

สเปกตรัมการตอบสนองในช่วงอินฟราเรดสำหรับออกแบบอาคารต้านแรงแผ่นดินไหวในประเทศไทย



นายพดล คูหาทัสสะดีกุล

ศูนย์วิทยพัทยากร
วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย


พ.ศ.2539

ISBN 974-633-166-3

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I16494643

INELASTIC RESPONSE SPECTRA FOR ASEISMIC BUILDING DESIGN IN THAILAND



Mr. Noppadon Kuhatasanadeekul

ศูนย์วิทยทรัพยากร

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Civil Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

1996

ISBN 974-633-166-3

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์ สเปกตรัมการตอบสนองในช่วงอินฟราเรดสำหรับออกแบบอาคารต้านแรงแผ่นดินไหว
ในประเทศไทย

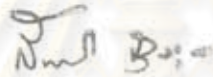
โดย นายพดล คูหาทสนะดีกุล

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา

อาจารย์ที่ปรึกษา ศาสตราจารย์ ดร.ปณิธาน ลักคุณะประสิทธิ์



บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการ
ศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต



คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร.สันติ กงสุวรรณ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



ประธานกรรมการ

(ศาสตราจารย์ ดร.เอกสิทธิ์ ลิ้มสุวรรณ)



อาจารย์ที่ปรึกษา

(ศาสตราจารย์ ดร.ปณิธาน ลักคุณะประสิทธิ์)



กรรมการ

(อาจารย์ ดร.พูลศักดิ์ เพียรสุม)

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว



นพดล คุณาทิสณะดีกุล : สเปกตรัมการตอบสนองในช่วงอินอีลาสติกสำหรับออกแบบอาคารต้านแรงแผ่นดินไหวในประเทศไทย (INELASTIC RESPONSE SPECTRA FOR ASEISMIC BUILDING DESIGN IN THAILAND) : อ.ที่ปรึกษา: ศ.ดร.ปณิธาน ลักคุณะประสิทธิ์ ; 83 หน้า. ISBN 974-633-166-3

งานวิจัยนี้ มุ่งศึกษาถึงการสร้างสเปกตรัมการตอบสนองในช่วงอินอีลาสติก เพื่อใช้สำหรับออกแบบอาคารต้านแผ่นดินไหวในประเทศไทย ผลการวิจัยสามารถคาดคะเนอัตราเร่งสูงสุดที่ผิวดินและแสดงแผนที่เส้นชั้นอัตราเร่งสูงสุด, แผนที่แสดงความเข้มของแผ่นดินไหว, สเปกตรัมการตอบสนองของอัตราเร่งในช่วงอินอีลาสติก, สเปกตรัมการตอบสนองของอัตราเร่งในช่วงอินอีลาสติก และนอร์มัลไลซ์สเปกตรัมความต้องการของกำลังคลาก

จากข้อมูลแผ่นดินไหวในอดีตที่เกิดขึ้นรอบๆ ประเทศไทยตั้งแต่ปี 2506-2532 ได้ทำการหาอัตราเร่งสูงสุดที่ผิวดินที่จุดพิจารณาโดยใช้แบบจำลองการลดลงของอัตราเร่งที่ผิวดินของ Esteva จากนั้นใช้วิธีมองที่คาร์โล ทำการจำลองเหตุการณ์การเกิดแผ่นดินไหวจำนวน 1,000 ครั้ง โดยวิธีการที่เสนอโดยปณิธาน ลักคุณะประสิทธิ์ และคณะ (2532) นำค่าเฉลี่ยของอัตราเร่งสูงสุดที่ผิวดิน และค่าเฉลี่ยบวกค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราเร่งสูงสุดที่ผิวดินที่จุดต่างๆ มาใช้สร้างแผนที่แสดงเส้นชั้นอัตราเร่งสูงสุดที่ผิวดิน ผลการวิจัยพบว่าค่าเฉลี่ยบวกค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราเร่งสูงสุดที่ผิวดินในประเทศไทย มีค่าสูงสุดเท่ากับ 140 ซม./วินาที² ซึ่งสอดคล้องพอสมควรกับผลการวิจัยของปริญาและประกาศ (2533)

