงมีผลเพียงเล็กน้อยในการลดค่าการแอ่นตัวของโครงสร้าง แต่อย่างไรก็ตามการเพิ่มความหน่วงสามารถช่วยลดค่าการแอ่นตัวได้แต่จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความเร็วของแรงที่มากระทำและความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ของการเดินกับความถี่ธรรมชาติของแผ่นพื้น อย่างไรก็ตามแผ่นพื้นก็มีความหน่วงแฝงอยู่ในรูปของความหน่วงในวัสดุ (Material damping) และความหน่วงจะเกิดจากสิ่งของที่วางอยู่บนพื้นเช่นเก้าอี้ โต๊ะ อุปกรณ์ต่าง ๆ ซึ่งสิ่งเหล่านี้จะช่วยลดพฤติกรรมสั่นของแผ่นพื้นได้

สำหรับการเปรียบเทียบผลของลักษณะของการเดินต่อการตอบสนองของแผ่นพื้นคอนกรีตท้องเรียบขนาดใหญ่กับแผ่นพื้นที่เหลืออีก 2 ชนิด สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 19



รูปที่ 19 กราฟเปรียบเทียบค่าการแอ่นตัวสูงสุดของแผ่นพื้นทั้ง 3 ชนิดเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงภายใต้การเปลี่ยนแปลงความหน่วงของโครงสร้าง จุตรองรับแบบง่าย ความหน่วงที่ 3% ความถี่ของการเดินแบบช้า

จากรูปที่ 19 พบว่าความหน่วงมีผลเพียงเล็กน้อยในการลดค่าการแอ่นตัวของพื้น LF และ CF แต่มีผลค่อนข้างมากในพื้น HF ทั้งนี้เนื่องจากความถี่ของการเดิน (1.87 Hz) ใกล้เคียงกับ 1/3 ของความถี่ธรรมชาติของพื้น (HF=5.8651 Hz) จึงทำให้ใกล้เคียงกับสภาวะกำทอน ดังนั้นการเพิ่มความหน่วงให้กับแผ่นพื้นจึงเป็นการช่วยลดขนาดของการสั่นได้อย่างชัดเจน สำหรับค่าความเร่งสูงสุดที่เกิดขึ้นของพื้นทั้ง 3 ชนิดภายใต้การเปลี่ยนแปลงความถี่ของการเดิน พบว่าจะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนกับการเพิ่มจำนวนคนเช่นเดียวกับกรณีอื่นๆ

สรุปผลการวิจัย

บทความนี้ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบการตอบสนองของแผ่นพื้นชนิดต่างๆ จำนวน 3 ชนิด ได้แก่ พื้นคอนกรีตแบบทอเรียบขนาดใหญ่ (Long-span flat concrete floor, LF) พื้นประกอบ (Composite floor, CF) และพื้นกลวง (Hollow core floor, HF) ภายใต้การกระทำของ walking load โดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนท์อีลิเมนต์ (Finite element analysis) ซึ่งผลการศึกษาที่ได้จากงานวิจัยนี้สามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

- ขนาดของการตอบสนองของแผ่นพื้นจะขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ของการเดินกับความถี่ธรรมชาติของแผ่นพื้น ซึ่งถ้าหากความถี่ของการเดินมีค่าใกล้กับองค์ประกอบฮาร์โมนิกของแผ่นพื้น จะส่งผลให้แผ่นพื้นมีค่าการแอ่นตัวสูงสุดและค่าอัตราเร่งสูงสุดที่มากขึ้น
- ค่าความเร่งของการสั่นของแผ่นพื้นจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับจำนวนคนที่เพิ่มขึ้น
- เมื่อทำการเปลี่ยนเงื่อนไขของจตุรรองรับของแผ่นพื้น พบว่าจะมีผลต่อการแอ่นตัวของแผ่นพื้น LF และ HF สำหรับกรณีของพื้น CF จะมีผลน้อยมากเนื่องจากลักษณะของการจัดเรียงของ Profiled Steel Sheet นั้นจะถูกวางอยู่บนคานย่อยที่เชื่อมโยงไปที่คานหลัก อีกครั้งหนึ่ง ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงชนิดของจตุรรองรับจึงมีผลน้อยมากกับพื้นชนิดนี้
- เมื่อมีแรงกระทำแบบคนเดินที่มีลักษณะการเดินที่แตกต่างกันก็จะทำให้ค่าการแอ่นตัวสูงสุดของแผ่นพื้นทั้ง 3 ชนิด มีค่าแตกต่างกัน โดยในลักษณะการเดินแบบกลุ่มเมื่อจำนวนน้ำหนักบรรทุกมีค่าเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าการแอ่นตัวสูงสุดสูงกว่าการเดินแบบหน้ากระดาน เนื่องจาก

ลักษณะการเดินแบบกลุ่มจะมีจำนวนน้ำหนักบรรทุกผ่านแนวศูนย์กลางมากกว่าการเดินแบบหน้ากระดานซึ่งจะกระจายจำนวนน้ำหนักบรรทุกออกจากแนวศูนย์กลาง โดยที่พื้น LF และ HF จะมีการเพิ่มขึ้นของค่าการแอ่นตัวสูงสุดอย่างเห็นได้ชัดเนื่องจากจุดรองรับของแผ่นพื้นอยู่บริเวณขอบของแผ่นพื้นเท่านั้น ต่างกับกรณีของพื้น CF ที่มีผลน้อยมากเนื่องจากลักษณะของการจัดเรียงของ Profiled Steel Sheet ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงชนิดของจุดรองรับจึงมีผลน้อยมากกับพื้นชนิดนี้

- เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความถี่ของการเดินจะทำให้ค่าการแอ่นตัวสูงสุดของแผ่นพื้นทั้ง 3 ชนิดเปลี่ยนไปโดยจะขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ของการเดินกับความถี่ธรรมชาติของแผ่นพื้น สำหรับค่าความเร่งสูงสุดที่เกิดขึ้นของพื้นทั้ง 3 ชนิดภายใต้การเปลี่ยนแปลงความถี่ของการเดิน พบว่าจะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนกับการเพิ่มจำนวนคน
- ความหน่วงมีผลเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับตัวแปรอื่นๆในการลดค่าการแอ่นตัวของโครงสร้าง แต่อย่างไรก็ตามการเพิ่มค่าความหน่วงสามารถช่วยลดค่าการแอ่นตัวได้แต่จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความเร็วของแรงที่มากระทำและความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ของการเดินกับความถี่ธรรมชาติของแผ่นพื้น

จากข้อสรุปข้างต้นสามารถกล่าวได้ว่าเมื่อจะทำการเลือกออกแบบแผ่นพื้นในองค์อาคารควรที่จะพิจารณาวัตถุประสงค์ของการใช้ของอาคารนั้นก่อนจึงทำการเลือกชนิดของแผ่นพื้นซึ่งพื้นทั้ง 3 ชนิดที่เลือกมาศึกษาในงานวิจัยนี้ก็มีข้อดีและข้อเสียต่างกัน แต่พฤติกรรมการตอบสนองทางพลศาสตร์ที่คล้ายกัน ดังนั้นการวิเคราะห์พฤติกรรมของแผ่นพื้นโดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนท์อีลิเมนต์ เพื่อวิเคราะห์คุณสมบัติของแผ่นพื้นในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงตัวแปรที่มีผลต่อพฤติกรรมของแผ่นพื้นจึงเป็นสิ่งที่ควรกระทำอย่างยิ่งในกรณีโครงสร้างที่ต้องคำนึงถึงความเสถียรของผู้อยู่อาศัยภายในชั้นเดียวกัน สุดท้ายการใช้ระเบียบวิธีไฟไนท์อีลิเมนต์ในการศึกษาลักษณะนี้เป็นการศึกษาที่ใช้ต้นทุนต่ำซึ่งจะให้ลดต้นทุนของการก่อสร้างได้

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณสำนักงานงบประมาณแผ่นดินที่ได้สนับสนุนทุนอุดหนุนการวิจัย ประจำปีงบประมาณ 2547 และขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่ได้เอื้อเฟื้ออุปกรณ์ในการทำวิจัย สุดท้ายคณะผู้วิจัยขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ได้อนุเคราะห์ให้ใช้โปรแกรม SAP2000 Nonlinear

เอกสารอ้างอิง

- Allen, D.E. 1990a. "Building Vibrations from Human Activities" *Concrete International: Design and Construction*, American Concrete Institute, vol. 12, no. 6. 66-73.
- Allen, D.E. 1990b. "Floor Vibrations from Aerobics" *Canadian Journal of Civil Engineering*, vol. 17, no. 5. 771-779.

- Allen, D.E. and Rainer, J.H. 1975. **“Vibrations Criteria for Long-Span Floors”** *Canadian Journal of Civil Engineering*, vol. 3, no. 2. 165-173.
- Bachmann, H. and Ammann, W. 1987. **“Vibration in structures - Induced by Man and Machines”**. Structural Engineering Documents No. 3e, International Association for Bridge and Structural Engineering IABSE, Zurich, Switzerland.
- Da Silva, J.G.S. 2003. **“An evaluation of the dynamical performance of composite slabs”** Technical report, Department of Mechanical Engineering, State University of Rio de Janeiro, Brazil
- Hanes, R.M. 1970. **“Human Sensitivity to Whole-Body Vibration in Urban Transportation Systems: A Literature Review”**, Applied Physics Laboratory, The Johns Hopkins University, Silver Springs, MD.
- International Standard Organization. 1989. **“Evaluation of human exposure to whole body vibration—Part 2: human exposure to continuous and shock-induced vibrations in buildings (1 to 80 Hz)”**. ISO 2631-2.
- Kuntyawichai, K. and Sangtian, N. 2002. **“Finite element study of long-span flat concrete floor subjected to walking load”** International Conference on Structural Stability and Dynamics, ICSSD 2002, Singapore, pp.522-527.
- Lenzen, K.H. 1966. **“Vibration of Steel Joist-Concrete Slab Floors”** *AISC Engineering Journal*, vol. 3, no. 3. 133-136.
- Mouring, S.E. and Ellingwood, B.R. (1994). **“Guidelines to Minimize Floor Vibrations from Building Occupants”** *Journal of Structural Engineering*, ASCE, **120**(2), 507-526
- Murray, T.M. 1979. **“Acceptability Criterion for Occupant-Induced Floor Vibrations”**, *Sound and Vibration*, November. 24-30.
- Murray, T.M. 1991. **“Building Floor Vibrations”** *AISC Engineering Journal*, vol. 28, 3rd qtr. 102-109.
- National Research Council of Canada. 1995. **“Supplement to the National Building Code of Canada, Commentary on Serviceability Criteria for Deflections and Vibrations”**. Ottawa, Canada.
- Nilrat, S, Puatatsananon, W. and Kuntyawichai, K. 2004. **“Vibration behaviour of long-span flat concrete floor subjected to human walking”**, The 9th National Convention on Civil Engineering Cha-um, Petchaburi, pp. STR78-83
- Pavic, A., Reynolds, P., Waldron, P. and Bennett, K. 2001. **“Dynamic modelling of post tensioned concrete floors using finite element analysis”**. *Finite Elements in Analysis and Design*, 37:305–323.