ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

ผลกระทบของความสั่นสะเทือนต่อสิ่งแวดล้อม

ความสั่นสะเทือนเนื่องจากการจราจรของรถยนต์ ถ้ามีระดับสูงพอและเกิดอย่างสม่ำเสมอย่อมมีผลกระทบต่อคนในแง่ของการทำความรำคาญ (annoying) หรือทำให้อยู่ไม่สบาย (unpleasant) และถ้ามีระดับสูงมากอาจจะก่อให้เกิดความเสียหายให้แก่อาคารและสิ่งปลูกสร้างที่อยู่บริเวณใกล้ ๆ กับถนน ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่า ความสั่นสะเทือนเป็นมลพิษอย่างหนึ่งได้

ในบทนี้ได้รวบรวมข้อกำหนดเกี่ยวกับผลกระทบของความสั่นสะเทือนที่มีต่อคน อาคารและสิ่งปลูกสร้าง ที่มีผู้วิจัยและสถาบันวิจัยต่าง ๆ กำหนดขึ้น และการศึกษาเรื่องนี้นิยมใช้ความสัมพันธ์ระหว่าง ความถี่ (frequency) และ peak particle velocity* เป็นตัวชี้ถึงว่าระดับความสั่นสะเทือนมีผลกระทบต่อคนและสิ่งปลูกสร้างอย่างไร[17,18,19]

3.1 ผลกระทบของความสั่นสะเทือนที่มีต่อคน

ความสั่นสะเทือนส่งผลกระทบถึงคนได้ใน 2 ทาง คือ[20]

- ทางด้านสรีร (physiological)
- ทางด้านจิตใจ (phychological)

Dieckmann[21] และคนอื่น ๆ ได้กล่าวว่า ร่างกายของคนก็เปรียบเสมือน dynamic system ซึ่งมีความถี่ตามธรรมชาติอันหนึ่งเหมือนกัน และคนมีความรู้สึกเร็วต่อความสั่นสะเทือน แม้ว่าระดับเพียงเล็กน้อยเท่านั้น (ประมาณ 0.001 mm.) แต่จะมีความแตกต่างกันในความรู้สึกและการอธิบายความรู้สึกของแต่ละบุคคลยกตัวอย่างเช่น เมื่อมี

---

*peak particle velocity หรือ peak velocity คือค่าความเร็วสูงสุดของอนุภาคของดิน (soil particle) ที่สั่น (oscillate) รอบจุดสมดุลย์ ขณะที่คลื่นเคลื่อนที่ผ่าน

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ความสั่นสะเทือนเกิดขึ้น ร่างกายคนก็จะรับความรู้สึกเกี่ยวกับความสั่นสะเทือน แต่การอธิบายระดับความสั่นสะเทือนอันเดียวกันของแต่ละบุคคลย่อมแตกต่างไปตามความรู้สึกและประสาทสัมผัสของผู้ที่ได้รับความสั่นสะเทือนนั้น ส่วนผลทางด้านจิตใจนั้น ยิ่งเพิ่มความแตกต่างอย่างเห็นได้ชัด เพราะการอธิบายหรือตีความหมายต่อความสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นของแต่ละบุคคลจะแตกต่างกัน เช่น ความสั่นสะเทือนในระดับเดียวกันบางคนอาจคิดว่าเขาไม่รู้สึกว่าจะเกิดอันตรายและพอทนได้ แต่บางคนอาจจะไม่ยอมรับสภาพนั้นเลยก็ได้ ทั้งนี้เพราะว่าความรู้สึกของบุคคลนั้นย่อมแตกต่างกันไปตาม อารมณ์ นิสัย สุขภาพ อายุ ประสบการณ์และความเข้าใจของแต่ละคนเป็นมูลฐาน

ข้อกำหนดเกี่ยวกับระดับความสั่นสะเทือนที่มีผลต่อคนและสิ่งแวดล้อม มีนักวิจัยและสถาบันวิจัยต่าง ๆ ได้ทำไว้มากพอสมควร ดังจะได้กล่าวเป็นราย ๆ ไป

Reiher and Meister[22] เป็นบุคคลที่ทำการศึกษาในยุคแรก ๆ อย่างจริงจังเกี่ยวกับการรับรู้ของคนต่อความสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้น โดยการใช้คน 25 คน อยู่ในลักษณะนั่งและนอนบน platform และปล่อยให้รับความรู้สึกจากความสั่นสะเทือนแบบ sinusoidal ทั้งในแนวราบและแนวดิ่งเป็นเวลา 10 นาที สรุปว่า คนจะสามารถรับรู้ความสั่นสะเทือนในแนวดิ่งและในแนวราบได้ง่าย ถ้าอยู่ในท่านั่งและท่านอนตามลำดับ และได้แบ่งระดับการรับรู้ของคนต่อความสั่นสะเทือนเป็น 6 ช่วง คือ

- ช่วงที่รับรู้ความสั่นสะเทือนไม่ได้ (imperceptible)
- ช่วงที่พอรู้สึกได้ (just perceptible)
- ช่วงที่รู้สึกได้อย่างชัดเจน (clearly perceptible)
- ช่วงที่ก่อให้เกิดความรำคาญ (annoying)
- ช่วงที่รู้สึกว่าอยู่ไม่สบายหรือรบกวน (unpleasant or distrubing)
- ช่วงที่เป็นอันตราย (painful)

การที่คนจะรู้สึกว่าได้รับความสั่นสะเทือนมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ระหว่าง

ความถี่และขนาด อัมปลิจูด (amplitude) ตัวอย่างเช่น ความถี่ที่ประมาณ 5 Hz. และขนาดของอัมปลิจูด 100 microns ทำความรำคาญ (annoying) แก่คน แต่จะเป็นอันตราย (painful) ถ้าความถี่เกิน 20 Hz. ทำนองเดียวกันถ้าขนาดของอัมปลิจูด 10 microns และความถี่ 10 Hz. ก็เพียงแต่กระตุ้นให้คนพอรู้สึกได้เท่านั้น แต่ถ้าขนาดของอัมปลิจูดเป็น 60 microns คนจะเริ่มรู้สึกรำคาญทันที (ดูรูป 3.1)

รูป 3.1-3.3 เป็นผลการวิจัยของ Reiher and Meister[22] ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความถี่ กับ อัมปลิจูดในแนวดิ่ง (รูป 3.1 และ 3.2) และความถี่กับ peak particle velocity (รูป 3.3)

Dieckmann[21] ได้กำหนดค่า K เพื่อบอกถึงสภาวะต่าง ๆ ของคน ที่มีต่อความสั่นสะเทือน และยังใช้ได้สำหรับ ผลกระทบของความสั่นสะเทือน (เนื่องจากลม) ต่อคนในตึกสูง ๆ ได้ด้วย ค่า K ได้กำหนดตั้งแต่ 0.1 - 100 ซึ่งมีความหมายต่าง ๆ กันดังนี้

K = 0.1 ; ระดับต่ำสุดที่คนรับรู้ได้

K = 1.0 ; ระดับที่คนสามารถยอมรับได้

K = 10 ; ระดับที่คนสามารถยอมรับได้ แต่เป็นเพียงช่วงระยะเวลาสั้น ๆ

K = 100 ; ระดับสูงสุดที่คนปกติจะทนได้

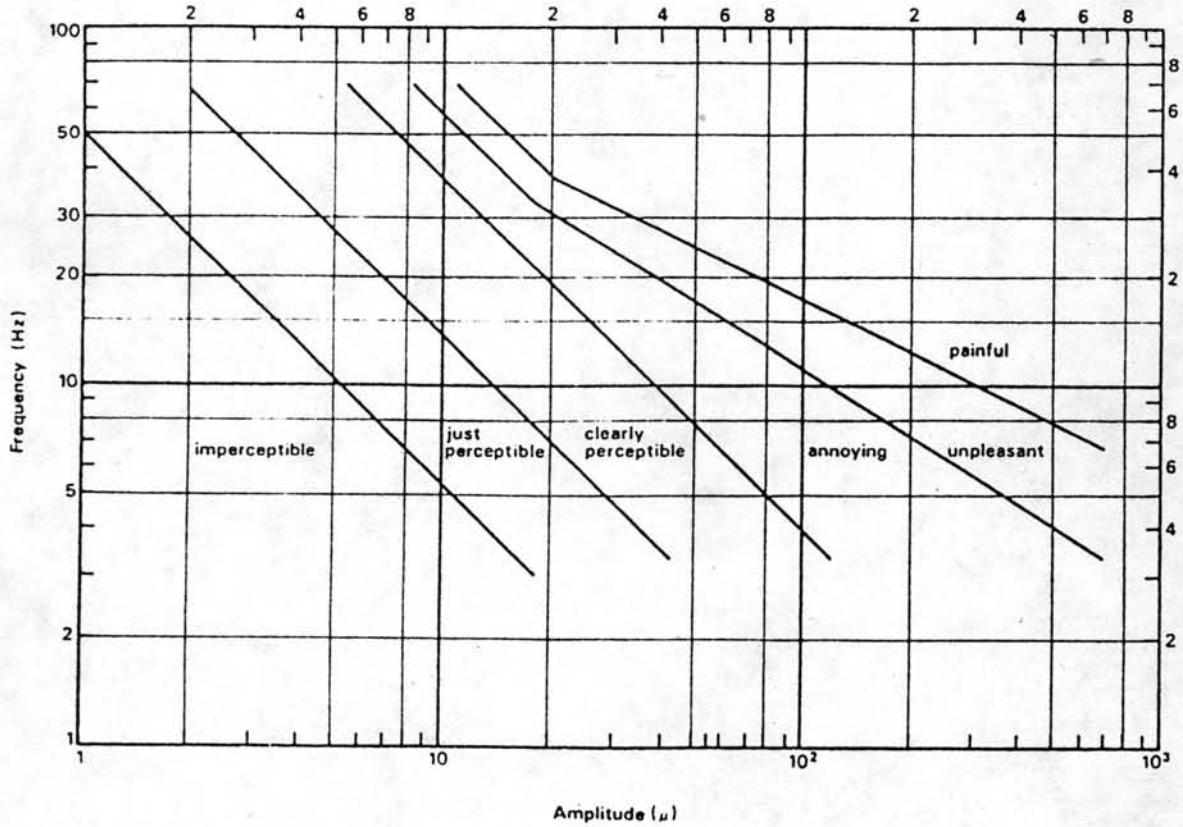
ค่า K ของ Dieckmann สำหรับความสั่นสะเทือนที่รู้ขนาดของ อัมปลิจูดและความถี่สามารถคำนวณได้โดยง่าย ตามแสดงในตาราง 3.1

รูป 3.4-3.6 เป็นผลการวิจัยของ Dieckmann ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ กับ ขนาดอัมปลิจูดในแนวดิ่งและในแนวราบ (รูป 3.4 และ 3.5) และความถี่กับ peak particle velocity ในแนวดิ่ง (รูป 3.6) โดยแสดงค่า K อยู่ในรูปด้วยเพื่อการเปรียบเทียบ

German Standard (DIN 4025, 1958)[23] ได้กำหนดและแบ่งจำแนกค่า K คล้ายกับของ Dieckmann พร้อมทั้งกำหนดระยะเวลาที่ยอมให้ได้สำหรับค่า K ระดับ

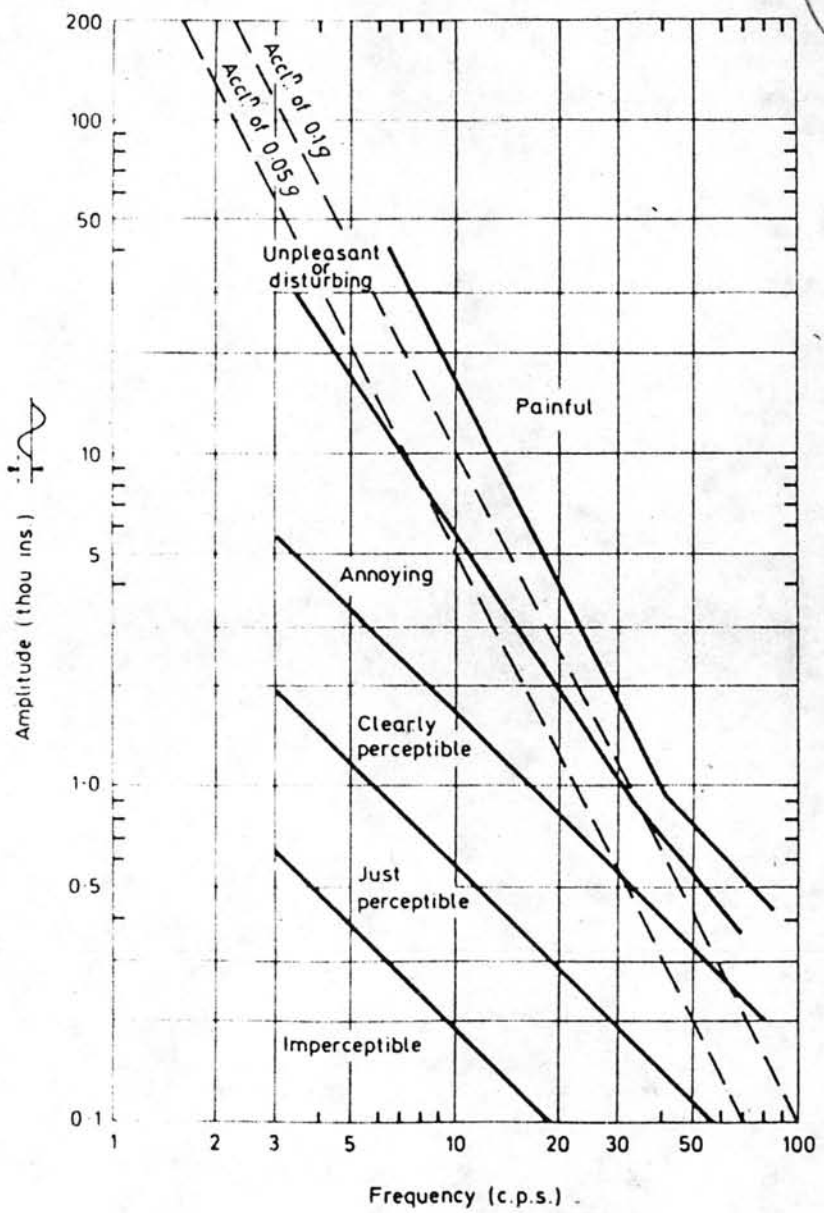
สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูป 3.1 ผลกระทบของความสั่นสะเทือนในแนวดิ่งต่อความรู้สึกของคน (Reiher-Meister)



Human sensitivity: Reiher-Meister scale (vertical vibrations)

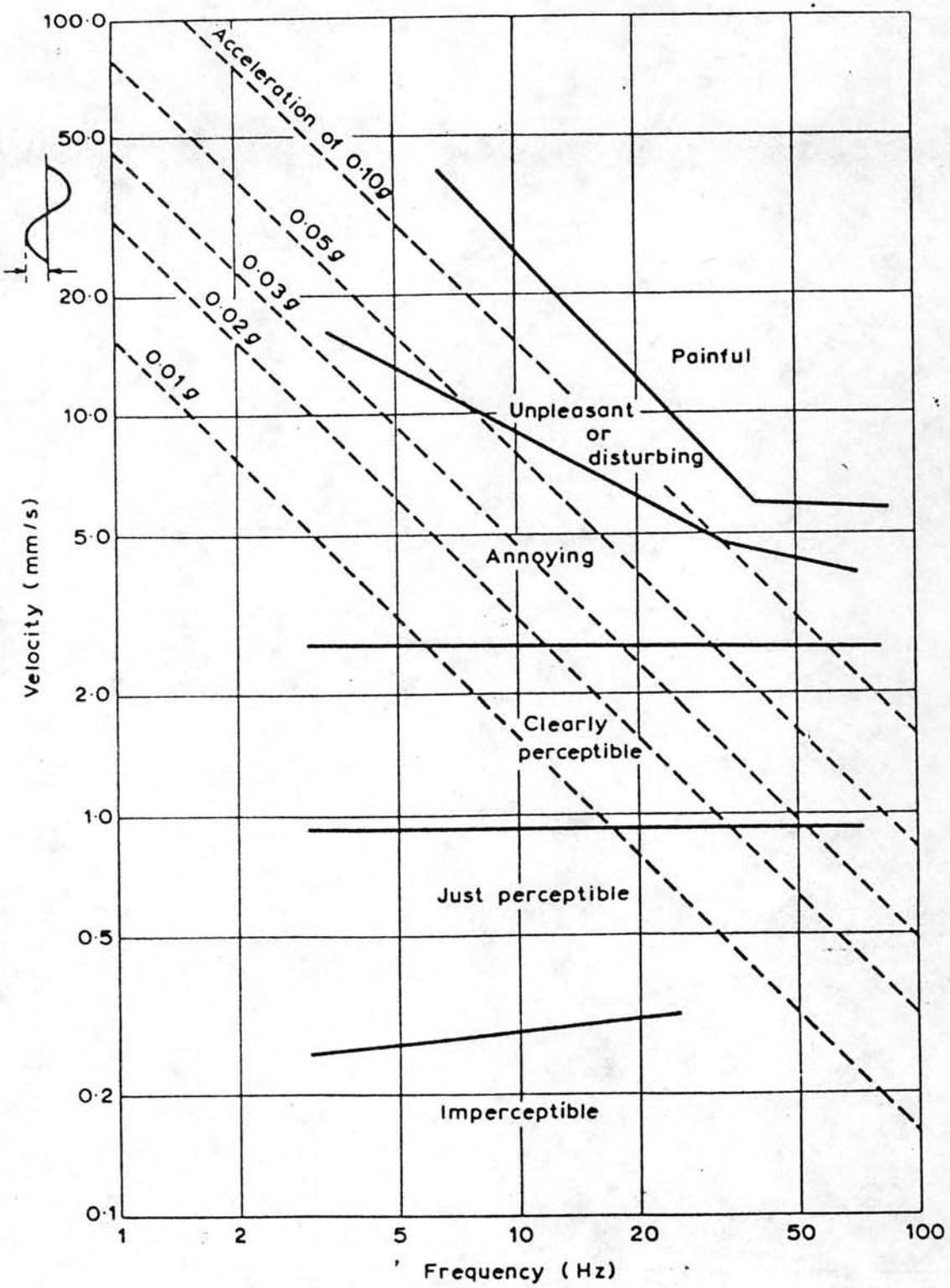
รูป 3.2 ผลกระทบของความสั่นสะเทือนในแนวดิ่งต่อความรู้สึกของคน (Reiher-Meister)



HUMAN SENSITIVITY TO VERTICAL VIBRATIONS
(REIHER AND MEISTER)

รูป 3.3 ผลกระทบของความสั่นสะเทือนในแนวดิ่งต่อความรู้สึกของคน

(Reiher-Meister)

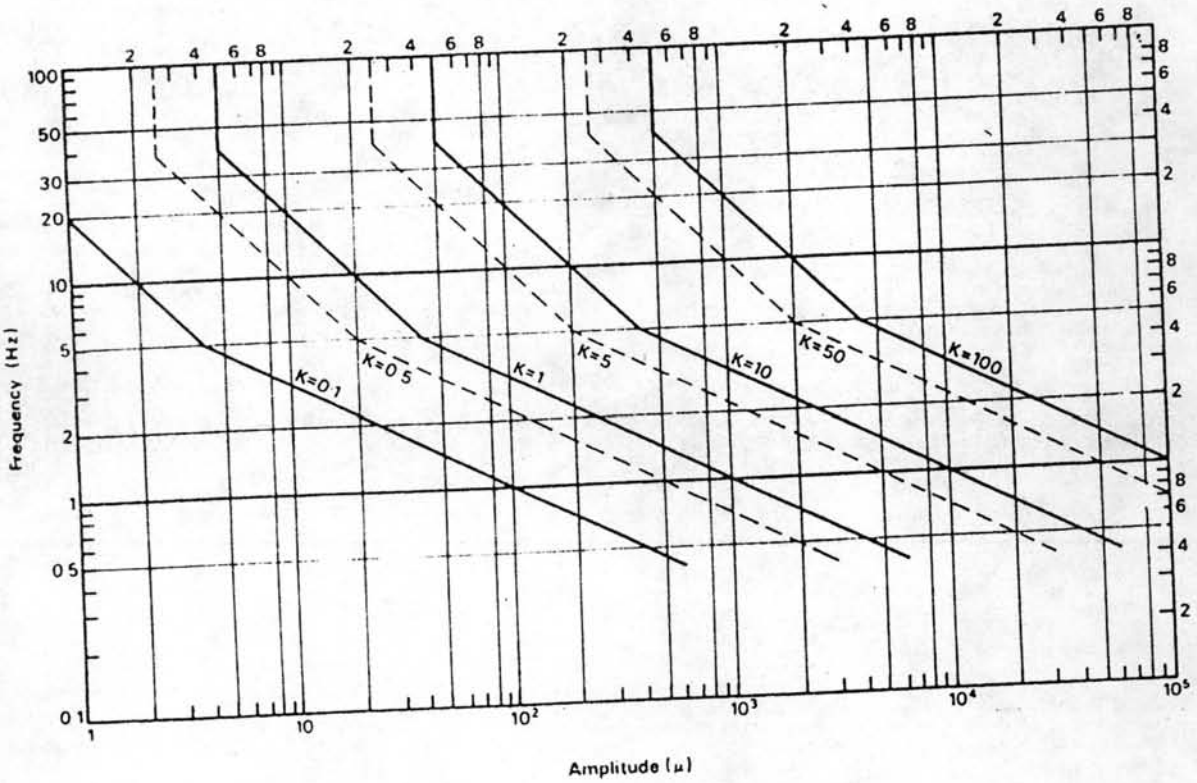


HUMAN SENSITIVITY TO VERTICAL VIBRATIONS

(REIHER AND MEISTER)

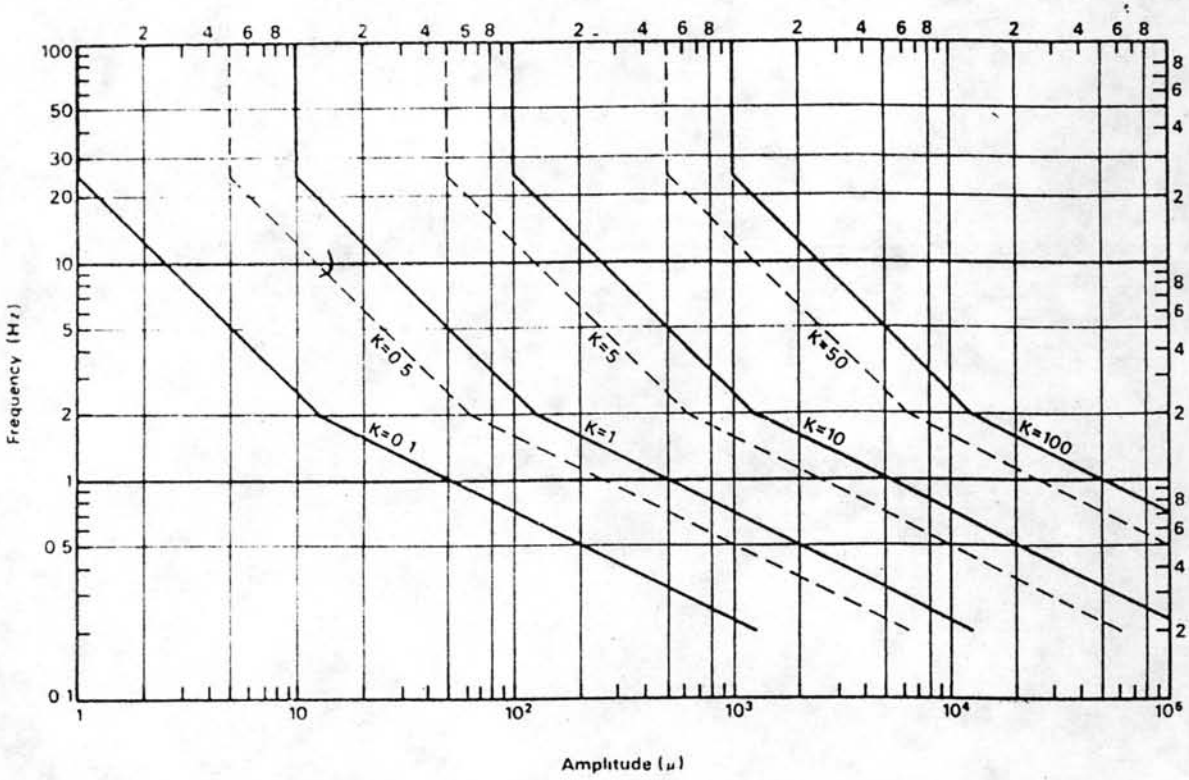
i 17118694

รูป 3.4 แสดงค่า K ของ Dieckmann สำหรับความสั่นสะเทือนในแนวดิ่ง



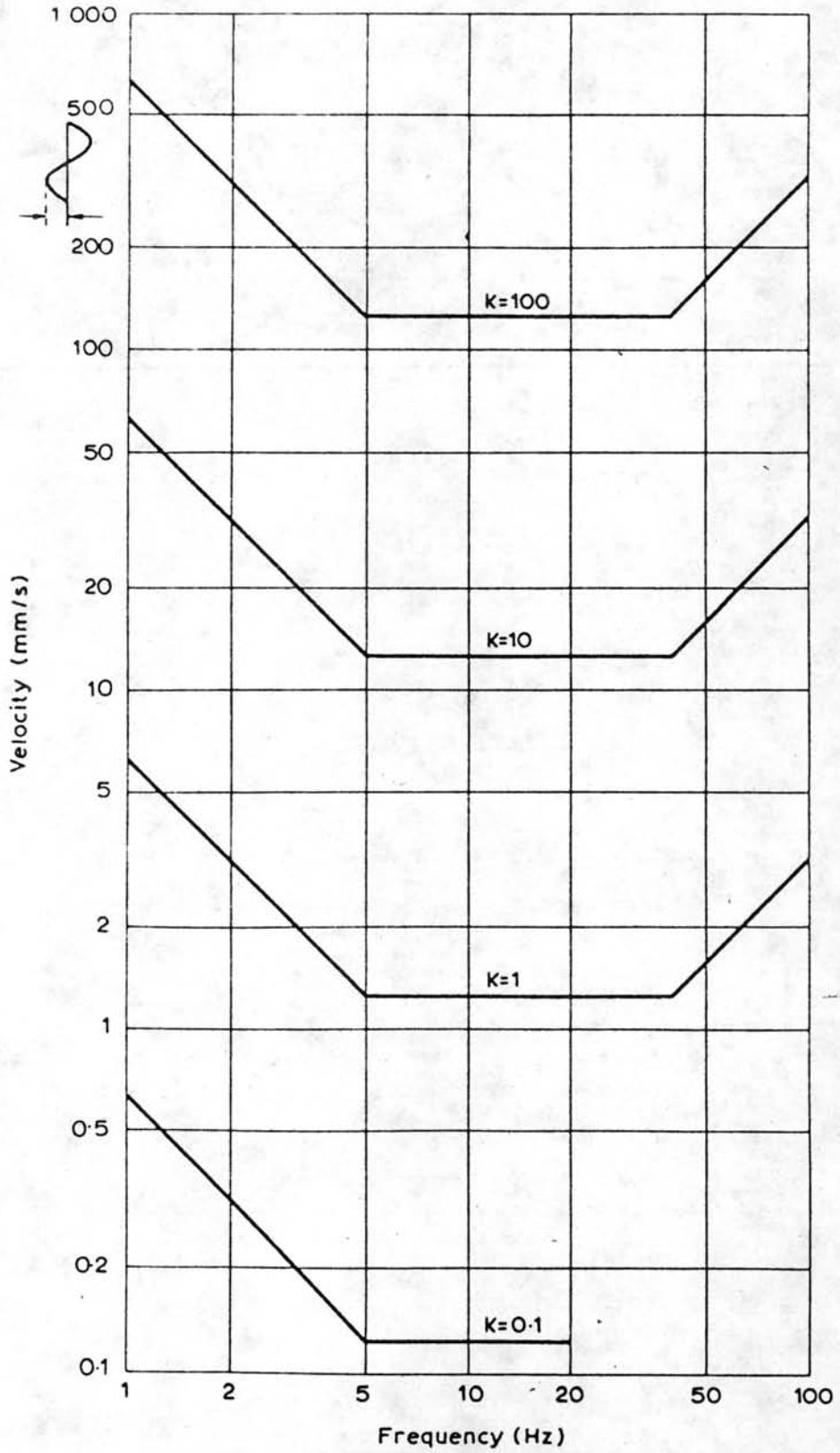
Dieckmann values: vertical vibrations

รูป 3.5 แสดงค่า K ของ Dieckmann สำหรับความสั่นสะเทือนในแนวราบ



Dieckmann values: horizontal vibrations

รูป 3.6 แสดงค่า K ของ Dieckmann สำหรับความสั่นสะเทือนในแนวดิ่ง



HUMAN SENSITIVITY TO VERTICAL VIBRATIONS
(DIECKMANN)

ต่าง ๆ ข้อมูลที่ได้แสดงในตาราง 3.2

German Standard Institute (1970)[24] ได้ทบทวนและปรับปรุง Standard DIN 4150 ใหม่ โดยได้ทำแผนภูมิสำหรับหาค่า K จาก ความถี่ ขนาดอัมปลิจูด peak particle velocity และความเร่ง ข้อมูลที่ได้สามารถใช้ได้ทั้งความสั่นสะเทือนในแนวดิ่งและแนวราบในช่วงความถี่ 0.5-80 Hz. ทั้งสำหรับคนนั่งและคนยืน ค่า K จะมีค่าประมาณค่าของความเร่งเมื่อความถี่ไม่เกิน 5 Hz. และจะมีค่าประมาณ peak particle velocity เมื่อความถี่มากกว่า 15 Hz. ค่า K = 10 จะเท่ากับ peak particle velocity ประมาณ 15 mm/s และ K = 1 ประมาณ 1.5 mm/s ในการปรับปรุงมาตรฐานใหม่ครั้งนี้ ค่า K หาได้จากสูตร

$$K = \frac{0.005Af^2}{\sqrt{100+f^2}} = \frac{0.8vf}{\sqrt{100+f^2}} = \frac{0.125a}{\sqrt{100+f^2}}$$

เมื่อ f = ความถี่,Hz.

A = ปริมาณการขจัด,microns

v = peak particle velocity, mm/s

a = max. acceleration, mm/s^2

ข้อกำหนดค่า K ของมาตรฐานนี้ แสดงไว้ในตาราง 3.3 และรูป 3.7, ตาราง 3.4 แสดงค่า K ที่ยอมรับได้สำหรับความสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นในสถานที่ต่าง ๆ เช่น บ้านพักอาศัย สำนักงาน โรงพยาบาล Sustained vibrations หมายถึงความสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นอย่างน้อยที่สุด 2 ชั่วโมงติดต่อกัน Repeatedly-occurring vibrations หมายถึง Sustained vibrations ที่เกิดขึ้นเป็นบางครั้งบางคราว Seldom occurring shocks เป็น transient vibrations ที่เกิดขึ้นภายในช่วงระยะเวลาสั้น ๆ เท่านั้น ส่วนค่าที่อยู่ในวงเล็บใช้สำหรับความสั่นสะเทือนที่มีค่าความถี่ต่ำกว่า 15 Hz.

ตาราง 3.1 แสดงการคำนวณค่า K ของ Dieckmann

Calculations of Dieckmann K-values

Vertical vibrations		Horizontal vibrations	
Below 5 Hz	$K = 0{\cdot}001\ A.f^3$	Below 2 Hz	$K = 0{\cdot}002\ A.f^3$
5–40 Hz	$K = 0{\cdot}005\ A.f$	2–25 Hz	$K = 0{\cdot}004\ A.f$
Above 40 Hz	$K = 0{\cdot}2\ A$	Above 25 Hz	$K = 0{\cdot}1\ A$

(A = amplitude in microns and f = frequency in Hz)

ตาราง 3.2 แสดงการแบ่งค่า K ของ DIN 4025

Classification of K values (DIN 4025)

K value	Classification	Effect on work
0·1	Threshold value. Vibration just perceptible	Not affected
0·1–0·3	Just perceptible. Easily bearable, scarcely unpleasant	Not affected
0·3–1	Easily noticeable. Bearable, but moderately unpleasant if lasting for an hour	Still not affected
1–3	Strongly noticeable. Still tolerable, but very unpleasant if lasting over an hour	Affected, but possible
3–10	Unpleasant. Can be tolerated for periods of up to 1 hour, but not for longer	Considerably affected, but still possible
10—30	Very unpleasant, cannot be tolerated for more than 40 minutes	Barely possible
30–100	Extremely unpleasant. Not tolerable for more than 1 minute	Impossible
Over 100	Intolerable	Impossible

ตาราง 3.3 แสดงการแบ่งค่า K ของ DIN 4150

Intensity (K-units) and subjective effects
(proposed revision of DIN 4150)

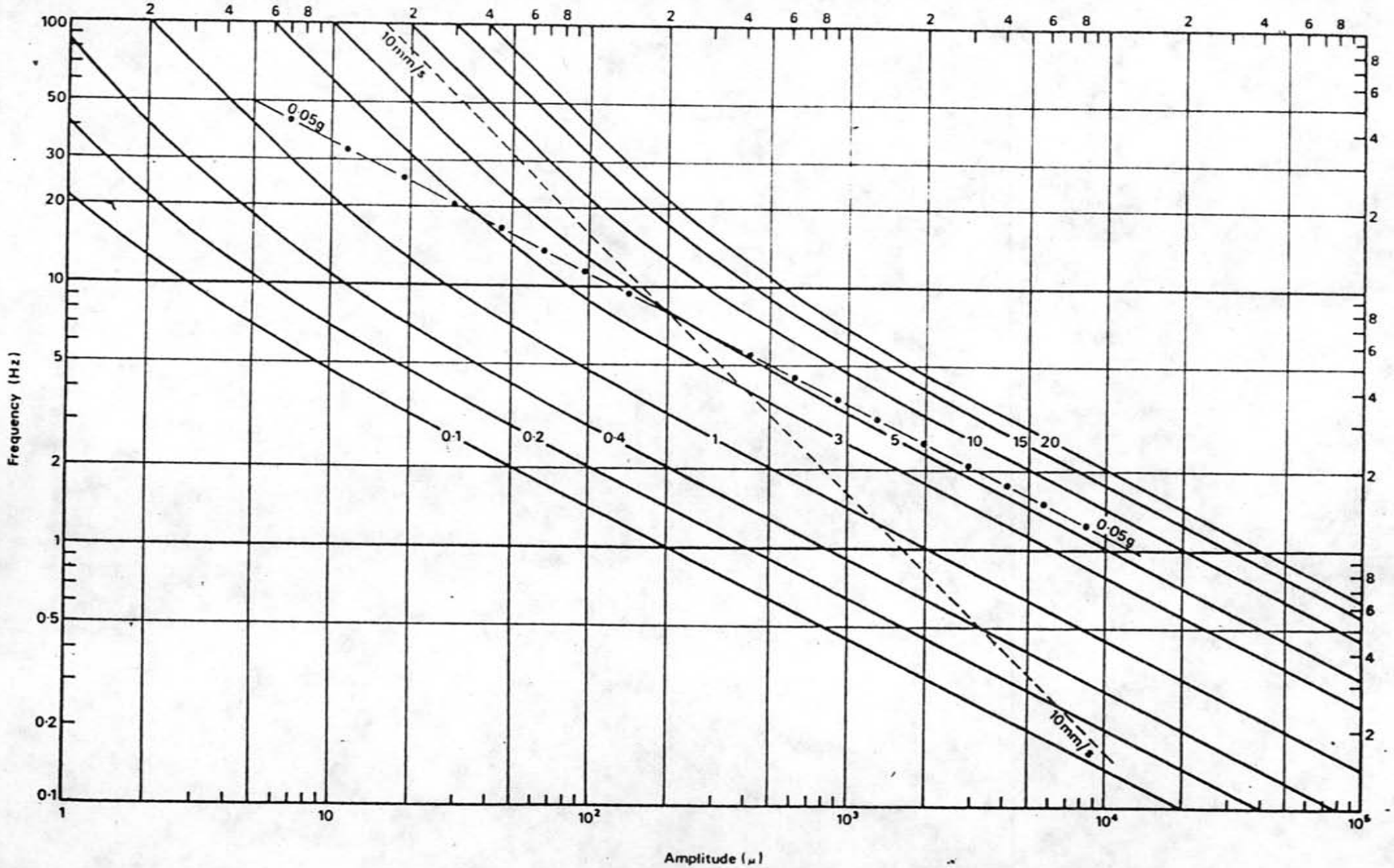
K value	Degree of perception
below 0·1	not felt
0·1	threshold of perception
0·25	barely noticeable
0·63	noticeable
1·6	easily noticeable
4	strongly detectable
10	very strongly detectable

(K-values of 25 and 63 are also given, but it is stated that it is not possible to distinguish between their effects on people)

ตาราง 3.4 แสดงค่า K ที่ยอมให้ได้ในสถานที่ต่าง ๆ

Levels of vibration acceptable for various situations (Draft Revision of DIN 4150)

Building areas	Time	Permissible intensities or K value		
		Sustained vibrations	Repeatedly vibrations occurring	Seldom occurrimg shocks
Health resorts, Hospitals, Nursing homes (SO)	Day	Threshold of perception	Threshold of perception	2·5
	Night			Threshold of perception
Small building estates (WS) Purely residential areas (Wh) General residential areas (WA) Weekend living areas (SW) University areas (SO)	Day	Threshold of perception	0·2 (0·1)	4
	Night		Threshold of perception	Threshold of perception
Village areas (MD) Mixed areas (MI) Central areas (MK)	Day	0·3 (0·15)	0·63 (0·3)	8
	Night	Threshold of perception	Threshold of perception	Threshold of perception
Business areas (GE) Industrial areas (GI) Port areas (SO)	Day	0·63 (0·3)	0·8 (0·4)	12
	Night	0·4	0·4	0·4



รูป 3.7 แสดงค่า K ของ Dieckmann (DIN 4150)

Postlethwaite[25] ได้เสนอสูตร Empirical สำหรับกำหนดค่าขนาดอัมปลิจูดซึ่งจะทำให้เกิดความไม่สบายขึ้น ดังนี้

$$\text{Discomfort amplitude (microns)} = 76\left[1+\frac{194}{f^2}\right]$$

เมื่อ f = ความถี่ , Hz.

Oehler[26] ได้ตั้งข้อกำหนดขนาดอัมปลิจูด สำหรับการออกแบบสะพานเพื่อหลีกเลี่ยงความไม่สบาย (discomfort) ที่จะเกิดขึ้น

$$\text{Discomfort amplitude (mm.)} = 51/f^3 \text{ (for f = 1-6 Hz.)}$$
$$= 8.5/f^2 \text{(for f = 6-20 Hz.)}$$

ถ้า K = 10 ของ Dieckmann เปรียบได้กับความอยู่ไม่สบาย เมื่อจะเขียนให้อยู่ในรูปของ Postlethwaite formula จะเขียนได้ดังนี้

$$\text{Discomfort amplitude (microns)} = 70\left[1+\frac{190}{f^2}\right]$$

ตาราง 3.5 เปรียบเทียบขนาดอัมปลิจูด ของความอยู่ไม่สบาย จากสูตรทั้งสามสูตรที่กล่าวมาแล้วข้างต้น สำหรับความถี่ต่าง ๆ กัน และเพื่อการเปรียบเทียบ Reiher-Meister ที่ unpleasant (mid-zone) ของ vertical scale และ K = 10 ของ DIN 4150 (draft revision) ก็นำมาบรรจุในตารางนี้ด้วย

Johnson[27] ได้กำหนด acceptable levels ของความสั่นสะเทือนไว้ดังนี้

$$\text{Acceptable amplitude (microns)} = \frac{850\ f + 7060}{f^2} \text{ (vertical vibration)}$$
$$= \frac{850\ f + 4240}{f^2} \text{ (horizontal vibration)}$$

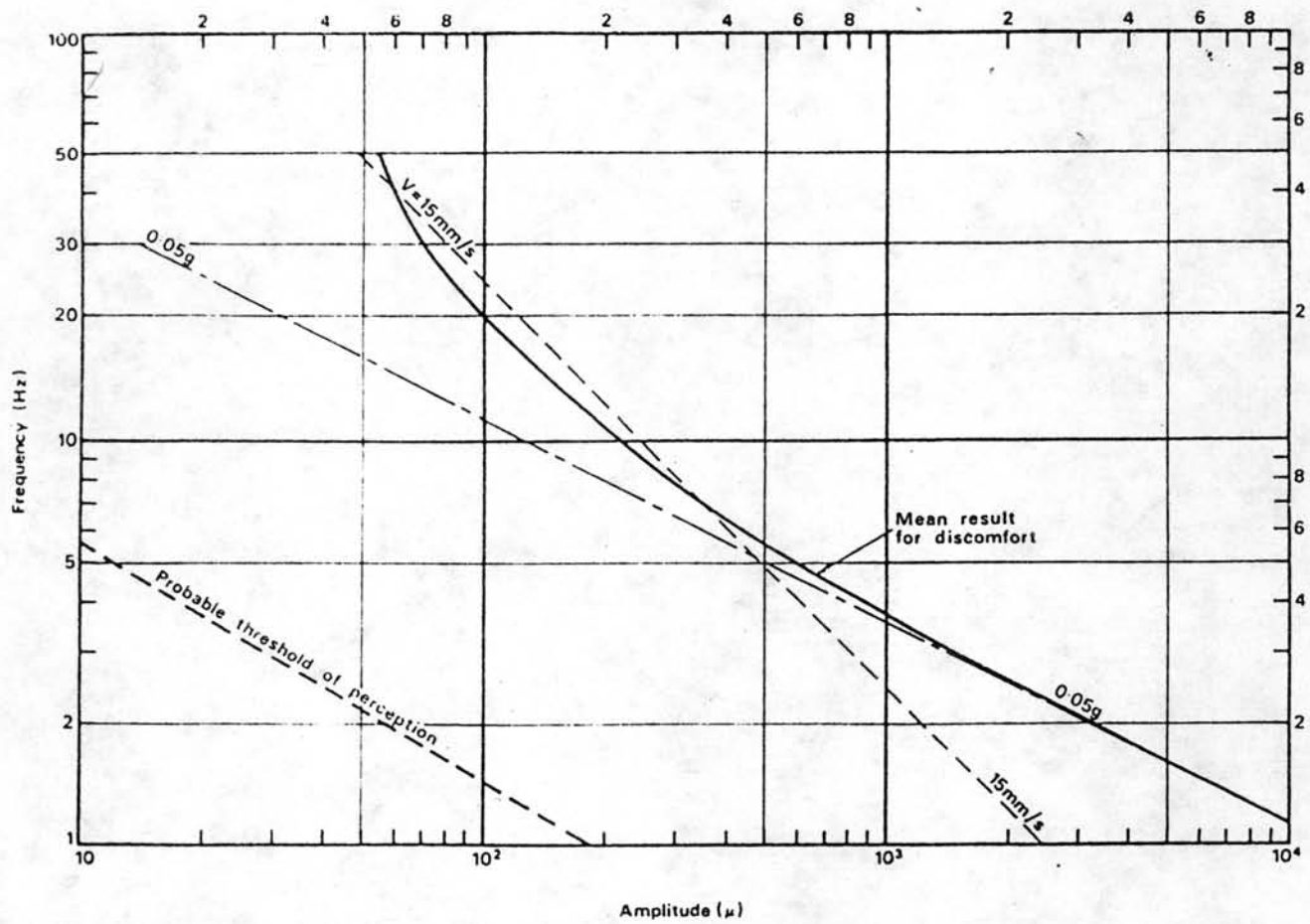
รูป 3.8 แสดงความสัมพันธ์ของขนาดอัมปลิจูด และความถี่สำหรับความสั่นสะเทือนที่ทำให้เกิดการอยู่ไม่สบาย (discomfort vibration) ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยจากผลการทดลอง

ตาราง 3.5 แสดงการเปรียบเทียบค่าของอัมปลิจูด ซึ่งทำให้อยู่ไม่สบายของข้อกำหนดระบบต่าง ๆ

Amplitudes for discomfort vibration

Authority	Amplitude (μ) at given frequency				
	5 Hz	10 Hz	15 Hz	20 Hz	30 Hz
Postlethwaite	670	220	140	110	90
Oehler (for bridges)	410	85	40	20	—
Diekmann (K = 10)	600	200	130	105	85
Reiher-Meister	750	230	90	60	30
DIN 4150 (K = 10)	890	283	160	112	70

รูป 3.8 แสดงผลเฉลี่ยของระดับความสั่นสะเทือนที่ทำให้อยู่ไม่สบาย



Vibrations producing discomfort

ของ Postlethwaite, Dieckmann, Johnson และ DIN 4150 (draft revision) สำหรับ K = 10 ซึ่งปริมาณการขจัดอันนี้จะมีค่ามากกว่าปริมาณการขจัดในระดับของ threshold of perception ประมาณ 50 เท่า

Zeller[28, 29, 30] หน่วยของการวัดระดับความสั่นสะเทือนที่มีผลต่อคน และสิ่งปลูกสร้างในประเทศเยอรมันตอนแรก ๆ เสนอโดย Zeller หน่วยนี้ได้แก่ "Vibrar" และ "Pal" ซึ่งได้พิจารณาถึงความสัมพันธ์ของความเร่งและความถี่ดังนี้

$$\text{Zeller's power } (Z) = \frac{a^2}{f} = 16\,\pi^4 A^2 f^3$$

หน่วย Vibrar ตั้งขึ้นโดยใช้ค่า Zeller (Z) เป็นมูลฐาน ซึ่งเขียนได้ดังนี้

$$\text{Strength in vibrar units} = 10 \log (Z/10)$$

เมื่อ Z มีหน่วยเป็น mm^2/s^3

รูป 3.9 เป็นแผนภูมิแสดงการหาค่าหน่วย vibrar ในเมื่อรู้ค่าของขนาดอัมปลิจูด และความถี่

หน่วย Pal ก็ตั้งขึ้นโดยใช้ค่า Zeller (Z) เป็นมูลฐานเช่นกัน และเขียนได้ดังนี้

$$\text{Strength in Pal (Zeller)} = 10 \log (Z/Z_i)$$

เมื่อ Z_i เป็น threshould value = 50 mm^2/s^3

ดังนั้น

$$\text{Strength in Pal (Zeller)} = 10 \log (Z/50)$$

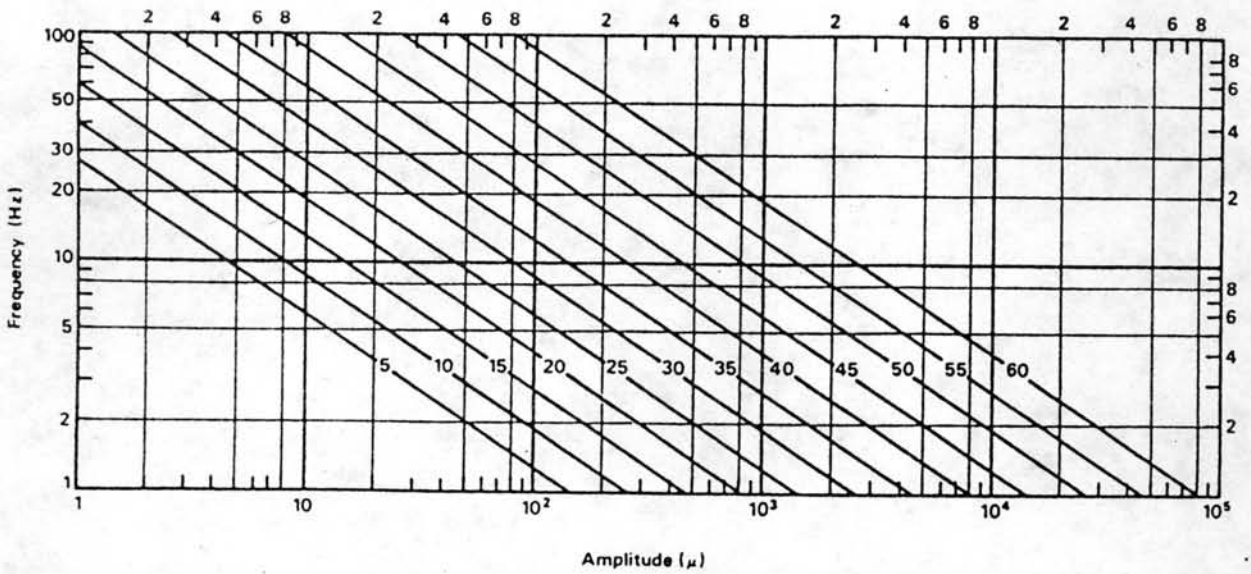
เมื่อ Z มีหน่วยเป็น mm^2/s^3

ตาราง 3.6 แสดงการแบ่งระดับของความสั่นสะเทือนที่มีผลต่อคนในหน่วยของ Pal (Zeller)

ตารางที่ 3.7 เป็นตารางแสดงการเปรียบเทียบระดับของความสั่นสะเทือนที่ขนาดอัมปลิจูด และความถี่ในระบบมาตรฐานต่าง ๆ ที่กล่าวมาแล้ว สำหรับขนาดอัมปลิจูด

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูป 3.9 แสดงค่าของความสั่นสะเทือนในหน่วย "Vibrar"



The vibrar unit of intensity

ตาราง 3.6 แสดงการแบ่งระดับความสั่นสะเทือนในหน่วย Pal (Zeller)

The Pal (Zeller) scale of intensity

Strength in Pal (Zeller) units	Sensation or effect
0 to 10	Vibration perceptible depending on body position
10 to 20	General perception
20 to 30	Traffic vibrations; not tolerable for persons in buildings
30 to 40	Vibrations in vehicles moving quietly
40 to 50	Vibrations in vehicles; accelerations in lifts
50 to 60	Heavy vibrations in vehicles; vibrations bearable by persons for short time without discomfort
60 to 70	Physical discomfort; sea-sickness; pain if associated with high frequencies

ตาราง 3.7 แสดงการเปรียบเทียบระดับความสั่นสะเทือนในมาตรฐานต่าง ๆ

Comparative strengths of vibrations

Amplitude (μ)	Frequency (Hz)	Maximum Acceleration (×g)	Maximum velocity (mm/s)	K values			Vibrar	Reiher-Meister (V)
				DIN 4150	Dieckmann			
					(V)	(H)		
10	50	0·1	3·1	2·4	2	1	33	4
40	25	0·1	6·3	4·6	5	4	36	5
250	10	0·1	15·7	8·8	12	10	40	5
5·5	60	0·08	2·1	1·6	1·1	0·6	30	3
22	30	0·08	4·1	3·1	3	2	33	4
88	15	0·08	8·3	5·5	7	5	36	5
310	8	0·08	15·6	7·7	12	10	39	5
2210	3	0·08	41·7	9·5	20	26	43	5
5	50	0·05	1·6	1·2	1·0	0·5	27	3
8	40	0·05	2·0	1·6	1·6	0·8	28	3
31	20	0·05	3·9	2·8	3	2·5	31	4
500	5	0·05	15·7	5·6	12	10	37	5
4	50	0·04	1·3	1·0	0·8	0·4	25	3
11	30	0·04	2·1	1·6	1·7	1·1	27	3
25	20	0·04	3·1	2·2	0·8	2	29	4
400	5	0·04	12·6	4·5	10	8	35	5
2·5	55	0·03	0·9	0·7	0·5	0·3	22	3
12	25	0·03	1·9	1·4	1·5	1·2	25	3
75	10	0·03	4·7	2·7	4	3	29	4
150	7	0·03	6·6	3·0	5	4	31	4
830	3	0·03	15·6	3·6	8	10	35	5
1	50	0·01	0·3	0·2	0·2	0·1	13	2
4	25	0·01	0·6	0·5	0·5	0·4	16	2
25	10	0·01	1·6	0·9	1·3	1	20	3
620	2	0·01	7·8	1·2	2·5	5	27	4
1	35	0·005	0·2	0·2	0·2	0·1	8	1
3	20	0·005	0·4	0·3	0·3	0·2	11	2
50	5	0·005	1·6	0·6	1·3	1	17	3
310	2	0·005	3·9	0·6	1·2	2·5	21	4

และความถี่นี้ ส่วนมากจะพบอยู่ในบ้านเรือนและตึกสำนักงาน ในการแบ่งระดับความสั่นสะเทือนของ Reiher-Meister ตัวเลขที่ปรากฏอยู่ในตารางมีความหมายต่าง ๆ กัน ดังนี้

เลข 1 imperceptible

เลข 2 just perceptible

เลข 3 clearly perceptible

เลข 4 annoying

เลข 5 unpleasant

Goldman (1948)[31] ได้ทบทวนปัญหาและได้ทำ curves ขึ้นมาใหม่โดยได้คำนึงถึงแหล่งกำเนิดของความสั่นสะเทือนด้วย แล้วเฉลี่ยแบ่งช่วงการรับรู้ของคนเป็น 3 ช่วง คือ

1 perception

2 unpleasantness

3 intolerance

ข้อกำหนดนี้รวมทั้งความสั่นสะเทือนในแนวราบและในแนวดิ่งด้วย (รูป 3.10 และ 3.11) รูป 3.10 และ 3.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ กับ ขนาดอัมปลิจูด และความถี่กับความเร่ง ที่มีผลต่อความรู้สึกของคน ตามลำดับ

Wright and Green[32] ได้ทำ curves แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่และขนาดอัมปลิจูด โดยแบ่งระดับการรับรู้ของคนให้ละเอียดยิ่งขึ้น (ดูรูป 3.12) ดังนี้

1 imperceptible

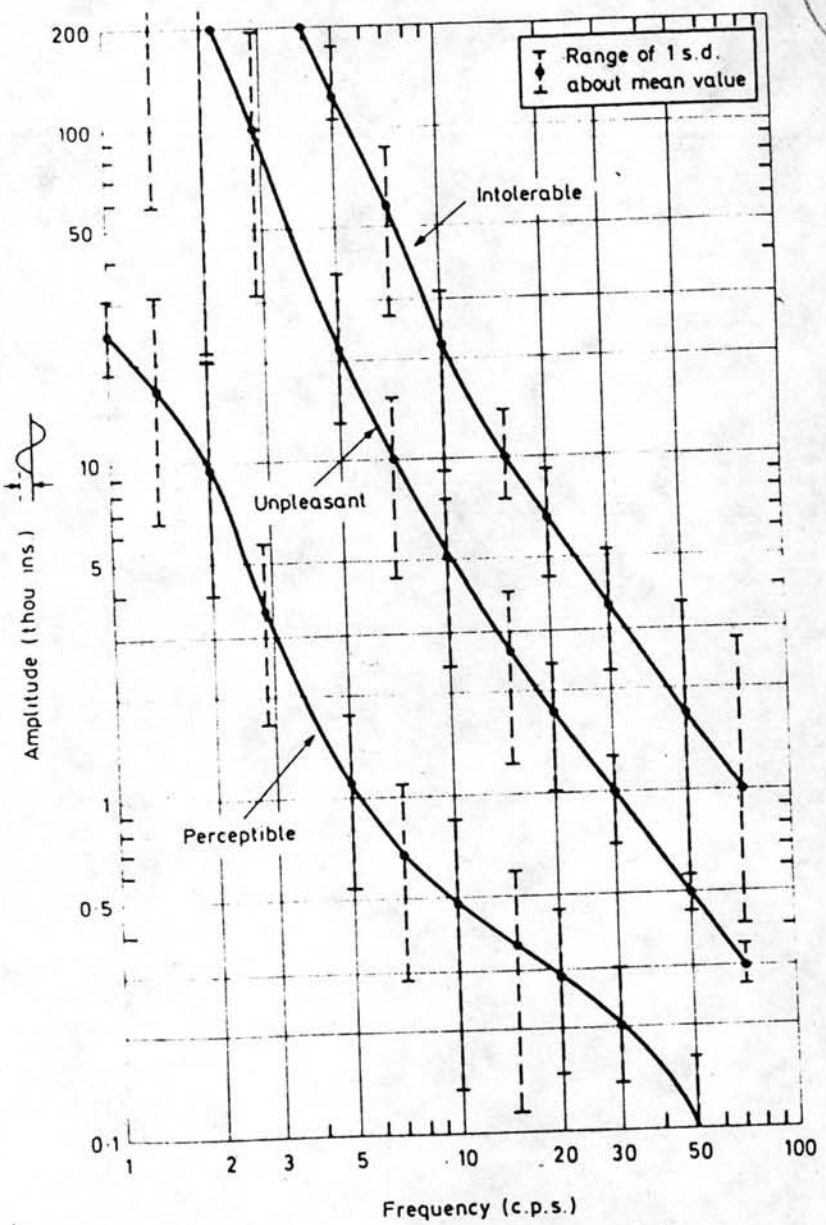
2 imperceptible to most

3 perceptible to most

4 perceptible

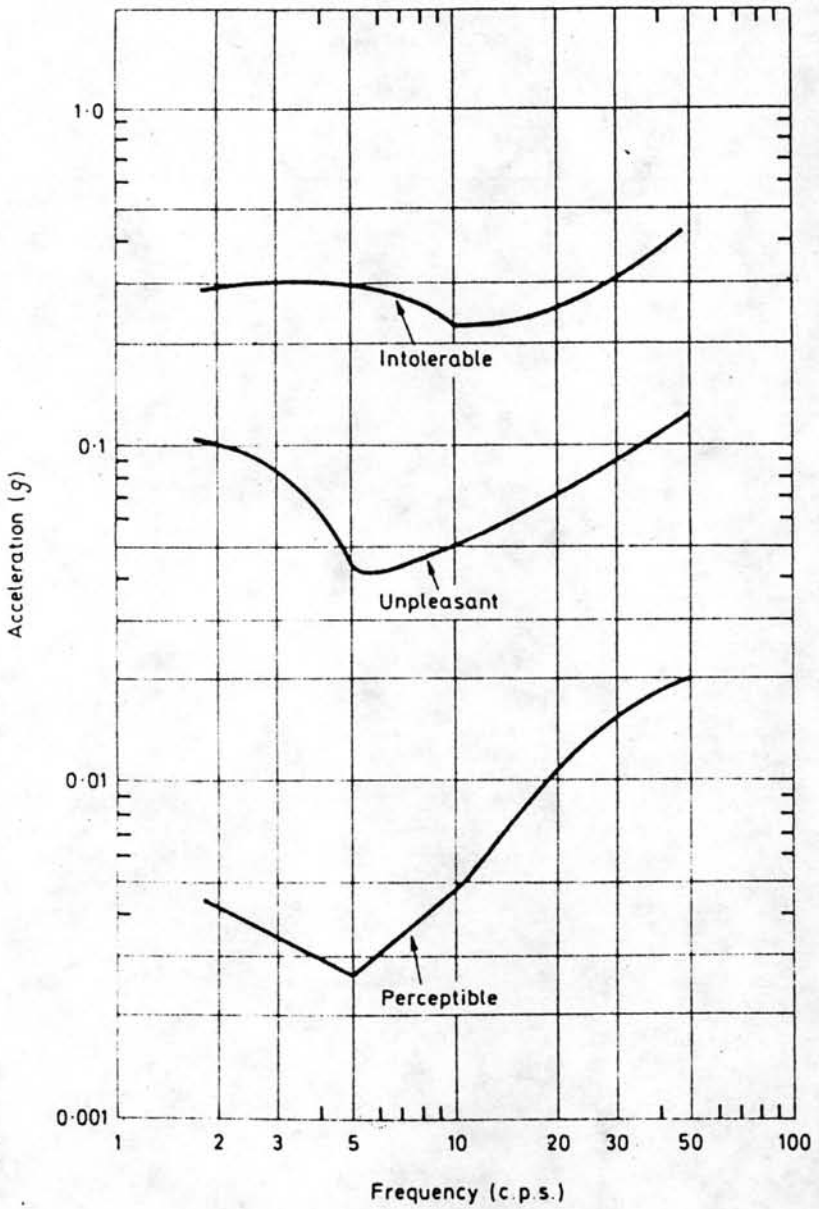
5 unpleasant to some

รูป 3.10 แสดงช่วงของความสั่นสะเทือนต่อความรู้สึกของคน (Goldman)



TOLERANCE LEVELS OF HUMAN REACTION TO VIBRATION (GOLDMAN) - AMPLITUDE v FREQUENCY

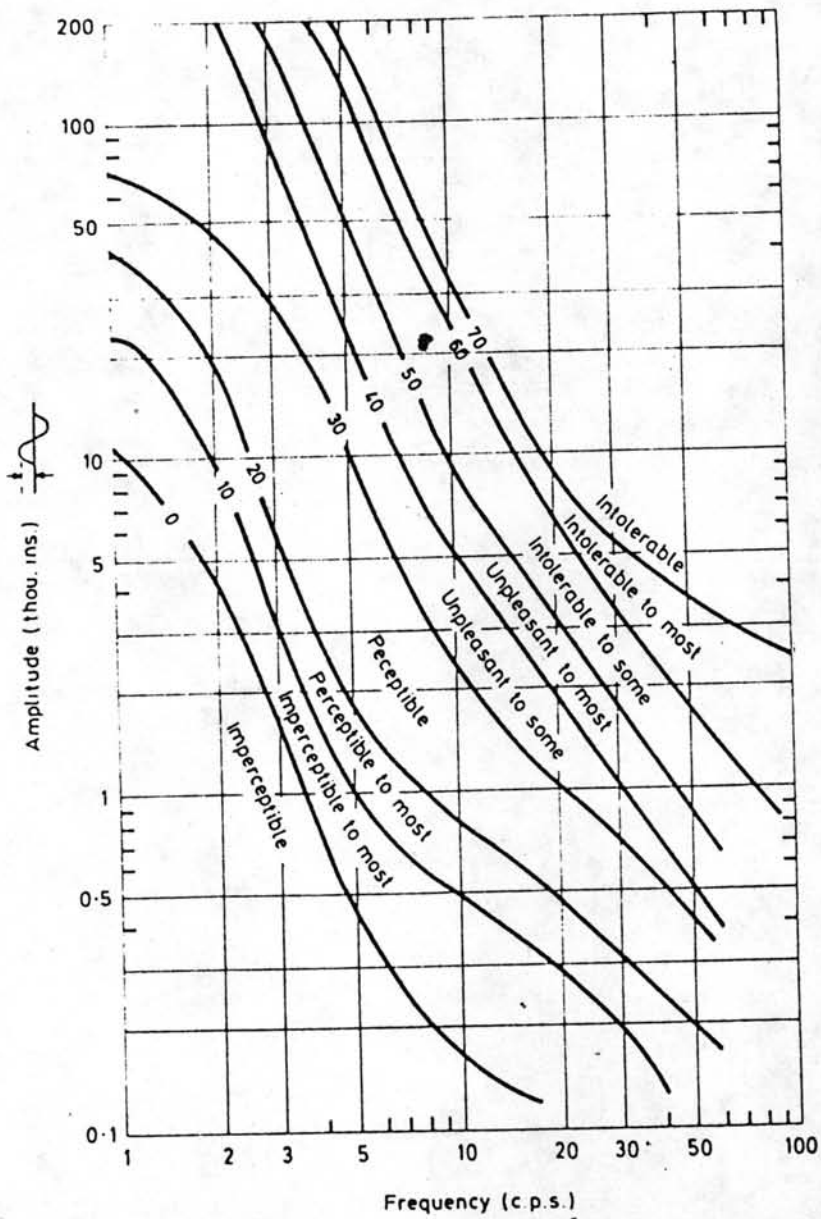
รูป 3.11 แสดงย่วงของความสั่นสะเทือนต่อความรู้สึกของคน (Goldman)



TOLERANCE LEVELS OF HUMAN REACTION TO VIBRATION (GOLDMAN) - ACCELERATION v FREQUENCY

รูป 3.12 แสดงช่วงของความสั่นสะเทือนต่อความรู้สึกของคน

(Wright and Green)



CONTOURS OF EQUAL SENSITIVITY TO VIBRATION –
'ISOSENSORS' (WRIGHT AND GREEN)

6 unpleasant to most

7 intolerable to some

8 intolerable to most

9 intolerable

Janeway[33] ได้กำหนดช่วงการรับรู้ของคนออกเป็น 2 ช่วง คือช่วงที่อยู่สบาย (comfort zone) และช่วงที่อยู่ไม่สบาย (discomfort zone) โดยกำหนดแผนภูมิตามความสัมพันธ์ดังนี้

$af^3 = 2$ ในช่วงความถี่ 1 - 6 Hz.

$af^2 = 1/3$ ในช่วงความถี่ 6 -20 Hz.

$af = 1/60$ ในช่วงความถี่ >20 Hz.

เมื่อ a = amplitude ,นิ้ว

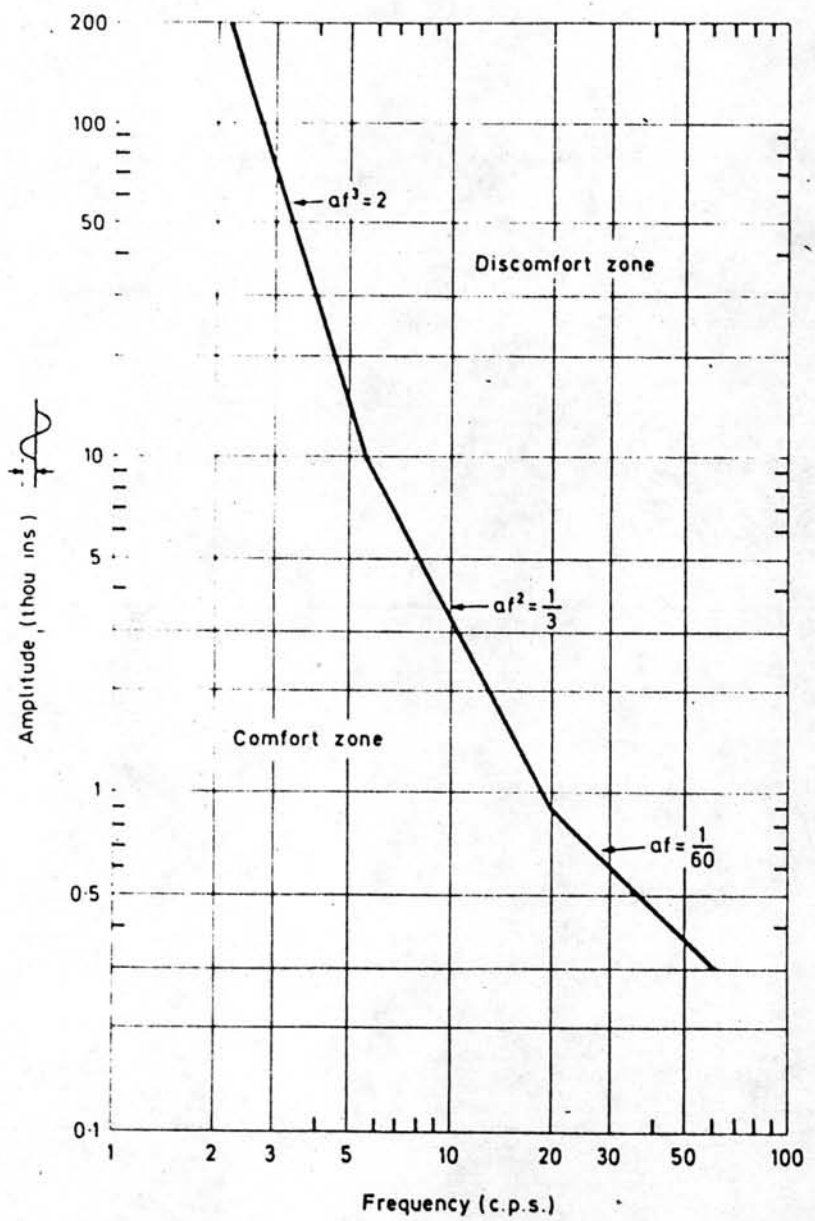
f = ความถี่ ,Hz.

แผนภูมิที่แสดงในรูป 3.13 เป็นการแบ่งช่วงความรู้สึกของคนที่มีต่อความสั่นสะเทือนในแนวดิ่งที่เสนอโดย Janeway

3.2 <u>ผลกระทบของความสั่นสะเทือนที่มีต่อเครื่องมือในห้องทดลอง</u>[3]

ในโรงเรียน มหาวิทยาลัย สถาบันวิจัย และสถานที่จำเป็นต้องมีเครื่องมือทดลองทางวิทยาศาสตร์ การอ่านตัวเลขจากเครื่องมือ เช่น galvanometer เครื่องชั่งน้ำหนัก หรือเครื่องมืออย่างอื่นที่ต้องการความละเอียดมาก ต้องประสบกับปัญหาการอ่านและการใช้เครื่องมือ ให้ได้ความถูกต้องยากเนื่องจากถูกรบกวนจากความสั่นสะเทือน เช่น เนื่องจากรถยนต์วิ่ง คนเดิน หรือ ลมพัดประตูหน้าต่างทำให้เกิดความสั่นสะเทือน Instrument Society of America (1961) ได้กำหนดระดับของความเร่ง (acceleration), g ที่ยอมให้เกิดขึ้นได้กับเครื่องมือต่าง ๆ ดังนี้

รูป 3.13 แสดงช่วงของความสั่นสะเทือนต่อความรู้สึกของคน (Janeway)



VERTICAL VIBRATION LIMITS FOR AUTOMOBILE PASSENGER COMFORT (JANEWAY)

(1) 0.001 g for dimentional and electrical-physical working standards. (0.001 g = 6 microns at 20 Hz. and a peak particle velocity = 0.8 mm/s)

(2) 0.002 g for dimentionnal working standards (=12 microns at 20 Hz. and a peak particle velocity = 1.6 mm/s)

(3) 0.003 g for electrical-physical working standards (= 19 microns at 20 Hz. and a peak particle velocity = 2.3 mm/s)

Road Research Laboratory (1969-1970) ได้รวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับ sensitivity ของเครื่องมือทดลองต่อความสั่นสะเทือน โดยทำการสอบถามเจ้าหน้าที่ของห้องทดลองต่าง ๆ เพื่อหาข้อมูลเกี่ยวกับระดับความสั่นสะเทือนที่รบกวนการทำงานของเครื่องมือวิทยาศาสตร์ รายละเอียดแสดงในตาราง 3.8 และ 3.9

3.3 ผลกระทบของความสั่นสะเทือนที่มีต่อสิ่งปลูกสร้าง

3.3.1 Structural damage and Architechtural damage

ก่อนที่จะรู้ว่าความสั่นสะเทือนที่ระดับไหนจึงจะสามารถทำความเสียหายให้แก่สิ่งปลูกสร้างได้ มีความจำเป็นที่ต้องเข้าใจประเภทของความเสียหายที่เกิดขึ้นเสียก่อน

M.W. Jackson (1967)[35] แห่ง University of New Mexico ได้อภิปราย (discuss) ปัญหาเกี่ยวกับความเสียหายที่เกิดขึ้นกับสิ่งปลูกสร้าง (building) และปฏิกริยาของคนที่ประสบกับปัญหาที่เกิดขึ้นว่า

ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับสิ่งปลูกสร้าง (building) จะมากหรือน้อยแค่ไหนขึ้นอยู่กับความรู้สึกและการยอมรับของคน โดยไม่ค่อยจะคำนึงว่าระดับความสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นจริง ๆ นั้นมีระดับสูงพอที่จะทำให้เกิดความเสียหายได้หรือไม่ เช่น ความเสียหาย

ตาราง 3.8 แสดงผลกระทบของความสั่นสะเทือนต่อเครื่องมือทดลอง

Information collected by the Road Research Laboratory
on the sensitivity of laboratory instruments to vibrations

Instrument	Notes on behaviour supplied by user	Corresponding values of Amplitude microns	Peak particle velocity mm/s
Phillips EM 300 electron microscope	Makers state that maximum permissible vibratory speed on floor is 35 microns per second. (If frequency of ground vibration were 20 Hz amplitude would be 0.28 microns).	0.28 (Limiting value)	0.035 (Limiting value)
Electronic apparatus of general character	Undisturbed by vibrations of the order of 60 micro inches at 10 to 20 Hz caused by road and rail traffic	Not disturbed by:– 1.5	0.19
Perkin Elmer RMV7 mass spectrometer	Could not be used when vibrations of 13 microns at 500 Hz were present. Pump equipment had to be mounted separately from base of instrument.	Made unusable by:- 13	40
EM6G electron microscope	Made unusable by a vertical vibration of 510 microns at 10 Hz	Made unusable by:– 510	32
Apparatus unaffected by vibrations due to traffic close to building AEI MS2H mass spectrometer Phillips X-ray crystallographic apparatus Contact potential measuring apparatus		Mounting conditions unspecified	
Optical extensometers used with creep apparatus, associated testing machines were mounted on isolated plinths	Readings became impossible under vertical vibrations of 510 microns at 50 Hz	Made unusable by:– 510	160

ตาราง 3.9 แสดงผลกระทบของความสั่นสะเทือนต่อเครื่องมือทดลองบางชนิด

Sensitivity of some laboratory instruments to vibrations.

Taken from paper by Steffens[42]

Type of instrument	Displacement in microns	
	Satisfactory	Excessive
Mettler analytical balance	R	0.1
Sartorius analytical balance	0.2	0.8
Leeds-Northrup reflective galvanometer	0.02	0.1
Zeiss interferometer microscope	R	0.1
Electron microscope	0.5	12.0
Photo-microscope	1.25	11.5
Watts Microptic autocollimator	0.05	0.07
Haas standard barometer	0.25	0.7

R indicates that the instrument can be used only during periods of little vibration.

N.B. No figures were given for the frequencies of vibration.

เล็กน้อย (minor damage)* ที่เกิดขึ้นเนื่องจากพายุทอนาโด พายุโซนร้อน พายุเนื่องจากฝนฟ้าคะนอง หรือเกิดจากสาเหตุธรรมชาติ เช่น การขยายตัว (expansion) การหดตัว (contraction) เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและความชื้น คนจะมีความรู้สึกไม่กังวล และไม่รู้สึกว่าจะเกิดอันตราย แต่ถ้าความเสียหายเกิดขึ้นเพราะมนุษย์มีส่วนเกี่ยวข้อง เช่น การสั่นสะเทือนเนื่องจากการระเบิด การสั่นสะเทือนของเครื่องจักร (equipment vibration) การสั่นสะเทือนเนื่องจากการจราจรของรถยนต์ ในความรู้สึกของคนจะเห็นเป็นเรื่องที่ใหญ่โต ยอมรับไม่ได้ และเป็นอันตรายต่อเขาได้

Jackson ได้แบ่งความเสียหาย (damage) ที่เกิดขึ้นเนื่องจากความสั่นสะเทือนเป็น 2 ลักษณะ คือ

1. Structural damage หมายถึง ความเสียหายที่คิดในแง่ว่าความเสียหายนั้นทำให้หน้าที่ (function) หรือการใช้งานของโครงสร้าง (structure) อ่อนแอ (impair) หรือเสื่อมลง

2. Architectural damage หมายถึงความเสียหายเล็ก ๆ น้อย ๆ เช่น การแตกร้าวของปูนที่ฉาบฝาผนัง หรือการร้าว (cracking) ของวัสดุเปราะ (brittle material), Architectural damage ให้ผลในแง่ของการก่อความรำคาญ (annoy) มากกว่าที่จะทำอันตรายหรือทำความเสียหายให้แก่โครงสร้าง และจะมีระดับของความสั่นสะเทือน (vibration level) ต่ำกว่า Structural damage 100 เท่าถึง 1000 เท่า

---

*minor damage เป็นความเสียหายเล็กน้อยที่เกิด เช่น การแตกร้าวของปูนที่ฉาบฝาผนังหรือกำแพง การแตกของกระจกบานเกร็ดหน้าต่าง การรั่วของน้ำจากท่อ และความเสียหายเล็กน้อยอื่น ๆ

นอกเหนือไปจากความสั่นสะเทือนที่อาจก่อให้เกิดความเสียหายแก่สิ่งปลูกสร้างแล้ว ยังมีสาเหตุหลายประการที่ทำความเสียหายให้แก่สิ่งปลูกสร้างได้เช่นกัน อาทิเช่น การทรุดตัวของฐานรากเนื่องจาก differential settlement การขยายตัวเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและความชื้น การเกิด high stress ในบางส่วนของโครงสร้าง ความเสียหายที่เกิดจากแรงลมและหิมะ ความเสียหายเนื่องจากการเสื่อมคุณภาพของวัสดุ เช่น การเสียแรงยึดเหนี่ยว (bond) ของปูน เป็นต้น ดังนั้นก่อนที่จะลงความเห็นว่าความเสียหายที่เกิดขึ้นนั้นเนื่องมาจากสาเหตุอะไร ต้องพิจารณาอย่างรอบคอบและถ่องแท้เสียก่อน

3.3.2 สาเหตุของความเสียหายของโครงสร้าง (structure) เนื่องจากความสั่นสะเทือน

ความสั่นสะเทือนทำให้เกิดความเสียหายแก่โครงสร้างได้ 3 กรณี ดังนี้

1. ถ้าความสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้น ณ เวลาใดเวลาหนึ่ง (instant of time) มีขนาดมากพอจะเกิด local rupture stress เพิ่มมากขึ้น จนทำให้เกิดการพังทลาย (failure) ของโครงสร้างได้

2. การเกิดซ้ำ ๆ ซาก ๆ (repetition) ของความเค้น (stress) สามารถทำให้เกิดความเสียหายเนื่องจากการล้า (fatigue damage) ของโครงสร้างได้

3. ความสั่นสะเทือนสามารถเพิ่มความเค้น (stress) ทำให้มี high stress comcentration ในโครงสร้าง ซึ่งเป็นสาเหตุของ "triggering failure" ได้

ในสภาวะปกติ ระดับความสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นเนื่องจากการจราจรของรถยนต์มีไม่มากพอที่จะทำให้เกิดความเสียหายโดยตรง (direct failure) ส่วนความเสียหายเนื่องจากการล้า (fatigue) นั้น ก็ยังไม่มีหลักฐานที่ยืนยันได้ ดังนั้น แนวโน้มของความเสียหายของโครงสร้าง (แม้ว่าจะน้อยมาก ถ้าไม่คิดผลของ high stress เนื่อง

จากแหล่งกำเนิดความสั่นสะเทือนแห่งอื่น) ก็ควรจะเกิดในกรณีของ "triggering" เพราะว่าการเพิ่มน้ำหนักและปริมาณการจราจรของรถบรรทุก ทำให้เกิด peak stress พ้องกัน (coincide) ซึ่งเป็นสาเหตุของ triggering damage อย่างไรก็ตาม การเปิดปิดประตูหน้าต่างอย่างแรงก็ทำให้เกิดความสั่นสะเทือนในลักษณะที่คล้ายกันกับเกิดขึ้นจากการจราจรของรถยนต์เหมือนกัน

ดังนั้น ก่อนที่จะตัดสินใจลงความเห็นว่า ความเสียหายที่เกิดขึ้นนั้นเกิดจากแหล่งกำเนิดเพียงอันหนึ่งอันเดียว ต้องพิจารณาสิ่งแวดล้อมให้แจ้งชัดเสียก่อน

3.3.3 ระดับความสั่นสะเทือนซึ่งทำความเสียหายแก่สิ่งปลูกสร้าง

การกำหนดว่าความสั่นสะเทือนที่ระดับใดจะทำความเสียหาย (damage) แก่สิ่งปลูกสร้างนั้น มีองค์ประกอบ (factors) หลายอย่างที่ต้องนำมาพิจารณา อาทิ เช่น ขนาด ชนิดและอายุของสิ่งปลูกสร้าง คุณสมบัติทาง fatigue ของวัสดุที่ใช้ก่อสร้าง ในปัจจุบันข้อมูลเกี่ยวกับความสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นเนื่องจากการจราจรของรถยนต์มีไม่มากพอ จึงจำเป็นต้องอาศัยข้อมูลของความสั่นสะเทือนจากแหล่งอื่นมาตั้งข้อกำหนดขึ้น จากการวิเคราะห์ผลของการระเบิด (explosive) ของหลายคน[17, 18, 19] สรุปว่า ความเสียหาย (damage) มีส่วนสัมพันธ์กับ peak particle velocity ในดินโดยตรง ทั้งนี้มิได้หมายความว่า peak particle velocity อย่างเดียวเท่านั้นที่เป็นสาเหตุของความเสียหายแต่รูปร่างของคลื่น (waveform) และระยะเวลา (duration) ก็เป็นองค์ประกอบที่สำคัญด้วยเหมือนกัน

การทดลองในยุคแรก ๆ คือ ใช้การระเบิด (blasting) และสรุปอย่างง่าย ๆ ว่า สิ่งปลูกสร้างทุกชนิดจะไม่เป็นอันตรายหรือเสียหายถ้าขนาดของอัมปลิจูดไม่เกิน 400 microns แต่ถ้าบ้านเรือนหรือสิ่งก่อสร้างบางแห่งอยู่ในสภาพที่ไม่ดีนัก ก็อาจจะเกิดการแตกร้าวของปูนที่ฉาบกำแพงได้ สถาบันบางแห่งกำหนดเลยว่า ขนาดของอัมปลิจูดที่เกิดขึ้นในที่อยู่อาศัยนอกเขตควบคุมการระเบิดต้องไม่เกิน 200 microns ค่าสูงสุดของ

ขนาดของอัมปลิจูดที่ยอมให้ได้ของหลายประเทศที่ใช้อยู่กันในทุกวันนี้ แสดงในตาราง 3.10

ในตาราง 3.11 ได้ปรับปรุงตาราง 3.10 โดยกำหนดเป็น "caution limits" ของค่าสูงสุดของอัมปลิจูดที่ยอมให้เกิดขึ้นได้

Crandell[36] ได้เสนอระบบ "energy ratio" สำหรับกำหนดความปลอดภัยของการระเบิด ระบบนี้ระบุให้ "caution stage" เมื่อ A.f = 13.4 mm/s (max. velocity 84 mm/s) และ "danger stage" เมื่อ A.f = 18.9 mm/s (velocity 120 mm/s) ข้อกำหนดของ Crandall มีค่ามากกว่าที่กำหนดโดย New Jersey authorities ในรูปของ particle velocity ที่ยอมให้เกิดขึ้นได้

Edwards and Northwood[37] ซึ่งได้เสนอการควบคุมการระเบิดที่มีผลต่อสิ่งปลูกสร้าง โดยกำหนด threshold of damage เมื่อ particle velocity เท่ากับ 114 mm/s

ตาราง 3.12 แสดงการเปรียบเทียบขนาดของอัมปลิจูด และ peak particle velocity ที่ความถี่ต่าง ๆ กัน ของข้อกำหนดในระบบที่กล่าวมาแล้ว

Zeller[28] ได้ปรับปรุงข้อกำหนดต่าง ๆ ที่ทำขึ้นมาจากการระเบิดและแผ่นดินไหวให้เหมาะสมกับแหล่งกำเนิดความสั่นสะเทือนอื่น ๆ อีกโดยเฉพาะอย่างยิ่งความสั่นสะเทือนที่เกิดจากการจราจรของรถยนต์ ทั้งนี้เพราะว่า ความถี่ที่เกิดขึ้นในบ้านพักอาศัยเนื่องจากการจราจรของรถยนต์และจากเครื่องจักร มีค่ามากกว่าที่เกิดจากแผ่นดินไหว แต่ขนาดของอัมปลิจูดต่ำกว่ามาก ดังนั้น ต้องมีข้อกำหนดที่เหมาะสมใหม่เพื่อให้สอดคล้องกับสภาวะการณ์ต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น

ตาราง 3.13 แสดงค่าเปรียบเทียบระดับความสั่นสะเทือนเนื่องจากแหล่งต่าง ๆ ในรูปของ ความเร่ง และพลังงาน จะเห็นว่าแม้ว่าความเร่งในทั้ง 3 กรณีจะมีค่าใกล้เคียงกัน แต่พลังงานในแง่ของแผ่นดินไหวมากกว่าทั้งสองกรณีหลายร้อยเท่า (พลังงานเป็นสัดส่วนโดยตรงกับ A^2f^2)

ตาราง 3.10 แสดงค่าอัมปลิจูดสูงสุดที่ยอมให้เกิดขึ้นได้สำหรับสิ่งปลูกสร้างชนิดต่าง ๆ

Suggested maximum allowable amplitudes (blasting) (as formerly used)

Type of Property	Allowable amplitude (μ)
Quarry plant and buildings of basic design	>400
Quarry property, and in cases where minor damage unimportant	400
Housing estates and farm property	200
Churches and scheduled ancient monuments	127

ตาราง 3.11 แสดงค่าอัมปลิจูดสูงสุดที่ยอมให้เกิดขึ้นได้สำหรับสิ่งปลูกสร้างชนิดต่าง ๆ

(ปรับปรุงจากตาราง 3.10)

Caution limits for amplitude (blasting)

Type of Property	Allowable amplitude (μ)
Civil engineering structures	760†
Isolated properties	400
Closely-congregated houses and properties	200
Structures of great value and frailty (for example, ancient monuments and churches) and properties in poor condition	100

†In very exceptional circumstances (for example, for structures owned by the blasting company) an amplitude of 1780 μ would be permitted.

ตาราง 3.12 แสดงการเปรียบเทียบค่าอัมปลิจูดที่ยอมให้เกิดขึ้นได้ของข้อกำหนดระบบต่าง ๆ

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Limiting amplitudes for blasting vibration, based on maximum velocity

Authority	Amplitude (μ) at given frequency (Hz)						Note on maximum velocity (mm/s)
	5	10	20	30	40	50	
New Jersey Rules	770	770	385	255	195	155	48 (above 10 Hz)
Crandell 'Caution'	2670	1340	670	445	335	265	84
Edwards-Northwood	3640	1820	910	605	455	365	114 (damage threshold)

24

ตาราง 3.13 แสดงค่าเปรียบเทียบระดับความสั่นสะเทือนในรูปของความเร่งและพลังงาน

Cases compared on the basis of acceleration and energy (after Leet)

Vibration caused by	Amplitude (A,mm)	Frequency (f,Hz)	Acceleration		A^2f^3	Relative KE
			(m/s^2)	Relative		
Earthquake	36	1·3	2·40	2·6	2190	414
Blasting	0·23	10	0·91	1·0	5·3	1·0
Walking	0·09	22	1·72	1·9	3·9	0·74

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ความสั่นสะเทือนในรูปของ Zeller's power เป็นดังนี้

$$\text{Zeller's power (Z)} = 16\ \pi^4 A^2 f^3$$

ตาราง 3.14 แสดงการเปรียบเทียบผลกระทบของความสั่นสะเทือนต่อคนและสิ่งปลูกสร้างของ Mercalli-Cancani, Zeller's power (Z) และ vibrar units

Jackson[35] ได้อนุมานข้อกำหนดของความเสียหายที่เกิดขึ้นจากการวิเคราะห์ข้อมูลทางด้านสถิติของ American Bureau of Mines' data ซึ่งได้จากระเบิด สรุปได้ว่า

peak particle velocity 5 mm/s เป็นจุดเริ่มต้น (threshold) ของการเกิด architechtural damage และต่ำกว่า 50-80 mm/s เป็น minor damage

German DIN 4150[24] ได้กำหนดระดับความปลอดภัยของโครงสร้าง โดยแบ่งตามชนิดและสภาพของโครงสร้าง โดยได้พิจารณาถึงผลของความสั่นสะเทือนเนื่องจาก sonic booms และ จากการจราจรของรถบรรทุกหนัก ดังนี้

particle velocity	ผลกระทบต่อสิ่งปลูกสร้าง
2 mm/s	ไม่เป็นอันตรายแม้แต่ต่อสิ่งปลูกสร้างที่เก่าแก่ (ancient building)
5 mm/s	เป็นจุดเริ่มต้นของการเกิด architechtural damage
10 mm/s	ยอมให้ได้สำหรับบ้านพักอาศัยที่อยู่ในภาพดี
20–40 mm/s	ยอมให้เกิดขึ้นได้สำหรับโรงงานอุตสาหกรรม

มีการวิจัยหลายครั้งใน อเมริกา อังกฤษ สวีเดน และประเทศอื่น ๆ แล้วสรุปได้ว่า

ตาราง 3.14 แสดงการเปรียบเทียบผลกระทบของความสั่นสะเทือนต่อคนและสิ่งปลูกสร้างของข้อกำหนดระบบต่าง ๆ

The Zeller scale (derived from the Mercalli-Cancani scale)

Rating or degree	Assessment (effect on people or buildings)	Acceleration on M-C scale (mm/s^3)	Zeller's (Z) value (mm^3/s^5)	Corresponding strength in vibrar units
1	not noticeable	1	0–200	up to 13
2	very light	2·5	200–1000	13–20
3	light	5	$1–5 \times 10^3$	20–27
4	moderate (possibility of small cracks in plaster)	10	$5–25 \times 10^3$	27–34
5	fairly strong	25	$25–1000 \times 10^3$	34–40
6	Strong (possible slight structural damage)	50	$1–5 \times 10^5$	40–47
7	Very strong (serious cracking)	100	$5–20 \times 10^5$	47–53
8	severe (destructive)	250	$2–10 \times 10^6$	53–60
9	violent (devastating)	500	$1–5 \times 10^7$	60–67
10	very destructive	1000	$5–25 \times 10^7$	67–74
11	catastrophic	2500	$25–100 \times 10^7$	74–80
12	very catastrophic (ruinous)	5000	$>10^9$	over 80

Note: The possibility of fine cracks in plaster is denoted between degrees 3 and 4 on the scale, the Z-values being 2500 to 10000.

peak particle velocity	< 80 mm/s	ไม่เป็นอันตรายต่อโครงสร้าง
	>120 mm/s	เป็นอันตรายต่อโครงสร้าง

ในประเทศสวีเดน

peak particle velocity	70 mm/s	ขั้นต่ำสุดที่เริ่มเป็นอันตรายต่อโครงสร้าง (minimal damage)
	110 mm/s	เป็นอันตรายต่อโครงสร้างเล็กน้อย (slight damage)
	160 mm/s	เป็นอันตรายปานกลางต่อโครงสร้าง (moderate damage)
	230 mm/s	เป็นอันตรายอย่างร้ายแรงต่อโครงสร้าง (serious damage)

ข้อสังเกต ความสั่นสะเทือนที่เกิดเนื่องจากการระเบิด (blasting) แม้ว่าจะมีขนาดของความสั่นสะเทือนมาก (high amplitude of vibration) หรือ peak particle velocity จะสูงก็ตาม แต่จะเกิดในช่วงระยะเวลาสั้น ๆ คนจะสามารถทนและยอมรับ (tolerate) ได้ ผิดกับในกรณีที่ความสั่นสะเทือนเกิดอย่างสม่ำเสมอ (steady-state vibrations) ในช่วงระยะเวลาที่ยาวนาน (เช่นเกิดจากเครื่องจักร เป็นต้น) แม้จะมีขนาดของความสั่นสะเทือน และ peak particle velocity ต่ำกว่า คนจะรู้สึกว่าเกิดความรำคาญ (annoying) และไม่สามารถที่จะทนหรือยอมรับ (tolerate) ได้[38]

ในกรณีของความสั่นสะเทือนที่จะทำความเสียหายให้แก่สิ่งปลูกสร้างนั้น จะไม่ค่อยปรากฏให้เห็นบ่อยนัก นอกจากที่เป็นความเสียหายเล็ก ๆ น้อย ๆ (minor damage) เช่น การแตกของปูนฉาบผนัง กำแพงร้าว กระจกบานเกร็ดหน้าต่างเสียหาย ซึ่งบางทีก็มิใช่สาเหตุมาจากการสั่นสะเทือน อาจจะเกิดขึ้นจากการเสื่อมคุณภาพของปูนที่ใช้

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หรือเกิดจากสาเหตุธรรมชาติ เช่น การขยายตัว หดตัว เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและความชื้นก็เป็นไปได้เช่นกัน

ปัญหาของ fatigue failure ที่เกี่ยวข้องกับสิ่งปลูกสร้าง ปัจจุบันยังไม่มีหลักฐานที่บ่งว่า ความเสียหายที่เกิดขึ้นเนื่องจาก fatigue เท่าที่มีข้อมูลอยู่ยืนยันว่า factor of safty ที่ใช้สำหรับคานเหล็ก (steel beam) สามารถต้านทาน fatigue failure ได้แม้ว่าความสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นอยู่ในระดับที่ก่อให้เกิดความรำคาญ (annoying) หรือทำให้คนมีความรู้สึกว่าอยู่ไม่สบาย (unpleasant) ก็ตาม และในคอนกรีตเสริมเหล็ก (reinforced concrete) หรือ คอนกรีตอัดแรง (prestressed concrete) ก็สามารถต้านทาน และทนต่อการเกิด fatigue failure เพราะว่าความเค้นที่เพิ่มขึ้น (additional stress) เนื่องจากความสั่นสะเทือนมีค่าน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับ working stress ของคอนกรีต[38]

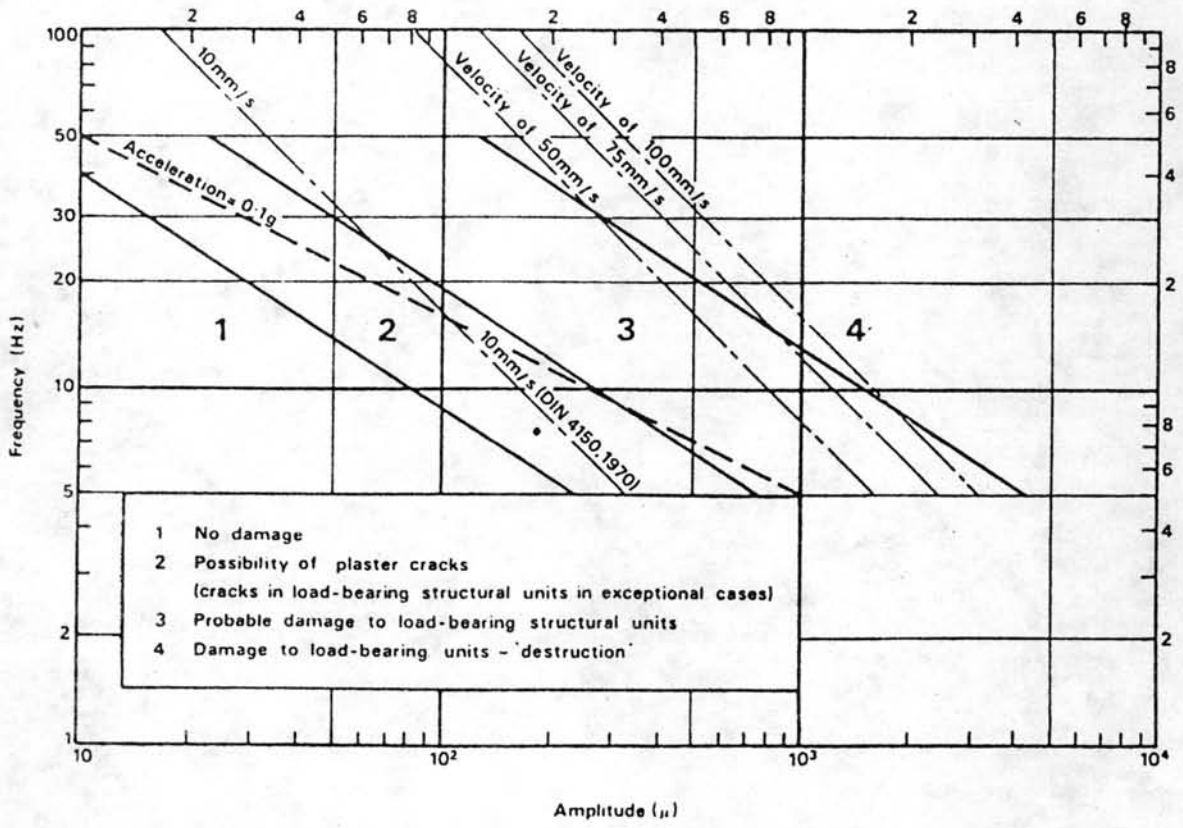
รูป 3.14 แสดงการเปรียบเทียบขนาดของอัมปลิจูดที่ยอมให้ได้ที่ความถี่ต่าง ๆ ของข้อกำหนดของหลายแห่ง ความถี่ในช่วง 5-50 Hz. เป็นช่วงที่เกิดขึ้นในสิ่งปลูกสร้างใน zone I ยังไม่เคยปรากฏว่ามีความเสียหายของโครงสร้างเกิดขึ้น zone II เป็นช่วงของ cracking in load-bearing strucural units ซึ่งความเสียหายที่เกิดขึ้นคงเกิดจากการสูญเสียความแข็งแรง (strength) ของวัสดุก่อนแล้วจึงเสียหายเนื่องจากความสั่นสะเทือน เพื่อเป็นการเปรียบเทียบในช่วงที่เป็นอันตราย ได้แสดง danger zone ของ DIN 4150 (1970)[24] และ peak particle velocity ในช่วง 50, 75 และ 100 mm/s ไว้ในรูปเพื่อให้เห็นชัดด้วย

3.4 สรุป ปฏิกริยาของคนและความเสียหายของสิ่งปลูกสร้างเนื่องจากความสั่นสะเทือน

ข้อมูลส่วนมากที่มีอยู่จะเกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของ particle ในแนวดิ่ง (vertical) แม้ว่าการเคลื่อนที่ของ particle จะมีทั้งแนวดิ่ง (vertical) และแนวราบก็ตาม แต่ขนาดของความสั่นสะเทือนในแนวดิ่ง (vertical) มีมากกว่าในแนวราบ

หอสมุดกลาง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูป 3.14 แสดงช่วงของความสั่นสะเทือนที่มีผลกระทบต่อสิ่งปลูกสร้าง



Possible damage to buildings

(horizontal) ดังนั้นข้อกำหนดต่าง ๆ จึงใช้การเคลื่อนที่ของ particle ในแนวดิ่ง (vertical) เป็นหลัก

ปฏิกริยาของคนที่มีต่อความสั่นสะเทือนนั้นแม้ว่าจะใช้ตามข้อกำหนดของ Dieckmann[21] และอื่นอื่น ๆ ที่ยอมรับว่า แม้ระดับของความสั่นสะเทือนจะสูง คนก็สามารถยอมรับและทนได้ถ้าระยะเวลาของการสั่นสะเทือนสั้น ๆ แต่อย่างไรก็ดี ความรู้สึกของคนที่อาศัยในบ้านเรือนและสิ่งปลูกสร้างต่อความสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้น ก็มีความสำคัญยิ่งเสียกว่าระดับความสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นจริง ๆ เสียอีก

เมื่อพิจารณาถึงขอบเขตและคำจำกัดความต่าง ๆ ที่กล่าวมาแล้ว ข้อสรุปในตาราง 3.15 เป็นการรวบรวมปฏิกริยาของคนและความเสียหายของสิ่งปลูกสร้างเนื่องจากความสั่นสะเทือนซึ่งอยู่ในช่วงซึ่งเกิดจากจราจรของรถยนต์

ตาราง 3.15 รวบรวมปฏิกริยาของคนและความเสียหายของสิ่งปลูกสร้างต่อความสะเทือนในช่วงที่เกิดจากการจราจรของรถยนต์

Summary: Reaction of people and damage to buildings at various vibration levels

Peak particle Velocity** mm/s	Human reaction	Effect on buildings
0 to 0.15	Imperceptible by people – no intrusion.	Vibrations unlikely to cause damage of any type.
0.15 to 0.3	Threshold of perception – possibility of intrusion.	Vibrations unlikely to cause damage of any type.
2.0	Vibrations perceptible	Recommended upper level of the vibration to which ruins and ancient monuments should be subjected.
2.5	Level at which continuous vibrations begin to annoy people.	Virtually no risk of "architectural" damage to normal buildings.
5	Vibrations annoying to people in buildings (this agrees with the levels established for people standing on bridges and subjected to relatively short periods of vibrations)	Threshold at which there is a risk of "architectural" damage to normal dwelling-houses with plastered walls and ceilings. Special types of finish such as lining of walls, flexible ceiling treatment, etc., would minimise "architectural" damage.
10 – 15	Vibrations considered unpleasant by people subjected to continuous vibrations and unacceptable to some people walking on bridges.	Vibrations at a greater level than normally expected from traffic, but would cause "architectural" damage and possibly minor structural damage.

** The numbers in this column are based on the peak particle velocity in the vertical direction. Where human reactions are concerned, the value is that at the point at which the person is situated. For buildings, the value refers to the ground motion but no allowance is included for the amplifying effect of structural components.