คลื่นแผ่นดินไหวจำลองจำนวน 100 คลื่นได้ถูกสร้างขึ้น โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SIMQKE ให้มีขนาดอัตราเร่งสูงสุดที่ผิวดินเท่ากับ 140 ซม./วินาที² ทั้งนี้การจำลองแผ่นดินไหวระยะใกล้และไกลจากจุดที่พิจารณาเป็นระยะทางหลายร้อยกิโลเมตร ทำได้โดยการสุ่มค่าคาบเวลาเด่นของชั้นดินตั้งแต่ 0.3 ถึง 2 วินาที จากสเปกตรัมการตอบสนองของอัตราเร่งในช่วงอินอีลาสติกซึ่งใช้ค่าเอนเวลอปพบว่าสำหรับโครงสร้างที่มีคาบเวลามากกว่า 0.7 วินาที ผลการตอบสนองจะมีค่าเพิ่มมากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับผลที่เทียบส่วนจากการวิจัยของ Rizzo และคณะ (2538) ซึ่งพิจารณาเฉพาะแผ่นดินไหวที่มีระยะทางไม่เกิน 120 กิโลเมตร

ในการสร้างสเปกตรัมการตอบสนองในช่วงอินอีลาสติก ได้ใช้แบบจำลองสตีเฟนส์-ดีเกรดติงที่ประยุกต์จากแบบจำลองของ Takeda ซึ่งนิยมใช้จำลองพฤติกรรมของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยใช้ค่าสตีเฟนส์ ความเครียดเชิงเท่ากับ 3% ของสตีเฟนส์อีลาสติก และกำหนดให้ความหน่วงของโครงสร้างมีค่าเท่ากับ 5% ของความหน่วงวิกฤติ การคำนวณหาผลการตอบสนองของระบบดักริความเป็นอิสระเดี่ยวใช้วิธีอินดิเกรดทีละชั้นโดยสมมติให้อัตราเร่งแปรเปลี่ยนเป็นเส้นตรง ผลการวิจัยพบว่าสเปกตรัมการตอบสนองในช่วงอินอีลาสติกสำหรับอัตราส่วนความหน่วง 2 และ 3 มีค่าลดลงจากสเปกตรัมการตอบสนองในช่วงอินอีลาสติกประมาณ 50% และ 60% ตามลำดับ และเป็นที่น่าสังเกตว่าค่าสเปกตรัมการตอบสนองสำหรับระบบโครงสร้างที่มีคาบเวลายาวจะมีค่าเพิ่มขึ้นโดยมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับงานวิจัยของ Miranda (1993) เนื่องจากการพิจารณาถึงแผ่นดินไหวระยะไกลในการวิจัยนี้

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา
สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา
ปีการศึกษา 2538

ลายมือชื่อนิติ
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม



##C415113 : MAJOR CIVIL ENGINEERING

KEY WORD: DISTANCE EARTHQUAKE/INELASTIC RESPONSE SPECTRA
NOPPADON KUHATASANADEEKUL : INELASTIC RESPONSE SPECTRA FOR
ASEISMIC BUILDING DESIGN IN THAILAND. THESIS ADVISOR PROF. PANITAN
LUKKUNAPRASIT, Ph.D., 83 pp. ISBN 974-633-166-3

This thesis aims at developing appropriate inelastic response spectra for aseismic building design in Thailand. The research results obtained include the predicted peak ground accelerations, and the associated contour map, seismic intensity map, elastic acceleration spectra, inelastic acceleration and normalized yield strength demand spectra.

Based on past earthquake records from 1963 to 1989, peak ground accelerations at selected sites were determined by using Esteva's attenuation model. The Monte Carlo simulation technique was applied to simulate 1,000 earthquake events based on the procedures proposed earlier by Lukkunaprasit et al (1989). The mean and the mean-plus-one standard deviation of the peak ground accelerations at selected sites were obtained and a contour map prepared. The maximum mean-plus-one standard deviation value of the peak ground accelerations in Thailand was found to be 140 gals, in reasonable agreement with the results by Prinya and Prakash (1990).

By using the well known computer program, SIMQKE, 100 artificial accelerograms were generated for the peak ground acceleration of 140 gals. To simulate close-by sources as well as distant earthquakes several hundred kilometers away from the site, the predominant period of ground was randomly varied in the range of 0.3 to 2 sec. The elastic acceleration response spectra envelope obtained shows significant increase in the spectra responses for structure periods of more than 0.7 sec. when compared with the scaled results of Rizzo, et al. (1995) who consider sources up to about 120 kilometers only.

The modified stiffness-degrading Takeda model commonly used to represent reinforced concrete behavior was employed in developing the inelastic response spectra with strain hardening stiffness taken as 3% of the elastic stiffness. Damping was assumed at 5% of the critical value. The well known step-by-step linear acceleration integration procedure was used to compute the response of the single degree-of-freedom system. The inelastic response spectra for ductility ratios of 2 and 3 are reduced by approximately 50% and 60% from the elastic spectra, respectively. Significant increases in the spectra responses for long period systems are noted when compared with the results of Miranda (1993) due to consideration of distant earthquakes in this study.

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา

ปีการศึกษา 2538

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้สำเร็จลุล่วงไปด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ ศาสตราจารย์ ดร.ปณิธาน ลักคุณะประสิทธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ ความรู้ ตลอดจนข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์อย่างมากในการทำวิจัยครั้งนี้ ซึ่งข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งในพระคุณของอาจารย์เป็นอย่างยิ่ง จึงใคร่ขอกราบขอบพระคุณท่านเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน อันประกอบด้วย ศาสตราจารย์ ดร. เอกสิทธิ์ ลิ้มสุวรรณ และอาจารย์ ดร.พุลศักดิ์ เพียรสุสม ที่ได้ให้ความกรุณาให้คำแนะนำและตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จเรียบร้อย

ขอขอบคุณ คุณกรุง อังคนาพร ที่ได้ให้ความกรุณาแนะนำในงานวิจัยที่ผ่านมา และขอขอบคุณเพื่อนๆ ทุกคนของข้าพเจ้าที่คอยให้กำลังใจแก่ข้าพเจ้าเสมอมา

ท้ายนี้ขอขอบคุณครอบครัวของข้าพเจ้าทุกๆ คนที่ได้สละเวลาอันมีค่าของครอบครัว และให้กำลังใจในการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

นพดล คูหาทสันตะทีกุล

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฅ
สารบัญรูป	ญ
สัญลักษณ์	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความนำ	1
1.2 ผลงานวิจัยที่ผ่านมา	2
1.3 วัตถุประสงค์ของการทำวิจัย	6
1.4 ขอบข่ายของงานวิจัย	6
1.5 วิธีการวิจัย	9
บทที่ 2 การหาค่าอัตราเร่งสูงสุดที่ผิวดิน	11
2.1 แบบจำลองสำหรับหาค่าอัตราเร่งที่ผิวดิน	11
2.2 การแจกแจงความถี่และการวิเคราะห์การถดถอย	12
2.3 การหาค่าฟังก์ชันของการกระจายสะสม	18
2.4 การปรับแก้ฟังก์ชันการกระจายสะสม	19
2.5 ค่าอัตราเร่งสูงสุดและเส้นชั้นอัตราเร่งสูงสุดที่ผิวดิน	21
2.6 การเปรียบเทียบผลของอัตราเร่งสูงสุดที่ผิวดินกับงานวิจัยอื่น	30
บทที่ 3 การหาสเปกตรัมการตอบสนอง	32
3.1 การจำลองคลื่นแผ่นดินไหว	32
3.2 วิธีสเปกตรัมการตอบสนองในช่วงฮิสลาสติก	37
3.3 วิธีสเปกตรัมการตอบสนองในช่วงอินฮิสลาสติก	39
3.3.1 วิธีอินทิเกรตทีละชั้น	39
3.3.2 แบบจำลองสถิติในระบบตีความความเป็นอิสระเดี่ยว	43

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3.3 โปรแกรมคอมพิวเตอร์	46
3.4 วิธีการหาสเปกตรัมการตอบสนองของการวิจัย	48
บทที่ 4 ผลการวิจัยและบทวิจารณ์	49
4.1 สเปกตรัมการตอบสนองในช่วงฮิสตติก	49
4.2 สเปกตรัมการตอบสนองในช่วงอินฮิสตติก	50
บทที่ 5 ข้อเสนอแนะ	56
5.1 ข้อเสนอแนะ	56
5.2 ข้อเสนอแนะ	57
รายการอ้างอิง	58
ภาคผนวก ข้อมูลที่ป้อนเข้าโปรแกรม SIMOKE	62
ประวัติผู้ศึกษา	83



 ศูนย์วิทยทรัพยากร
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 2.1	แสดงค่าคงที่ a และ b ที่ได้จากการวิเคราะห์การถดถอยของข้อมูล	13
ตารางที่ 2.2	ความสัมพันธ์ของอัตราเร่งผิวดินสูงสุด และความเข้มข้นในมาตรา เมอร์แคลลีปรับปรุง	22
ตารางที่ 2.3	ค่าอัตราเร่งเฉลี่ย และอัตราเร่งเฉลี่ยบวกค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	23



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

		หน้า
รูปที่ 1.1	ตำแหน่งของจุดศูนย์กลางของแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นในระหว่าง พ.ศ.2506-2532	7
รูปที่ 1.2	ตำแหน่งของจุดที่พิจารณาผลของแผ่นดินไหวที่ใช้ในงานวิจัยจำนวน 85 จุด	8
รูปที่ 1.3	แผนภูมิแสดงวิธีการวิจัยใน ส่วนที่ 1	9
รูปที่ 1.4	แผนภูมิแสดงวิธีการวิจัยใน ส่วนที่ 2	10
รูปที่ 2.1	แบบจำลองสำหรับหาอัตราเร่งของ Esteva	12
รูปที่ 2.2	การแจกแจงความถี่ของอัตราเร่งแผ่นดินไหวของ อำเภอศรีสวัสดิ์ จังหวัดกาญจนบุรี	16
รูปที่ 2.3	กราฟแสดงความถี่สะสมกับอัตราเร่งของแผ่นดินไหวของอำเภอศรีสวัสดิ์ จังหวัดกาญจนบุรี	17
รูปที่ 2.4	การหาเส้นสัมพันธ์ความถี่กับอัตราเร่งของ อำเภอศรีสวัสดิ์ จังหวัดกาญจนบุรี	17
รูปที่ 2.5	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร่ง และคาบเวลาการกลับของแผ่นดินไหว	20
รูปที่ 2.6	การปรับแก้ pdf และ CDF	21
รูปที่ 2.7	แผนที่แสดงเส้นชั้นอัตราเร่งของค่าอัตราเร่งสูงสุดเฉลี่ย	27
รูปที่ 2.8	แผนที่แสดงเส้นชั้นอัตราเร่งของค่าอัตราเร่งสูงสุดเฉลี่ยบวก ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	28
รูปที่ 2.9	แผนที่แสดงความเข้มของแผ่นดินไหว (Seismic Intensity Map)	29
รูปที่ 2.10	แผนที่แสดงรอยเลื่อนในเขต North Sulawesi ประเทศอินโดนีเซีย	31
รูปที่ 2.11	แผนที่แสดงเส้นชั้นอัตราเร่งของค่าอัตราเร่งสูงสุดในชั้นหินแข็ง ของเขต Sulawesi ตอนเหนือ ประเทศอินโดนีเซีย ที่มีความเป็นไปได้ของการเกิดค่าอัตราเร่งเกินค่า ดังกล่าว 10% ในช่วงอายุการใช้งานของโครงสร้าง 50 ปี	31
รูปที่ 3.1	แสดงฟังก์ชันเพาเวอร์ สเปกตรัล เดนซิตี ของ Kanai-Tajimi	34
รูปที่ 3.2	ความสัมพันธ์ระหว่างคาบเวลาเด่นของชั้นดินและระยะห่างจากจุดกำเนิดแผ่นดินไหว สำหรับแผ่นดินไหวขนาดต่างๆ (Seed และ Idriss, 1982)	35
รูปที่ 3.3	ฟังก์ชันความเข้มเพื่อใช้ปรับผลรวมของคลื่นชายนี	35
รูปที่ 3.4	ตัวอย่างของคลื่นแผ่นดินไหวที่จำลองขึ้น (คาบเวลาเด่น 1.09 วินาที)	36

สารบัญรูป (ต่อ)

		หน้า
รูปที่ 3.5	ตัวอย่างของคลื่นแผ่นดินไหวที่จำลองขึ้น (คาบเวลาเด่น 0.50 วินาที)	36
รูปที่ 3.6	แสดงระบบ SDOF ซึ่งมีมวล m , ค่าคงที่ของสปริง k และ ค่าสัมประสิทธิ์ความหน่วง C	37
รูปที่ 3.7	ระบบดักริความเป็นอิสระเดี่ยว แบบไม่เชิงเส้น	40
รูปที่ 3.8	ฟังก์ชันของการเปลี่ยนแปลงของอัตราเร่ง, ความเร็ว และการเคลื่อนที่	41
รูปที่ 3.9	แบบจำลองสติฟเนสของระบบดักริความเป็นอิสระเดี่ยว	44
รูปที่ 3.10	แบบจำลองสติฟเนสที่ใช้ในงานวิจัย	45
รูปที่ 4.1	สเปกตรัมการตอบสนองในช่วงอีลาสติก	49
รูปที่ 4.2	สเปกตรัมความต้องการของกำลังคลากเปรียบเทียบกับผลการวิจัยของ Miranda ..	51
รูปที่ 4.3	สเปกตรัมการตอบสนองของอัตราเร่งในช่วงอีลาสติกสำหรับค่าเฉลี่ยบวก ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการสุมคลื่นแผ่นดินไหว 100 ครั้ง	53
รูปที่ 4.4	สเปกตรัมการตอบสนองของอัตราเร่งในช่วงอีลาสติกสำหรับค่าสูงสุด ของการสุมคลื่นแผ่นดินไหว 100 ครั้ง	53
รูปที่ 4.5	สเปกตรัมการตอบสนองของการเคลื่อนที่ที่จุดคลากในช่วงอีลาสติกสำหรับ ค่าเฉลี่ยบวกค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการสุมคลื่นแผ่นดินไหว 100 ครั้ง	54
รูปที่ 4.6	สเปกตรัมการตอบสนองของการเคลื่อนที่ที่จุดคลากในช่วงอีลาสติกสำหรับ ค่าสูงสุดของการสุมคลื่นแผ่นดินไหว 100 ครั้ง	54
รูปที่ 4.7	สเปกตรัมการตอบสนองของอัตราเร่งที่แนะนำให้ใช้ในการออกแบบโครงสร้าง	55
รูปที่ 4.8	สเปกตรัมการตอบสนองของอัตราเร่งที่แนะนำให้ใช้ในการออกแบบโครงสร้าง	55

สัญลักษณ์

A	=	อัตราเร่ง
v	=	ความเร็ว
a, b	=	พารามิเตอร์ที่ได้จากการวิเคราะห์การถดถอยของข้อมูล
U	=	อัตราการเกิดเฉลี่ยต่อปี
P_e	=	probability of exceedance
T_s	=	อายุการใช้งานของโครงสร้าง
T_r	=	คาบเวลาการกลับ
Q	=	ฟังก์ชันการกระจายสะสม
ω	=	ความถี่เชิงมุม
ω_g	=	ความถี่เด่นของชั้นดินแข็ง
ζ	=	อัตราส่วนความหน่วง
ζ_g	=	ความหน่วงของชั้นดินแข็ง
k	=	ค่าคงที่ของสปริง
C	=	สัมประสิทธิ์ความหน่วง
m	=	มวล
u	=	การเคลื่อนที่
u_y	=	การเคลื่อนที่ที่จุดคลาก
P_y	=	แรงคลาก
S_a	=	สเปกตรัมการตอบสนองของอัตราเร่ง
S_v	=	สเปกตรัมการตอบสนองของความเร็ว
S_d	=	สเปกตรัมการตอบสนองของการเคลื่อนที่
η	=	ความต้องการของกำลังคลาก
μ	=	อัตราส่วนความเหนียว
\bar{X}	=	ค่าเฉลี่ย
σ	=	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน