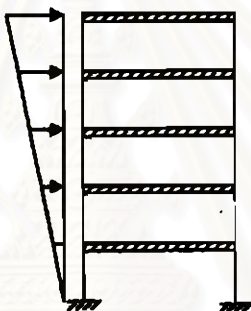


พฤติกรรมของอาคารตัวอย่างภายใต้แผ่นดินไหว

ในงานวิจัยนี้ใช้คอมพิวเตอร์โปรแกรม IDARC ในการวิเคราะห์อาคารตัวอย่าง โดยใช้วิธีการ 2 แบบ ได้แก่ การวิเคราะห์โดยใช้แรงดันข้างต้นแบบสถิตจนโครงสร้างวิบัติ (Collapse mode or push-over analysis) ด้วยแรงแสดงดังรูปที่ 5.1 และการวิเคราะห์ภายใต้แผ่นดินไหว ซึ่งเป็นการวิเคราะห์แบบพลศาสตร์ (Dynamic analysis) ให้คลื่นแผ่นดินไหวจริงที่บันทึกได้ที่ SCT-85 และ BYK-95 กระทำที่ฐานของอาคาร โดยปรับค่าความเร่งสูงสุดที่ฐาน (Peak ground acceleration, PGA.) 5 ค่า ได้แก่ 0.001, 0.01, 0.05, 0.098 และ 0.2 เท่าของความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก ตามที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 4

ในบทนี้กล่าวถึงพฤติกรรมการตอบสนองและรูปแบบความเสียหายของอาคารตัวอย่างภายใต้การวิเคราะห์โดยใช้แรงดันข้าง และการวิเคราะห์ภายใต้แผ่นดินไหว



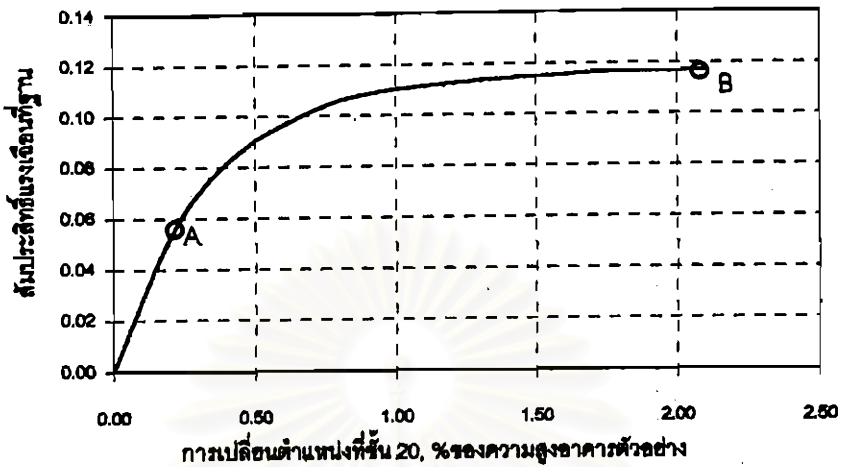
รูปที่ 5.1 แรงกระทำด้านข้างภายใต้การวิเคราะห์แบบสถิต

5.1 พฤติกรรมและรูปแบบความเสียหายของอาคารตัวอย่างภายใต้การวิเคราะห์โดยใช้แรงดันข้าง

การวิเคราะห์โดยใช้แรงดันข้าง เป็นการวิเคราะห์แบบสถิตโดยใช้แรงกระทำด้านข้างต้นจนโครงสร้างพัง ซึ่งก็คือการวิเคราะห์น้ำหนักด้านข้างของโครงสร้างนั่นเอง โดยการพังของโครงสร้างจากคอมพิวเตอร์โปรแกรม IDARC มีเงื่อนไขที่ว่า โครงสร้างพังก็ต่อเมื่อค่าดัชนีความเสียหายระดับชั้นที่คำนวณได้มีค่าเท่ากับ 0.99 หรือมากกว่า โปรแกรมก็จะยุติการคำนวณและรายงานค่าโครงสร้างพัง การวิเคราะห์แบบนี้สามารถอธิบายพฤติกรรมการตอบสนองของอาคารและกำลังต้านทานของโครงสร้างภายใต้แรงกระทำด้านข้างได้ โดยทั่วไป การสั่นไหวของโครงสร้างเนื่องจากแรงแผ่นดินไหวจะเป็นการเคลื่อนที่เนื่องจากโหมดที่ 1 (First mode) เป็นหลัก การกระจายการเปลี่ยนตำแหน่งมีลักษณะคล้ายรูปสามเหลี่ยมหัวกลับ (Inverted triangular distribution) ดังนั้นในการวิเคราะห์นี้จึงให้แรงกระทำด้านข้างกระจายตามลักษณะดังกล่าว เพื่อให้สอดคล้องกับลักษณะที่เกิดขึ้นจริง การคำนวณโดยใช้แรงดันข้างนี้ นอกจากจะใช้แรงดันข้างกระทำแล้วยังมีแรงเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกคงที่อีกด้วย และไม่รวมผลของ $P-\delta$ ในการคำนวณ

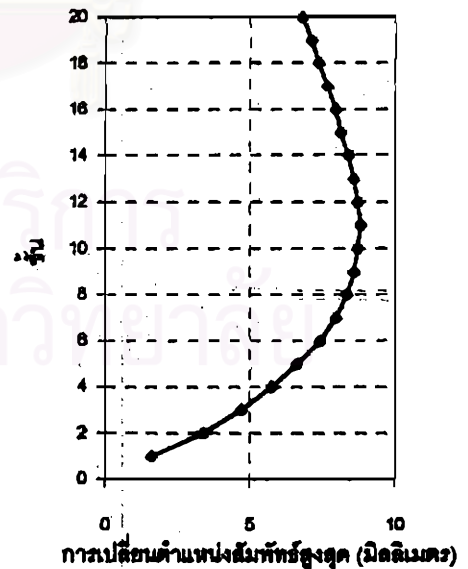
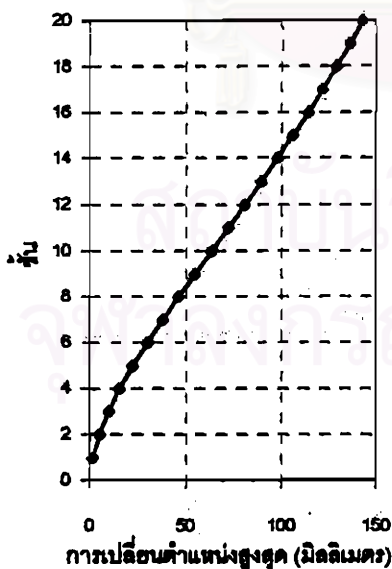
จากการวิเคราะห์พบว่าความถี่ธรรมชาติของอาคารตัวอย่างมีค่า 0.464 เฮิรตซ์ ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์แรงเฉือนที่ฐานกับการเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นบนของอาคารตัวอย่าง แสดงได้ดังรูปที่ 5.2 โดยที่

สัมประสิทธิ์แรงเฉือนเป็นค่าอัตราส่วนแรงเฉือนกับน้ำหนักของอาคาร ในงานวิจัยนี้ได้ค่า 0.117 ซึ่งก็หมายความว่าอาคารตัวอย่างนี้มีกำลังต้านทานแรงด้านข้างเทียบเท่าแรงเฉือนพื้นฐาน 0.117 นั้นเอง และได้ค่าการเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นบนมีค่า 2.11% ของความสูงของอาคาร



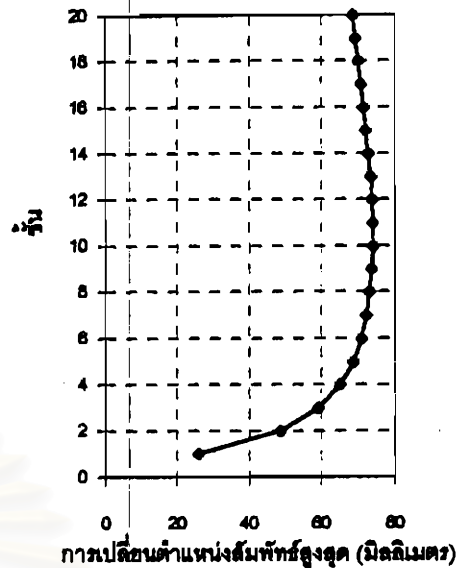
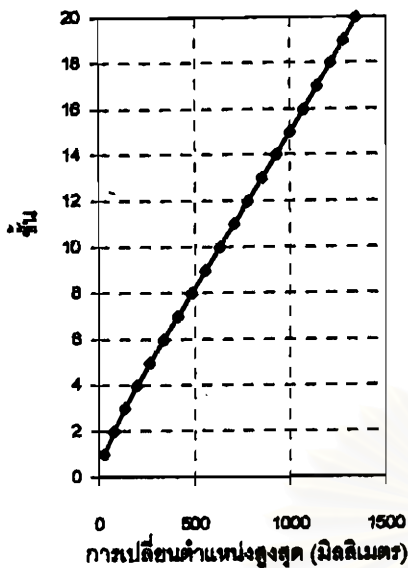
รูปที่ 5.2 สัมประสิทธิ์แรงเฉือนพื้นฐานกับการเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้น 20 ภายใต้การดันด้วยแรงด้านข้างแบบสถิต

เนื่องจากระบบโครงสร้างของอาคารตัวอย่างเป็นระบบที่ประกอบด้วยโครงข้อแข็ง (Frame) และผนัง (Wall) ซึ่งมีพฤติกรรมตอบสนองภายใต้แรงกระทำด้านข้างต่างกัน กล่าวคือโครงข้อแข็งจะมีรูปแบบการโก่งตัวเป็นแบบเฉือน (Shear mode) ส่วนผนังจะมีการโก่งตัวในรูปแบบการคด (Bending mode) ดังนั้นเมื่อระบบทั้งสองอยู่ร่วมกันในโครงสร้าง จะเกิดการยึดรั้งซึ่งกันและกัน ทำให้ลักษณะการโก่งตัวเปลี่ยนไปโดยที่โครงข้อแข็งจะพยายามยึดรั้งผนังด้านบนให้การเปลี่ยนตำแหน่งลดลง ส่วนที่ชั้นล่างผนังจะยึดรั้งการเปลี่ยนตำแหน่งของโครงข้อแข็ง ทำให้การเปลี่ยนตำแหน่งมีค่าลดลง และเนื่องจากผนังค่อนข้างแข็งมากเมื่อเทียบกับเสาจึงรับแรงด้านข้างไปเกือบทั้งหมด



รูปที่ 5.3 (ก) การเปลี่ยนตำแหน่งของอาคารตัวอย่างภายใต้การดันด้วยแรงด้านข้างแบบสถิต ณ จุด A (รูปที่ 5.2)

การเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้น 20 มีค่า 0.22% ของความสูงทั้งหมด



รูปที่ 5.3 (ข) การเปลี่ยนตำแหน่งของอาคารตัวอย่างภายใต้การค้ำด้วยแรงด้านข้างแบบสถิต ณ จุด B (รูปที่ 5.2) การเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้น 20 มีค่า 2.11% ของความสูงทั้งหมด

จากรูป 5.3(ก) เป็นการเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นต่างๆ และการเปลี่ยนตำแหน่งสัมพัทธ์ระหว่างชั้น ที่จุด A ในรูปที่ 5.2 ซึ่งจากกราฟความสัมพันธ์ของแรงเฉือนที่ฐานกับการเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้น 20 มีลักษณะเป็นเส้นตรง จึงถือได้ว่าโครงสร้างนี้ยังมีพฤติกรรมเป็นแบบเชิงเส้น (Linear) โดยมีค่าการเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้น 20 เท่ากับ 0.22% ของความสูงทั้งหมด และค่าสัมประสิทธิ์แรงเฉือนที่ฐานเท่ากับ 0.057 เมื่อพิจารณารูป 5.3(ก) พบว่าการเปลี่ยนตำแหน่งสัมพัทธ์ระหว่างชั้นมีค่ามากบริเวณชั้นกลางๆ ของอาคารตัวอย่าง โดยเกิดค่ามากที่สุดที่ชั้น 11 มีค่าเท่ากับ 8.8 มิลลิเมตร และมีค่าลดลงที่ชั้นสูงมากขึ้นเนื่องจากการยึดรั้งของโครงข้อแข็ง และที่ชั้นล่างค่าการเปลี่ยนตำแหน่งสัมพัทธ์มีค่าน้อยมากเนื่องจากการยึดรั้งของผนังซึ่งมีสติเฟนสที่สูงมากนั่นเอง โดยลักษณะการโก่งตัวเช่นนี้เป็นผลจากการทำงานร่วมกันของโครงข้อแข็งและผนังดังที่ได้กล่าวมาแล้วนั่นเอง ซึ่งเห็นได้ว่าการเปลี่ยนตำแหน่งสัมพัทธ์ระหว่างชั้นที่ชั้นบนจะลดลงค่อนข้างมากเมื่อเทียบกับชั้นกลางๆ

ที่จุด B รูปที่ 5.2 ซึ่งเป็นตำแหน่งที่อาคารตัวอย่างเกิดการวิบัติ การเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นต่างๆ และการเปลี่ยนตำแหน่งสัมพัทธ์ระหว่างชั้นแสดงดังรูปที่ 5.3(ข) ซึ่งพบว่ามีค่าเพิ่มมากขึ้น และลักษณะการเปลี่ยนตำแหน่งสัมพัทธ์ระหว่างชั้นมีค่าเปลี่ยนไปโดย มีค่าน้อยที่ชั้นล่าง และมีค่าเพิ่มมากขึ้นที่ชั้นถัดมา จนมีค่ามากที่สุดที่ชั้น 11 เท่ากับ 74.0 มิลลิเมตร และมีค่าค่อนข้างคงที่ไปจนถึงชั้นบน ซึ่งแตกต่างจากรูปที่ 5.3(ก) ที่จะมีค่าลดลง เนื่องจากว่าที่จุดวิบัติ อาคารตัวอย่างเกิดความเสียหายมากและมีการคราก (Yield) เกิดขึ้นในคาบตลอดทั้งโครงสร้างเป็นผลให้การยึดรั้งจากโครงข้อแข็งลดลง รูปแบบการเปลี่ยนตำแหน่งจึงเปลี่ยนไป

