การสั่นสะเทือนในระบบพื้นคอนกรีตอัดแรงสำเร็จรูปเนื่องจากกิจกรรมของมนุษย์

VIBRATION IN PRECAST-PRESTRESSED CONCRETE SLABS DUE TO HUMAN ACTIVIES

มงคล จิรวัชรเดช (Mongkol Jiravatcharadet)[1]

พรพิไล กิติรัตน์ตระการ (Phornpilai Kitrattrakarn)[2]

[1]ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี นครราชสีมา mongkol@sut.ac.th

[2]ผู้ช่วยวิจัย สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี นครราชสีมา pornpilai@lycos.com

บทคัดย่อ : บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อระบุปัญหาเกี่ยวกับการสั่นสะเทือนในระบบพื้นคอนกรีตอัดแรงสำเร็จรูปที่มีการผลิตและจำหน่ายในประเทศไทย ภายใต้แรงกระทำทางพลศาสตร์เนื่องจากกิจกรรมของมนุษย์ได้แก่ การเต้นแอโรบิค การวิ่งเหยาะๆ และการวิ่งธรรมดา ซึ่งจำลองเป็นฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ ในการศึกษาจะแบ่งออกเป็นการวิเคราะห์ทางทฤษฎีและการทดสอบเพื่อหาค่าคุณสมบัติทางพลศาสตร์และค่าความเร่งสูงสุดของระบบ ในการวิเคราะห์ค่าความเร่งสูงสุดของระบบจะแบ่งพื้นออกเป็นสัดส่วนด้านยาวต่อด้านกว้างดังนี้ 1 : 0.5, 1 : 1, 1 : 1.5 และ 1 : 2 นำผลทั้งสองวิธีเปรียบเทียบกันแล้วทำการปรับปรุงค่าจากการทดสอบและวิเคราะห์ให้สอดคล้องกัน ต่อจากนั้นทำการเปรียบเทียบเพิ่มเติมกับเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดค่าความเร่งสูงสุดที่แนะนำให้เกิดขึ้นในพื้นสำหรับการใช้อาคารแบบต่าง ๆ จากการศึกษาพบว่าระบบพื้นที่มีสัดส่วน 1 : 0.5 ค่าส่วนใหญ่มีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐาน และสัดส่วน 1 : 2 มีบางส่วนจะเห็นว่าระบบพื้นควรมีการปรับปรุงการออกแบบเพื่อให้สอดคล้องกับเกณฑ์มาตรฐานเกี่ยวกับการสั่นสะเทือนในระบบพื้นต่อไป

ABSTRACT : The proposed of this article is to define the vibration problem in Precast-Prestressed concrete slab (PC slab) which constructed by using the product of Thailand due to human activities such as aerobics, jogging and running which in the form of mathematical model. The study is divided into the analysis and experiment to find the dynamic properties and the maximum acceleration of the systems. The slabs are considered in full size with the ratio of length and width of 1:0.5, 1:1, 1:1.5 and 1:2 in the acceleration analysis. Updating the dynamic properties from the analysis with the experiment and then analyze the maximum acceleration of the system again. Compare the maximum acceleration of each case with the recommendation code. The comparison shows that the natural frequencies of the slab in the experiment are nearly close to the analysis and from the comparing of maximum accelerations of the slab are show that the majority of slab with ratio of 1 : 0.5 are upper than the code and rarely in the ratio of 1 : 2. It can be concluded that the slab has the vibration problem with the human activities and should extend the research in the design of PC slab to reduce vibration which compatible with the code.

KEYWORDS : Precast-Prestressed, Vibration, Natural frequency, Human activities

1. บทนำ

เทคโนโลยีเกี่ยวกับวัสดุและกรรมวิธีการก่อสร้างมีการพัฒนามากขึ้น มีการคำนึงถึงความประหยัด ความสะดวกรวดเร็วในการก่อสร้างมากขึ้นด้วยเช่นกัน วัสดุที่นำมาใช้สำหรับการออกแบบและก่อสร้างจึงมีกำลังสูงและสามารถทำงานได้ง่ายและรวดเร็ว สำหรับส่วนของโครงสร้างพื้นนั้น พื้นคอนกรีตอัดแรงสำเร็จรูปถือเป็นวัสดุที่นิยมนำมาใช้ในงานก่อสร้างมาก เนื่องจากเป็นวัสดุที่มีกำลังสูงและมีความสะดวกในการทำงานทำให้สามารถก่อสร้างได้อย่างรวดเร็ว ช่วยให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง ถึงแม้ว่าแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงสำเร็จรูปที่เลือกใช้จะมีกำลังเพียงพอในการรับน้ำหนักบรรทุกได้อย่างปลอดภัย และมีการแอ่นตัวไม่เกินค่าที่กำหนดไว้ตามมาตรฐาน แต่เนื่องจากการที่แผ่นพื้นมีน้ำหนักน้อยและมีความยืดหยุ่นมาก เมื่อเทียบกับพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กธรรมดา รวมทั้งไม่ได้หล่อเป็นเนื้อเดียวกับโครงสร้าง ผลกระทบต่อโครงสร้างที่ตามมาก็คือ ความสั่นสะเทือนของโครงสร้างมีมากขึ้น ถึงแม้ว่าโครงสร้างจะมีความปลอดภัย แต่การสั่นสะเทือนของโครงสร้าง จะมีผลต่อการรับรู้ของผู้อาศัยอยู่ในอาคาร ซึ่งทำให้เกิดความรู้สึกไม่สะดวกสบาย นอกจากนี้ ความสั่นสะเทือนยังอาจก่อให้เกิดปัญหาในอาคารที่มีเครื่องมือซึ่งต้องการความละเอียดแม่นยำสูงอีกด้วย หากมีความสั่นสะเทือนมารบกวนมากอาจทำให้ความแม่นยำในการทำงานน้อยลงจนไม่สามารถปฏิบัติงานได้

ได้มีผู้ทำการศึกษาการสั่นสะเทือนในพื้นชนิดต่าง ๆ เช่น Allen (1990) [1] ได้ทำการศึกษาและแก้ปัญหาการสั่นสะเทือนในพื้นซึ่งมีค่ามากจนผู้ใช้รู้สึกไม่ปลอดภัย กิตติศักดิ์ กุลธิยาวิชัย (2545) [2] ได้ทำการศึกษาพฤติกรรมการสั่นสะเทือนของพื้นคอนกรีตช่วงยาว เนื่องจากการเดิน แผ่นพื้นเป็นพื้นคอนกรีตขนาด 9.50x9.50 ม มีความหนา 3 0.24 0.26 และ 0.28 ม. Hong Nam (2004) [3] ทำการศึกษาและแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นกับพื้นสนามแบดมินตันหนา 15 ซม.วางอยู่บนตงเหล็กทุก ๆ 5 เมตร ยาว 20 เมตร และพรพิไล กิติรัตน์ตระการ (2546) [4] ได้ศึกษาเชิงทฤษฎีเกี่ยวกับการสั่นสะเทือนในพื้นคอนกรีตอัดแรงสำเร็จรูปเนื่องจากกิจกรรมของมนุษย์

จากเหตุผลข้างต้นจะเห็นว่าพื้นคอนกรีตอัดแรงสำเร็จรูปมีความเสี่ยงต่อการสั่นสะเทือนที่มากเกินไป จึงเหมาะที่จะนำมาศึกษาเพื่อเผยแพร่และเป็นแนวทางในการศึกษาขั้นออกแบบต่อไป ทั้งนี้ได้มีผู้เสนอแนวทางในการออกแบบเพื่อป้องกันการสั่นสะเทือนแต่ยังไม่ได้ทำการศึกษาและทดสอบกับพื้นคอนกรีตอัดแรงสำเร็จรูปเช่น ATC Design Guide (ATC, 1999 [5]) และ PCI Design Handbook (PCI, 2004 [6])

