



บทที่ 6

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล การอภิปรายผล การสรุปผล

6.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

6.1.1 ผลการสำรวจปริมาณการจราจร, ความเร็วและขนาดบรรทุก

ในการวิจัยครั้งนี้จะพิจารณาถึงผลของยวดยานประเภทรถบรรทุก เป็นสำคัญ จึงได้ทำการสำรวจปริมาณการจราจรทุก ๆ 1 นาที (ซึ่งสัมพันธ์กับการวัดการสั่นสะเทือนโดยเครื่อง S-6) ในช่วงเวลาที่มีการอนุญาตให้รถบรรทุกแล่นคือ เวลา 11.20 น.- 12.00 น. และ 13.20 น.- 14.00 น. ในช่วงเวลานี้มีรถบรรทุกแล่นเป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะรถบรรทุกขนาดกลาง (6 ล้อ) ขององค์การ ร.ส.พ. ซึ่งขนถ่ายสินค้าจากท่าเรือคลองเตยเข้าสู่ตัวเมือง (ตาราง 5.1 - 5.2) อีกทั้งมีรถโดยสารขนาดใหญ่ (6 ล้อ) แล่นอยู่ตลอดเวลา ในช่วงเวลานี้มีรถบรรทุกขนาดใหญ่ (10 ล้อ) แล่นผ่านเกือบทุกนาที ส่วนรถกึ่งพ่วงและรถพ่วงไม่มีแล่นผ่านสะพานเลย จากการสำรวจพบว่า รถกึ่งพ่วงและรถพ่วงซึ่งบรรทุกเป็นจำนวนมากนี้จะแล่นออกไปทางถนนสาทร

ในช่วงเวลา 21.00 น.- 21.40 น. และ 22.20 น.- 23.00 น. ซึ่งเป็นช่วงเวลาหลังจากกำหนดเวลาแล่นของรถบรรทุก ผลการสำรวจปริมาณการจราจรพบว่า หลังช่วงเวลา 21.00 น. จะมีรถบรรทุก 10 ล้อ แล่นผ่านเป็นจำนวนมาก (ซึ่งถูกจำกัดให้แล่นถึงเวลา 15.00 น. ในช่วงกลางวัน) แต่เป็นรถเปล่าไม่ได้บรรทุกและมีการบรรทุกบ้างเป็นบางครั้ง (ตาราง 5.3 - 5.4) ในช่วงเวลานี้มีรถพ่วงแล่นผ่านจำนวน 3 คัน

ผลกระทบที่สำคัญต่อระดับการสั่นสะเทือนของยวดยานที่สนใจคือ ความถี่ (Forcing frequency) มีหน่วยเป็นรอบต่อวินาที (cps, Hz) ซึ่งเกิดจากความถี่ของการผ่านของเพลลาของยวดยาน (Axle repetitions) และ Bounce and pitch frequency ความถี่นี้ต่างกับ Arrivals ซึ่งเป็นปริมาณยวดยานที่ผ่านเข้ามา ณ จุดใดจุดหนึ่งช่วงเวลาหนึ่ง

มีหน่วยเป็นคันต่อชั่วโมง (pcu/hr) Forcing frequency นี้ ถ้ามีค่าใกล้เคียงหรือเท่ากับ Natural frequency ของสะพานจะทำให้เกิดกรณีของ Resonance ทำให้แอมพลิจูดของการสั่นสะเทือนมีค่ามากที่สุด

6.1.2 ผลการวิเคราะห์การสั่นสะเทือน

6.1.2.1 ระดับการสั่นสะเทือนที่มีผลต่อผู้ใช้สะพาน

ผลการสั่นสะเทือนของสะพานจากขบวนรถ ซึ่งมีผลกระทบต่อผู้ใช้สะพาน (ผู้ขับขี่ขบวนรถ, คนเดินเท้า) ทั้ง Continuous span 30 m และ Simple span 25 m แสดงผลไว้ในตาราง 6.1 - 6.4 โดยใช้เกณฑ์ของ Reiher and Meister Dieckmann Janeway (Amplitude 10^{-3} in.) คำนวณจาก $A = \hat{V}/2\pi f$ สมการ 2.6) และเกณฑ์ของ RRL (TRRL ในปัจจุบัน) สำหรับคนเดินเท้า รูป 6.1 - 6.16 เป็นผลการสั่นสะเทือนของสะพานตามเกณฑ์ที่ใช้ในช่วงเวลาต่าง ๆ ที่วัดตามลำดับ จะพบว่าระดับการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นทั้ง 4 ช่วงเวลามีผลทำให้ผู้ใช้สะพานเกิดความรู้สึกรำคาญ (Annoying) และเกิดความรู้สึกไม่สบายใจหรือถูกรบกวน (Unpleasant or disturbing) ซึ่งบาง Event เกิดระดับการสั่นสะเทือนสูงถึงระดับที่ทำให้เกิดความรู้สึกปวดร้าว (Painful) ส่วนเกณฑ์ของ Dieckmann ระดับความเครียด Tolerance levels อยู่ในระดับ $K = 1-10$ $10-100$ ซึ่งเป็นระดับที่สูงกว่าระดับที่ยอมรับได้ในช่วงเวลาสั้น ๆ ($K = 10$) และเมื่อใช้เกณฑ์ของ Janeway Tolerance levels อยู่ในระดับที่ทำให้ผู้โดยสารในขบวนรถเกิดความรำคาญไม่สะดวกสบายขึ้น และสำหรับคนเดินเท้าที่ยืนหรือเดินบนสะพานอยู่ในที่กีดกันยอมรับไม่ได้เมื่อพิจารณาจากเกณฑ์ของ TRRL

6.1.2.2 ระดับการสั่นสะเทือนที่มีผลต่อโครงสร้างสะพาน

ผลการสั่นสะเทือนที่มีต่อโครงสร้างสะพานแสดงไว้ในตาราง 6.5-6.8 โดยใช้เกณฑ์ของ German Standard DIN 4150 Part 3 (1986) จากความเร็วของการสั่นสะเทือนในแนวตั้ง (\hat{V}_v) ต้องไม่มากกว่า 10 mm/s และใช้เกณฑ์ของ Standard SN 640312 (1978) จากตาราง 4.2 และ 4.3 (บทที่ 4) สำหรับสะพานและ

Source M: ปริมาณการจราจร ซึ่ง Vector velocity (V_{max}) ต้องไม่มากกว่า 12 mm/s

สำหรับ Continuous span 30 m (ช่วงเวลา 11.20 น.- 12.00 น.) ที่ Event[#] 588 วัด \hat{V}_V ได้ถึง 38.9 mm/s และ Vector velocity = 39.1 mm/s ที่ความถี่ 5 Hz และที่ Event[#] 599 วัด \hat{V}_V ได้ 41.6 mm/s Vector-velocity = 43.4 mm/s ที่ความถี่ 10 Hz

Simple span 25 m (ช่วงเวลา 13.20 น. - 14.00 น.) ที่ Event[#] 614 วัด \hat{V}_V ได้ 39.2 mm/s Vector velocity = 39.8 mm/s ที่ความถี่ 8 Hz และที่ Event[#] 635 วัด \hat{V}_V ได้ 40.6 mm/s Vector velocity = 40.6 mm/s ที่ความถี่ 7 Hz

ส่วนในช่วงเวลา 21.00 น. - 21.40 น. วัดการสั่นสะเทือนของ Continuous span 30 m ที่ Event[#] 647 วัด \hat{V}_V ได้ 34.7 mm/s Vector-velocity = 34.9 mm/s ที่ความถี่ 8 Hz และที่ Event[#] 662 วัด \hat{V}_V ได้ 36.8 mm/s Vector velocity = 37.3 mm/s ที่ความถี่ 7 Hz

และ Simple span 25 m (ช่วงเวลา 22.20 น. - 23.00 น.) ที่ Event[#] 676 วัด \hat{V}_V ได้ 37.6 mm/s Vector velocity = 38.6 mm/s และที่ Event[#] 689 วัด \hat{V}_V ได้สูงสุดถึง 58.2 mm/s Vector velocity = 59.9 mm/s

จากตาราง 6.5 - 6.8 จะพบได้ว่าระดับการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นเกือบทุก Event อยู่ในระดับที่สูงกว่าระดับที่ยอมรับได้ ส่วนระดับการสั่นสะเทือนในแนวนอน (ตาราง 5.5 - 5.8) \hat{V}_L เกือบทุก Event อยู่ในระดับไม่สูง โดยที่ Event[#] 689 วัด \hat{V}_L ได้ 0.305 ips (7.7 mm/s) แต่การสั่นสะเทือนในแนวนอน \hat{V}_T ที่ Event[#] 689 วัดการสั่นสะเทือนได้สูงพอสมควร วัด \hat{V}_T ได้ 1.057 ips (26.8 mm/s)

ตาราง 6.1 ผลการสั่นสะเทือนของ Continuous span 30 m (ช่วงเวลา 11.20 น. - 12.00 น.) ที่มีต่อผู้ใช้สะพาน

Event No.	Time	Frequency (Hz)	\hat{V}_v (mm/s)	A (10^{-3} in.)	Reiher and Meister	Dieckmann (K) #	Janeway	TRRL	
								Standing	Walking
573	11:20:22	5	16.8	21.1	Disturbing	10-100	Discomfort	Unaccept	Unaccept
574	11:21:46	5	25.2	31.6	Disturbing	10-100	Discomfort	Unaccept	Unaccept
575	11:23:10	*	19.5	*	*	*	*	*	*
576	11:23:46	5	36.4	45.6	Disturbing	10-100	Discomfort	Unaccept	Unaccept
577	11:25:10	*	7.5	*	*	*	*	*	*
578	11:25:46	12	18.2	9.5	Disturbing	10-100	Discomfort	Unaccept	Unaccept
579	11:27:10	5	13.3	16.6	Disturbing	10-100	Discomfort	Unaccept	Unaccept
580	11:28:34	27	7.7	1.8	Disturbing	1-10	Discomfort	Unaccept	Accept
581	11:29:58	*	27.1	*	*	*	*	*	*
582	11:30:34	5	2.1	2.6	Clearly percept	1-10	Comfort	Accept	Accept
583	11:31:58	8	4.2	3.3	Annoying	1-10	Comfort	Accept	Accept
584	11:33:22	*	18.5	*	*	*	*	*	*
585	11:33:58	*	20.9	*	*	*	*	*	*

ตาราง 6.1 (ต่อ)

Event No.	Time	Frequency (Hz)	\hat{V}_v (mm/s)	A (10^{-3} in.)	Reiher and Meister	Dieckmann (K) #	Janeway	TRRL	
								Standing	Walking
586	11:34:34	5	21.8	27.3	Disturbing	10-100	Discomfort	Unaccept	Unaccept
587	11:35:58	5	24.6	30.8	Disturbing	10-100	Discomfort	Unaccept	Unaccept
588	11:37:23	5	38.9	48.8	Disturbing	10-100	Discomfort	Unaccept	Unaccept
589	11:38:47	7	20.0	18.8	Disturbing	10-100	Discomfort	Unaccept	Unaccept
590	11:40:11	5	15.2	19.1	Disturbing	10-100	Discomfort	Unaccept	Unaccept
591	11:41:34	5	35.5	44.5	Disturbing	10-100	Discomfort	Unaccept	Unaccept
592	11:42:59	*	5.5	*	*	*	*	*	*
593	11:43:35	5	8.5	10.7	Annoying	1-10	Comfort	Unaccept	Accept
594	11:44:58	7	18.3	16.4	Disturbing	10-100	Discomfort	Unaccept	Unaccept
595	11:46:22	8	5.1	4.0	Annoying	1-10	Comfort	Unaccept	Accept
596	11:47:46	5	15.8	19.8	Disturbing	10-100	Discomfort	Unaccept	Unaccept
597	11:49:10	*	7.2	*	*	*	*	*	*
598	11:49:46	5	28.9	36.3	Disturbing	10-100	Discomfort	Unaccept	Unaccept

ตาราง 6.1 (ต่อ)

Event No.	Time	Frequency (Hz)	\hat{V}_v (mm/s)	A (10^{-3} in.)	Reiher and Meister	Dieckmann (K) [#]	Janeway	TRRL	
								Standing	Walking
599	11:51:10	10	41.6	26.1	Painful	10-100	Discomfort	Unaccept	Unaccept
600	11:52:35	10	22.7	14.2	Disturbing	10-100	Discomfort	Unaccept	Unaccept
601	11:53:59	5	26.5	33.3	Disturbing	10-100	Discomfort	Unaccept	Unaccept
602	11:55:23	*	8.2	*	*	*	*	*	*
603	11:55:59	8	27.6	21.6	Painful	10-100	Discomfort	Unaccept	Unaccept
604	11:57:23	12	29.8	15.6	Painful	10-100	Discomfort	Unaccept	Unaccept
605	11:58:47	8	5.1	4.0	Annoying	1-10	Comfort	Unaccept	Accept

* Incomplete data sample (in FFT)

[#] Tolerance levels ของ Dieckmann

K = 0.1; ระดับต่ำสุดที่รับรู้ได้ (Lower limit of perception)

K = 1; ระดับที่ยอมรับได้ในโรงงาน (Allowed in industry for any period of time)

K = 10; ระดับที่ยอมรับได้แต่เป็นช่วงเวลาสั้น ๆ (Allowed only for a short time)

K = 100; ระดับสูงสุดที่คนปรกติจะทนได้ (Upper limit of strain for the average man)

ตาราง 6.2 ผลการสั่นสะเทือนของ Simple span 25 m (ช่วงเวลา 13.20 น.- 14.00 น.) ที่มีผู้ใช้สะพาน

Event No.	Time	Frequency (Hz)	\hat{V}_v (mm/s)	A (10^{-3} in.)	Reiher and Meister	Dieckmann (K) [#]	Janeway	TRRL	
								Standing	Walking
607	13:21:03	5	18.0	22.6	Disturbing	10-100	Discomfort	Unaccept	Unaccept
608	13:22:27	7	18.2	16.3	Disturbing	10-100	Discomfort	Unaccept	Unaccept
609	13:23:51	10	13.3	8.3	Disturbing	10-100	Discomfort	Unaccept	Unaccept
610	13:25:15	5	16.4	20.6	Disturbing	10-100	Discomfort	Unaccept	Unaccept
611	13:26:39	7	28.3	25.4	Disturbing	10-100	Discomfort	Unaccept	Unaccept
612	13:28:03	8	20.9	16.4	Disturbing	10-100	Discomfort	Unaccept	Unaccept
613	13:29:27	5	6.1	7.7	Annoying	1-10	Comfort	Unaccept	Accept
614	13:30:51	8	39.2	30.7	Painful	10-100	Discomfort	Unaccept	Unaccept
615	13:32:15	7	17.6	15.8	Disturbing	10-100	Discomfort	Unaccept	Unaccept
616	13:33:39	5	17.3	21.7	Disturbing	10-100	Discomfort	Unaccept	Unaccept
617	13:35:04	5	11.5	14.4	Annoying	1-10	Comfort	Unaccept	Accept
618	13:36:27	5	23.0	28.8	Disturbing	10-100	Discomfort	Unaccept	Unaccept
619	13:37:51	5	21.6	27.1	Disturbing	10-100	Discomfort	Unaccept	Unaccept