สำหรับรูปแบบความเสียหายที่เกิดขึ้นกับอาคารตัวอย่างซึ่งจำลองเป็นโครงข้อแข็ง 3 โครง โดยโครงที่ 1 และโครงที่ 3 เป็นโครงที่มีผนัง โดยโครง 1 เป็นโครงภายนอก (Exterior frame) ส่วนโครง 3 เป็นโครงภายใน (Interior frame) จากการศึกษาพบว่าโครงทั้ง 2 มีรูปแบบความเสียหายลักษณะเดียวกัน ดังนั้นจึงกล่าวถึงโครง 3 เป็นหลัก

เนื่องจากเป็นโครงภายใน ซึ่งรับแรงมากกว่าทำให้เกิดความเสียหายมากกว่า สำหรับโครงที่ 2 ซึ่งเป็นโครงภายในเช่นกัน แต่เป็นโครงข้อแข็งที่ไม่มีผนัง รูปที่ 5.4 แสดงรูปแบบความเสียหายที่เกิดขึ้นกับอาคารตัวอย่างที่อัตราส่วนการเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้น 20 กับความสูงของอาคารตัวอย่างค่าต่างๆ ที่ค่าเท่ากับ 0.22% ซึ่งหมายความว่าที่ชั้น 20 การเปลี่ยนตำแหน่งมีค่าเท่ากับ 0.22% ของความสูงของอาคารตัวอย่าง ที่การเปลี่ยนตำแหน่งนี้ พบว่าเกิดการครากในชั้นส่วนคานขึ้นเป็นจุดแรก ที่ชั้น 9 ของโครง 3 ดังรูป นอกจากนั้นยังมีรอยร้าวเกิดขึ้นกระจายตามชั้นส่วนคานโดยเฉพาะคานในบริเวณชั้นกลางๆ ในทั้งสองโครง สำหรับเสาพบว่ามียรอยร้าวเกิดขึ้นบริเวณชั้นบน โดยโครง 2 เกิดรอยร้าวที่ชั้น 19 และ 20 และโครง 3 เกิดรอยร้าวที่ชั้น 18-20 และสำหรับโครง 3 เกิดรอยร้าวที่ด้านล่างของผนังชั้น 1 ด้วย สำหรับโครง 1 ซึ่งเป็นโครงลักษณะเดียวกับโครง 3 พบว่ามีรูปแบบความเสียหายเช่นเดียวกันกล่าวคือ มีรอยร้าวเกิดทั่วไปในชั้นส่วนคานโดยเฉพาะคานชั้นกลางๆ และมีรอยร้าวในเสาชั้น 18-20 และด้านล่างของผนังชั้น 1 แต่ไม่พบว่ามีครากเกิดขึ้นในคาน ตามที่พบในโครง 3 เนื่องจากโครง 1 เป็นโครงภายนอกดังนั้นแรงที่เกิดขึ้นจึงน้อยกว่าแรงที่เกิดในโครง 3 ซึ่งเป็นการกระจายตามชั้น 9 เป็นอันดับแรกก็เนื่องจากการเปลี่ยนตำแหน่งสัมพัทธ์ที่มากบริเวณชั้นกลางๆ ของอาคารและกำลังต้านทานที่ต่ำเมื่อเทียบกับเสานั้นเอง

เมื่อแรงด้านข้างกระทำเพิ่มขึ้นความเสียหายที่เกิดในชั้นส่วนต่างๆ เพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 5.4(ข) ที่ค่าการเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้น 20 เท่ากับ 0.42% ของความสูงทั้งหมด พบว่าผนังในโครง 3 เกิดการครากขึ้นที่ด้านล่าง และเกิดการร้าวที่ด้านบนและที่ชั้นถัดมา และมีการครากเกิดขึ้นตลอดในด้านซ้ายของคานตั้งแต่ชั้น 2 ถึงชั้น 20 รอยร้าวที่เกิดในเสากระจายตั้งแต่ชั้นที่ 16 ถึง 20 สำหรับโครง 1 ลักษณะการกระจายความเสียหายเหมือนโครง 3 แต่ไม่พบว่ามีครากในผนัง สำหรับโครง 2 เกิดการครากในคานที่ชั้น 7-9 นอกจากนั้นยังมีรอยร้าวกระจายอยู่ทั่วไปในคานและเกิดรอยร้าวในเสาชั้น 16-20 โดยเฉพาะเสาใน รูปที่ 5.4(ค) เป็นรูปแบบความเสียหายเมื่อการเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้น 20 เท่ากับ 0.65% ของความสูงทั้งหมด พบว่ามีรอยร้าวเกิดขึ้นโดยตลอดในเสาชั้น 16-20 และมีการครากเกิดขึ้นบ้างในเสาช่วงชั้นนี้ สำหรับคานมีการครากเกิดขึ้นมาก ในโครง 3 พบว่ารูปแบบคล้ายกับกรณีที่ผ่านมาแต่มีรอยร้าวในผนังมากขึ้น ส่วนโครง 1 เหมือนโครง 3 และเกิดการครากที่ด้านล่างของผนังชั้น 1

เมื่อแรงกระทำมากขึ้น พบว่าความเสียหายเพิ่มมากขึ้น ดังแสดงในรูป 5.4(ง), 5.4(จ) และ 5.4(ฉ) ที่การเปลี่ยนตำแหน่งเท่ากับ 0.99%, 2.01% และ 2.11% ของความสูงทั้งหมด ตามลำดับ ที่ค่าการเปลี่ยนตำแหน่งของชั้น 20 มีค่า 0.99% ของความสูงอาคารพบว่า มีการครากเกิดขึ้นในเสาช่วงชั้นบนและชั้นที่ 1 โดยเฉพาะเสาใน และมีการร้าวเกิดในเสาภายนอก และมีการครากเกิดในคานโดยตลอดทั้งโครงสร้าง สำหรับผนังพบว่ามีการครากเกิดขึ้นในผนังชั้น 1 และ 2 และที่ชั้นสูงขึ้นไปมีการร้าวเกิดขึ้นในผนัง ที่การเปลี่ยนตำแหน่งชั้นบนมีค่า 2.01% โครงสร้างขาดความมีเสถียรภาพและพร้อมที่จะพังทลายเนื่องจากมีการครากเกิดขึ้นในชั้นส่วนเสาและผนังโดยตลอดในชั้นที่ 1 นอกจากนั้นยังมีการครากเกิดขึ้นมากในเสาช่วงชั้นบน (ชั้นที่ 15-20) เนื่องจากการลดลงของหน้าตัดเสา และการครากเกิดในคานโดยตลอดทั้งโครงสร้าง และมีความเสียหายเกิดขึ้นมากในผนัง โดยเกิดการครากในผนังชั้นที่ 1-3 และมีการร้าวในผนังชั้นสูงขึ้นไป และที่การเปลี่ยนตำแหน่งของชั้น 20 มีค่า 2.11% ของความสูงอาคารตัวอย่างซึ่งเป็นจุดที่โปรแกรมยุติการคำนวณ การกระจายความเสียหายแทบจะไม่แตกต่างกับกรณีการเปลี่ยนตำแหน่ง 2.01% แต่อย่างไรก็ตาม จะเกิดการครากที่มากกว่าและค่าความเสียหายที่เกิดขึ้นก็จะสูงกว่า การกระจายความเสียหายแสดงได้ดังรูปที่ 5.4 และค่าความเสียหายของอาคารที่ตำแหน่งวิบัติแสดงดังรูปที่ 5.5

จากรูปแบบความเสียหายที่กล่าวมาข้างต้น พบว่าความเสียหายเริ่มเกิดที่คานช่วงชั้นกลางก่อน โดยเริ่มที่ชั้น 9 และเกิดการครากต่อเนื่องไปยังคานชั้นล่างและชั้นบน จนตลอดทั้งโครงสร้าง สำหรับผนังเริ่มครากที่ชั้น 1 โดยเริ่มที่ด้านล่างของผนังและมีการครากที่ชั้นที่ 2 และ 3 เมื่อแรงด้านข้างเพิ่มมากขึ้น สำหรับเสาความเสียหายส่วนมากเกิดในชั้น 16 ถึง 20 และชั้น 1 สำหรับชั้น 16-20 หน้าตัดเสามีขนาดลดลงทำให้กำลังรับแรงต่ำ จึงเกิดความเสียหายมากโดยเฉพาะเสาในที่มีแรงมีค่าสูง และที่ชั้น 1 เนื่องจากโมเมนต์ที่เกิดขึ้นมีค่าสูงมากทำให้เสาในชั้นนี้เกิดการครากโดยตลอด รวมทั้งความเสียหายที่เกิดมากในผนังชั้นดังกล่าวด้วย

การกระจายค่าความเสียหายที่จุดยุติการคำนวณซึ่งถือว่าเป็นจุดวิบัติของอาคารตัวอย่าง จำนวนอยู่ในรูปของค่าดัชนีความเสียหาย (Damage index) ที่ระดับองค์อาคาร (คาน, เสา และ ผนัง), ระดับชั้น และระดับทั้งโครงสร้าง ค่าความเสียหายที่เกิดในระดับองค์อาคาร ได้แก่ในคานพบว่าความเสียหายมีค่ามากตั้งแต่คานชั้นกลางจนถึงคานชั้นบนๆ เนื่องจากการครากและการเปลี่ยนตำแหน่งสัมพัทธ์ระหว่างชั้นที่สูงนั่นเอง และมีค่าน้อยที่สุดที่ชั้นล่างๆ เนื่องจากการเปลี่ยนตำแหน่งที่น้อย สำหรับเสาค่าความเสียหายจะสูงที่เสาชั้นที่ 1 เนื่องจากค่าโมเมนต์ที่มากบริเวณชั้นดังกล่าว และชั้น 16-20 เนื่องจากการลดขนาดหน้าตัด โดยเฉพาะในโครง 2 ค่าความเสียหายของเสาจะมีค่ามากเนื่องจากการครากที่รุนแรง สำหรับผนังพบว่าค่าความเสียหายจะมากที่สุดที่ชั้นที่ 1 และลดลงที่ชั้นสูงมากยิ่งขึ้น เนื่องจากการกระจายโมเมนต์จะมากบริเวณชั้นล่างและลดลงบริเวณชั้นบน โดยเฉพาะผนังชั้นที่ 1 ของโครงที่ 3 ซึ่งพบว่าเกิดความเสียหายมาก มีค่าความเสียหายเท่ากับ 0.802

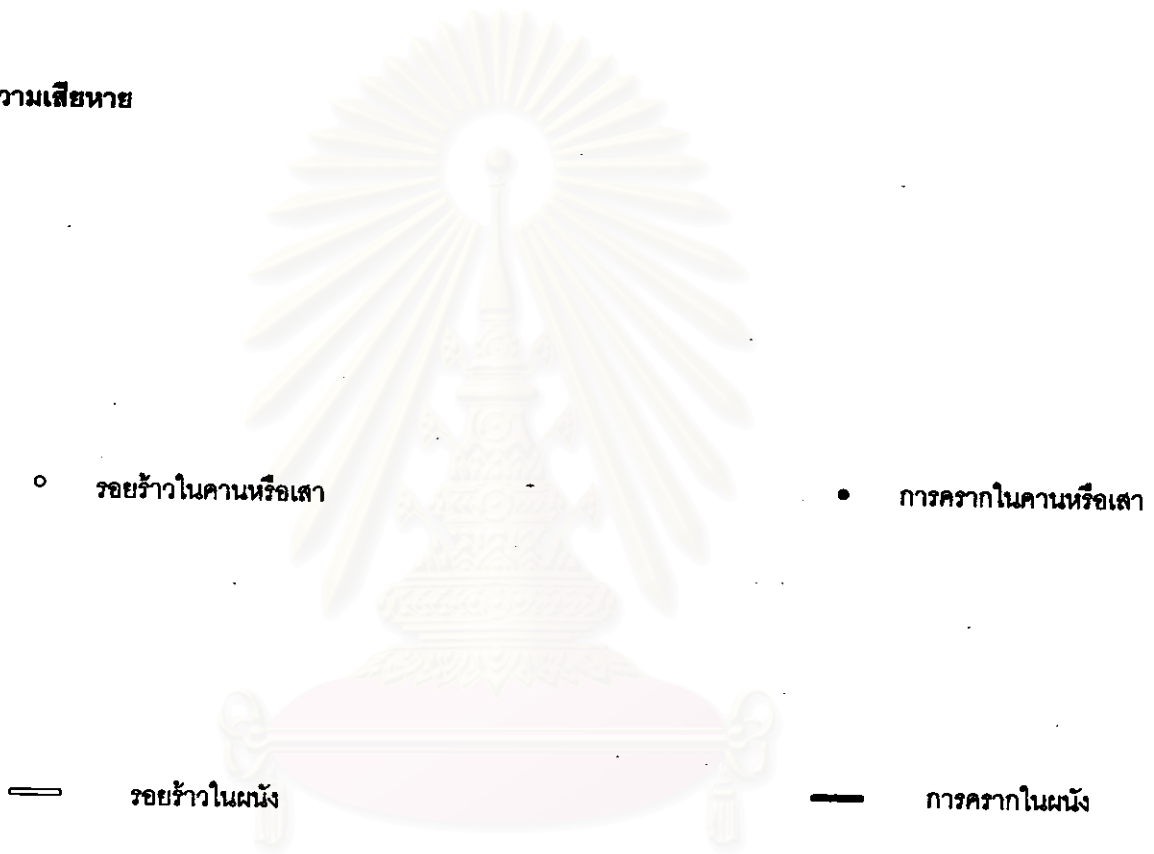
สำหรับค่าความเสียหายระดับชั้นซึ่งได้จากการเฉลี่ยน้ำหนักของค่าพลังงานที่สลายขององค์อาคารแสดงดังรูปที่ 5.5 พบว่าความเสียหายที่เกิดขึ้นในคาน รูปที่ 5.5(ก) มีค่าน้อยที่คานชั้นล่าง และมีค่าเพิ่มมากขึ้นสูงขึ้น โดยการกระจายความเสียหายในโครง 1 และโครง 3 มีค่าค่อนข้างสม่ำเสมอ ในช่วงชั้น 1-15 ความเสียหายในคานของโครง 3 จะมีค่ามากกว่าโครง 1 และโครง 2 เนื่องจากเป็นโครงภายในที่มีผนัง โดยมีค่าสูงสุดประมาณ 0.35 และในช่วงชั้นดังกล่าวความเสียหายในคานของโครง 2 จะมีค่าน้อยที่สุด มีค่าประมาณ 0.25 แต่ที่ช่วงชั้น 16-20 กลับพบว่าความเสียหายในคานของโครง 2 จะมีค่าเพิ่มขึ้นมาก มีค่าประมาณ 0.43 เนื่องจากการเปลี่ยนตำแหน่งที่มากในช่วงชั้นนั้น ทำให้คานมีความเสียหายมาก ส่วนความเสียหายในโครงสร้างแนวตั้ง ได้แก่ เสาและผนังพบว่า ในเสา รูปที่ 5.5(ข) โครง 1 และโครง 3 มีการกระจายความเสียหายลักษณะเดียวกันคือมีค่ามากที่สุดที่ชั้น 1 และลดลงที่ชั้นสูงขึ้นไป และมีค่าเพิ่มขึ้นอีกที่ชั้น 16-20 โดยมีค่ามากที่สุดที่ชั้น 20 สำหรับโครง 2 พบว่าความเสียหายที่ชั้นล่างมีลักษณะเหมือน 2 โครงแรก แต่ที่ช่วงชั้น 16-20 ความเสียหายเกิดขึ้นมากมีค่ามากที่สุดประมาณ 2.8 เนื่องจากว่าเสาในช่วงชั้นนี้ถูกลดหน้าตัดลงมากนั่นเอง สำหรับเสา รูปที่ 5.5(ค) ความเสียหายสูงสุดเกิดที่ชั้น 1 ทั้งโครง 1 และโครง 3 โดยมีค่าประมาณ 0.7 และที่ชั้นสูงขึ้นไปค่าความเสียหายมีค่าลดลงและตั้งแต่ชั้น 6 ขึ้นไปไม่มีความเสียหายเกิดขึ้นเลย จากค่าความเสียหายที่ได้ดังกล่าว พบว่าอาคารตัวอย่างมีลักษณะการวิบัติเป็น 2 รูปแบบคือ การวิบัติเฉพาะแห่ง (Local failure) ซึ่งเกิดกับอาคารบริเวณชั้น 16-20 จากการที่ค่าความเสียหายของทั้งเสาและคานมีค่ามากกว่า 0.4 ซึ่งเป็นขอบเขตบนของค่าความเสียหายที่ถือว่ามีความเสียหายไม่มากนัก โดยเฉพาะเสาที่มีค่าสูงถึง 2.8 ถือได้ว่าโครงสร้างที่ชั้นดังกล่าววิบัติไปแล้ว และการวิบัติอีกรูปแบบหนึ่งซึ่งเป็นตัวควบคุมการวิบัติของอาคารคือ การที่ชั้นส่วนแนวตั้งที่ชั้นล่างโดยเฉพาะชั้น 1 มีค่าความเสียหายสูง คือในเสาได้ประมาณ 0.5 และผนังได้ค่าประมาณ 0.7-0.8 ซึ่งถือได้ว่าเป็นความเสียหายขนาดรุนแรงที่อาคารไม่สามารถซ่อมแซมเพื่อใช้ต่อไป จึงถือว่าอาคารนี้วิบัติ

สำหรับค่าความเสียหายของทั้งโครงสร้าง (Overall damage index) คิดจากการเฉลี่ยพลังงานที่สลายใน ระดับชั้นซึ่งได้ค่าเท่ากับ 0.39 เห็นได้ว่าเป็นค่าที่น้อยหากเทียบกับค่าความเสียหายระดับชั้น เนื่องจากค่าดังกล่าว เป็นค่าเฉลี่ยนั่นเอง ดังนั้นหากจะพิจารณาการวิบัติของโครงสร้าง จำเป็นที่จะต้องพิจารณาความเสียหายระดับชั้นด้วย

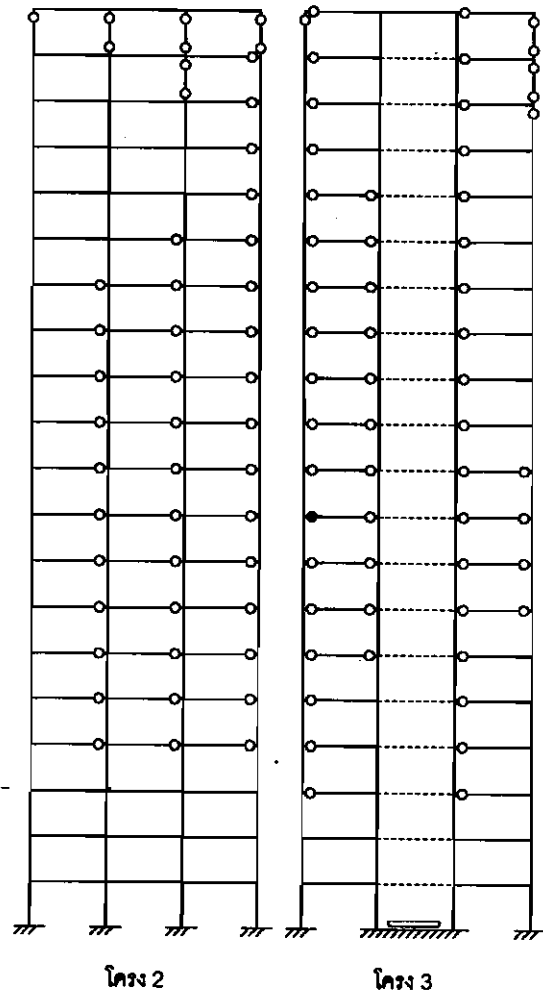


สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

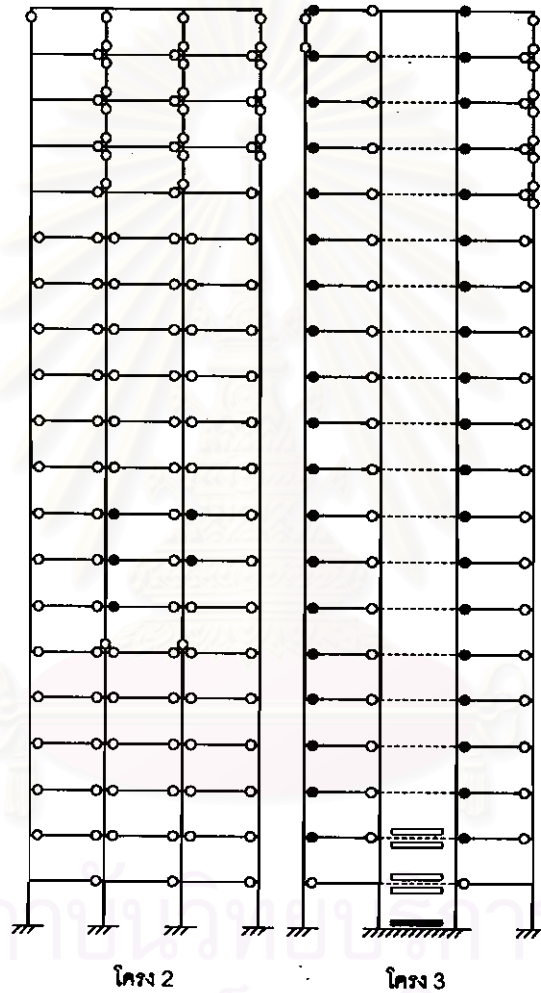
สัญลักษณ์แสดงสำหรับรูปแบบความเสียหาย



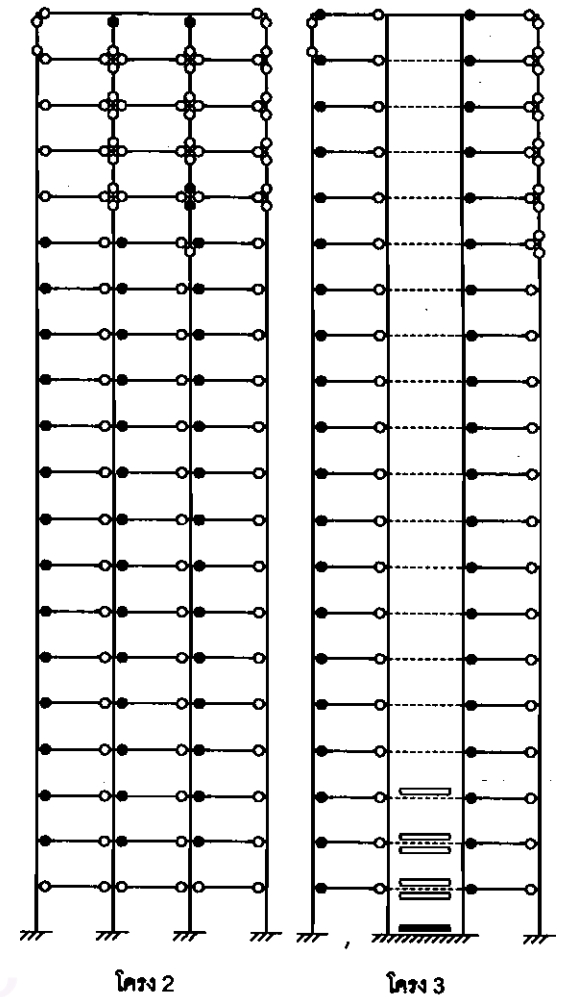
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(ก) 0.22%

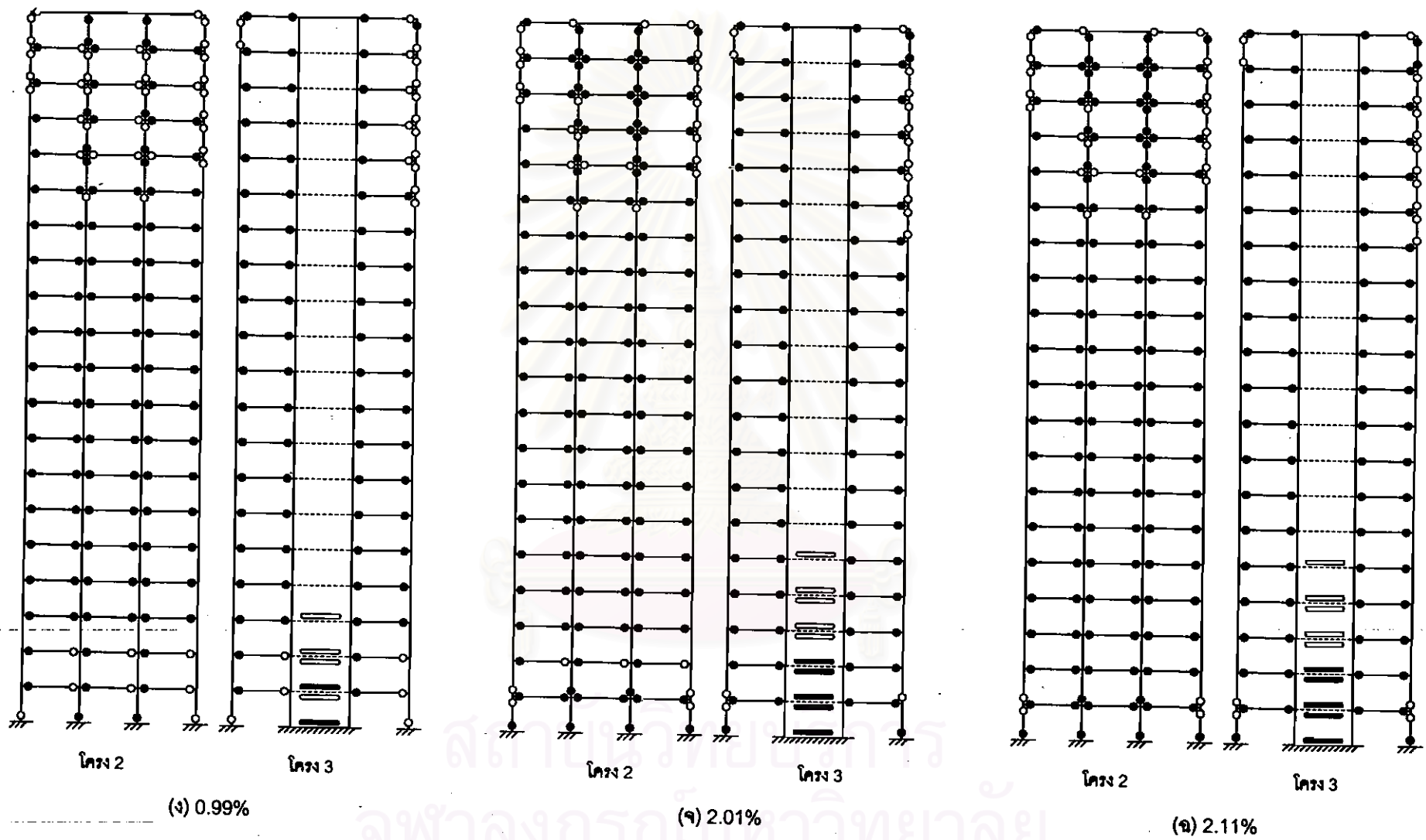


(ข) 0.42%

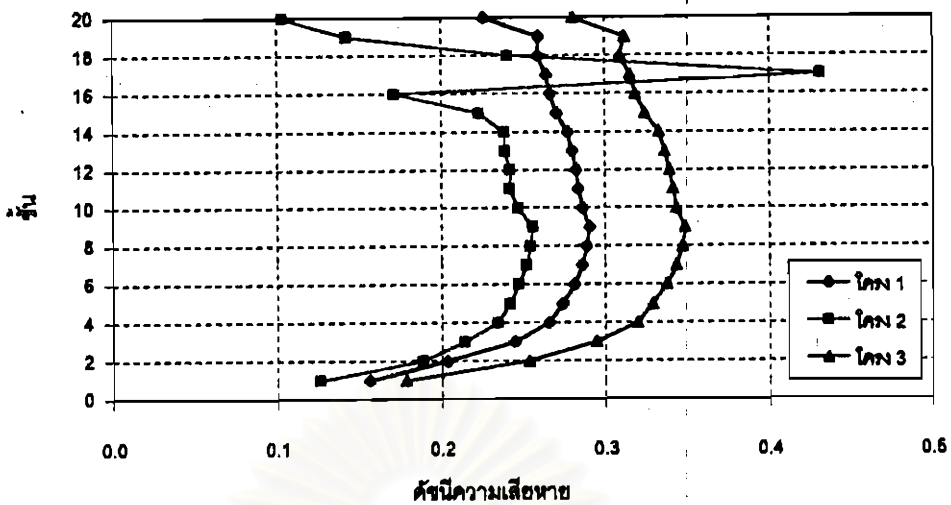


(ค) 0.65%

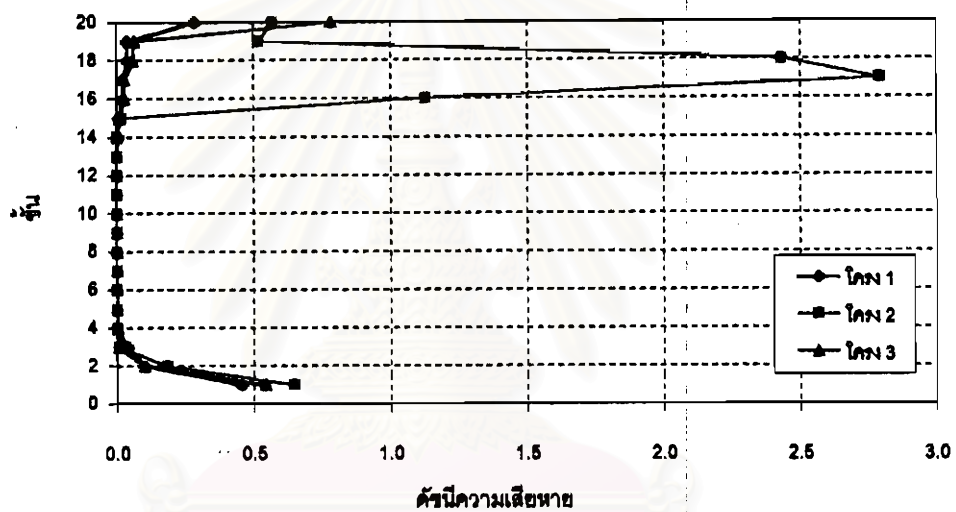
รูปที่ 5.4 รูปแบบความเสียหายภายใต้การดันด้วยแรงด้านข้างที่อัตราส่วนการเปลี่ยนตำแหน่งชั้น 20 กับความสูงอาคารตัวอย่าง



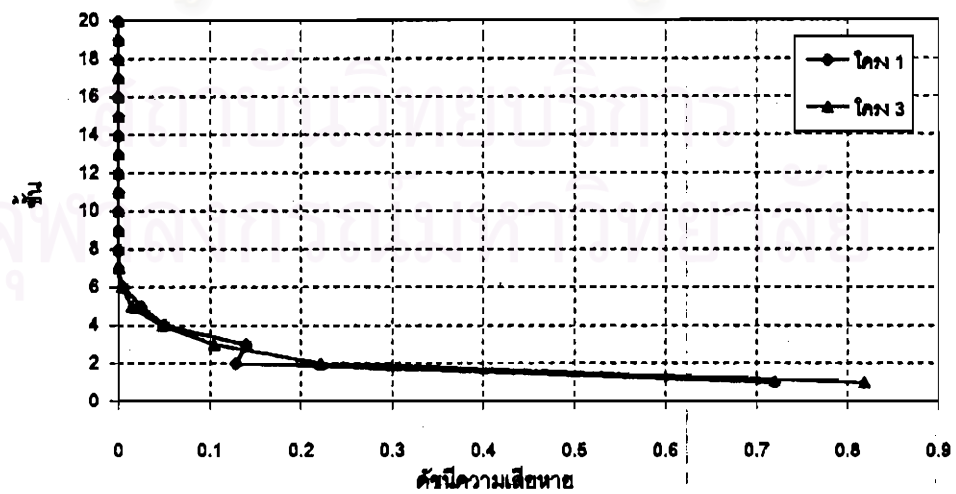
รูปที่ 5.4 รูปแบบความเสียหายภายใต้การคั่นด้วยแรงต้านข้างที่อัตราส่วนการเปลี่ยนตำแหน่งชั้น 20 กับความสูงอาคารตัวอย่าง (ต่อ)



(ก) คาน



(ข) เสา



(ค) ผนัง

รูปที่ 5.5 ค่าความเสียหายของชิ้นส่วนในอาคารตัวอย่าง ภายใต้การดันด้วยแรงดันข้าง

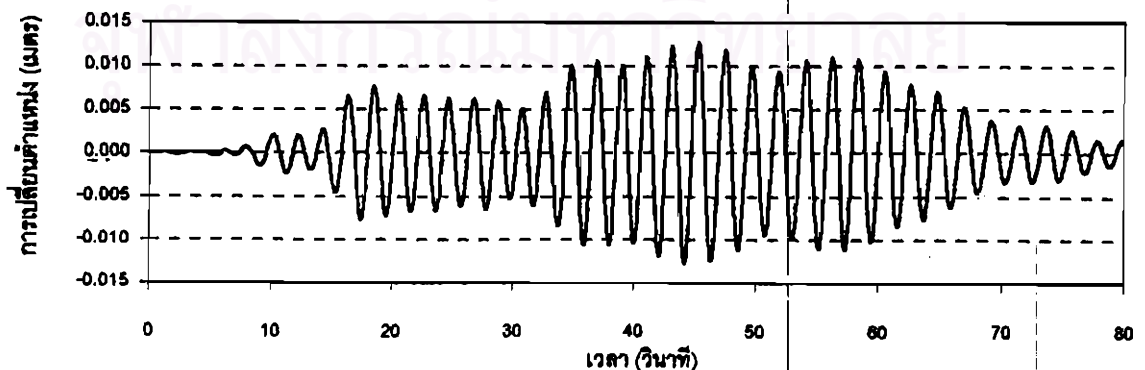
5.2 พฤติกรรมและรูปแบบความเสียหายของอาคารตัวอย่างภายใต้แผ่นดินไหว

ภายใต้แผ่นดินไหวโครงสร้างจะมีพฤติกรรมแตกต่างจากการใช้แรงด้านข้างกระทำแบบสถิต เนื่องจากผลของความเร็วและความเร่งของโครงสร้างร่วมด้วยการเคลื่อนที่แบบสลับทิศ ในการวิจัยนี้ใช้คลื่น SCT-85 และ BYK-95 ซึ่งเป็นคลื่นแผ่นดินไหวระยะไกล (Distant earthquake) ที่มีขนาดความเร่งต่ำแต่มีลักษณะคล้ายคลื่นฮาร์โมนิก ทำให้มีโอกาสเกิดการกำทอนขึ้นหากโครงสร้างมีความถี่ใกล้เคียงความถี่คลื่น อาคารตัวอย่างที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีความถี่ธรรมชาติประมาณ 0.46 เฮิรตซ์ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับความถี่เด่นชัดของคลื่นแผ่นดินไหวที่ใช้ จึงคาดหวังได้ว่า จะมียผลของการกำทอนขึ้นในอาคารตัวอย่างภายใต้คลื่นแผ่นดินไหวดังกล่าว

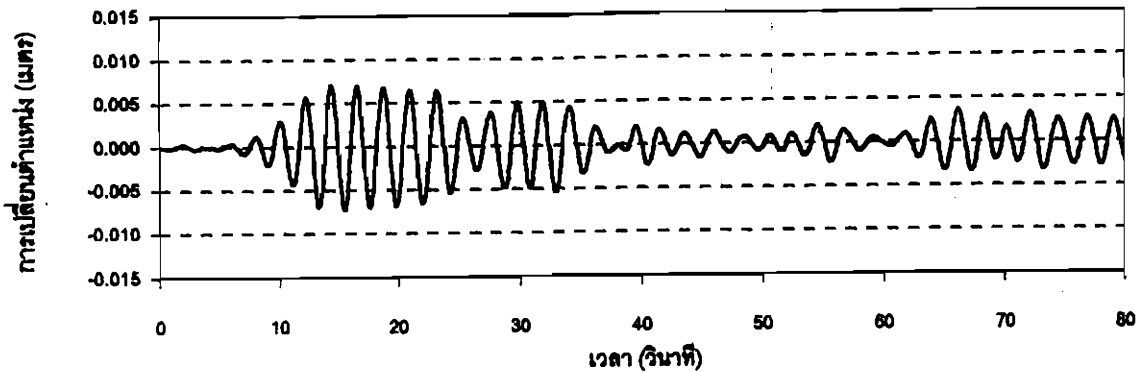
ในงานวิจัยนี้ไม่ได้รวมผลของน้ำหนักบรรทุกจรภายใต้การกระทำของแผ่นดินไหว คำนึงถึงเฉพาะน้ำหนักบรรทุกคงที่เท่านั้น และรวมผลของ $P-\delta$ ที่กระทำต่ออาคารตัวอย่างด้วย

5.2.1 อาคารตัวอย่างภายใต้แผ่นดินไหวขนาด 0.001 เท่าของความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก

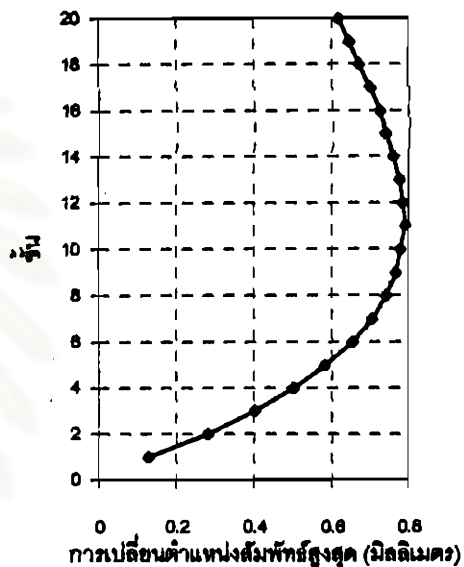
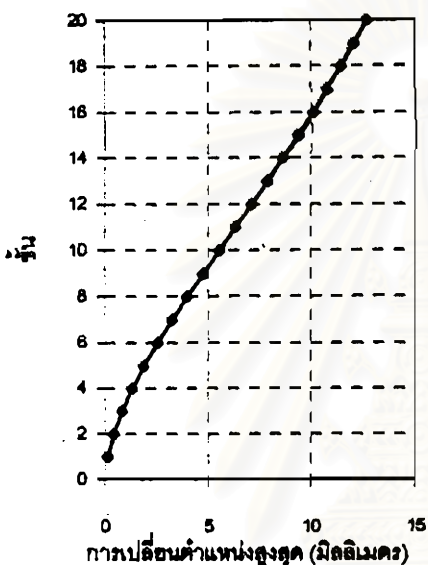
ภายใต้แผ่นดินไหวขนาดนี้ ทั้งในกรณี SCT-85 และ BYK-95 ซึ่งได้แสดงรายละเอียดและภาพสัญญาณคลื่นไว้ในบทที่ 4 พบว่าอาคารตัวอย่างมีพฤติกรรมอยู่ในช่วงยืดหยุ่น (Elastic) และไม่มีความเสียหายใดๆ เกิดขึ้นกับองค์อาคาร จากการที่ความถี่ธรรมชาติของอาคารมีค่าใกล้เคียงกับความถี่เด่นชัดของคลื่นแผ่นดินไหวทั้งสองทำให้เกิดการกำทอนขึ้นกับโครงสร้าง ดังแสดงในรูปที่ 5.8 ซึ่งเป็นการเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้น 20 ของอาคารที่เวลาใดๆ และจากตารางที่ 5.1 ค่าการเปลี่ยนตำแหน่งสูงสุดที่ชั้น 20 ภายใต้ SCT-85 มีค่า 12.7 มิลลิเมตร คิดเป็น 0.02% ของความสูงอาคารตัวอย่าง และภายใต้ BYK-95 ได้เท่ากับ 7.2 มิลลิเมตร คิดเป็น 0.01% ของความสูงอาคารตัวอย่าง สำหรับแรงเฉือนสูงสุดที่ฐาน ในกรณี SCT-85 มีค่า 1,976 กิโลนิวตัน คิดเป็นสัมประสิทธิ์แรงเฉือนเท่ากับ 0.005 และกรณี BYK-95 ได้แรงเฉือนที่ฐานเท่ากับ 1,098 กิโลนิวตัน คิดเป็นสัมประสิทธิ์แรงเฉือนเท่ากับ 0.003 เมื่อเทียบกับค่าที่ได้จากการดันด้วยแรงด้านข้าง (Push-over) พบว่ามีค่าน้อยกว่ามากเนื่องจากขนาดแรงแผ่นดินไหวที่น้อยมากนั่นเอง ในแง่ของการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้น ได้แสดงไว้ในตารางที่ 5.2 และ 5.3 สำหรับกรณีภายใต้คลื่น SCT-85 และ BYK-95 ตามลำดับ พบว่าในกรณี SCT-85 ได้ค่าการเคลื่อนที่สัมพัทธ์สูงสุดที่ชั้น 11 มีค่า 0.8 มิลลิเมตรและกรณี BYK-95 ได้ค่าสูงสุดที่ชั้น 11 เช่นกันเท่ากับ 0.4 มิลลิเมตร การเคลื่อนที่สัมพัทธ์จะมีค่าน้อยลงที่ชั้นต่ำกว่าและสูงกว่าชั้นที่ 11 โดยที่ชั้นล่างจะมีค่าน้อยมากเนื่องจากการยึดรั้งด้วยผนัง รูปที่ 5.7 แสดงการเปลี่ยนตำแหน่งสูงสุดและการเปลี่ยนตำแหน่งสัมพัทธ์ระหว่างชั้นสูงสุดของอาคารตัวอย่างภายใต้คลื่น SCT-85 และรูปที่ 5.8 เป็นการเปลี่ยนตำแหน่งสูงสุดและการเปลี่ยนตำแหน่งสัมพัทธ์ระหว่างชั้นสูงสุดของอาคารตัวอย่างภายใต้คลื่น BYK-95