2. ระเบียบวิธีวิจัย

การวิจัยแบ่งออกเป็นสองส่วนคือการวิจัยเชิงทฤษฎีและการวิจัยเชิงทดลอง ความยาวพื้นที่นำมาวิเคราะห์ คือ 3, 4 และ 5 เมตร น้ำหนักบรรทุกพลวัตจากกิจกรรมของมนุษย์ได้แก่ การเต้นแอโรบิค การวิ่งเหยาะ ๆ และการวิ่ง ดูได้จากพรพิไล กิติรัตน์ตระ การ (2546) [4]

2.1 การวิจัยเชิงทฤษฎี

- สร้างแบบจำลองของระบบพื้น แบ่งสัดส่วนของพื้นด้านยาวต่อด้านกว้างดังนี้ 1:0.5, 1:1, 1: 1.5 และ 1:2
- วิเคราะห์หาคุณสมบัติทางพลศาสตร์ของระบบ
- วิเคราะห์หาการตอบสนองของระบบพื้นโดยใช้โปรแกรม MATLAB

แบบจำลองระบบพื้นและการวิเคราะห์ ดูได้จาก พรพิไล กิติรัตน์ตระการ (2546) [4]

2.2 การวิจัยเชิงทดลอง

- จัดเตรียมวัสดุและอุปกรณ์
  - ทำการจัดเตรียมและจัดเก็บวัสดุ เช่น wire mesh, เหล็กเส้น, ปูนซีเมนต์, แผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงสำเร็จรูป
  - ทำการจัดเตรียมอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบ เช่น ชุด impact loading, ฐานติดตั้งพื้นคอนกรีตอัดแรงสำเร็จรูป, คอมพิวเตอร์สำหรับบันทึกและแปลงข้อมูล
- ขั้นตอนในห้องปฏิบัติการ
  - จัดเรียงพื้นคอนกรีตอัดแรงสำเร็จรูปบนคานแล้วทำการเทคอนกรีตทับหน้า และทดสอบกำลังอัดประลัยของคอนกรีตเททับหน้า
  - ติดตั้ง impact loading frame และอุปกรณ์ตรวจวัด
  - ทดสอบหาการตอบสนองของระบบ
- ขั้นตอนการวิเคราะห์และสรุปผล
  - นำค่าการตอบสนองของระบบมาวิเคราะห์ค่าคุณสมบัติทางพลศาสตร์ได้แก่ ค่าความถี่ธรรมชาติ โดยการวิเคราะห์ทางความถี่

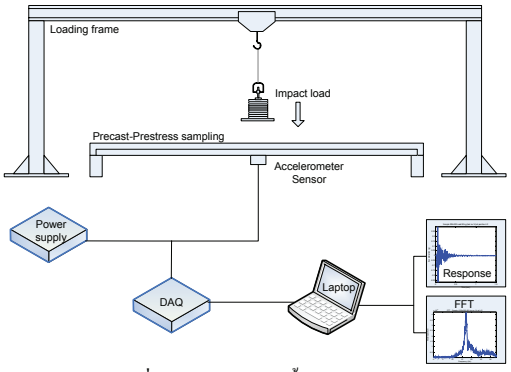
- เปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการวิเคราะห์เชิงทฤษฎี

- ปรับแก้ค่าคุณสมบัติทางพลศาสตร์จากการวิเคราะห์เชิงทฤษฎีกับการทดสอบให้สอดคล้องกัน

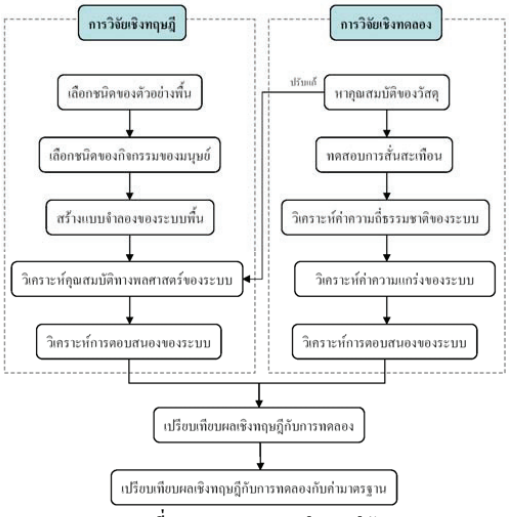
- วิเคราะห์ค่าการตอบสนองของระบบเนื่องจากกิจกรรมของมนุษย์

- นำค่าความเร่งสูงสุดของระบบเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐาน National Building Code of Canada 1995

แผนภาพการติดตั้งอุปกรณ์แสดงดังภาพที่ 1 และขั้นตอนโดยสรุปแสดงดังภาพที่ 2



ภาพที่ 1 แผนภาพการติดตั้งอุปกรณ์ทดสอบ



ภาพที่ 2 แผนภาพการดำเนินการวิจัย

3. ผลและการอภิปรายผลการวิจัย

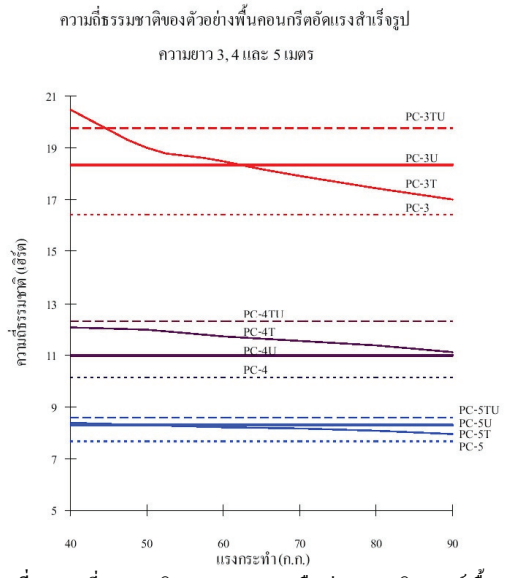
ผลการวิจัยแบ่งออกเป็นสองส่วนคือ 1. คุณสมบัติทางพลศาสตร์ของระบบ ได้แก่ ค่าความถี่ธรรมชาติ และ 2. การตอบสนองของระบบ ได้แก่ ค่าความเร่งสูงสุด ของทั้งการวิจัยเชิงทฤษฎี และเชิงทดลอง

3.1 ความถี่ธรรมชาติของระบบ

ค่าความถี่ธรรมชาติของระบบพื้นคอนกรีตอัดแรงสำเร็จรูปตัวอย่าง 3, 4 และ 5 เมตร มีค่าอยู่ระหว่าง 16.42 – 19.74 Hz, 10.12 – 12.29 Hz และ 7.64 – 8.55 Hz. ตามลำดับ ค่าที่ได้จากการทดสอบมีค่าสูงกว่าค่าจากการวิเคราะห์เชิงทฤษฎี อยู่ระหว่าง 11.91 – 21.44 % เมื่อเปรียบเทียบระหว่างค่าจากการทดสอบที่ปรับแก้แล้วกับผลทางทฤษฎีเบื้องต้น แต่ถ้าเปรียบเทียบกับค่าทางทฤษฎีที่ปรับแก้แล้วจะมีค่าสูงกว่าอยู่ระหว่าง 2.89 – 11.73% ดังแสดงในภาพที่ 3 ค่าความถี่ธรรมชาติที่ปรับแก้แล้วจะมีค่าสูงกว่าค่าเริ่มต้น และใกล้เคียงกับค่าจากการทดสอบมากขึ้น เนื่องจากค่าที่ปรับแก้คือ กำลังอัดของคอนกรีตเททับหน้า และความหนามีค่าสูงกว่าค่าเริ่มต้น ตัวอย่าง 3 เมตรมีค่าสูงกว่าค่าเริ่มต้นมากกว่ากรณีอื่นๆ เพราะมีค่ากำลังอัดของคอนกรีตเททับหน้ามากกว่าค่าเริ่มต้นมาก ถึงแม้จะมีความหนาของคอนกรีตเททับหน้าเพิ่มขึ้นน้อยกว่าตัวอย่าง 4 เมตรก็ตาม ทั้งนี้เป็นมีสาเหตุมาจากค่ากำลังอัดประลัยของคอนกรีตจะมีผลกับค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นทำให้ค่าความแกร่งเพิ่มมากขึ้น สำหรับความหนาของคอนกรีตเททับหน้าที่เพิ่มขึ้นทำให้ค่าโมเมนต์ความเฉื่อยของหน้าตัดและมวลเพิ่มขึ้น ความเฉื่อยที่เพิ่มขึ้นทำให้ค่าความแกร่งเพิ่มขึ้นแต่เพิ่มขึ้นไม่มาก แต่มีผลกับมวลมากกว่า การที่มวลเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ความถี่ธรรมชาติลดลง ดังนั้นในการเพิ่มความหนาของคอนกรีตทับหน้าจึงไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการเพิ่มค่าความถี่ธรรมชาติ ในตัวอย่าง 5 เมตร ค่าปรับแก้มีค่ามากกว่าการทดสอบทั้งนี้อาจเนื่องมาจากแรงดึงในลวดอัดแรงที่น้อยกว่าค่าจริงที่ได้จากบริษัทผู้ผลิต ซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้มีผลต่อค่าความแกร่งของระบบโดยตรง การที่ค่าจากการทดสอบมีค่ามากกว่ามีผลเนื่องจากค่าความแกร่งของระบบเป็นตัวหลัก เพราะรูปแบบของจุดรองรับที่ใช้ทางทฤษฎีเป็นจุดรองรับแบบง่าย แต่ในตัวอย่างหรือการใช้งานจริงจุดรองรับจะมีความสามารถในการต้านทานโมเมนต์ได้บางส่วน

3.2 ความเร่งสูงสุดของระบบ

พฤติกรรมการสั่นสะเทือนของระบบพื้นคอนกรีตอัดแรงสำเร็จรูปนำเสนอเกี่ยวกับ ความเร่งสูงสุดของระบบเนื่องจากความเร่งของระบบมีผลของมวล (พิจารณาพื้นตามสัดส่วนของด้านยาวของแผ่นพื้นต่อด้านกว้างที่นำพื้นมาเรียงต่อกัน คือ 1 : 0.5, 1 : 1 1 : 1.5 และ 1 : 2) ขนาดของแรงกระทำ (40 – 90 กิโลกรัม) ชนิดของกิจกรรม (เต้นแอโรบิค วิ่งเหยาะๆ และวิ่งธรรมดา) ภาพรวมค่าความเร่งสูงสุดที่เกิดขึ้นในระบบพื้นคอนกรีตอัดแรงได้ค่าดังตารางที่ 1 จากตารางจะเห็นว่าพื้นความยาว 3 4 และ 5 เมตร มีค่าใกล้เคียงกัน แสดงว่าผลของมวลและความถี่ธรรมชาติแปรผกผันซึ่งกันและกัน เพราะพื้นที่ความยาวน้อยกว่ามีค่าความถี่ธรรมชาติสูงกว่าและมีมวลน้อยกว่าเช่นเดียวกับพื้นที่ยาวกว่ามีค่าความถี่ธรรมชาติน้อยกว่าและมีมวลมากกว่า ค่าความเร่งสูงสุดจึงมีค่าใกล้เคียงกัน



ภาพที่ 3 ความถี่ธรรมชาติของระบบ (PC-4 คือ ค่าจากการวิเคราะห์เบื้องต้นของตัวอย่าง 4 เมตร, PC-4T คือ ค่าจากการทดสอบ, PC-4U คือ ค่าจากการปรับแก้ค่าเชิงทฤษฎี และ PC-4TU คือ ค่าจากปรับแก้ค่าจากการทดสอบ)

4. สรุปและข้อเสนอแนะ

โดยภาพรวมสามารถสรุปได้ว่าความเร่งสูงสุดทั้งการวิเคราะห์ทางทฤษฎีและการทดสอบมีค่าความเร่งอยู่ระหว่าง 0.004g – 0.07g ค่าส่วนใหญ่อยู่ระหว่าง 0.007g – 0.04g จะเห็นได้ว่าค่าเหล่านี้สูงกว่าค่ามาตรฐาน NBCC 1995 [7] ในตารางที่ 2 ถึงแม้จะพิจารณาการกระแทกเท้าเพียงครั้งเดียวเท่านั้น ควรมีการปรับปรุงระบบพื้นให้มีความสามารถในการต้านทานการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นเพื่อให้สอดคล้องกับระดับความเร่งสูงสุดในมาตรฐาน NBCC 1995 ที่ใช้กับลักษณะของอาคารชนิดต่าง ๆ