ตาราง 6.2 (ต่อ)

Event No.	Time	Frequency (Hz)	\hat{V}_v (mm/s)	A (10^{-3} in.)	Reiher and Meister	Dieckmann (K) #	Janeway	TRRL	
								Standing	Walking
620	13:39:15	*	20.7	*	*		*	*	*
621	13:39:51	5	24.9	31.2	Disturbing	10-100	Discomfort	Unaccept	Unaccept
622	13:41:15	5	6.7	8.4	Annoying	1-10	Comfort	Unaccept	Accept
623	13:42:39	5	18.5	23.2	Disturbing	10-100	Discomfort	Unaccept	Unaccept
624	13:44:03	7	33.7	30.2	Disturbing	10-100	Discomfort	Unaccept	Unaccept
625	13:45:27	7	27.3	24.4	Disturbing	10-100	Discomfort	Unaccept	Unaccept
626	13:46:51	7	32.7	29.2	Disturbing	10-100	Discomfort	Unaccept	Unaccept
627	13:48:15	10	5.7	3.5	Annoying	1-10	Discomfort	Unaccept	Accept
628	13:49:39	7	7.5	6.7	Annoying	1-10	Comfort	Unaccept	Accept
629	13:51:03	*	16.2	*	*	*	*	*	*
630	13:51:39	5	11.0	13.8	Annoying	1-10	Comfort	Unaccept	Accept
631	13:53:03	5	24.9	31.2	Disturbing	10-100	Discomfort	Unaccept	Unaccept
632	13:54:27	10	20.0	12.5	Disturbing	10-100	Discomfort	Unaccept	Unaccept

ตาราง 6.2 (ต่อ)

Event No.	Time	Frequency (Hz)	\hat{V}_v (mm/s)	A (10^{-3} in.)	Reiher and Meister	Dieckmann (K) #	Janeway	TRRL	
								Standing	Walking
633	13:55:51	5	22.7	28.4	Disturbing	10-100	Discomfort	Unaccept	Unaccept
634	13:57:15	7	17.3	15.5	Disturbing	10-100	Discomfort	Unaccept	Unaccept
635	13:58:39	7	40.6	36.3	Disturbing	10-100	Discomfort	Unaccept	Unaccept

* Incomplete data sample (in FFT)

Tolerance levels ของ Dieckmann

K = 0.1; ระดับต่ำสุดที่รับรู้ได้ (Lower limit of perception)

K = 1; ระดับที่ยอมรับได้ในโรงงาน (Allowed in industry for any period of time)

K = 10; ระดับที่ยอมรับได้แต่เป็นช่วงเวลาสั้น ๆ (Allowed only for a short time)

K = 100; ระดับสูงสุดที่คนปรกติจะทนได้ (Upper limit of strain for the average man)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง 6.3 ผลการสั่นสะเทือนของ Continuous span 30 m (ช่วงเวลา 21.00 น.- 21.40 น.) ที่มีต่อผู้ใช้สะพาน

Event No.	Time	Frequency (Hz)	\hat{V}_v (mm/s)	A (10^{-3} in.)	Reiher and Meister	Dieckmann (K) #	Janeway	TRRL	
								Standing	Walking
637	21:00:27	8	24.9	19.5	Disturbing	10-100	Discomfort	Unaccept	Unaccept
638	21:01:51	7	6.3	5.6	Annoying	1-10	Comfort	Unaccept	Accept
639	21:03:15	5	30.7	38.5	Disturbing	10-100	Discomfort	Unaccept	Unaccept
640	21:04:39	5	6.0	7.5	Annoying	1-10	Comfort	Unaccept	Accept
641	21:06:03	12	22.2	11.6	Painful	10-100	Discomfort	Unaccept	Unaccept
642	21:07:27	*	21.3	*	*	*	*	*	*
643	21:08:03	7	6.7	6.0	Annoying	1-10	Comfort	Unaccept	Accept
644	21:09:27	5	29.8	37.4	Disturbing	10-100	Discomfort	Unaccept	Unaccept
645	21:10:51	8	23.0	18.0	Disturbing	10-100	Discomfort	Unaccept	Unaccept
646	21:12:15	10	15.1	9.4	Disturbing	10-100	Discomfort	Unaccept	Unaccept
647	21:13:39	8	34.7	27.2	Painful	10-100	Discomfort	Unaccept	Unaccept
648	21:15:04	7	30.4	27.2	Disturbing	10-100	Discomfort	Unaccept	Unaccept
649	21:16:28	12	5.8	3.0	Annoying	1-10	Discomfort	Unaccept	Accept

ตาราง 6.3 (ต่อ)

Event No.	Time	Frequency (Hz)	\hat{V}_v (mm/s)	A (10^{-3} in.)	Reiher and Meister	Dieckmann (K) #	Janeway	TRRL	
								Standing	Walking
650	21:17:52	8	22.4	17.5	Disturbing	10-100	Discomfort	Unaccept	Unaccept
651	21:19:16	17	31.3	11.5	Painful	10-100	Discomfort	Unaccept	Unaccept
652	21:20:41	10	24.2	15.1	Disturbing	10-100	Discomfort	Unaccept	Unaccept
653	21:22:05	8	12.4	9.7	Disturbing	1-10	Discomfort	Unaccept	Unaccept
654	21:23:29	7	24.6	22.0	Disturbing	10-100	Discomfort	Unaccept	Unaccept
655	21:24:53	7	18.2	16.3	Disturbing	10-100	Discomfort	Unaccept	Unaccept
656	21:26:17	*	20.1	*	*	*	*	*	*
657	21:26:53	5	7.6	9.5	Annoying	1-10	Comfort	Unaccept	Accept
658	21:28:17	5	8.5	10.7	Annoying	1-10	Comfort	Unaccept	Accept
659	21:29:41	8	19.7	15.4	Disturbing	10-100	Discomfort	Unaccept	Unaccept
660	21:31:05	5	7.6	9.5	Annoying	1-10	Comfort	Unaccept	Accept
661	21:32:29	8	32.5	25.5	Disturbing	10-100	Discomfort	Unaccept	Unaccept
662	21:33:53	7	36.8	33.0	Disturbing	10-100	Discomfort	Unaccept	Unaccept

ตาราง 6.3 (ต่อ)

Event No.	Time	Frequency (Hz)	\hat{V}_v (mm/s)	A (10^{-3} in.)	Reiher and Meister	Dieckmann (K) [#]	Janeway	TRRL	
								Standing	Walking
663	21:35:18	*	29.4	*	*	*	*	*	*
664	21:35:54	8	22.2	17.4	Disturbing	10-100	Discomfort	Unaccept	Unaccept
665	21:37:19	*	24.8	*	*	*	*	*	*
666	21:37:55	18	5.8	2.0	Annoying	1-10	Discomfort	Unaccept	Accept

* Incomplete data sample (in FFT)

[#] Tolerance levels ของ Dieckmann

K = 0.1; ระดับต่ำสุดที่รับรู้ได้ (Lower limit of perception)

K = 1; ระดับที่ยอมรับได้ในโรงงาน (Allowed in industry for any period of time)

K = 10; ระดับที่ยอมรับได้แต่เป็นช่วงเวลาสั้น ๆ (Allowed only for a short time)

K = 100; ระดับสูงสุดที่คนปรกติจะทนได้ (Upper limit of strain for the average man)

ตาราง 6.4 ผลการสั่นสะเทือนของ Simple span 25 m (ช่วงเวลา 22.20 น.- 23.00 น.) ที่มีต่อผู้ใช้สะพาน

Event No.	Time	Frequency (Hz)	\hat{V}_v (mm/s)	A (10^{-3} in.)	Reiher and Meister	Dieckmann (K) [#]	Janeway	TRRL	
								Standing	Walking
668	22:20:37	7	20.1	18.0	Disturbing	10-100	Discomfort	Unaccept	Unaccept
669	22:22:01	32	5.2	1.0	Disturbing	1-10	Discomfort	Accept	Accept
670	22:23:25	7	21.0	18.8	Disturbing	10-100	Discomfort	Unaccept	Unaccept
671	22:24:49	*	4.2	*	*	*	*	*	*
672	22:25:25	13	5.2	2.5	Annoying	1-10	Discomfort	Unaccept	Accept
673	22:26:48	*	5.4	*	*	*	*	*	*
674	22:27:24	5	37.1	46.5	Disturbing	10-100	Discomfort	Unaccept	Unaccept
675	22:28:48	*	17.8	*	*	*	*	*	*
676	22:29:24	7	37.6	33.6	Disturbing	10-100	Discomfort	Unaccept	Unaccept
677	22:30:49	8	21.6	16.9	Disturbing	10-100	Discomfort	Unaccept	Unaccept
678	22:32:13	*	15.1	*	*	*	*	*	*
679	22:32:49	23	4.6	1.3	Annoying	1-10	Discomfort	Accept	Accept
680	22:34:12	17	5.7	2.1	Annoying	1-10	Discomfort	Unaccept	Accept

ตาราง 6.4 (ต่อ)

Event No.	Time	Frequency (Hz)	\hat{V}_v (mm/s)	A (10^{-3} in.)	Reiher and Meister	Dieckmann (K) [#]	Janeway	TRRL	
								Standing	Walking
681	22:35:36	27	5.1	1.2	Annoying	1-10	Discomfort	Accept	Accept
682	22:37:00	8	5.2	4.1	Annoying	1-10	Comfort	Unaccept	Accept
683	22:38:23	5	6.1	7.7	Annoying	1-10	Comfort	Unaccept	Accept
684	22:39:47	*	6.1	*	*	*	*	*	*
685	22:40:23	*	4.2	*	*	*	*	*	*
686	22:40:59	*	20.6	*	*	*	*	*	*
687	22:41:35	10	7.0	4.4	Annoying	1-10	Discomfort	Unaccept	Accept
688	22:42:59	*	5.7	*	*	*	*	*	*
689	22:43:35	*	58.2	*	*	*	*	*	*
690	22:44:11	5	19.7	24.7	Disturbing	10-100	Discomfort	Unaccept	Unaccept
691	22:45:35	7	3.4	3.1	Annoying	1-10	Comfort	Accept	Accept
692	22:47:00	7	25.7	23.0	Disturbing	10-100	Discomfort	Unaccept	Unaccept
693	22:48:25	13	4.9	2.4	Annoying	1-10	Discomfort	Unaccept	Accept

ตาราง 6.4 (ต่อ)

Event No.	Time	Frequency (Hz)	\hat{V}_v (mm/s)	A (10^{-3} in.)	Reiher and Meister	Dieckmann (K) #	Janeway	TRRL	
								Standing	Walking
694	22:49:48	22	4.5	1.3	Annoying	1-10	Discomfort	Accept	Accept
695	22:51:12	15	9.2	3.9	Disturbing	1-10	Discomfort	Unaccept	Unaccept
696	22:52:36	*	20.0	*	*	*	*	*	*
697	22:53:12	28	4.5	1.0	Annoying	1-10	Discomfort	Accept	Accept
698	22:54:36	23	2.8	0.8	Clearly percept	1-10	Discomfort	Accept	Accept
699	22:56:04	10	4.8	3.0	Annoying	1-10	Comfort	Accept	Accept
700	22:57:30	12	18.5	9.7	Disturbing	10-100	Discomfort	Unaccept	Unaccept

* Incomplete data sample (in FFT)

Tolerance levels ของ Dieckmann

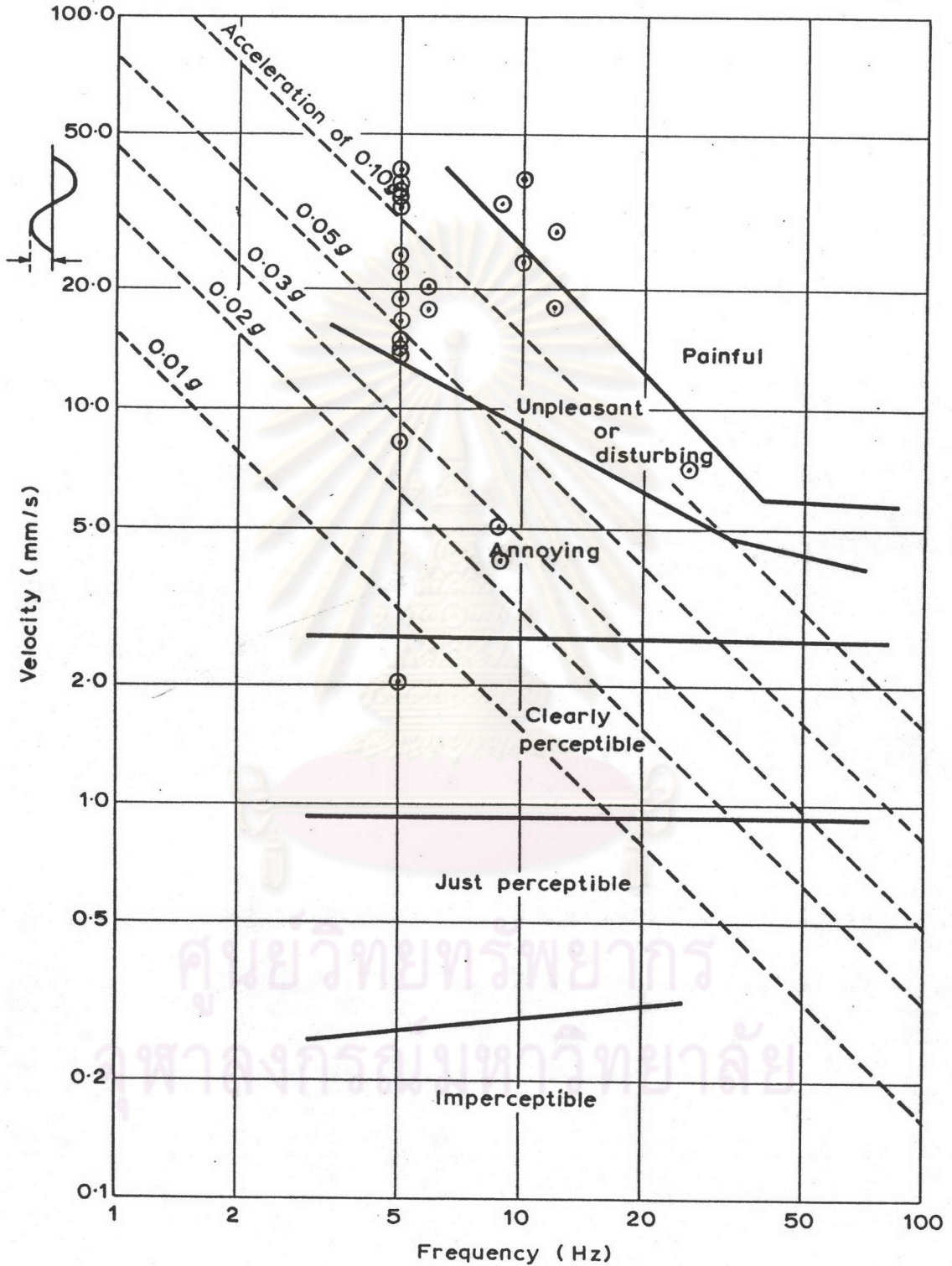
K = 0.1; ระดับต่ำสุดที่รับรู้ได้ (Lower limit of perception)