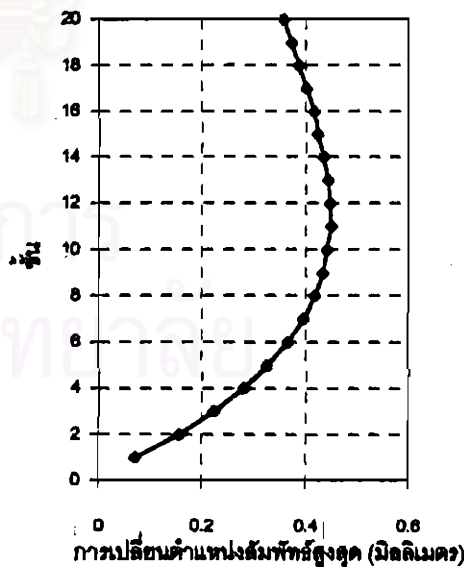
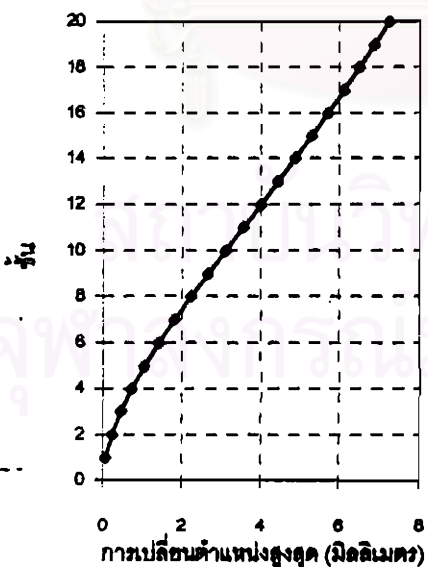
รูปที่ 5.8(ก) การเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้น 20 ของอาคารตัวอย่างภายใต้ SCT-85 ขนาด 0.001g



รูปที่ 5.6(ข) การเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้น 20 ของอาคารตัวอย่างภายใต้ BYK-95 ขนาด 0.001g



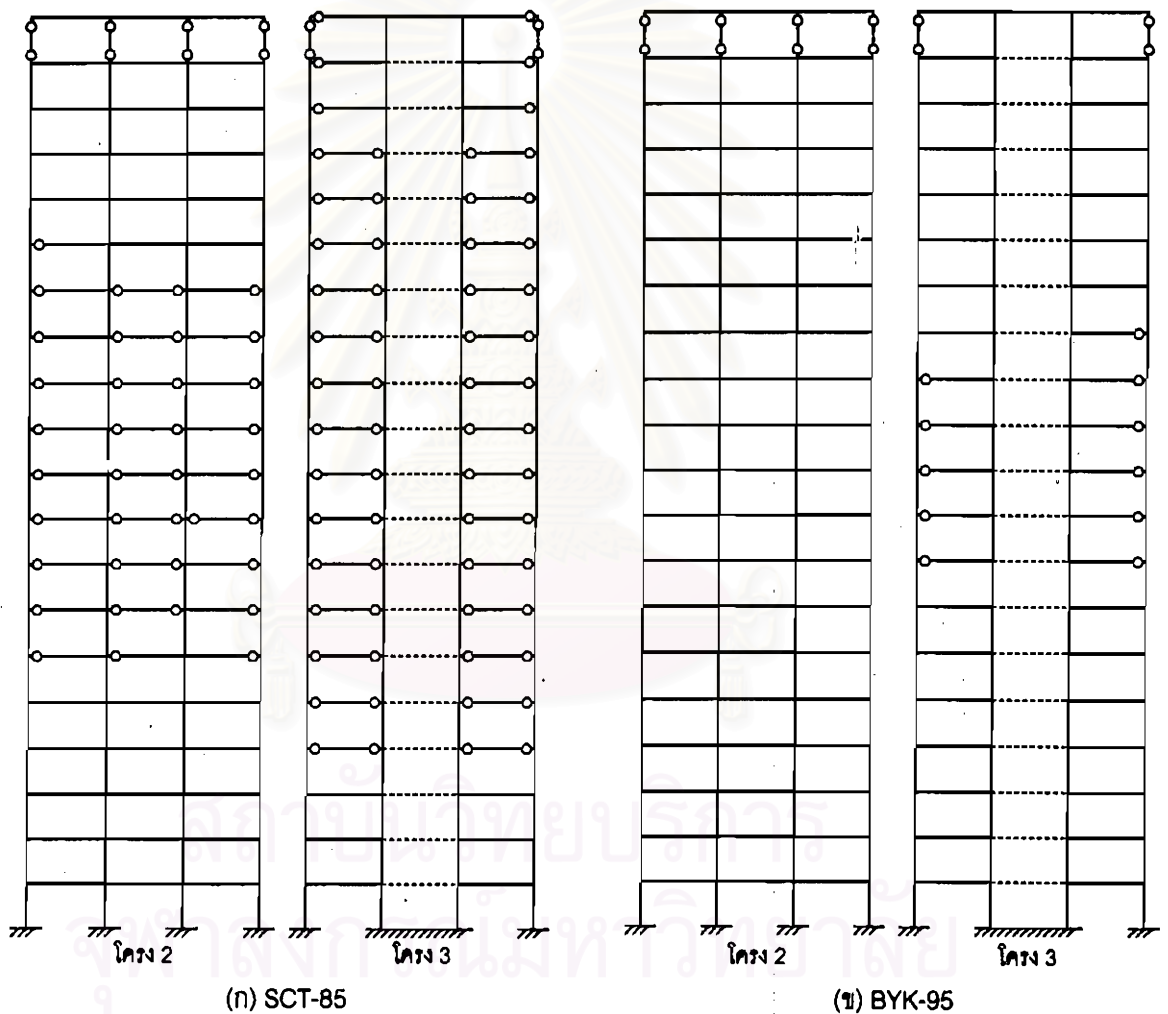
รูปที่ 5.7 การเปลี่ยนตำแหน่งสูงสุดของอาคารตัวอย่างภายใต้ SCT-85 ขนาด 0.001g



รูปที่ 5.8 การเปลี่ยนตำแหน่งสูงสุดของอาคารตัวอย่างภายใต้ BYK-95 ขนาด 0.001g

5.2.2 อาคารตัวอย่างภายใต้แผ่นดินไหวขนาด 0.010 เท่าของความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก

ภายใต้คลื่นแผ่นดินไหวขนาดนี้ รูปแบบการตอบสนองของอาคารตัวอย่างมีลักษณะเหมือนกรณีแรก แต่มีค่ามากกว่า จากตารางที่ 5.1 ได้ค่าการเปลี่ยนตำแหน่งสูงสุดที่ชั้น 20 สำหรับกรณี SCT-85 มีค่า 111.3 มิลลิเมตร ซึ่งคิดเป็น 0.17% ของความสูงอาคารตัวอย่าง และกรณี BYK-95 ได้ค่าเท่ากับ 72.3 มิลลิเมตร ซึ่งเท่ากับ 0.11% ของความสูงอาคารตัวอย่าง สำหรับค่าแรงเฉือนที่ฐานพบว่า ในกรณี SCT-85 ได้ค่าเท่ากับ 16,340 กิโลนิวตัน คิดเป็นสัมประสิทธิ์แรงเฉือนที่ฐานเท่ากับ 0.04 และ BYK-95 ได้เท่ากับ 10,971 กิโลนิวตัน คิดเป็นสัมประสิทธิ์แรงเฉือนที่ฐานเท่ากับ 0.03 การเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้นสูงสุด แสดงในตารางที่ 5.2 และ 5.3 โดยมีลักษณะการกระจายเหมือนกรณีแรก คือมีค่าน้อยที่ชั้นล่างๆ และมีค่าเพิ่มมากขึ้นจนถึงมีค่าสูงสุดที่ชั้น 11 และมีค่าลดลงที่ชั้นสูงขึ้นไป ในกรณี SCT-85 ได้ค่ามากที่สุดเท่ากับ 7.0 มิลลิเมตร และ BYK-95 ได้ค่าสูงสุดเท่ากับ 4.5 มิลลิเมตร



รูปที่ 5.9 ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับอาคารตัวอย่างภายใต้แผ่นดินไหวขนาด 0.01 เท่าของความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง

สำหรับรูปแบบความเสียหายที่เกิดขึ้น แสดงดังรูปที่ 5.9 ซึ่งแสดงตำแหน่งที่เกิดความเสียหายต่างๆ ภายใต้คลื่นทั้งสอง สำหรับกรณี SCT-85 พบว่ามีรอยร้าวเกิดขึ้นตามชั้นส่วนของอาคารต่างๆ โดยรอยร้าวที่เกิดกับคานใน

โครง 1 และโครง 3 เริ่มเกิดกับคานตั้งแต่ชั้น 4 จนถึงชั้น 20 สำหรับโครง 2 คานร้าวตั้งแต่ชั้น 6 จนถึงชั้น 14 สำหรับเสาเกิดรอยร้าวที่ชั้น 20 เนื่องจากกำลังลดลงจากการลดขนาดหน้าตัดนั่นเอง นอกจากนั้นที่โครง 1 ยังเกิดรอยร้าวขึ้นที่ด้านล่างของผนังชั้น 1 จากรูปแบบความเสียหายดังกล่าว เมื่อคำนวณเป็นค่าความเสียหายพบว่าในคานเกิดความเสียหายตั้งแต่ชั้นที่ 4 ขึ้นไป มีค่าประมาณ 0.06 สำหรับความเสียหายในเสาและผนังพบว่ามีความเสียหายที่ชั้น 1 และ 20 เท่านั้นเนื่องจากรอยร้าวเกิดขึ้นที่ชั้นดังกล่าว ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว มีค่าที่ชั้น 1 เท่ากับ 0.058 แต่อย่างไรก็ตามค่าความเสียหายดังกล่าวเป็นค่าที่น้อยมากไม่ก่อให้เกิดอันตรายกับโครงสร้าง

สำหรับกรณี BYK-95 เกิดรอยร้าวกระจายตามชิ้นส่วนของอาคารต่างๆ เช่นเดียวกับกรณีข้างต้น แต่มีน้อยกว่า โดยในโครง 2 เกิดรอยร้าวในเสาที่ชั้น 20 เท่านั้น และในโครง 3 เกิดรอยร้าวในเสาที่ชั้น 20 เช่นกัน และมีรอยร้าวเกิดในคานบริเวณชั้นกลางๆ (ชั้น 8-13 ของโครง 3) ของอาคารบ้าง สำหรับโครง 1 ไม่พบว่ามีความเสียหายใดๆ เกิดขึ้น จากการที่อาคารไม่ค่อยมีความเสียหายเท่าใดนัก ทำให้ค่าความเสียหายที่คำนวณได้มีค่าต่ำกว่ากรณี SCT-85 โดยในส่วนของคานและพื้นได้ค่าความเสียหายประมาณ 0.045 ซึ่งเป็นค่าที่กระจายอยู่ระหว่างชั้น 8-13 ในส่วนเสาและผนังมีความเสียหายที่ชั้นที่ 20 เท่านั้น เท่ากับ 0.024 เนื่องจากเกิดรอยร้าวขึ้นที่เสาเฉพาะชั้นที่ 20 นี้

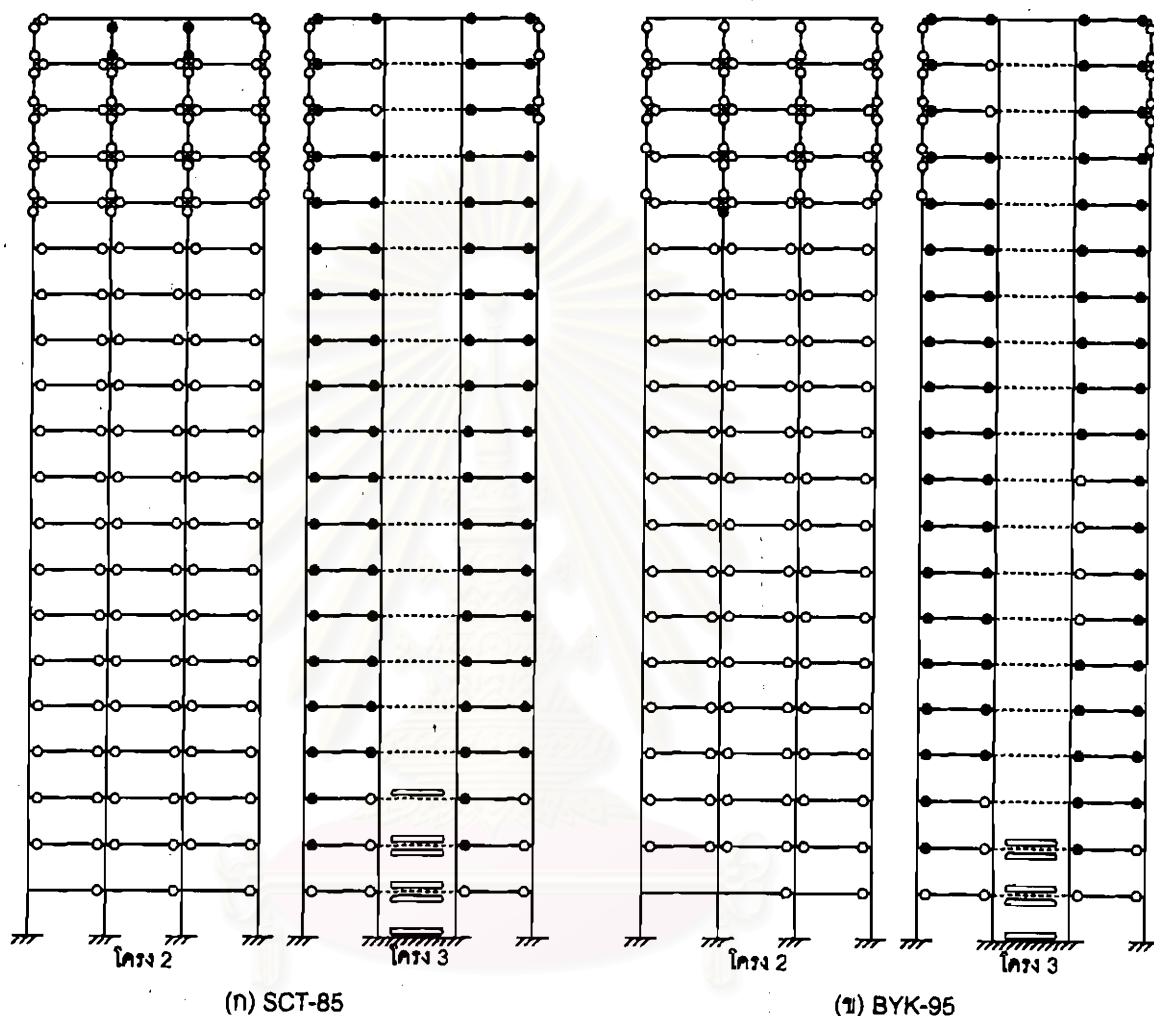
5.2.3 อาคารตัวอย่างภายใต้แผ่นดินไหวขนาด 0.05 เท่าของความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก

ภายใต้คลื่นแผ่นดินไหวนี้ การเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นต่างๆ มีค่าเพิ่มมากขึ้น แต่ว่ารูปแบบการตอบสนองของอาคารตัวอย่างยังเหมือน 2 กรณีข้างต้น กล่าวคือการเปลี่ยนตำแหน่งสัมพัทธ์ระหว่างชั้นสูงสุดเกิดขึ้นที่ชั้น 11 และมีค่าลดลงที่ชั้นต่ำและชั้นสูงกว่า ในกรณี SCT-85 ได้ค่าเท่ากับ 19.5 มิลลิเมตร และ BYK-95 ได้ค่าเท่ากับ 16.6 มิลลิเมตร ดังตารางที่ 5.2 และ 5.3 สำหรับค่าการเปลี่ยนตำแหน่งสูงสุดที่ชั้นที่ 20 พบว่าในกรณี SCT-85 ได้ค่าเท่ากับ 326.0 มิลลิเมตร คิดเป็น 0.51% ของความสูงของอาคารตัวอย่าง และกรณี BYK-95 ได้ค่าเท่ากับ 275.0 มิลลิเมตร คิดเป็น 0.43% ของความสูงของอาคารตัวอย่าง และที่ SCT-85 ได้ค่าแรงเฉือนสูงสุดที่ฐานมีค่า 30,904 กิโลนิวตัน คิดเป็นสัมประสิทธิ์แรงเฉือนที่ฐานเท่ากับ 0.08 และที่ BYK-95 ได้ค่าแรงเฉือนสูงสุดที่ฐานเท่ากับ 30,268 กิโลนิวตัน คิดเป็นสัมประสิทธิ์แรงเฉือนที่ฐานเท่ากับ 0.08

สำหรับรูปแบบความเสียหายของอาคารตัวอย่างแสดงดังรูปที่ 5.10 พบว่าเกิดการครากในชิ้นส่วนคานเกือบตลอดทั้งโครงสร้างโดยเฉพาะคานที่อยู่ในชั้นที่ 5-15 ของโครง 1 กับ 3 เนื่องมาจากการเปลี่ยนตำแหน่งสัมพัทธ์ระหว่างชั้นที่มากบริเวณชั้นดังกล่าวและแรงที่เกิดมากในโครง 1 และ 3 สำหรับโครง 2 พบว่าเกิดรอยร้าวในคานโดยตลอด สำหรับชิ้นส่วนเสาเกิดรอยร้าวโดยตลอดตั้งแต่ชั้นที่ 16 ขึ้นไป และเกิดการครากที่เสาภายในที่ชั้น 20 ของโครง 2 ภายใต้ SCT-85 และเสาภายในที่ชั้น 16 ภายใต้ BYK-85 เกิดการครากที่ด้านบนของเสา สำหรับผนังพบว่ามีการร้าวเกิดขึ้นที่ชั้น 1-4

จากรูปแบบความเสียหายดังที่ได้กล่าวมาแล้ว เมื่อวิเคราะห์ค่าความเสียหายพบว่าในคานมีความเสียหายน้อยมากที่สุดที่ชั้น 1 และเพิ่มขึ้นที่ชั้นสูงขึ้นไป จนถึงชั้น 4 พบว่าความเสียหายในคานค่อนข้างคงที่ มีค่าประมาณ 0.15 เนื่องจากการที่คานเกิดการครากตลอดช่วงชั้นดังกล่าวนั่นเอง สำหรับความเสียหายในเสา พบว่ามีค่าในช่วงชั้น 16-

20 จากการที่เกิดการร้าวและการคราก แต่อย่างไรก็ตามค่าดังกล่าวเป็นค่าที่น้อยมากมีค่าประมาณ 0.01 สำหรับผนังค่าความเสียหายมากที่สุดอยู่ที่ชั้น 1 มีค่าประมาณ 0.2 และลดลงที่ชั้นสูงขึ้นไป ซึ่งความเสียหายในระดับชั้นที่กล่าวมานี้ทั้งในกรณี SCT-85 และ BYK-95 ถือว่าเป็นความเสียหายไม่มากนักสามารถซ่อมแซมโครงสร้างเพื่อใช้งานต่อไปได้อีก สำหรับค่าความเสียหายของทั้งโครงสร้าง ในกรณี SCT-85 ได้ค่าเท่ากับ 0.152 และ BYK-95 เท่ากับ 0.145 ซึ่งถือว่าเป็นความเสียหายที่น้อยมาก



รูปที่ 5.10 ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับอาคารตัวอย่างภายใต้แผ่นดินไหวขนาด 0.05 เท่าของความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง

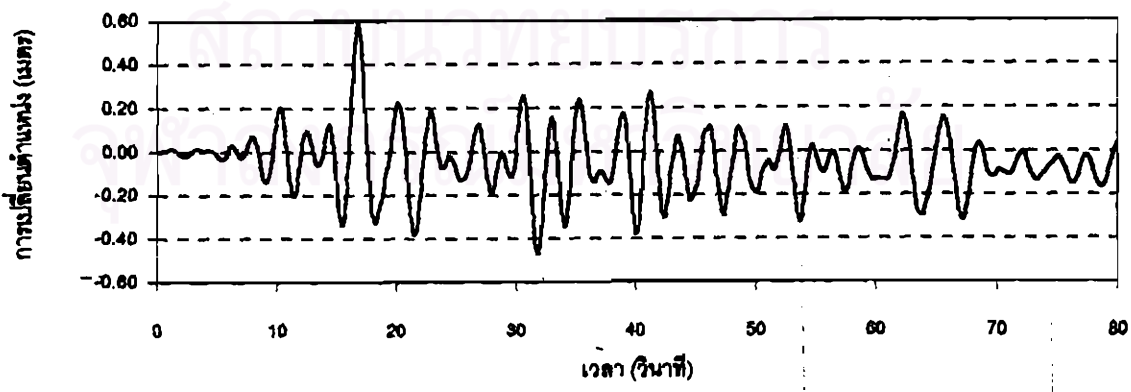
5.2.4 อาคารตัวอย่างภายใต้แผ่นดินไหวขนาด 0.098 เท่าของความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก

ภายใต้แผ่นดินไหวนี้ การเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้น 20 ของอาคารตัวอย่างมีลักษณะที่เปลี่ยนแปลงไปคือไม่มีลักษณะของการกำทอน แสดงดังรูปที่ 5.11 ทั้งนี้เนื่องมาจากความเสียหายที่เกิดขึ้นมีค่ามาก ทำให้ความถี่ของโครงสร้างมีค่าลดลงและแตกต่างกับความถี่เด่นชัดของคลื่น ค่าการเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้น 20 มีค่าเพิ่มมากขึ้น โดยภายใต้ SCT-85 ได้ค่าเท่ากับ 587.1 มิลลิเมตร คิดเป็น 0.92% ของความสูงอาคารตัวอย่าง และภายใต้ BYK-95 ได้ค่า 475.8 มิลลิเมตร คิดเป็น 0.74% ของความสูงอาคารตัวอย่าง สำหรับการเปลี่ยนตำแหน่งสัมพัทธ์ระหว่างชั้นสูงสุด

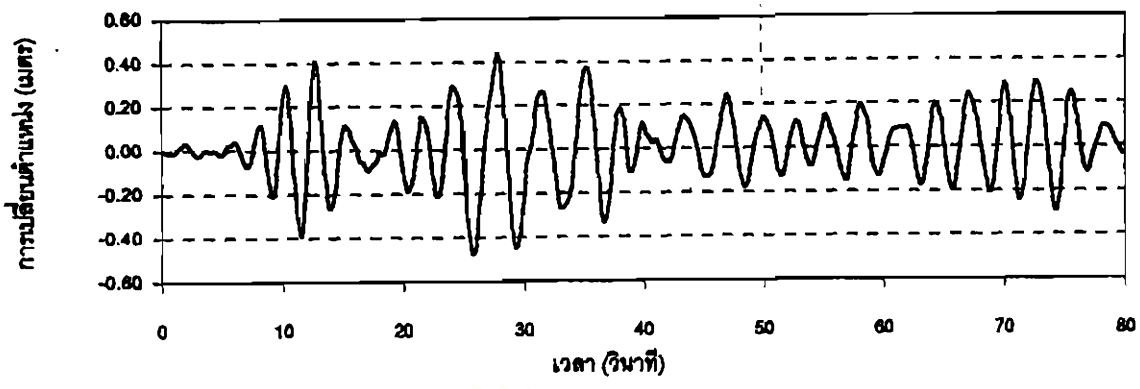
พบว่าการลดลงที่ชั้นสูงซึ่งมีค่าไม่มากเท่ากับกรณีที่ผ่านมาเนื่องจากการเกิดการครากที่มากขึ้นในคาน ทำให้การยึด
 รั้งการเปลี่ยนตำแหน่งเนื่องจากโครงข้อแข็งที่ชั้นบนมีค่าต่ำลง และชั้นที่มีการเปลี่ยนตำแหน่งสัมพัทธ์ระหว่างชั้นสูง
 สุดเลื่อนไปที่ชั้นสูงกว่า คือชั้นที่ 14 ทั้งกรณี SCT-85 และ BYK-95 โดยในกรณี SCT-85 มีค่าเท่ากับ 35.0 มิลลิเมตร
 และ BYK-95 มีค่าเท่ากับ 28.6 มิลลิเมตร การเปลี่ยนตำแหน่งและการเปลี่ยนตำแหน่งสัมพัทธ์ระหว่างชั้นสูงสุดเป็น
 ดังรูปที่ 5.12 และ 5.13 สำหรับ SCT-85 และ BYK-95 ตามลำดับ และภายใต้ SCT-85 ยังพบว่าเกิดการเปลี่ยน
 ตำแหน่งถาวรของอาคารชั้นอีก สังเกตได้จากรูปที่ 5.11(ก) โดยมีค่าประมาณ 8 เซนติเมตร

สำหรับรูปแบบความเสียหาย แสดงดังรูปที่ 5.14 พบว่าในโครงที่ 3 และโครง 1 เกิดการครากในชิ้นส่วน
 คานตลอดทั้งโครงสร้าง เนื่องจากการเปลี่ยนตำแหน่งสัมพัทธ์ที่มากขึ้นเอง สำหรับในโครงที่ 2 การครากในคานเกิด
 ขึ้นเฉพาะชั้นกลาง จนถึงชั้นที่ 15 และมีรอยร้าวเกิดกระจายในคานชั้นบนและล่าง สำหรับเสาพบว่ามียอยร้าวที่ด้าน
 ล่างของเสาชั้น 1 และ 2 ของโครงที่ 3 และมีรอยร้าวในเสาดังแต่ชั้นที่ 16 ขึ้นไปของทั้งโครงสร้าง นอกจากนี้ที่เสาใน
 ของชั้นดังกล่าวยังเกิดการครากอีกด้วย โดยภายใต้ SCT-85 พบว่าเสาในของชั้น 16 เกิดการครากที่ด้านบน และที่
 ชั้น 20 เกิดการครากทั้งด้านบนและด้านล่างของเสาในทั้งสองต้น สำหรับ BYK-95 การครากเกิดที่ด้านบนของเสาใน
 ที่ชั้น 16 และ 17 และเสาในของชั้นที่ 20 ครากทุกต้นเช่นเดียวกับกรณี SCT-95 สำหรับผนังมีความเสียหายเกิดมาก
 ที่ชั้นล่าง โดยเฉพาะที่ชั้น 1 เกิดการครากที่ด้านล่างของผนัง และที่ชั้นที่สูงขึ้นมาเกิดรอยร้าวขึ้น

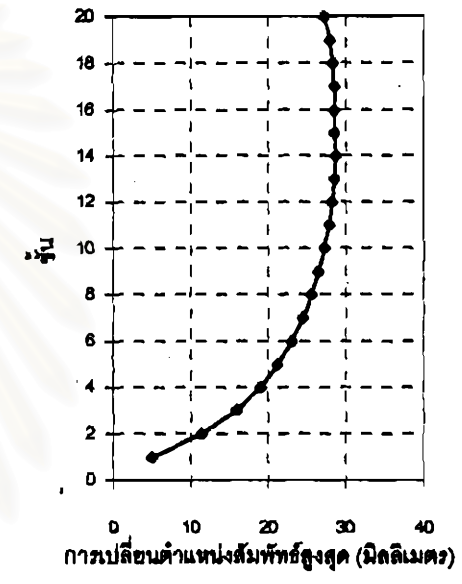
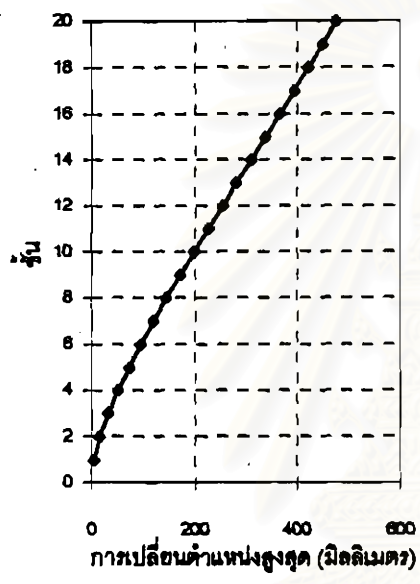
ค่าความเสียหายที่วิเคราะห์ได้พบว่า สำหรับคานความเสียหายมีค่าน้อยที่ชั้นล่างและเพิ่มมากขึ้นจนถึงชั้น
 ที่ 9-15 มีค่าความเสียหายค่อนข้างคงที่มีค่าประมาณ 0.25 ในกรณี SCT-85 และ 0.2 ในกรณี BYK-95 และค่า
 ความเสียหายจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นในระดับชั้นถัดขึ้นไป มีค่ามากที่สุดที่ชั้น 19 มีค่า 0.34 ในกรณี SCT-85 และ มากที่
 สุดที่ชั้น 16 มีค่า 0.36 ในกรณี BYK-95 สำหรับเสาและผนังความเสียหายเกิดขึ้นมากที่สุดที่ชั้นที่ 1 มีค่าประมาณ
 0.30 ทั้งกรณีของ SCT-85 และ BYK-95 และที่ชั้นสูงซึ่งค่าความเสียหายมีค่าลดลง และที่ชั้น 16 จนถึงชั้นบนสุดมี
 ความเสียหายเกิดขึ้นเนื่องจากการร้าวและการครากของเสาในช่วงชั้นดังกล่าวนี้เอง ค่าความเสียหายมีค่ามากที่สุด
 ที่ชั้นดังกล่าวมีค่าประมาณ 0.05 เกิดที่ชั้นที่ 20 สำหรับค่าความเสียหายของทั้งโครงสร้างมีค่าประมาณ 0.23 ทั้งใน
 กรณี SCT-85 และ BYK-95 อย่างไรก็ตามค่าความเสียหายทั้งในระดับชั้นและระดับโครงสร้างทั้งหมดที่วิเคราะห์ได้
 นั้น ยังถือว่าโครงสร้างเกิดความเสียหายอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ สามารถซ่อมแซมและใช้งานได้



