

บทที่ 4

การประเมินผลกระทบต่อการสั่นสะเทือนโดยมาตรฐาน ISO 2631-1

มาตรฐาน ISO 2631 เป็นมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นและส่งผลกระทบต่อมนุษย์ ทั้งในส่วนที่เป็นมลภาวะทางความรู้สึก สุขภาพ โดยถูกวางขึ้นครั้งแรกในปี ค.ศ. 1985 ก่อนที่จะมีการนำมาปรับปรุงอีกครั้งในปี ค.ศ. 1997 ในส่วนของมาตรฐาน ISO 2631 มีทั้งหมด 5 ฉบับ ซึ่งในส่วนของมาตรฐาน ISO 2631 (ฉบับที่ 1) นี้ได้ให้ความสำคัญต่อการประเมินผลกระทบจากการอยู่ภายใต้สภาวะการสั่นสะเทือนทั่วไปที่เกิดขึ้นกับมนุษย์ซึ่งได้แก่ การสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นภายในยานพาหนะ (ทางบก ทางอากาศ และทางน้ำ) การสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นจากเครื่องจักรกล และการดำเนินกิจกรรมทางอุตสาหกรรม เป็นต้น กิจกรรมทั้งหมดนี้ล้วนส่งผลกระทบต่อความรู้สึกสะดวกสบาย และสุขภาพของมนุษย์ โดยเนื้อหาของมาตรฐานฉบับนี้ได้นำเสนอรายละเอียดเกี่ยวกับวิธีการและขั้นตอนในการประเมินผลกระทบจากการสั่นสะเทือนพร้อมทั้งเกณฑ์ที่ใช้สำหรับการประเมินความผลกระทบต่อรู้สึกและสุขภาพของมนุษย์

4.1 ขอบเขตของมาตรฐาน ISO 2631

มาตรฐาน ISO 2631 ได้นำเสนอวิธีการในการตรวจวัดการสั่นสะเทือนทั้งในส่วนที่เป็นการสั่นสะเทือนแบบคาบ (Periodic vibration) สั่นสะเทือนแบบสุ่ม (Random vibration) และการสั่นสะเทือนแบบชั่วคราว (Transient vibration) โดยใช้องค์ประกอบหลักทางตัวแปรเป็นดัชนีในการชี้วัดถึงขีดขั้นของการสั่นสะเทือนที่อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ ทั้งนี้มาตรฐาน ISO 2631 ได้จำแนกผลกระทบที่เกิดจากการสั่นสะเทือนตามช่วงของความถี่ได้ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงช่วงความถี่ที่ใช้ประเมินผลกระทบจากการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นต่อร่างกายของมนุษย์

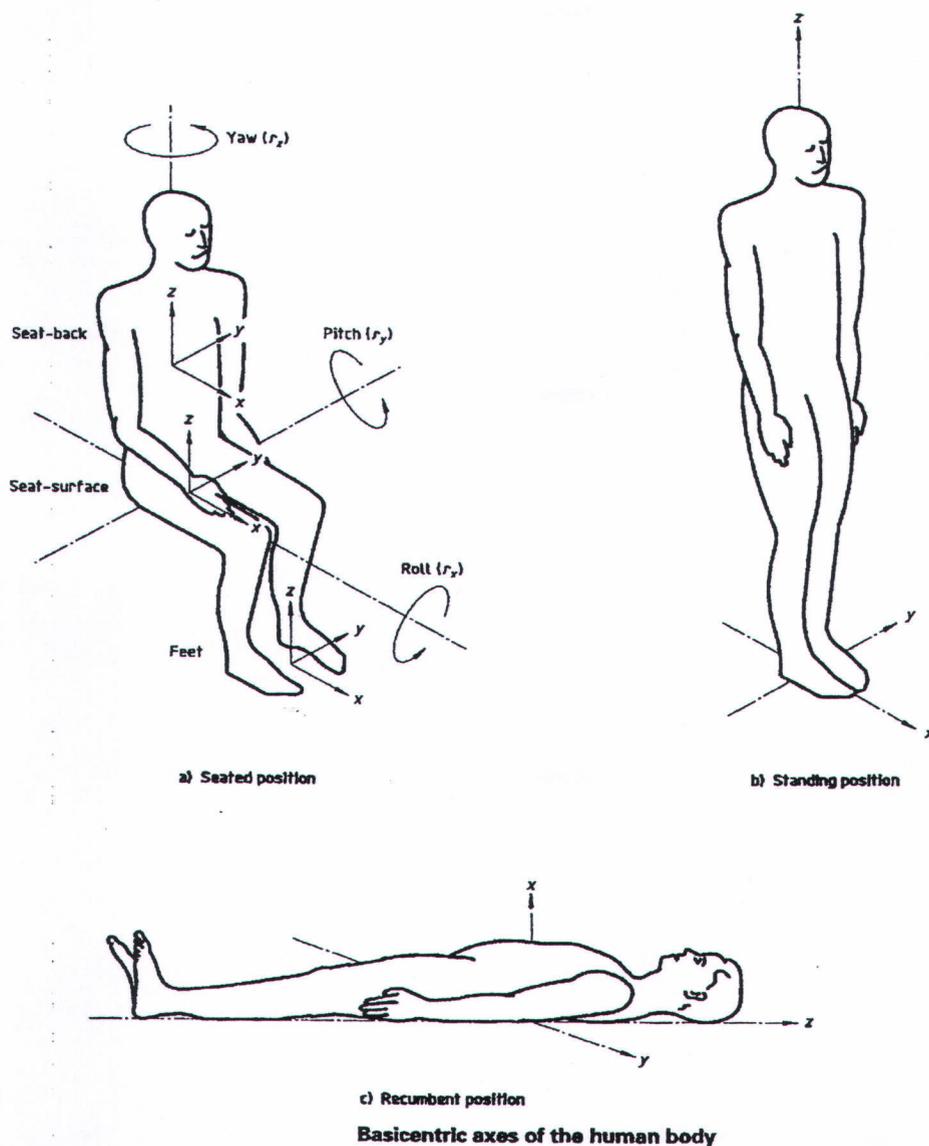
Frequency range	The possible effects of vibration
0.5 Hz to 80 Hz	Health, comfort and perception
0.1 Hz to 0.5 Hz	Motion sickness