K = 1; ระดับที่ยอมรับได้ในโรงงาน (Allowed in industry for any period of time)

K = 10; ระดับที่ยอมรับได้แต่เป็นช่วงเวลาสั้น ๆ (Allowed only for a short time)

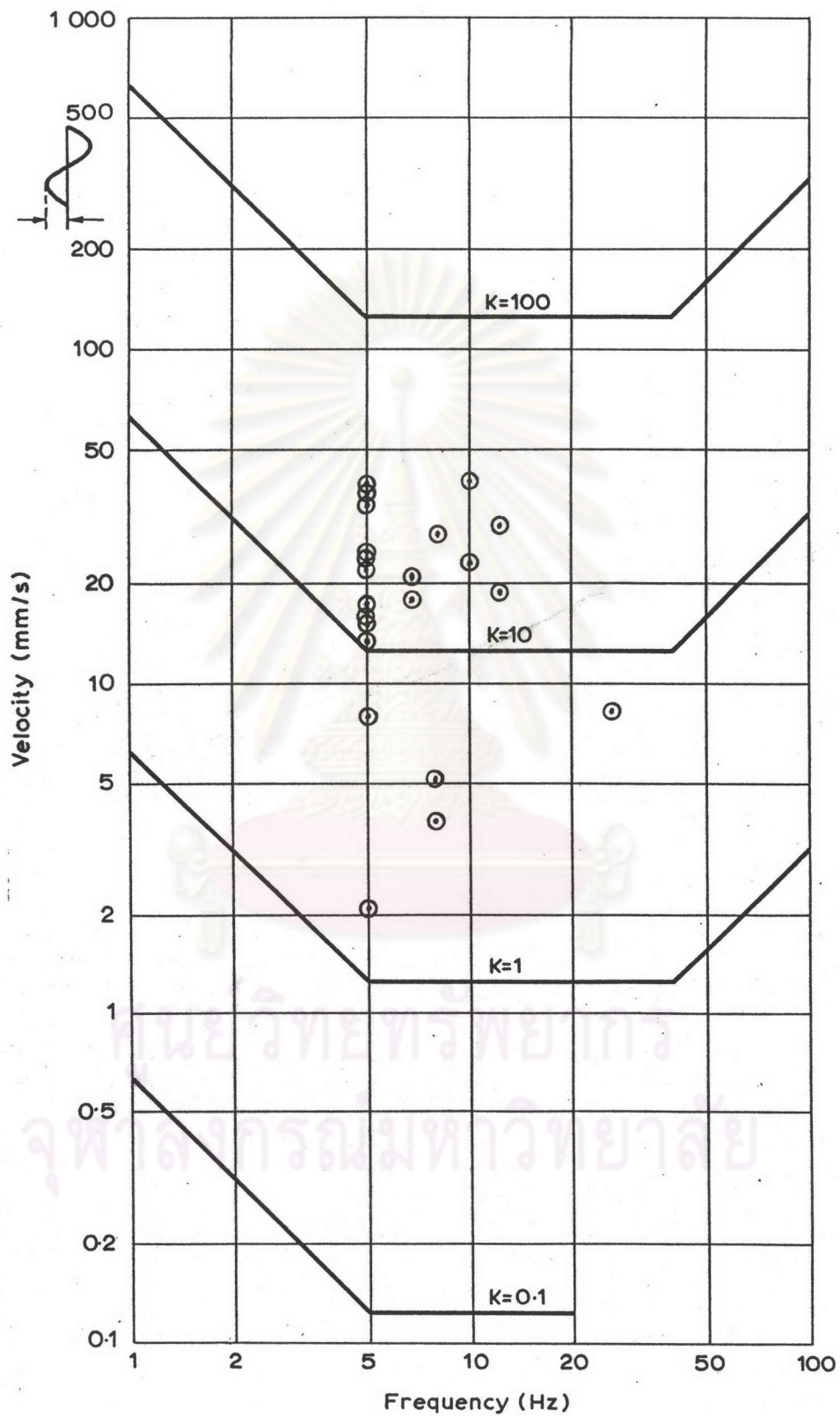
K = 100; ระดับสูงสุดที่คนปรกติจะทนได้ (Upper limit of strain for the average man)

HUMAN SENSITIVITY TO VERTICAL VIBRATIONS (REIHER AND MEISTER)



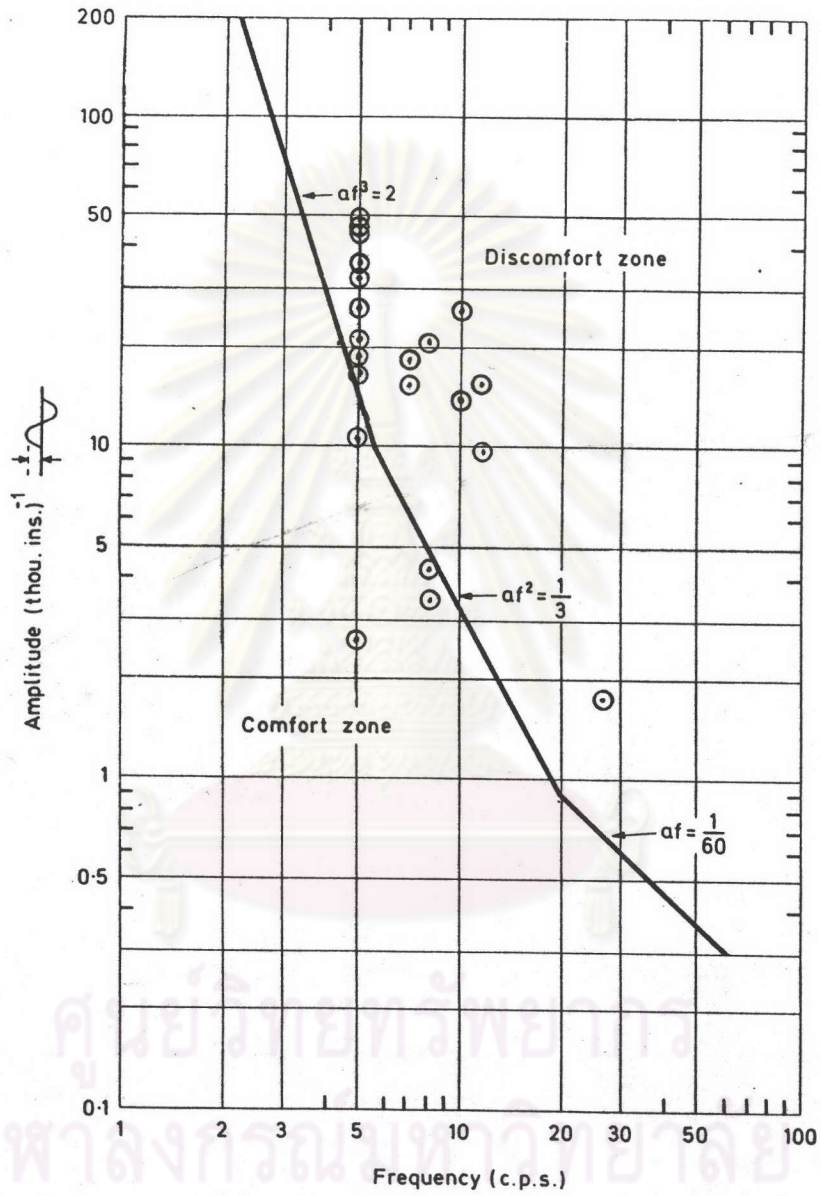
รูป 6.1 ผลการสั่นสะเทือนของ Continuous span 30 m (ช่วงเวลา 11.20 น.- 12.00 น.) ที่มีต่อผู้ใช้สะพาน (Reiher and Meister)

HUMAN SENSITIVITY TO VERTICAL VIBRATIONS (DIECKMANN)



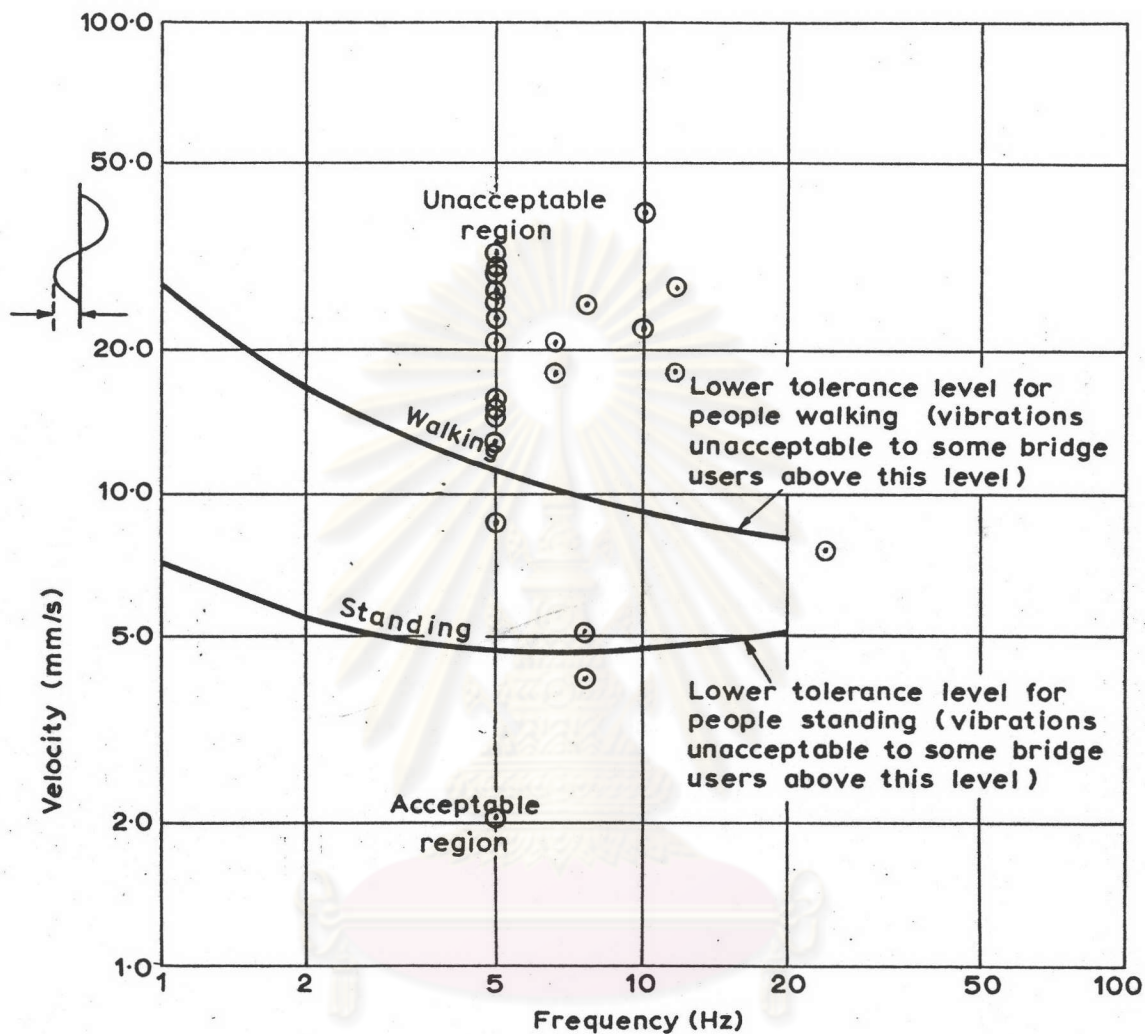
รูป 6.2 ผลการสั่นสะเทือนของ Continuous span 30 m (ช่วงเวลา 11.20 น.- 12.00 น.) ที่มีต่อผู้ใช้สะพาน (Dieckmann)

VERTICAL VIBRATION LIMITS FOR AUTOMOBILE
PASSENGER COMFORT (JANEWAY)



รูป 6.3 ผลการสั่นสะเทือนของ Continuous span 30 m (ช่วงเวลา 11.20 น.- 12.00 น.) ที่มีต่อผู้ใช้สะพาน (Janeway)

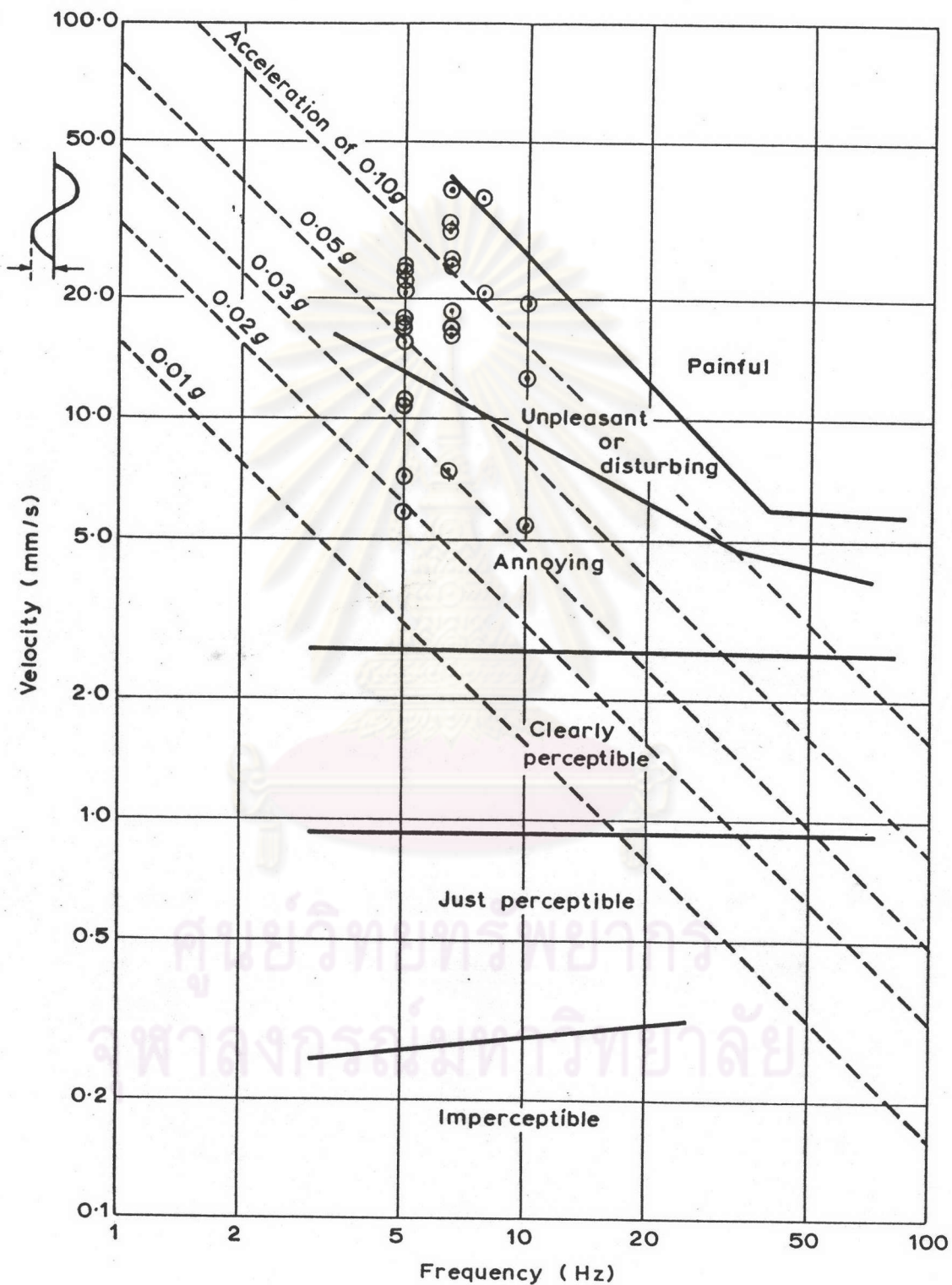
HUMAN TOLERANCE LEVELS FOR BRIDGE VIBRATIONS



รูป 6.4 ผลการสั่นสะเทือนของ Continuous span 30 m (ช่วงเวลา 11.20 น.- 12.00 น.) ที่มีต่อผู้ใช้สะพาน (TRRL)

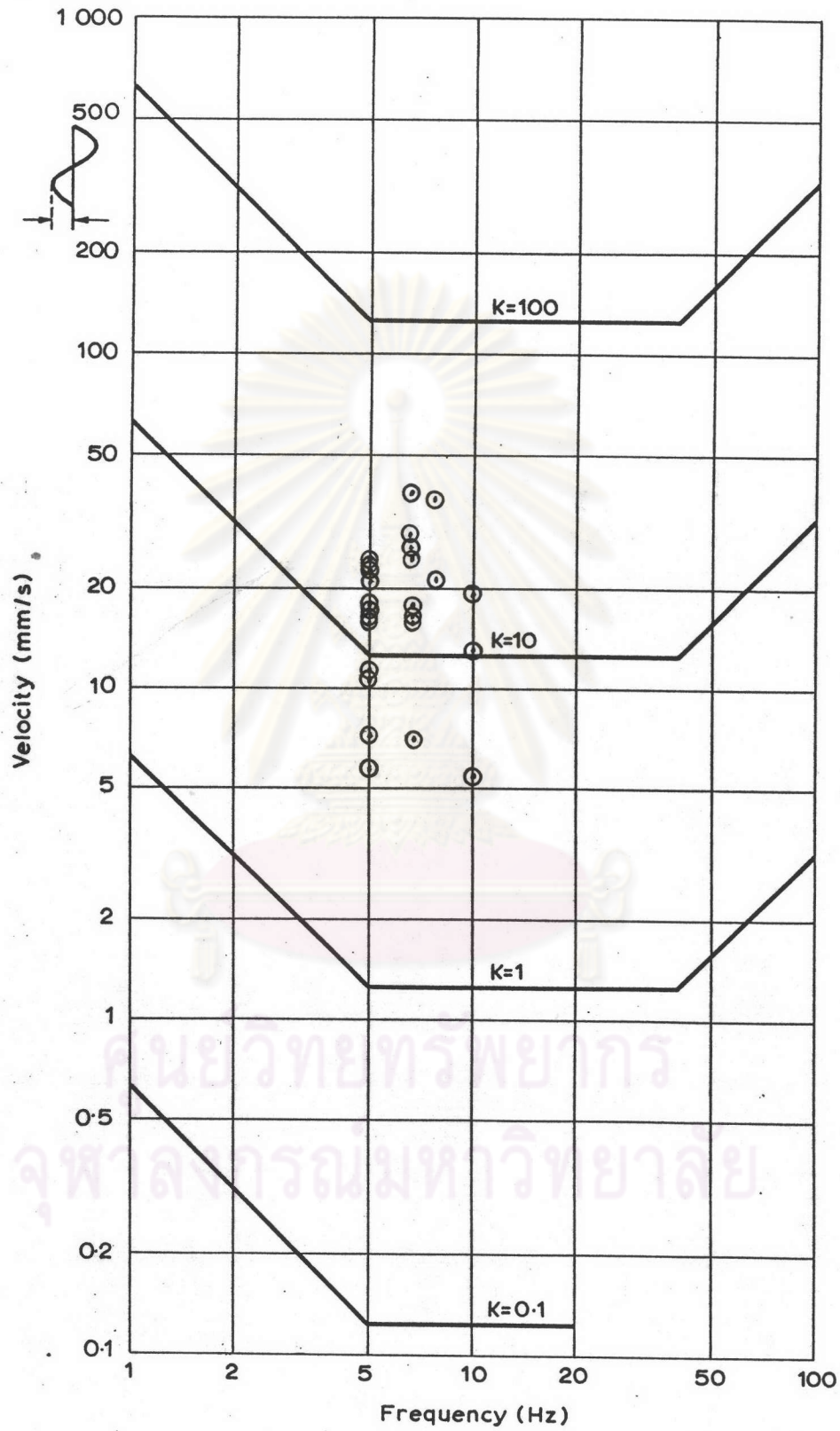
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

HUMAN SENSITIVITY TO VERTICAL VIBRATIONS
(REIHER AND MEISTER)



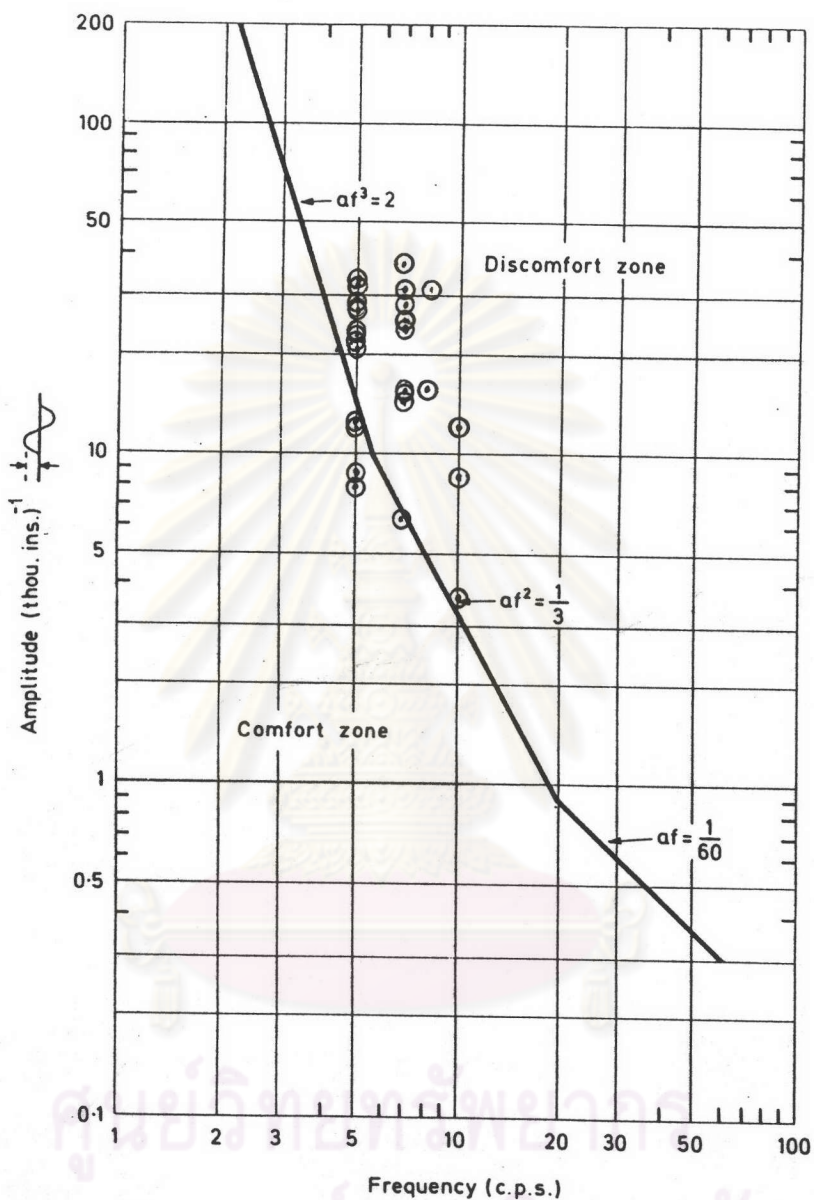
รูป 6.5 ผลการสั่นสะเทือนของ Simple span 25 m (ช่วงเวลา 13.20 น.- 14.00 น.) ที่มีต่อผู้ใช้สะพาน (Reiher and Meister)

HUMAN SENSITIVITY TO VERTICAL VIBRATIONS
(DIECKMANN)



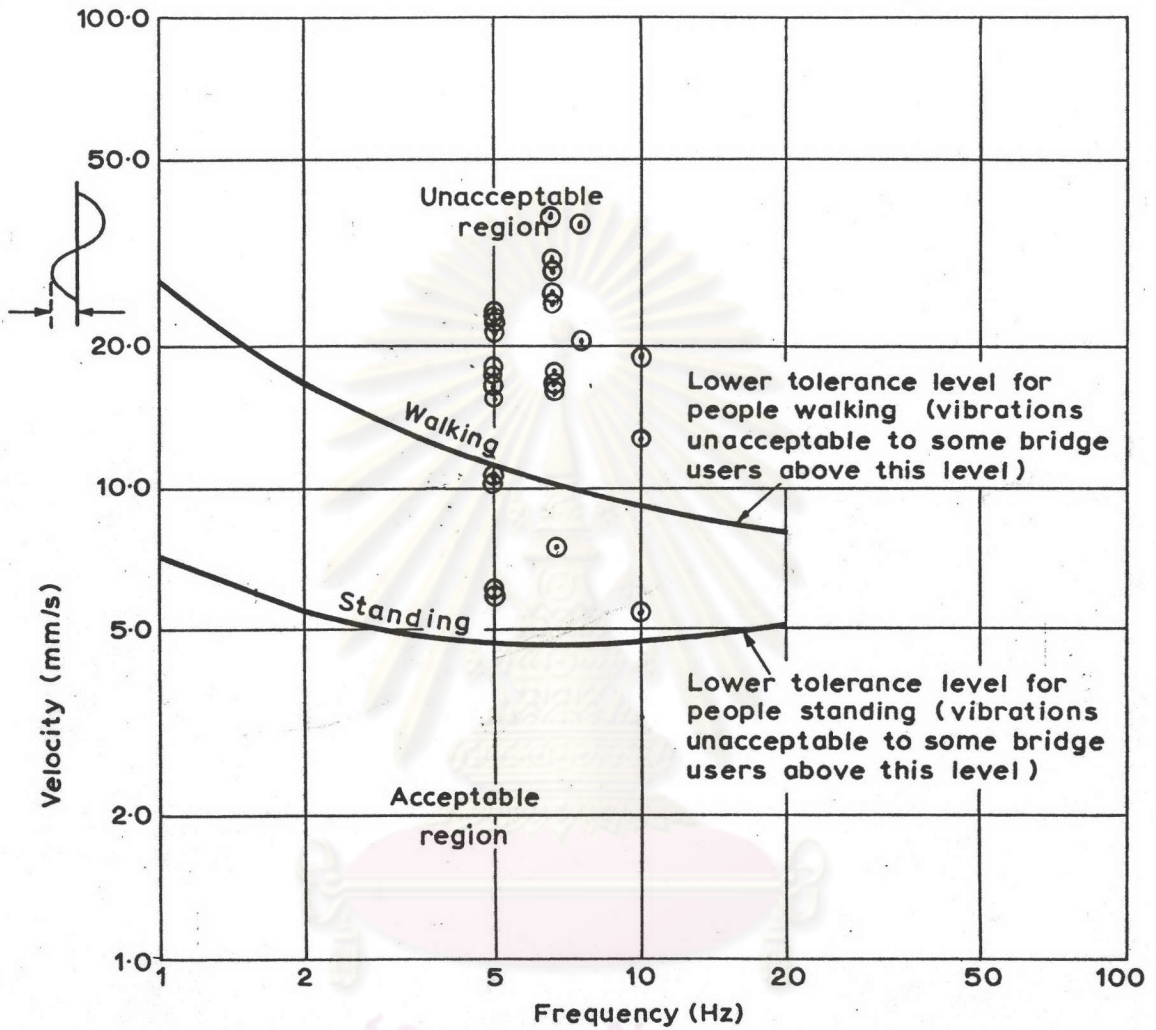
รูป 6.6 ผลการสั่นสะเทือนของ Simple span 25 m (ช่วงเวลา 13.20 น.-
14.00 น.) ที่มีต่อผู้ใช้สะพาน (Dieckmann)

VERTICAL VIBRATION LIMITS FOR AUTOMOBILE
PASSENGER COMFORT (JANEWAY)



รูป 6.7 ผลการสั่นสะเทือนของ Simple span 25 m (ช่วงเวลา 13.20 น.-
14.00 น.) ที่มีต่อผู้ใช้สะพาน (Janeway)

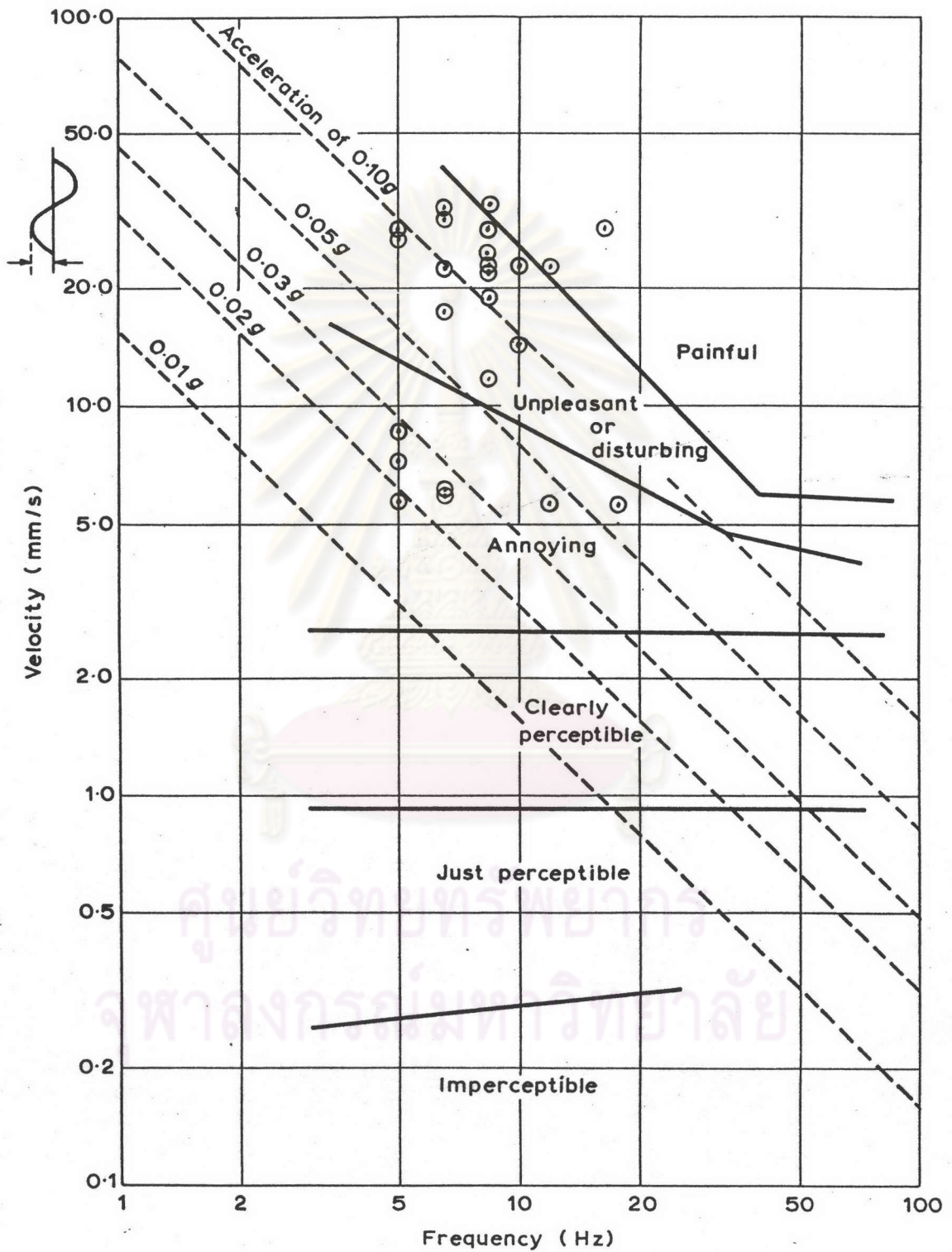
HUMAN TOLERANCE LEVELS FOR BRIDGE VIBRATIONS



รูป 6.8 ผลการสั่นสะเทือนของ Simple span 25 m (ช่วงเวลา 13.20 น.- 14.00 น.) ที่มีต่อผู้ใช้สะพาน (TRRL)

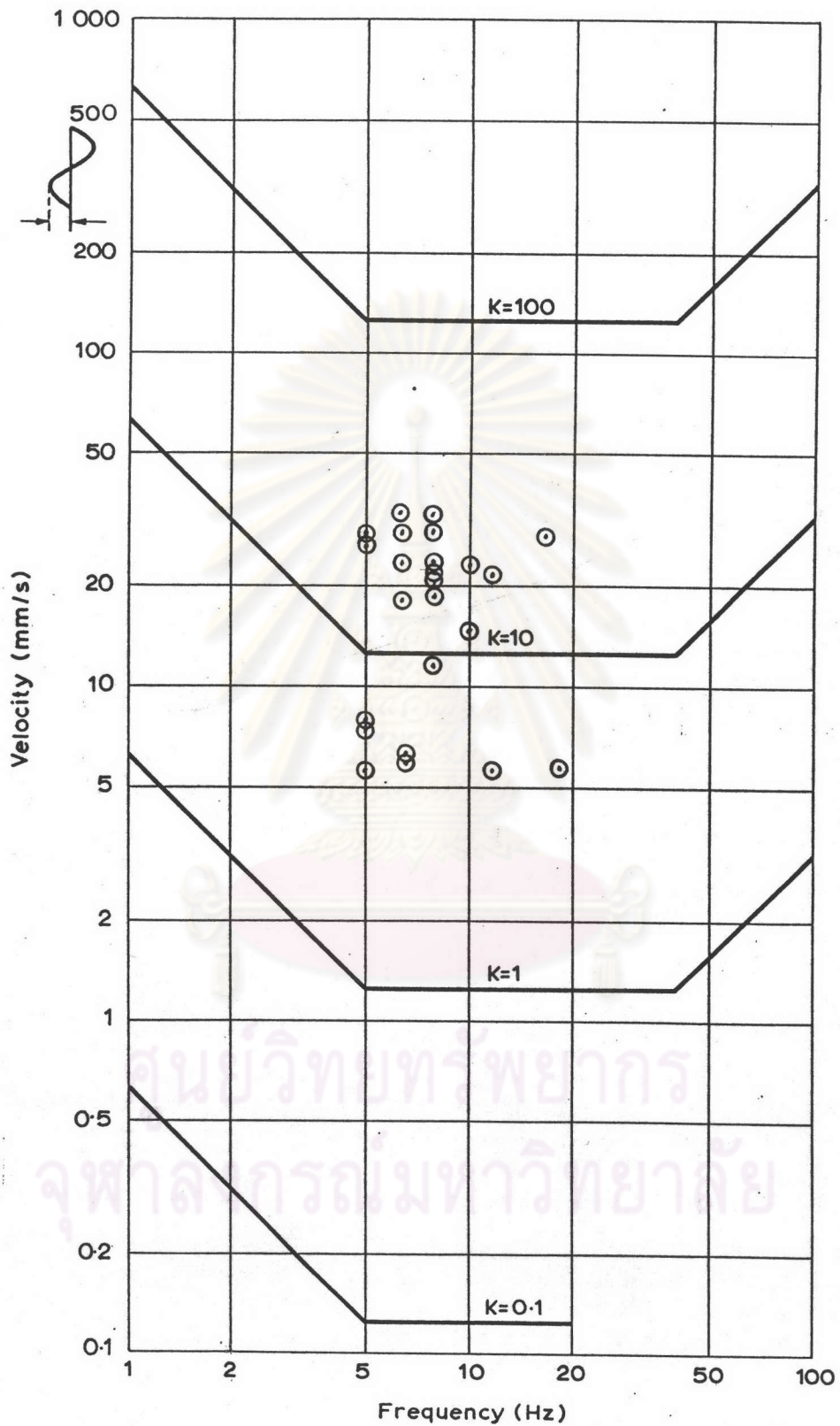
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

HUMAN SENSITIVITY TO VERTICAL VIBRATIONS
(REIHER AND MEISTER)



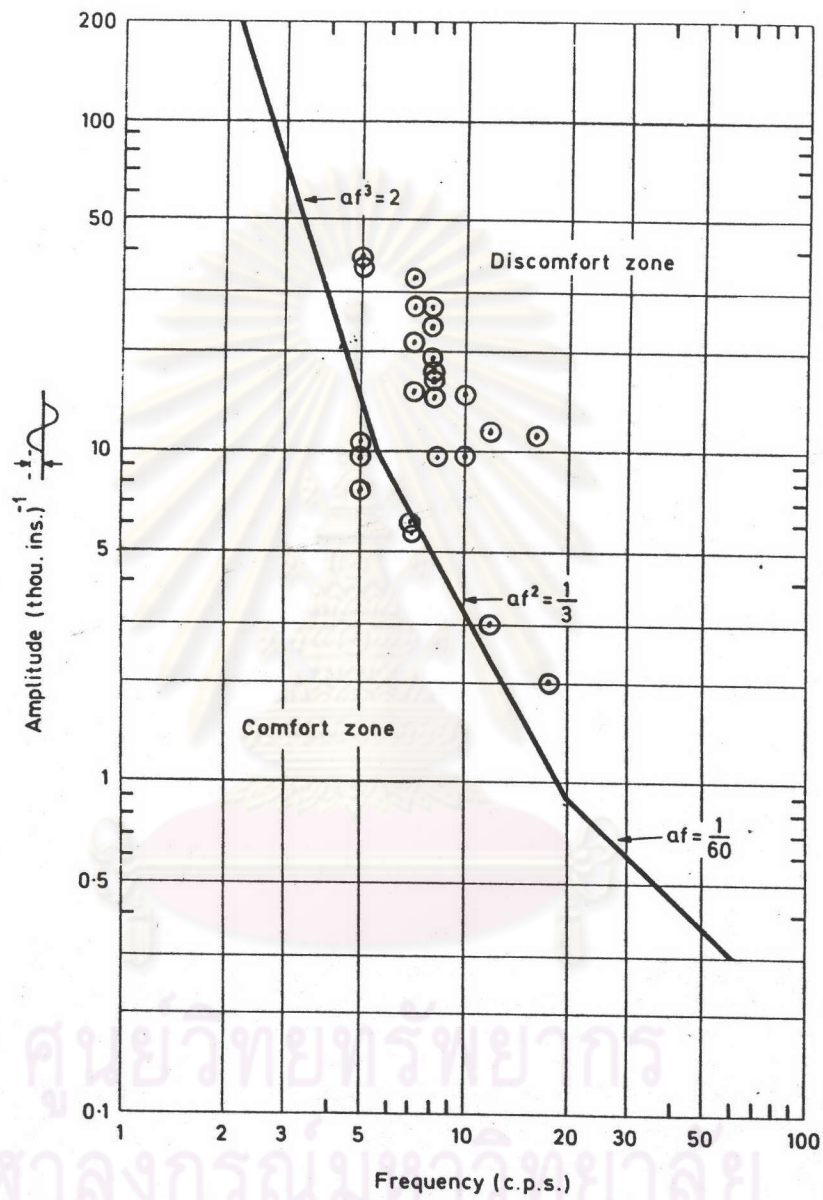
รูป 6.9 ผลการสั่นสะเทือนของ Continuous span 30 m (ช่วงเวลา 21.00 น.- 21.40 น.) ที่มีต่อผู้ใช้สะพาน (Reiher and Meister)

HUMAN SENSITIVITY TO VERTICAL VIBRATIONS
(DIECKMANN)



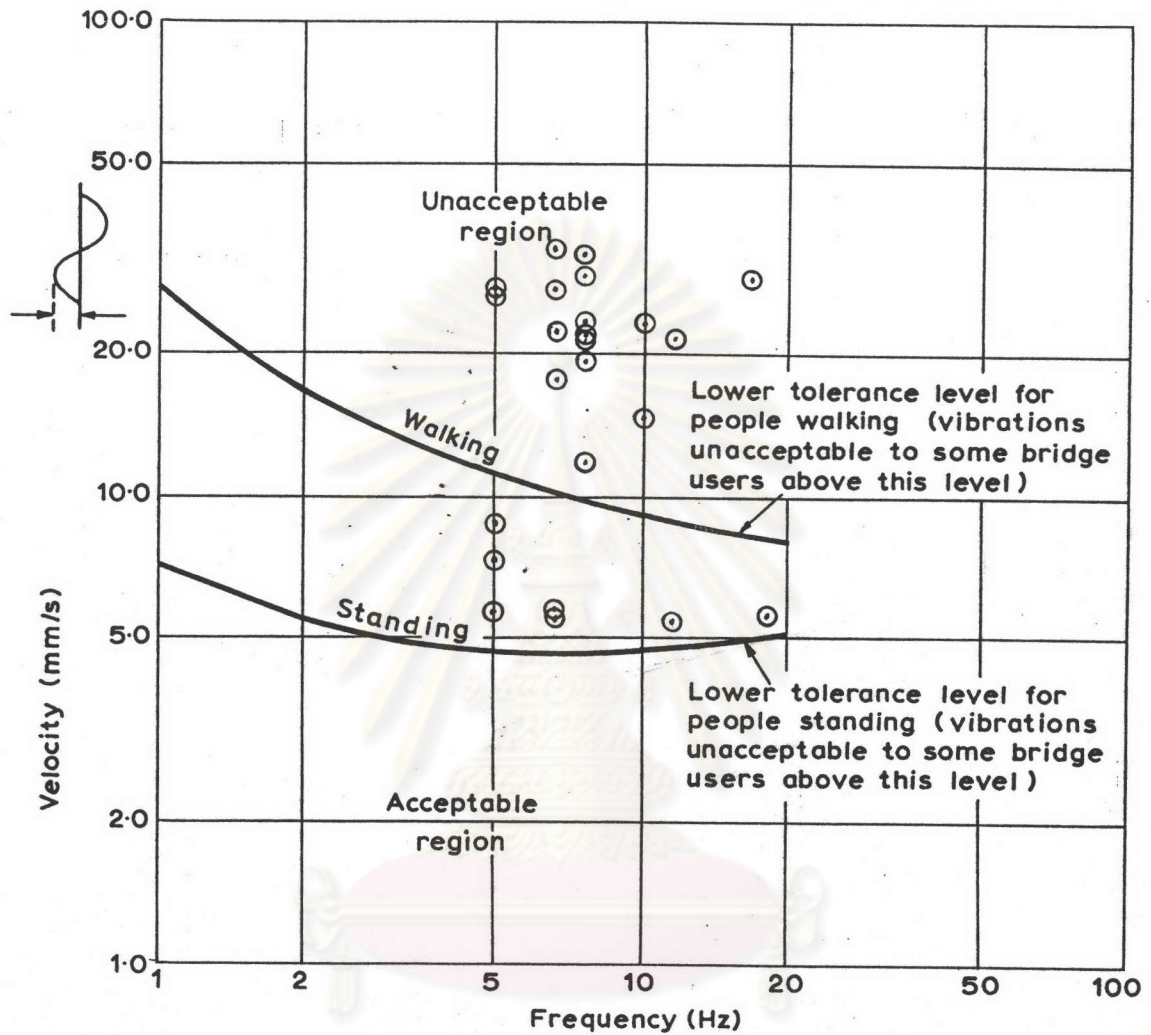
รูป 6.10 ผลการสั่นสะเทือนของ Continuous span 30 m (ช่วงเวลา 21.00 น.- 21.40 น.) ที่มีต่อผู้ใช้สะพาน (Dieckmann)