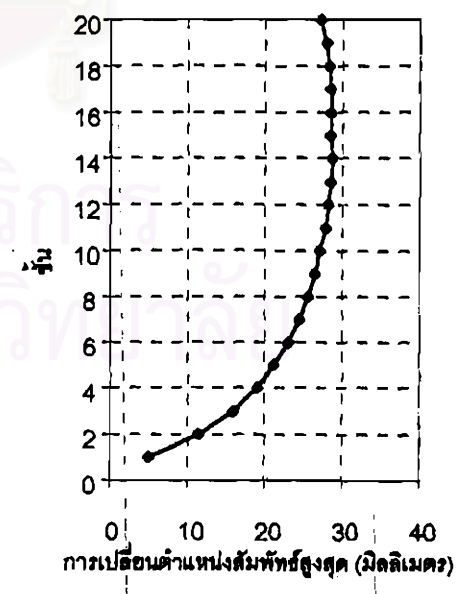
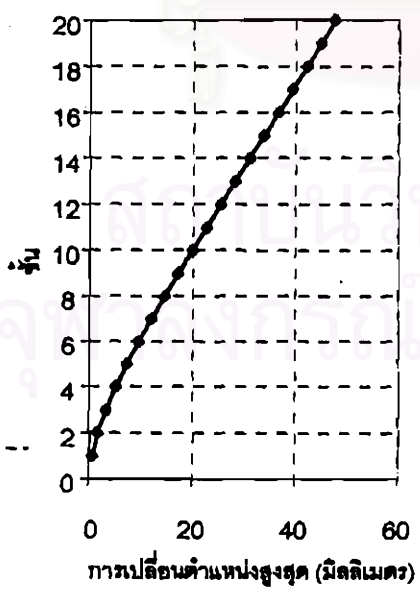
รูปที่ 5.11(ก) การเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้น 20 ของอาคารตัวอย่างภายใต้ SCT-85 ขนาด 0.098g



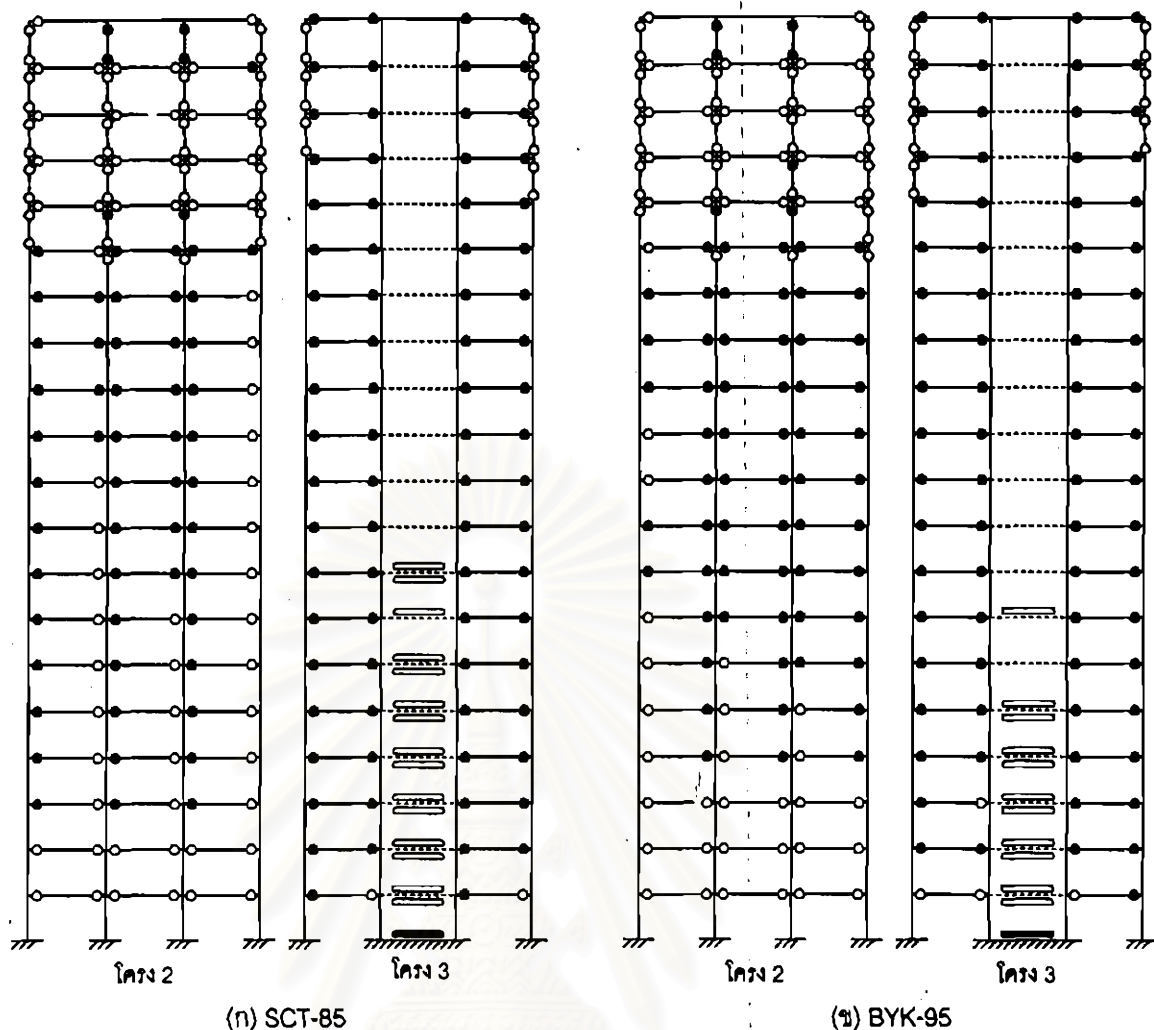
รูปที่ 5.11(ข) การเปลี่ยนแปลงตำแหน่งที่ชั้น 20 ของอาคารตัวอย่างภายใต้ BYK-95 ขนาด 0.098g



รูปที่ 5.12 การตอบสนองของอาคารตัวอย่างภายใต้ SCT-85 0.098g



รูปที่ 5.13 การตอบสนองของอาคารตัวอย่างภายใต้ BYK-95 0.098g



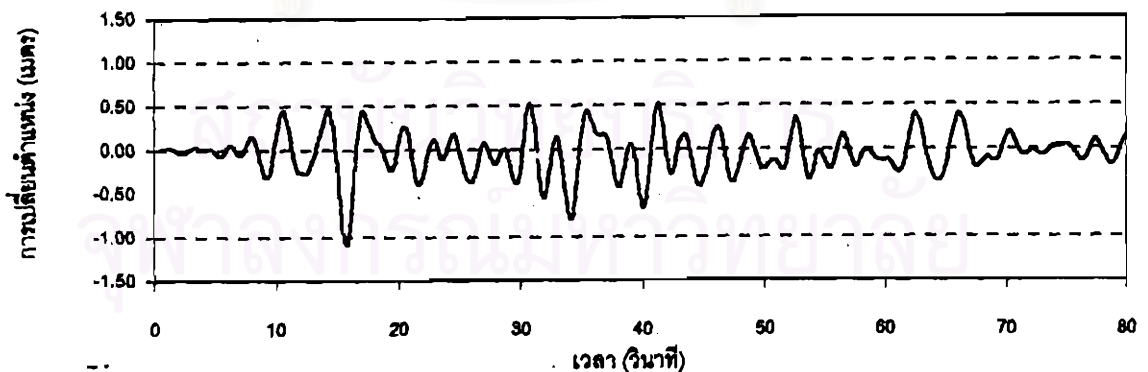
รูปที่ 5.14 ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับอาคารตัวอย่างภายใต้แผ่นดินไหวขนาด 0.098 เท่า
ของความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง

5.2.5 อาคารตัวอย่างภายใต้แผ่นดินไหวขนาด 0.2 เท่าของความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก

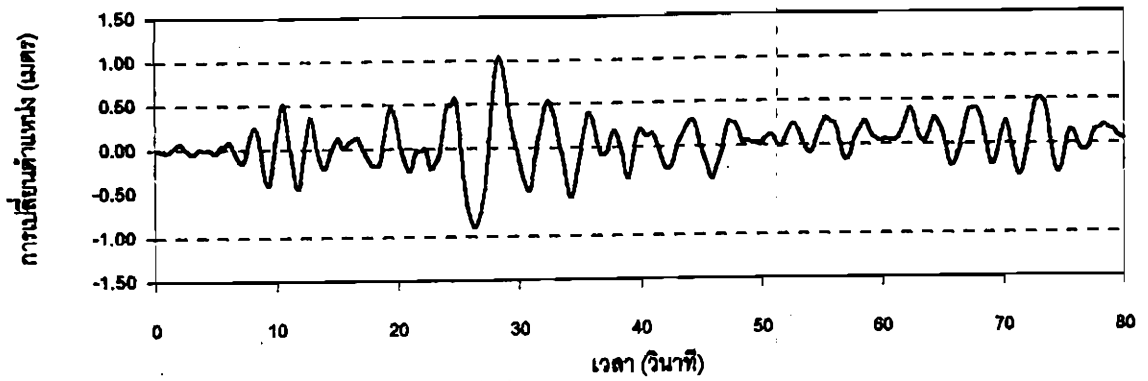
การเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้น 20 ของอาคารตัวอย่างแสดงในรูปที่ 5.15(ก) และ 5.15(ข) สำหรับกรณี SCT-85 และกรณี BYK-95 ตามลำดับ ซึ่งพบว่าที่แผ่นดินไหวขนาดนี้ อาคารตัวอย่างเกิดความเสียหายมากขึ้น การเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นต่างๆ มีค่ามากขึ้นโดยภายใต้ SCT-85 มีการเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้น 20 เท่ากับ 1.09 เมตร คิดเป็น 1.70% ของความสูงของอาคารตัวอย่าง และภายใต้ BYK-95 มีค่าการเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้น 20 เท่ากับ 1.04 เมตร คิดเป็น 1.63% ของความสูงอาคารตัวอย่าง สำหรับการเปลี่ยนตำแหน่งสัมพัทธ์ระหว่างชั้นพบว่า มีค่าน้อยที่ชั้นล่าง และเพิ่มมากขึ้นที่ชั้นสูงขึ้นเหมือนกรณีที่ผ่านมา และค่าการเปลี่ยนตำแหน่งสัมพัทธ์สูงสุดจะเลื่อนขึ้นไปอยู่ที่ชั้น 17 มีค่า 69.4 และ 68.8 มิลลิเมตร สำหรับกรณี SCT-85 และ BYK-95 ตามลำดับ และค่อนข้างจะมีค่าคงที่ไปจนถึงชั้นที่ 20 ทั้งนี้การที่ชั้นที่มีการเปลี่ยนตำแหน่งสัมพัทธ์สูงสุดเลื่อนไปยังชั้นที่สูงกว่าและค่าการเปลี่ยนตำแหน่งสัมพัทธ์ที่ชั้นสูงมีค่าไม่ลดลง ก็เนื่องจากการยึดรั้งการเคลื่อนที่ของโครงข้อแข็งมีค่าต่ำลง จากการที่คานมีการครากที่รุนแรงนั่นเอง

รูปแบบความเสียหายของอาคารตัวอย่างแสดงดังรูปที่ 5.16 พบว่ามีรอยร้าวเกิดขึ้นในเสาชั้นล่างและชั้นบนได้แก่ เสาในชั้น 1-4 และเสาชั้น 16-20 โดยเสาบริเวณชั้นกลางๆ ของอาคารตัวอย่างไม่เกิดความเสียหายใดเลย สำหรับเสาในชั้นที่ 16-20 พบว่าเกิดความเสียหายมากในเสาบางต้นโดยเฉพาะเสาใน ซึ่งรับแรงมากกว่าเสาอกกรณี SCT-85 พบว่าเสาในของช่วงชั้น 15 ถึง 20 เกิดการครากขึ้นมากทั้งด้านบนและด้านล่างของเสา สำหรับคานเกิดการครากตลอดทั้งโครงสร้าง ยกเว้นโครงที่ 2 ซึ่งเป็นโครงข้อแข็งที่ไม่มีผนังพบว่าที่ระดับชั้น 16-20 การครากของคานจะครากที่จุดต่อกับเสาเฉพาะเสาภายนอกเท่านั้น ส่วนจุดต่อกับเสาภายในจะเกิดเฉพาะรอยร้าว เนื่องมาจาก การที่เสาภายในชั้นดังกล่าวมีการลดขนาดหน้าตัดลง กำลังของเสาจึงมีค่าลดลงด้วย และเมื่อเปรียบเทียบกับกำลังต้านทานของเสากับคานพบว่าเสามีค่าต่ำกว่าดังนั้นจึงครากก่อน ทำให้เกิดการกระจายโมเมนต์ไปยังจุดต่ออื่นๆ โมเมนต์ที่จุดต่อดังกล่าวจึงมีค่าค่อนข้างคงที่ เป็นผลให้โมเมนต์ในคานมีค่าคงที่ คานจึงไม่คราก สำหรับโครงที่ 3 เกิดการครากในคานโดยตลอดทั้งโครงสร้าง ทั้งกรณี SCT-85 และ BYK-95 สำหรับผนังพบว่ามีการครากที่ชั้น 1-3 และมีรอยร้าวกระจายในชั้นที่สูงขึ้น

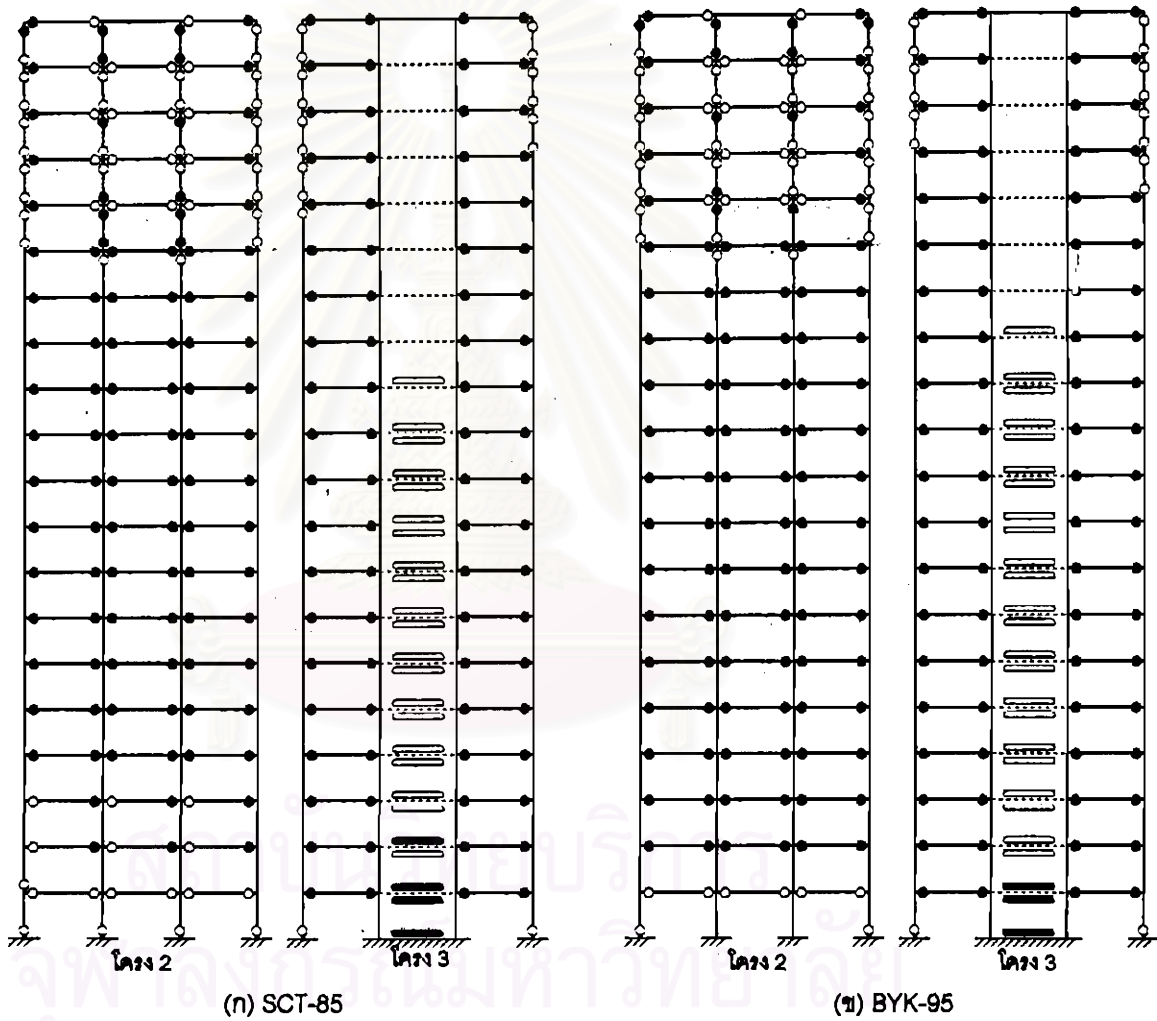
จากรูปแบบความเสียหายดังกล่าว เมื่อวิเคราะห์หาค่าความเสียหายพบว่าในคาน ค่าความเสียหายจะมีค่าเพิ่มขึ้นในชั้นที่สูงเนื่องจากการเกิดการครากที่มาก ซึ่งเป็นผลทำให้การยึดรั้งของโครงข้อแข็งลดลง การเปลี่ยนตำแหน่งจึงเพิ่มขึ้นดังที่ได้กล่าวมาแล้ว โดยค่าความเสียหายในคานมากที่สุดที่ชั้น 19 มีค่าประมาณ 0.73 ในกรณี SCT-85 สำหรับกรณี BYK-95 ค่าสูงสุดเกิดที่ชั้น 20 มีค่าประมาณ 0.75 สำหรับค่าความเสียหายในเสาและผนังพบว่ามีความมากที่สุดที่ชั้น 1 เหมือนกรณีที่ผ่านมา มีค่าประมาณ 0.5 ทั้งกรณี SCT-85 และ BYK-95 และค่าความเสียหายจะลดลงที่ชั้นสูงขึ้นและมีค่าเพิ่มขึ้นอีกในชั้นที่ 16-20 เนื่องจากการครากและการวิบัติในเสาช่วงชั้นนั้นนั่นเอง และเมื่อคำนวณค่าความเสียหายของทั้งโครงสร้างพบว่าได้ค่า 0.36 สำหรับ SCT-85 และ 0.41 สำหรับ BYK-95 ถึงแม้ว่าในกรณี SCT-85 ค่าความเสียหายของทั้งโครงสร้างจะมีค่าน้อยกว่า 0.4 ซึ่งถือว่าเป็นขอบเขตบนของค่าความเสียหายที่ยอมให้เกิดกับโครงสร้างภายใต้แผ่นดินไหวได้ก็ตาม แต่เมื่อพิจารณาที่ความเสียหายระดับชั้นพบว่ามีความมากโดยเฉพาะที่เสาและผนังชั้นล่าง ทำให้สามารถกล่าวได้ว่าอาคารตัวอย่างดังกล่าวนี้ไม่มีความปลอดภัยที่จะนำไปใช้งานได้อีกต่อไป



รูปที่ 5.15(ก) การเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้น 20 ของอาคารตัวอย่างภายใต้ SCT-85 ขนาด 0.2g



รูปที่ 5.15(ข) การเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้น 20 ของอาคารตัวอย่างภายใต้ BYK-95 ขนาด 0.2g



รูปที่ 5.16 ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับอาคารตัวอย่างภายใต้แผ่นดินไหวขนาด 0.2 เท่า
ของความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง

พิจารณาพฤติกรรมของอาคารตัวอย่างจากการวิเคราะห์ภายใต้แผ่นดินไหวกับพฤติกรรมภายใต้การให้แรงกระทำด้านข้างแบบสถิต (Push-over) พบว่ารูปแบบการเปลี่ยนตำแหน่งสูงสุดที่ชั้นต่างๆ มีลักษณะคล้ายกัน โดยเฉพาะการเปลี่ยนตำแหน่งสัมพัทธ์ระหว่างชั้นสูงสุดมีการกระจายเหมือนกรณีได้ด้วยแรงด้านข้างคือมีค่าน้อยที่ชั้น

ล่างๆ และเพิ่มมากขึ้นที่ชั้นสูงขึ้นไปจนถึงชั้น 20 เนื่องจากความเสียหายที่เกิดในคานทำให้การยึดรั้งลดลงนั่นเอง ซึ่งกรณีต้นด้วยแรงด้านข้างถือว่าเป็นการวิเคราะห์กำลังต้านทานแรงด้านข้างของอาคาร การเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้น 20 มีค่าคิดเป็น 2.11%ของความสูงอาคาร และค่าสัมประสิทธิ์แรงเฉือนที่ฐานได้เท่ากับ 0.117 และจากการวิเคราะห์ภายใต้แผ่นดินไหวขนาดความเร่ง 0.2g ซึ่งถือว่าอาคารตัวอย่างวิบัติ ได้ค่าการเปลี่ยนตำแหน่งเป็น 1.70% และค่าสัมประสิทธิ์แรงเฉือนที่ฐานสูงสุดมีค่า 0.102 สำหรับกรณี SCT-85 ในกรณี BYK-95 ได้ค่าการเปลี่ยนตำแหน่งเป็น 1.63% และสัมประสิทธิ์แรงเฉือนที่ฐานสูงสุด 0.125 เห็นได้ว่าค่าดังกล่าวมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการต้นด้วยแรงด้านข้าง และเมื่อเปรียบเทียบค่าความเสียหายทั้งโครงสร้างพบว่าได้ค่าที่ใกล้เคียงเช่นกันคือค่าที่ได้จากการต้นด้วยแรงด้านข้างมีค่าเท่ากับ 0.435 และภายใต้แผ่นดินไหวได้ค่าประมาณ 0.4 ซึ่งถือว่าโครงสร้างมีเสียหายมาก

ตารางที่ 5.1 การเปลี่ยนตำแหน่งสูงสุดที่ชั้น 20 ภายใต้แผ่นดินไหว

| ความเร่ง (เท่าของแรงโน้มถ่วง) | SCT-85 | | BYK-95 | |
|----------------------------------|-----------|------------------|-----------|------------------|
| | มิลลิเมตร | %ของความสูงอาคาร | มิลลิเมตร | %ของความสูงอาคาร |
| 0.001 | 12.7 | 0.02 | 7.2 | 0.01 |
| 0.010 | 111.3 | 0.17 | 72.3 | 0.11 |
| 0.050 | 326.0 | 0.51 | 275.0 | 0.43 |
| 0.098 | 587.1 | 0.92 | 475.8 | 0.74 |
| 0.200 | 1087.7 | 1.70 | 1042.3 | 1.63 |

ตารางที่ 5.2 การเปลี่ยนตำแหน่งสัมพัทธ์ระหว่างชั้นสูงสุด (Maximum Story Drift) ของอาคารตัวอย่าง
ภายใต้คลื่น SCT-85

หน่วย: มิลลิเมตร

| ชั้น | ความเร่งสูงสุด, เท่าของความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง | | | | |
|------|---|-------|-------|-------|-------|
| | 0.001 | 0.010 | 0.050 | 0.098 | 0.200 |
| 20 | 0.6 | 5.4 | 16.2 | 33.4 | 68.2 |
| 19 | 0.6 | 5.7 | 16.8 | 34.2 | 68.9 |
| 18 | 0.7 | 5.9 | 17.1 | 34.5 | 69.3 |
| 17 | 0.7 | 6.1 | 17.4 | 34.8 | 69.4 |
| 16 | 0.7 | 6.4 | 17.8 | 34.9 | 69.3 |
| 15 | 0.7 | 6.5 | 18.0 | 34.8 | 68.8 |
| 14 | 0.8 | 6.7 | 18.6 | 35.0 | 68.4 |
| 13 | 0.8 | 6.8 | 19.0 | 34.9 | 67.6 |
| 12 | 0.8 | 6.9 | 19.3 | 34.8 | 66.6 |
| 11 | 0.8 | 7.0 | 19.5 | 34.4 | 65.5 |
| 10 | 0.8 | 6.8 | 19.4 | 33.7 | 63.8 |
| 9 | 0.8 | 6.7 | 19.2 | 32.9 | 61.5 |
| 8 | 0.7 | 6.5 | 18.8 | 31.9 | 58.4 |
| 7 | 0.7 | 6.1 | 18.2 | 30.6 | 54.6 |
| 6 | 0.6 | 5.6 | 17.3 | 28.9 | 49.6 |
| 5 | 0.6 | 5.0 | 16.0 | 26.7 | 43.5 |
| 4 | 0.5 | 4.3 | 14.6 | 23.8 | 37.2 |
| 3 | 0.4 | 3.4 | 12.5 | 19.6 | 30.2 |
| 2 | 0.3 | 2.4 | 9.1 | 14.1 | 21.9 |
| 1 | 0.1 | 1.1 | 4.0 | 6.3 | 9.8 |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.3 การเปลี่ยนตำแหน่งสัมพัทธ์ระหว่างชั้นสูงสุด (Maximum Story Drift) ของอาคารตัวอย่าง

ภายใต้คลื่น BYK-95

หน่วย: มิลลิเมตร

| ชั้น | ขนาดความเร่งสูงสุดของคลื่น, g | | | | |
|------|-------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| | 0.001 | 0.010 | 0.050 | 0.098 | 0.200 |
| 20 | 0.4 | 3.6 | 14.2 | 27.2 | 67.7 |
| 19 | 0.4 | 3.7 | 14.8 | 27.9 | 68.3 |
| 18 | 0.4 | 3.9 | 15.1 | 28.2 | 68.6 |
| 17 | 0.4 | 4.0 | 15.4 | 28.4 | 68.8 |
| 16 | 0.4 | 4.2 | 15.7 | 28.5 | 68.7 |
| 15 | 0.4 | 4.2 | 15.8 | 28.5 | 68.5 |
| 14 | 0.4 | 4.3 | 16.1 | 28.6 | 68.0 |
| 13 | 0.4 | 4.4 | 16.2 | 28.5 | 67.1 |
| 12 | 0.4 | 4.5 | 16.4 | 28.2 | 65.5 |
| 11 | 0.4 | 4.5 | 16.6 | 27.8 | 63.2 |
| 10 | 0.4 | 4.4 | 16.4 | 27.1 | 60.2 |
| 9 | 0.4 | 4.3 | 16.2 | 26.5 | 56.9 |
| 8 | 0.4 | 4.2 | 15.9 | 25.6 | 53.2 |
| 7 | 0.4 | 4.0 | 15.3 | 24.4 | 49.1 |
| 6 | 0.4 | 3.6 | 14.4 | 23.0 | 43.8 |
| 5 | 0.3 | 3.2 | 13.3 | 21.2 | 38.8 |
| 4 | 0.3 | 2.8 | 12.0 | 19.0 | 34.4 |
| 3 | 0.2 | 2.2 | 10.2 | 15.9 | 28.2 |
| 2 | 0.2 | 1.6 | 7.6 | 11.3 | 20.1 |
| 1 | 0.1 | 0.7 | 3.4 | 5.0 | 8.9 |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย