

บทที่ 6

การวิเคราะห์หาค่าการสั่นสะเทือนของรถยนต์

การวิเคราะห์ถึงการสั่นสะเทือนของรถยนต์ที่จอดติดอยู่บนสะพานสามารถทำได้ด้วยการวิเคราะห์ผ่านแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่แสดงออกในรูปของผลตอบสนองเชิงพลศาสตร์ซึ่งกันและกันระหว่างสะพานและรถยนต์ที่ประกอบไปด้วย การกระจัด ความเร็วและความเร่ง โดยขึ้นอยู่กับว่าการนำผลตอบสนองชนิดใดมาทำการวิเคราะห์ก็จะเกิดความเหมาะสม ยกตัวอย่างเช่นเมื่อทำการวิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์จนได้มาซึ่งผลตอบสนองทั้ง 3 ชนิดที่กล่าวมาในข้างต้นแล้ว หากต้องการวิเคราะห์ถึงความสามารถในการให้บริการของสะพานซึ่งโดยทั่วไปจะใช้ผลตอบสนองเชิงการกระจัดของสะพานในการวิเคราะห์ แต่หากจะทำการวิเคราะห์ถึงผลกระทบของการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นกับรถยนต์นั้นการใช้ผลตอบสนองเชิงการกระจัดของรถยนต์นั้นอาจจะไม่สามารถระบุถึงผลกระทบและความรู้สึกของอิทธิพลจากการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นกับรถยนต์นั้นได้ ซึ่งการประเมินผลกระทบต่อการสั่นสะเทือนนั้นจำเป็นที่จะต้องใช้ผลตอบสนองที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงตำแหน่ง ดังนั้นในการประเมินผลกระทบที่มีต่อความรู้สึกจากการสั่นสะเทือนจึงควรนำค่าผลตอบสนองเชิงความเร่งมาใช้ในการวิเคราะห์ถึงผลกระทบต่อความรู้สึกอันเนื่องมาจากการอยู่ภายใต้การสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับหลักการประเมินผลกระทบจากการสั่นสะเทือนตามมาตรฐาน ISO 2631

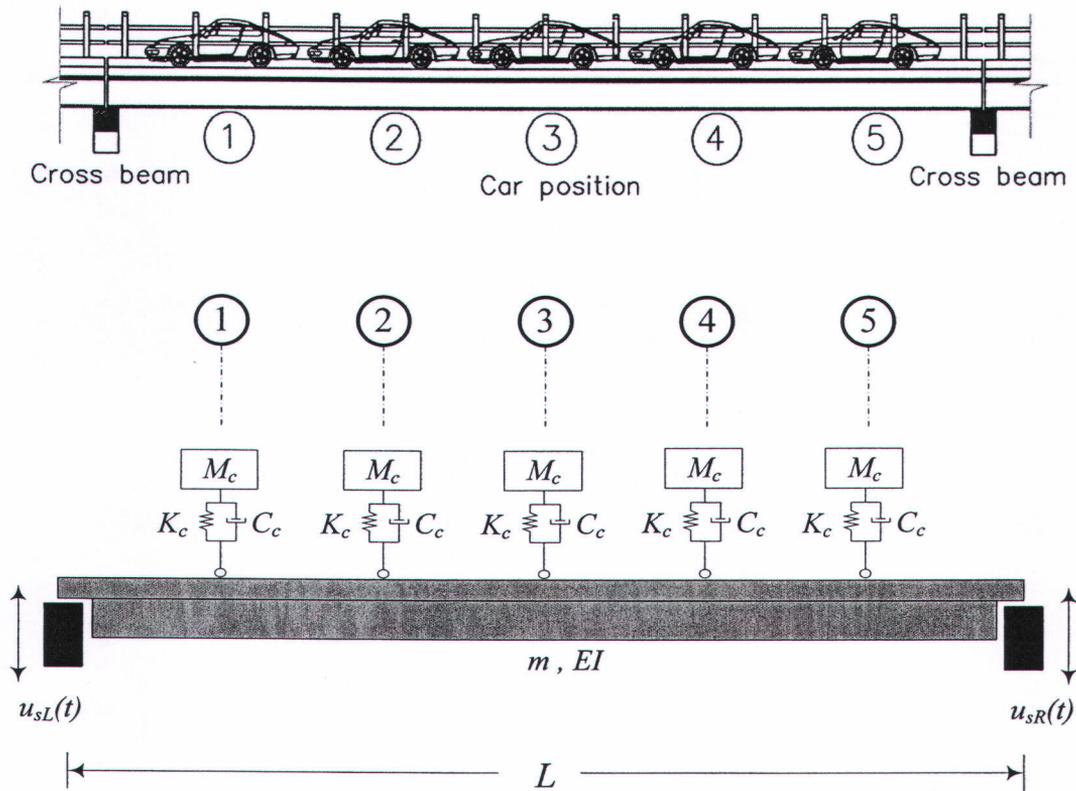
เนื้อหาในบทนี้ได้นำเสนอการวิเคราะห์การสั่นสะเทือนของรถยนต์ที่จอดติดอยู่บนสะพานด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้นโดยอาศัยหลักการทางทฤษฎีทางพลศาสตร์ที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 ซึ่งการวิเคราะห์จะมีการเปลี่ยนตัวแปรไปตามคุณสมบัติช่วงล่างของแบบจำลองรถยนต์ที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 6.1 โดยมีคุณสมบัติครอบคลุมถึงคุณสมบัติที่เป็นไปได้ของช่วงล่างรถยนต์ ซึ่งได้จากการเก็บรวบรวมข้อมูลทั้งในส่วนของมวลและคุณสมบัติช่วงล่างรถยนต์ซึ่งมีแหล่งที่มาจากแบบจำลองรถยนต์ที่ใช้ในการศึกษาวิจัยในต่างประเทศระหว่างปี พ.ศ. 2538-2552 จำนวนกว่า 30 บทความ แล้วนำมาพิจารณาถึงความเป็นไปได้ของค่าคุณสมบัติของแบบจำลองรถ ซึ่งจะได้ช่วงค่าคุณสมบัติต่างๆ ที่คาดว่าจะครอบคลุมรถยนต์นั่งส่วนบุคคลทุกรุ่น ทั้งนี้เพื่อให้การวิเคราะห์ทำได้สะดวกขึ้นจะสมมติให้รถยนต์ทุกคันมีคุณสมบัติด้านการสลายพลังงานคิดเป็นค่าอัตราส่วนความหน่วง (ζ) เท่ากับ 0.10 ซึ่งถือเป็นค่าที่อยู่ในเกณฑ์ที่ต่ำเพื่อให้ได้ผลการวิเคราะห์ในเชิงอนุรักษ์ ทั้งนี้คุณสมบัติด้านมวลและช่วงล่างของรถยนต์ที่เก็บรวบรวมได้นี้มีความสอดคล้องตามทฤษฎีที่นำเสนอไว้โดย Thomas D. Gillespie (1999) [1] ที่กล่าวไว้ว่าค่าความถี่ช่วงล่างของรถยนต์ทั่วไปจะมีช่วงความถี่อยู่ในช่วง 1.00 ถึง 1.50 Hz และสำหรับรถยนต์ที่มีความถี่ช่วงล่างพิเศษจะมีช่วงความถี่อยู่ในช่วง 2.00 ถึง 2.50 Hz แต่เพื่อให้การวิเคราะห์เกิดภาพรวมที่ชัดเจนในส่วนของพฤติกรรมได้มากขึ้นจึงได้มีการขยายช่วงคุณสมบัติช่วงล่างของรถยนต์ให้กว้างออกไปจนเกินค่าความถี่ธรรมชาติในโหมดที่ 1 ของสะพาน โดยได้เปลี่ยนช่วงความถี่ช่วงล่างที่ใช้ในการวิเคราะห์หรือออกไปเป็นช่วงความถี่ตั้งแต่ 0.5 ถึง 5.0 Hz ส่วนคุณสมบัติของคานสะพานในแบบจำลองมีค่าคงที่และเป็นไปตามคุณสมบัติในตารางที่ 6.1

ตารางที่ 6.1 แสดงคุณสมบัติของคานสะพานและรถยนต์ในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

Bridges					Cars		
L (m)	ω_1 (Hz)	ρA (kg/m)	EI (N-sq.m)	ζ	M_c (kg)	C_c (Ns/m)	K_c (N/m)
25	3.51	2380	4.64x10 ⁹	0.03	600-2600	377-1336	5922-256100

6.1 การใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อวิเคราะห์การสั่นสะเทือนของรถยนต์บนสะพาน

การใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เป็นปฏิริยาร่วมกันระหว่างสะพานและรถยนต์โดยสารที่จอดติดอยู่บนสะพานเพื่อวิเคราะห์ถึงการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นกับรถยนต์ได้จากผลตอบสนองเชิงพลศาสตร์จากการแกว่งการเคลื่อนที่ และนำผลตอบสนองจากการแกว่งการเคลื่อนที่ที่ได้มาวิเคราะห์พร้อมทั้งประเมินถึงความรุนแรงต่อความรู้สึกตามเกณฑ์มาตรฐานสากลที่สร้างขึ้นเพื่อใช้ในการประเมินในขั้นตอนต่อไป การแกว่งการของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ซึ่งกล่าวไว้ในบทที่ 2 ด้วยวิธีการหาค่าผลเฉลยเชิงวิเคราะห์ (Analytical solution) นั้นกระทำยุ่งยากและซับซ้อน ดังนั้นในขั้นตอนของการแกว่งการเคลื่อนที่ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จึงควรนำวิธีการดำเนินการทางตัวเลข (Numerical method) มาใช้เพื่อให้เกิดความสะดวกและรวดเร็วขึ้นในขั้นตอนการดำเนินการเนื่องจากสามารถใช้คอมพิวเตอร์ในการประมวลผลได้ อีกทั้งยังให้ผลที่มีความถูกต้องและใกล้เคียงอย่างมากกับผลเฉลยจากการวิเคราะห์ซึ่งจะเห็นได้จากผลการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่นำเสนอในบทที่ 3 โดยในที่นี้การดำเนินการทางตัวเลขดังกล่าวได้เลือกใช้วิธีสเตตสเปซ (state-space) ดังที่ได้กล่าวรายละเอียดพร้อมระเบียบวิธีการคำนวณไว้ในหัวข้อที่ 2.2 จากรูปที่ 6.1 แสดงแบบจำลองที่สอดคล้องกันระหว่างสภาพความเป็นจริงของรถยนต์โดยสารที่จอดติดอยู่บนสะพาน ซึ่งจากสภาพความเป็นจริงจำนวนรถยนต์ที่สามารถจอดบนสะพานได้นั้นมีจำนวนจำกัดที่ขึ้นกับความยาวของสะพาน โดยในที่นี้ได้มีการพิจารณาสะพานในช่วงทั่วไป (Typical span) ที่มีความยาว 25 เมตรและหากเทียบกับขนาดความยาวของรถยนต์โดยสารส่วนบุคคลที่มีอยู่ทั่วไปบนท้องถนนแล้วพบว่าจำนวนรถยนต์โดยสารที่สามารถจอดบนสะพานในแบบจำลองได้นั้นมีจำนวนไม่เกิน 5 คัน



รูปที่ 6.1 แบบจำลองสะพานและรถยนต์ที่จอดติดอยู่บนสะพานทั้ง 5 คัน

ในสมการการเคลื่อนที่ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์หรือสมการที่ 2.16 พบว่าตัวแปรที่ต้องการทราบค่าจากการแก้สมการโดยวิธีเสถียรพิเศษในขั้นต้นจะทำให้ได้ค่าเวกเตอร์ของตัวแปร (state variables) \mathbf{X} ที่ประกอบไปด้วยเวกเตอร์ของพิกัดเชิงโหนด $\mathbf{q}(t)$ และเวกเตอร์ของอนุพันธ์อันดับหนึ่งของพิกัดเชิงโหนด $\dot{\mathbf{q}}(t)$ ซึ่งในแต่ละเวกเตอร์ที่กล่าวมานี้จะประกอบไปด้วยพิกัดของสะพานและรถยนต์หรือเขียนในรูปเวกเตอร์ได้คือ $\{q_b(t) \quad q_c(t)\}^T$ โดยเวกเตอร์ $q_b(t)$ และ $q_c(t)$ โดยเวกเตอร์ $q_b(t)$ คือค่าพิกัดทั่วไปของสะพานเท่านั้น หากต้องการจะทราบถึงการกระจัดที่แท้จริงของสะพานจะต้องนำเวกเตอร์ $q_b(t)$ กลับไปแทนในสมการที่ 2.3 ซึ่งเป็นสมการการกระจัดแบบรวมผลของแต่ละโหนดเข้าไว้ด้วยกันจึงจะทราบค่าการแอ่นตัวของสะพาน $w(x,t)$ แต่หากว่าต้องการจะทราบการกระจัดรวมทั้งหมดของสะพานที่มีการรวมผลของการสั่นไหวที่จุดรองรับสะพาน $u'(x,t)$ จะต้องรวมพจน์ $w(x,t)$ เข้ากับพจน์ $u_s(x,t)$ ส่วนเวกเตอร์พิกัดของรถยนต์ $q_c(t)$ เป็นค่าการกระจัดสัมบูรณ์ของรถยนต์ (Absolute displacement) เนื่องจากมีโหนดการสั่นสะเทือนในแนวตั้งเพียงโหนดเดียว จากนั้นจะต้องทำการหาค่าอนุพันธ์อันดับสองของพิกัดเชิงโหนดของรถยนต์ $q_c(t)$ ซึ่งเป็นค่าที่จำเป็นต่อการวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดขึ้นกับรถยนต์จากการสั่นสะเทือน ซึ่งมีขั้นตอนในการหาต่อเนื่องมาจาก

การหาเวกเตอร์ของตัวแปร \mathbf{X} โดยนำเวกเตอร์ \mathbf{X} กลับเข้าไปแทนค่าในสมการที่ 2.21 เพื่อหาค่าอนุพันธ์อันดับที่หนึ่งของเวกเตอร์ของตัวแปร \mathbf{X} ที่เรียกว่า $\dot{\mathbf{X}}$ โดยที่เวกเตอร์ $\dot{\mathbf{X}}$ จะประกอบไปด้วยเวกเตอร์ของอนุพันธ์อันดับหนึ่งของพิกัดเชิงโหมด $\dot{\mathbf{q}}(t)$ และเวกเตอร์อนุพันธ์อันดับสองของพิกัดเชิงโหมด $\ddot{\mathbf{q}}(t)$ ซึ่งเวกเตอร์ $\ddot{\mathbf{q}}(t)$ ประกอบไปด้วยพิกัดของสะพานและรถยนต์หรือเขียนในรูปเวกเตอร์ได้คือ $\{\ddot{q}_b(t) \quad \ddot{q}_c(t)\}^T$ ในทำนองเดียวกันกับการหาค่าการแอ่นตัวของสะพาน ค่า $\ddot{q}_b(t)$ เป็นเพียงอนุพันธ์อันดับสองของพิกัดเชิงโหมดของสะพานเท่านั้น ดังนั้นจะต้องนำเวกเตอร์ $\ddot{q}_b(t)$ คูณเข้ากับเวกเตอร์ของฟังก์ชันฐาน Φ^T จึงจะได้ค่าความเร่งจากการแอ่นตัวของสะพาน เช่นเดียวกับค่าการหาค่าความเร่งรวมของสะพาน $\ddot{u}'(x,t)$ จะต้องรวมพจน์ $\ddot{u}(x,t)$ เข้ากับพจน์ $\ddot{u}_r(x,t)$ ส่วนเวกเตอร์พิกัดของรถยนต์ $\ddot{q}_c(t)$ เป็นค่าความเร่งสัมบูรณ์ของรถยนต์ (Absolute acceleration) เนื่องจากมีโหมดการสั่นสะเทือนในแนวดิ่งที่ใช้ในการวิเคราะห์เพียงโหมดเดียว จากผลการแก้สมการพบว่าตัวแปรสำคัญที่จะนำไปวิเคราะห์ถึงปัญหาของผลกระทบจากการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นกับรถยนต์คือค่าความเร่ง $\ddot{q}_c(t)$ ดังนั้นในภายหลังจากนี้จะใช้ค่าความเร่ง $\ddot{q}_c(t)$ ในการเป็นตัวแทนอธิบายถึงพฤติกรรมของการสั่นสะเทือนของรถยนต์ต่อไป

6.2 ผลการวิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อวิเคราะห์การสั่นสะเทือนของรถยนต์บนสะพาน

6.2.1 ผลการวิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์จากข้อมูลสัญญาณการสั่นไหวที่ฐานรองรับโดยการจำลองสถานการณ์ด้วยการวิ่งผ่านของรถบรรทุก

การวิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยอาศัยข้อมูลสัญญาณที่ฐานรองรับสะพานจากการทดสอบโดยการจำลองสถานการณ์ด้วยการวิ่งผ่านของรถบรรทุกและข้อมูลคุณสมบัติของสะพานที่นำเสนอไว้ในบทที่ 5 เพื่อศึกษาพฤติกรรมของการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นกับแบบจำลองรถยนต์ก่อนที่จะนำไปสู่การประเมินความรุนแรงต่อความรู้สึกต่อการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นตามมาตรฐาน ISO 2631 ในการวิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในส่วนของการจำลองสะพานถูกกำหนดให้มีคุณสมบัติคงที่ และในส่วนของการยนต์ได้สมมติให้มีรถยนต์จอดติดบนสะพานเต็มช่วงความยาวสะพานตามตำแหน่งต่างๆ จำนวน 5 คัน โดยที่ทุกคันมีคุณสมบัติเหมือนกัน และแปรเปลี่ยนค่าอยู่ในช่วงค่าคุณสมบัติซึ่งมีรายละเอียดดังตามตารางที่ 6.2

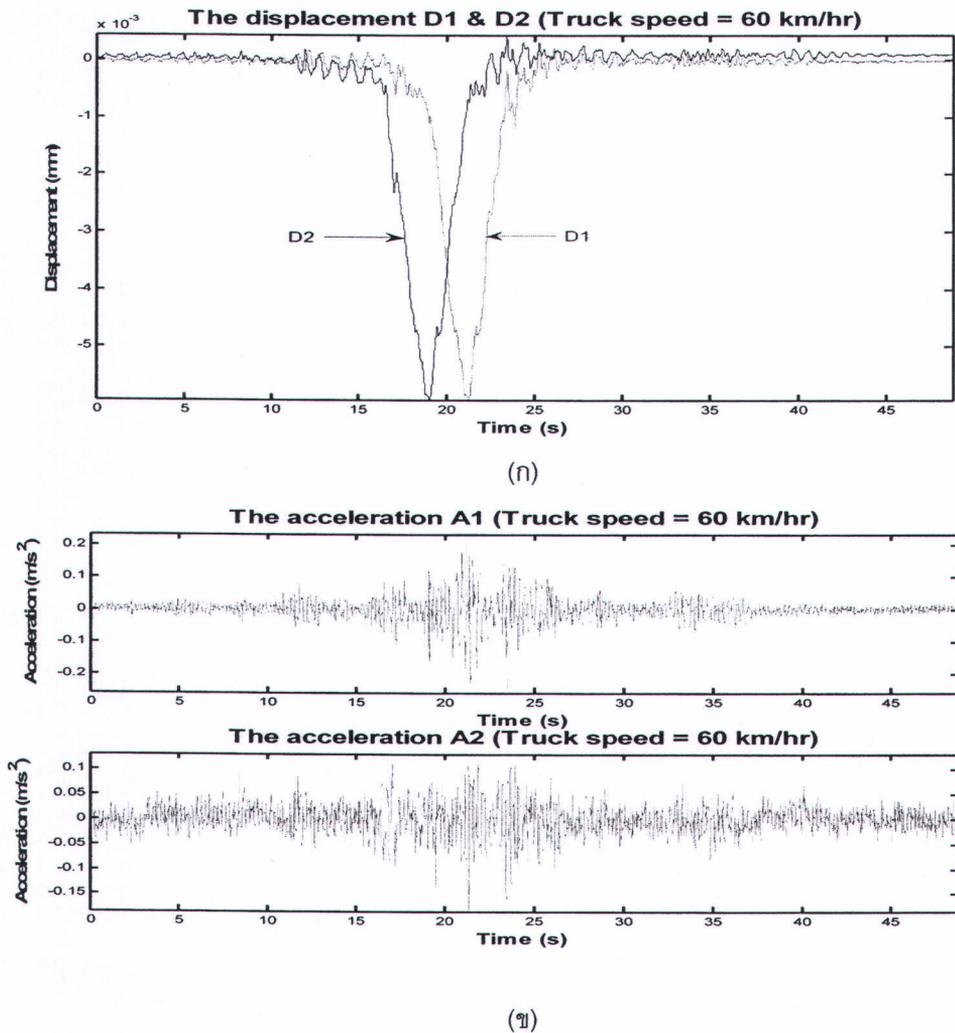
ตารางที่ 6.2 แสดงคุณสมบัติของรถยนต์ในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กรณีต่างๆ

Mass; M_c (kg)	600 , 800 , 1000 , 1200 , 1400 , 1600 , 1800 , 2000 , 2200 , 2400 , 2600
Suspension frequency; f (Hz)	0.5 , 0.75 , 1.00 , 1.25 , 1.50 , 1.75 , 2.00 , 2.25 , 2.50 , 2.75 , 3.00 , 3.25 , 3.50 , 3.75 , 4.00 , 4.25 , 4.50 , 4.75 , 5.00

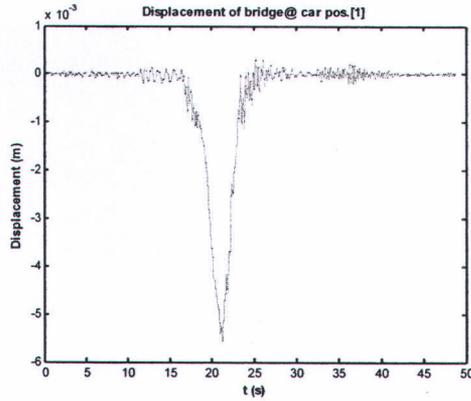


จากแผนผังข้างต้นมีจำนวนกรณีที่ใช้ในการวิเคราะห์รวมทั้งสิ้น 209 กรณีต่อการวิเคราะห์สัญญาณการสั่นไหวของสะพานในแต่ละสัญญาณ ทั้งนี้การวิเคราะห์ถึงการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นกับรถยนต์ในกรณีที่ใช้ข้อมูลสัญญาณที่จุดรองรับสะพานจากการทดสอบโดยการจำลองสถานการณ์ด้วยการวิ่งผ่านของรถบรรทุกเป็นการทดสอบขั้นต้นเนื่องจากในการทดสอบมีการเปลี่ยนแปลงความเร็วในการวิ่งผ่านของรถบรรทุกไปด้วยความเร็ว 5 30 และ 60 km/hr และมีการบันทึกสัญญาณในแต่ละกรณีของความเร็วที่วิ่งผ่านของรถบรรทุก โดยการวิเคราะห์จะทำการวิเคราะห์ตามกรณีต่างๆตามตารางที่ 6.2 ทำให้จำนวนกรณีการวิเคราะห์จากสัญญาณการสั่นไหวของสะพานที่ตรวจวัดได้รวมทั้งสิ้น 627 กรณี

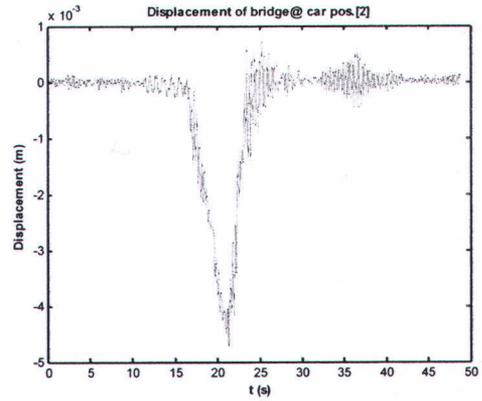
ผลจากการวิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในกรณีต่างๆตามแผนภาพที่แสดงไว้ในตารางที่ 6.2 ทำให้ทราบถึงผลเฉลยจากสมการการเคลื่อนที่ในรูปแบบของสัญญาณทั้งในส่วนของภาระจัดรวมของสะพาน การแอ่นตัวของสะพาน ณ ตำแหน่งต่างๆบนสะพาน และความเร่งของรถยนต์ในตำแหน่งต่างๆตามที่แสดงไว้ในรูปที่ 6.1



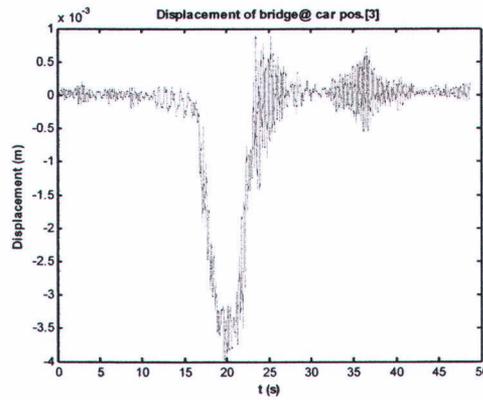
รูปที่ 6.2 ตัวอย่างสัญญาณการสั่นไหวที่จุดรองรับทั้งสองข้างของคานสะพานกรณีที่รถบรรทุกเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 60 km/hr (ก) การกระจัดที่จุดรองรับ (ข) ความเร่งที่จุดรองรับ



(ก)



(ข)



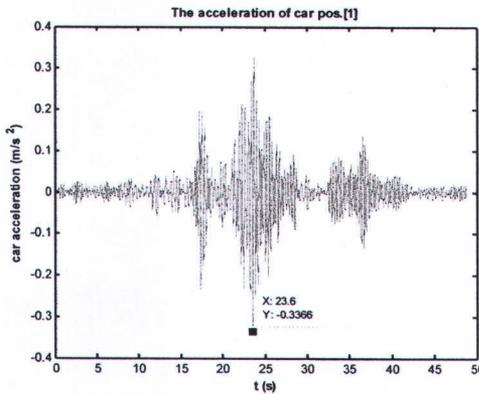
(ค)

รูปที่ 6.3 ตัวอย่างการกระจัดรวมของสะพาน ณ ตำแหน่งที่มีรถยนต์จอดอยู่จากการวิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ กรณีรถยนต์มีมวล 1400 kg และมีความถี่ช่วงล่าง 2.5 Hz

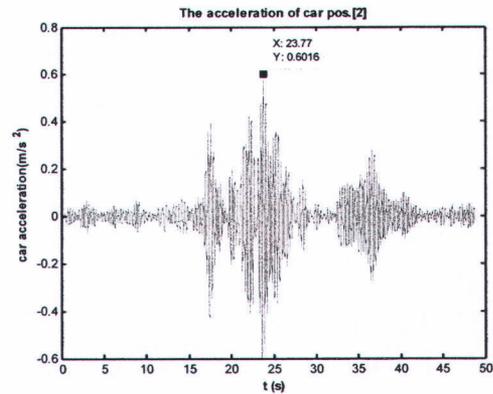
(ก) การกระจัดของสะพาน ณ ตำแหน่งรถยนต์คันที่ 1

(ข) การกระจัดของสะพาน ณ ตำแหน่งรถยนต์คันที่ 2

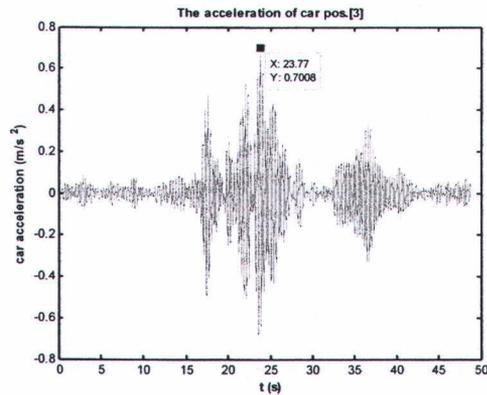
(ค) การกระจัดของสะพาน ณ ตำแหน่งรถยนต์คันที่ 3



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 6.4 ตัวอย่างความเร่งของรถยนต์ที่จอดติดอยู่บนสะพานจากการวิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

กรณีรถยนต์มีมวล 1400 kg และมีความถี่ช่วงล่าง 2.5 Hz

- (ก) ความเร่งของรถยนต์ในตำแหน่งที่ 1
- (ข) ความเร่งของรถยนต์ในตำแหน่งที่ 2
- (ค) ความเร่งของรถยนต์ในตำแหน่งที่ 3

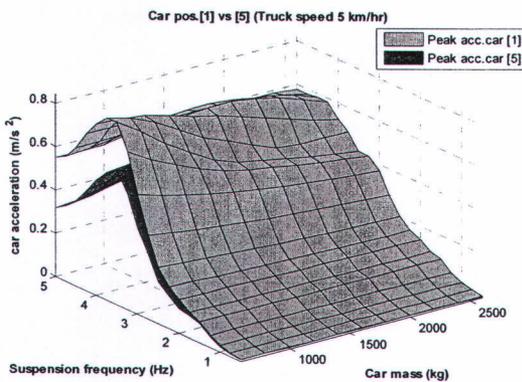
จากผลการวิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในกรณีที่ใช้รถบรรทุกเป็นแหล่งกำเนิดสัญญาณสามารถหาค่าความเร่งสูงสุดในแต่ละกรณี แต่เนื่องจากในขั้นตอนการวิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์นี้จะได้ผลจากการวิเคราะห์จำนวนมากดังที่ได้กล่าวไว้ในตารางที่ 6.2 ถึงจำนวนกรณีที่ใช้ในการวิเคราะห์ทั้งสิ้น 627 กรณีจึงไม่สามารถนำผลในการวิเคราะห์มาแสดงได้ทั้งหมด อย่างไรก็ตามเพื่อให้เห็นถึงแนวโน้มและพฤติกรรมของรถยนต์จากการวิเคราะห์จึงได้นำผลการวิเคราะห์บางส่วนที่แสดงให้เห็นถึงพฤติกรรมโดยภาพรวมของรถยนต์ที่จอดติดอยู่บนสะพานซึ่งได้ถูกแสดงไว้ในตารางที่ 6.3 สำหรับ 144 กรณีที่รถยนต์มีคุณสมบัติด้านมวลและความถี่ช่วงล่างต่ำสุด ปานกลาง และสูงสุด

ตารางที่ 6.3 แสดงความเร่งสูงสุดของการสั่นสะเทือนของรถยนต์ที่จอดติดในตำแหน่งที่ 1, 2 และ 3 (m/s^2) ภายใต้การทดสอบด้วยการวิ่งผ่านของรถบรรทุกที่ความเร็วต่างๆ

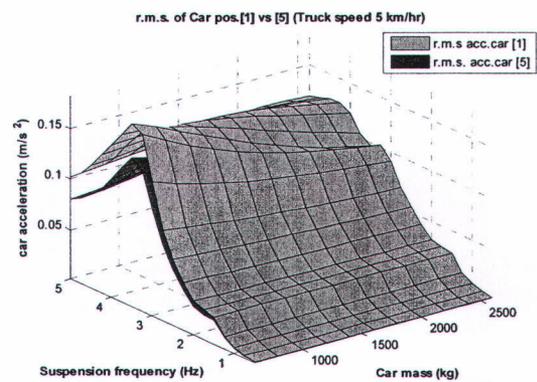
Truck Speed (km/hr)	Car mass (kg)	Suspension frequency (Hz)											
		Car position 1				Car position 2				Car position 3			
		1.0	1.5	2.0	2.5	1.0	1.5	2.0	2.5	1.0	1.5	2.0	2.5
5	800	0.032	0.095	0.154	0.252	0.059	0.140	0.257	0.469	0.067	0.153	0.286	0.545
	1400	0.032	0.095	0.149	0.231	0.058	0.138	0.241	0.409	0.066	0.152	0.265	0.496
	2000	0.031	0.094	0.144	0.215	0.057	0.137	0.227	0.365	0.064	0.150	0.246	0.451
	2600	0.031	0.094	0.139	0.205	0.056	0.135	0.214	0.335	0.063	0.148	0.230	0.413
30	800	0.028	0.056	0.110	0.218	0.062	0.131	0.257	0.481	0.074	0.158	0.308	0.570
	1400	0.028	0.055	0.103	0.194	0.061	0.126	0.239	0.411	0.073	0.152	0.291	0.492
	2000	0.028	0.053	0.097	0.175	0.060	0.122	0.224	0.358	0.072	0.147	0.272	0.425
	2600	0.028	0.051	0.092	0.158	0.059	0.117	0.208	0.315	0.070	0.142	0.253	0.369
60	800	0.070	0.107	0.187	0.356	0.105	0.170	0.355	0.691	0.118	0.196	0.412	0.813
	1400	0.069	0.106	0.184	0.337	0.103	0.163	0.333	0.602	0.117	0.190	0.384	0.701
	2000	0.068	0.104	0.180	0.317	0.101	0.156	0.315	0.535	0.116	0.185	0.356	0.606
	2600	0.068	0.103	0.176	0.300	0.100	0.149	0.300	0.483	0.114	0.179	0.336	0.540

เพื่อให้เห็นอิทธิพลของมวลและความถี่ช่วงล่างที่มีผลต่อการสั่นสะเทือนของรถยนต์ได้ชัดเจนขึ้นจากการวิเคราะห์แบบจำลองในกรณีที่ใช้รถบรรทุกทดสอบในการสร้างสัญญาณจะนำเสนอแผนภาพที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างมวล ความถี่ช่วงล่างของรถยนต์และค่าความเร่งสูงสุด (Peak response) หรือค่าความเร่งรากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสอง (Root Mean Square; RMS) ที่เกิดขึ้นกับแบบจำลองรถยนต์ทั้ง 5 คันที่จอดติดอยู่บนคานดังต่อไปนี้

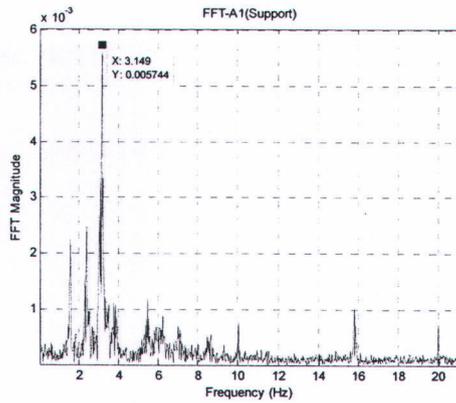
6.2.1.1 กรณีที่รถบรรทุกวิ่งผ่านด้วยความเร็ว 5 km/hr



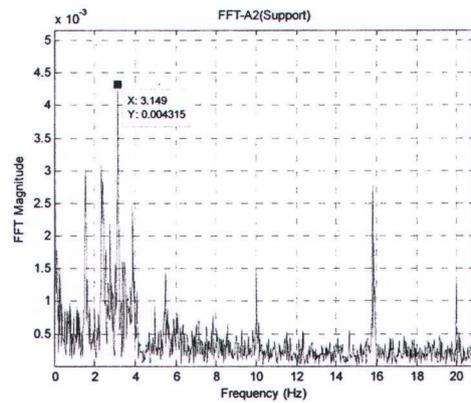
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 6.5 แผนภาพแสดงการเปรียบเทียบโดยพื้นผิวความสัมพันธ์ระหว่างมวล ความถี่ช่วงล่างและค่าความเร่งที่เกิดขึ้นคันที่ 1 และ 5 กรณีที่รถบรรทุกวิ่งผ่านในทิศทางตรงข้ามด้วยความเร็ว 5 km/hr

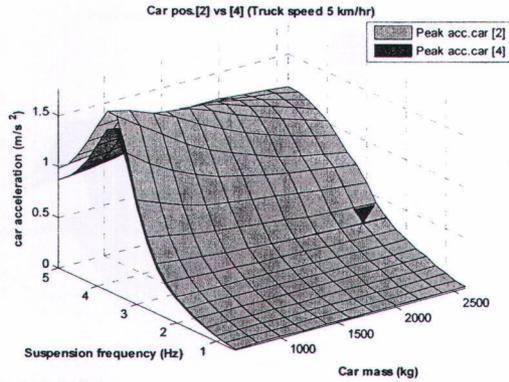
(ก) ค่าความเร่งสูงสุด (Peak acceleration response)

(ข) ค่าความเร่งรากที่สองของกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square; RMS)

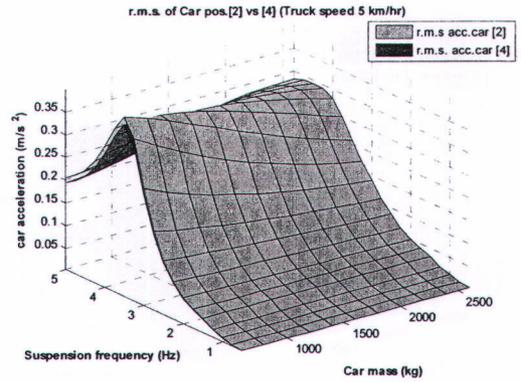
(ค) ค่าความถี่ธรรมชาติที่ปลายคานขวางของสะพานจากสัญญาณความเร่งที่ตรวจวัดได้ (A1)

(ง) ค่าความถี่ธรรมชาติที่ปลายคานขวางของสะพานจากสัญญาณความเร่งที่ตรวจวัดได้ (A2)

จากการสังเกตการวางตัวของรถยนต์บนคานในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ดังแสดงในภาพที่ 6.1 พบว่ารถยนต์คันที่ 1 และคันที่ 5 อยู่ในตำแหน่งที่สมมาตรกัน ซึ่งผลการวิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในรูปที่ 5.5 ได้แสดงให้เห็นถึงความสอดคล้องกันระหว่างตำแหน่งของแบบจำลองรถยนต์ที่จอดติดอยู่บนคานกล่าวคือ ผลตอบสนองเชิงความเร่งของรถยนต์คันที่ 1 และคันที่ 5 มีพฤติกรรมที่ใกล้เคียงกัน เนื่องจากอยู่ในตำแหน่งใกล้กับจุดรองรับเช่นเดียวกันและมีระยะห่างจากจุดรองรับในแต่ละข้างที่เท่ากัน เมื่อทำการวิเคราะห์ความถี่ธรรมชาติที่ของคานขวางซึ่งเป็นจุดรองรับในแต่ละข้างของสะพานจากสัญญาณความเร่งที่ตรวจวัดได้ พบว่าค่าความถี่ธรรมชาติที่ปลายคานขวางซึ่งเป็นจุดรองรับในแต่ละข้างของคานสะพานมีค่าเท่ากันดังแสดงในรูปที่ 5.5 (ค) และ (ง) จึงทำให้ผลตอบสนองเชิงความเร่งของรถยนต์คันที่ 1 และคันที่ 5 แสดงผลของการสั่นพ้องที่ความถี่ใกล้เคียงกับความถี่ของสัญญาณที่ตรวจวัดได้จากคานขวาง กล่าวคือการสั่นสะเทือนของรถยนต์ทั้งค่าความเร่งสูงสุดและค่าความเร่งรากที่สองของกำลังสองเฉลี่ยจะมีค่าสูงสุดหากช่วงล่างของรถยนต์มีค่าความถี่เข้าใกล้ 3.15 Hz



(ก)



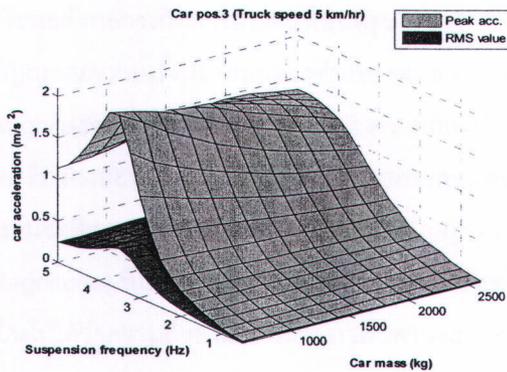
(ข)

รูปที่ 6.6 แผนภาพแสดงการเปรียบเทียบโดยพื้นผิวความสัมพันธ์ระหว่างมวล ความถี่ช่วงล่างและค่าความเร่งที่เกิดขึ้นคันที่ 2 และ 4 กรณีที่รถบรรทุกวิ่งผ่านในทิศทางตรงข้ามด้วยความเร็ว 5 km/hr

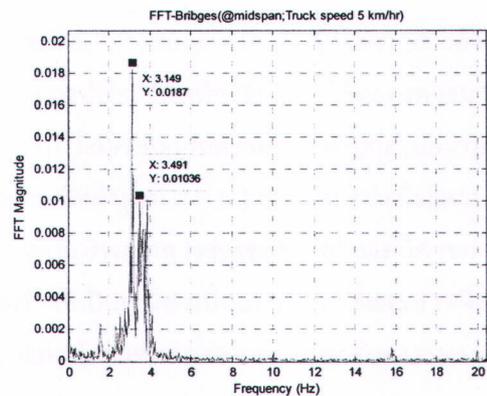
(ก) ค่าความเร่งสูงสุด (Peak acceleration response)

(ข) ค่าความเร่งรากที่สองของกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square; RMS)

ในทำนองเดียวกันรถยนต์คันที่ 2 และคันที่ 4 อยู่ในตำแหน่งที่สมมาตรเช่นเดียวกัน แต่เนื่องจากตำแหน่งที่จอดบนคานสะพานในแบบจำลองอยู่ห่างจากจุดรองรับทั้งสองข้างถึงแม้ว่าจะอยู่ห่างจากจุดรองรับที่เท่ากันก็ตาม ซึ่งแตกต่างจากกรณีของรถยนต์คันที่ 1 และ 5 ที่จอดอยู่ใกล้จุดรองรับมากกว่า อย่างไรก็ตามด้วยความสมมาตรทางตำแหน่งทำให้ผลตอบสนองเชิงความเร่งของรถยนต์คันที่ 2 และคันที่ 4 มีผลที่เทียบเคียงกันดังจะสังเกตได้จากผลการวิเคราะห์แบบจำลองในรูปที่ 6.6

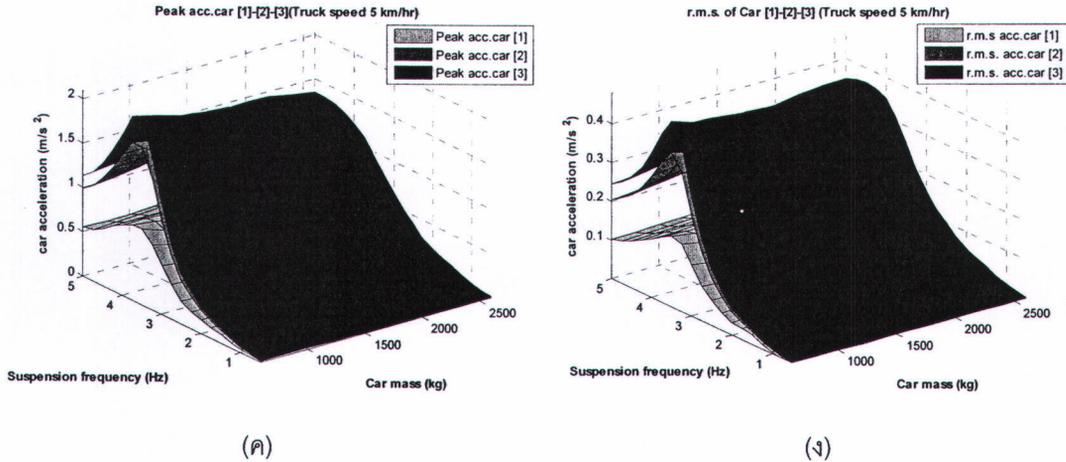


(ก)



(ข)

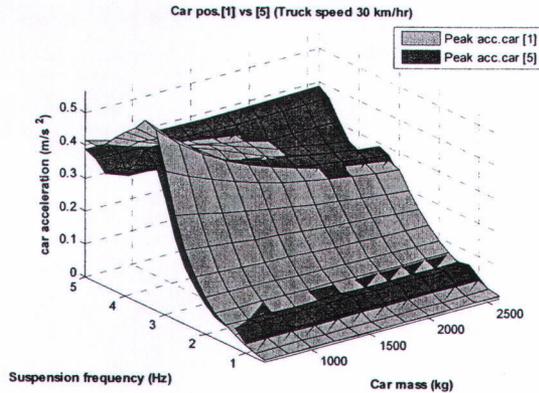




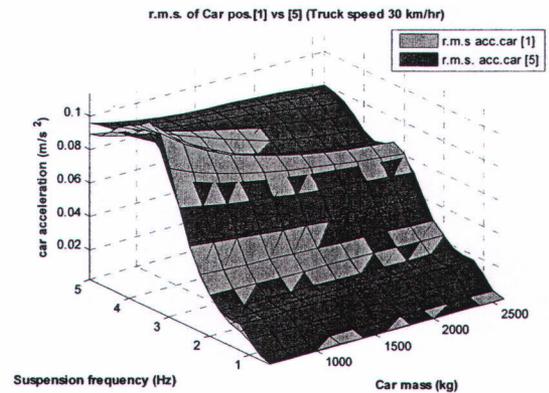
รูปที่ 6.7 แผนภาพแสดงการเปรียบเทียบโดยพื้นผิวความสัมพันธ์ระหว่างมวล ความถี่ช่วงล่างและค่าความเร่งที่เกิดขึ้นกรณีทีรถบรรทุกวิ่งผ่านในทิศทางตรงข้ามด้วยความเร็ว 5 km/hr
 (ก) ค่าความเร่งและค่าความเร่งรากที่สองของกำลังสองเฉลี่ยของรถยนต์คันที่ 3
 (ข) ค่าความถี่ของสะพานที่บริเวณกลางช่วงจากการวิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์
 (ค) แผนภาพแสดงการเปรียบเทียบความเร่งสูงสุดของรถยนต์คันที่ 1,2 และ 3 ตามลำดับ
 (ง) แผนภาพแสดงการเปรียบเทียบความเร่งรากที่สองของกำลังสองเฉลี่ยของรถยนต์คันที่ 1,2 และ 3 ตามลำดับ

ในส่วนของรถยนต์คันที่ 3 ที่จอดอยู่บริเวณกลางช่วงของสะพานมีการสั่นสะเทือนสูงกว่าที่ตำแหน่งอื่นๆ ทั้งนี้เกิดจากการที่ตัวสะพานเกิดการสั่นไหวร่วมด้วย โดยมีรูปแบบการสั่นไหวในโหมดที่ 1 เป็นหลัก (Fundamental mode) ทำให้บริเวณกึ่งกลางช่วงสะพานมีระดับการสั่นไหวที่มากกว่าบริเวณจุดรองรับ ส่งผลให้รถที่จอดติดบริเวณดังกล่าวเกิดการสั่นสะเทือนที่รุนแรงกว่า จากรูปที่ 6.7 (ข) พบว่าค่าความถี่ที่ได้จากการสังเคราะห์สัญญาณความเร่งบริเวณกลางช่วงของสะพานโดยการแปลงฟูเรียร์แบบเร็ว (FFT) ได้แสดงค่าขนาด (FFT Magnitude) ที่โดดเด่นในช่วงที่ตรงกับความถี่เท่ากับ 3.15 Hz ซึ่งมีค่าตรงกับความถี่ของสัญญาณความเร่งที่จุดรองรับของสะพานจากการตรวจวัดด้วยการทดสอบสะพานจริงดังรูปที่ 6.5 (ค) และ (ง) อย่างไรก็ตามความถี่ธรรมชาติของสะพานยังคงปรากฏอยู่ในสัญญาณความเร่งที่บริเวณกลางช่วงของสะพานแต่มีค่าขนาด (FFT Magnitude) ที่โดดเด่นน้อยกว่าบริเวณจุดรองรับทั้งสองข้างที่เป็นเสมือนเป็นแรงกระทำต่อสะพานจึงมีความเป็นไปได้ว่าความถี่ของแรงกระทำบนสะพานจะแสดงออกอย่างโดดเด่นกว่าความถี่ธรรมชาติของสะพาน

6.2.1.2 กรณีที่รถบรรทุกวิ่งผ่านด้วยความเร็ว 30 km/hr



(ก)

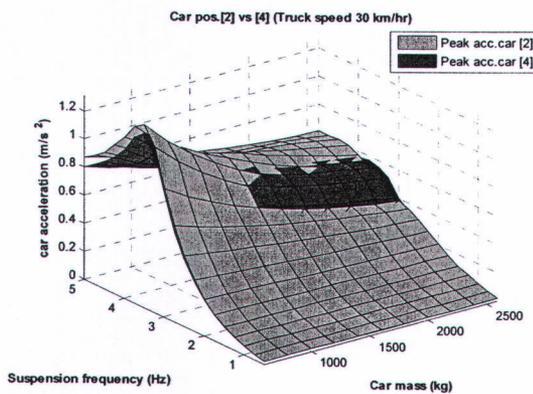


(ข)

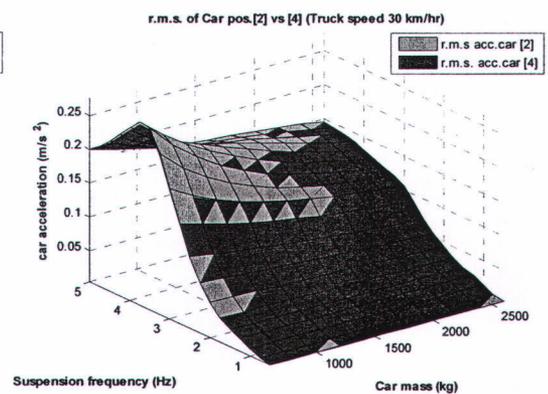
รูปที่ 6.8 แผนภาพแสดงการเปรียบเทียบโดยพื้นผิวความสัมพันธ์ระหว่างมวล ความถี่ช่วงล่างและค่าความเร่งที่เกิดขึ้นคันที่ 1 และ 5 กรณีที่รถบรรทุกวิ่งผ่านในทิศทางตรงข้ามด้วยความเร็ว 30 km/hr

(ก) ค่าความเร่งสูงสุด (Peak acceleration response)

(ข) ค่าความเร่งรากที่สองของกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square; RMS)



(ก)

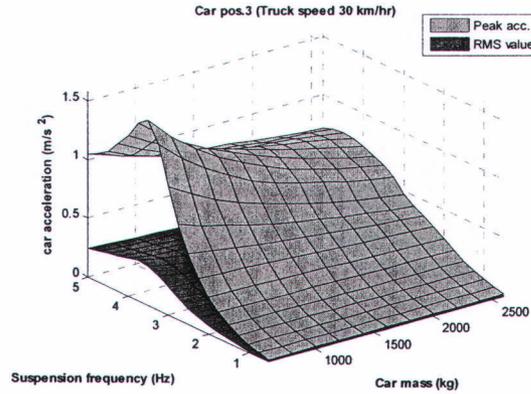


(ข)

รูปที่ 6.9 แผนภาพแสดงการเปรียบเทียบโดยพื้นผิวความสัมพันธ์ระหว่างมวล ความถี่ช่วงล่างและค่าความเร่งที่เกิดขึ้นคันที่ 2 และ 4 กรณีที่รถบรรทุกวิ่งผ่านในทิศทางตรงข้ามด้วยความเร็ว 30 km/hr

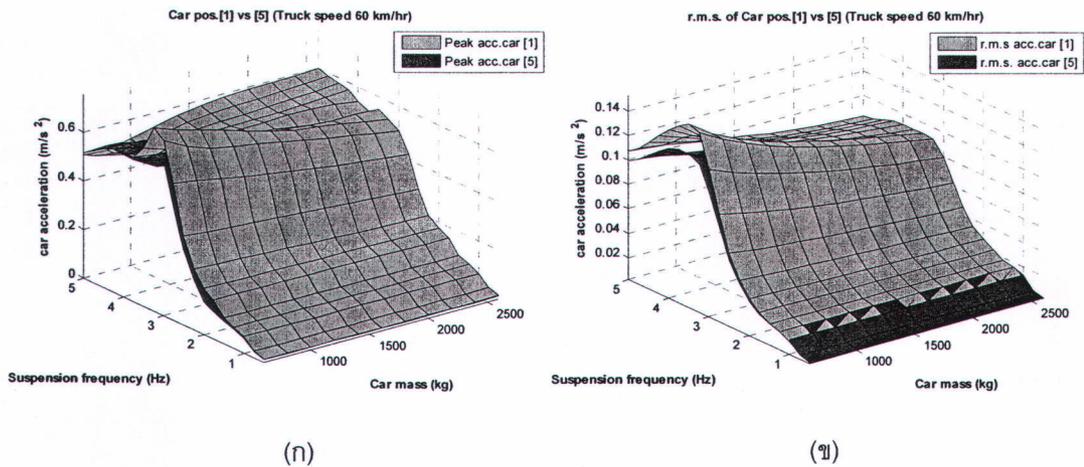
(ก) ค่าความเร่งสูงสุด (Peak acceleration response)

(ข) ค่าความเร่งรากที่สองของกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square; RMS)



รูปที่ 6.10 แผนภาพแสดงการเปรียบเทียบโดยพื้นผิวความสัมพันธ์ระหว่างมวล ความถี่ช่วงล่างและค่าความเร่งที่เกิดขึ้นกับรถยนต์คันที่ 3 กรณีที่รถบรรทุกวิ่งผ่านในทิศทางตรงข้ามด้วยความเร็ว 30 km/hr

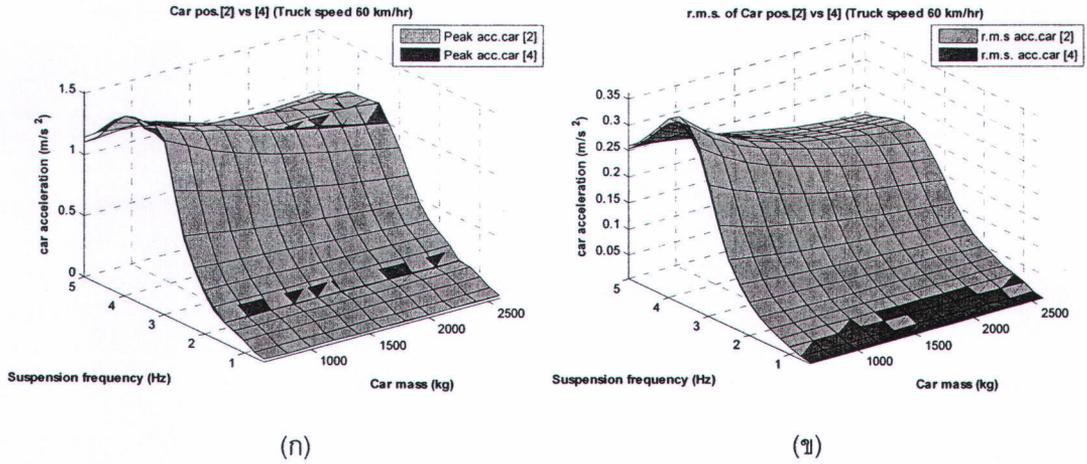
6.2.1.3 กรณีที่รถบรรทุกวิ่งผ่านด้วยความเร็ว 60 km/hr



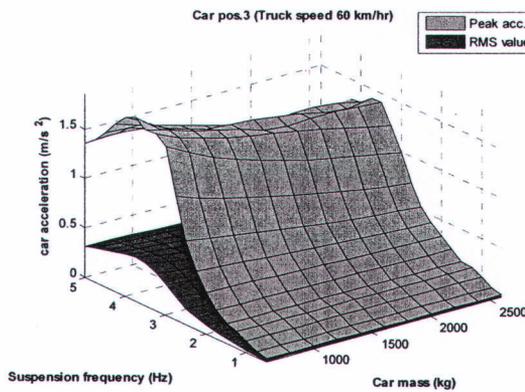
รูปที่ 6.11 แผนภาพแสดงการเปรียบเทียบโดยพื้นผิวความสัมพันธ์ระหว่างมวล ความถี่ช่วงล่างและค่าความเร่งที่เกิดขึ้นคันที่ 1 และ 5 กรณีที่รถบรรทุกวิ่งผ่านในทิศทางตรงข้ามด้วยความเร็ว 60 km/hr

(ก) ค่าความเร่งสูงสุด (Peak acceleration response)

(ข) ค่าความเร่งรากที่สองของกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square; RMS)



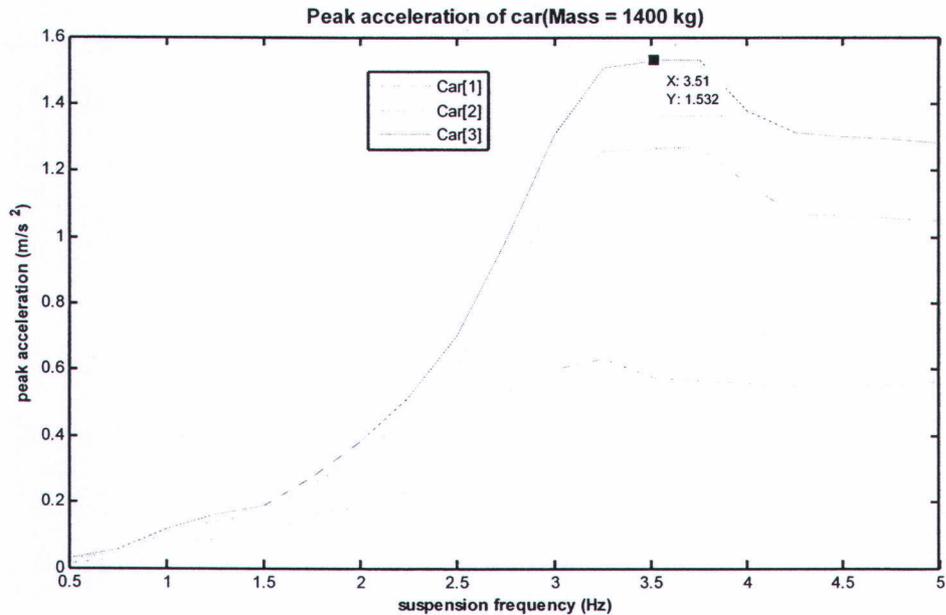
รูปที่ 6.12 แผนภาพแสดงการเปรียบเทียบโดยพื้นผิวความสัมพันธ์ระหว่างมวล ความถี่ช่วงล่างและค่าความเร่งที่เกิดขึ้นคันที่ 2 และ 4 กรณีที่รถบรรทุกวิ่งผ่านในทิศทางตรงข้ามด้วยความเร็ว 60 km/hr
 (ก) ค่าความเร่งสูงสุด (Peak acceleration response)
 (ข) ค่าความเร่งรากที่สองของกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square; RMS)



รูปที่ 6.13 แผนภาพแสดงการเปรียบเทียบโดยพื้นผิวความสัมพันธ์ระหว่างมวล ความถี่ช่วงล่างและค่าความเร่งที่เกิดขึ้นกับรถยนต์คันที่ 3 กรณีที่รถบรรทุกวิ่งผ่านในทิศทางตรงข้ามด้วยความเร็ว 60 km/hr

จากตารางที่ 6.3 พบว่าการสั่นสะเทือนของรถยนต์ที่จอดอยู่บริเวณกลางช่วงของสะพานมีการสั่นสะเทือนสูงกว่าที่ตำแหน่งอื่นๆ ทั้งนี้เกิดจากการที่ตัวสะพานเกิดการสั่นไหวร่วมด้วย โดยมีรูปแบบการสั่นไหวในโหมดที่ 1 เป็นหลัก (Fundamental mode) ทำให้บริเวณกึ่งกลางช่วงสะพานมีระดับการสั่นไหวที่มากกว่าบริเวณจุดรองรับ ส่งผลให้รถที่จอดติดบริเวณดังกล่าวเกิดการสั่นสะเทือนที่รุนแรงกว่า และเมื่อพิจารณารถยนต์ที่จอดติดอยู่บริเวณกลางช่วงพบว่าระดับการสั่นสะเทือนของรถจะเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนเมื่อความถี่ช่วงล่างของรถมากขึ้นซึ่งสังเกตได้จากตารางที่ 6.3 ซึ่งพบว่าในกรณีที่ความเร็วของรถบรรทุกที่วิ่งผ่านในฝั่งตรงข้ามของสะพานด้วยความเร็ว 60 km/hr ขนาดความเร่งสูงสุดจะเพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ย 61.2% เมื่อความถี่ช่วงล่างของรถยนต์เพิ่มขึ้นจาก 1.0 Hz เป็น 1.5 Hz และจะมีขนาดความเร่งสูงสุดเพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ย 98.1% เมื่อความถี่ช่วงล่างของรถยนต์

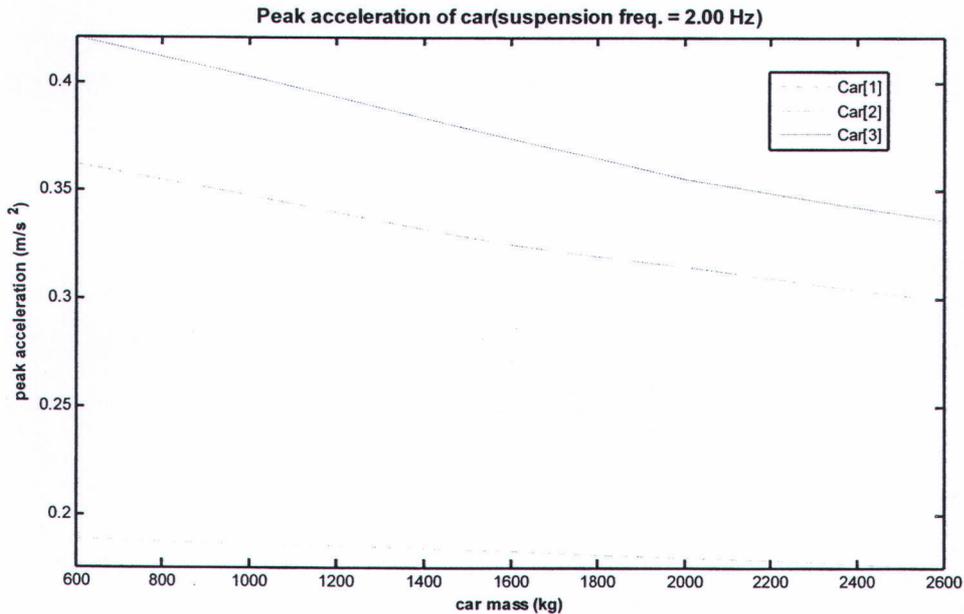
เพิ่มขึ้นจาก 1.5 Hz เป็น 2.0 Hz และเมื่อความถี่ช่วงล่างของรถยนต์เพิ่มขึ้นจาก 2.0 Hz เป็น 2.5 Hz ขนาดความเร่งสูงสุดของรถยนต์จะมีอัตราการเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 77.7 % ซึ่งในที่นี้สามารถสังเกตได้อย่างชัดเจนดังรูปที่ 6.14



รูปที่ 6.14 แสดงตัวอย่างเส้นโค้งความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร่งสูงสุดและความถี่ช่วงล่างของรถยนต์ที่ตำแหน่ง 1, 2, 3 ในกรณีที่รถยนต์มีมวล 1400 kg

ซึ่งจากเส้นโค้งความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร่งสูงสุดและความถี่ช่วงล่างของรถยนต์พบว่าค่าความเร่งสูงสุดของรถยนต์จะมีค่าสูงสุดเมื่อมีความถี่ช่วงล่างของรถยนต์เท่ากับ 3.51 Hz ซึ่งเป็นความถี่ธรรมชาติในโหมดที่ 1 ของสะพานและจะเกิดขึ้นอย่างชัดเจนกับรถยนต์คันที่จอดติดอยู่บริเวณกลางช่วงของสะพานนั่นคือตำแหน่งที่ 3 ที่เกิดการสั่นสะเทือนร่วมกับการสั่นไหวของตัวสะพานตามรูปแบบการสั่นไหวในโหมดที่ 1 เป็นหลัก โดยค่าความเร่งสูงสุดของรถยนต์ที่อยู่ในตำแหน่งที่ 3 จะมีอัตราการเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนเมื่อค่าความถี่ช่วงล่างของรถยนต์มีค่าต่ำกว่า 3.51 Hz และจะมีอัตราลดลงเมื่อค่าความถี่ช่วงล่างของรถยนต์มีค่าสูงกว่า 3.51 Hz ตามหลักการของการสั่นพ้อง (Resonance) ในขณะที่ค่าความเร่งสูงสุดของรถยนต์ที่จอดติดอยู่บนสะพานในตำแหน่งที่ 1 จะเกิดค่าสูงสุดเมื่อรถยนต์มีความถี่ช่วงล่างเข้าใกล้ค่าความถี่ของปลายคานขวางซึ่งเป็นจุดรองรับของสะพานเนื่องจากอยู่ในตำแหน่งที่ใกล้กับจุดรองรับของสะพาน ซึ่งจากรูปที่ 6.5 (ค) พบว่าค่าความถี่ที่ปลายคานขวางมีค่าประมาณ 3.15 Hz ซึ่งมีความสอดคล้องกับเส้นโค้งที่แสดงดังรูปที่ 6.14 ที่แสดงให้เห็นว่าค่าความเร่งสูงสุดของรถยนต์ในตำแหน่งที่ 1 จะเกิดค่าสูงสุดเมื่อรถยนต์มีความถี่ช่วงล่างอยู่ในช่วงความถี่ระหว่าง 3.0 ถึง 3.5 Hz ในทำนองเดียวกันกับรถยนต์ที่จอดติดอยู่ในตำแหน่งที่ 2 จะแสดงพฤติกรรมของการสั่นพ้องในช่วงความถี่ระหว่างค่าความถี่ธรรมชาติของตัวสะพานและคานขวางนั่นคือความถี่ที่อยู่ในช่วงระหว่าง 3.0 ถึง 3.51 Hz ดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 6.4 ทั้งนี้ค่าความเร่งสูงสุดของรถยนต์มีแนวโน้มที่ลดลงเล็กน้อยเมื่อค่ามวลของรถยนต์มีค่าสูงขึ้นจากการสังเกตได้ดังตารางที่ 6.3 ยกตัวอย่างในกรณีที่รถบรรทุกเคลื่อนที่ผ่านด้วยความเร็ว 60

km/hr ซึ่งพบว่าค่าความเร่งสูงสุดมีค่าที่ลดลง 6.12 % เมื่อมวลของรถยนต์มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 800 kg เป็น 1400 kg และลดลง 6.08 % เมื่อรถยนต์มีมวลเพิ่มขึ้นจาก 1400 kg เป็น 2000 kg และจะมีค่าที่ลดลง 5.37 % เมื่อมวลของรถยนต์มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 1400 kg เป็น 2000 kg โดยสามารถสังเกตถึงอิทธิพลของมวลรถยนต์ที่มีต่อค่าความเร่งสูงสุดได้จากรูปที่ 6.15



รูปที่ 6.15 แสดงตัวอย่างเส้นโค้งความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร่งสูงสุดและมวลของรถยนต์ที่ตำแหน่ง 1, 2, 3 ในกรณีที่รถยนต์มีความถี่ช่วงล่าง 2.0 Hz

นอกจากนี้ความเร็วของรถบรรทุกที่วิ่งผ่านสะพานในทิศทางตรงข้ามก็มีอิทธิพลต่อค่าความเร่งสูงสุดของรถยนต์ที่จอดติดอยู่บนสะพานเนื่องจากเป็นแหล่งกำเนิดสัญญาณที่จุดรองรับทั้งสองข้างของสะพานในการทดสอบ จากตารางที่ 6.3 พบว่าค่าความเร่งสูงสุดของรถยนต์ที่จอดอยู่ในตำแหน่งที่ 3 มีค่าสูงกว่าตำแหน่งอื่น และรถยนต์ที่มีมวลน้อยแต่มีค่าความถี่ช่วงล่างที่สูงจะมีค่าความเร่งสูงสุดที่สูงกว่ากรณีอื่นๆ ซึ่งจากกรณีดังกล่าวสามารถนำมาเปรียบเทียบอิทธิพลของความเร็วในการวิ่งผ่านของรถบรรทุกในทิศทางตรงข้ามของการจราจรซึ่งสามารถสังเกตได้ว่าค่าความเร่งสูงสุดของรถยนต์ที่มีมวล 800 kg และมีค่าความถี่ช่วงล่างเท่ากับ 2.5 Hz จะมีค่าเพิ่มขึ้นถึง 50 % เมื่อความเร็วในการวิ่งผ่านของรถบรรทุกเพิ่มขึ้นจาก 5 km/hr เป็น 60 km/hr ทั้งนี้เนื่องจากสัญญาณความเร่งที่ปลายคานขวางซึ่งเป็นจุดรองรับทั้งสองข้างของสะพานจากการทดสอบสะพานจริงโดยการวิ่งผ่านของรถบรรทุกในกรณีที่รถบรรทุกวิ่งผ่านด้วยความเร็ว 5 km/hr และ 60 km/hr มีลักษณะของสัญญาณที่แตกต่างกันโดยสังเกตได้จากตารางที่ 5.2 ซึ่งค่าความเร่งสูงสุดของสัญญาณที่ปลายคานขวางเท่ากับ 0.107 m/s² ในกรณีที่รถบรรทุกวิ่งผ่านด้วยความเร็ว 5 km/hr และมีค่าความเร่งสูงสุดเท่ากับ 0.258 m/s² ในกรณีที่รถบรรทุกวิ่งผ่านด้วยความเร็ว 60 km/hr ซึ่งพบว่าค่าความเร่งสูงสุดทั้งสองกรณีมีความแตกต่างกัน 140 % หรือ 1.4 เท่า แต่ทั้งนี้เมื่อพิจารณาถึงค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองของสัญญาณความเร่งที่บริเวณปลายคานขวางพบว่าในกรณีที่รถบรรทุกวิ่งผ่านด้วยความเร็ว 60 km/hr กลับมีค่ารากที่สอง

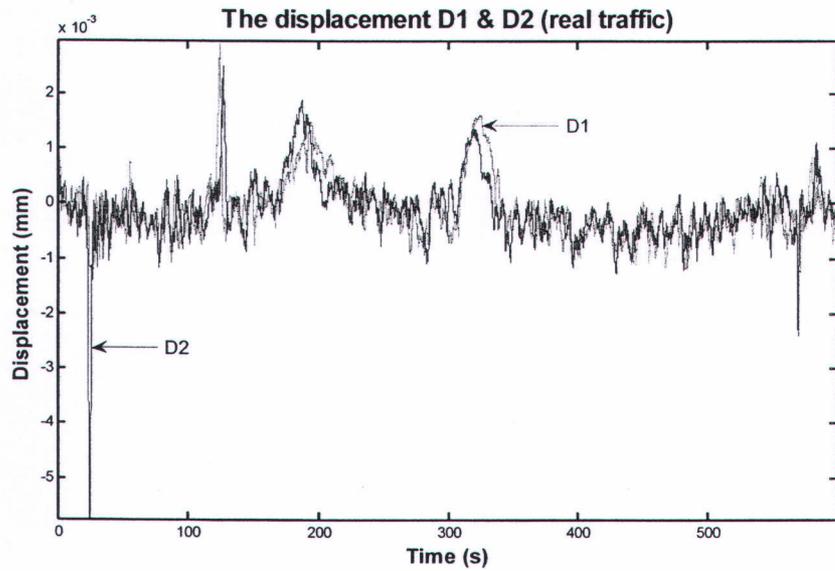
ของค่าเฉลี่ยกำลังสองของสัญญาณความเร่งที่สูงกว่าเพียง 24% หรือ 0.24 เท่า ซึ่งทำให้สามารถประเมินพฤติกรรมและแนวโน้มของความเร็วในการวิ่งผ่านของยานพาหนะในฝั่งตรงข้ามกับการจราจรที่สูงกว่าจะทำให้เกิดค่าความเร่งสูงสุดของสัญญาณบริเวณจุดรองรับสูงขึ้นตามไปด้วย แต่ในขณะเดียวกันนี้ความเร็วในการวิ่งผ่านของยานพาหนะจะมีผลกระทบต่อค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองของสัญญาณความเร่งที่บริเวณปลายคานขวางซึ่งสามารถประเมินลักษณะของสัญญาณโดยภาพรวมได้ ดังนั้นความเร็วของยานพาหนะที่วิ่งในทิศทางตรงข้ามของการจราจรซึ่งในที่นี้คือรถบรรทุกจะส่งผลต่อค่าความเร่งสูงสุดที่ปลายคานขวางของสะพานจึงทำให้เกิดค่าความเร่งสูงสุดของรถยนต์ที่จอดติดอยู่บนสะพานสูงกว่ากรณีที่รถบรรทุกวิ่งผ่านในทิศทางตรงข้ามของการจราจรด้วยความเร็วที่ต่ำกว่า เนื่องจากมีขนาดสูงสุดของแรงกระทำ (แรงอันเนื่องมาจากการสั่นไหวของจุดรองรับ) ที่สูงกว่าจึงให้ได้ค่าผลตอบสนองที่สูงกว่า

ทั้งนี้ในสภาพความเป็นจริงรถบรรทุกไม่สามารถโดยสารผ่านสะพานข้ามทางแยกได้เนื่องจากไม่ได้รับการอนุญาตอีกทั้งสภาพการจราจรที่แท้จริงการจราจรในทิศทางที่คล่องตัวจะมีรถยนต์โดยสารหรือแม้แต่รถโดยสารประจำทางสาธารณะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงอยู่ตลอดเวลา อย่างไรก็ตามผลการวิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้วยสัญญาณที่สร้างขึ้นโดยรถบรรทุกนี้สามารถแสดงให้เห็นถึงปัญหาที่เกิดขึ้นกับรถยนต์ที่จอดติดอยู่บนสะพานจากการวิ่งผ่านของรถบรรทุกในฝั่งตรงข้ามได้ และสามารถขยายผลการศึกษาไปสู่การวิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์กรณีที่ใช้ข้อมูลสัญญาณที่จุดรองรับสะพานจากการทดสอบสะพานจริงภายใต้สภาพการจราจรปกติซึ่งจะกล่าวถึงผลการวิเคราะห์ในหัวข้อถัดไป

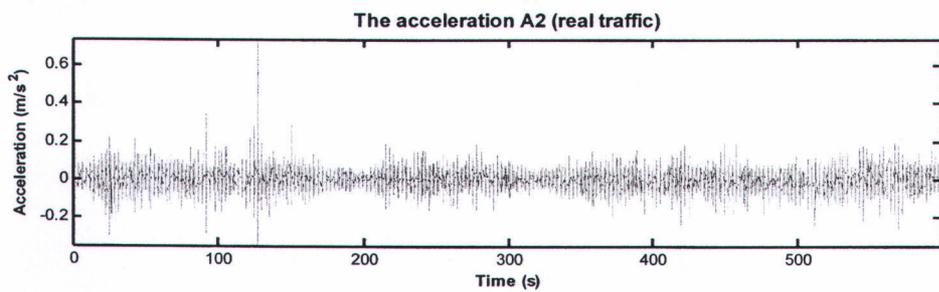
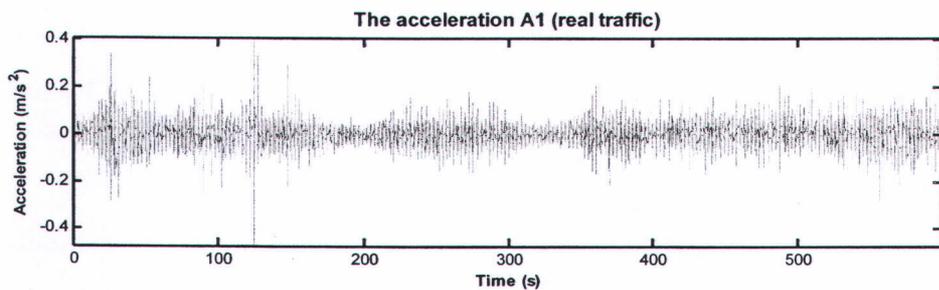
6.2.2 ผลการวิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์จากข้อมูลสัญญาณการสั่นไหวที่ฐานรองรับภายใต้การจราจรปกติ

การวิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยอาศัยข้อมูลการสั่นไหวของสะพานภายใต้การจราจรปกติ เพื่อขยายผลการศึกษาจากการทดสอบโดยการจำลองเหตุการณ์การวิ่งผ่านของรถบรรทุกในฝั่งตรงข้ามเพื่อสร้างสัญญาณการสั่นไหวให้กับสะพาน ดังที่กล่าวไว้ในหัวข้อที่ผ่านมาถึงสภาพความเป็นจริงที่ว่า สะพานเหล็กข้ามทางแยกจะมีการให้บริการแก่ยานพาหนะทั่วไปที่ไม่รวมถึงรถบรรทุกหนัก นอกจากนี้การวิ่งผ่านของรถบรรทุกที่ใช้ในการทดสอบสะพานจริงในการจำลองสถานการณ์นั้นเป็นการวิ่งผ่านด้วยความเร็วคงที่ในแต่ละกรณีและทดสอบแต่ละกรณีด้วยการวิ่งผ่านสะพานเพียง 1 ครั้งต่อการทดสอบในแต่ละกรณี ซึ่งในสภาพการจราจรปกติรถยนต์ในทิศทางจราจรที่คล่องตัวมีรถยนต์เคลื่อนที่ผ่านด้วยความเร็วที่สูงกว่าความเร็วในการวิ่งผ่านของรถบรรทุกในการทดสอบและมีการเคลื่อนที่ผ่านอยู่ตลอดเวลา ดังนั้นในการวิเคราะห์แบบจำลองที่ผ่านมานี้ในหัวข้อที่แล้วจึงมีเงื่อนไขที่แตกต่างจากสภาพการจราจรที่แท้จริงอยู่พอสมควร แต่ผลจากการศึกษาในหัวข้อที่แล้วสามารถแสดงให้เห็นถึงปัญหาที่เกิดขึ้นกับความสามารถในการให้บริการของสะพานได้ในเบื้องต้น ในหัวข้อนี้จะนำเสนอผลจากการวิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยอาศัยข้อมูลการตรวจวัดสะพานภายใต้การจราจรปกติดังที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 5 ถึงขั้นตอนและลักษณะของสัญญาณการสั่นไหวที่เหมาะสมกับการเป็นสัญญาณตัวแทนซึ่งคัดเลือกไว้ในช่วงเวลา 10 นาที เพื่อใช้สำหรับการวิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ในส่วนของหลักการและขั้นตอนในการวิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในหัวข้อนี้เป็นไปในลักษณะเดียวกันกับหัวข้อที่แล้วกล่าวคือวิธีการวิเคราะห์รวมถึงคุณสมบัติต่างๆทั้งในส่วนของแบบจำลองสะพาน

และรถยนต์ยังคงมีค่าเท่าเดิม แต่มีการเปลี่ยนแปลงในส่วนของสัญญาณการสั่นไหวที่ฐานรองรับทั้งสองข้างของสะพานที่ใช้สัญญาณจากการตรวจวัดสะพานจริงภายใต้การจราจรปกติซึ่งมีการคัดเลือกสัญญาณที่เหมาะสมไว้ก่อนหน้านี้อแล้วในบทที่ 5

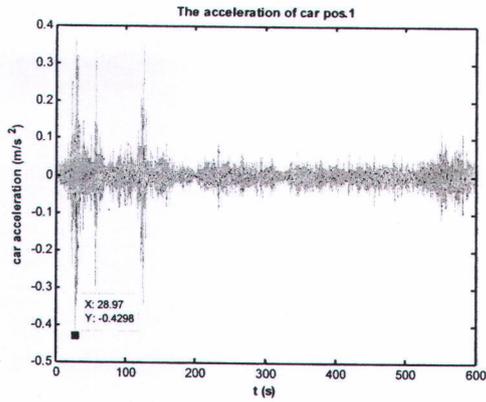


(ก)

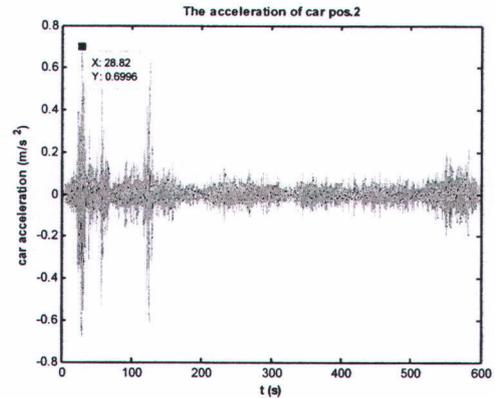


(ข)

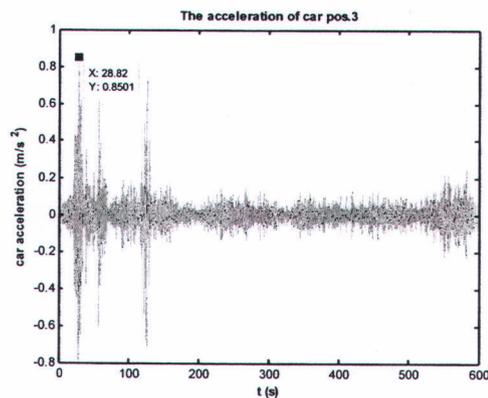
รูปที่ 6.16 ตัวอย่างสัญญาณการสั่นไหวที่จุดรองรับทั้งสองข้างของคานสะพานภายใต้การจราจรปกติ
(ก) การกระจัดที่จุดรองรับ (ข) ความเร่งที่จุดรองรับ



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 6.17 ตัวอย่างความเร่งของรถยนต์ที่จอดติดอยู่บนสะพานจากการวิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

กรณีรถยนต์มีมวล 1400 kg และมีความถี่ช่วงล่าง 2.5 Hz

(ก) ความเร่งของรถยนต์ในตำแหน่งที่ 1

(ข) ความเร่งของรถยนต์ในตำแหน่งที่ 2

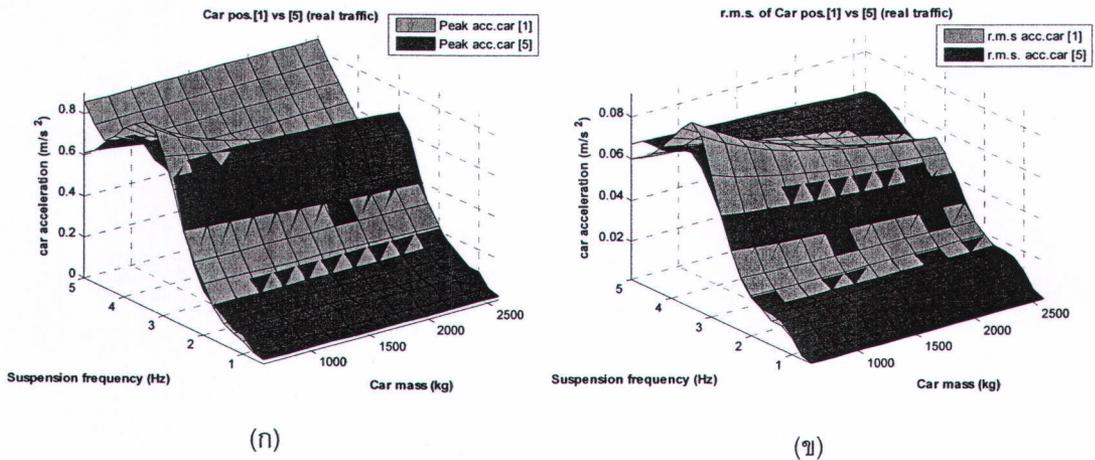
(ค) ความเร่งของรถยนต์ในตำแหน่งที่ 3

ตารางที่ 6.4 แสดงความเร่งสูงสุดของการสั่นสะเทือนของรถยนต์ที่จอดติดในตำแหน่งที่ 1, 2 และ 3 (m/s^2)

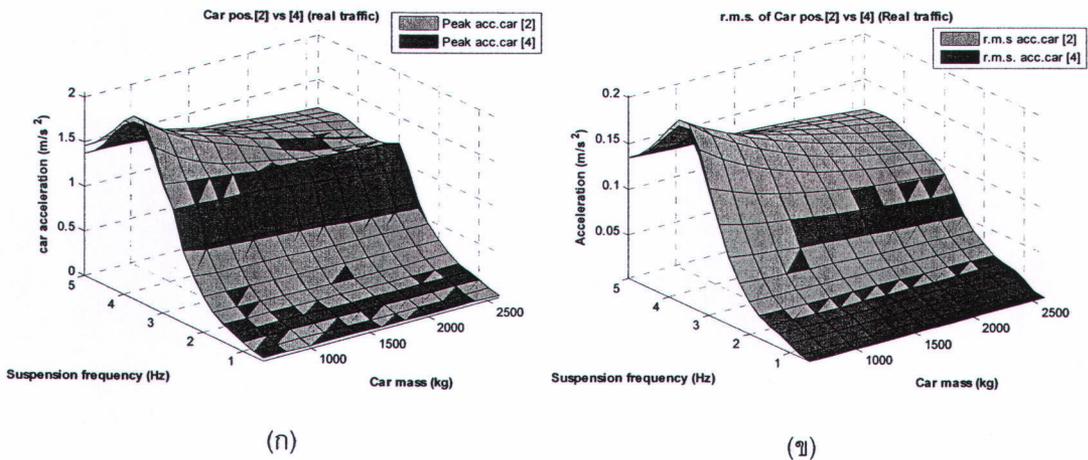
ภายใต้สภาพการจราจรปกติ

Car mass (kg)	Suspension frequency (Hz)											
	Car position 1				Car position 2				Car position 3			
	1.0	1.5	2.0	2.5	1.0	1.5	2.0	2.5	1.0	1.5	2.0	2.5
800	0.064	0.101	0.247	0.456	0.101	0.197	0.388	0.754	0.114	0.232	0.461	0.919
1400	0.063	0.100	0.241	0.430	0.099	0.186	0.370	0.700	0.112	0.219	0.410	0.850
2000	0.063	0.099	0.234	0.406	0.097	0.176	0.352	0.643	0.111	0.207	0.374	0.779
2600	0.063	0.099	0.228	0.383	0.094	0.170	0.333	0.585	0.109	0.198	0.350	0.706

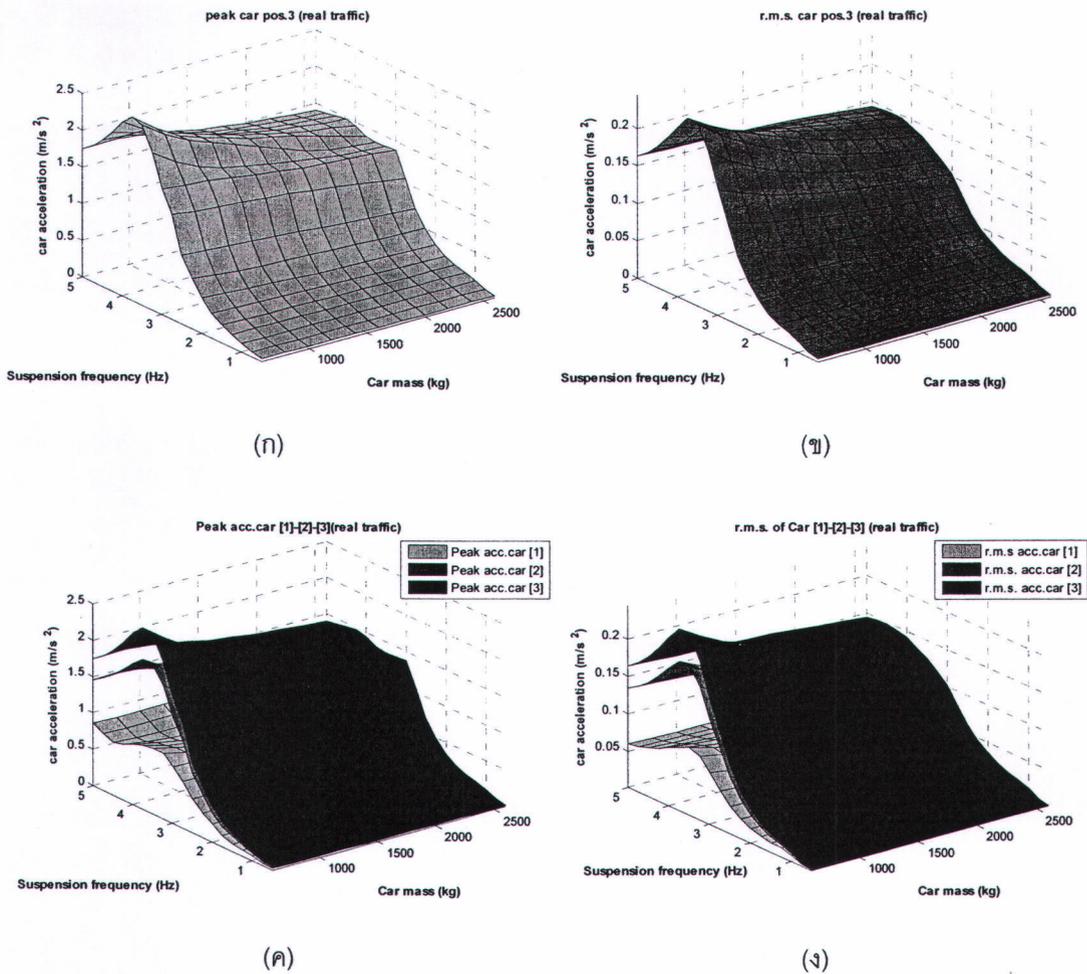
จากตารางที่ 6.4 พบว่าผลตอบสนองที่ได้จากการวิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยอาศัยข้อมูลการสั่นไหวของสะพานภายใต้การจราจรปรกติมีค่าที่สูงกว่ากรณีที่ใช้รถบรรทุกในการสร้างสัญญาณในหัวข้อที่แล้วเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งสามารถเปรียบได้กับค่าความเร่งในตารางที่ 6.1 โดยผลการวิเคราะห์ถึงพฤติกรรมของรถยนต์ที่จอดอยู่ในแต่ละตำแหน่งสามารถแสดงได้ชัดเจนยิ่งขึ้นโดยแผนภาพพื้นผิวความสัมพันธ์ระหว่างมวล ความถี่ช่วงล่าง และค่าความเร่งที่เกิดขึ้นกับรถยนต์



รูปที่ 6.18 แผนภาพแสดงการเปรียบเทียบโดยพื้นผิวความสัมพันธ์ระหว่างมวล ความถี่ช่วงล่างและค่าความเร่งที่เกิดขึ้นรถยนต์คันที่ 1 และ 5 ภายใต้สภาพการจราจรปรกติ
 (ก) ค่าความเร่งสูงสุด (Peak acceleration response)
 (ข) ค่าความเร่งรากที่สองของกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square; RMS)



รูปที่ 6.19 แผนภาพแสดงการเปรียบเทียบโดยพื้นผิวความสัมพันธ์ระหว่างมวล ความถี่ช่วงล่างและค่าความเร่งที่เกิดขึ้นรถยนต์คันที่ 2 และ 4 ภายใต้สภาพการจราจรปรกติ
 (ก) ค่าความเร่งสูงสุด (Peak acceleration response)
 (ข) ค่าความเร่งรากที่สองของกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square; RMS)



รูปที่ 6.20 แผนภาพแสดงการเปรียบเทียบโดยพื้นผิวความสัมพันธ์ระหว่างมวล ความถี่ช่วงล่างและค่าความเร่งที่เกิดขึ้นกับรถยนต์ที่อยู่ในตำแหน่งที่ 3 ภายใต้การจราจรปกติ

(ก) ค่าความเร่งสูงสุด (Peak acceleration response)

(ข) ค่าความเร่งรากที่สองของกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square; RMS)

(ค) ค่าความเร่งสูงสุดเปรียบเทียบระหว่างรถยนต์ที่อยู่ในตำแหน่งที่ 1,2 และ3

(ง) ค่าความเร่งรากที่สองของกำลังสองเฉลี่ยเปรียบเทียบระหว่างรถยนต์ที่อยู่ในตำแหน่งที่ 1,2 และ3

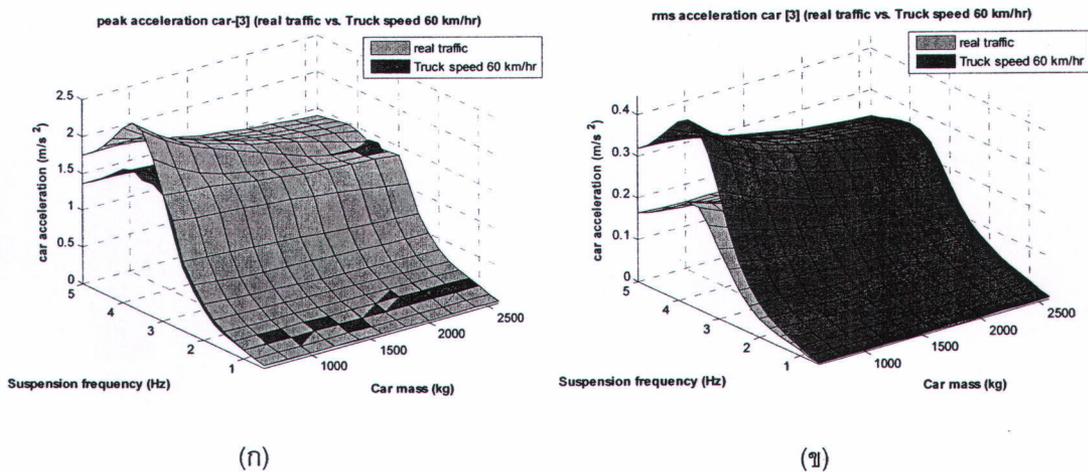
ทั้งนี้ผลการวิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์จากภาพที่ 6.20 พบว่าค่าความเร่งสูงสุดของรถยนต์ที่อยู่ในตำแหน่งที่ 3 มีค่าสูงกว่ารถยนต์ที่อยู่ในตำแหน่งที่ 1 และ 2 ซึ่งมีสาเหตุมาจากการที่ตัวสะพานเกิดการสั่นไหวร่วมด้วย โดยมีรูปแบบการสั่นไหวในโหมดที่ 1 เป็นหลัก (Fundamental mode) ทำให้บริเวณกึ่งกลางช่วงสะพานมีระดับการสั่นไหวที่มากกว่าบริเวณจุดรองรับ ส่งผลให้รถที่จอดติดบริเวณดังกล่าวเกิดการสั่นสะเทือนที่รุนแรงกว่ารถยนต์ที่จอดอยู่ในตำแหน่งอื่น

จากตารางที่ 6.4 เมื่อพิจารณาร่วมกับแผนภาพในรูปที่ 6.18 ถึง 6.20 พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อค่าความเร่งสูงสุดและค่าความเร่งรากที่สองของกำลังสองเฉลี่ยของรถยนต์ประกอบไปด้วยค่ามวล ค่าความถี่ช่วงล่างของรถยนต์ และ ความเร็วในการวิ่งผ่านของยานพาหนะในทิศทางตรงข้ามของการจราจร โดยในส่วนของอิทธิพลจากมวลที่มีต่อค่าความเร่งสูงสุดของรถยนต์มีพฤติกรรมที่สอดคล้องกับกรณีของการทดสอบสะพานจริงด้วยการวิ่งผ่านของรถบรรทุก กล่าวคือรถยนต์ที่มีค่ามวลสูงกว่าจะเกิดค่าความเร่งสูงสุดน้อยกว่ารถยนต์ที่มีค่ามวลน้อยกว่าเล็กน้อย โดยสามารถสังเกตค่าความเร่งสูงสุดในตารางที่ 6.4 พบว่าในกรณีที่มีค่ามวลเท่ากับ 800 kg และมีค่าความถี่ช่วงล่างเท่ากับ 2.5 Hz จะเกิดค่าความเร่งสูงสุดเท่ากับ 0.919 m/s^2 ส่วนในกรณีที่มีรถยนต์ที่มีค่ามวลเท่ากับ 2600 kg และมีค่าความถี่ช่วงล่างเท่ากับ 2.5 Hz จะเกิดค่าความเร่งสูงสุดเท่ากับ 0.706 m/s^2 ซึ่งคิดเป็นเพียง 23.2 % ของค่าความเร่งสูงสุดที่ลดลงด้วยค่ามวลที่เพิ่มขึ้นถึง 1800 kg หรือคิดเป็น 3.25 เท่า แต่ทั้งนี้ในส่วนของอิทธิพลจากค่าความถี่ช่วงล่างนั้นกลับมีผลต่อค่าความเร่งสูงสุดอย่างมากซึ่งมีแนวโน้มเป็นเช่นเดียวกันกับผลการวิเคราะห์ที่ได้สัญญาณการสั่นไหวที่จุดรองรับจากการทดสอบด้วยการวิ่งผ่านของรถบรรทุก โดยค่าความเร่งสูงสุดจากตารางที่ 6.4 ในกรณีที่มีค่ามวลเท่ากับ 800 kg และมีค่าความถี่ช่วงล่างเท่ากับ 1.0 Hz จะเกิดค่าความเร่งสูงสุดเท่ากับ 0.114 m/s^2 แต่เมื่อรถยนต์ที่มีค่ามวลเท่ากันนี้มีค่าความถี่ช่วงล่างที่เพิ่มขึ้นเป็น 2.5 Hz กลับพบว่าค่าความเร่งสูงสุดเพิ่มขึ้นเป็น 0.919 m/s^2 ซึ่งคิดเป็นความเร่งสูงสุดที่เพิ่มขึ้นถึง 700 % หรือคิดเป็น 8 เท่าด้วยความถี่ช่วงล่างที่เพิ่มขึ้นเพียง 1.5 Hz ทั้งนี้เมื่อวิเคราะห์ถึงผลกระทบของลักษณะการวิ่งผ่านของพาหนะในฝั่งตรงข้ามของการจราจรในกรณีของการทดสอบสะพานจริงภายใต้การจราจรปกติ ซึ่งจากการสังเกตถึงพฤติกรรมโดยสัญญาณภาพที่ถูกบันทึกด้วยกล้องวงจรปิดในขณะที่ทำการทดสอบสะพานจริงภายใต้การจราจรปกติพบว่าค่าความเร็วในการวิ่งผ่านของยานพาหนะในทิศทางที่การจราจรเคลื่อนตัวอาจมีค่าสูงตั้งแต่ 90 km/hr จนถึง 120 km/hr เนื่องจากลักษณะของสะพานเหล็กข้ามทางแยกมีทิศทางการเคลื่อนที่ในแนวตรงที่ปราศจากทางโค้งประกอบกับสภาพการจราจรที่เคลื่อนตัวทำให้ผู้ขับขี่ยานพาหนะที่ให้บริการของสะพานเหล็กข้ามทางแยกสามารถขับขี่ยานพาหนะด้วยความเร็วสูง ซึ่งหากพิจารณาค่าความเร่งสูงสุดที่ปลายคานขวางดังตารางที่ 6.5 พบว่าค่าความเร่งสูงสุดในกรณีของการทดสอบสะพานจริงภายใต้การจราจรปกติมีค่าเท่ากับ 0.74 m/s^2 ซึ่งมีค่าที่สูงกว่าความเร่งสูงสุดที่ปลายคานขวางในกรณีที่ทดสอบสะพานจริงด้วยการวิ่งผ่านของรถบรรทุกในทิศทางตรงข้ามด้วยความเร็ว 60 km/hr

ตารางที่ 6.5 แสดงการเปรียบเทียบค่าสูงสุดของสัญญาณที่ตรวจวัดได้จากการทดสอบสะพานจริงระหว่างกรณีการทดสอบภายใต้การจราจรปกติและการทดสอบด้วยการวิ่งผ่านของรถบรรทุกในทิศทางตรงข้ามด้วยความเร็ว 60 km/hr

sensor	Real traffic		Truck (speed 60 km/hr)	
	peak	r.m.s.	peak	r.m.s.
A1	0.474	0.033	0.258	0.031
A2	0.739	0.037	0.185	0.028
D1	0.003	0.001	0.006	0.001
D2	0.006	0.001	0.006	0.001

นอกจากนี้สภาพการจราจรที่แท้จริงการวิ่งผ่านของยานพาหนะในทิศทางตรงข้ามของการจราจรยังมียานพาหนะเคลื่อนที่ผ่านมากกว่าหนึ่งคันซึ่งแตกต่างจากกรณีการทดสอบด้วยการวิ่งผ่านของรถบรรทุกในทิศทางตรงกันข้ามที่มีการวิ่งผ่านเพียงครั้งเดียวสำหรับกรทดสอบในแต่ละกรณีความเร็ว ถึงแม้ว่าจากการสังเกตสัญญาณภาพที่บันทึกได้จากกล้องวงจรปิดที่พบว่ามึบางช่วงเวลาที่มีการเคลื่อนที่ผ่านของยานพาหนะวิ่งผ่านความยาวช่วงสะพานในทิศทางที่การจราจรคล่องตัวเพียงหนึ่งคันแต่ในเวลาทีใกล้เคียงกันก็จะมีการเคลื่อนที่ผ่านของยานพาหนะตามมาอยู่ตลอดเวลาทำให้สะพานเกิดการสะสมพลังงานจากการสั่นไหวเมือมียานพาหนะวิ่งผ่านด้วยความเร็วสูงในช่วงเวลาทีใกล้เคียงกัน ทำให้สะพานจึงยังไม่สามารถสลายพลังงานจากการสั่นไหวที่เกิดขึ้นนี้ได้ทันโดยการเข้าสู่การสั่นไหวแบบอิสระได้ (Free vibration) เนื่องจากมีแรงกระทำที่ตัวสะพานอยู่ตลอดเวลา ดังนั้นค่าความเร่งสูงสุดที่วัดได้นี้จึงมีค่าสูงกว่าค่าความเร่งที่วัดได้โดยการวิ่งผ่านของรถบรรทุกในทิศทางตรงข้ามซึ่งมีสาเหตุมาจากการวิ่งผ่านด้วยความเร็วทีสูงกว่าและมีแรงกระทำอยู่อย่างต่อเนื่อง



รูปที่ 6.21 แผนภาพแสดงการเปรียบเทียบโดยพื้นผิวความสัมพันธ์ระหว่างมวล ความถี่ช่วงล่างและค่าความเร่งที่เกิดขึ้นกับรถยนต์ที่อยู่ในตำแหน่งที่ 3 ระหว่างกรณีการทดสอบสะพานจริงภายใต้การจราจรปกติ และการทดสอบโดยการวิ่งผ่านของรถบรรทุก

(ก) ค่าความเร่งสูงสุด (Peak acceleration response)

(ข) ค่าความเร่งรากที่สองของกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square; RMS)

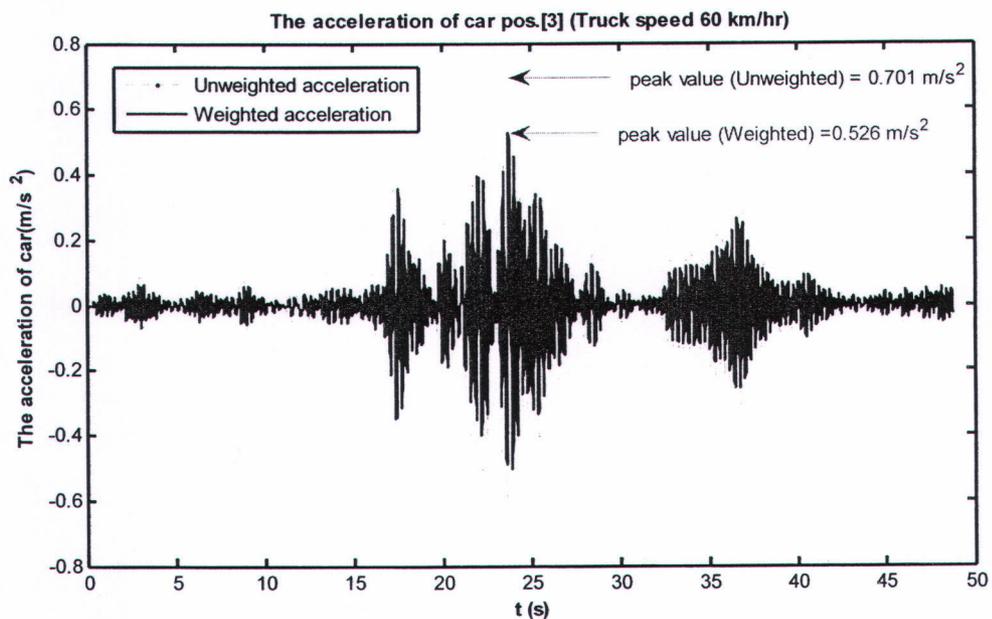
จากแผนภาพพื้นผิวในรูปที่ 6.21 พบว่าค่าความเร่งสูงสุดของรถยนต์ที่จอดอยู่ในตำแหน่งที่ 3 ในกรณีที่ใช้สัญญาณที่จุดรองรับของสะพานจากการทดสอบโดยการวิ่งผ่านของรถบรรทุกจะเกิดค่าความเร่งสูงสุดต่ำกว่าค่าความเร่งสูงสุดที่เกิดขึ้นในกรณีการทดสอบสะพานจริงภายใต้การจราจรปกติ แต่ในส่วนของความเร่งรากที่สองของกำลังสองเฉลี่ยในกรณีที่ใช้สัญญาณที่จุดรองรับของสะพานจากการทดสอบโดยการวิ่งผ่านของรถบรรทุกกลับมีค่าที่สูงกว่ากรณีการทดสอบสะพานจริงภายใต้การจราจรปกติ ทั้งนี้เนื่องจากลักษณะของสัญญาณที่ตรวจวัดได้ทั้งสองกรณีมีความแตกต่างกัน กล่าวคือยานพาหนะวิ่งผ่านสะพานในทิศทางตรงข้ามด้วยความเร็วสูงส่งผลให้เกิดผลตอบสนองกับสะพานที่สูงตามไปด้วย โดยความเร็วในการวิ่งผ่านของยานพาหนะในทิศทางตรงข้ามนั้นสูงกว่าความเร็วในการวิ่งผ่านของรถบรรทุกทำให้ปรากฏค่าความเร่งสูงสุดที่จุดรองรับในกรณี

การทดสอบภายใต้การจรรยาบรรณที่สูงกว่ากรณีที่รถบรรทุกวิ่งผ่าน แต่จากสภาพความเป็นจริงภายใต้การจรรยาบรรณการเคลื่อนที่ผ่านของยานพาหนะในทิศทางตรงข้ามนั้น มีจำนวนน้อยมากเนื่องจากการจรรยาบรรณมีความคล่องตัวจึงไม่เกิดการสะสม ซึ่งสามารถสังเกตได้จากสัญญาณภาพโดยกล้องวงจรปิด ทำให้ช่วงเวลาที่ปราศจากการวิ่งผ่านของยานพาหนะตลอดในช่วงระยะเวลา 10 นาทีของสัญญาณมีสัดส่วนที่สูงกว่ามากเมื่อเทียบกับช่วงสัญญาณที่มีการเคลื่อนที่ผ่านของยานพาหนะ ดังนั้นสัญญาณที่ตรวจวัดได้โดยทั่วไปนอกเหนือจากช่วงที่มีการวิ่งผ่านของยานพาหนะจึงมีค่าที่ต่ำเนื่องจากไม่มีการวิ่งผ่านของยานพาหนะบนสะพาน แต่การหาค่าเฉลี่ยของความเร่งเป็นการเฉลี่ยรวมทั้งช่วงสัญญาณ 10 นาที ส่งผลให้ค่าความเร่งเฉลี่ยสูงกว่ากรณีการวิ่งผ่านของรถบรรทุกดังตารางที่ 6.5 ทั้งนี้ในส่วนของการวิ่งผ่านโดยรถบรรทุกมีช่วงสัญญาณที่สั้นกว่ามากเมื่อเทียบกับกรณีของสัญญาณการตรวจวัดภายใต้การจรรยาบรรณอีกทั้งค่าความเร่งสูงสุดยังมีค่าที่ต่ำกว่าจึงปรากฏค่าเฉลี่ยที่ต่ำกว่าดังตารางที่ 6.5 แต่สัญญาณโดยทั่วไปมีค่าที่สูงกว่าเนื่องจากการเก็บข้อมูลเพียงในช่วงที่รถบรรทุกวิ่งอยู่บนสะพานเท่านั้น

ทั้งนี้ผลการวิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่อาศัยข้อมูลการตรวจวัดสะพานจริงทั้งในส่วนของการทดสอบโดยการจำลองเหตุการณ์ด้วยการวิ่งผ่านของรถบรรทุกในฝั่งตรงข้ามและการทดสอบสะพานจริงภายใต้การจรรยาบรรณแสดงให้เห็นถึงพฤติกรรมของรถยนต์เมื่อจอดติดอยู่บนสะพานจากผลตอบสนองของรถยนต์ในแต่ละตำแหน่ง โดยรถยนต์ในกลุ่มที่มีมวลน้อยและมีความถี่ช่วงล่างสูงจะเกิดผลกระทบที่รุนแรงจากการสั่นไหวของสะพานอันเนื่องมาจากการเข้าใกล้ความถี่ธรรมชาติในโหมดการสั่นไหวหลักของสะพาน และรถยนต์ที่จอดอยู่บริเวณกลางช่วงของสะพานจะมีการสั่นสะเทือนที่รุนแรงกว่าในตำแหน่งอื่นๆ ผลการวิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่อาศัยข้อมูลการตรวจวัดสะพานจริงจากการทดสอบโดยการจำลองเหตุการณ์ด้วยการวิ่งผ่านของรถบรรทุกในฝั่งตรงข้ามนั้นทำให้ทราบถึงพฤติกรรมของรถยนต์ที่จอดติดอยู่บนสะพานทั้งในส่วนของการตำแหน่งและกลุ่มคุณสมบัติของรถยนต์ที่จะเกิดผลกระทบต่อการสั่นสะเทือนที่รุนแรงจากการสั่นไหวของสะพาน ทั้งนี้นอกจากพฤติกรรมที่กล่าวมาทั้งหมดนี้เป็นเพียงผลการวิเคราะห์ที่ได้จากขนาดของความเร่งสูงสุดที่เกิดขึ้นกับรถยนต์ แต่ยังไม่สามารถระบุได้ถึงระดับความรุนแรงจากการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นกับรถยนต์ที่จอดติดอยู่บนสะพาน ดังนั้นผลที่ได้จากการวิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์นี้จะถูกนำไปใช้เพื่อประเมินถึงระดับความรุนแรงจากการสั่นสะเทือนโดยมาตรฐาน ISO 2631-1 ที่ได้กำหนดเกณฑ์ในการประเมินความรุนแรงจากการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้น ทำให้สามารถประเมินได้ถึงการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นกับรถยนต์ทั้งผลกระทบต่อความรู้สึกและสุขภาพของผู้โดยสารภายในรถยนต์จากเกณฑ์ที่มาตรฐานได้ระบุไว้ ทั้งนี้การประเมินผลกระทบจากการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นกับรถยนต์ในงานวิจัยนี้ไม่ได้พิจารณาถึงผลจากการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นจากเครื่องยนต์ ซึ่งรายละเอียดและขั้นตอนสำหรับการประเมินตามมาตรฐาน ISO 2631-1 จะได้นำเสนอในหัวข้อถัดไป

6.3 ผลการประเมินการรับรู้ได้จากการสั่นสะเทือน (Perception evaluation)

ผลการศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยอาศัยสัญญาณจากการวิ่งผ่านของรถบรรทุกในฝั่งตรงข้ามสามารถนำมาประเมินความสามารถในการรับรู้ถึงการสั่นสะเทือนของรถยนต์ได้ เพื่อแสดงให้เห็นถึงอิทธิพลของการวิ่งผ่านของยานพาหนะในทิศทางตรงข้ามที่มีต่อรถยนต์ที่จอดติดอยู่บนสะพานซึ่งมีได้พิจารณาถึงผลจากการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นจากเครื่องยนต์ดังที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ผ่านมา โดยขั้นตอนและวิธีการประเมินเป็นไปตามที่ได้นำเสนอไว้ในบทที่ 4 ทั้งนี้ในการศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในส่วนการสั่นสะเทือนของรถยนต์ถูกพิจารณาเพียงแคในแนวตั้ง ดังนั้นการผ่านขั้นตอนถ่วงน้ำหนักตามความถี่ (Frequency weighting) จึงใช้ระบบการถ่วงน้ำหนักตามความถี่ W_k ซึ่งมีลักษณะเป็นไปตามเส้นโค้งความสัมพันธ์ในรูปที่ 4.2 เมื่อนำสัญญาณผ่านขั้นตอนการกรองโดยการถ่วงน้ำหนักตามความถี่จะทำให้ได้สัญญาณที่มีความถี่เหมาะสมสำหรับการประเมินตามเกณฑ์ต่างๆที่กล่าวมาข้างต้นทั้งในส่วนของเกณฑ์ผลกระทบจากการสั่นสะเทือนต่อสุขภาพความรู้สึกระคายเคือง ความสามารถในการรับรู้ได้ เป็นต้น ในส่วนของการประเมินถึงความสามารถในการรับรู้ได้ในหัวข้อนี้จะทำการประเมินจากขนาดความเร่งสูงสุดหลังจากผ่านกระบวนการถ่วงน้ำหนักตามความถี่ ซึ่งผลการวิเคราะห์ขนาดความเร่งสูงสุดของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ทั้งก่อนและหลังผ่านกระบวนการถ่วงน้ำหนักสามารถแสดงตัวอย่างได้ดังรูปที่ 6.5



รูปที่ 6.22 แสดงสัญญาณความเร่งทั้งก่อนและหลังผ่านการถ่วงน้ำหนักตามความถี่ในกรณีที่รถบรรทุกวิ่งผ่านในทิศทางตรงข้ามด้วยความเร็ว 60 km/hr (มวลรถยนต์ 1400 kg ความถี่ช่วงล่าง 2.5 Hz)

ในทำนองเดียวกันนี้ เมื่อพิจารณาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ภายใต้สัญญาณการสั่นไหวที่จู่รองรับของสะพานที่เกิดจากการวิ่งผ่านของรถบรรทุกด้วยความเร็ว 5, 30 และ 60 km/hr จะได้ผลการวิเคราะห์ที่สามารถนำไปผ่านกระบวนการถ่วงน้ำหนักตามความถี่ซึ่งสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 6.6

ตารางที่ 6.6 แสดงความเร่งสูงสุดของการสั่นสะเทือนหลังการถ่วงน้ำหนักตามความถี่ของรถยนต์ที่จอดติดในตำแหน่งที่ 1, 2 และ 3 (m/s^2) ภายใต้การทดสอบด้วยการวิ่งผ่านของรถบรรทุก

Truck Speed (km/hr)	Car mass (kg)	Suspension frequency (Hz)											
		Car position 1				Car position 2				Car position 3			
		1.0	1.5	2.0	2.5	1.0	1.5	2.0	2.5	1.0	1.5	2.0	2.5
5	800	0.024	0.057	0.104	0.192	0.045	0.103	0.196	0.364	0.052	0.116	0.225	0.423
	1400	0.023	0.056	0.100	0.175	0.045	0.100	0.183	0.318	0.051	0.112	0.209	0.386
	2000	0.023	0.056	0.096	0.163	0.044	0.097	0.172	0.287	0.050	0.108	0.195	0.355
	2600	0.023	0.056	0.093	0.154	0.043	0.093	0.161	0.261	0.049	0.107	0.181	0.321
30	800	0.021	0.044	0.089	0.172	0.048	0.105	0.205	0.382	0.057	0.126	0.247	0.457
	1400	0.021	0.043	0.084	0.154	0.047	0.101	0.192	0.330	0.056	0.122	0.231	0.388
	2000	0.020	0.042	0.079	0.136	0.046	0.098	0.180	0.286	0.055	0.118	0.216	0.337
	2600	0.020	0.041	0.074	0.123	0.046	0.094	0.168	0.250	0.054	0.114	0.201	0.292
60	800	0.043	0.070	0.138	0.267	0.073	0.125	0.265	0.515	0.083	0.150	0.311	0.606
	1400	0.043	0.067	0.133	0.246	0.072	0.119	0.249	0.452	0.082	0.146	0.291	0.526
	2000	0.043	0.065	0.128	0.228	0.070	0.114	0.234	0.399	0.080	0.141	0.270	0.458
	2600	0.042	0.064	0.123	0.214	0.069	0.110	0.220	0.355	0.079	0.136	0.253	0.404

จากตารางที่ 6.6 พบว่าค่าความเร่งสูงสุดของรถยนต์หลังผ่านการถ่วงน้ำหนัก (Frequency weighting) มีค่าที่สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานการรับรู้ได้ถึงสั่นสะเทือนของ ISO 2631 ที่ระบุไว้เท่ากับ $0.015 m/s^2$ ซึ่งหมายความว่าอิทธิพลจากการวิ่งผ่านของรถบรรทุกในทิศทางตรงข้ามของการจราจรส่งผลกระทบต่อสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นกับรถยนต์ที่จอดติดอยู่บนสะพานจนเกิดความรู้สึกได้ในทุกรูปแบบของรถยนต์และทุกตำแหน่งของรถยนต์บนสะพาน ดังนั้นการศึกษาถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นกับรถยนต์ภายใต้สั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นในสภาวะปกติของการจราจรจึงมีความหมายและสำคัญอย่างยิ่งกับปัญหาที่เกิดขึ้นบนสะพานข้ามทางแยก เนื่องจากผลกระทบต่อระยะยาวต่อการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นกับรถยนต์ที่จอดติดอยู่บนสะพานอาจมีความรุนแรงจนทำให้ผลกระทบต่อสุขภาพของผู้ที่อยู่ในห้องโดยสารของรถยนต์ดังกล่าวเมื่ออยู่ภายใต้การจราจรที่ติดขัด ซึ่งในความเป็นจริงพบว่าการจราจรในช่วงเวลาที่มีความหนาแน่นในทิศทางใดทิศทางหนึ่งจนเกิดการติดขัดอย่างมากนั้นโดยเฉลี่ยอาจจะต้องใช้เวลานานถึงหนึ่งชั่วโมง จากการศึกษาสภาพการจราจรบนสะพานข้ามทางแยกแห่งหนึ่งโดยหน่วยงานสังกัดกรุงเทพมหานคร ทั้งนี้เมื่อนำกรณีของการวิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้วยสัญญาณการสั่นสะเทือนที่จู่รองรับจากการทดสอบสะพานจริงภายใต้การจราจรปกติ เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบต่อ

สั่นสะเทือนที่สามารถรับรู้ได้ ซึ่งผลการวิเคราะห์พบว่าค่าความเร่งสูงสุดของรถยนต์หลังผ่านการถ่วงน้ำหนัก (Frequency weighting) มีค่าที่สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานการรับรู้ได้ถึงการสั่นสะเทือนของ ISO 2631-1 ที่ระบุไว้เท่ากับ 0.015 m/s^2 เช่นกัน โดยผลการวิเคราะห์ที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 6.7 ดังนั้นทำให้เกิดความชัดเจนว่าการจลาจลบนสะพานข้ามแยกมีกระทบต่อการรับรู้ได้ถึงการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นกับรถยนต์เมื่อจอดติดอยู่บนสะพานซึ่งเป็นผลมาจากความสามารถในการให้บริการของสะพานหลักข้ามทางแยก นอกจากผลกระทบในส่วนของการรับรู้ได้ถึงการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นยังคงต้องประเมินถึงเกณฑ์อื่นๆตามมาตรฐาน ISO 2631-1 ในหัวข้อถัดไป

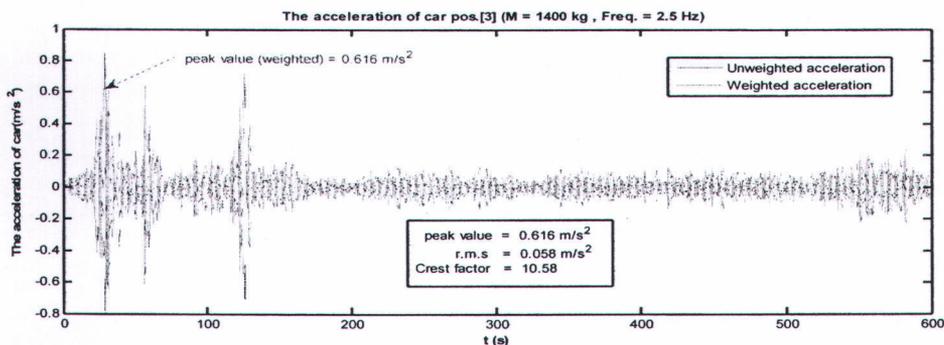
ตารางที่ 6.7 แสดงความเร่งสูงสุดของการสั่นสะเทือนหลังการถ่วงน้ำหนักตามความถี่ของรถยนต์ที่จอดติดในตำแหน่งที่ 1, 2 และ 3 (m/s^2) ภายใต้การจราจรปกติ

Car mass (kg)	Suspension frequency (Hz)											
	Car position 1				Car position 2				Car position 3			
	1.0	1.5	2.0	2.5	1.0	1.5	2.0	2.5	1.0	1.5	2.0	2.5
800	0.039	0.074	0.154	0.315	0.073	0.149	0.296	0.558	0.085	0.175	0.351	0.657
1400	0.038	0.071	0.151	0.299	0.071	0.141	0.266	0.503	0.083	0.165	0.312	0.616
2000	0.038	0.068	0.149	0.283	0.069	0.133	0.248	0.458	0.081	0.156	0.285	0.572
2600	0.037	0.066	0.146	0.267	0.068	0.126	0.237	0.423	0.079	0.148	0.263	0.524

ทั้งนี้จากการเปรียบเทียบค่าในตารางที่ 6.6 และ 6.7 พบว่าค่าความเร่งสูงสุดจากการทดสอบที่ต่างกันมีความแตกต่างกันอยู่ เนื่องจากแหล่งกำเนิดสัญญาณที่จุดรองรับของสะพานมีลักษณะที่ต่างกัน กล่าวคือ ภายใต้การจราจรปกติสะพานข้ามทางแยกมีเพียงพาหนะที่ใช้โดยสารถ่วงผ่านเท่านั้น ดังนั้นน้ำหนักของพาหนะและความเร็วในการวิ่งผ่านที่แตกต่างกันทำให้ค่าสัญญาณมีความแตกต่างกัน แต่เพื่อให้ผลการประเมินสอดคล้องกับสภาพความเป็นจริงจึงได้เลือกใช้สัญญาณที่ตรวจวัดได้ภายใต้การจราจรปกติ

6.4 ผลการประเมินผลกระทบต่อความรู้สึกสะดวกสบายจากการสั่นสะเทือนของรถยนต์ (Comfort evaluation)

การประเมินผลกระทบต่อความรู้สึกสะดวกสบายจากการสั่นสะเทือนของรถยนต์ซึ่งมิได้พิจารณาถึงผลจากการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นจากเครื่องยนต์สามารถนำผลการวิเคราะห์การสั่นสะเทือนจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาทำการประเมินตามเกณฑ์มาตรฐาน ISO 2631 โดยนำผลการวิเคราะห์ที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ผ่านเข้าสู่กระบวนการถ่วงน้ำหนักตามความถี่เพื่อให้ได้สัญญาณความเร่งแบบถ่วงน้ำหนักตามความถี่ (Frequency weighted acceleration, $a_w(t)$) และทำการคำนวณค่าความเร่งรากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองแบบถ่วงน้ำหนัก (Weighted r.m.s. acceleration value) ซึ่งในการประเมินจะต้องทำการตรวจสอบความเหมาะสมของวิธีที่ใช้ในการประเมินจากค่า Crest factor ตามที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 6.3 สำหรับผลการวิเคราะห์ค่า Crest factor สามารถแสดงได้ในตารางที่ 6.8



รูปที่ 6.23 แสดงตัวอย่างสัญญาณความเร่งของรถยนต์สำหรับการคำนวณค่า r.m.s. และ Crest

ตารางที่ 6.8 แสดงค่า Crest factor ของสัญญาณความเร่งรถยนต์ที่จอดติดในที่ 1, 2 และ 3 ภายใต้การจราจรปกติ

Car mass (kg)	Suspension frequency (Hz)											
	Car position 1				Car position 2				Car position 3			
	1.0	1.5	2.0	2.5	1.0	1.5	2.0	2.5	1.0	1.5	2.0	2.5
800	7.651	9.205	10.804	11.662	9.353	9.939	10.307	10.068	9.480	9.729	10.196	9.870
1400	7.568	8.988	11.032	12.045	9.259	9.742	9.964	10.327	9.380	9.523	9.789	10.582
2000	7.487	8.790	11.225	12.232	9.166	9.526	9.894	10.518	9.282	9.295	9.554	11.048
2600	7.409	8.605	11.364	12.266	9.073	9.298	10.043	10.732	9.186	9.078	9.401	11.255

จากตารางที่ 6.8 พบว่าค่า Crest factor ที่คำนวณได้จากสัญญาณความเร่งของรถยนต์มีค่าที่สูงกว่า 9 เป็นส่วนมาก ซึ่งการใช้วิธีพื้นฐานในการประเมิน (Basic evaluation) อาจเกิดความคลาดเคลื่อนขึ้นได้ ดังนั้นควรใช้วิธีการประเมินที่ได้นำเสนอไว้ในหัวข้อที่ 6.5 สำหรับการประเมินผลกระทบต่อความรู้สึกสะดักสะควบ นั่นคือการใช้ค่าความเร่งสูงสุด (Peak acceleration value) ซึ่งสามารถพิจารณาได้ตามตารางที่ 6.9

ตารางที่ 6.9 แสดงความเร่งสูงสุดของรถยนต์ที่จอดติดอยู่ในตำแหน่งที่ 1, 2 และ 3 (m/s²) ภายใต้การจราจรปกติ

Car mass (kg)	Suspension frequency (Hz)											
	Car position 1				Car position 2				Car position 3			
	1.0	1.5	2.0	2.5	1.0	1.5	2.0	2.5	1.0	1.5	2.0	2.5
800	0.064	0.101	0.247	0.456	0.101	0.197	0.388	0.754	0.114	0.232	0.461	0.719
1400	0.063	0.100	0.241	0.430	0.099	0.186	0.370	0.700	0.112	0.219	0.410	0.650
2000	0.063	0.099	0.234	0.406	0.097	0.176	0.352	0.643	0.111	0.207	0.374	0.779
2600	0.063	0.099	0.228	0.383	0.094	0.170	0.333	0.585	0.109	0.198	0.350	0.706

	not uncomfortable
	a little uncomfortable
	fairly uncomfortable
	uncomfortable

ค่าที่แสดงในตารางที่ 6.9 สามารถนำไปประเมินผลกระทบต่อความรู้สึกสะดวกสบายที่นำเสนอโดยมาตรฐาน ISO 2631 ตามตารางที่ 4.5 โดยผลการประเมินสามารถจำแนกได้เป็นแถบสีที่แรงงาในตาราง ซึ่งผลการประเมินพบว่ารถยนต์ที่จอดติดอยู่ที่ตำแหน่งกึ่งกลางช่วงของสะพานเกิดการสั่นสะเทือนจนทำให้เกิดความรู้สึกไม่สะดวกสบาย โดยเฉพาะรถยนต์ที่มีมวลน้อยแต่มีความถี่ช่วงล่างสูง อย่างไรก็ตามเกณฑ์ที่ใช้ในการประเมินผลกระทบต่อความรู้สึกสะดวกสบายนี้ไม่ได้คำนึงถึงระยะเวลาในการอยู่ภายใต้การสั่นสะเทือน ซึ่งไม่สามารถบอกได้ว่าผลกระทบต่อความรู้สึกสะดวกสบายจะส่งผลกระทบต่อสุขภาพของผู้ที่อยู่ในห้องโดยสารหรือไม่เมื่อระยะเวลาผ่านไปจนกระทั่งรถยนต์เคลื่อนตัวลงจากสะพาน

6.5 ผลการประเมินผลกระทบต่อสุขภาพจากการสั่นสะเทือนของรถยนต์ (The effect of vibration on health)

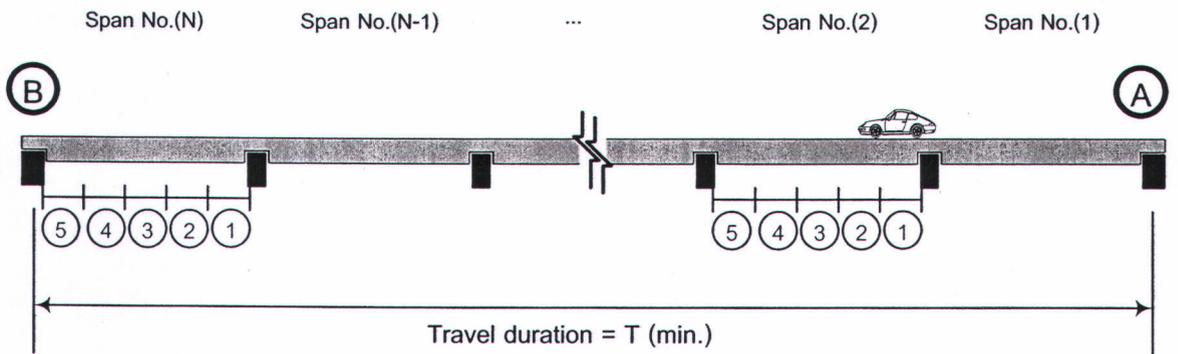
การจราจรที่หนาแน่นบนสะพานข้ามทางแยกเพียงในทิศทางหนึ่งทำให้สามารถรับรู้ได้ถึงการสั่นสะเทือนเกิดขึ้นกับผู้โดยสารในรถยนต์ที่จอดติดอยู่บนสะพานเมื่อในทิศทางตรงข้ามของการจราจรมียานพาหนะวิ่งผ่านด้วยความเร็วอันเนื่องมาจากการจราจรในทิศทางนั้นมีความคล่องตัว นอกจากนี้ยังส่งผลกระทบต่อความรู้สึกสะดวกสบายขึ้นจากการประเมินตามเกณฑ์มาตรฐาน ISO 2631-1 ซึ่งผลกระทบดังกล่าวอาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพขึ้นได้ในระยะยาว เนื่องจากสภาพการจราจรที่ติดขัดบนสะพานเหล็กข้ามทางแยกอาจต้องใช้ระยะเวลายาวนานถึงหนึ่งชั่วโมง ตามที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 6.3 ดังนั้นในหัวข้อนี้จะได้ทำการนำเสนอการประเมินผลกระทบต่อสุขภาพของผู้โดยสารที่เกิดจากการสั่นสะเทือนของรถยนต์ที่จอดติดอยู่บนสะพานซึ่งมิได้พิจารณาถึงผลจากการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นจากเครื่องยนต์ โดยหลักการและขั้นตอนของการประเมินตามเกณฑ์มาตรฐาน ISO 2631-1 ที่ได้นำเสนอด้วยแผนภาพในรูปที่ 4.4

จากตารางที่ 6.8 แสดงให้เห็นได้ว่าค่า Crest factor ตามตารางมีค่าที่สูงกว่า 9 เป็นส่วนมากดังนั้น เพื่อให้การประเมินเกิดความแม่นยำมากขึ้น จึงเลือกใช้ Additional method สำหรับการประเมินผลกระทบต่อสุขภาพของผู้โดยสารในรถยนต์ที่จอดติดอยู่บนสะพานเหล็กข้ามทางแยก ซึ่งในที่นี้เลือกใช้ค่า Vibration Dose หรือ *VDV*

6.5.1 การประยุกต์เพื่อคำนวณค่า Vibration Dose (*VDV*) ของสัญญาณความเร่งที่เกิดขึ้นกับรถยนต์ที่รวมผลของเวลาและการเปลี่ยนตำแหน่ง

สัญญาณความเร่งที่เกิดขึ้นกับรถยนต์จากการวิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์มีช่วงเวลาทั้งสิ้น 10 นาที่จากการใช้สัญญาณการสั่นไหวบริเวณจุดรองรับที่เลือกใช้เป็นตัวแทนสัญญาณทั้งหมดเป็นเวลา 10

นาที่ แต่ในความเป็นจริงช่วงเวลาในการเคลื่อนที่ผ่านสะพานเหล็กข้ามทางแยกตลอดทั้งสะพานมีความเป็นไปได้สูงที่จะยาวนานกว่า 10 นาทีอีกทั้งบางช่วงรถยนต์อาจมีการเคลื่อนที่ไปได้อย่างช้าๆ สลับกับการหยุดนิ่ง ทำให้เกิดผลจากการเปลี่ยนตำแหน่งของรถยนต์รวมอยู่ด้วย ดังนั้นเพื่อให้สามารถคำนวณค่า Vibration Dose (VDV) ของสัญญาณความเร่งที่เกิดขึ้นกับรถยนต์ในช่วงเวลาที่มากกว่า 10 นาทีขึ้นไปและมีผลของการเปลี่ยนตำแหน่งรวมอยู่ในกระบวนการวิเคราะห์นี้ จึงจำเป็นที่จะต้องทำการประยุกต์สมการที่ 4.7 สำหรับคำนวณค่า Vibration Dose (VDV)



รูปที่ 6.24 แสดงภาพตัดทางขวางของสะพานและตำแหน่งของรถยนต์ในแต่ละช่วงของสะพาน

จากสมการที่ 4.7 สามารถเปลี่ยนสมการการหาค่า Vibration Dose (VDV) ให้อยู่ในรูปสมการแบบไม่ต่อเนื่องทางเวลา (Discrete time system) ได้ดังสมการที่ 6.1

$$VDV = \left[\sum_{i=1}^{t_n} a_w^4(t) \cdot \Delta T \right]^{\frac{1}{4}} \tag{6.1}$$

โดยที่ $a_w(t)$ คือ ความเร่งที่ได้จากกระบวนการกรองสัญญาณแบบถ่วงน้ำหนัก (Weighted acceleration) ในหน่วย m/s^2

t_n คือ ระยะเวลาทั้งหมดของการอยู่ภายใต้การสั่นสะเทือน ในหน่วยวินาที

ΔT คือ ช่วงคาบของการสั่นสะเทือนระหว่างจุดของเวลาใดๆ (sampling period) ในหน่วยวินาที

ทั้งนี้เพื่อไม่ให้เกิดความซับซ้อนขึ้นในการสังเคราะห์สมการที่ใช้ในการหาค่า a_w จึงได้สร้างเงื่อนไขสำหรับการวิเคราะห์โดยกำหนดให้ค่า Vibration Dose (VDV) มีค่าคงที่ทุกๆ 1 นาทีของสัญญาณ จากสมการที่ 4.8 หมายถึงสมการคำนวณค่า Vibration Dose (VDV) ของตำแหน่งรถยนต์คันที่ j ดังนั้นค่า Vibration Dose (VDV) ยาวนาน 10 นาทีสามารถคำนวณได้โดยอาศัยสมการที่ 4.8 ดังนี้



$$VDV_{10\min}^{(j)} = \left[\sum_{r=1}^{10} [VDV_{1\min}^{(j)}]_r \right]^{\frac{1}{4}} \quad (6.2)$$

หรือ

$$VDV_{10\min}^{(j)} = \sqrt[4]{\frac{10}{F_s} \left(\sum_{t_i=1}^{t_n=10} a_{w,eq}^4(t_i) \right)} \quad (6.3)$$

โดยที่ $a_{w,eq}(t_i)$ คือ ความเร่งที่ได้จากกระบวนการกรองสัญญาณแบบถ่วงน้ำหนัก (Weighted acceleration) ต่อหนึ่งนาที่เทียบเท่าที่ตำแหน่ง j

ดังนั้นเมื่อแทนสมการที่ 6.1 จะสามารถหาผลรวมกำลังสี่ของค่าความเร่งที่ได้จากกระบวนการกรองสัญญาณแบบถ่วงน้ำหนัก (Weighted acceleration) ต่อหนึ่งนาที่เทียบเท่าที่ตำแหน่ง j ใดๆ; $a_{w,eq}(t_i)$ ได้ดังต่อไปนี้

$$\sum_{t_i=1}^{t_n} a_{w,eq}^4(t_i) = \sqrt[4]{\frac{1}{10} \left(\sum_{t_i=1}^{t_n} a_w^4(t_i) \right)} \quad (6.4)$$

เมื่อพิจารณาผลจากการเปลี่ยนตำแหน่งของรถยนต์จากการเคลื่อนที่ไปอย่างช้าๆ สลับการหยุดนิ่งแล้วสามารถเขียนความสัมพันธ์ของค่า VDV ได้ใหม่ดังสมการที่ 6.5

$$VDV = \left[\sum_{i=1}^{N_s} \sum_{j=1}^5 \sum_{t_i=1}^{t_n} \left[\left\{ a_{w,eq}^4(t_i) \cdot \left(\frac{1}{F_s} \right) \right\}_j \Delta T_j \right]_i \right]^{\frac{1}{4}} \quad (6.5)$$

โดยที่ $a_w(t_i)$ คือ ความเร่งที่ได้จากกระบวนการกรองสัญญาณแบบถ่วงน้ำหนัก (Weighted acceleration) ต่อหนึ่งนาที่ที่ตำแหน่ง j

N_s คือ จำนวนช่วงทั้งหมดของสะพาน

F_s คือ ค่าความถี่ของสัญญาณความเร่ง (sampling frequency)

t_i และ t_n คือ เวลาเริ่มต้นและสิ้นสุดในการเคลื่อนที่ผ่านสะพานของรถยนต์ตามลำดับ

ΔT_j คือ ช่วงระยะเวลาในการเปลี่ยนตำแหน่งของรถยนต์ในแต่ละช่วงความยาวของสะพาน

$$\text{มีค่าเท่ากับ } \frac{T}{5N}$$

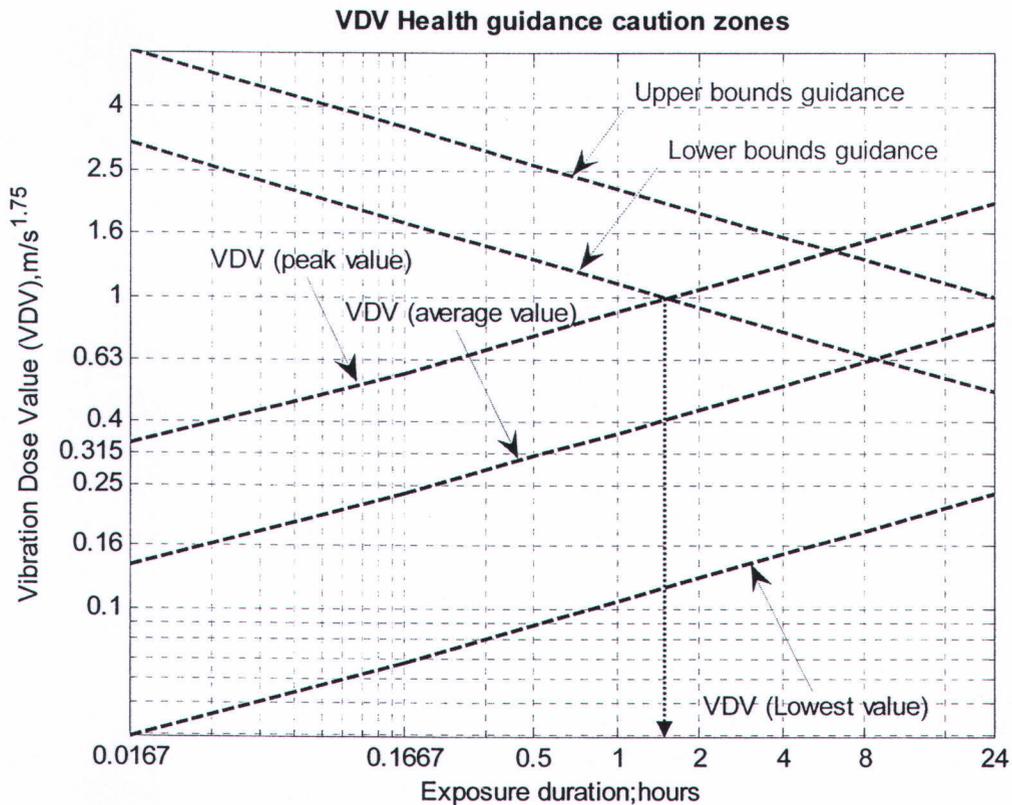
แต่เนื่องจากค่า VDV ของการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นกับรถยนต์ในแต่ละช่วงของสะพานมีค่าที่เท่ากันเมื่อเทียบตำแหน่งของรถยนต์ในแต่ละตำแหน่ง โดยมีจำนวนช่วงความยาวสะพานทั้งสิ้น N_s ช่วง ดังนั้นจากสมการที่ 6.5 สามารถเขียนได้ใหม่ดังสมการที่ 6.6

$$VDV = \left[N_s \cdot \sum_{j=1}^5 \sum_{t_i=1}^{t_n} \left[\left\{ a_{w,eq}^4(t_i) \cdot \left(\frac{1}{F_s} \right) \right\}_j \frac{T}{5N_s} \right] \right]^{\frac{1}{4}} \tag{6.6}$$

หรือ

$$VDV = \left[\frac{T}{5F_s} \cdot \sum_{j=1}^5 \sum_{t_i=1}^{t_n} \left[\left\{ a_{w,eq}^4(t_i) \right\}_j \right] \right]^{\frac{1}{4}} \tag{6.7}$$

จากสมการที่ 6.7 หมายถึงค่า Vibration Dose (VDV) ทั้งหมดตลอดการเคลื่อนที่ไปตามตำแหน่งใดๆ j บนสะพาน เมื่อกำหนดให้เวลาทั้งหมดของการเคลื่อนที่ผ่านสะพานเท่ากับ T นาที ซึ่งจากผลการประเมินสามารถแสดงได้ดังแผนภาพในรูปที่ 6.7



รูปที่ 6.25 แผนภาพแสดงการประเมินผลกระทบต่อสุขภาพจากการสั่นสะเทือนตามเกณฑ์มาตรฐาน ISO 2631-1

จากแผนภาพแสดงการประเมินผลกระทบต่อสุขภาพจากการสั่นสะเทือนตามเกณฑ์มาตรฐาน ISO 2631-1 ในรูปที่ 6.7 แสดงให้เห็นว่าค่า VDV ของการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นกับรถยนต์มีแนวโน้มสูงขึ้นเรื่อยๆ เมื่อรถยนต์ต้องจอดติดอยู่บนสะพานนานขึ้น ในขณะที่เกณฑ์การพิจารณาผลกระทบต่อสุขภาพตามมาตรฐานกลับมีแนวโน้มที่ลดลงเรื่อยๆ เมื่อเวลายาวนานขึ้น ซึ่งมีความสอดคล้องกับความเป็นจริงเกี่ยวกับความสามารถในการอยู่ภายใต้

ของมนุษย์จะลดลงเรื่อยๆเมื่อเวลาผ่านไปทำให้เกิดเหตุสำหรับการประเมินจะต้องถูกควบคุมให้มีระดับของเกณฑ์ที่ต่ำลง ในขณะที่ระดับความรุนแรงต่อความรู้สึกของมนุษย์จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป และจากผลการประเมินพบว่าภาระสั่นไหวของสะพานที่เกิดขึ้นจะส่งผลกระทบต่อสุขภาพของผู้โดยสารซึ่งอยู่ในรถยนต์ที่จอดติดอยู่บนสะพานในทิศทางที่การจราจรหนาแน่นเมื่อใช้เวลาในการเคลื่อนที่ผ่านสะพานประมาณ 1 ชั่วโมง 36 นาที (1.60 ชั่วโมง)

6.6 ผลการประเมินผลกระทบต่อภาวะป่วยจากการเคลื่อนไหว (Motion Sickness)

การประเมินผลกระทบจากการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นกับรถยนต์โดยสารที่จอดติดอยู่บนสะพานสามารถทำได้โดยการพิจารณากรณีที่การสั่นสะเทือนของรถยนต์อยู่ในช่วงความถี่ระหว่าง 0.1 ถึง 0.5 Hz ซึ่งเป็นช่วงความถี่ที่ระบุไว้ในมาตรฐาน ISO 2631 สำหรับการประเมินผลกระทบที่ทำให้เกิดภาวะป่วยจากการเคลื่อนไหว จากตารางที่ 6.2 ค่าความถี่ช่วงล่างของรถยนต์ที่ใช้ในการวิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์นี้มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.5 Hz จึงสามารถนำผลการวิเคราะห์การสั่นสะเทือนของรถยนต์ในตำแหน่งที่ 1 และ 5 ในกรณีนี้มาทำการประเมินผลกระทบที่ทำให้เกิดภาวะป่วยจากการเคลื่อนไหวตามหลักการที่นำเสนอไว้ในหัวข้อที่ 4.6 เนื่องจากเป็นตำแหน่งที่อยู่ใกล้กับจุดรองรับทั้งสองข้างซึ่งเกิดการเคลื่อนที่แบบปราศจากการตัด (Rigid body motion) ด้วยความถี่ต่ำในสภาวะเริ่มต้นก่อนที่จะเกิดการตัดในโหมดหลักของการสั่นไหวในสภาวะต่อมา ทำให้มีความเป็นไปได้ในการเกิดผลกระทบต่อรถยนต์โดยสารที่อยู่ในตำแหน่งทั้งสองนี้มากกว่าตำแหน่งอื่น โดยค่า MSDV ในการวิเคราะห์นี้ได้ใช้ค่าการถ่วงน้ำหนักตามย่านความถี่ W_f ที่ความถี่ 0.5 Hz ซึ่งตรงกับค่าตัวประกอบการถ่วงน้ำหนักเท่ากับ 0.224 ตามตารางที่ 3 ในมาตรฐาน ISO 2631-1 [6] โดยถือเป็นการวิเคราะห์ในเชิงอนุรักษ์เนื่องจากค่าตัวประกอบการถ่วงน้ำหนักที่ความถี่สูงกว่า 0.5 Hz จะมีค่าที่ต่ำกว่า 0.224 จนมีค่าเข้าใกล้ศูนย์เมื่อความถี่มีค่าเท่ากับ 4 Hz ดังนั้นค่า MSDV ในรูปร้อยละจากการคูณด้วยค่าคงที่ K_m (มีค่าเท่ากับ 1/3) สามารถแสดงไว้ในตารางที่ 6.10

ตารางที่ 6.10 แสดงค่า $K_m \cdot MSDV$ ในรูปแบบร้อยละ ในกรณีที่รถยนต์มีความถี่ช่วงล่างเท่ากับ 0.5 Hz

Car pos.	Car mass (kg)										
	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2600
[1]	0.320	0.320	0.320	0.320	0.319	0.319	0.319	0.319	0.318	0.318	0.318
[5]	0.364	0.363	0.363	0.363	0.363	0.363	0.362	0.362	0.362	0.362	0.362

จากตารางที่ 6.10 พบว่าค่าที่แสดงในตารางมีค่าร้อยละความเป็นไปได้ที่ต่ำมาก โดยสามารถเปรียบเทียบได้กับจำนวนผู้โดยสารที่อยู่ภายในห้องโดยสารรถยนต์ที่จอดติดอยู่บนสะพานจำนวน 1000 คนจะมีผู้โดยสารน้อยกว่า 4 คนที่ได้รับผลกระทบในภาวะป่วยจากการเคลื่อนไหวถึงแม้ว่าจะเป็นค่าร้อยละที่เกิดจากการวิเคราะห์ในเชิงอนุรักษ์ ซึ่งสอดคล้องกับความเป็นจริงที่ไม่ปรากฏการร้องเรียนอย่างเป็นทางการจากผู้โดยสารสะพานข้ามทางแยกถึงผลกระทบจากการสั่นไหวของสะพานจนนำไปสู่อาการป่วยในลักษณะที่เกิดอาการคลื่นไส้และอาเจียน

อย่างไรก็ตามอาการคลื่นไส้และอาเจียนของผู้ใช้บริการสะพานข้ามทางแยกอาจเกิดขึ้นได้บ้างจากเงื่อนไขในบางสภาวะ อาทิเช่น สภาพร่างกายที่ไม่ปรกติจากอาการป่วยอื่นๆ หรือสภาวะทางอารมณ์ที่ก่อให้เกิดความเครียดจากสภาพการจราจรที่ติดขัดบนสะพานข้ามทางแยกเป็นการกระตุ้นจนนำไปสู่อาการคลื่นไส้ อาเจียน เป็นต้น ซึ่งสาเหตุที่กล่าวมานี้มิใช่ผลกระทบที่เกิดจากการสั่นไหวของสะพาน แต่เกิดจากตัวบุคคลที่มีสภาพทางร่างกายที่แตกต่างกัน

6.7 ผลกระทบต่อผู้โดยสารในรถยนต์ที่จอดติดอยู่บนสะพานข้ามทางแยกจากการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้น

ผลการวิเคราะห์การสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นกับผู้โดยสารที่อยู่ภายในรถยนต์ภายใต้การจราจรที่หนาแน่นบนสะพานหลักข้ามทางแยกจากการประเมินโดยเกณฑ์มาตรฐาน ISO 2631-1 ดังที่ได้นำเสนอไว้ในหัวข้อที่ 6.4 ถึง 6.6 สามารถสรุปได้ว่าการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นภายในรถยนต์ภายใต้การจราจรที่หนาแน่นบนสะพานหลักข้ามทางแยกส่งผลกระทบต่อการรับรู้ได้ถึงถึงการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นซึ่งมีความสอดคล้องกันกับการร้องเรียนของผู้ใช้สะพานข้ามทางแยกต่อกรุงเทพมหานครถึงการสั่นสะเทือนนี้มาตลอด นอกจากนี้ยังได้ทำการประเมินผลกระทบต่อความรู้สึกสะดวกสบายของผู้โดยสารที่อยู่ในรถยนต์ที่จอดติดอยู่บนสะพานข้ามทางแยก ซึ่งพบว่ามีความสัมพันธ์ของรถยนต์ในบางกรณีเกิดผลกระทบต่อความรู้สึกจนถึงระดับที่ทำให้เกิดความรู้สึกไม่สะดวกสบายขึ้นได้ และเมื่อขยายผลในการประเมินออกไปเพื่อศึกษาถึงผลกระทบต่อสุขภาพ พบว่าความรู้สึกไม่สะดวกสบายต่อผู้โดยสารในรถยนต์ที่จอดติดอยู่บนสะพานจะเริ่มมีผลกระทบเมื่อระยะเวลาในการอยู่ภายใต้การสั่นสะเทือนประมาณ 1 ชั่วโมง 36 นาที (1.60 ชั่วโมง) ขึ้นไป ทั้งนี้จากการประเมินทำให้สามารถสรุปได้ว่าการสั่นไหวของสะพานจะส่งผลกระทบต่อการรับรู้ของผู้โดยสารถึงการสั่นสะเทือนกล่าวคือ การสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นสามารถรับรู้ได้โดยผู้โดยสารในรถยนต์นอกจากนี้ยังมีแนวโน้มที่จะส่งผลกระทบต่อความรู้สึกสะดวกสบาย และอาจมีความเป็นไปได้ที่การสั่นไหวของสะพานจะส่งผลกระทบต่อสุขภาพของผู้โดยสารภายในรถยนต์ที่จอดติดอยู่บนสะพานในทิศทางที่การจราจรหนาแน่น แต่โอกาสของการเกิดผลกระทบต่อสุขภาพมีความเป็นไปได้น้อย นอกจากนี้ยังมีความเป็นไปได้เล็กน้อยมากที่การสั่นไหวของสะพานจะส่งผลกระทบต่อผู้ให้บริการสะพานข้ามทางแยกจนทำให้เกิดภาวะป่วยจากการเคลื่อนไหว