VERTICAL VIBRATION LIMITS FOR AUTOMOBILE
PASSENGER COMFORT (JANEWAY)



รูป 6.11 ผลการสั่นสะเทือนของ Continuous span 30 m (ช่วงเวลา 21.00 น.- 21.40 น.) ที่มีต่อผู้ใช้สะพาน (Janeway)

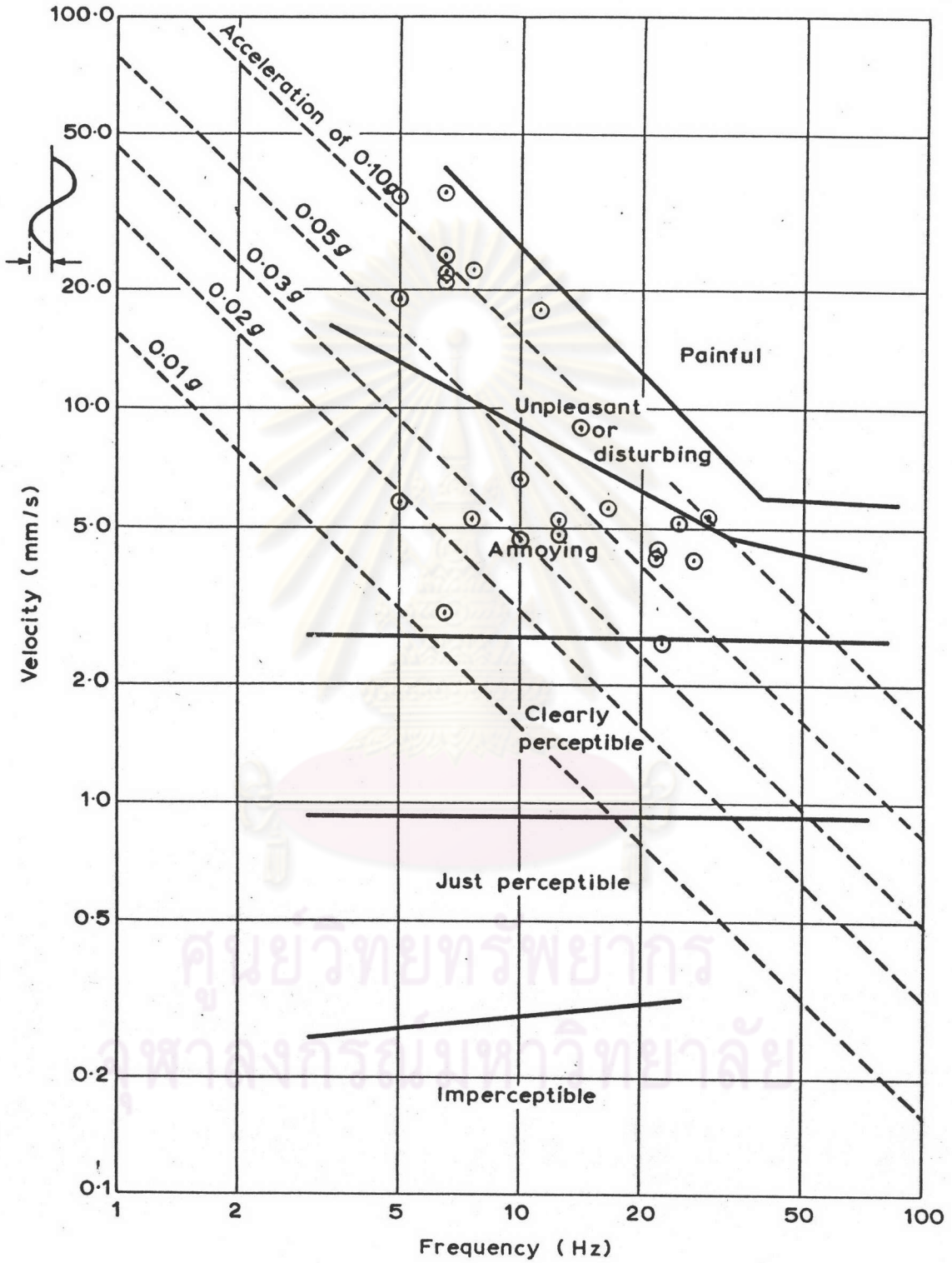
HUMAN TOLERANCE LEVELS FOR BRIDGE VIBRATIONS



รูป 6.12 ผลการสั่นสะเทือนของ Continuous span 30 m (ช่วงเวลา
21.00 น.- 21.40 น.) ที่มีต่อผู้ใช้สะพาน (TRRL)

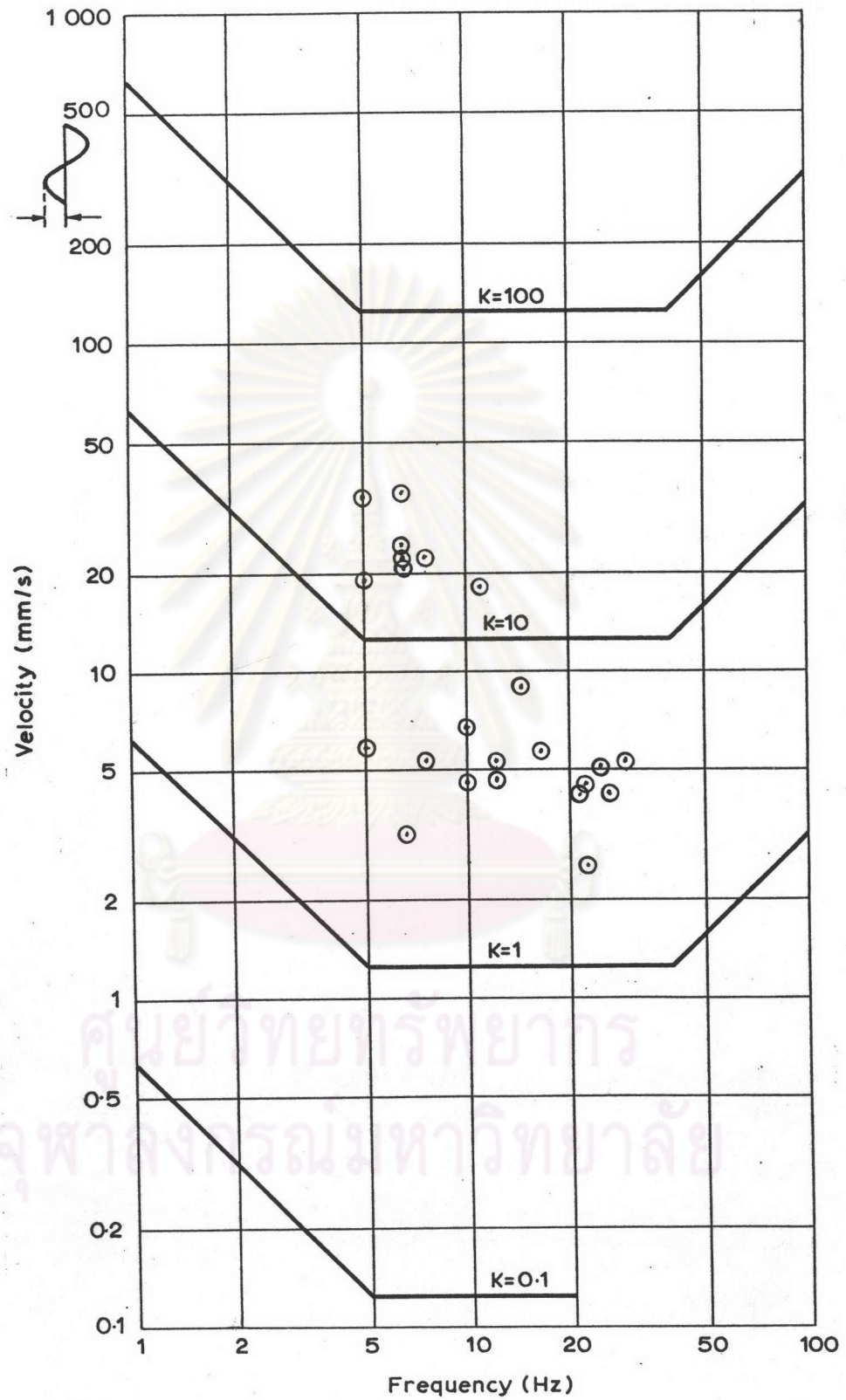
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

HUMAN SENSITIVITY TO VERTICAL VIBRATIONS
(REIHER AND MEISTER)



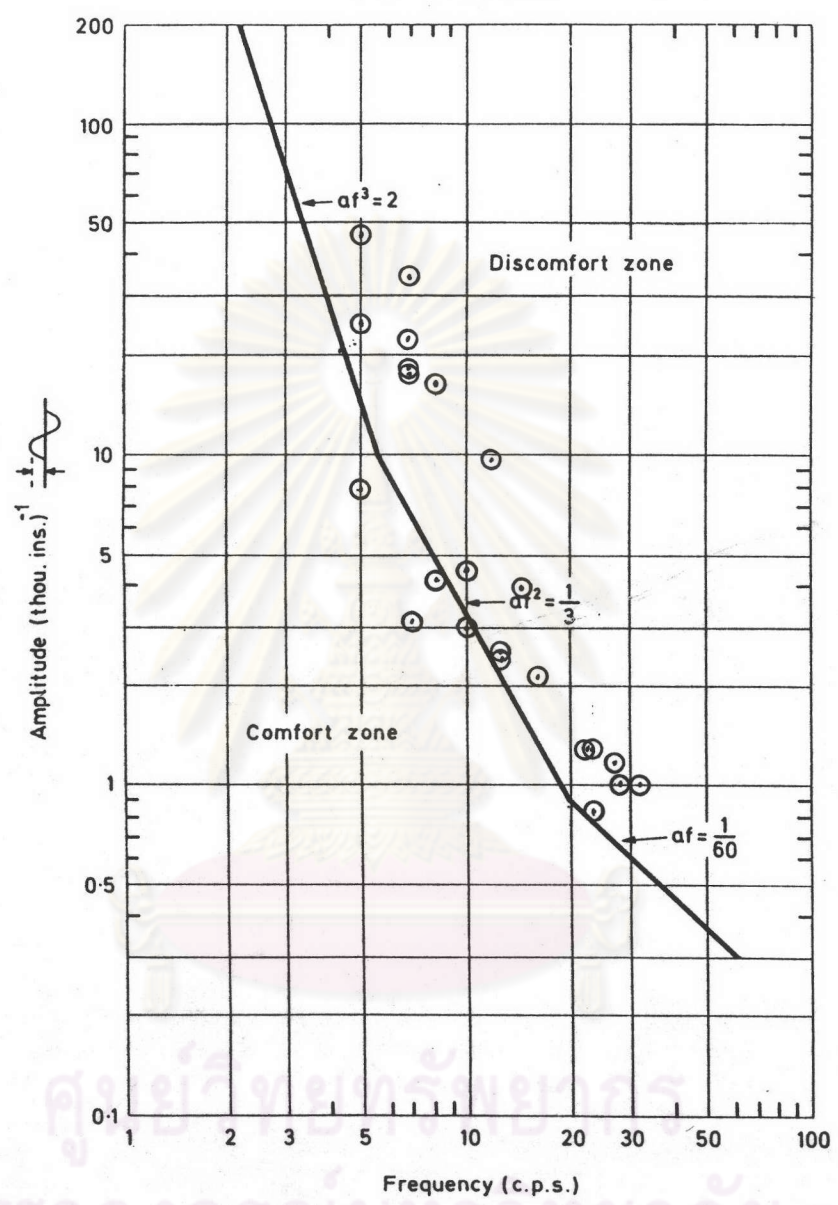
รูป 6.13 ผลการสั่นสะเทือนของ Simple span 25 m (ช่วงเวลา 22.20 น.-
23.00 น.) ที่มีต่อผู้ใช้สะพาน (Reiher and Meister)

HUMAN SENSITIVITY TO VERTICAL VIBRATIONS
(DIECKMANN)



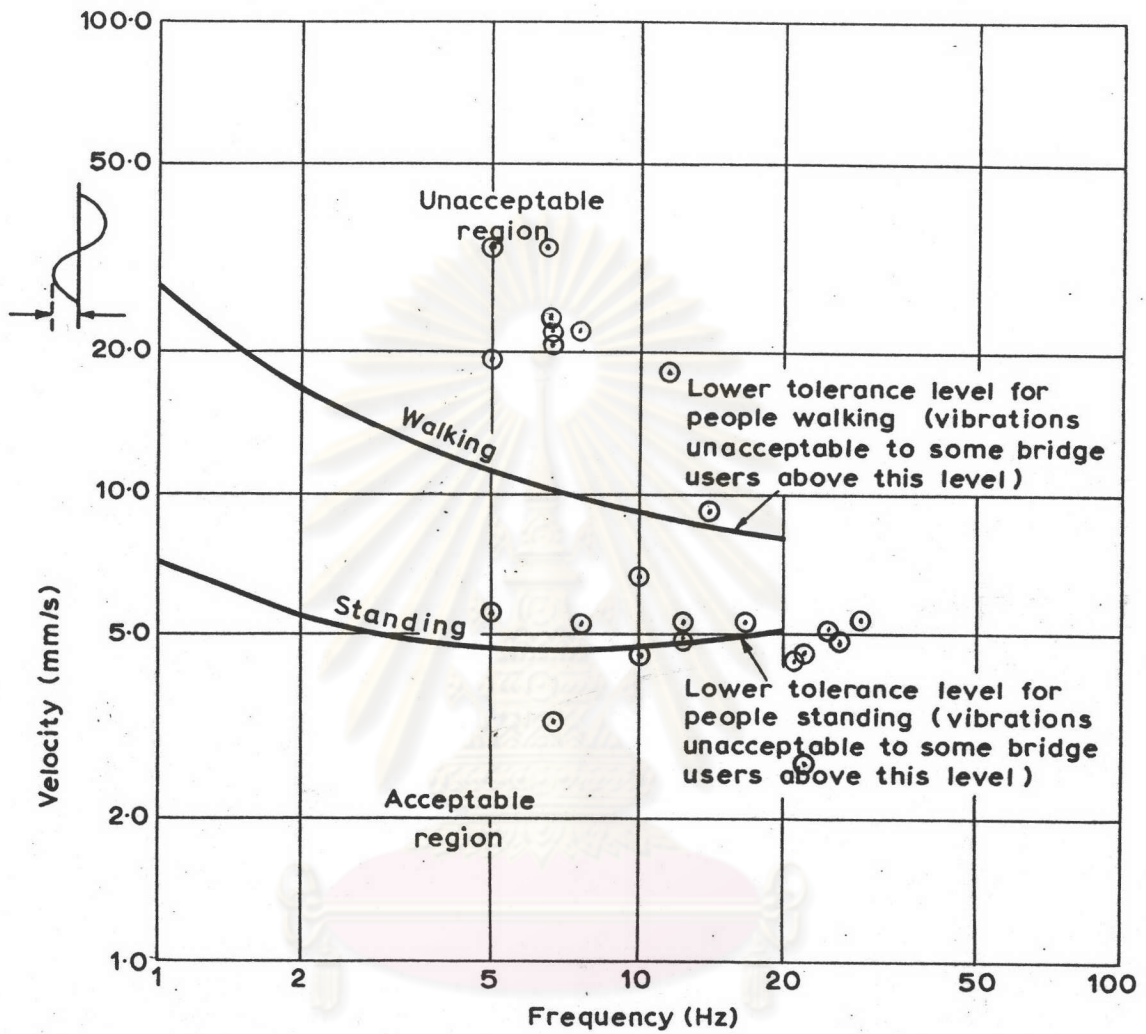
รูป 6.14 ผลการสั่นสะเทือนของ Simple span 25 m (ช่วงเวลา 22.20 น.-
23.00 น.) ที่มีต่อผู้ใช้สะพาน (Dieckmann)

VERTICAL VIBRATION LIMITS FOR AUTOMOBILE PASSENGER COMFORT (JANEWAY)



รูป 6.15 ผลการสั่นสะเทือนของ Simple span 25 m (ช่วงเวลา 22.20 น.- 23.00 น.) ที่มีต่อผู้ใช้สะพาน (Janeway)

HUMAN TOLERANCE LEVELS FOR BRIDGE VIBRATIONS



รูป 6.16 ผลการสั่นสะเทือนของ Simple span 25 m (ช่วงเวลา 22.20 น.-
23.00 น.) ที่มีต่อผู้ใช้สะพาน (TRRL)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง 6.5 ผลการสั่นสะเทือนของ Continuous span 30 m (ช่วงเวลา 11.20 น.- 12.00 น.) ที่มีต่อโครงสร้างสะพาน

Event No.	Time	Frequency (Hz)	\hat{V}_v (mm/s)	V_{max} (Vector) (mm/s)	DIN4150 Part3 (1986) (Accept $\hat{V}_v < 10$ mm/s)	SN640312 (1978) (Accept $V_{max} < 12$ mm/s)
573	11:20:22	5	16.8	17.0	Unaccept	Unaccept
574	11:21:46	5	25.2	25.2	Unaccept	Unaccept
575	11:23:10	*	19.5	19.5	Unaccept	Unaccept
576	11:23:46	5	36.4	36.4	Unaccept	Unaccept
577	11:25:10	*	7.5	7.6	Accept	Accept
578	11:25:46	12	18.2	18.2	Unaccept	Unaccept
579	11:27:10	5	13.3	13.4	Unaccept	Unaccept
580	11:28:34	27	7.7	10.1	Accept	Accept
581	11:29:58	*	27.1	28.9	Unaccept	Unaccept
582	11:30:34	5	2.1	8.9	Accept	Accept
583	11:31:58	8	4.2	9.7	Accept	Accept
584	11:33:22	*	18.5	18.8	Unaccept	Unaccept

ตาราง 6.5 (ต่อ)

Event No.	Time	Frequency (Hz)	\hat{V}_v (mm/s)	V_{max} (Vector) (mm/s)	DIN4150 Part3 (1986) (Accept $\hat{V}_v < 10$ mm/s)	SN640312 (1978) (Accept $V_{max} < 12$ mm/s)
585	11:33:58	*	20.9	20.9	Unaccept	Unaccept
586	11:34:34	5	21.8	24.0	Unaccept	Unaccept
587	11:35:58	5	24.6	24.8	Unaccept	Unaccept
588	11:37:23	5	38.9	39.1	Unaccept	Unaccept
589	11:38:47	7	20.0	21.5	Unaccept	Unaccept
590	11:40:11	5	15.2	15.6	Unaccept	Unaccept
591	11:41:34	5	35.5	35.5	Unaccept	Unaccept
592	11:42:59	*	5.5	6.7	Accept	Accept
593	11:43:15	5	8.5	9.1	Accept	Accept
594	11:44:58	7	18.3	18.3	Unaccept	Unaccept
595	11:46:22	8	5.1	18.9	Accept	Unaccept
596	11:47:46	5	15.8	17.3	Unaccept	Unaccept

ตาราง 6.5 (ต่อ)

Event No.	Time	Frequency (Hz)	\hat{V}_v (mm/s)	V_{max} (Vector) (mm/s)	DIN4150 Part3 (1986) (Accept $\hat{V}_v < 10$ mm/s)	SN640312 (1978) (Accept $V_{max} < 12$ mm/s)
597	11:49:10	*	7.2	8.1	Accept	Accept
598	11:49:46	5	28.9	28.9	Unaccept	Unaccept
599	11:51:10	10	41.6	43.4	Unaccept	Unaccept
600	11:52:35	10	22.7	23.0	Unaccept	Unaccept
601	11:53:59	5	26.5	26.7	Unaccept	Unaccept
602	11:55:23	*	8.2	8.4	Accept	Accept
603	11:55:59	8	27.6	27.7	Unaccept	Unaccept
604	11:57:23	12	29.8	29.8	Unaccept	Unaccept
605	11:58:47	8	5.1	10.6	Accept	Accept

* Incomplete data sample (in FFT)

ตาราง 6.6 ผลการสั่นสะเทือนของ Simple span 25 m (ช่วงเวลา 13.20 น.- 14.00 น.) ที่มีต่อโครงสร้างสะพาน

Event No.	Time	Frequency (Hz)	\hat{V}_v (mm/s)	V_{max} (Vector) (mm/s)	DIN4150 Part3 (1986) (Accept $\hat{V}_v < 10$ mm/s)	SN640312 (1978) (Accept $V_{max} < 12$ mm/s)
607	13:21:03	5	18.0	18.6	Unaccept	Unaccept
608	13:22:27	7	18.2	18.3	Unaccept	Unaccept
609	13:23:51	10	13.3	13.7	Unaccept	Unaccept
610	13:25:15	5	16.4	16.8	Unaccept	Unaccept
611	13:26:39	7	28.3	29.1	Unaccept	Unaccept
612	13:28:03	8	20.9	21.6	Unaccept	Unaccept
613	13:29:27	5	6.1	6.4	Accept	Accept
614	13:30:51	8	39.2	39.8	Unaccept	Unaccept
615	13:32:15	7	17.6	17.8	Unaccept	Unaccept
616	13:33:39	5	17.3	18.5	Unaccept	Unaccept
617	13:35:04	5	11.5	11.6	Unaccept	Accept
618	13:36:27	5	23.0	24.3	Unaccept	Unaccept

ตาราง 6.6 (ต่อ)

Event No.	Time	Frequency (Hz)	\hat{V}_v (mm/s)	V_{max} (Vector) (mm/s)	DIN4150 Part3 (1986) (Accept $\hat{V}_v < 10$ mm/s)	SN640312 (1978) (Accept $V_{max} < 12$ mm/s)
619	13:37:51	5	21.6	23.4	Unaccept	Unaccept
620	13:39:15	*	20.7	21.0	Unaccept	Unaccept
621	13:39:51	5	24.9	24.9	Unaccept	Unaccept
622	13:41:15	5	6.7	6.9	Accept	Accept
623	13:42:39	5	18.5	18.6	Unaccept	Unaccept
624	13:44:03	7	33.7	33.7	Unaccept	Unaccept
625	13:45:27	7	27.3	27.7	Unaccept	Unaccept
626	13:46:51	7	32.7	32.9	Unaccept	Unaccept
627	13:48:15	10	5.7	5.7	Accept	Accept
628	13:49:39	7	7.5	7.6	Accept	Accept
629	13:51:03	*	16.2	16.7	Unaccept	Unaccept
630	13:51:39	5	11.0	11.2	Unaccept	Accept

ตาราง 6.6 (ต่อ)

Event No.	Time	Frequency (Hz)	\hat{V}_v (mm/s)	V_{max} (Vector) (mm/s)	DIN4150 Part3 (1986) (Accept $\hat{V}_v < 10$ mm/s)	SN640312 (1978) (Accept $V_{max} < 12$ mm/s)
631	13:53:03	5	24.9	26.0	Unaccept	Unaccept
632	13:54:27	10	20.0	21.0	Unaccept	Unaccept
633	13:55:51	5	22.7	23.0	Unaccept	Unaccept
634	13:57:15	7	17.3	18.2	Unaccept	Unaccept
635	13:58:39	7	40.6	40.6	Unaccept	Unaccept

* Incomplete data sample (in FFT)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง 6.7 ผลการสั่นสะเทือนของ Continuous span 30 m (ช่วงเวลา 21.00 น.- 21.40 น.) ที่มีต่อโครงสร้างสะพาน

Event No.	Time	Frequency (Hz)	\hat{V}_v (mm/s)	V_{max} (Vector) (mm/s)	DIN4150 Part3 (1986) (Accept $\hat{V}_v < 10$ mm/s)	SN640312 (1978) (Accept $V_{max} < 12$ mm/s)
637	21:00:27	8	24.9	25.8	Unaccept	Unaccept
638	21:01:51	7	6.3	6.3	Accept	Accept
639	21:03:15	5	30.7	30.7	Unaccept	Unaccept
640	21:04:39	5	6.0	6.0	Accept	Accept
641	21:06:03	12	22.2	22.2	Unaccept	Unaccept
642	21:07:27	*	21.3	21.5	Unaccept	Unaccept
643	21:08:03	7	6.7	7.2	Accept	Accept
644	21:09:27	5	29.8	31.0	Unaccept	Unaccept
645	21:10:51	8	23.0	23.0	Unaccept	Unaccept
646	21:12:15	10	15.1	16.8	Unaccept	Unaccept
647	21:13:39	8	34.7	34.9	Unaccept	Unaccept
648	21:15:04	7	30.4	30.4	Unaccept	Unaccept

ตาราง 6.7 (ต่อ)

Event No.	Time	Frequency (Hz)	\hat{V}_v (mm/s)	V_{max} (Vector) (mm/s)	DIN4150 Part3 (1986) (Accept $\hat{V}_v < 10$ mm/s)	SN640312 (1978) (Accept $V_{max} < 12$ mm/s)
649	21:16:28	12	5.8	6.7	Accept	Accept
650	21:17:52	8	22.4	22.8	Unaccept	Unaccept
651	21:19:16	17	31.3	34.0	Unaccept	Unaccept
652	21:20:41	10	24.2	24.5	Unaccept	Unaccept
653	21:22:05	8	12.4	13.1	Unaccept	Unaccept
654	21:23:29	7	24.6	24.8	Unaccept	Unaccept
655	21:24:53	7	18.2	18.6	Unaccept	Unaccept
656	21:26:17	*	20.1	20.7	Unaccept	Unaccept
657	21:26:53	5	7.6	7.7	Accept	Accept
658	21:28:17	5	8.5	8.7	Accept	Accept
659	21:29:41	8	19.7	20.1	Unaccept	Unaccept
660	21:31:05	5	7.6	7.7	Accept	Accept
661	21:32:29	8	32.5	33.6	Unaccept	Unaccept

ตาราง 6.7 (ต่อ)

Event No.	Time	Frequency (Hz)	\hat{V}_v (mm/s)	V_{max} (Vector) (mm/s)	DIN4150 Part3 (1986) (Accept $\hat{V}_v < 10$ mm/s)	SN640312 (1978) (Accept $V_{max} < 12$ mm/s)
662	21:33:53	7	36.8	37.3	Unaccept	Unaccept
663	21:35:18	*	29.4	30.3	Unaccept	Unaccept
664	21:35:54	8	22.2	22.8	Unaccept	Unaccept
665	21:37:19	*	24.8	26.0	Unaccept	Unaccept
666	21:37:55	18	5.8	7.0	Accept	Accept

* Incomplete data sample (in FFT)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง 6.8 ผลการสั่นสะเทือนของ Simple span 25 m (ช่วงเวลา 22.20 น.- 23.00 น.) ที่มีต่อโครงสร้างสะพาน

Event No.	Time	Frequency (Hz)	\hat{V}_V (mm/s)	V_{max} (Vector) (mm/s)	DIN4150 Part3 (1986) (Accept $\hat{V}_V < 10$ mm/s)	SN640312 (1978) (Accept $V_{max} < 12$ mm/s)
668	22:20:37	7	20.1	21.8	Unaccept	Unaccept
669	22:22:01	32	5.2	6.3	Accept	Accept
670	22:23:25	7	21.0	21.6	Unaccept	Unaccept
671	22:24:49	*	4.2	4.5	Accept	Accept
672	22:25:25	13	5.2	5.4	Accept	Accept
673	22:26:48	*	5.4	7.3	Accept	Accept
674	22:27:24	5	37.1	37.9	Unaccept	Unaccept
675	22:28:48	*	17.8	18.2	Unaccept	Unaccept
676	22:29:24	7	37.6	38.6	Unaccept	Unaccept
677	22:30:49	8	21.6	21.6	Unaccept	Unaccept
678	22:32:13	*	15.1	15.6	Unaccept	Unaccept
679	22:32:49	23	4.6	4.6	Accept	Accept
680	22:34:12	17	5.7	6.1	Accept	Accept

ตาราง 6.8 (ต่อ)

Event No.	Time	Frequency (Hz)	\hat{V}_v (mm/s)	V_{max} (Vector) (mm/s)	DIN4150 Part3 (1986) (Accept $\hat{V}_v < 10$ mm/s)	SN640312 (1978) (Accept $V_{max} < 12$ mm/s)
681	22:35:36	27	5.1	6.3	Accept	Accept
682	22:37:00	8	5.2	5.2	Accept	Accept
683	22:38:23	5	6.1	6.3	Accept	Accept
684	22:39:47	*	6.1	6.3	Accept	Accept
685	22:40:23	*	4.2	4.2	Accept	Accept
686	22:40:59	*	20.6	20.9	Unaccept	Unaccept
687	22:41:35	10	7.0	8.5	Accept	Accept
688	22:42:59	*	5.7	5.8	Accept	Accept
689	22:43:35	*	58.2	59.9	Unaccept	Unaccept
690	22:44:11	5	19.7	19.8	Unaccept	Unaccept
691	22:45:35	7	3.4	4.5	Accept	Accept
692	22:47:00	7	25.7	26.4	Unaccept	Unaccept
693	22:48:25	13	4.9	5.4	Accept	Accept

