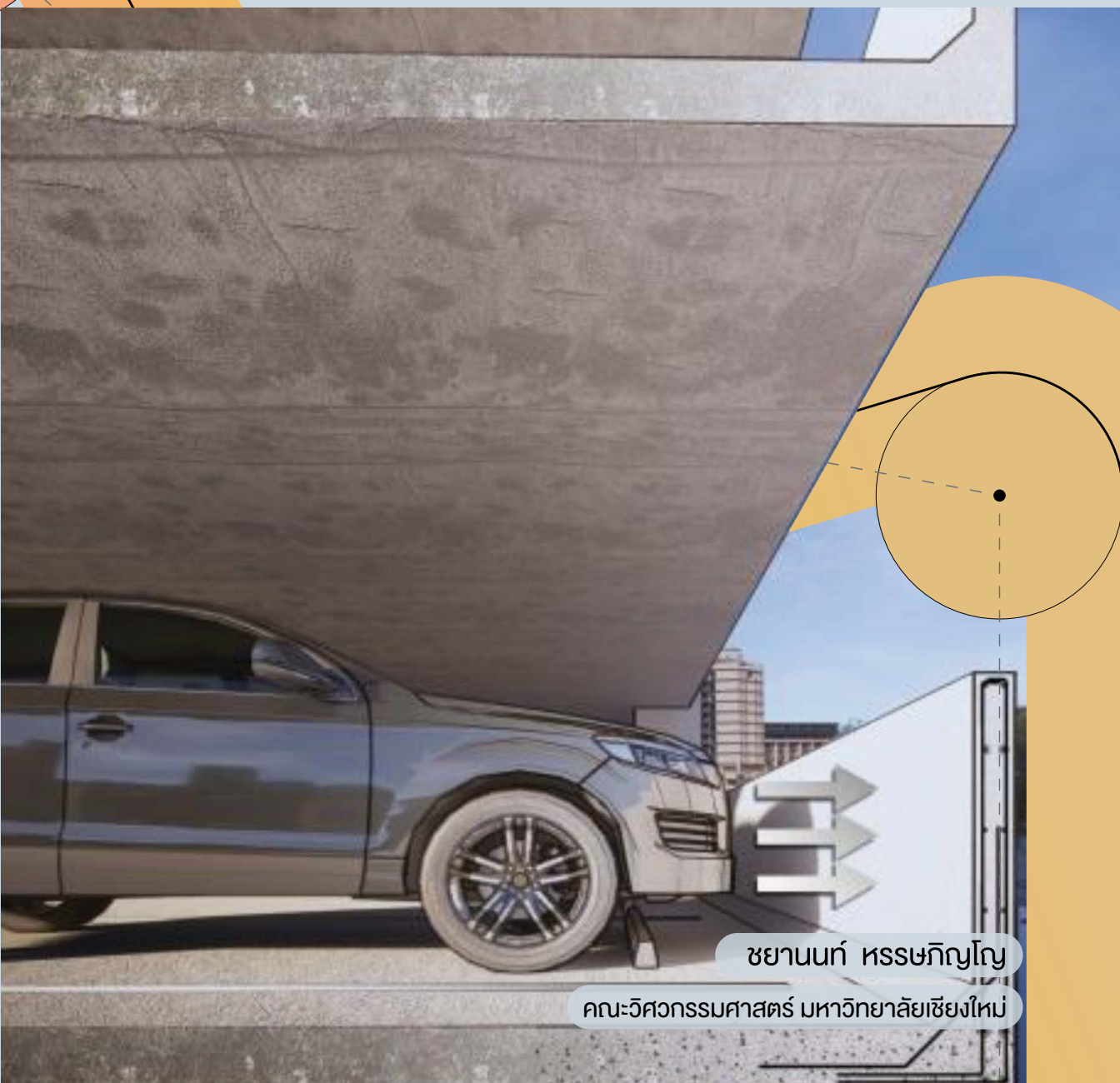


แรงกระแทก

และการออกแบบแผงราวกันตก
คอนกรีตอาคารจอดรถ

IMPACT LOADS AND DESIGN OF VEHICLE
CONCRETE BARRIER IN PARKING BUILDINGS



ชยานนท์ หรรษภิญโญ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

คำนำ

ปัญหาการขาดแคลนพื้นที่ราบเป็นผลให้การใช้พื้นที่ว่างเพื่อการจ่อทรย่นดินในเมืองแทบจะเป็นไปไม่ได้เลย ในปัจจุบันจึงได้เห็นการก่อสร้างอาคารสูงเพื่อเป็นพื้นที่บริการอาคารจ่อทรย่นต่ออยู่ทั่วไป อย่างไรก็ตาม การออกแบบเพื่อให้เกิดความแข็งแรงของโครงสร้างอาคารจ่อทรย่นมีรายละเอียดปลีกย่อยต่างไปจากกรณีการออกแบบอาคารเพื่อการใช้งานประเภทอื่นๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งแรงกระทำจากการชน ซึ่งแม้ว่า ในทุกๆ อาคารจ่อทรย่นที่พบเห็นในปัจจุบัน จะมีโครงสร้างราวกันตกซึ่งคาดหวังว่า จะสามารถป้องกันการร่วงหล่นของราวกันตกและรย่นต์ที่ชนกระแทกได้ แต่ก็ยังพบเห็นเหตุการณ์ที่แสดงถึงการขาดสมรรถภาพของราวกันตกดังกล่าว ทั้งนี้ อาจเนื่องจากเพราะคุณภาพการก่อสร้างหรือความไม่เหมาะสมของการออกแบบ ก็ยังมีอาจสามารถระบุเหตุได้อย่างชัดเจน