มาตรฐาน ISO 2631 ได้พิจารณาช่วงความถี่ในช่วง 0.5 Hz ถึง 80 Hz เพื่อใช้ในการประเมินผลกระทบต่อความรู้สึกสะดวกสบาย สุขภาพ และการรับรู้ได้ด้วยความรู้สึก ส่วนในช่วงความถี่ตั้งแต่ 0.1 Hz ถึง 0.5 Hz ใช้สำหรับการประเมินถึงผลกระทบต่อสุขภาพที่รุนแรงจนถึงขั้นเจ็บป่วยดังตารางที่ 4.1 อย่างไรก็ตามมาตรฐานฉบับนี้ไม่ได้รวมถึงศักยภาพของตัวบุคคลในการอยู่ภายใต้สภาวะการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้น โดยเนื้อหาส่วนมากเกือบทั้งหมดจะใช้เกณฑ์โดยรวมในการประเมินมากกว่าการระบุถึงความรู้สึกเป็นรายบุคคล เนื่องจากศักยภาพในการรับรู้และทนต่อการอยู่ภายใต้สภาวะของการสั่นสะเทือนในแต่ละบุคคลไม่เท่าเทียมกัน นอกจากนี้

มาตรฐานยังไม่ครอบคลุมถึงการสั่นสะเทือนที่รุนแรงแบบทันทีทันใด (Extreme magnitude single shocks) ซึ่งได้แก่การเกิดอุบัติเหตุทางยานพาหนะ

4.2 ขั้นตอนและวิธีการประเมินค่าความเร่งจากการสั่นสะเทือนตามมาตรฐาน ISO 2631

มาตรฐาน ISO 2631 ได้จำแนกการสั่นสะเทือนตัวร่างกายมนุษย์ตามทิศทางของการสั่นสะเทือนทั้งสิ้น 6 ทิศทางและ 3 อิริยาบถ โดยในแต่ละทิศทางประกอบไปด้วย การสั่นสะเทือนที่ทำให้เกิดการเปลี่ยน ตำแหน่ง (Translation) 3 ทิศทางในแนวแกน x y และ z ส่วนทิศทางที่เหลืออีก 3 ทิศทางคือ การสั่นสะเทือนที่ทำให้เกิดการหมุน (Rotation) 3 ทิศทางรอบแกน x y และ z ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แสดงทิศทางและอิริยาบถภายใต้การสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นบนร่างกายมนุษย์ตามมาตรฐาน ISO

ซึ่งในมาตรฐานได้ระบุถึงปัจจัยของทิศทางและอิริยาบถที่แตกต่างกันจะมีผลต่อความรู้สึกที่แตกต่างกันออกไป โดยมีความถี่เป็นตัวแปรในการแบ่งแยกความรู้สึกต่อการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นในทิศทางต่างๆ ดังนั้นในมาตรฐานจึงได้นำเสนอวิธีการกรองสัญญาณโดยการให้น้ำหนักตามความถี่ (The frequency weighting) เพื่อใช้ในการคัดกรองสัญญาณก่อนจะนำไปวิเคราะห์ถึงผลกระทบจากการสั่นสะเทือนในทิศทางต่างๆ ทั้งนี้การกรองสัญญาณจะขึ้นอยู่กับทิศทางและอิริยาบถของการอยู่ภายใต้สภาวะการสั่นสะเทือน ซึ่งสรุปได้ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงเกณฑ์ในการเลือกใช้ Frequency-weighting curves ในการกรองสัญญาณตามทิศทางและอิริยาบถภายใต้สภาวะการสั่นสะเทือน

Guide for the application of frequency-weighting curves for principal weightings

Frequency weighting	Health (see clause 7)	Comfort (see clause 8)	Perception (see clause 8)	Motion sickness (see clause 9)
W_k	z-axis, seat surface	z-axis, seat surface z-axis, standing vertical recumbent (except head) x-, y-, z-axes, feet (sitting)	z-axis, seat surface z-axis, standing vertical recumbent (except head)	—
W_d	x-axis, seat surface y-axis, seat surface	x-axis, seat surface y-axis, seat surface x-, y-axes, standing horizontal recumbent y-, z-axes, seat-back	x-axis, seat surface y-axis, seat surface x-, y-axes, standing horizontal recumbent	—
W_t	—	—	—	vertical

ผลการวิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ในส่วนของค่าความเร่งที่เกิดขึ้นกับรถยนต์เป็นตัวแปรหลักที่สำคัญสำหรับการประเมินถึงผลกระทบต่อการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้น โดยความเร่งที่ได้จากการวิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์นี้ถูกพิจารณาเฉพาะในแนวตั้งเท่านั้น เมื่อพิจารณาถึงเกณฑ์ในการเลือกใช้ Frequency-weighting curves ในการกรองสัญญาณตามตารางที่ 4.2 แล้วพบว่า Frequency-weighting, W_k จะถูกนำมาใช้เพื่อกรองสัญญาณความเร่งจากการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นกับรถยนต์

4.2.1 ความหมายทางคณิตศาสตร์และการสร้าง Frequency-weighting filters

มาตรฐาน ISO 2631 ได้ระบุถึงความหมายทางคณิตศาสตร์ของ Frequency-weightings ในภาคผนวก A โดยใช้หลักการทางคณิตศาสตร์ในลักษณะของการให้ค่าถ่วงน้ำหนักตามความถี่เพื่อกรองสัญญาณให้ได้ความถี่ตามที่ระบุไว้ตามเกณฑ์การประเมินในแต่ละส่วนก่อนที่จะนำไปทำการประเมินถึงผลกระทบจากการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้น เช่นในการประเมินถึงผลกระทบด้านสุขภาพจากการอยู่ภายใต้การสั่นสะเทือนจะต้องนำความเร่งที่เกิดขึ้นกรองผ่าน Frequency-weighting filters, W_k ก่อนที่จะเข้าสู่กระบวนการประเมิน นอกเหนือจากตัวอย่างที่กล่าวมานี้การประเมินผลกระทบต่อความรู้สึกสวดกสบายและการรับรู้ได้ถึงสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นกับมนุษย์นั้นก็ยังมีหลักการเช่นเดียวกัน ซึ่งจะได้กล่าวถึงรายละเอียดในการประเมินในภายหลัง สำหรับค่าตัวแปรที่เป็นปัจจัยหลักสำหรับการส่งผ่าน (Parameters of the transfer functions) สำหรับการกรองความถี่ในแต่ละย่านสามารถแสดงค่าได้ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าตัวแปรที่เป็นปัจจัยหลักสำหรับการส่งผ่าน