การวิเคราะห์ค่าความเร่งสูงสุดของระบบพื้น ทำโดยนำค่าความถี่ธรรมชาติที่ได้จากการทดสอบและการวิเคราะห์ทางทฤษฎี แล้ววิเคราะห์จากแรงกระทำที่เป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เนื่องจากมีความแน่นอนของข้อมูลมากกว่า และเนื่องจากระบบพื้นที่จำลองเป็นพื้นที่จัดเรียงเพียง 3 แผ่น มวลของระบบจึงไม่เหมือนกับการใช้งานจริง จึงต้องมีการเทียบสัดส่วนโดยพิจารณามวลที่เพิ่มขึ้นด้วย หากต้องการทราบค่าความเร่งจริงที่เกิดขึ้นเพื่อทำการเปรียบเทียบข้อมูลจากการวิเคราะห์ ควรทดสอบกับพื้นขนาดจริงตามสัดส่วนที่ได้นำเสนอ คือ 1 : 0.5, 1 : 1, 1 : 1.5 และ 1 : 2

ตารางที่ 1 ความเร่งสูงสุดของระบบพื้น

ความยาว	ความเร่งสูงสุด (เมตร/วินาที^{2})		
(เมตร)	ทฤษฎี (เบื้องต้น)	ทฤษฎี (ปรับแก้)	ทดสอบ
3	0.038 – 0.838	0.031 – 0.670	0.029 – 0.615
	(0.004g – 0.085g)	(0.003g – 0.068g)	(0.003g – 0.063g)
4	0.038 – 0.906	0.032 – 0.746	0.028 – 0.640
	(0.004g – 0.092g)	(0.003g – 0.076g)	(0.003g – 0.065g)
5	0.032 – 0.781	0.028 – 0.680	0.027 – 0.651
	(0.003g – 0.080g)	(0.003g – 0.069g)	(0.003g – 0.066g)

ตารางที่ 2 ขีดจำกัดความเร่งสำหรับกิจกรรมที่มีความถี่ระหว่าง 1.5 – 8 เฮิร์ต (NBCC1995)

Activity or occupancy	Limiting peak Acceleration (a_0/g)
Offices and residences (day time)	0.004-0.007
Dancing and weightlifting	0.015-0.025
Rhythmic activity	0.04-0.07

5. กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

6. เอกสารอ้างอิง

[1] Allen, D.E. (1990). Building vibrations from aerobics. *Canadian Journal of Civil Engineering*. The National Research Council of Canada, 17(5): 771-779.

[2] กิตติศักดิ์ กุลธิยาวิชัย, 2545. Dynamic Behavior of Long-Span Flat Concrete Floor Due to Walking Load. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 6. STR-124-STR-129. ชลบุรี.

[3] Hoang Nam. (2004). *Optimal Multiple Tuned Mass Dampers for Struc-tures with Closely-Spaced Natural Frequencies*, AIT Dissertation, No. ST-04-2, Bankok, Thailand.

[4] พรพิไล กิติรัตน์ตระการ, 2546. การศึกษาพฤติกรรมการสั่นสะเทือนของพื้นคอนกรีตอัดแรงเนื่องจากกิจกรรมของมนุษย์. มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

[5] ATC. (1999). *ATC Design Guide 1, Minimizing Floor Vibration*, Ap-plied Technology Council, Red-wood City, CA.

[6] PCI Industry Handbook Committee. (2004). *PCI Design Handbook Precast and Prestressed Concrete*, 5th Edition, Precast/Prestressed Con-crete Institute, Chicago, IL.

[7] National Building Code of Canada, NBC. (1995). Commentary A : *Serviceability Criteria for Deflections and Vibrations*.