ทั้งนี้ จากประสบการณ์ศึกษาวิจัยเกี่ยวกับแรงกระทำของผู้เขียนพบว่า แรงกระทำจำพวกนี้เป็นแรงกระทำที่มีความรุนแรงมาก มีความซับซ้อนทั้งจากการสั่นสะเทือนเนื่องจากแรงกระตุ้น (Impulse) ที่เกิดในเวลาสั้นมากในระดับมิลลิวินาที และความไร้เชิงเส้นจากความเสียหายเฉพาะจุด (Local damage) หรือความเสียหายโดยรวม (Global damage) ของโครงสร้างคอนกรีต ซึ่งในบางกรณีความซับซ้อนนี้ทำให้การออกแบบโดยการเทียบเท่าแรงสถิต หรือการสมมูลพลังงานของโครงสร้างในสภาวะอีลาสติกที่กำหนดในมาตรฐานการออกแบบทั่วไปไม่มีความเหมาะสม หนังสือ “แรงกระทำและการออกแบบแผงราวกันตกคอนกรีตอาคารจ่อทรย่น” มีเนื้อหาเกริ่นนำเกี่ยวกับแรงกระทำต่อโครงสร้างในบทที่ 1 ได้อธิบายทฤษฎีเกี่ยวกับแรงกระทำ และการตอบสนองแรงกระทำโดยอ้างอิงสมการทางพลศาสตร์ในบทที่ 2 และ 3 ในบทที่ 4 และ 5 อธิบายวิธีการประมาณขนาดแรงกระทำของวัตถุที่ตกบนคานคอนกรีต และพฤติกรรมความเสียหายเมื่ออาคารคอนกรีตเสริมเหล็กรับแรงกระทำ และท้ายสุดในบทที่ 6 ได้อธิบายถึงที่มาของมาตรฐานการคำนวณออกแบบราวกันตกรับแรงกระทำตามมาตรฐานการออกแบบราวกันตกในอาคารจ่อทรย่น (มยผ. 1321- 61) ตัวอย่างการออกแบบ การเชื่อมโยงของทฤษฎีและพฤติกรรมในบทก่อนหน้า และการตั้งข้อสังเกต(ของผู้เขียน) ถึงแรงที่คำนวณจากข้อแนะนำตามมาตรฐาน ด้วยการสร้างตัวอย่างการคำนวณและการอ้างอิงจากทฤษฎีแรงกระทำ และจากงานวิจัยของผู้เขียนและนักวิจัยอื่นๆ

ผู้เขียนหวังเป็นอย่างยิ่งว่าหนังสือเล่มนี้จะสามารถให้ความรู้กับผู้อ่านได้มีความเข้าใจ พฤติกรรมโครงสร้างคอนกรีตรับแรงกระแทก และต่อยอดสู่การออกแบบราวกันตกคอนกรีตอาคาร จอctrลเพื่อให้สามารถรับแรงกระแทกจากการชนของรถยนต์อย่างเหมาะสมและปลอดภัย และ จากความสำเร็จของหนังสือเล่มนี้ ผู้เขียนขอขอบคุณทุกฝ่ายที่อยู่เบื้องหลัง อันได้แก่ การสนับสนุน จากสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) หรือ สกว. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (เดิม) ทุนวิจัย “ทุนเมธีวิจัยพัฒนานักวิจัยรุ่นกลาง (RSA6280039)” ของผู้เขียนเอง และ ทุนวิจัย “เมธีวิจัยอาวุโส สกว. (RTA6280012)” โดย ศาสตราจารย์ ดร.สุชาติ ลิ้มกัตถัญญ์ ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ รองศาสตราจารย์ชูโชค อายุพงษ์ หัวหน้าศูนย์ความเป็นเลิศด้านการจัดการภัยพิบัติธรรมชาติ (CENDIM) ศูนย์ความเป็นเลิศทางวิศวกรรมขนส่งและเทคโนโลยีโครงสร้างพื้นฐาน (ExCITE) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยะพงษ์ วงศ์เมธา อาจารย์ผู้ร่วมงานวิจัยด้านแรงกระแทก นายวรกร ดันตระพงษ์ธร นักศึกษาปริญญาเอก รวมถึงหลายๆ ท่าน ที่มีอาจกล่าวถึงได้ทั้งหมดที่ได้มีส่วน ได้ช่วยเหลือให้งานศึกษาวิจัยด้านแรงกระแทกสำเร็จลุล่วง และสุดท้ายขอขอบคุณสมาชิกทุกคน ในครอบครัวของผู้เขียนเองที่ได้ให้การส่งเสริมในทุกๆ ด้าน

รองศาสตราจารย์ ดร.ชยานนท์ หาระษิณญ์
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

สารบัญ

คำนิยาม	I
คำนำ	III
สารบัญ	V
สารบัญรูป	VIII
สารบัญตาราง	XI

บทที่ 01	บทนำ	1
	1.1	แรงกระทำต่อโครงสร้าง 2
	1.2	ผลของอัตราการเปลี่ยนแปลงความเครียด 8
	1.3	การกระทำแบบอ่อนและแบบแข็งของคอนกรีต 11
	1.4	การตอบสนองต่อแรงกระทำ 15
	1.5	การออกแบบรับแรงกระทำรบกวนกันตกอาคารจอดรถ 16

บทที่ 02	ทฤษฎีพื้นฐานการกระทำ	19
	2.1	มวลและน้ำหนัก 20
	2.2	การตกกระทบของมวลแบบยืดหยุ่น 21
	2.3	การกระทำในแนวราบ 26
	2.4	ความสามารถในการดูดซับพลังงานความเครียด 27

สารบัญ

บทที่ 03 การตอบสนองแรงกระทำโดยทฤษฎีทางพลศาสตร์ 35

3.1	แรงกระตุ้นและโมเมนตัม	36
3.2	สมการการเคลื่อนที่การตอบสนองการกระทำ	38
3.3	สมบัติทางพลศาสตร์และการเคลื่อนที่แบบอิสระ	40
3.4	การตอบสนองทางพลศาสตร์ต่อแรงกระทำฉับพลันคงที่ต่อเนื่อง	45
3.5	การตอบสนองทางพลศาสตร์ต่อแรงกระทำฉับพลันสี่เหลี่ยม	46
3.6	การตอบสนองทางพลศาสตร์ต่อแรงกระทำฉับพลันแบบลาดชันและคงที่	48

บทที่ 04 การประมาณขนาดแรงกระทำของวัตถุกบนคาบคอนกรีตเสริมเหล็ก 53

4.1	การประมาณค่าแรงกระทำโดยแบบจำลองสปริง-ก้อนมวล	55
4.2	การประมาณค่าแรงกระทำโดยกฎของการสัมผัส	56
4.3	การประมาณค่าแรงกระทำโดยกฎของพลังงาน	62
4.4	บทสรุปการคำนวณแรงกระทำ	64
4.5	แรงกระทำระหว่างอาคารข้างเคียงจากเหตุการณ์แผ่นดินไหว	67

สารบัญ

บทที่	05	คานคอนกรีตเสริมเหล็กรับแรงกระแทก	69
	5.1	รูปแบบความเสียหายของคานคอนกรีตรับแรงกระแทก	70
	5.2	ตัวคูณเพิ่มกำลังจากแรงไดนามิค	75
	5.3	พฤติกรรมคานคอนกรีตเสริมเหล็กรับแรงกระแทก	79
	5.4	คานคอนกรีตรับแรงกระแทกซ้ำ	90
	5.5	เทคนิคการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์คาน คอนกรีตเสริมเหล็กรับแรงกระแทก	97
บทที่	06	การออกแบบโครงสร้างแปรงราวกันตกคอนกรีต อาคารจอดรถ	103
	6.1	บทนำ	104
	6.2	ข้อกำหนดสำหรับขนาดแรงเพื่อการออกแบบราวกันตก	105
	6.3	การออกแบบราวกันตกอาคารจอดรถรับแรงกระแทกโดย มยผ.1321-61	107
	6.4	ข้อสังเกตการคำนวณแรงกระแทก	121
		บรรณานุกรม	137
		ดัชนี	145
		ภาคผนวก	
		ก. ความสามารถในการสะสมพลังงานความเครียด	150
		ข. คำตอบของสมการการเคลื่อนที่	159

สารบัญรูป

รูปที่ 1.1	ตัวอย่างเหตุการณ์แรงกระแทกต่อชิ้นส่วนคอนกรีต	3
รูปที่ 1.2	ข่าวเหตุการณ์ความเสียหายรถกระแทกราวกันตกอาคารที่จอดรถ	3
รูปที่ 1.3	อัตราการเปลี่ยนแปลงของความเครียดสำหรับแรงกระทำในลักษณะต่างๆ	8
รูปที่ 1.4	รูปแบบความเสียหายคานที่แรงกระแทกกลางคานที่ความเร็วต่างๆ	9
รูปที่ 1.5	ไดอะแกรมของแรงตลอดความยาวของคานช่วงพาตกรรมดาร์รับแรงกระแทกที่กึ่งกลางคาน	10
รูปที่ 1.6	รูปแบบของการกระแทกตามลักษณะการเสียรูปของก้อนวัตถุกระแทกและโครงสร้างถูกกระแทก	11
รูปที่ 1.7	สมดุลพลศาสตร์แรงกระแทกของแบบจำลองระบบ 2-DOF	12
รูปที่ 1.8	การกระแทกแบบแข็งบนโครงสร้างคอนกรีต	14
รูปที่ 1.9	พฤติกรรมของชิ้นส่วนโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กรับแรงกระแทก	15
รูปที่ 2.1	การกระแทกจากตุ้มน้ำหนักตกกระแทก	21
รูปที่ 2.2	แบบจำลองสปริงสำหรับแรงกระแทก	22
รูปที่ 2.3	ระบบยืดหยุ่นถูกกระแทกแนวราบด้วยก้อนมวล m เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว v	26
รูปที่ 2.4	ชิ้นส่วนรับแรงตามแนวแกน (P)	27
รูปที่ 2.5	ความสามารถในการดูดซับพลังงานความเครียดเมื่อวัสดุครากของคานที่มีหน้าตัดคงที่	29
รูปที่ 2.6	มิติของตัวอย่างคานตัวอย่างวิเคราะห์	34
รูปที่ 3.1	ระบบโครงสร้างรับแรงพลศาสตร์ $F(t)$	38
รูปที่ 3.2	การเคลื่อนที่แบบอิสระไร้การหน่วง (Undamped Free Vibration)	42
รูปที่ 3.3	การเคลื่อนที่แบบอิสระที่มีการหน่วงและไม่มีการหน่วง	44
รูปที่ 3.4	แรงที่กระทำอย่างฉับพลันคงที่ต่อเนื่อง (Stepped load)	46
รูปที่ 3.5	แรงกระทำฉับพลันสี่เหลี่ยม (Rectangular pulse)	47
รูปที่ 3.6	การขยายทางพลศาสตร์เมื่อมีแรงกระแทกฉับพลันสี่เหลี่ยม	47
รูปที่ 3.7	แรงกระทำฉับพลันแบบลาดชันและคงที่ (Ramped step)	48
รูปที่ 3.8	การขยายทางพลศาสตร์เมื่อมีแรงกระแทกฉับพลันแบบลาดชันและคงที่	49

สารบัญรูป

รูปที่ 4.1	แบบจำลองสปริง-ก้อนมวล	55
รูปที่ 4.2	การประมาณขนาดแรงกระแทกตาม Hertz contact law	57
รูปที่ 4.3	ผลของแรงเฉื่อย และสมดุลของแรงตามแนวการวิเคราะห์เชิงพลศาสตร์	65
รูปที่ 4.4	แรงกระแทกและแรงปฏิกิริยาจากการกระแทกที่มีขนาดพลังงานจลน์ต่างๆ	65
รูปที่ 4.5	การเปรียบเทียบผลการคำนวณระยะแอ่นตัวสมการที่ (4.24) กับผลการทดสอบ	67
รูปที่ 4.6	ความเสียหายของอาคารชนกัน โดยอาคารที่เบากว่า (Building L-5) จะเกิดความเสียหายมากกว่าอาคารที่หนักกว่า (Building H-5)	68
รูปที่ 5.1	ความเสียหายของคานคอนกรีตรับแรงกระแทกที่เวลา 1 มิลลิวินาที	71
รูปที่ 5.2	รูปแบบการเสียหายของคานกริดเสริมเหล็กรับแรงกระแทกตมน้ำหนัก	73
รูปที่ 5.3	การติดตั้งเครื่องทดสอบรับแรงกระแทก	74
รูปที่ 5.4	รูปแบบการเสียหายของคานคอนกรีตเสริมเหล็กรับแรงกระแทก	75
รูปที่ 5.5	ไดนามิกความเค้น-ความเครียด	76
รูปที่ 5.6	แบบจำลองต่างๆ ของตัวคูณเพิ่มไดนามิกสำหรับคอนกรีตที่กำลังอัด	77
รูปที่ 5.7	ไดอะแกรมของแรงในภาวะพลศาสตร์ของคานคอนกรีตเสริมเหล็กรับแรงกระแทก	79
รูปที่ 5.8	การกระจายของแรงเฉือนและโมเมนต์ตัดเมื่อแรงกระแทกมีค่าสูงสุด	80
รูปที่ 5.9	Force-time history ของแรงกระแทก แรงปฏิกิริยาที่จุดรองรับ และความเร่งของคานภายใต้แรงกระแทก	82
รูปที่ 5.10	ความหน่วงของเวลาระหว่างแรงกระแทกกับแรงที่จุดรองรับ	82
รูปที่ 5.11	การวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ไร้เชิงเส้นคานคอนกรีตเสริมเหล็กรับแรงกระแทกที่มีขนาดพลังงานจลน์เท่ากัน แต่มีค่าโมเมนต์ต่างกัน	85
รูปที่ 5.12	การตอบสนองของแรงกระแทกกับแรงกระตุ้นในช่วงไดนามิกและช่วงภาวะสถิต	86
รูปที่ 5.13	รูปแบบความเสียหายของเสา RC ที่มีแรงในแนวแกน 10%, 30%, 50%, และ 80% ภายใต้แรงกระแทกที่กึ่งกลางของช่วงความยาว	87
รูปที่ 5.14	ความเสียหายที่เหล็กตามยาวและเหล็กปลอกของคาน RC ภายใต้แรงกระแทกที่กึ่งกลางคาน	88

สารบัญรูป

รูปที่ 5.15	การทดสอบการกระแทกของคานคอนกรีตบริเวณที่มีการทาบทเหล็ก	89
รูปที่ 5.16	มิติของตัวอย่างทดสอบ และตำแหน่งการติดตั้งเกจวัดความเครียด	91
รูปที่ 5.17	หน้าตัดของคานที่มีการให้แรงอัดตามแนวแกนด้วยลวดอัดแรงที่ระดับต่างๆ	91
รูปที่ 5.18	การทดสอบคานคอนกรีตอัดแรงรับแรงกระแทก	92
รูปที่ 5.19	“ค่าดัชนีความต้านทานคงเหลือ” (RRI) ที่ระดับแรงตามแกนต่างๆ	95
รูปที่ 5.20	รอยร้าวในตัวอย่างทดสอบ	96
รูปที่ 5.21	ขนาดและมิติของคานจากการทดสอบโดย Fujikake et al. (2009)	98
รูปที่ 5.22	แบบจำลองคานคอนกรีตเสริมเหล็กและค้อนเหล็ก	98
รูปที่ 5.23	การจำลองแรงอัดตามแนวแกนด้วยเทคนิคการใส่ Thermal element	100
รูปที่ 6.1	อุบัติเหตุรถยนต์ชนราวกันตก อาคารจอดรถชั้น 4 ตึกสำนักงานอาหารและยา ภายในกระทรวงสาธารณสุข วันที่ 28 พฤศจิกายน 2562	106
รูปที่ 6.2	แรงกระแทกเพื่อการออกแบบราวกันตก	109
รูปที่ 6.3	ขนาดของแรงกระแทกของรถมวล 2,500 กิโลกรัม ที่ความเร็วต่างๆ และมีค่า สติฟเนสของราวกันตก k_r ต่างกัน	123
รูปที่ 6.4	รถยนต์เคลื่อนบนทางลาดลง	124
รูปที่ 6.5	ขนาดของแรงกระแทกออกแบบราวกันตกอาคารจอดรถมาตรฐาน BS6399-1 (1996)	126
รูปที่ 6.6	ช่วงเวลาในการกระทำของแรงกระแทกเป็นแรงฉับพลันสี่เหลี่ยม	128
รูปที่ 6.7	การถ่ายแรงกระแทกสู่พื้นโครงสร้างเมื่อยีตราวกันตกเข้ากับพื้น	130
รูปที่ 6.8	การถ่ายแรงกระแทกสู่เสาเมื่อยีตราวกันตกเข้ากับเสา	131
รูปที่ 6.9	การจำลองการชนเบื้องต้น	132
รูปที่ 6.10	แรงกระแทกที่เกิดขึ้นตามเวลา	132
รูปที่ 6.11	ขั้นตอนการออกแบบแรงกระแทกสมเหตุสมผล	135

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1.1	สรุปรวมเหตุการณ์ที่ค้นหาด้วยคำสำคัญ “รถยนต์ชนราวกันตกอาคารจอดรถ”	4
ตารางที่ 4.1	การตอบสนองต่อแรงกระแทกคำตอบของสมการ (4.9)	58
ตารางที่ 5.1	ตัวอย่างทดสอบ	93
ตารางที่ 5.2	ค่าแรงกระแทกสูงสุด	94
ตารางที่ 5.3	กำลังสถิติประลัยและค่า “ค่าดัชนีความต้านทานคงเหลือ” (RRI)	95
ตารางที่ 6.1	ข้อกำหนดโดยทั่วไปของมาตรฐาน มยผ. 1321- 61	107

ปัญหาการขาดแคลนพื้นที่ราบ เป็นผลให้การใช้พื้นที่ว่างเพื่อการจอดรถยนต์ในเมืองแทบจะเป็นไปไม่ได้เลย ในปัจจุบันจึงได้เห็นการก่อสร้างอาคารสูงเพื่อเป็นพื้นที่บริการอาคารจอดรถยนต์อยู่ทั่วไป อย่างไรก็ตาม การออกแบบเพื่อให้เกิดความแข็งแรงของโครงสร้างอาคารจอดรถมีรายละเอียดปลีกย่อยต่างไปจากกรณีการออกแบบอาคารเพื่อการใช้งานประเภทอื่นๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งแรงกระทำจากการชน ซึ่งแม้ว่า ในทุกๆ อาคารจอดรถยนต์ที่พบเห็นในปัจจุบัน จะมีโครงสร้างราวกันตกซึ่งคาดหวังว่า จะสามารถป้องกันการร่วงหล่นของราวกันตกและรถยนต์ที่ชนกระแทกได้ แต่ก็ยังพบเห็นเหตุการณ์ที่แสดงถึงการขาดสมรรถภาพของราวกันตกดังกล่าว

ทั้งนี้ จากประสบการณ์ศึกษาวิจัยเกี่ยวกับแรงกระทำของผู้เขียนพบว่าแรงกระทำจำพวกนี้เป็นแรงกระทำที่มีความรุนแรงมาก มีความซับซ้อนทั้งจากการสั่นสะเทือนเนื่องจากแรงกระตุ้น (Impulse) ที่เกิดในเวลาสั้นมากในระดับมิลลิวินาที และความไร้เชิงเส้นจากความเสียหายเฉพาะจุด (Local damage) หรือความเสียหายโดยรวม (Global damage) ของโครงสร้างคอนกรีต หนังสือ “แรงกระทำและการออกแบบแผงราวกันตกคอนกรีตอาคารจอดรถ” มีเนื้อหาเกี่ยวกับแรงกระทำต่อโครงสร้าง ทฤษฎีเกี่ยวกับแรงกระทำ การตอบสนองแรงกระทำโดยอ้างอิงสมการทางพลศาสตร์ พฤติกรรมความเสียหายเมื่ออาคารคอนกรีตเสริมเหล็กรับแรงกระทำ และอธิบายถึงที่มาของมาตรฐานการคำนวณแรงกระทำราวกันตกตามมาตรฐานการออกแบบราวกันตกในอาคารจอดรถยนต์ (มยพ. 1321- 61) ตัวอย่างการคำนวณและการออกแบบ ซึ่งจะทำให้ผู้อ่านได้เข้าใจพฤติกรรมโครงสร้างรับแรงกระทำ และมีความมั่นใจในการออกแบบแผงราวกันตกคอนกรีตอาคารจอดรถ

ISBN (e-Book) : 978-616-398-753-2



CHIANG MAI
UNIVERSITY PRESS

บทที่ 1

บทนำ

01



บทที่ 1

บทนำ

1.1 แรงกระแทกต่อโครงสร้าง

แรงกระแทกและแรงกระทำต่าง ๆ ที่เกิดในช่วงเวลาสั้น มักเป็นแรงที่เกิดในภาวะที่มีได้ คาคการณ์และออกแบบไว้ล่วงหน้า ในช่วงแรกงานศึกษาด้านโครงสร้างรับแรงกระแทกได้พุ่งความ สนใจเพื่อประโยชน์ทางการทหารสำหรับการก่อสร้างอาคารป้องกันอาวุธระเบิด หรือกระสุนปืน ในช่วงต่อมาเป็นงานศึกษาเพื่อการออกแบบใช้งานโครงสร้างอาคารอุตสาหกรรมพลังงานนิวเคลียร์ การป้องกันเหตุก่อการร้าย ส่วนในปัจจุบันความสนใจได้ขยายไปสู่โครงสร้างป้องกันแรงกระแทก หลากหลายเหตุการณ์ที่อาจเกิดได้ทั่วไป เช่น หินตกจากพื้นที่ภูเขา (รูปที่ 1.1(ก)) การชนกระแทก เสาตอม่อสะพาน (รูปที่ 1.1(ข)) การกระแทกบนโครงสร้างกันขอบทาง เรือชนกับอาคารริมตลิ่งหรือ เสาสะพาน เสาป้าย เสาไฟฟ้า เสาไฟสัญญาณ ต่างๆ เป็นต้น เนื่องจากเริ่มพบเห็นการเกิดเหตุ ความเสียหายของโครงสร้างเหล่านี้จากผลแรงกระแทกเพิ่มมากขึ้น El-Tawil et al. (2005) และ Tsang and Lam (2008) ได้ชี้ให้เห็นว่า โครงสร้างเหล่านี้มีความอ่อนแอต่อแรงกระแทกหากมิได้ เตรียมการออกแบบอย่างเหมาะสมไว้แต่แรก โดยแนะนำว่า การออกแบบโดยการเทียบเท่าแรงสถิต อาจไม่เพียงพอ ทั้งนี้การออกแบบเพื่อป้องกันความเสียหายจากเหตุการณ์ข้างต้น จะช่วยให้โครงสร้าง มีความปลอดภัยและลดการสูญเสียในการที่จำเป็นต้องก่อสร้างใหม่หลังความเสียหาย และการหยุดชะงักจากการไม่สามารถใช้ประโยชน์จากอาคารที่เสียหาย



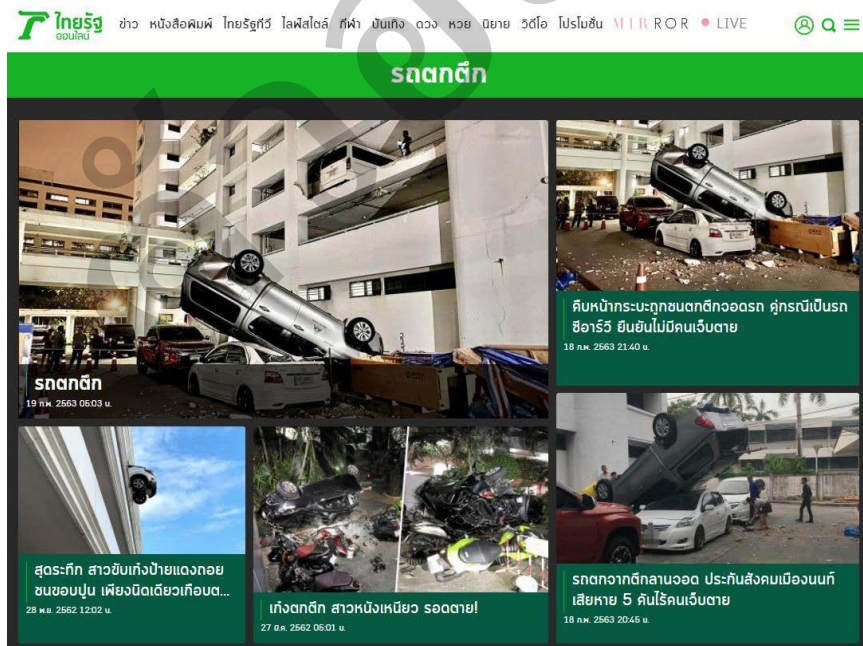
(ก) หินบริเวณไหล่เขาชั้นตกระทบโครงสร้างป้องกัน
(Tachibana et al., 2010)



(ข) รถชนเสาตอม่อสะพานริมทาง
(Isaac et al., 2010)

รูปที่ 1.1 ตัวอย่างเหตุการณ์แรงกระแทกต่อชิ้นส่วนคอนกรีต

สำหรับประเทศไทยในช่วงเวลาที่ผ่านมา มีเหตุการณ์รถยนต์ชนราวกันตกอาคารจอดรถ และราวสะพานเสียหายบ่อยครั้ง ดังเช่นรูปที่ 1.2 และสรุปตารางที่ 1.1 ทำให้เกิดความสนใจในการออกแบบราวกันตก และข้อสงสัยถึงการก่อสร้างและการออกแบบว่ามีความปลอดภัยเพียงพอหรือไม่



รูปที่ 1.2 ข่าวเหตุการณ์ความเสียหายรถกระแทกราวกันตกอาคารที่จอดรถ
(<https://www.thairath.co.th/tags/รถตกตึก> เข้าถึงวันที่ 23 มีนาคม 2564)

ตารางที่ 1.1 สรุปรวมเหตุการณ์ที่ค้นหาด้วยคำสำคัญ “รถยนต์ชนราวกันตกอาคารจอดรถ”
โดย google เข้าถึงเมื่อ 30 สิงหาคม 2565

ลำดับ	วันที่	จังหวัด	รูปเหตุการณ์	แหล่งข้อมูล*
1	28 พ.ย. 2557	กรุงเทพฯ		1
2	16 ธ.ค. 2558	เชียงใหม่		2
3	17 ธ.ค. 2559	ชลบุรี		3
4	2 มี.ค. 2560	กรุงเทพฯ		4
5	11 พ.ย. 2560	กรุงเทพฯ		5
6	9 ต.ค. 2561	นนทบุรี		6

ตารางที่ 1.1 สรุปรวมเหตุการณ์ที่ค้นหาคำสำคัญ “รถยนต์ชนราวกันตกอาคารจอดรถ”
โดย google เข้าถึงเมื่อ 30 สิงหาคม 2565 (ต่อ)

ลำดับ	วันที่	จังหวัด	รูปเหตุการณ์	แหล่งข้อมูล*
7	25 มี.ค. 2562	กรุงเทพฯ		7
8	28 ก.พ. 2562	กรุงเทพฯ		8
9	28 พ.ย. 2562	นนทบุรี		9
10	25 ก.ย. 2563	ชัยภูมิ		10
11	18 ก.พ. 2563	นนทบุรี		11
12	29 ก.ย. 2564	นครราชสีมา		12

ตารางที่ 1.1 สรุปรวมเหตุการณ์ที่ค้นหาด้วยคำสำคัญ “รถยนต์ชนราวกันตกอาคารจอดรถ”
โดย google เข้าถึงเมื่อ 30 สิงหาคม 2565 (ต่อ)

ลำดับ	วันที่	จังหวัด	รูปเหตุการณ์	แหล่งข้อมูล*
13	28 ส.ค. 2565	นนทบุรี		13

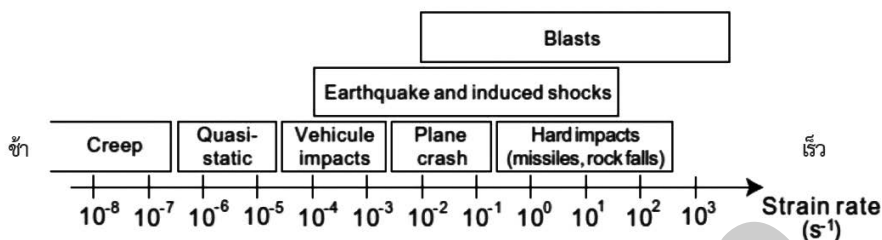
*แหล่งข้อมูล

- 1: <https://www.thairath.co.th/news/local/bangkok/465574>
- 2: https://www.bangkokbiznews.com/news/news_update/678662
- 3: <https://news.thaipbs.or.th/content/258799>
- 4: https://www.thaich8.com/news_detail/27246
- 5: <https://workpointtoday.com/ระทึก-รถยนต์ตกลานจอดรถ-4/>
- 6: https://www.matichon.co.th/local/quality-life/news_1171533
- 7: <https://news.thaipbs.or.th/content/278744>
- 8: <https://www.youtube.com/watch?v=Ob7taP1Ktqk>
- 9: <https://www.bangkokbiznews.com/news/856298>
- 10: <https://www.youtube.com/watch?v=UunuCg8wSeg>
- 11: <https://www.youtube.com/watch?v=b-w0MsiZTsg>
- 12: <https://www.thairath.co.th/news/local/northeast/2207034>
- 13: https://www.matichon.co.th/local/news_3531618

อย่างไรก็ตาม การออกแบบอาคารเพื่อรับแรงกระแทกค่อนข้างมีความยากลำบากเนื่องจากปัญหาหลายประการ ทั้งเรื่องความไม่แน่นอนในการประมาณขนาดแรงกระแทก รวมทั้งการตอบสนองทางพลวัตของโครงสร้าง คุณสมบัติของวัสดุแบบไร้เชิงเส้นและผลของอัตราการเปลี่ยนแปลงความเครียดอย่างรวดเร็วของวัสดุ ซึ่งแม้ว่าปัจจุบันจะมีงานศึกษาเกี่ยวกับพฤติกรรมโครงสร้างคอนกรีตรับแรงกระแทกมากมาย ทั้งโดยวิธีการทดลองในห้องปฏิบัติการและการวิเคราะห์ขั้นสูง แต่ทั้งนี้ ข้อสรุปเพื่อการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตรับแรงกระแทกก็ยังไม่ชัดเจน การออกแบบโครงสร้างที่สำคัญยังคงต้องพึ่งผลการสุ่มทดสอบตัวแทน เช่น Crash test หรือการวิเคราะห์ไร้เชิงเส้นที่เป็นกรณีเฉพาะโครงสร้างนั้นๆ ไป

เอกสารหนังสือเล่มนี้ มีเนื้อหากล่าวถึงแรงกระแทก พฤติกรรมคอนกรีตรับแรงกระแทก และการออกแบบแนวร้าวกันตกรคอนกรีตอาคารจอดรถ โดยแบ่งเป็น 4 ส่วนหลัก เรียบเรียงไล่จาก ส่วนที่ (1) ภาพรวมสภาพปัญหาของแรงกระแทกและการออกแบบ ในบทที่ 1 ในส่วนที่ (2) ประกอบ ด้วยบทที่ 2 และ 3 กล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานแรงกระแทกและการกระแทกในช่วงอิลาสติกเชิงเส้น รวมทั้งการตอบสนองเชิงเส้นโดยการนำสมการเคลื่อนที่จากการวิเคราะห์เชิงพลศาสตร์มาประยุกต์ และการกำหนดให้แรงกระแทกเป็นแรงกระตุ้นที่กระทำในช่วงเวลาสั้นมากๆ (Impulse) อย่างไรก็ตาม แรงกระแทกเป็นแรงกระตุ้นที่มีขนาดสูงและเกิดในเวลาสั้นมาก ทำให้การตอบสนองของโครงสร้าง คอนกรีตมีความไร้เชิงเส้นสูง ส่วนที่ (3) ได้นำเอาผลการศึกษาทั้งการทดสอบและการวิเคราะห์ขั้นสูง จากงานวิจัยของผู้เขียนเองและงานวิจัยอื่นๆ มาแสดงเพื่อให้ผู้อ่านได้มีความเข้าใจพฤติกรรมคอนกรีต รับแรงกระแทก รวมทั้งการประมาณขนาดแรงกระแทกตามแนวทางต่างๆ อันได้แก่ การใช้แบบจำลอง สปริง-ก้อนมวลกฎของการสัมผัส หรือ กฎของพลังงาน และการนำเสนอเทคนิคการคำนวณโดยอาศัย แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ไร้เชิงเส้นเพื่อเป็นแนวทางสำหรับผู้สนใจศึกษาในการประเมินขนาด แรงกระแทกและการตอบสนองที่ซับซ้อนของโครงสร้างที่สำคัญ เนื้อหาส่วนนี้ รวบรวมอยู่ในบทที่ 4 และ 5 และสุดท้ายส่วนที่ (4) เป็นเนื้อหาในบทที่ 6 ซึ่งได้กล่าวถึงการออกแบบแนวร้าวกันตกรอาคารจอดรถ โดยกล่าวถึงมาตรฐานต่างๆ และการคำนวณตามมาตรฐาน มยผ. 1321-61 มาตรฐานการออกแบบ แนวร้าวกันตกรในอาคารจอดรถยนต์ กรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย พ.ศ. 2561 รวมทั้ง ข้อเสนอแนะของผู้เขียนเกี่ยวกับการออกแบบแนวร้าวกันตกรอาคารจอดรถยนต์ตามมาตรฐาน มยผ. 1321-61 เพื่อให้เกิดแนวความคิดต่อยอดของผู้อ่าน หรือการพัฒนาปรับปรุงมาตรฐานการออกแบบให้มีความ เหมาะสมต่อไป

1.2 ผลของอัตราการเปลี่ยนแปลงความเครียด

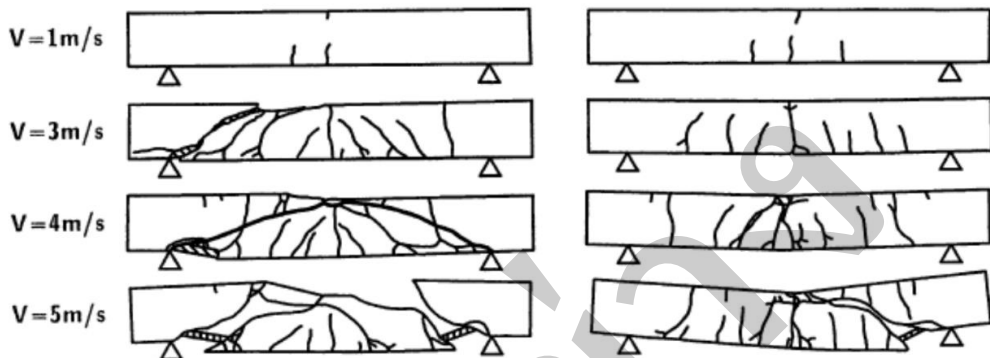


รูปที่ 1.3 อัตราการเปลี่ยนแปลงของความเครียดสำหรับแรงกระทำในลักษณะต่างๆ (Bischoff and Perry, 1991)

อัตราการเปลี่ยนแปลงขนาดของแรงกระทำในช่วงเวลาหนึ่งทำให้เกิดอัตราการเปลี่ยนแปลงความเครียด (Strain rate) ต่างกันไป ดังแสดงในรูปที่ 1.3 แรงระเบิด (Blast) ทำให้เกิดอัตราการเปลี่ยนแปลงความเครียดในวัสดุอย่างรวดเร็ว แรงกระทำจากการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวทำให้เกิดอัตราการเปลี่ยนแปลงความเครียดในระดับปานกลางถึงสูงตามแต่เหตุการณ์แผ่นดินไหวแต่ละครั้ง โดยทั้งนี้อัตราการเปลี่ยนแปลงความเครียดจะมีผลต่อกำลังต้านของวัสดุและต่อเนื่องถึงกำลังของโครงสร้าง ซึ่งอัตราการเปลี่ยนแปลงความเครียดที่เร็วขึ้นจะเพิ่มกำลังต้านของวัสดุและโครงสร้างโดยรวม ซึ่งอาจเป็นผลดีทำให้รับแรงต้านได้มาก หรืออาจเกิดผลเสียเนื่องจากการเปลี่ยนรูปแบบความเสียหายไปสู่แบบเปราะ ดังนั้น ก่อนที่จะจำลองโครงสร้างเพื่อวิเคราะห์กำลังต้านทานของโครงสร้างจึงจำเป็นต้องทราบให้แน่ชัดถึงความเร็วของแรงกระทำที่มีผลต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงความเครียดของโครงสร้างที่ศึกษา

จากที่ได้กล่าวข้างต้น อัตราความเร็วของแรงกระทำส่งผลต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงความเครียดในวัสดุ อาจส่งผลทำให้รูปแบบของการเสียหายของคานคอนกรีตเสริมเหล็กเปลี่ยนไป ตัวอย่างเช่น งานทดสอบคานคอนกรีตเสริมเหล็กรับแรงกระทำของ Kishi et al. (2002) ดังแสดงในรูปที่ 1.4 (ก) เป็นความเสียหายของกลุ่มคานที่มีค่ากำลังต้านทานแรงเฉือนต่ำเทียบกับกำลังต้านทานแรงดัด โดยมีค่าอัตราส่วนกำลังเฉือนต่อกำลังดัดเท่ากับ 0.64 โดยคานทั้งหมดจะเสียหายในรูปแบบเฉือนอย่างทันที เมื่อคานรับแรงกระทำไม่ว่าจะที่อัตราความเร็วเท่าไรก็ตาม ดังที่คาดการณ์ไว้ก่อนล่วงหน้า ส่วนในรูปที่ 1.4 (ข) ซึ่งคานมีกำลังต้านทานแรงเฉือนมากกว่ากำลังต้านทานแรงดัดเล็กน้อย โดยมีค่าอัตราส่วนกำลังเฉือนต่อกำลังดัดเท่ากับ 1.03 ทำให้คาดการณ์ได้ว่าคานกลุ่มนี้จะเกิดความเสียหายแบบดัด ซึ่งผลการทดสอบแสดงว่า เมื่อความเร็วของแรงกระทำต่ำคานได้เสียหายแบบ

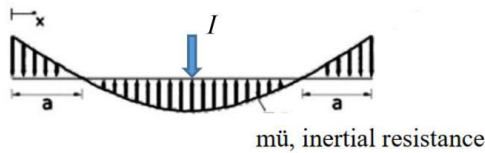
ตัดตามที่คาดการณ์ไว้ แต่ความเสียหายได้เปลี่ยนจากการตัดเป็นการเฉือนเมื่อความเร็วของวัตถุ กระแทกเพิ่มมากขึ้นจนเท่ากับ 5 เมตรต่อวินาที จากผลการทดสอบนี้แสดงให้เห็นว่า การออกแบบ โดยวิธีแรงสถิติเทียบเท่ามีความไม่แน่นอน และไม่สามารถทำนายรูปแบบความเสียหายในภาวะสุดขีด ได้เมื่อคานรับแรงกระแทก โดยเฉพาะเมื่อความเร็วของแรงกระแทกสูง



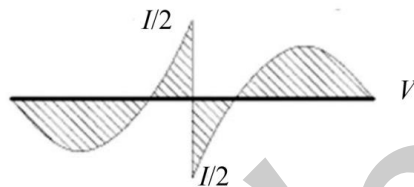
(ก) อัตราส่วนกำลังเฉือนต่อกำลังดัด 0.64 (ข) อัตราส่วนกำลังเฉือนต่อกำลังดัด 1.03

รูปที่ 1.4 รูปแบบความเสียหายคานที่แรงกระแทกกลางคานที่ความเร็วต่างๆ (Kishi et al., 2002)

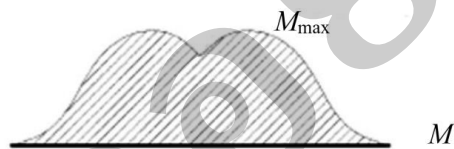
มีงานศึกษาหลายๆ แห่งพยายามอธิบายต้นเหตุของการเปลี่ยนแปลงรูปแบบความเสียหาย เนื่องจากการเปลี่ยนอัตราความเร็วของแรงกระแทก ในช่วงแรกๆ ของการศึกษาประเด็นนี้ คณะนักวิจัย โดย Bertero et al. (1973) ได้ให้เหตุผลของการเปลี่ยนรูปแบบความเสียหายจากแบบการตัดไปสู่แบบการเฉือนเมื่อแรงกระแทกมีความเร็วสูงว่าเป็นผลของอัตราการเปลี่ยนแปลงความเครียดของวัสดุ โดยกำลังประลัยของวัสดุจะเพิ่มตามอัตราการให้แรงที่เร็วขึ้น (Fu et al. (1991)) และเมื่อกำลังประลัยของวัสดุเปลี่ยนก็จะส่งผลทำให้กำลังประลัยของชิ้นส่วนเปลี่ยนไป อย่างไรก็ตาม ในเวลาถัดมา Cotsovos (2010) และ Saatci and Vecchio (2009) ได้แสดงเหตุผลในอีกมุมมองหนึ่งเพื่ออธิบายการเปลี่ยนรูปแบบความเสียหายเมื่อคานคอนกรีตเสริมเหล็กรับแรงกระแทกที่จุดกึ่งกลางที่มีความเร็วสูงว่าเป็นผลของการสมดุลแรงเฉื่อยของคาน (Inertial resistance) โดยแรงเฉื่อยนี้ทำให้การกระจายของแรงภายในตลอดความยาวช่วงพาดเปลี่ยนไปจากกรณีแรงสถิต โดยในช่วงเวลาแรกๆ ของการกระแทก แรงเฉื่อยของคานจะต้านแรงกระแทกโดยเกือบทั้งหมด หรือ กล่าวได้ว่าแรงปฏิกิริยาที่จุดรองรับมีค่าน้อยมาก ทำให้เกิดการกระจายของโมเมนต์ดัดและแรงเฉือนที่แตกต่างไปจากกรณีแรงกระทำสถิตอย่างมาก ดังแสดงในรูปที่ 1.5



(ก) ไดอะแกรมการกระจายแรงเฉื่อย



(ข) ไดอะแกรมการกระจายแรงเฉือน



(ค) ไดอะแกรมการกระจายแรงโมเมนต์ดัด

รูปที่ 1.5 ไดอะแกรมของแรงตลอดความยาวของคานช่วงพาดธรรมดารับแรงกระทำที่กึ่งกลางคาน

จากรูปที่ 1.5 เมื่อ I คือ ขนาดแรงกระทำ ขนาดแรงเฉือนสูงสุดยังคงมีค่าเท่ากับ $I/2$ ที่ตำแหน่งกลางช่วงพาด เช่นเดียวกับกรณีแรงสถิตรับแรงเป็นจุดที่กลางคาน แต่สำหรับโมเมนต์ดัดจะมีค่าสูงสุดโดยประมาณเพียงครึ่งหนึ่งของค่าสูงสุดที่เกิดจากแรงสถิต ขนาดของการกระจายแรงเฉือนและแรงดัดดังกล่าว ทำให้สรุปได้ว่า คานรับแรงกระทำจะรับแรงเฉือนมากกว่าแรงดัดและทำให้รูปแบบความเสียหายเป็นแบบเฉือน ประเด็นส่วนนี้จะได้กล่าวอย่างชัดเจนอีกครั้งในบทที่ 5