Parameters of the transfer functions of the principal frequency weightings

Weighting	Band-limiting		Acceleration-velocity transition (a-v transition)			Upward step			
	f_1 Hz	f_2 Hz	f_3 Hz	f_4 Hz	Q_4	f_5 Hz	Q_5	f_6 Hz	Q_6
W_k	0,4	100	12,5	12,5	0,63	2,37	0,91	3,35	0,91
W_d	0,4	100	2,0	2,0	0,63	∞	—	∞	—
W_1	0,08	0,63	∞	0,25	0,86	0,062 5	0,80	0,1	0,80

ความหมายทางคณิตศาสตร์ของ Frequency-weighting filters ซึ่งประกอบไปด้วยตัวแปรหลัก 4 ชุด ตัวแปรดังสมการที่ 4.1

$$H(p) = H_h(p) \cdot H_l(p) \cdot H_t(p) \cdot H_s(p) \quad (4.1)$$

โดยที่ $H_h(p)$ คือ ซีดจำกัดการให้ผ่านด้วยความถี่สูง (High pass) ซึ่งมีความสัมพันธ์ดังสมการที่ 4.2

$$|H_h(p)| = \left| \frac{1}{1 + \sqrt{2}\omega_1 / p + (\omega_1 / p)^2} \right| = \frac{\sqrt{f^4}}{\sqrt{f^4 + f_1^4}} \quad (4.2)$$

จากสมการที่ 4.2 ค่า f_1 ถูกเรียกว่าความถี่ที่มุม (corner frequency) ซึ่งมีค่าตามตารางที่ 4.3 ส่วนค่า ω_1 คือความถี่เชิงมุมของความถี่ที่มุม f_1 ซึ่งมีค่าเท่ากับ $2\pi f_1$

$H_l(p)$ คือ ซีดจำกัดการให้ผ่านด้วยความถี่ต่ำ (Low pass) ซึ่งมีความสัมพันธ์ดังสมการที่ 4.3

$$|H_l(p)| = \left| \frac{1}{1 + \sqrt{2}\omega_2 / p + (\omega_2 / p)^2} \right| = \frac{\sqrt{f_2^4}}{\sqrt{f^4 + f_2^4}} \quad (4.3)$$

จากสมการที่ 4.3 ในทำนองเดียวกันค่า f_2 ถูกเรียกว่าความถี่ที่มุม (corner frequency) ซึ่งมีค่าตามตารางที่ 4.3 ส่วนค่า ω_2 คือความถี่เชิงมุมของความถี่ที่มุม f_2 ซึ่งมีค่าเท่ากับ $2\pi f_2$ ทั้งนี้ $H_h(p)$ และ $H_l(p)$ ถูกเรียกรวมกันว่า ซีดจำกัดแบน (Band-limiting)

$H_t(p)$ คือ ค่าการแปลงระหว่างความเร่งและความเร็ว (Low pass) มีหน้าที่ในการปรับแปลงสัญญาณให้เป็นสัดส่วนกับความเร่งเมื่อสัญญาณมีความถี่ต่ำ และในขณะเดียวกันจะทำการปรับแปลงสัญญาณให้เป็นสัดส่วนกับความเร็วเมื่อสัญญาณมีความถี่สูง ซึ่งมีความสัมพันธ์ดังสมการที่ 4.4

$$|H_i(p)| = \left| \frac{1 + p/\omega_3}{1 + p/(Q_4\omega_4) + (p/\omega_4)^2} \right| = \sqrt{\frac{f^2 + f_3^2}{f_3^2}} \cdot \sqrt{\frac{f_4^4 \cdot Q_4^2}{f^4 \cdot Q_4^2 + f^2 \cdot f_4^2 (1 - 2Q_4^2) + f_4^4 \cdot Q_4^2}} \quad (4.4)$$

จากสมการที่ 4.4 ค่า ω_3 และ ω_4 มีค่าเท่ากับ $2\pi f_3$ และ $2\pi f_4$ ตามลำดับ

$H_s(p)$ คือ ค่าการแปลงสัญญาณกระตุก (Upward step) ซึ่งมีความสัมพันธ์ดังสมการที่ 4.5

$$|H_s(p)| = \left| \frac{1 + p/(Q_5\omega_5) + (p/\omega_5)^2}{1 + p/(Q_6\omega_6) + (p/\omega_6)^2} \cdot \left(\frac{\omega_5}{\omega_6}\right)^2 \right| = \left(\frac{Q_5}{Q_6}\right) \cdot \sqrt{\frac{f^4 \cdot Q_5^2 + f^2 \cdot f_5^2 (1 - 2Q_5^2) + f_5^4 \cdot Q_5^2}{f^4 \cdot Q_6^2 + f^2 \cdot f_6^2 (1 - 2Q_6^2) + f_6^4 \cdot Q_6^2}} \quad (4.5)$$

จากสมการที่ 4.5 ค่า ω_5 และ ω_6 มีค่าเท่ากับ $2\pi f_5$ และ $2\pi f_6$ ตามลำดับ

เมื่อทำการสังเคราะห์สมการที่ 4.2 ถึง 4.5 ร่วมกันกับสมการที่ 4.1 จะได้ค่าความสัมพันธ์ระหว่างความถี่และค่าการถ่วงน้ำหนักความถี่ (Frequency weightings) ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างความถี่และค่าการถ่วงน้ำหนักความถี่ (Frequency weightings)

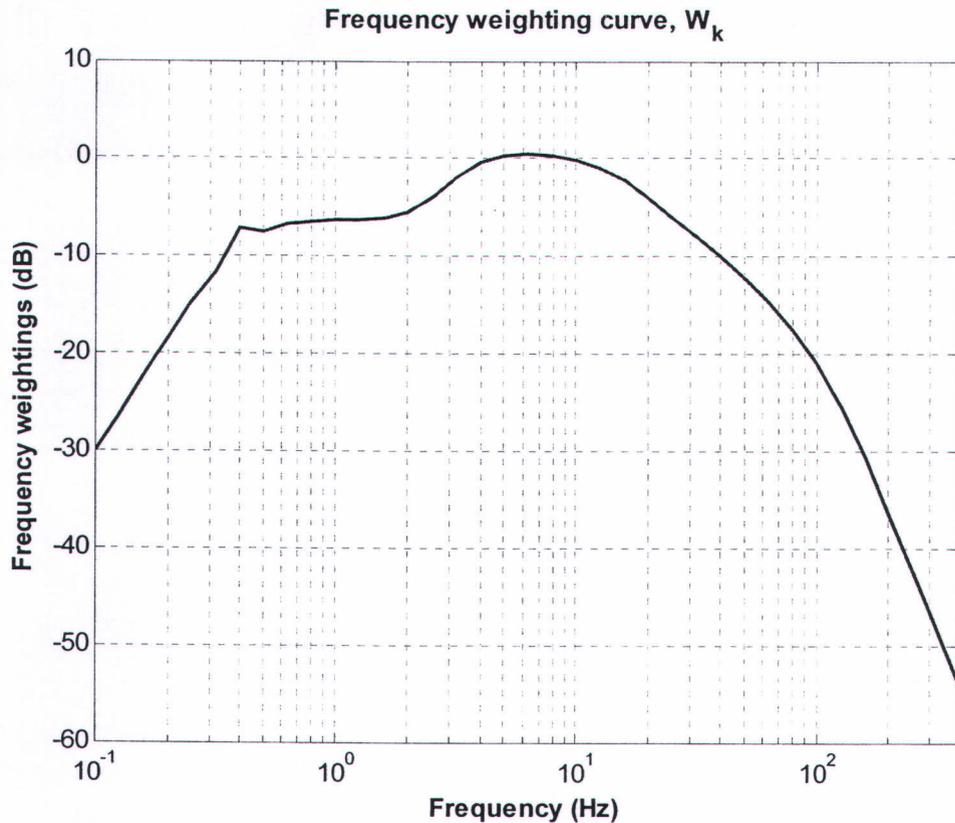
Frequency (Hz)	W_k		
	factor	factor x 1000	dB
0.100	0.0312	31.2	-30.11
0.125	0.0486	48.6	-26.26
0.160	0.079	79	-22.05
0.200	0.121	121	-18.33
0.250	0.182	182	-14.81
0.315	0.263	263	-11.6
0.400	0.352	352	-7
0.500	0.418	418	-7.57
0.630	0.459	459	-6.77
0.80	0.477	477	-6.43
1.00	0.482	482	-6.33
1.25	0.484	484	-6.29
1.60	0.494	494	-6.12
2.00	0.531	531	-5.49



ตารางที่ 4.4 (ต่อ) แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างความถี่และค่าการถ่วงน้ำหนักความถี่
(Frequency weightings)

Frequency (Hz)	W_k		
	factor	factor x 1000	dB
2.50	0.631	631	-4.01
3.15	0.804	804	-1.9
4.00	0.967	967	-0.29
5.00	1.039	1039	0.33
6.30	1.054	1054	0.46
8.00	1.036	1036	0.31
10.00	0.988	988	-0.1
12.50	0.902	902	-0.89
16.00	0.768	768	-2.28
20.00	0.636	636	-3.93
25.00	0.513	513	-5.8
31.50	0.405	405	-7.86
40	0.314	314	-10.05
50	0.246	246	-12.19
63	0.186	186	-14.61
80	0.132	132	-17.56
100	0.0887	88.7	-21.04
125	0.054	54	-25.35
160	0.0285	28.5	-30.91
200	0.0152	15.2	-36.38
250	0.0079	7.9	-42.04
315	0.00398	3.98	-48
400	0.00195	1.95	-54.2

ค่าที่แสดงในตารางที่ 4.4 เป็นค่าที่ได้จากการออกแบบตัวกรองสัญญาณ (Filtering design) ตามหลักการที่นำเสนอไว้ในข้างต้น โดย Frequency-weighting filters, W_k จะถูกนำไปใช้สำหรับการประเมินผลกระทบด้านสุขภาพ (Health) ความรู้สึกและการรับรู้ (Comfort and perception) ทั้งนี้ค่าจากตารางที่ 4.4 สามารถแสดงในรูปของเส้นโค้งความสัมพันธ์ระหว่างความถี่และค่าการถ่วงน้ำหนักความถี่ได้ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 เส้นโค้งความสัมพันธ์ระหว่างความถี่และค่าการถ่วงน้ำหนักความถี่ (Frequency weighting curve)

4.3 การประเมินการสั่นสะเทือน (Vibration evaluation)

4.3.1 การประเมินโดยวิธีพื้นฐาน (Basic evaluation method)

การประเมินถึงการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นในมาตรฐาน ISO 2631 ได้ใช้ตัวแปรหลักคือความเร่ง ซึ่งความเร่งที่ใช้ในการประเมินเป็นความเร่งที่ได้จากกระบวนการกรองสัญญาณแบบการถ่วงน้ำหนัก (Weighted acceleration, $a_w(t)$) โดยนำค่าความเร่งหลังผ่านการกรองสัญญาณไปทำการหาค่าความเร่งรากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองแบบถ่วงน้ำหนัก (Weighted root mean square acceleration; RMS, a_w) ดังสมการที่ 4.6

$$a_w = \left[\frac{1}{T} \int_0^T a_w^2(t) dt \right]^{\frac{1}{2}} \quad (4.6)$$

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

T คือ ช่วงคาบเวลาของการอยู่ภายใต้การสั่นสะเทือน ในหน่วยวินาที (s)