ตาราง 6.8 (ต่อ)

Event No.	Time	Frequency (Hz)	\hat{V}_v (mm/s)	V_{max} (Vector) (mm/s)	DIN4150 Part3 (1986) (Accept $\hat{V}_v < 10$ mm/s)	SN640312 (1978) (Accept $V_{max} < 12$ mm/s)
694	22:49:48	22	4.5	4.8	Accept	Accept
695	22:51:12	15	9.2	10.7	Accept	Accept
696	22:52:36	*	20.0	20.7	Unaccept	Unaccept
697	22:53:12	28	4.5	5.1	Accept	Accept
698	22:54:36	23	2.8	3.3	Accept	Accept
699	22:56:04	10	4.8	4.9	Accept	Accept
700	22:57:30	12	18.5	19.4	Unaccept	Unaccept

* Incomplete data sample (in FFT)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

6.2 การอภิปรายผล

จากข้อมูลระดับการสั่นสะเทือนที่วัดได้ของสะพานลอยไทย-เบลเยียม พบว่าความถี่ (Forcing frequency) อยู่ในช่วงตั้งแต่ 5 Hz จนถึง 209 Hz (ที่ Event[#] 617, 647, 648, 666) ระดับการสั่นสะเทือน (PPV) อยู่ในระดับที่สูงมากในเกณฑ์ที่ยอมรับไม่ได้ กล่าวคือ ทำให้ผู้ใช้สะพานเกิดความรู้สึกไม่สบายใจหรือถูกรบกวน (Unpleasant or disturbing) จนถึงรู้สึกปวดร้าว (Painful) ต่อการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้น และการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นนี้ก็มีผลต่อโครงสร้างสะพาน ค่าที่วัดได้อยู่ในระดับที่สูงมากจากเกณฑ์ที่ยอมรับได้ตามมาตรฐาน German Standard DIN 4150 Part 3 (1986) และ Standard SN 640312 (1978) จากระดับการสั่นสะเทือนที่วัดได้สูงถึง 58.2 mm/s และเกือบทุก Event (ประมาณ 66 %) ที่วัดได้อยู่ในระดับที่สูงกว่ามาตรฐานมาก (ตาราง 6.5 - 6.8)

การสั่นสะเทือนของสะพานเนื่องจากกวดยานบนสะพานเกิดขึ้น เนื่องจากแรงปฏิกิริยาทางพลวัต (Dynamic reaction) ระหว่างล้อขดยานและพื้นผิวสะพาน ซึ่งแรงปฏิกิริยานี้ทำให้เกิดการสั่นสะเทือนขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายอย่างด้วยกัน ดังที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 3.1 ของบทที่ 3 ที่สำคัญคือ สภาพขรุขระของ Bridge approach และเงื่อนไขของ Resonance

ในการวัดการสั่นสะเทือนของสะพานลอยไทย-เบลเยียม Forcing frequency จากกวดยานที่เกิดขึ้นบ่อยครั้งในการทำให้เกิดระดับการสั่นสะเทือนมีค่ามากที่สุด (Peak) มีค่า 5 Hz 7 Hz 8 Hz (รูป 6.1 - 6.16, ตาราง 6.5 - 6.8) มีรายละเอียดดังนี้

- ในช่วงกลางวัน เวลา 11.20 น. - 12.00 น. ความถี่ที่ความเร็วของการสั่นสะเทือนเกินมาตรฐานที่ยอมรับมีค่า 5-12 Hz ที่เกิดบ่อยครั้งที่สุด (ประมาณ 63 %) คือ 5 Hz

- ในช่วงเวลา 13.20 น. - 14.00 น. ความถี่นี้มีค่า 5-10 Hz ที่เกิดบ่อยครั้งที่สุด (ประมาณ 48 %) คือ 5 Hz

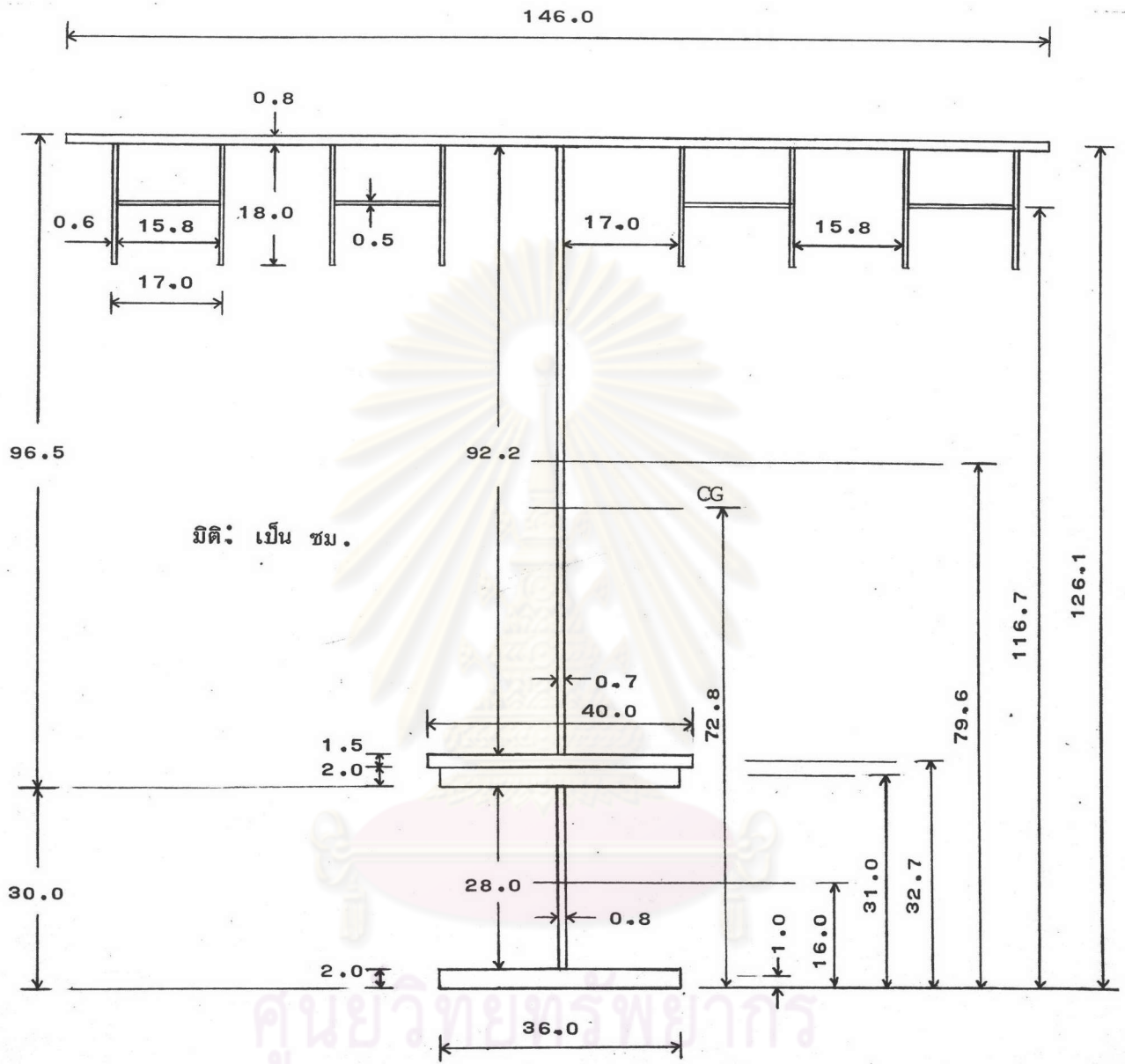
- ในช่วงกลางคืน เวลา 21.00 น. - 21.40 น. ความถี่ที่ความเร็วของการสั่นสะเทือนเกินมาตรฐานที่ยอมรับ มีค่า 5-17 Hz ที่เกิดบ่อยครั้งที่สุด (ประมาณ 44 %) คือ 8 Hz

- ในช่วงเวลา 22.20 น.- 23.00 น. วัดความถี่ได้ 5-32 Hz แต่ความถี่ที่
ให้ระดับการสั่นสะเทือนเกินมาตรฐานที่ยอมรับ (10 mm/s) อยู่ในช่วง 5-12 Hz ที่เกิด
บ่อยครั้งที่สุด (ประมาณ 50 %) คือ 7 Hz

จากผลที่ได้นี้แสดงว่า Forcing frequency จากรถบรรทุกหนัก ซึ่งทำให้เกิด
การสั่นสะเทือนสูง มีค่า 5-8 Hz ซึ่งในช่วงกลางคืนปริมาณการจราจรไม่มาก รถบรรทุก
สามารถแล่นด้วยความเร็วสูงขึ้น (จากตาราง 5.3 - 5.4 เปรียบเทียบกับตาราง 5.1 -
5.2) ทำให้ความถี่มีค่าสูงขึ้นจาก 5 Hz เป็น 8 Hz ซึ่งความถี่ที่ได้นี้ (5-8 Hz) เมื่อเปรียบ
เทียบกับที่ Csagoly, Campbell และ Agarwal (1972) วิจัยมีค่า 2-5 Hz นับได้ว่า
ใกล้เคียงกันมาก อีกปัจจัยหนึ่งในการพิจารณา Resonance คือ ความถี่ธรรมชาติของโครงสร้าง
(Natural frequency) ในหัวข้อ 3.1.2 บทที่ 3 ได้ทำการหาความถี่ธรรมชาติของสะพาน
ลอยไทย-เบลเยียม ได้ความถี่ธรรมชาติแสดงไว้ในตาราง 3.4 บทที่ 3 First mode
unloaded และ loaded natural frequency มีค่าน้อยกว่า Forcing frequency
ซึ่งทำให้เข้าใกล้กรณีของ Resonance ขึ้นได้

และเมื่อทำการตรวจสอบโครงสร้างตาม Standard Specifications for
Highway Bridges (1989) ของ AASHTO พบว่าหน่วยแรง (Computed Stresses)
ที่คำนวณได้มีค่าอยู่ในเกณฑ์ของ Allowable stresses แต่เมื่อทำการตรวจสอบข้อกำหนด
สำหรับป้องกันการสั่นสะเทือนของสะพาน (Stiffness), Depth-span ratios มีค่าน้อย
กว่าที่กำหนด (ประมาณ 5 %) และการโก่งตัว (Computed deflections) ก็มีค่ามากกว่า
ที่ยอมให้ตามข้อกำหนด (ประมาณ 63 %) เมื่อใช้ HS 20-44 (MS18) Truck loading
ตามมาตรฐาน AASHTO

ข้อเสนอแนะจากผลการวิเคราะห์ดังกล่าวข้างต้น จึงสมควรที่จะเพิ่ม Stiffness
ของ girders ให้มากขึ้นกว่าเดิม และพิจารณาถึงการตอบสนองทางพลวัต (Dynamic
response) ของโครงสร้าง รูป 6.17 และรูป 6.18 เป็นรูปตัด (เล็กที่สุด) ที่เสนอแนะ
สำหรับ Simple spans 25 m และ Continuous spans 30 m ตามลำดับ ซึ่งรายละเอียด
การคำนวณคุณสมบัติของหน้าตัดอยู่ในภาคผนวก ง.



มิติ: เป็น ซม.

รูป 6.17 รูปตัด (Plate girder) เสนอแนะสำหรับ Simple spans

ควรศึกษาและวัดระดับการสั่นสะเทือนของสะพาน รวมถึงอัตราการสึกกร่อนของผิวจราจรบนสะพานต่อไปในระยะยาว

6.3 การสรุปผล

การวิจัยระดับการสั่นสะเทือนของสะพานลอยไทย-เบลเยียม จากการจราจรบนสะพาน สรุปผลได้ดังนี้

6.3.1 ระดับการสั่นสะเทือนสูงสุดในแนวตั้ง (\hat{V}_V) มีค่าถึง 58.2 mm/s และ Vector velocity มีค่า 59.9 mm/s

6.3.2 ระดับการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นเกือบทุก Event อยู่ในระดับที่สูงกว่าเกณฑ์ที่ยอมรับ ทำให้ผู้ใช้สะพานเกิดความรู้สึกไม่สบายใจหรือถูกรบกวน (Unpleasant or disturbing) จนถึงรู้สึกปวดร้าว (Painful) ต่อการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้น

6.3.3 ระดับการสั่นสะเทือนนี้มีผลต่อโครงสร้างสะพานทั้ง Continuous spans และ Simple spans ระดับการสั่นสะเทือน (ประมาณ 66 %) มีค่าสูงกว่าเกณฑ์ที่ยอมรับได้

6.3.4 ความถี่ธรรมชาติของสะพานมีค่าน้อยกว่า Forcing frequency จากขบวนรถ ซึ่งทำให้เข้าใกล้ Resonance ได้ ทำให้ระดับการสั่นสะเทือนมีค่าสูง

6.3.5 สภาพขรุขระของ Bridge approach พื้นผิวสะพานที่ชำรุด ทำให้การสั่นสะเทือนมีค่ามาก จึงต้องคอยทำการปรับปรุง ซ่อมแซมให้อยู่ในสภาพที่ดีอยู่เสมอ

6.3.6 เมื่อทำการตรวจสอบสะพานตาม Standard Specifications for Highway Bridges (1989) ของ AASHTO หน่วยแรงที่คำนวณได้ (Computed stresses) มีค่าน้อยกว่า Allowable stresses แต่เมื่อทำการตรวจสอบข้อกำหนดสำหรับการสั่นสะเทือน Depth-span ratios มีค่าน้อยกว่าที่กำหนด (ประมาณ 5 %) และการโค้งตัวมีค่ามากกว่าที่ยอมให้ตามมาตรฐาน (ประมาณ 63 %) เมื่อใช้ Hs 20-44 (MS18) Truck Loading ของ AASHTO

6.3.7 ควรทำการเสริม Depth ของ girder ทั้ง Simple spans และ Continuous spans เพื่อเพิ่ม Stiffness ของโครงสร้าง (และทำให้ความถี่ธรรมชาติของสะพานเพิ่มขึ้น) ในการลดระดับการสั่นสะเทือน

6.3.8 ความถี่ (Forcing frequency) จากกรณีรบกวนทุกหนักที่ทำให้เกิดระดับการสั่นสะเทือนมีค่ามาก มีค่า 5-8 Hz ดังนั้นในการออกแบบสะพานอื่น ๆ ต่อไป จึงสมควรจะตรวจสอบความถี่ธรรมชาติของสะพานให้มีค่ามากกว่า Forcing frequency นี้



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย