

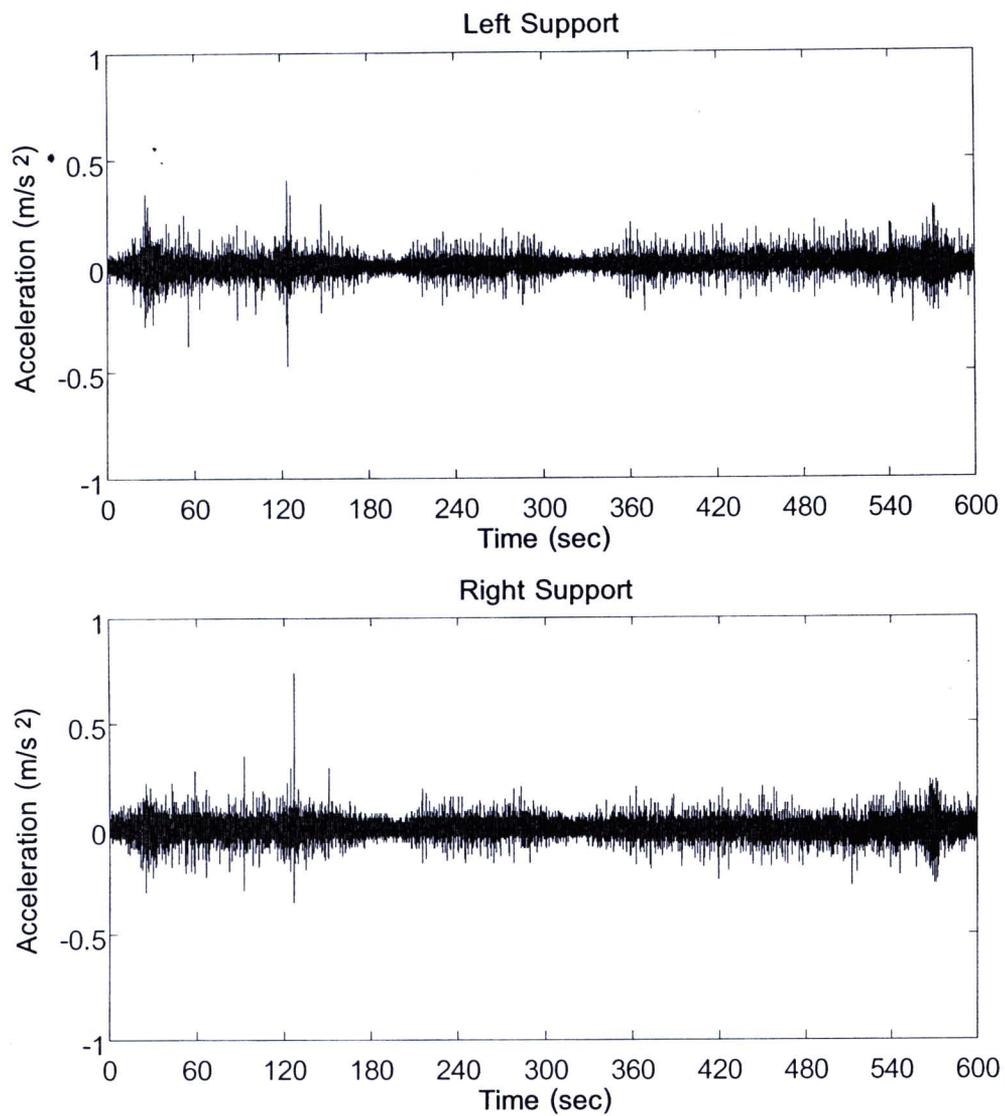
บทที่ 6

ผลการวิเคราะห์และการประเมินผลกระทบจากการสั่นสะเทือนของรถยนต์ ภายใต้การกระตุ้นจากสภาพการจราจรจริงตามมาตรฐาน ISO 2631-1

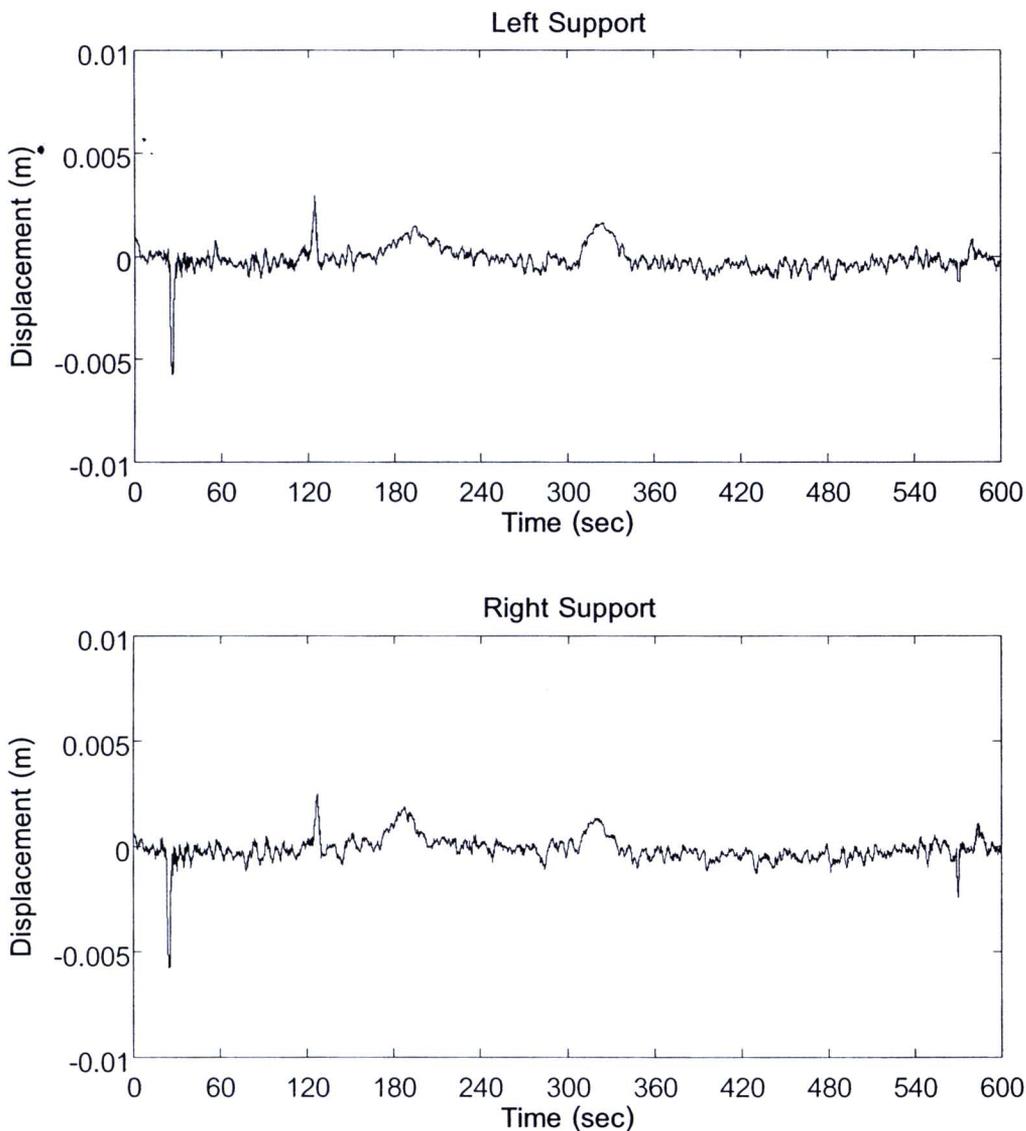
6.1 สัญญาณการกระตุ้นจากสภาพการจราจรจริง

ในบทที่ผ่านมาได้สร้างสัญญาณการกระตุ้นแบบฮาร์โมนิคขึ้นที่ฐานรองเพื่อใช้ศึกษาพฤติกรรมเชิงพลศาสตร์ของรถยนต์ที่มีคุณสมบัติเชิงพลศาสตร์ในรูปแบบต่างๆ โดยมีเป้าหมายเพื่อให้เกิดความเข้าใจในเชิงพฤติกรรมมากยิ่งขึ้น อย่างไรก็ตามสัญญาณการกระตุ้นที่ถูกสร้างขึ้นนั้นจะถูกสมมติมีลักษณะเป็นแบบฮาร์โมนิคจึงมีความแตกต่างกันกับข้อมูลของสัญญาณซึ่งถูกตรวจวัดจากสภาพการจราจรจริงที่มีลักษณะของสัญญาณเป็นแบบสุ่ม เพราะฉะนั้นพฤติกรรมเชิงพลศาสตร์ของรถยนต์ภายใต้การกระตุ้นจากสภาพการจราจรจริง อาจมีความแตกต่างกันกับการใช้สัญญาณที่ถูกสร้างขึ้นและได้ทำการศึกษาในบทที่ 5 อย่างมีนัยสำคัญ

ในการประเมินผลการสั่นสะเทือนของรถยนต์ที่อาจส่งผลกระทบต่อผู้ใช้โดยสารตามมาตรฐาน ISO จำเป็นต้องใช้สัญญาณการกระตุ้นจากสภาพการจราจรจริงในการวิเคราะห์ผ่านแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยจะทำการศึกษาเฉพาะสะพานช่วงสั้น 25 เมตรเท่านั้น เพราะจากการศึกษาเชิงพฤติกรรมในบทที่ 4 ที่ผ่านมาทำให้ทราบว่าพฤติกรรมการสั่นสะเทือนของรถยนต์ที่จอดติดบนสะพานช่วงสั้นและช่วงยาวนั้นมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน เพียงแต่ในกรณีของสะพานช่วงยาว ความรุนแรงของการสั่นสะเทือนของรถยนต์จะต่ำกว่าในกรณีของสะพานช่วงสั้น ทั้งนี้ข้อมูลของสัญญาณการเคลื่อนตัวของฐานรองรับสะพานจริงแห่งหนึ่งใน กทม. ซึ่งมีช่วงยาว 25 m ที่มีการบันทึกเป็นช่วงเวลาที่มียอดจอดติดอยู่บนสะพานที่ตรวจวัดโดยตัดเอาสัญญาณในช่วงเวลา 10 นาที (ธนวรรณ โสภณมหาผล, 2010) เพื่อใช้เป็นตัวแทนของสัญญาณทั้งหมด โดยลักษณะของสัญญาณดังกล่าวได้แสดงไว้ตามรูปที่ 6.1 ซึ่งเป็นสัญญาณของความเร่งและการกระจัดที่ฐานรองรับสะพานทั้งสองด้าน



(ก) สัญญาณความเร่งที่ฐานรอง



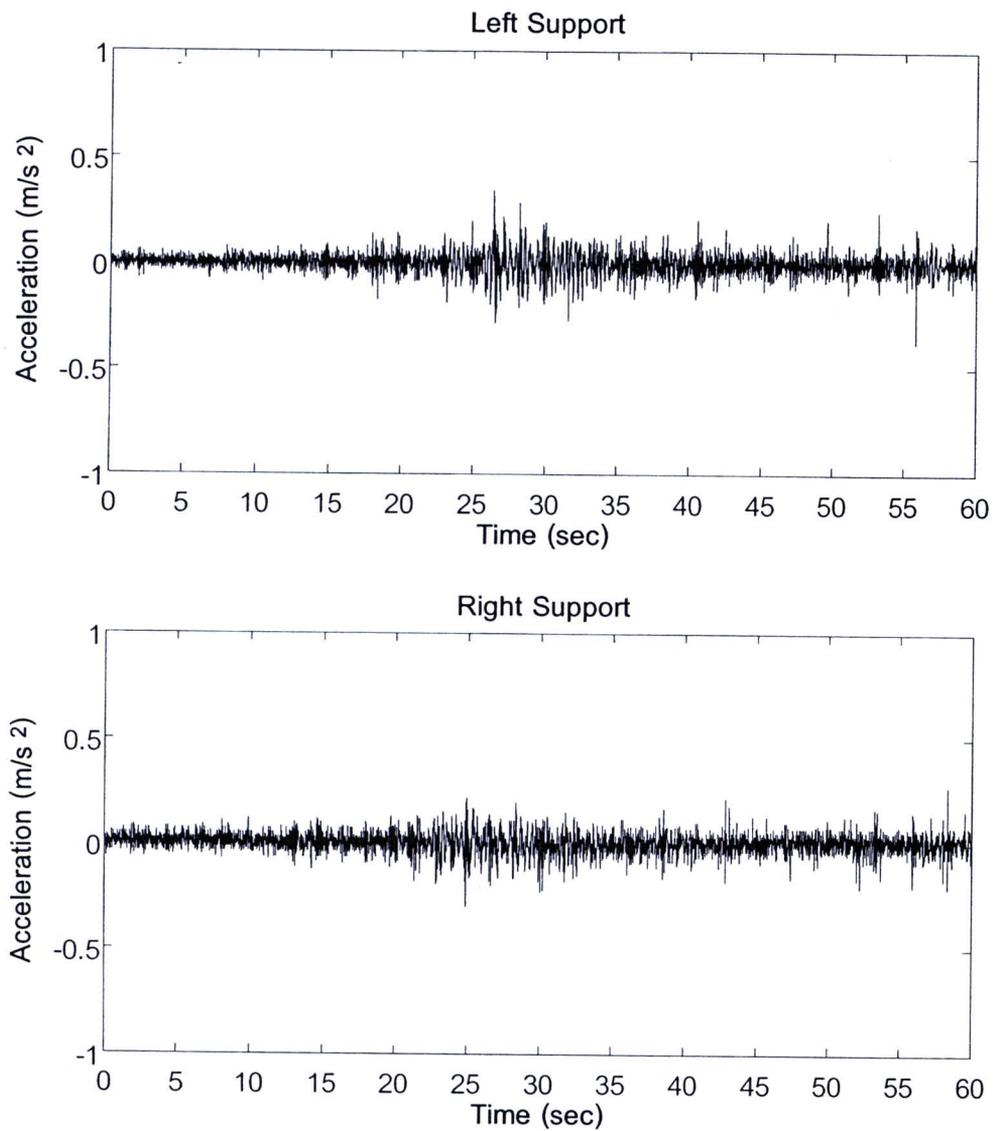
(ข) สัญญาณการกระจัดที่ฐานรอง

รูปที่ 6.1 ตัวแทนของสัญญาณการกระตุ้นในช่วงเวลา 10 นาที ของสะพานช่วงสั้น 25 เมตร (ก) สัญญาณความเร่งที่ฐานรอง และ (ข) สัญญาณการกระจัดที่ฐานรอง

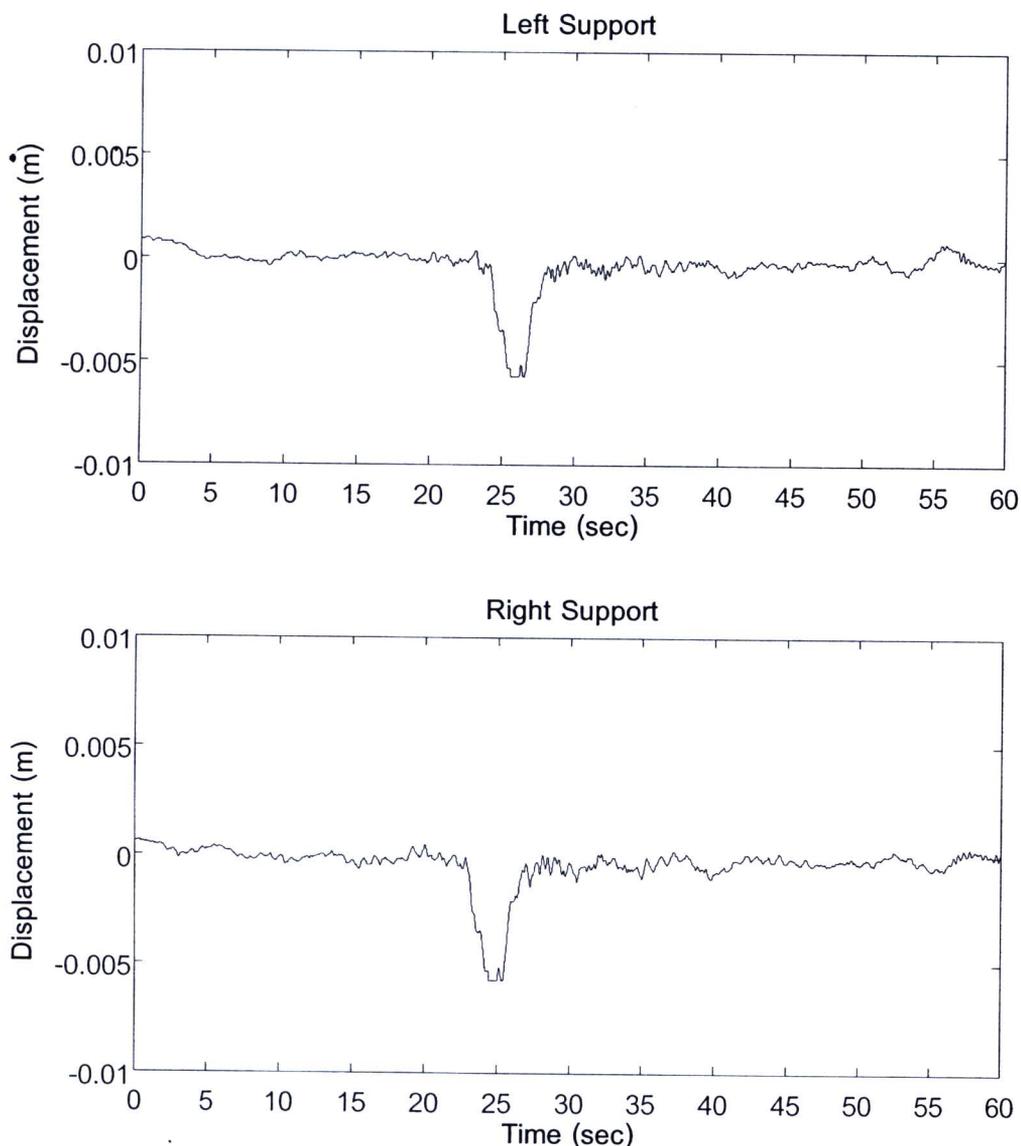
6.2 ผลตอบสนองเชิงพลศาสตร์

ในหัวข้อนี้จะทำการศึกษาพฤติกรรมเชิงพลศาสตร์ของสะพานและรถยนต์ทั้งในกรณีที่ติดและไม่ติดมวลหน่วงปรับค่าที่ตำแหน่งกึ่งกลางใต้ท้องสะพานภายใต้สัญญาณการกระตุ้นจากสภาพการจราจรจริง โดยจะคัดเลือกสัญญาณที่มีความเด่นชัดในช่วงเวลา 1 นาทีจากรูปที่ 6.1 มาใช้ในการวิเคราะห์ผลตอบสนองการสั่นสะเทือน โดยผลตอบสนองการสั่นสะเทือนที่ได้จะนำเสนอ

ทั้งในโดเมนของเวลาที่ซึ่งอยู่ในรูปแบบของ Fast Fourier Transform (FFT) และในโดเมนของเวลา เพื่อให้เกิดความเข้าใจของพฤติกรรมการสั่นสะเทือนได้อย่างครอบคลุม



(ก) สัญญาณความเร่งที่ฐานรอง

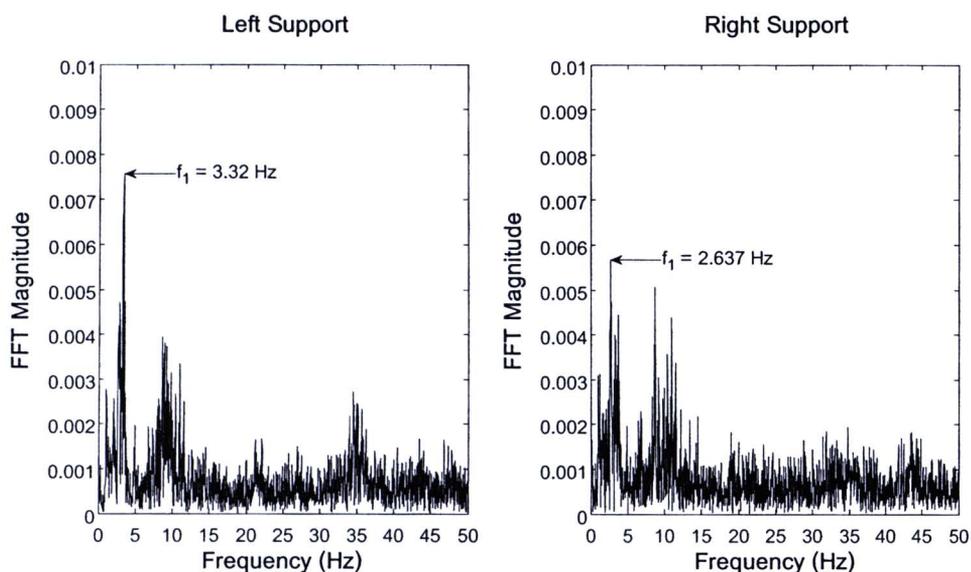


(ข) สัญญาณการกระจัดที่ฐานรอง

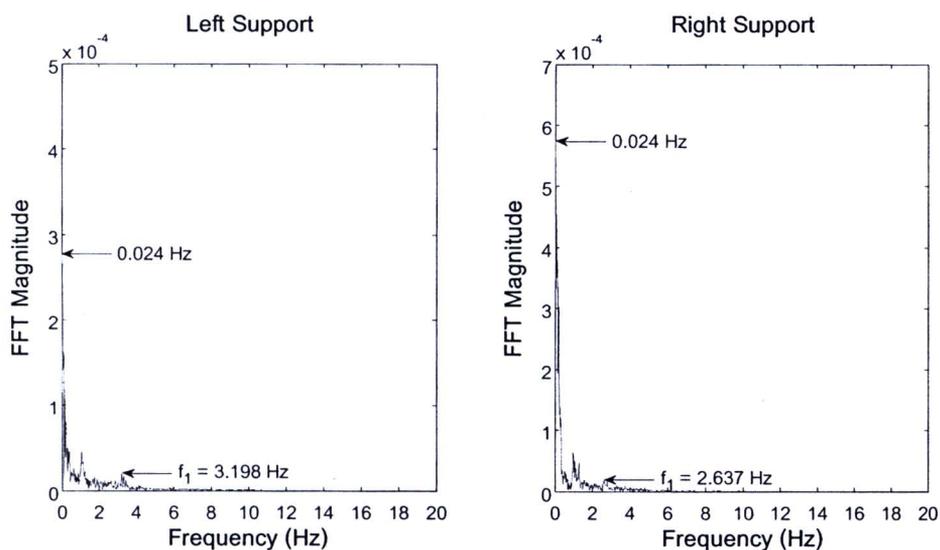
รูปที่ 6.2 ตัวอย่างของสัญญาณการกระตุ้นในช่วงเวลา 1 นาที ของสะพานช่วงสั้น 25 เมตร (ก) สัญญาณความเร่งที่ฐานรอง และ (ข) สัญญาณการกระจัดที่ฐานรอง

เมื่อนำสัญญาณความเร่งที่เด่นชัดในช่วงเวลา 1 นาทีจากรูปที่ 6.2 มาสร้างกราฟ FFT ดังแสดงในรูปที่ 6.3 พบว่าความถี่การกระตุ้นเนื่องจากความเร่งที่ฐานรองที่ทำให้ผลตอบสนองของกราฟ FFT ปรากฏ Peak ที่เด่นชัดที่สุดของฐานรองด้านซ้ายและด้านขวามีค่าเท่ากับ 3.32 Hz และ 2.637 Hz ตามลำดับดังรูปที่ 6.3(ก) โดยเป็นความถี่ธรรมชาติของคานขวางซึ่งมีค่าไม่เกินกว่าความถี่ธรรมชาติของสะพานในโหมดพื้นฐาน ($f_b = 3.51$ Hz) เพราะฉะนั้นจึงมีแนวโน้มที่สะพานจะเกิดการสั่นที่รุนแรงขึ้นได้จนส่งผลให้รถยนต์ที่จอดติดบนสะพานเกิดการสั่นสะเทือนสูง

เช่นเดียวกัน และการสั่นสะเทือนของสะพานก็มีโอกาสเป็นไปได้ในรูปแบบโหมดการสั่นที่ 1 เท่านั้น นอกจากนี้ความเป็นไปได้ที่มวลหน่วยปรับค่าจะสามารถควบคุมการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นยังมีอยู่ เนื่องจากได้ถูกออกแบบไว้ให้มีความถี่ใกล้เคียงกับความถี่ธรรมชาติพื้นฐานของสะพาน



(ก)



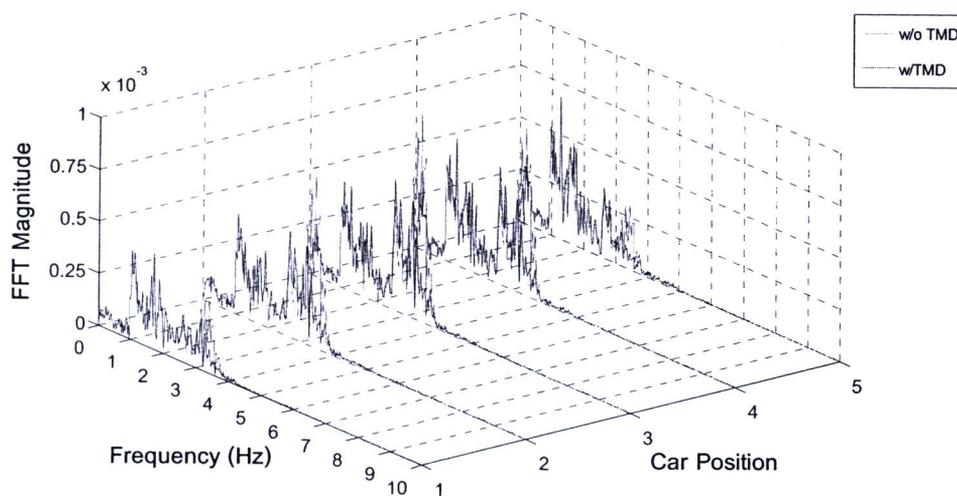
(ข)

รูปที่ 6.3 กราฟผลตอบสนอง FFT ของสัญญาณการกระตุ้นในช่วงเวลา 1 นาที ของสะพานช่วงสั้น 25 เมตร (ก) สัญญาณความถี่พื้นฐานรอง และ (ข) สัญญาณการกระจัดพื้นฐานรอง

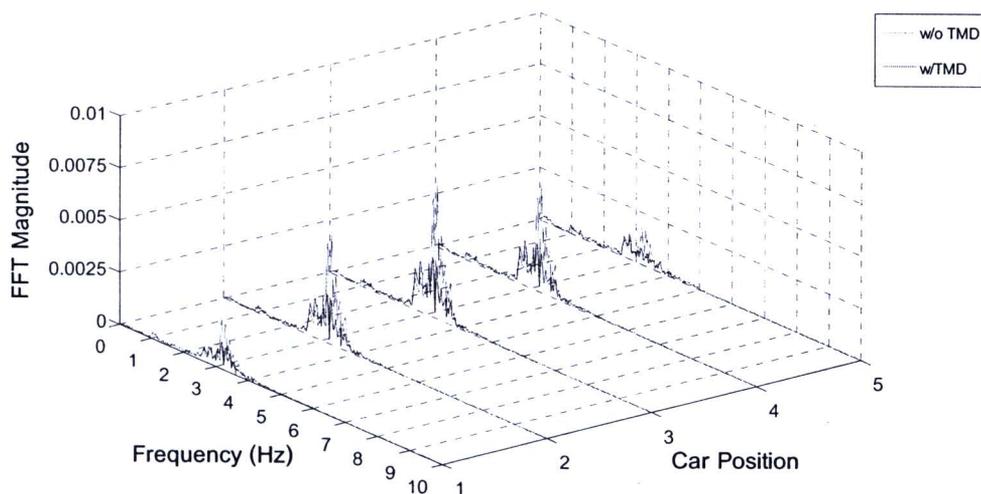


อย่างไรก็ตามในรูปที่ 6.3(ข) จะเห็นว่าความถี่เด่นชัดที่ได้จากสัญญาณการกระจัดที่ฐานรองด้านซ้ายและด้านขวาเท่ากับ 0.024 Hz ซึ่งเป็นความถี่ต่ำมีผลทำให้สะพานเกิดการเคลื่อนที่แบบปราคาจากการดัด (Rid body motion) แต่ความถี่ธรรมชาติของคานขวางในกรณีนี้ (3.198 Hz และ 2.637 Hz) ไม่โดดเด่นเหมือนกรณีที่ได้จากสัญญาณความเร่งที่ฐานรอง

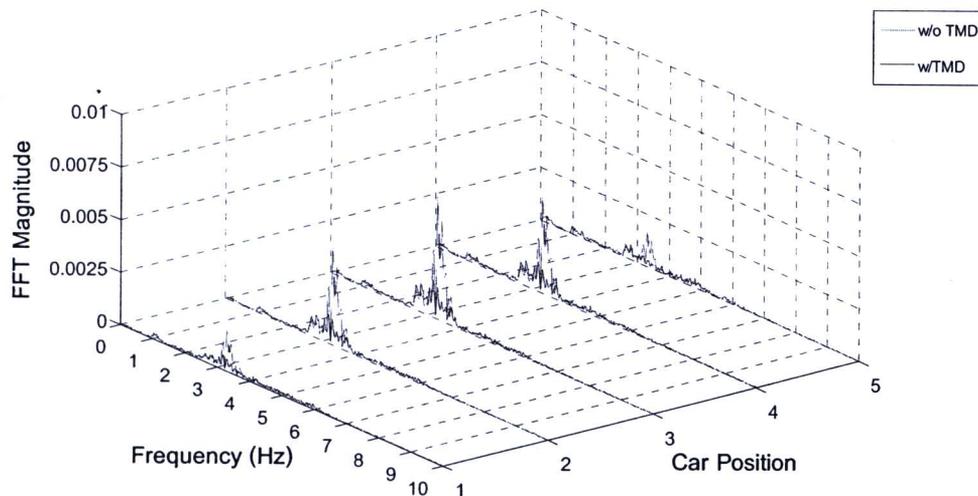
ต่อไปจะทำการวิเคราะห์ผลตอบสนองการสั่นสะเทือนของรถยนต์และสะพานโดยใช้สัญญาณการกระตุ้นตามรูปที่ 6.2 ทั้งนี้คุณสมบัติต่างๆ ของสะพาน รถยนต์และมวลหน่วงปรับค่าจะใช้ตามตารางที่ 5.1, 5.2 และ 5.3 ตามลำดับ



(ก) $f_c = 0.5 f_b$



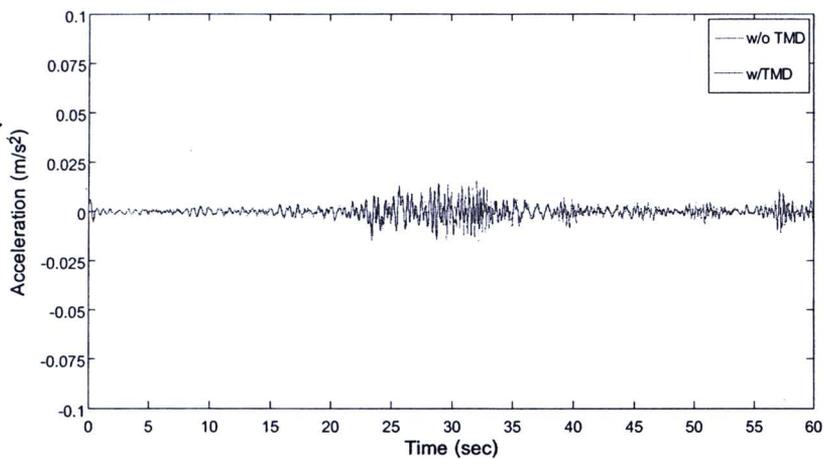
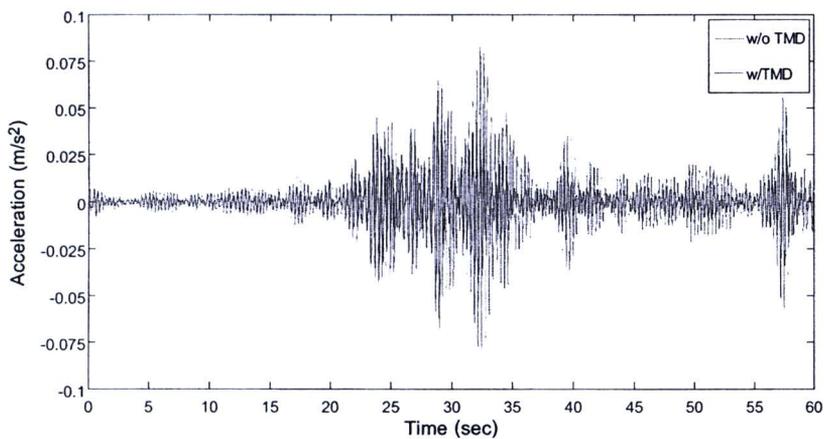
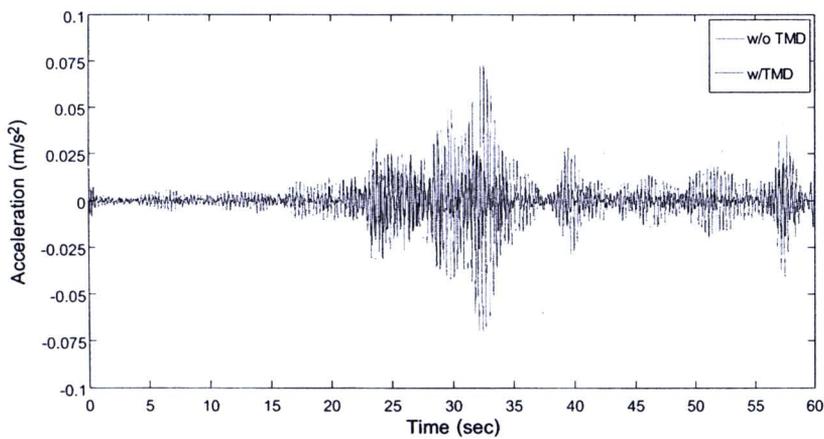
(ข) $f_c = f_b$

(ค) $f_c = 1.5 f_b$

รูปที่ 6.4 ผลตอบสนอง FFT ของความเร่งของรถยนต์ด้วยการใช้สัญญาณการจราจรจริง (ก) $f_c = 0.5 f_b$ (ข) $f_c = f_b$ และ (ค) $f_c = 1.5 f_b$

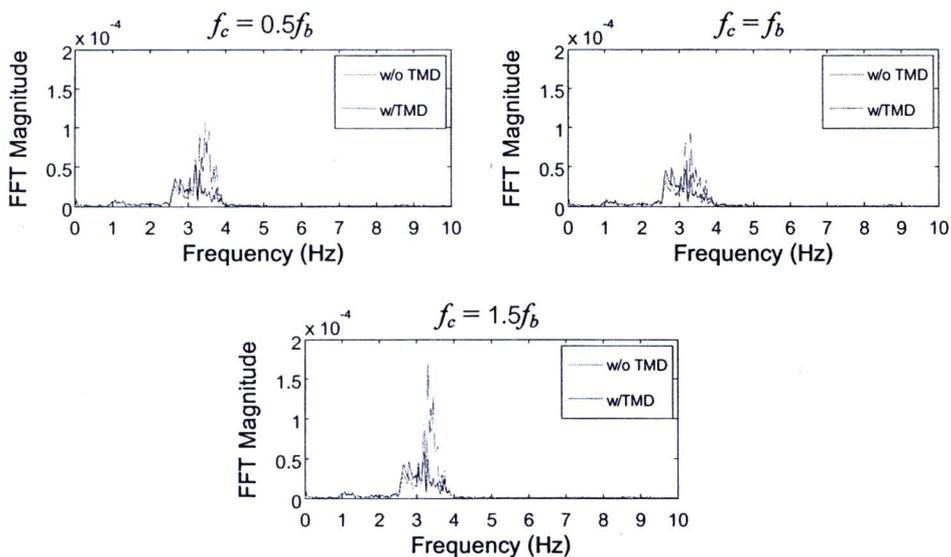
หากพิจารณาระบบสะพาน-รถยนต์ตามรูปที่ 6.4 ในโดเมนของความถี่พบว่า ผลตอบสนองการสั่นสะเทือนของรถยนต์จะปรากฏ Peak ที่เด่นชัดมากบริเวณย่านความถี่การกระตุ้นใกล้เคียงกับความถี่ธรรมชาติของสะพาน และนอกจากบริเวณย่านความถี่นี้แล้ว ยังปรากฏ Peak ที่เด่นชัดในบริเวณย่านความถี่การกระตุ้นเข้าใกล้ความถี่ของรถยนต์อีกด้วยซึ่งเป็นกรณีของรถยนต์ที่มีความถี่ต่ำ ($f_c < f_b$) ตามรูปที่ 6.4 (ก) อย่างไรก็ตาม การสั่นสะเทือนของตัวรถจะเกิดขึ้นสูงสุดบริเวณความถี่การกระตุ้นใกล้เคียงกับความถี่ธรรมชาติของสะพานซึ่งเป็นผลมาจากการกำทอนระหว่างสะพานและการกระตุ้นที่ฐานรอง ทั้งนี้รถยนต์ที่มีความถี่เท่ากับความถี่ธรรมชาติของสะพานและจอดอยู่บริเวณตำแหน่งกึ่งกลางสะพานมีแนวโน้มที่จะเกิดการสั่นสะเทือนมากที่สุด

เมื่อทำการติดตั้งมวลหน่วงปรับค่าเข้าไปที่บริเวณกึ่งกลางช่วงใต้ท้องสะพานแล้วพบว่า สามารถควบคุมการสั่นสะเทือนของรถยนต์ได้เป็นอย่างมากเฉพาะย่านความถี่การกระตุ้นใกล้เคียงกับความถี่ธรรมชาติของสะพานเท่านั้น ส่วนบริเวณย่านความถี่อื่นมวลหน่วงปรับค่าไม่สามารถช่วยลดผลการสั่นสะเทือนลงได้

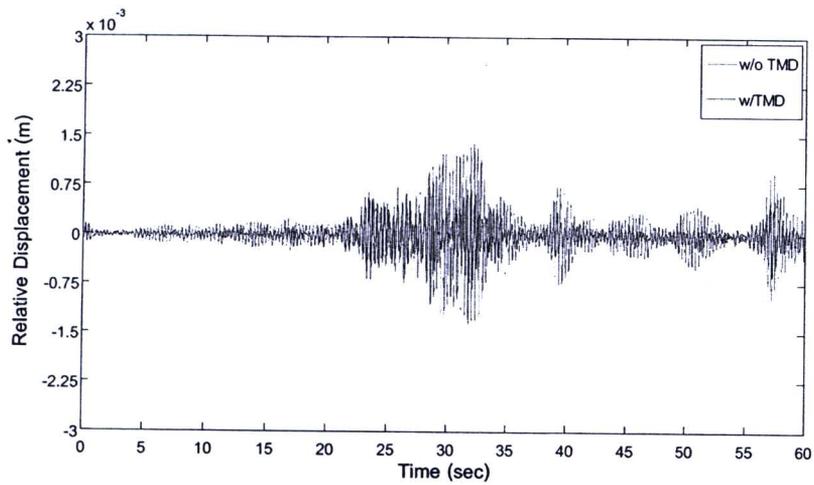
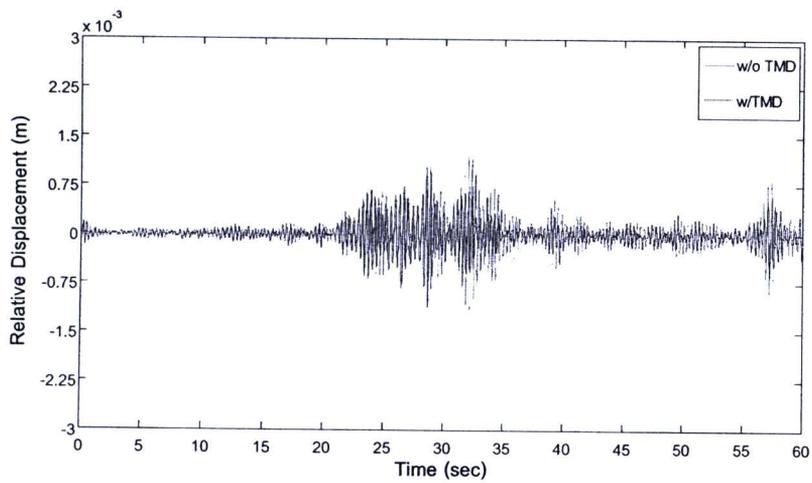
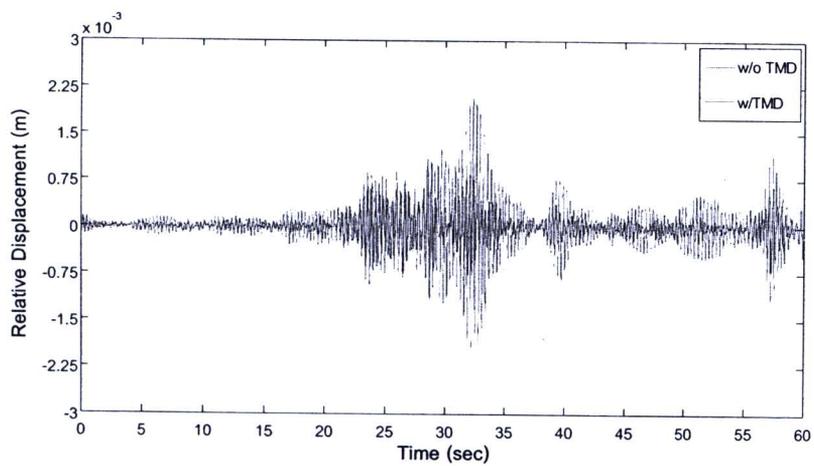
(ก) $f_c = 0.5 f_b$ (ข) $f_c = f_b$ (ค) $f_c = 1.5 f_b$

รูปที่ 6.5 ผลตอบสนองของความเร่งสัมบูรณ์ของรถยนต์คันที่ 3 ด้วยการใช้สัญญาณการจราจรจริง ในโดเมนของเวลา (ก) $f_c = 0.5 f_b$ (ข) $f_c = f_b$ และ (ค) $f_c = 1.5 f_b$

เมื่อพิจารณารูปที่ 6.2 จะเห็นว่าฐานรองทั้งสองด้านได้เริ่มเคลื่อนตัวขึ้นตามแนวตั้งจนกระทั่งการเคลื่อนตัวเกิดขึ้นสูงสุด โดยอยู่ในช่วงเวลาประมาณ 22-27 วินาทีซึ่งเป็นช่วงการเคลื่อนตัวที่เด่นชัดและรุนแรงที่สุด ทั้งนี้เป็นผลมาจากการเคลื่อนที่ผ่านคานขวางของยวดยานในการจราจรฝั่งตรงข้ามอย่างต่อเนื่องและยวดยานที่มีน้ำหนักมากในบางโอกาส เมื่อพิจารณาพร้อมกับรูปที่ 6.5 พบว่าในช่วงแรกที่ฐานรองเริ่มเคลื่อนตัว มวลหน่วงปรับค่ายังไม่สามารถลดการสั่นสะเทือนของรถยนต์ลงได้ แต่เมื่อเวลาผ่านไปช่วงหนึ่งซึ่งมียวดยานในการจราจรฝั่งตรงข้ามเคลื่อนที่ผ่านคานขวางอย่างต่อเนื่องเพิ่มมากขึ้น ทำให้การควบคุมการสั่นสะเทือนของมวลหน่วงปรับค่ามีประสิทธิภาพดีขึ้นเล็กน้อย โดยการสั่นสะเทือนในช่วงนี้การทำงานของมวลหน่วงปรับค่ายังไม่มีประสิทธิภาพดีพอ อย่างไรก็ตามเมื่อไม่มียวดยานขนาดใหญ่เคลื่อนที่ผ่านคานขวางในการจราจรฝั่งตรงข้ามการสั่นที่เกิดขึ้นจะเป็นการสั่นสะเทือนที่เกิดจากยวดยานขนาดเล็กที่เคลื่อนที่ผ่านคานขวางในการจราจรฝั่งตรงข้าม โดยอยู่ในช่วงเวลาประมาณ 32-37 วินาที ซึ่งจะเห็นได้ว่ามวลหน่วงปรับค่าช่วยลดการสั่นสะเทือนลงได้เป็นอย่างมาก นอกจากนี้ยังพบอีกว่ามวลหน่วงปรับค่าควบคุมการสั่นสะเทือนของรถยนต์ที่มีความถี่ต่ำ ($f_c < f_b$) ได้ไม่ดีเหมือนกรณีที่รถยนต์มีความถี่สูง ($f_c \geq f_b$) เนื่องจากการสั่นสะเทือนของรถยนต์มีความรุนแรงน้อย



รูปที่ 6.6 ผลตอบสนอง FFT ของการกระจัดสัมพัทธ์ที่ตำแหน่งกึ่งกลางช่วงของสะพานด้วยการใช้สัญญาณการจราจรจริง

(n) $f_c = 0.5 f_b$ (ข) $f_c = f_b$ (ค) $f_c = 1.5 f_b$

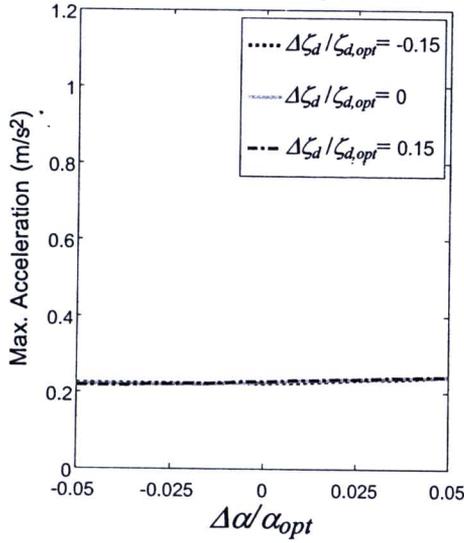
รูปที่ 6.7 ผลตอบสนองของการกระจัดสัมพัทธ์ที่ตำแหน่งกึ่งกลางช่วงของสะพานด้วยการใช้สัญญาณการจราจรจริงในโดเมนของเวลา (ก) $f_c = 0.5 f_b$ (ข) $f_c = f_b$ และ (ค) $f_c = 1.5 f_b$

ในกรณีไม่ติดตั้งมวลหน่วงปรับค่า ผลตอบสนองการกระจัดสัมพัทธ์ที่ตำแหน่งกึ่งกลางช่วงของสะพานในโดเมนของความถี่ดังแสดงในรูปที่ 6.6 พบว่าการสั่นสะเทือนจะเกิดขึ้นสูงมากเฉพาะบริเวณความถี่การกระตุ้นใกล้เคียงกับความถี่ธรรมชาติของสะพานเท่านั้น โดยการสั่นสะเทือนมีแนวโน้มลดลงต่ำสุดเมื่อรถยนต์ที่จอดติดบนสะพานมีความถี่เท่ากับความถี่ธรรมชาติของสะพาน ซึ่งเป็นผลมาจากการสั่นสะเทือนของรถยนต์เกิดขึ้นสูงที่สุดในกรณีนี้ (รูปที่ 6.4(ข)) จึงทำให้ช่วยสลายพลังงานให้กับสะพานได้เป็นอย่างดี และเมื่อติดตั้งมวลหน่วงปรับค่าเข้าไปที่ใต้ท้องสะพานสามารถควบคุมการสั่นสะเทือนของสะพานได้เป็นอย่างมากที่บริเวณย่านความถี่เข้าใกล้ความถี่การกระตุ้นของสะพาน เนื่องจากว่ามวลหน่วงปรับค่าถูกปรับค่าความถี่เข้าไปที่ความถี่ธรรมชาติของสะพาน

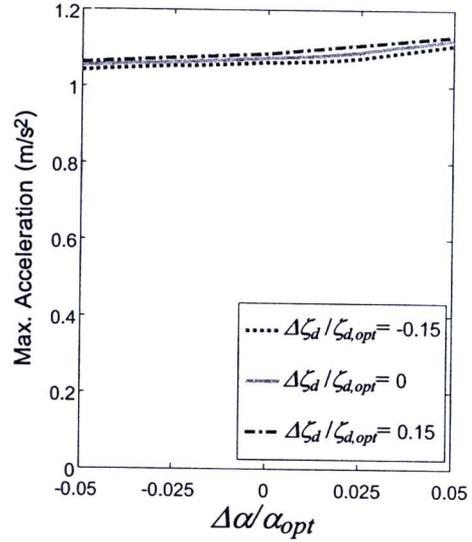
จากรูปที่ 6.7 ผลตอบสนองการสั่นสะเทือนของสะพานจะมีลักษณะเดียวกันกับกรณีการสั่นสะเทือนของรถยนต์ (รูปที่ 6.5) โดยมวลหน่วงปรับค่าสามารถควบคุมการสั่นสะเทือนแบบอิสระได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าการสั่นสะเทือนแบบมีการกระตุ้น เพราะมวลหน่วงปรับค่ามีเวลามากพอที่จะสามารถทำงานหรือตอบสนองต่อการสั่นสะเทือนของสะพานได้

6.3 ผลการเบี่ยงเบนค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของมวลหน่วงปรับค่า

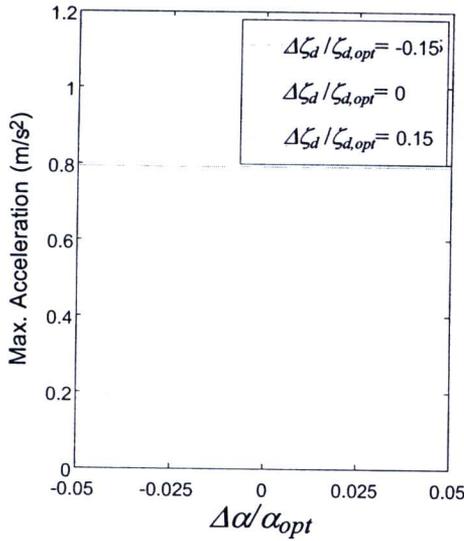
จากรูปที่ 6.8(ก) ถึง 6.8(ค) ใช้มวลของรถยนต์เท่ากับ 1000 kg เมื่อพิจารณาผลของการเบี่ยงเบนค่าอัตราส่วนปรับจูนความถี่ (α) ของมวลหน่วงปรับค่า จะเห็นได้ว่าหากค่า α เปลี่ยนแปลงไป $\pm 5\%$ จากค่าที่เหมาะสม ($\Delta\alpha/\alpha_{opt} = 0$) จะส่งผลให้ค่าความเร่งสัมบูรณ์สูงสุดของรถยนต์เพิ่มขึ้นหรือลดลงไม่เกิน 8% ซึ่งถือว่าไม่มากนัก โดยค่าความเร่งมีแนวโน้มสูงขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของค่าความถี่ช่วงล่างของรถยนต์และจะมีค่ามากที่สุดในกรณี $f_c = f_b$ อีกทั้งประสิทธิภาพของมวลหน่วงปรับค่ามีแนวโน้มลดลงหากค่า $\Delta\alpha/\alpha_{opt} > 0$ และถ้าพิจารณาผลของการเบี่ยงเบนค่าอัตราส่วนความหน่วงของมวลหน่วงปรับค่า ($\Delta\zeta_d/\zeta_{d,opt} = -0.15$ และ $\Delta\zeta_d/\zeta_{d,opt} = 0.15$) พบว่าในกรณี $f_c < f_b$ และ $f_c > f_b$ จะทำให้ค่าความเร่งสัมบูรณ์สูงสุดมีความแตกต่างจากกรณีที่ใช้ค่า $\zeta_{d,opt}$ ($\Delta\zeta_d/\zeta_{d,opt} = 0$) น้อยมากแทบจะไม่สามารถสังเกตเห็นได้ด้วยตาเปล่า แต่ในกรณีที่ค่า $f_c = f_b$ ความแตกต่างของค่าความเร่งสูงสุดสามารถมองเห็นได้ชัดเจนมากขึ้น โดยมีความแตกต่างมากที่สุดไม่เกิน 1.5%



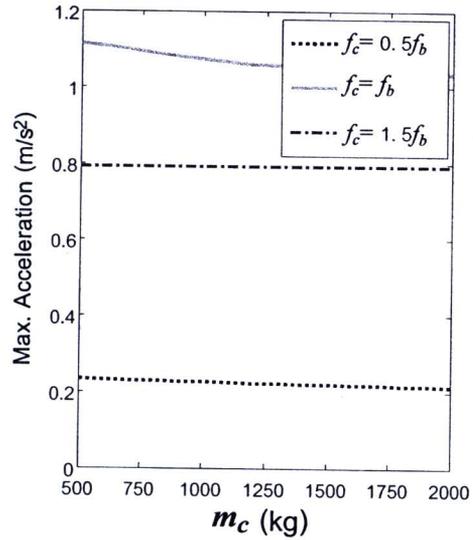
(ก) $f_c = 0.5 f_b$



(ข) $f_c = f_b$



(ค) $f_c = 1.5 f_b$



(ง)

รูปที่ 6.8 ผลตอบสนองการสั่นสะเทือนสูงสุดของรถยนต์ภายใต้การเบี่ยงเบนของค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของมวลหน่วงปรับค่า (ก) $f_c = 0.5 f_b$ (ข) $f_c = f_b$ (ค) $f_c = 1.5 f_b$ และ (ง) ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงมวลของรถยนต์ด้วยการใช้ค่าพารามิเตอร์ $\alpha_{opt} = 0.9433$ และ $\zeta_{d,opt} = 0.1716$

จากผลดังกล่าวข้างต้น ผลกระทบจากการเกิด Detuning ของค่า α ต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความเร่งสูงสุดของรถยนต์จะมากกว่าการเกิด Detuning ของค่า ζ_d สำหรับกรณีการเปลี่ยนแปลงมวลของรถยนต์ตามรูปที่ 6.8(ค) พบว่าเมื่อมวลของรถยนต์เพิ่มขึ้น ค่าความเร่งสูงสุด

มีแนวโน้มลดลง แต่มวลของรถยนต์จะส่งผลกระทบต่อข้อยกเว้นในกรณี $f_c < f_b$ และ $f_c > f_b$ ดังนั้น โดยภาพรวมแล้วการใช้มวลหน่วยปรับค่าด้วยค่าอัตราส่วนมวล $\mu = 0.08$ ของมวลเชิงโหมด สามารถควบคุมการสั่นสะเทือนของรถยนต์ได้ดีภายใต้การเกิด Detuning ของค่า α เปลี่ยนแปลงไป $\pm 5\%$ และค่า ζ_d เปลี่ยนแปลงไป $\pm 15\%$ จากค่าที่เหมาะสม

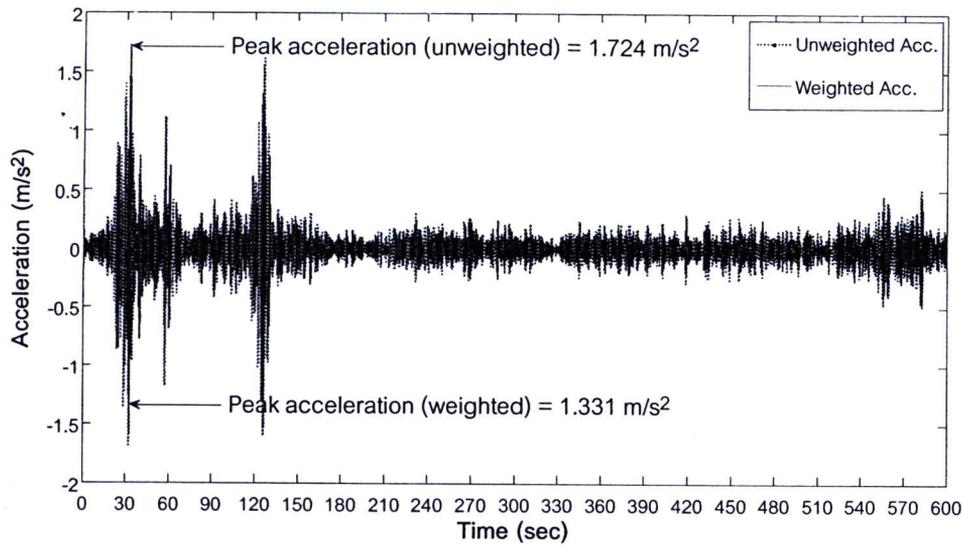
6.4 ผลการวิเคราะห์การสั่นสะเทือนของรถยนต์

สัญญาณการกระตุ้นจากสภาพการจราจรจริงในช่วงเวลา 10 นาทีตามรูปที่ 6.1 จะถูกนำมาใช้เพื่อวิเคราะห์ผลตอบสนองการสั่นสะเทือนของรถยนต์เชิงความถี่ ซึ่งเป็นผลตอบสนองที่มีความไวต่อการเปลี่ยนตำแหน่งและสอดคล้องกับหลักการประเมินผลกระทบต่อร่างกายมนุษย์ ภายใต้สภาวะการสั่นสะเทือนจากสภาพแวดล้อมภายนอกตามมาตรฐาน ISO 2631-1 ดังที่ได้ อธิบายขั้นตอนและวิธีการประเมินไว้แล้วในบทที่ผ่านมา

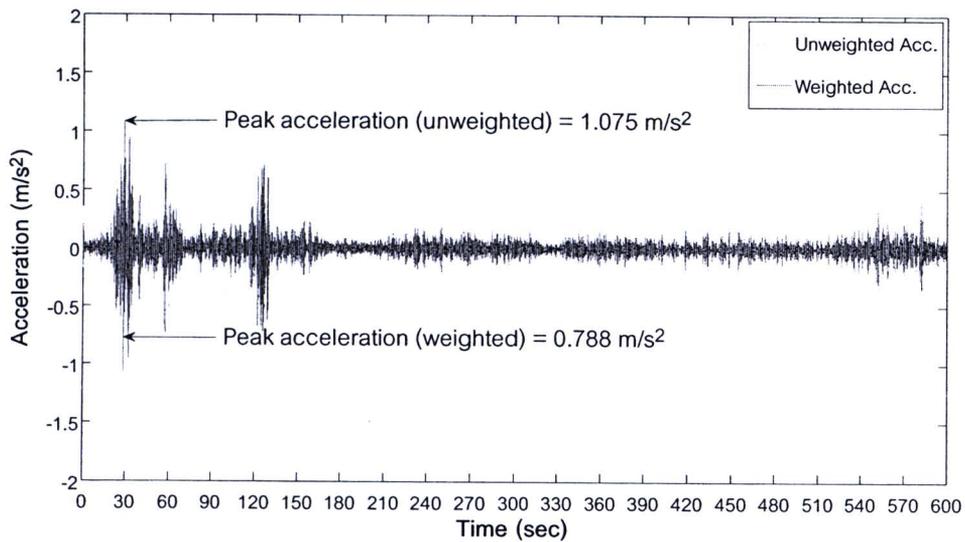
ในการศึกษานี้จะจำแนกมวลและความถี่ของรถยนต์ออกเป็นกรณีต่างๆ เพื่อความครอบคลุมในการศึกษาตามตารางที่ 6.1 ซึ่งจากตารางจะใช้มวลของรถยนต์จำนวน 10 ชุด โดยแต่ละชุดจะเปลี่ยนค่าความถี่ทั้งหมด 10 ค่า และพิจารณาผลตอบสนองเชิงความถี่ทั้งก่อนและหลังติดตั้งมวลหน่วยปรับค่า ดังนั้นจำนวนกรณีทั้งหมดที่จะต้องทำการวิเคราะห์ผลตอบสนองเท่ากับ 200 กรณี ทั้งนี้ผลตอบสนองเชิงความถี่ที่ได้จะอยู่ในโดเมนของเวลาดังแสดงตัวอย่างผลตอบสนองของรถยนต์คันที่ 3 ตามรูปที่ 6.9 ซึ่งใช้มวลและความถี่ของรถยนต์เท่ากับ 1000 kg และ 3.5 Hz

ตารางที่ 6.1 ข้อมูลคุณสมบัติมวลและความถี่ของรถยนต์ในกรณีต่างๆ ที่ใช้ในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

M_c (kg)	500	750	1000	1250	1500	1750	2000	2250	2500	2750
f_c (Hz)	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0



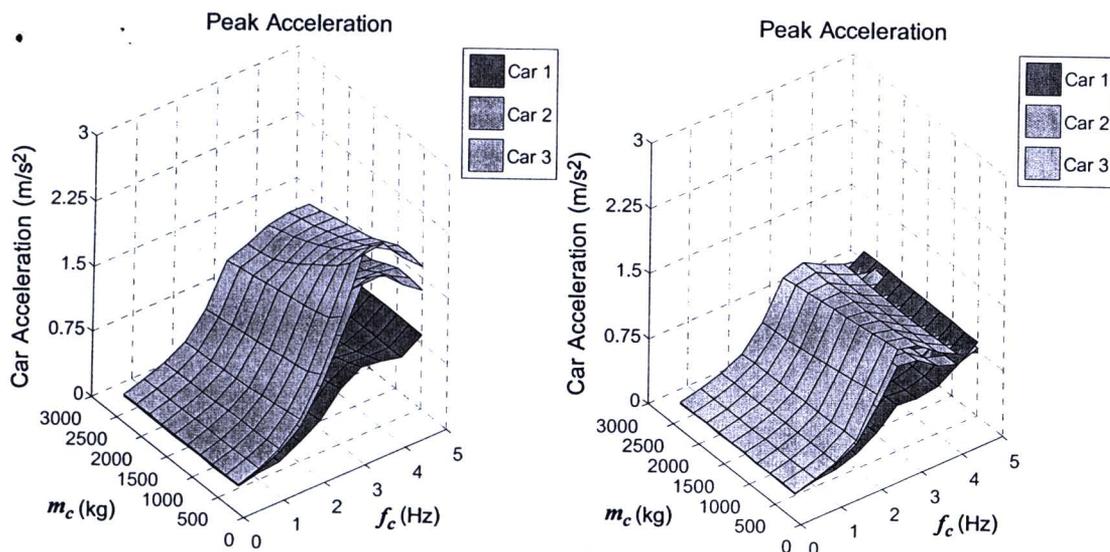
(ก) ก่อนติดตั้งมวลหน่วงปรับค่า



(ข) หลังติดตั้งมวลหน่วงปรับค่า

รูปที่ 6.9 ตัวอย่างค่าความเร่งสัมบูรณ์ของรถยนต์คันที่ 3 ในโดเมนของเวลาภายใต้การกระตุ้นจากสภาพการจราจรจริงหลังติดตั้งมวลหน่วงปรับค่าด้วยการใช้ค่าพารามิเตอร์ $m_c = 1000$ kg และ $f_c = 3.5$ Hz (ก) ก่อนติดตั้งมวลหน่วงปรับค่า และ (ข) หลังติดตั้งมวลหน่วงปรับค่า

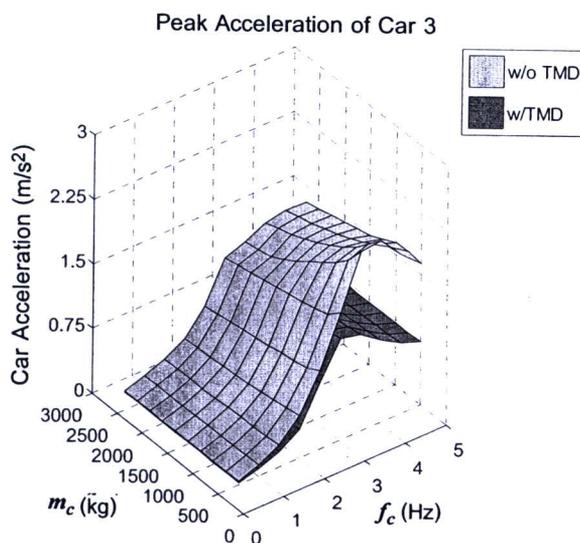
6.4.1 ประสิทธิภาพในการลดการสั่นสะเทือนของมวลหน่วงปรับค่า



(ก) ก่อนติดตั้งมวลหน่วงปรับค่า

(ข) หลังติดตั้งมวลหน่วงปรับค่า

รูปที่ 6.10 ค่าความเร่งที่เกิดขึ้นของรถยนต์คันที่ 1 ถึง 3 ก่อนผ่านการถ่วงน้ำหนักตามการเปลี่ยนแปลงค่ามวลและความถี่ช่วงล่างของรถยนต์ภายใต้การกระตุ้นจากสภาพการจราจรจริง (ก) ก่อนติดตั้งมวลหน่วงปรับค่า และ (ข) หลังติดตั้งมวลหน่วงปรับค่า



รูปที่ 6.11 ค่าความเร่งที่เกิดขึ้นของรถยนต์คันที่ 3 ก่อนผ่านการถ่วงน้ำหนักตามการเปลี่ยนแปลงค่ามวลและความถี่ช่วงล่างของรถยนต์ภายใต้การกระตุ้นจากสภาพการจราจรจริงทั้งก่อนและหลังติดตั้งมวลหน่วงปรับค่า

จากรูปที่ 6.10 แสดงกราฟพื้นผิวความสัมพันธ์ระหว่างมวล ความถี่และค่าความเร่งที่เกิดขึ้นก่อนผ่านการถ่วงน้ำหนักที่ได้จากข้อมูลตามตารางที่ 6.2 ซึ่งกราฟพื้นผิวดังกล่าวสามารถทำให้เห็นภาพรวมของพฤติกรรมการสั่นสะเทือนของรถยนต์ได้ดี โดยพบว่ารถยนต์ที่มีมวลน้อยลงและ/หรือความถี่สูงขึ้น ความรุนแรงของการสั่นสะเทือนจะมีแนวโน้มที่สูงขึ้น และจากรูปที่ 6.11 แสดงถึงประสิทธิภาพในการลดการสั่นสะเทือนของมวลห้วงปรับค่าสำหรับรถยนต์คันที่ 3 ได้เป็นอย่างดีหากรถยนต์มีความถี่ช่วงล่างแข็ง (f_c มีค่าสูง) ซึ่งผลของการวิเคราะห์พบว่าสามารถลดการสั่นสะเทือนของรถยนต์ลงได้กว่าร้อยละ 40 สำหรับกรณีที่มีความถี่ช่วงล่างสูงกว่า 3.5 Hz แต่ในกรณีที่ความถี่ช่วงล่างต่ำกว่านี้การสั่นสะเทือนจะลดลงไม่เกินร้อยละ 35

ตารางที่ 6.2(ก) ค่าความเร่งสัมบูรณ์สูงสุดของรถยนต์คันที่ 1 ก่อนผ่านการถ่วงน้ำหนักภายใต้การกระตุ้นจากสภาพการจราจรจริงก่อนติดตั้งมวลห้วงปรับค่า

M_c (kg)	f_c (Hz)									
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
500	0.018	0.075	0.104	0.224	0.379	0.639	0.787	0.755	0.694	0.857
1000	0.018	0.075	0.103	0.219	0.354	0.586	0.669	0.637	0.694	0.857
1500	0.018	0.075	0.103	0.213	0.334	0.554	0.585	0.572	0.694	0.857
2000	0.018	0.075	0.103	0.207	0.315	0.521	0.549	0.549	0.694	0.857
2500	0.017	0.075	0.102	0.201	0.297	0.491	0.513	0.549	0.694	0.857

ตารางที่ 6.2(ข) ค่าความเร่งสัมบูรณ์สูงสุดของรถยนต์คันที่ 1 ก่อนผ่านการถ่วงน้ำหนักภายใต้การกระตุ้นจากสภาพการจราจรจริงหลังติดตั้งมวลห้วงปรับค่า

M_c (kg)	f_c (Hz)									
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
500	0.014	0.070	0.098	0.175	0.318	0.529	0.508	0.549	0.694	0.857
1000	0.014	0.070	0.098	0.173	0.297	0.516	0.481	0.549	0.694	0.857
1500	0.014	0.070	0.097	0.171	0.285	0.473	0.460	0.549	0.694	0.857
2000	0.014	0.070	0.097	0.167	0.281	0.441	0.453	0.549	0.694	0.857
2500	0.014	0.070	0.097	0.164	0.277	0.409	0.452	0.549	0.694	0.857

ตารางที่ 6.2(ค) ค่าความเร่งสัมบูรณ์สูงสุดของรถยนต์คันที่ 2 ก่อนผ่านการถ่วงน้ำหนักภายใต้การกระตุ้นจากสภาพการจราจรจริงก่อนติดตั้งมวลหน่วงปรับค่า

\dot{M}_c (kg)	f_c (Hz)									
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
500	0.034	0.105	0.210	0.404	0.762	1.257	1.743	1.743	1.528	1.367
1000	0.034	0.102	0.199	0.366	0.644	1.104	1.427	1.472	1.439	1.387
1500	0.033	0.100	0.189	0.349	0.602	1.026	1.247	1.315	1.307	1.253
2000	0.033	0.098	0.179	0.333	0.560	0.955	1.070	1.197	1.214	1.196
2500	0.033	0.096	0.171	0.316	0.518	0.900	1.001	1.075	1.137	1.134

ตารางที่ 6.2(ง) ค่าความเร่งสัมบูรณ์สูงสุดของรถยนต์คันที่ 2 ก่อนผ่านการถ่วงน้ำหนักภายใต้การกระตุ้นจากสภาพการจราจรจริงหลังติดตั้งมวลหน่วงปรับค่า

M_c (kg)	f_c (Hz)									
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
500	0.022	0.085	0.151	0.281	0.614	0.982	0.954	0.783	0.700	0.786
1000	0.021	0.085	0.149	0.268	0.562	0.922	0.909	0.751	0.678	0.786
1500	0.021	0.084	0.146	0.257	0.516	0.883	0.869	0.748	0.678	0.786
2000	0.021	0.084	0.144	0.247	0.477	0.842	0.844	0.740	0.692	0.786
2500	0.021	0.084	0.142	0.237	0.450	0.795	0.823	0.739	0.701	0.786

ตารางที่ 6.2(จ) ค่าความเร่งสัมบูรณ์สูงสุดของรถยนต์คันที่ 3 ก่อนผ่านการถ่วงน้ำหนักภายใต้การกระตุ้นจากสภาพการจราจรจริงก่อนติดตั้งมวลหน่วงปรับค่า

M_c (kg)	f_c (Hz)									
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
500	0.042	0.124	0.251	0.487	0.903	1.473	1.840	1.840	1.840	1.639
1000	0.042	0.121	0.237	0.438	0.785	1.297	1.724	1.798	1.735	1.650
1500	0.041	0.118	0.224	0.397	0.736	1.225	1.501	1.588	1.562	1.505
2000	0.041	0.116	0.212	0.363	0.683	1.164	1.292	1.435	1.445	1.421
2500	0.040	0.113	0.202	0.345	0.630	1.098	1.178	1.329	1.362	1.345

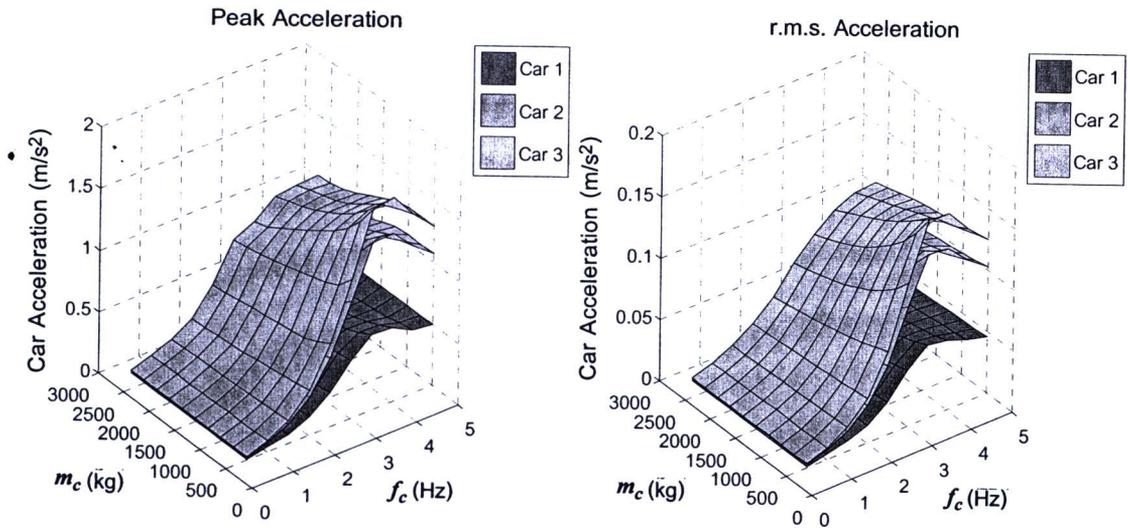
ตารางที่ 6.2(จ) ค่าความเร่งสัมบูรณ์สูงสุดของรถยนต์คันที่ 3 ก่อนผ่านการถ่วงน้ำหนักภายใต้การกระตุ้นจากสภาพการจราจรจริงหลังติดตั้งมวลหน่วงปรับค่า

M_c (kg)	f_c (Hz)									
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
500	0.027	0.086	0.177	0.331	0.763	1.173	1.119	0.948	0.819	0.734
1000	0.027	0.085	0.174	0.319	0.702	1.131	1.075	0.927	0.797	0.716
1500	0.027	0.085	0.170	0.307	0.645	1.083	1.052	0.911	0.781	0.715
2000	0.027	0.084	0.167	0.297	0.598	1.039	1.037	0.901	0.791	0.725
2500	0.027	0.084	0.164	0.286	0.558	0.983	1.032	0.904	0.803	0.743

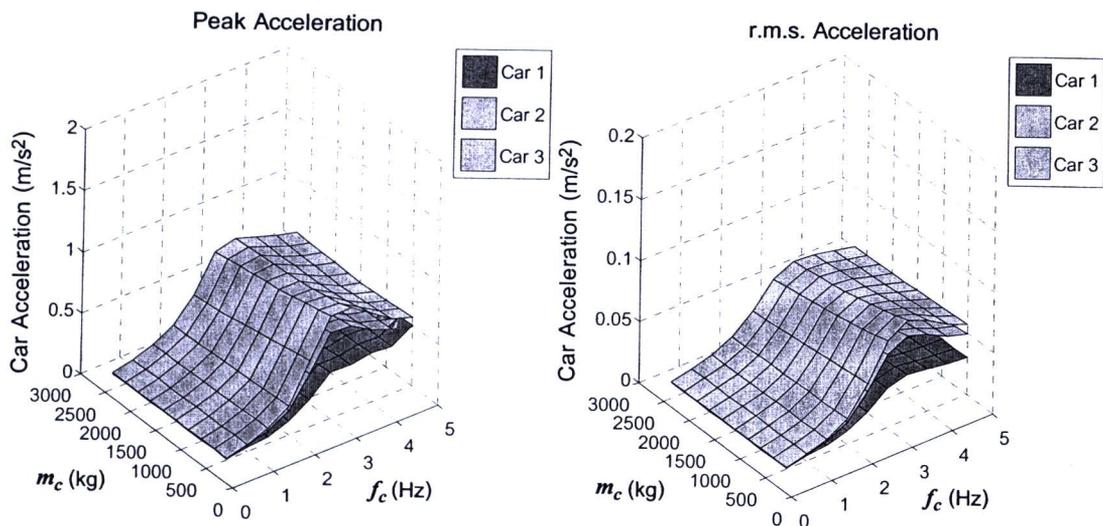
6.4.2 ประสิทธิภาพในการลดผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของมวลหน่วงปรับค่าตามมาตรฐาน ISO 2631-1

ตัวอย่างผลตอบสนองเชิงตัวเลขของค่าความเร่งสัมบูรณ์สูงสุดหลังผ่านการถ่วงน้ำหนักและค่าความเร่งรากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองแบบถ่วงน้ำหนักของรถยนต์ได้แสดงไว้ตามตารางที่ 6.3 และ 6.4 ตามลำดับ ข้อมูลที่ได้ทั้งหมดสามารถนำไปสร้างกราฟพื้นผิวความสัมพันธ์ระหว่างมวล ความถี่และค่าความเร่งที่เกิดขึ้นตามรูปที่ 6.12 ซึ่งมีพฤติกรรมการสั่นสะเทือนในทำนองเดียวกันกับรูปที่ 6.10

จากรูปที่ 6.13 แสดงถึงประสิทธิภาพในการลดการสั่นสะเทือนของมวลหน่วงปรับค่าสำหรับรถยนต์คันที่ 3 ซึ่งผลของการวิเคราะห์พบว่าสามารถลดการสั่นสะเทือนของรถยนต์ลงได้กว่าร้อยละ 50 ในกรณีที่ความถี่ช่วงล่างสูงกว่า 3.5 Hz แต่กรณีที่ความถี่ช่วงล่างต่ำกว่านี้การสั่นสะเทือนจะลดลงไม่เกินร้อยละ 30

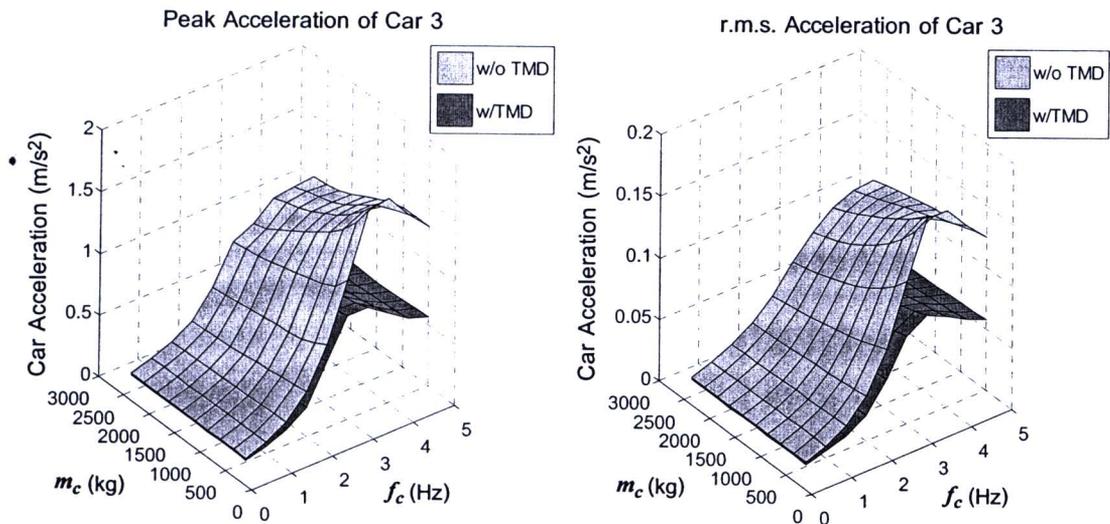


(ก)



(ข)

รูปที่ 6.12 ค่าความเร่งที่เกิดขึ้นของรถยนต์คันที่ 1 ถึง 3 หลังผ่านการถ่วงน้ำหนักตามการเปลี่ยนแปลงค่ามวลและความถี่ช่วงล่างของรถยนต์ภายใต้การกระตุ้นจากสภาพการจราจรจริง (ก) ก่อนติดตั้งมวลหน่วงปรับค่า และ (ข) หลังติดตั้งมวลหน่วงปรับค่า



รูปที่ 6.13 ค่าความเร่งที่เกิดขึ้นของรถยนต์คันที่ 3 หลังผ่านการถ่วงน้ำหนักตามการเปลี่ยนแปลงค่ามวลและความถี่ช่วงล่างของรถยนต์ภายใต้การกระตุ้นจากสภาพการจราจรจริงทั้งก่อนและหลังติดตั้งมวลหน่วงปรับค่า

ตารางที่ 6.3(ก) ค่าความเร่งสัมบูรณ์สูงสุดของรถยนต์คันที่ 1 หลังผ่านการถ่วงน้ำหนักภายใต้การกระตุ้นจากสภาพการจราจรจริงก่อนติดตั้งมวลหน่วงปรับค่า

M_c (kg)	f_c (Hz)									
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
500	0.012	0.043	0.078	0.153	0.282	0.478	0.618	0.606	0.524	0.500
1000	0.012	0.043	0.075	0.148	0.252	0.441	0.513	0.503	0.469	0.498
1500	0.012	0.043	0.072	0.140	0.238	0.408	0.440	0.440	0.443	0.496
2000	0.012	0.043	0.070	0.137	0.225	0.378	0.412	0.421	0.414	0.493
2500	0.012	0.043	0.067	0.134	0.213	0.356	0.387	0.411	0.400	0.491

ตารางที่ 6.3(ข) ค่าความเร่งสัมบูรณ์สูงสุดของรถยนต์คันที่ 1 หลังผ่านการถ่วงน้ำหนักภายใต้การกระตุ้นจากสภาพการจราจรจริงหลังติดตั้งมวลหน่วงปรับค่า

M_c (kg)	f_c (Hz)									
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
500	0.009	0.040	0.056	0.121	0.225	0.383	0.381	0.408	0.393	0.499
1000	0.009	0.039	0.055	0.118	0.211	0.357	0.363	0.398	0.392	0.497
1500	0.009	0.039	0.055	0.115	0.198	0.337	0.358	0.392	0.390	0.495
2000	0.009	0.039	0.054	0.113	0.187	0.317	0.354	0.387	0.389	0.492
2500	0.009	0.039	0.053	0.110	0.181	0.301	0.352	0.384	0.388	0.490

ตารางที่ 6.3(ค) ค่าความเร่งสัมบูรณ์สูงสุดของรถยนต์คันที่ 2 หลังผ่านการถ่วงน้ำหนักภายใต้การกระตุ้นจากสภาพการจราจรจริงก่อนติดตั้งมวลหน่วงปรับค่า

M_c (kg)	f_c (Hz)									
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
500	0.027	0.079	0.161	0.311	0.572	0.963	1.371	1.375	1.205	1.079
1000	0.027	0.077	0.152	0.281	0.479	0.815	1.107	1.175	1.145	1.075
1500	0.027	0.076	0.144	0.255	0.433	0.760	0.946	1.015	1.033	1.019
2000	0.026	0.074	0.137	0.238	0.407	0.704	0.819	0.911	0.922	0.925
2500	0.026	0.073	0.130	0.228	0.378	0.650	0.739	0.810	0.869	0.861

ตารางที่ 6.3(ง) ค่าความเร่งสัมบูรณ์สูงสุดของรถยนต์คันที่ 2 หลังผ่านการถ่วงน้ำหนักภายใต้การกระตุ้นจากสภาพการจราจรจริงหลังติดตั้งมวลหน่วงปรับค่า

M_c (kg)	f_c (Hz)									
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
500	0.016	0.056	0.107	0.201	0.437	0.715	0.700	0.603	0.534	0.489
1000	0.016	0.056	0.105	0.192	0.403	0.670	0.662	0.569	0.523	0.477
1500	0.016	0.056	0.103	0.184	0.372	0.630	0.636	0.554	0.520	0.476
2000	0.016	0.055	0.101	0.176	0.343	0.586	0.615	0.542	0.516	0.475
2500	0.016	0.055	0.100	0.169	0.322	0.549	0.601	0.534	0.511	0.479

ตารางที่ 6.3(จ) ค่าความเร่งสัมบูรณ์สูงสุดของรถยนต์คันที่ 3 หลังผ่านการถ่วงน้ำหนักภายใต้การกระตุ้นจากสภาพการจราจรจริงก่อนติดตั้งมวลหน่วงปรับค่า

\dot{M}_c (kg)	f_c (Hz)									
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
500	0.033	0.094	0.190	0.371	0.681	1.141	1.635	1.666	1.464	1.299
1000	0.032	0.092	0.180	0.333	0.570	0.954	1.331	1.411	1.377	1.296
1500	0.032	0.090	0.170	0.301	0.541	0.893	1.155	1.221	1.233	1.214
2000	0.032	0.088	0.162	0.274	0.508	0.825	1.007	1.094	1.105	1.096
2500	0.031	0.086	0.154	0.259	0.472	0.776	0.870	1.011	1.037	1.026

ตารางที่ 6.3(ข) ค่าความเร่งสัมบูรณ์สูงสุดของรถยนต์คันที่ 3 หลังผ่านการถ่วงน้ำหนักภายใต้การกระตุ้นจากสภาพการจราจรจริงหลังติดตั้งมวลหน่วงปรับค่า

M_c (kg)	f_c (Hz)									
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
500	0.018	0.059	0.126	0.243	0.549	0.844	0.849	0.737	0.618	0.562
1000	0.018	0.059	0.124	0.232	0.507	0.798	0.788	0.680	0.601	0.551
1500	0.018	0.058	0.121	0.221	0.468	0.756	0.756	0.664	0.583	0.538
2000	0.018	0.058	0.119	0.214	0.432	0.724	0.739	0.661	0.588	0.548
2500	0.018	0.058	0.117	0.208	0.399	0.693	0.723	0.658	0.598	0.557

ตารางที่ 6.4(ก) ค่าความเร่งรากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองแบบถ่วงน้ำหนักของรถยนต์คันที่ 1 ภายใต้การกระตุ้นจากสภาพการจราจรจริงก่อนติดตั้งมวลหน่วงปรับค่า

M_c (kg)	f_c (Hz)									
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
500	0.001	0.005	0.008	0.014	0.026	0.046	0.060	0.056	0.050	0.046
1000	0.001	0.005	0.008	0.014	0.024	0.040	0.050	0.050	0.047	0.044
1500	0.001	0.005	0.008	0.013	0.023	0.036	0.044	0.045	0.044	0.043
2000	0.001	0.005	0.008	0.013	0.021	0.034	0.039	0.040	0.041	0.041
2500	0.001	0.005	0.007	0.012	0.020	0.032	0.036	0.037	0.038	0.039

ตารางที่ 6.4(ข) ค่าความเร่งรากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองแบบถ่วงน้ำหนักของรถยนต์คันที่ 1 ภายใต้การกระตุ้นจากสภาพการจราจรจริงหลังติดตั้งมวลหน่วงปรับค่า

\dot{M}_c (kg)	f_c (Hz)									
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
500	0.001	0.004	0.006	0.011	0.019	0.032	0.037	0.035	0.032	0.031
1000	0.001	0.004	0.006	0.011	0.019	0.031	0.034	0.033	0.031	0.030
1500	0.001	0.004	0.006	0.010	0.019	0.029	0.033	0.031	0.030	0.029
2000	0.001	0.004	0.006	0.010	0.018	0.028	0.031	0.030	0.029	0.029
2500	0.001	0.004	0.006	0.010	0.017	0.027	0.030	0.029	0.028	0.028

ตารางที่ 6.4(ค) ค่าความเร่งรากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองแบบถ่วงน้ำหนักของรถยนต์คันที่ 2 ภายใต้การกระตุ้นจากสภาพการจราจรจริงก่อนติดตั้งมวลหน่วงปรับค่า

M_c (kg)	f_c (Hz)									
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
500	0.003	0.008	0.016	0.030	0.056	0.098	0.134	0.132	0.116	0.103
1000	0.003	0.008	0.016	0.028	0.050	0.080	0.107	0.114	0.107	0.098
1500	0.003	0.008	0.015	0.026	0.045	0.070	0.091	0.101	0.100	0.095
2000	0.003	0.008	0.014	0.025	0.041	0.062	0.079	0.090	0.093	0.091
2500	0.003	0.008	0.014	0.023	0.038	0.056	0.070	0.080	0.085	0.086

ตารางที่ 6.4(ง) ค่าความเร่งรากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองแบบถ่วงน้ำหนักของรถยนต์คันที่ 2 ภายใต้การกระตุ้นจากสภาพการจราจรจริงหลังติดตั้งมวลหน่วงปรับค่า

M_c (kg)	f_c (Hz)									
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
500	0.001	0.005	0.009	0.018	0.037	0.060	0.069	0.063	0.055	0.050
1000	0.001	0.005	0.009	0.017	0.034	0.056	0.063	0.058	0.052	0.048
1500	0.001	0.005	0.009	0.017	0.032	0.052	0.058	0.055	0.050	0.047
2000	0.001	0.005	0.009	0.016	0.030	0.048	0.054	0.052	0.048	0.045
2500	0.001	0.005	0.009	0.016	0.029	0.046	0.051	0.050	0.047	0.044

ตารางที่ 6.4(จ) ค่าความเร่งรากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองแบบถ่วงน้ำหนักของรถยนต์คันที่ 3 ภายใต้การกระตุ้นจากสภาพการจราจรจริงก่อนติดตั้งมวลหน่วงปรับค่า

\dot{M}_c (kg)	f_c (Hz)									
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
500	0.003	0.010	0.019	0.037	0.068	0.117	0.161	0.160	0.141	0.125
1000	0.003	0.010	0.019	0.034	0.060	0.095	0.129	0.139	0.131	0.120
1500	0.003	0.009	0.018	0.032	0.053	0.082	0.108	0.123	0.122	0.116
2000	0.003	0.009	0.017	0.030	0.048	0.073	0.094	0.109	0.113	0.111
2500	0.003	0.009	0.017	0.028	0.044	0.066	0.084	0.098	0.105	0.105

ตารางที่ 6.4(ข) ค่าความเร่งรากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองแบบถ่วงน้ำหนักของรถยนต์คันที่ 3 ภายใต้การกระตุ้นจากสภาพการจราจรจริงหลังติดตั้งมวลหน่วงปรับค่า

M_c (kg)	f_c (Hz)									
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
500	0.002	0.006	0.011	0.021	0.043	0.072	0.082	0.074	0.065	0.058
1000	0.002	0.006	0.011	0.020	0.040	0.066	0.074	0.069	0.062	0.056
1500	0.002	0.006	0.011	0.020	0.038	0.061	0.069	0.065	0.060	0.055
2000	0.002	0.006	0.011	0.019	0.036	0.057	0.065	0.062	0.058	0.053
2500	0.002	0.006	0.010	0.018	0.033	0.054	0.061	0.060	0.056	0.052

จากตารางที่ ๘ ในภาคผนวกแสดงค่าตัวประกอบสูงสุดของสัญญาณความเร่งของรถยนต์ ภายใต้การกระตุ้นจากสภาพการจราจรจริงพบว่า ค่าตัวประกอบสูงสุดโดยส่วนใหญ่มีค่าเกินกว่า 9 ทั้งในกรณีที่ดีและไม่ติดมวลหน่วงปรับค่า ซึ่งแสดงถึงผลต่างระหว่างค่าสูงสุดและค่าเฉลี่ยของสัญญาณมีความแตกต่างกันมาก ทำให้สัญญาณมีลักษณะไม่คงที่หรือมีการกระโดดของสัญญาณ ดังนั้นเพื่อให้เกิดความแม่นยำในการประเมินจึงควรเลือกใช้วิธี The fourth power vibration dose method ซึ่งเป็นวิธีเพิ่มเติมสำหรับการประเมินผลกระทบต่อสุขภาพอนามัย และจะใช้ค่าความเร่งสูงสุดโดยไม่ผ่านการปรับกรองสัญญาณในการประเมินผลกระทบต่อความรู้สึกสะดวกสบาย

ตารางที่ 6.5(ก) อัตราส่วน [Acc. w/o TMD]/[Acc. w/TMD] ของรถยนต์คันที่ 1 ก่อนผ่านการถ่วงน้ำหนักภายใต้การกระตุ้นจากสภาพการจราจรจริง

\dot{M}_c (kg)	f_c (Hz)									
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
500	1.31	1.07	1.06	1.29	1.19	1.21	1.55	1.38	1.00	1.00
1000	1.31	1.06	1.06	1.28	1.19	1.17	1.39	1.16	1.00	1.00
1500	1.30	1.06	1.06	1.28	1.17	1.17	1.27	1.04	1.00	1.00
2000	1.29	1.06	1.06	1.27	1.12	1.18	1.21	1.00	1.00	1.00
2500	1.29	1.06	1.05	1.26	1.08	1.20	1.13	1.00	1.00	1.00

ตารางที่ 6.5(ข) อัตราส่วน [Acc. w/o TMD]/[Acc. w/TMD] ของรถยนต์คันที่ 2 ก่อนผ่านการถ่วงน้ำหนักภายใต้การกระตุ้นจากสภาพการจราจรจริง

M_c (kg)	f_c (Hz)									
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
500	1.59	1.23	1.39	1.44	1.24	1.28	1.83	2.23	2.18	1.74
1000	1.57	1.21	1.34	1.36	1.15	1.20	1.57	1.96	2.12	1.76
1500	1.56	1.18	1.29	1.36	1.17	1.16	1.43	1.76	1.93	1.59
2000	1.55	1.16	1.25	1.35	1.18	1.13	1.27	1.62	1.75	1.52
2500	1.54	1.14	1.21	1.34	1.15	1.13	1.22	1.45	1.62	1.44

ตารางที่ 6.5(ค) อัตราส่วน [Acc. w/o TMD]/[Acc. w/TMD] ของรถยนต์คันที่ 3 ก่อนผ่านการถ่วงน้ำหนักภายใต้การกระตุ้นจากสภาพการจราจรจริง

M_c (kg)	f_c (Hz)									
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
500	1.55	1.45	1.42	1.47	1.18	1.26	1.86	2.23	2.25	2.23
1000	1.54	1.42	1.37	1.37	1.12	1.15	1.60	1.94	2.18	2.31
1500	1.53	1.39	1.31	1.29	1.14	1.13	1.43	1.74	2.00	2.10
2000	1.51	1.37	1.27	1.22	1.14	1.12	1.25	1.59	1.83	1.96
2500	1.50	1.34	1.23	1.20	1.13	1.12	1.14	1.47	1.70	1.81

จากตารางที่ 6.5 พบว่ามวลห้วงปรับค่าจะมีประสิทธิภาพในการลดการสั่นสะเทือนของรถยนต์ได้ดีในกรณีที่รถยนต์จอดติดใกล้บริเวณกึ่งกลางช่วงของสะพาน โดยเฉพาะรถยนต์ที่มีมวลน้อยและความถี่ช่วงล่างเข้าใกล้หรือสูงกว่าความถี่ธรรมชาติของสะพาน ซึ่งจากผลการวิเคราะห์เชิงตัวเลขมวลห้วงปรับค่าสามารถลดค่าความเร่งสูงสุดของรถยนต์ที่จอดติดบริเวณกึ่งกลางสะพานได้กว่า 1.5-2.3 เท่าของกรณีก่อนติดมวลห้วง อย่างไรก็ตามความถี่ช่วงล่างของรถยนต์โดยทั่วไปจะมีค่าอยู่ระหว่าง 1.0 ถึง 2.5 Hz (ธนวรรธน์ โสภณมหาผล, 2010) ซึ่งในช่วงความถี่ดังกล่าวนี้มวลห้วงปรับค่าสามารถลดค่าความเร่งสูงสุดของรถยนต์ลงได้เพียง 1.1-1.5 เท่าของกรณีก่อนติดมวลห้วง

นอกจากนี้ หากอาศัยข้อมูลจากตารางที่ 6.2 จะพบว่าการสั่นสะเทือนของรถยนต์ที่มีความถี่ช่วงล่างโดยทั่วไปจะมีค่าเพิ่มขึ้นเป็นอย่างมากอยู่ระหว่าง 70-100 % เมื่อความถี่ช่วงล่างของรถยนต์สูงขึ้นเพียง 0.5 Hz แต่การสั่นสะเทือนของรถยนต์จะลดลงเพียงเล็กน้อยประมาณร้อยละ 1 ถึง 8 เพียงเท่านั้นเมื่อรถยนต์มีมวลเพิ่มขึ้น 500 kg เพราะฉะนั้นความถี่ช่วงล่างของรถยนต์จึงมีอิทธิพลอย่างยิ่งต่อระดับความรุนแรงของการสั่นสะเทือนซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องในบทที่ 5

6.4.2.1 ผลการประเมินผลกระทบต่อการรับรู้ได้

ค่าพารามิเตอร์หลักที่ใช้ประเมินผลกระทบต่อการรับรู้ได้ถึงการสั่นสะเทือนของรถยนต์คือค่าความเร่งสัมบูรณ์สูงสุดของรถยนต์หลังผ่านการถ่วงน้ำหนักด้วยค่าพารามิเตอร์ความถี่ถ่วงน้ำหนัก, W_k (ดูรูปที่ 4.2 และตารางที่ 4.3) โดยผลการวิเคราะห์เชิงตัวเลขของค่าความเร่งสูงสุดได้แสดงไว้ตามตารางที่ 6.3 ทั้งนี้ค่าที่ได้จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับค่าความเร่งตามเกณฑ์มาตรฐานของ ISO 2631-1 ที่ระบุไว้เท่ากับ 0.015 m/s^2 ซึ่งเป็นขนาดของการสั่นสะเทือนที่บุคคลทั่วไปสามารถรับรู้ได้

ผลการวิเคราะห์ทั้งกรณีก่อนและหลังติดตั้งมวลห้วงปรับค่าจากตารางที่ 6.3 สำหรับรถยนต์คันที่ 1 2 และ 3 นั้นพบว่า ค่าความเร่งสูงสุดหลังผ่านการถ่วงน้ำหนักของรถยนต์มีค่าสูงกว่าค่าความเร่งตามเกณฑ์มาตรฐาน (0.015 m/s^2) ทั้งในตำแหน่งต่างๆ ของรถยนต์บนสะพานที่พิจารณา และคุณสมบัติเชิงพลศาสตร์ของรถยนต์แบบต่างๆ ดังนั้นการเคลื่อนที่ผ่านของยวดยานในฝั่งตรงข้ามส่งผลให้ผู้โดยสารรับรู้ได้ถึงการสั่นสะเทือนของรถยนต์ อีกทั้งแม้ว่ามวลห้วงปรับค่าจะช่วยลดการสั่นสะเทือนของรถยนต์ลงได้แต่ผู้โดยสารยังคงรับรู้ได้ถึงการสั่นสะเทือนของรถยนต์เช่นกัน อย่างไรก็ตามในกรณีของรถยนต์คันที่ 1 ซึ่งอยู่ใกล้กับฐานรองโดยมีความถี่ช่วงล่าง 0.5 Hz

ผู้โดยสารจะไม่สามารถรับรู้ได้ถึงการสั่นสะเทือนของตัวรถเนื่องจากว่า ณ ตำแหน่งนี้เกิดการสั่นสะเทือนขึ้นน้อยกว่าตำแหน่งที่อยู่ใกล้บริเวณกึ่งกลางสะพาน เพราะสะพานสั้นตัวในรูปแบบใหม่ดอร์สันท์ 1 อีกทั้งความถี่ของรถยนต์มีความแตกต่างจากความถี่ธรรมชาติของสะพานมากถึง 7 เท่า

6.4.2.2 ผลการประเมินผลกระทบต่อความรู้สึกสะดวกสบาย

ดังที่กล่าวไว้ข้างต้นเนื่องจากค่าตัวประกอบสูงสุดโดยส่วนใหญ่มีค่าเกินกว่า 9 ทั้งในกรณีที่ดีและไม่ดีตามลหุวงปรับค่า (ตารางที่ ๘) ดังนั้นจึงควรใช้ค่าความเร่งสูงสุดโดยไม่ผ่านการถ่วงน้ำหนักในการประเมินผลกระทบต่อความรู้สึกสะดวกสบายแทนการใช้ค่าความเร่งรากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองแบบถ่วงน้ำหนักซึ่งเป็นการประเมินด้วยวิธีพื้นฐานโดยอาจส่งผลให้ผลการประเมินที่ได้ขาดความแม่นยำ ทั้งนี้ค่าความเร่งสูงสุดก่อนผ่านการถ่วงน้ำหนักได้แสดงไว้ในตารางที่ 6.2 และผลการประเมินสามารถจำแนกได้เป็นแถบสีต่างๆ ดังต่อไปนี้ (อ้างอิงจากเกณฑ์ประเมินผลกระทบตามตารางที่ 4.4)

	not uncomfortable
	a little uncomfortable
	fairly uncomfortable
	uncomfortable
	very uncomfortable
	extremely uncomfortable

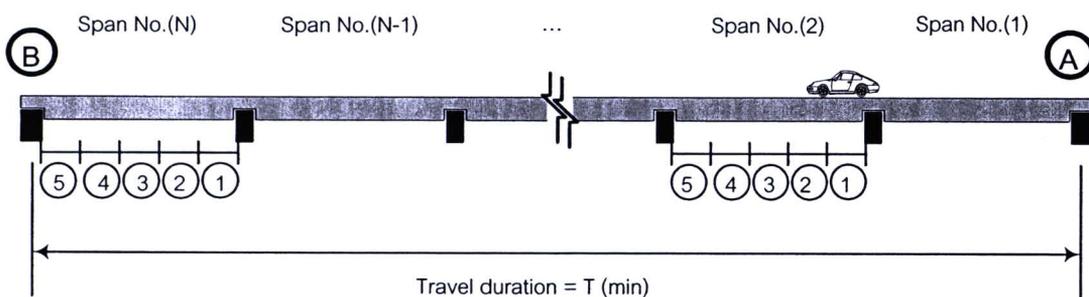
ผลการวิเคราะห์ชี้ให้เห็นว่ารถยนต์ที่มีความถี่ช่วงล่างไม่เกิน 1.5 Hz การสั่นสะเทือนของรถยนต์ไม่ทำให้เกิดความรู้สึกไม่สะดวกสบายต่อผู้โดยสาร อย่างไรก็ตามก็ตีความรู้สึกไม่สะดวกสบายมีแนวโน้มเกิดมากขึ้นทั้งในกรณีที่รถยนต์จอดติดใกล้ๆ บริเวณกึ่งกลางสะพาน รถยนต์มีมวลน้อยและความถี่ช่วงล่างสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งรถยนต์ที่มีความถี่เข้าใกล้ความถี่ธรรมชาติของสะพาน

โดยภาพรวมแล้วภายหลังติดตั้งมวลลหุวงปรับค่าสามารถช่วยลดระดับผลกระทบต่อความรู้สึกไม่สะดวกสบายลงได้หนึ่งระดับ (ดูจากแถบสี) ในกรณีที่รถยนต์มีความถี่ช่วงล่างตั้งแต่ 2.0 Hz ขึ้นไป แต่ผู้โดยสารรถยนต์ยังคงรู้สึกได้ถึงความรู้สึกไม่สะดวกสบายขณะใช้บริการสะพาน

6.4.2.3 ผลการประเมินผลกระทบต่อสุขภาพอนามัย

จากผลการประเมินผลกระทบต่อความรู้สึกสะดวกสบายในหัวข้อที่ 6.4.2.3 นั้นไม่ได้คำนึงถึงระยะเวลาที่อยู่ภายใต้สภาวะการสั่นสะเทือน อย่างไรก็ตาม หากผู้ใช้โดยสารรถยนต์ประสบกับปัญหาสภาพการจราจรที่ติดขัดบนสะพานเป็นระยะเวลานานๆ การสั่นสะเทือนของรถยนต์อาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของผู้ใช้โดยสารได้ ทั้งนี้ในการประเมินสำหรับหัวข้อนี้ จะใช้วิธี The fourth power vibration dose method เนื่องจากค่าตัวประกอบสูงสุดมีค่ามากกว่า 9 โดยส่วนใหญ่ตามตารางที่ ผ8

ก่อนที่จะเข้าไปสู่กระบวนการวิเคราะห์นั้นจำเป็นต้องทำการปรับสมการ (4.7) เพื่อหาค่า Vibration dose value (VDV) ให้สอดคล้องกับสภาพความเป็นจริง เนื่องจากในการวิเคราะห์การสั่นสะเทือนของรถยนต์ที่ผ่านมาทั้งหมดนั้นจำกัดอยู่ในช่วงเวลาเฉพาะ 10 นาทีที่ถูกเลือกมาใช้เพื่อเป็นตัวแทนเท่านั้น ซึ่งในสถานการณ์จริงระยะเวลาในการเคลื่อนที่ผ่านตลอดทั้งตัวสะพาน (สะพานมีหลายช่วง) ของรถยนต์มีโอกาสที่จะใช้เวลานานมากกว่า 10 นาที เพราะรถยนต์อาจมีการหยุดนิ่งสลับไปกับการเคลื่อนที่อย่างช้าๆ ในบางช่วงของสะพานดังแสดงในรูปที่ 6.14 เพราะฉะนั้นจึงต้องพิจารณาการเปลี่ยนตำแหน่งของรถยนต์ด้วยในการประเมินผลกระทบ



รูปที่ 6.14 รูปตัดตามแนวยาวของสะพานและตำแหน่งของรถยนต์ในแต่ละช่วงของสะพาน

ต่อไปจะทำการปรับค่า VDV ในสมการ (4.7) ซึ่งเป็นสมการที่มีความต่อเนื่องของช่วงเวลาไปเป็นสมการที่แบ่งเวลาออกเป็นช่วงๆ คือ

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

เมื่อ

$a_w(t)$ คือ ความเร่งถ่วงน้ำหนัก (Weighted acceleration) มีหน่วยเป็น m/s^2

t_n คือ ระยะเวลาทั้งหมดที่อยู่ภายใต้การสั่นสะเทือนมีหน่วยเป็นวินาที (s)

ΔT คือ ช่วงคาบของการสั่นสะเทือนระหว่างจุดของเวลาใดๆ (Sampling period)
มีหน่วยเป็นวินาที (s)

เนื่องจากการสั่นสะเทือนเกิดขึ้นหลายช่วงเวลา ดังนั้นในการหาค่า VDV ตลอดระยะเวลา 10 นาทีของรถยนต์ตำแหน่งที่ j เพื่อความสะดวกและไม่ยุ่งยากในการสร้างสมการที่ใช้หาค่า a_{wj} จะสมมติให้ค่า VDV มีค่าคงที่ทุกๆ 1 นาทีของสัญญาณโดยประยุกต์ใช้สมการ (4.8) สามารถเขียนใหม่ได้ คือ

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

หรือ

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

เมื่อ

$a_{w,eq}(t)$ คือ ความเร่งถ่วงน้ำหนัก (Weighted acceleration) ต่อหนึ่งนาทีเทียบเท่าที่ตำแหน่ง j มีหน่วยเป็น m/s^2

t_i คือ เวลาเริ่มต้นที่รถยนต์เคลื่อนที่ผ่านสะพานมีหน่วยเป็นวินาที (s)

t_n คือ เวลาสิ้นสุดที่รถยนต์เคลื่อนที่ผ่านสะพานมีหน่วยเป็นวินาที (s)

เมื่อแทนสมการ (6.1) จะสามารถหาผลรวมกำลังสี่ของค่าความเร่งถ่วงน้ำหนักต่อหนึ่งนาทีเทียบเท่าที่ตำแหน่ง j ใดๆ คือ

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

หากพิจารณาการเปลี่ยนตำแหน่งของรถยนต์จากการเคลื่อนที่อย่างช้าๆ สลับกันกับการหยุดนิ่งจะสามารถเขียนความสัมพันธ์ของค่า VDV ได้ใหม่ คือ

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

เมื่อ

$a_w(t_i)$ คือ ความเร่งถ่วงน้ำหนัก (Weighted acceleration) ต่อหนึ่งนาที่ที่ตำแหน่ง j
มีหน่วยเป็น m/s^2

N_s คือ จำนวนช่วงทั้งหมดของสะพาน

ΔT_j คือ ช่วงระยะเวลาในการเปลี่ยนตำแหน่งของรถยนต์ในแต่ละช่วงความยาวของ
สะพานมีค่าเท่ากับ $T/5N_s$

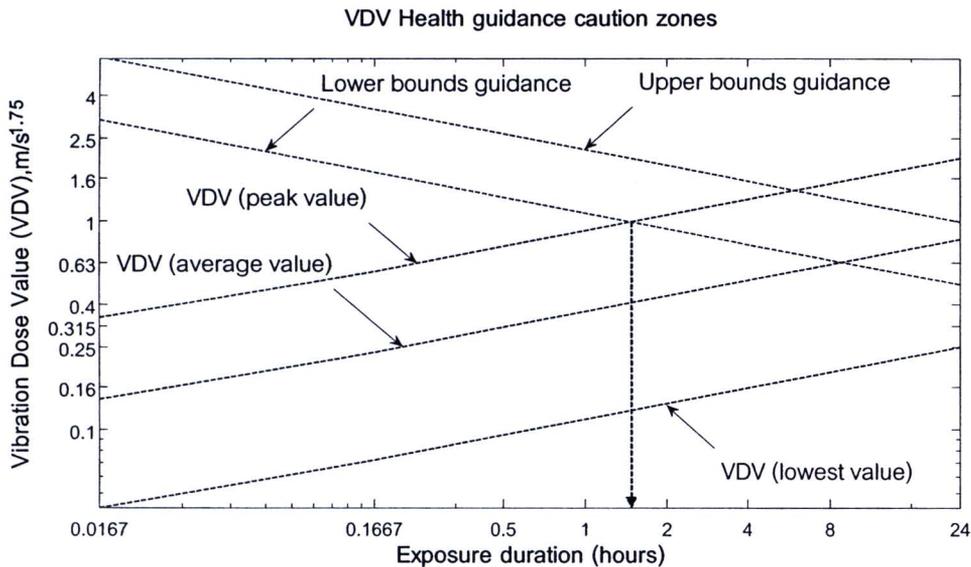
จากการที่พิจารณาให้ค่า VDV ของการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นกับรถยนต์ในแต่ละช่วงสะพานมีค่าเท่ากันเมื่อเทียบกับแต่ละตำแหน่งของรถยนต์บนแต่ละช่วงสะพาน เพราะฉะนั้นสามารถเขียนความสัมพันธ์ในสมการ (6.5) ได้ใหม่ คือ

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

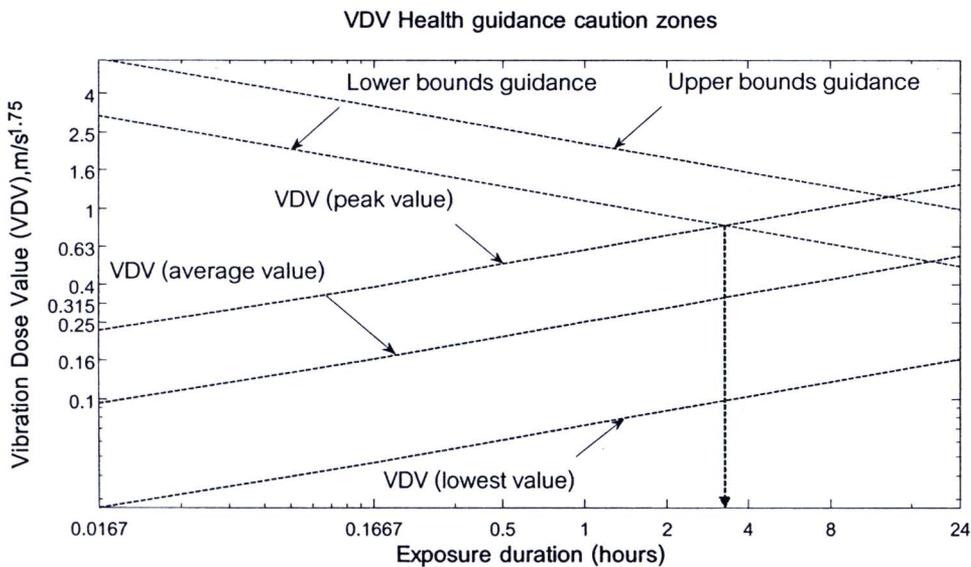
หรือ

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

ดังนั้นจะสามารถหาค่า VDV ของการสั่นสะเทือนทั้งหมดตลอดการเคลื่อนที่ของรถยนต์ไปตามตำแหน่ง j ใดๆ บนสะพานในช่วงเวลา T นาทีตามความสัมพันธ์ในสมการ (6.7) ซึ่งผลการวิเคราะห์สามารถนำมาสร้างกราฟการประเมินผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยจากการสั่นสะเทือนตามเกณฑ์มาตรฐาน ISO 2631-1 ได้ตามรูปที่ 6.15



(ก) ก่อนติดตั้งมวลหน่วงปรับค่า



(ข) หลังติดตั้งมวลหน่วงปรับค่า

รูปที่ 6.15 กราฟการประเมินผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยจากการสั่นสะเทือนตามเกณฑ์มาตรฐาน ISO 2631-1 (ก) ก่อนติดตั้งมวลหน่วงปรับค่า และ (ข) หลังติดตั้งมวลหน่วงปรับค่า

ในการประเมินหัวข้อนี้ คุณสมบัติด้านพลศาสตร์ของรถยนต์ที่ใช้เป็นข้อมูลสำหรับการประเมินคือ รถยนต์ที่มีความถี่ช่วงล่างตั้งแต่ 1.0-2.5 Hz และมวลของรถยนต์อยู่ระหว่าง 500 ถึง 2500 kg โดยจากรูปที่ 6.15 พบว่าทั้งกรณีก่อนและหลังติดตั้งมวลหน่วงปรับค่า แนวโน้มของค่า VDV ของรถยนต์จะเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ หากรถยนต์จอดติดอยู่บนสะพานเป็นระยะเวลายาวนานมากขึ้นเนื่องจากเกิดการสั่นสะเทือนสะสม ซึ่งแสดงถึงระดับความรุนแรงที่ส่งผลกระทบต่อความรู้สึกของผู้ใช้โดยสารมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่ออยู่ภายใต้สภาวะการสั่นสะเทือนที่ยาวนาน ในทางกลับกันความสามารถอดทนได้ของมนุษย์ภายใต้สภาวะการสั่นสะเทือนจะลดลงเรื่อยๆ เมื่อเวลาผ่านไปจึงทำให้เกณฑ์ในการประเมินจะต้องถูกควบคุมให้มีระดับที่ต่ำลง

ผลการประเมินก่อนติดตั้งมวลหน่วงปรับค่าตามรูปที่ 6.15(ก) พบว่าการสั่นสะเทือนของรถยนต์ที่จอดติดบนสะพานในทิศทางการจราจรที่หนาแน่นจะส่งผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของผู้ใช้โดยสาร เมื่อรถยนต์ใช้เวลาในการเคลื่อนที่ผ่านสะพานนานประมาณ 1 ชั่วโมง 34 นาที (ค่า $VDV = 0.986 \text{ m/s}^{1.75}$) และภายหลังจากติดตั้งมวลหน่วงปรับค่าใต้ท้องสะพานบริเวณกึ่งกลางช่วงทำให้ระยะเวลาที่จะส่งผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยยาวนานมากขึ้นประมาณ 3 ชั่วโมง 26 นาที (ค่า $VDV = 0.836 \text{ m/s}^{1.75}$) ดังแสดงในรูปที่ 6.15(ข) โดยมวลหน่วงปรับค่าสามารถช่วยยืดระยะเวลาได้ประมาณ 1 ชั่วโมง 52 นาที หรือคิดเป็นร้อยละ 119 (ค่า VDV ลดลง 15.2%) เมื่อเทียบกับกรณีก่อนติดตั้งมวลหน่วงปรับค่า ซึ่งจะเห็นว่ามวลหน่วงปรับค่ามีประสิทธิภาพในการลดความเสี่ยงของผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของผู้ใช้โดยสารรถยนต์ได้เป็นอย่างดี อย่างไรก็ตามในสถานการณ์จริงการที่รถยนต์จะเคลื่อนที่ผ่านสะพานข้ามแยกไปได้ภายใต้สภาวะการจราจรที่หนาแน่นโดยใช้เวลายาวนานมากกว่า 1 ชั่วโมงนั้นมีโอกาสเป็นไปได้น้อยมาก แต่สำหรับกรณีที่สะพานยกระดับมีหลายช่วงหลายๆ ก็อาจเป็นไปได้ที่รถยนต์จะใช้เวลาเคลื่อนที่ผ่านตลอดทั้งตัวสะพานยาวนานมากกว่า 1 ชั่วโมงภายใต้การจราจรที่ติดขัด

6.4.2.4 ผลการประเมินผลกระทบต่อความเจ็บป่วยจากการเคลื่อนไหว

ความเจ็บป่วยจากการเคลื่อนไหวมักเกิดขึ้นในกรณีที่มีการสั่นสะเทือนเป็นไปอย่างซ้ำๆ เช่น การโยกโคลงของเรือ ซึ่งความถี่ของการสั่นสะเทือนมักจะเป็นความถี่ต่ำอยู่ระหว่าง 0.1 ถึง 0.5 Hz ตามที่ระบุไว้ในมาตรฐาน ทั้งนี้ในการประเมินผลจะใช้ค่าพารามิเตอร์ความถี่ถ่วงน้ำหนักหลัก, W_f เป็นตัวปรับรองความเร่งของสัญญาณเพื่อหาค่าความเร่งถ่วงน้ำหนัก ซึ่งเมื่อพิจารณา ค่า W_f ตามตารางที่ 3 ในมาตรฐาน ISO 2631-1 ที่ความถี่สูงกว่า 0.5 Hz จะมีค่าต่ำกว่า 0.244 และเข้าใกล้ศูนย์เมื่อความถี่มีค่าเท่ากับ 4 Hz เพราะฉะนั้นรถยนต์ที่มีความถี่ช่วงล่างสูงกว่า 0.5

Hz โอกาสที่ผู้ใช้โดยสารจะเกิดภาวะความเจ็บป่วยจากการเคลื่อนไหวจึงเกิดขึ้นน้อยมาก โดยจากงานวิจัยของธนวรรณ โสภณมหาผล (2010) ได้แสดงให้เห็นว่าการสั่นสะเทือนของรถยนต์ที่มีความถี่ช่วงล่าง 0.5 Hz ซึ่งจอดติดอยู่บนสะพานไถ่ๆ บริเวณตำแหน่งฐานรองก่อนที่จะติดตั้งมวลหน่วงปรับค่ามีแนวโน้มที่จะก่อให้เกิดภาวะความเจ็บป่วยจากการเคลื่อนไหวต่ำมาก ซึ่งหากมีผู้โดยสาร 1000 คนอยู่ในห้องโดยสารรถยนต์จะมีผู้โดยสารน้อยกว่า 4 คนที่จะได้รับผลกระทบของภาวะความเจ็บป่วยจากการเคลื่อนไหว ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงไม่ได้ทำการประเมินประสิทธิภาพของมวลหน่วงปรับค่าในการลดผลกระทบดังกล่าว