ทั้งนี้การนำค่าการประเมินโดยวิธีพื้นฐานนี้ไปเข้าสู่กระบวนการประเมินจะต้องคำนึงถึงข้อจำกัดของความแม่นยำในการประเมินซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะของสัญญาณความเร่งที่จะนำมาทำการประเมินนั้นจะต้องเป็นสัญญาณที่มีค่าสัดส่วนระหว่างค่าความเร่งสูงสุดหลังผ่านการกรองสัญญาณ (แบบถ่วงน้ำหนัก) และค่าความเร่งรากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองแบบถ่วงน้ำหนักที่คำนวณได้จากสมการที่ 4.6 จะต้องไม่เกิน 9 เนื่องจากสัญญาณความเร่งที่จะนำมาทำการประเมินมีค่าสัดส่วนดังกล่าวสูงกว่า 9 จะแสดงให้เห็นว่าค่าความต่างระหว่างค่าสูงสุดและค่าเฉลี่ยของสัญญาณมีความแตกต่างกันมาก ทำให้ค่าความเร่งรากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองซึ่งมีความไวไม่เพียงพอสำหรับการประเมินสัญญาณในลักษณะเช่นนี้ จึงทำให้ค่าที่ได้จากการประเมินขาดความแม่นยำ ดังนั้นในการเลือกใช้วิธีการประเมินแบบพื้นฐานจะต้องมีการตรวจสอบค่าอัตราส่วนระหว่างค่าความเร่งสูงสุดหลังผ่านการกรองสัญญาณ (แบบถ่วงน้ำหนัก) และค่าความเร่งรากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองแบบถ่วงน้ำหนักก่อนที่จะทำการประเมิน ซึ่งค่าอัตราส่วนที่วานี้ได้ถูกระบุไว้ในมาตรฐาน ISO 2631 ให้มีชื่อเรียกว่า ค่า Crest factor ซึ่งค่า Crest factor นี้ทำหน้าที่เสมือนเป็นโมดูลัสของสัญญาณที่สามารถบ่งชี้ให้เห็นถึงดัชนีความคงที่ของสัญญาณได้ กล่าวคือหากสัญญาณที่มีค่า Crest factor ต่ำหมายถึงสัญญาณที่มีลักษณะคงที่เนื่องจากค่าสูงสุดและค่าเฉลี่ยมีค่าใกล้เคียงกัน ในทางกลับกันค่า Crest factor ที่มีค่าสูงจะแสดงให้เห็นถึงความไม่คงที่ของสัญญาณเนื่องจากค่าสูงสุดและค่าเฉลี่ยมีค่าแตกต่างกันมาก ทั้งนี้ตามมาตรฐาน ISO 2631 นี้ได้ระบุค่าดัชนีความเป็นกลางของค่า Crest factor ไว้เท่ากับ 9

4.3.2 การประเมินการสั่นสะเทือนในกรณีที่ใช้วิธีการประเมินพื้นฐานไม่เพียงพอ (Additional evaluation method)

ในกรณีที่สัญญาณมีลักษณะกระโดดกล่าวคือ มีค่า Crest factor สูงกว่า 9 ดังที่กล่าวไว้ในหัวข้อที่ผ่านมา การประเมินโดยวิธีพื้นฐานไม่เพียงพอดังนั้นเพื่อให้การประเมินมีความแม่นยำและสามารถใช้สำหรับการประเมินสัญญาณในลักษณะนี้ได้ มาตรฐาน ISO 2631 จึงได้นำเสนอวิธีการวิเคราะห์ที่ให้ความไวสูงกว่าการใช้ค่าความเร่งรากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองแบบถ่วงน้ำหนัก ซึ่งวิธีหนึ่งก็คือ The fourth power vibration dose method ซึ่งเป็นวิธีที่มีค่าความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณความเร่งสูงกว่า เนื่องจากในการคำนวณค่าเฉลี่ยที่ละเอียดของช่วงเวลาด้วยการใช้กำลังสี่ ซึ่งค่าดังกล่าวถูกเรียกว่า ค่า Vibration Dose หรือ VDV ดังสมการที่ 4.7

$$VDV = \left[\int_0^T [a_w(t)]^4 dt \right]^{\frac{1}{4}} \quad (4.7)$$

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

T คือ ช่วงคาบเวลาของการอยู่ภายใต้การสั่นสะเทือน ในหน่วยวินาที (s)

ในกรณีที่การสั่นสะเทือนมีการกระทำอย่างต่อเนื่องหลายช่วงเวลา ค่า Vibration Dose หรือ VDV สามารถรวมค่าในแต่ละช่วงของเวลาได้โดยการทางคณิตศาสตร์โดยการเฉลี่ยแบบเรขาคณิตด้วยกำลังสี่ดังสมการที่ 4.8

$$VDV_{total} = \left[\sum_i VDV_i^4 \right]^{\frac{1}{4}} \quad (4.8)$$

4.4 การประเมินผลกระทบต่อสุขภาพจากการสั่นสะเทือน

มาตรฐาน ISO 2631 ได้ระบุแนวทางในการประเมินถึงผลกระทบต่อสุขภาพที่เกิดจากการสั่นสะเทือน โดยได้นำเสนอเกณฑ์มาตรฐานที่ใช้ระบุถึงการสั่นสะเทือนที่กระทบต่อสุขภาพซึ่งมีผลมาจากการอยู่ภายใต้การสั่นสะเทือนและการสั่นสะเทือนนั้นยังได้กระทำซ้ำๆอยู่เรื่อยๆเมื่อระยะเวลายาวนานออกไป ทั้งนี้เกณฑ์ที่ใช้ในการประเมินถึงผลกระทบต่อสุขภาพภายใต้การสั่นสะเทือนที่นำเสนอโดยมาตรฐาน ISO นี้สามารถใช้ได้กับบุคคลที่มีสุขภาพเป็นปรกติ และไม่พิจารณาถึงการสั่นสะเทือนที่รุนแรงมากหรือการสั่นสะเทือนที่มีขนาดของสัญญาณสูงในลักษณะชั่วคราวครั้งชั่วคราว (High magnitude single transients) ยกตัวอย่างเช่น การเกิดอุบัติเหตุทางยานพาหนะรวมไปถึงการได้รับบาดเจ็บ

4.4.1 การประเมินผลกระทบต่อสุขภาพในกรณีที่ ค่า Crest factor < 9

ในกรณีที่สัญญาณความเร่งมีลักษณะที่ค่อนข้างคงที่กล่าวคือสัญญาณความเร่งมีขนาดสูงสุดไม่ต่างจากค่าความเร่งเฉลี่ยมากนั้น สามารถใช้ค่าความเร่งรากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองแบบถ่วงน้ำหนัก (Weighted r.m.s. acceleration value) ซึ่งการตรวจสอบลักษณะของสัญญาณสามารถทำได้โดยการใช้ค่า Crest factor (< 9) ดังที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่แล้ว สำหรับการประเมินผลกระทบต่อสุขภาพโดยสัญญาณความเร่งในกรณีที่ใช้ค่าความเร่งรากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองแบบถ่วงน้ำหนัก (Crest factor < 9) สามารถคำนวณค่าความเร่งรากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองแบบถ่วงน้ำหนักโดยใช้หลักการทางพลังงานเพื่อขยายช่วงเวลาของการอยู่ภายใต้การสั่นสะเทือนออกปดังสมการที่ 4.9

$$a_{w1} \cdot T_1^{\frac{1}{2}} = a_{w2} \cdot T_2^{\frac{1}{2}} \quad (4.9)$$

โดยที่ a_{w1} และ a_{w2} คือ ค่าความเร่งรากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองแบบถ่วงน้ำหนักในช่วงเวลาที่ 1 และ 2 ตามลำดับ มีหน่วยเป็น m/s^2

T_1 และ T_2 คือ ช่วงคาบเวลาของการอยู่ภายใต้การสั่นสะเทือนในช่วงเวลาที่ 1 และ 2 ตามลำดับ มีหน่วยเป็นวินาที (s)

ในบางกรณีพบว่าสมการที่ 6.9 สามารถพิจารณาให้เป็นรากที่สี่ได้เช่นกัน ดังสมการที่ 4.10

$$a_{w1} \cdot T_1^{\frac{1}{4}} = a_{w2} \cdot T_2^{\frac{1}{4}} \quad (4.10)$$

โดยที่ a_{w1} และ a_{w2} คือ ค่าความเร่งรากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองแบบถ่วงน้ำหนักในช่วงเวลาที่ 1 และ 2 ตามลำดับ มีหน่วยเป็น $m/s^{1.75}$

T_1 และ T_2 คือ ช่วงคาบเวลาของการอยู่ภายใต้การสั่นสะเทือนในช่วงเวลาที่ 1 และ 2 ตามลำดับ มีหน่วยเป็นวินาที (s)

กรณีที่มีการสั่นสะเทือนเกิดขึ้นในหลายช่วงเวลา มาตรฐาน ISO 2631 ได้นำเสนอสมการในการคำนวณค่าความเร่งรากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองแบบถ่วงน้ำหนักเทียบเท่าดังสมการที่ 6.11

$$a_{w,e} = \left[\frac{\sum a_{wi}^2 \cdot T_i}{\sum T_i} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (4.11)$$

โดยที่ $a_{w,e}$ คือ ค่าขนาดของความเร่งเทียบเท่า (ค่าความเร่งรากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองแบบถ่วงน้ำหนัก มีหน่วยเป็น m/s^2)

a_{wi} คือ ค่าขนาดของความเร่ง (ค่าความเร่งรากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองแบบถ่วงน้ำหนักมีหน่วยเป็น m/s^2) ในช่วงเวลา T_i

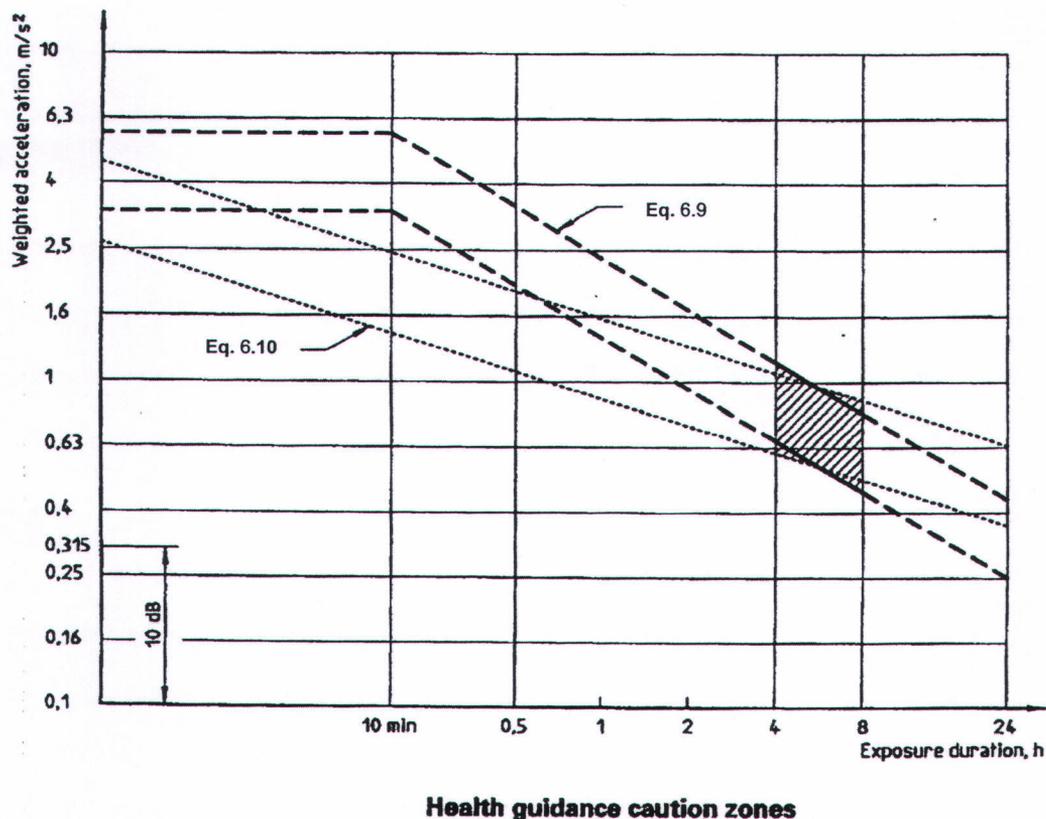
ในทำนองเดียวกันสมการที่ 4.11 สามารถพิจารณาในรูปของรากที่สี่ได้ดังสมการที่ 4.12

$$a_{w,e} = \left[\frac{\sum a_{wi}^4 \cdot T_i}{\sum T_i} \right]^{\frac{1}{4}} \quad (4.12)$$

โดยที่ $a_{w,e}$ คือ ค่าขนาดของความเร่งเทียบเท่า (ค่าความเร่งรากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองแบบถ่วงน้ำหนัก มีหน่วยเป็น $m/s^{1.75}$)

a_{wi} คือ ค่าขนาดของความเร่ง (ค่าความเร่งรากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองแบบถ่วงน้ำหนักมีหน่วยเป็น m/s^2) ในช่วงเวลา T_i

จากสมการที่ 4.9 และ 4.10 ซึ่งเป็นสมการที่นำเสนอโดยมาตรฐาน ISO 2631 สามารถนำเสนอในรูปแบบของแผนภาพเกณฑ์มาตรฐานของสุขภาพและขอบเขตที่เฝ้าระวัง ดังรูปที่ 4.3



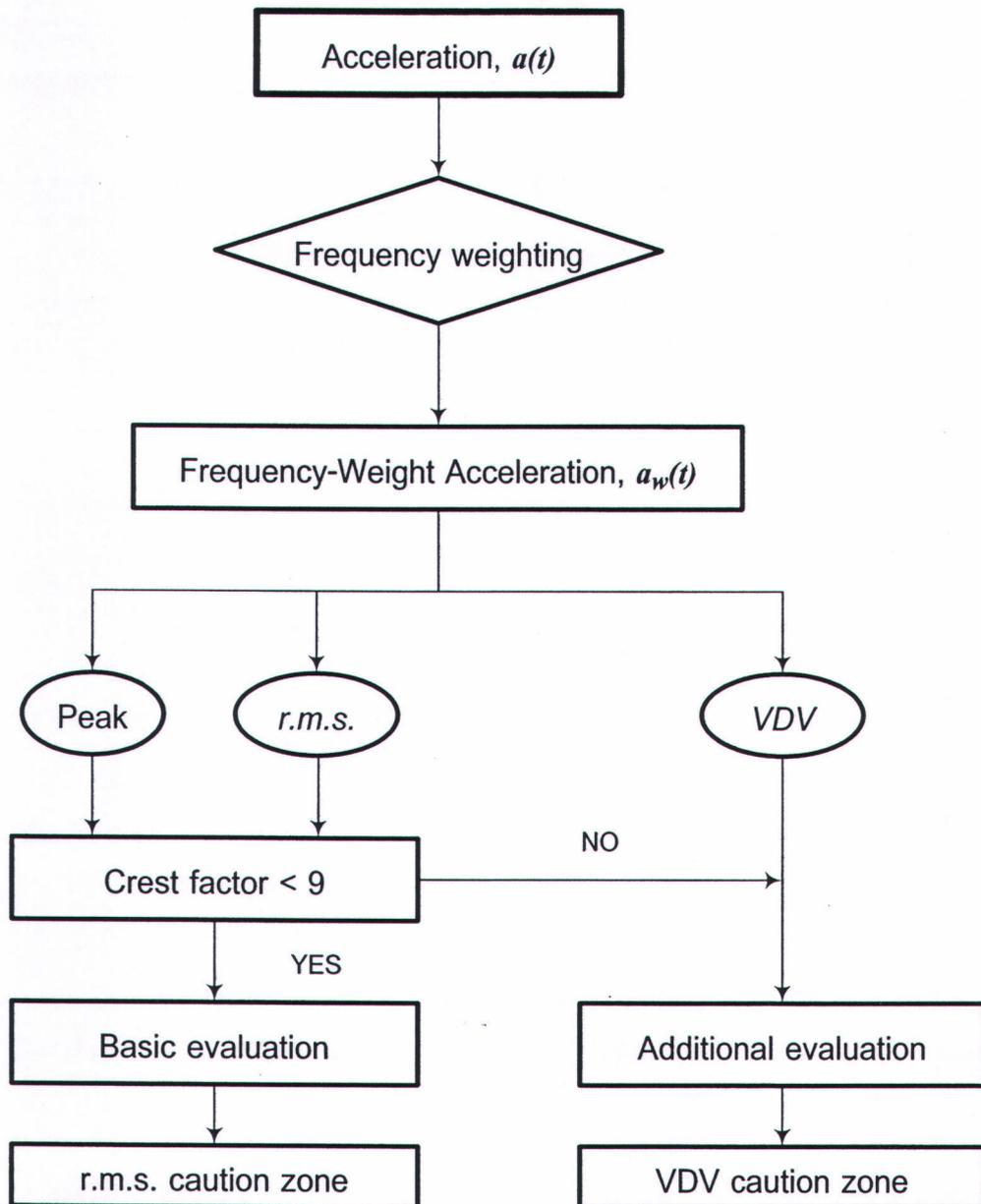
รูปที่ 4.3 แผนภาพเกณฑ์ผลกระทบต้อสุขภาพและขอบเขตเฝ้าระวัง (Health guidance caution zones)

จากรูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร่งแบบถ่วงน้ำหนักและเวลา โดยเกณฑ์มาตรฐานของ ISO 2631 พบว่าความสามารถในการอดทนของมนุษย์ที่อยู่ภายใต้การสั่นสะเทือนจะลดลงเรื่อยๆเมื่อเวลาผ่านไป และจะเข้าถึงเขตที่ต้องเฝ้าระวังจากผลกระทบด้านสุขภาพเมื่อเวลาผ่านเข้าสู่ช่วง 4 ถึง 8 ชั่วโมง ซึ่งตรงกับส่วนที่แรเงาของแผนภาพในรูปที่ 4.3

4.4.2 การประเมินผลกระทบต้อสุขภาพในกรณีนี้ ค่า Crest factor > 9

ในกรณีที่สัญญาณความเร่งมีลักษณะกระโดด โดยพบได้จากการตรวจสอบค่า Crest factor ซึ่งมีค่าสูงกว่า 9 นั้นหมายความว่าสัญญาณมีค่าความเร่งสูงสุดต่างจากค่าความเร่งเฉลี่ยมาก ลักษณะของสัญญาณเช่นนี้ไม่สามารถใช้ค่าความเร่งรากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองแบบถ่วงน้ำหนัก (Weighted r.m.s. acceleration value) ได้เนื่องจากจะทำให้ค่าที่ได้มีค่าที่ต่ำกว่าความเป็นจริง (underestimation) ดังนั้นมาตรฐาน ISO 2631 ได้แนะนำให้ใช้หลักการเช่นเดียวกับกับหัวข้อที่ 4.3.2 ซึ่งในที่นี้ได้เลือกใช้ค่า *VDV* ในการประเมินแทนที่ค่าความเร่งรากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองแบบถ่วงน้ำหนักจากเดิม

สำหรับเกณฑ์และขั้นตอนในการประเมินผลกระทบต้อสุขภาพที่เกิดขึ้นจากการสั่นสะเทือนที่กล่าวมาทั้งหมดนี้สามารถสรุปขั้นตอนได้ในรูปแบบของแผนภาพแสดงขั้นตอน เพื่อให้เกิดความสะดวกในการดำเนินการตามขั้นตอนดังแสดงในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 แผนผังขั้นตอนในการประเมินผลกระทบต่อสุขภาพจากการสั่นสะเทือน

4.5 การประเมินผลกระทบต่อความรู้สึกสะดวกสบายและการรับรู้จากการสั่นสะเทือน

มาตรฐาน ISO 2631 ได้ให้ความสำคัญกับการประเมินผลกระทบต่อความรู้สึกของมนุษย์จากการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้น ซึ่งเริ่มต้นจากการรู้สึกได้ถึงการสั่นสะเทือนเล็กน้อยจนถึงการสั่นสะเทือนที่ทำให้รู้สึกไม่สะดวกสบายอย่างรุนแรง (Extremely uncomfortable) โดยหลักการและวิธีการที่ใช้สำหรับการประเมินถึง

ความรู้สึกสะดวกสบายมีขึ้นตอนที่คล้ายกันกับการประเมินผลกระทบต่อสุขภาพอันเนื่องมาจากการสั่นสะเทือน กล่าวคือค่าความเร่งรากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองแบบถ่วงน้ำหนัก (Weighted r.m.s. acceleration value) สามารถถูกนำมาใช้ในการประเมินได้โดยตรงในกรณีสัญญาณมีลักษณะที่ค่อนข้างคงที่ (Crest factor < 9) แต่ในกรณีที่สัญญาณมีลักษณะกระโดด (Crest factor > 9) การใช้ค่าความเร่งสูงสุด (Peak acceleration value) จะมีอิทธิพลอย่างยิ่งต่อการประเมิน ในขณะที่การใช้ค่า r.m.s. ในการประเมินจะให้ค่าที่ต่ำกว่าความเป็นจริง ทั้งนี้เกณฑ์มาตรฐานที่ใช้สำหรับการประเมินผลกระทบต่อความสะดวกสบายจากการสั่นสะเทือน (Guide to the effects of vibration on comfort) แสดงได้ดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 เกณฑ์มาตรฐานสำหรับการประเมินผลกระทบต่อความสะดวกสบายจากการสั่นสะเทือน
โดย ISO 2631

Weighted Acceleration Level (m/s ²)	Comfort Reaction of Passenger (ISO 2631-1)
Less than 0.315	not uncomfortable
0.315 to 0.50	a little uncomfortable
0.50 to 0.80	fairly uncomfortable
0.80 to 1.25	uncomfortable
1.25 to 2.00	very uncomfortable
Greater than 2.00	extremely uncomfortable

สำหรับเกณฑ์ในการประเมินถึงผลกระทบต่อการรับรู้ (Perception) จากการสั่นสะเทือน ตามมาตรฐาน ISO 2631 ได้ระบุไว้ว่าบุคคลทั่วไปจะสามารถรับรู้ได้ถึงการสั่นสะเทือนในแนวดิ่งด้วยขนาดความเร่งสูงสุด (peak magnitude) ที่ 0.015 m/s² ซึ่งมาตรฐาน ISO 2631-1 ยังได้ระบุว่าค่าความเร่งสูงสุดตามเกณฑ์ดังกล่าวมีแนวโน้มที่จะลดลงน้อยมากแม้ช่วงของเวลาในการสั่นสะเทือนจะเพิ่มมากขึ้นก็ตาม อย่างไรก็ตาม แม้ว่าเกณฑ์ในการประเมินผลกระทบต่อการรับรู้ถึงการสั่นสะเทือนที่กล่าวมาจะไม่เพิ่มขึ้นตามช่วงเวลาที่ยาวนานขึ้น แต่ความรู้สึกได้ถึงการสั่นสะเทือนจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเมื่อค่าความเร่งสูงสุดมีค่าสูงกว่า 0.015 m/s²

4.6 การประเมินผลกระทบต่อภาวะป่วยจากการเคลื่อนไหว

ภาวะป่วยจากการเคลื่อนไหว (Motion sickness) คือภาวะที่เกิดจากความไม่สอดคล้องกันของการเคลื่อนไหวที่ได้จากการมองเห็นและการรับรู้ผ่านระบบรับรู้การเคลื่อนไหว (vestibular system's sense of movement) บางครั้งเรียกว่า อากาการเมาเรือ เมาเร็ว หรือเมาเครื่องบิน ตามสาเหตุ อากาการที่พบบ่อยได้แก่ อากาการเวียนศีรษะ อ่อนเพลีย คลื่นไส้ [16] จากตารางที่ 4.1 แสดงช่วงความถี่ที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อภาวะป่วยจากการเคลื่อนไหว มีค่าอยู่ระหว่าง 0.1 ถึง 0.5 Hz โดยสามารถทำการประเมินผ่านค่าที่คำนวณได้จากสมการที่ 4.13

$$MSDV = \left[\int_0^T [a_w(t)]^2 dt \right]^{1/2} \quad (4.13)$$

โดยที่ $a_w(t)$ คือ ความเร่งที่ได้จากกระบวนการกรองสัญญาณแบบถ่วงน้ำหนักในทิศทางตามแนวแกน z
(Weighted acceleration) ในหน่วย m/s^2
 T คือ ช่วงคาบเวลาของการอยู่ภายใต้การสั่นสะเทือน ในหน่วยวินาที (s)

ทั้งนี้ค่าที่คำนวณได้จากสมการที่ 4.13 จะถูกนำไปประเมินตามเกณฑ์มาตรฐานที่นำเสนอโดย ISO 2631-1 ในรูปแบบของร้อยละความเป็นไปได้ที่จะเกิดภาวะป่วยจากการเคลื่อนไหว ซึ่งค่า $MSDV$ จะถูกแปลงให้อยู่ในรูปร้อยละด้วยการคูณค่าสัมประสิทธิ์ K_m โดยค่าสัมประสิทธิ์ K_m จะมีการเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพของการอยู่ภายใต้การสั่นสะเทือน เช่น สภาพทางร่างกายของมนุษย์ที่แตกต่างระหว่างเพศและวัย เนื่องจากความสามารถในการอยู่ภายใต้ผลกระทบทางความรู้สึกจากการสั่นสะเทือนของมนุษย์มีความแตกต่างกันระหว่างเพศชายและหญิงรวมถึงวัยที่ต่างกันระหว่างวัยเด็ก ผู้ใหญ่ และคนชรา อย่างไรก็ตามสำหรับกรณีทั่วไปที่ไม่คำนึงถึงความแตกต่างทางเพศและวัยค่าสัมประสิทธิ์ K_m สามารถกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 1/3 ได้ เพื่อให้เกิดความสะดวกต่อการประเมิน