

ตัวอย่างการวิเคราะห์ และการวิจารณ์ผล

4.1 ความนำ

ตัวอย่างที่นำมาใช้ประกอบการพิจารณาในงานวิจัยนี้จะเริ่มจากโครงสร้างง่าย ๆ ที่ไม่มีความสลับซับซ้อนมาก ทำให้สามารถตรวจสอบความถูกต้องของวิธีการวิเคราะห์ที่ใช้หลักการของสติฟเนสโดยตรง (Direct stiffness method) รวมทั้งโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้นมาได้ทุกขั้นตอนการคำนวณ และสะดวกในการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ไดระหว่างวิธีที่เสนอในงานวิจัยกับวิธีการแรง (Force method) ใน Beasley (1994) , Neville และคณะฯ (1983) จากนั้นจึงใช้หลักการของทฤษฎีดังกล่าวคำนวณหาผลลัพธ์ที่ต้องการกับโครงสร้างที่มีความยุ่งยากสลับซับซ้อนมากขึ้น อย่างเช่นอาคารไบหยก 2 ที่มีขั้นตอนในการก่อสร้างมากมาย

ตัวอย่างโครงสร้างที่นำมาใช้พิจารณาในงานวิจัยนี้มี 4 ตัวอย่างประกอบไปด้วย

1. เสาคอนกรีตเสริมเหล็กรับน้ำหนักบรรทุกทุกคงค้างคงที่ค่าเดียว
2. เสาคอนกรีตเสริมเหล็กรับน้ำหนักบรรทุกทุกคงค้าง 4 ขั้นตอน
3. โครงข้อแข็งพอร์ทัล (Portal frame) 1 ชั้น
4. อาคารไบหยก 2

ผลจากการวิเคราะห์ปัญหาตัวอย่างข้างบนนี้จะชี้ให้เห็นถึงอิทธิพลจากผลเชิงเวลา ที่มีผลต่อการปรับกระจายแรงภายในและการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งในโครงสร้างให้มีค่ามากขึ้นหรือลดลง ซึ่งในปัญหาจริงจะสามารถนำผลไปใช้ประกอบการพิจารณาในการปรับปรุงการออกแบบโครงสร้างให้ดีขึ้นต่อไปได้

4.2 ตัวอย่างที่ 1 เสาคอนกรีตเสริมเหล็กรับน้ำหนักบรรทุกทุกคงค้างที่ค่าเดียว

ตัวอย่างแรกเป็นเสาคอนกรีตเสริมเหล็กรับน้ำหนักบรรทุกกระทำคงค้าง 200,000 นิวตัน ดังแสดงในรูปที่ (4.1) (จากหนังสือของ Gilbert (1988)) ลักษณะของโครงสร้างมีหน้าตัดสม่ำเสมอตลอดทั้งชิ้นส่วน โดยคุณสมบัติของคอนกรีตและเหล็กเสริม แสดงตามตารางที่ (4.1) โดยที่พิจารณาเหล็กเสริมปริมาณต่าง ๆ กันคือ 0%, 1%, 2%, 5% และ 8% สำหรับวิธีการวิเคราะห์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 3 วิธีคือ

1. วิธีวิเคราะห์โครงสร้างโดยใช้เวลาเพียงช่วงเดียว เป็นวิธีการวิเคราะห์ที่พิจารณาน้ำหนักบรรทุกที่กระทำจากเวลาเริ่มแรกไปจนถึงเวลาสุดท้ายที่ต้องการ (โดยไม่มีการแบ่งขั้นเวลาในการคำนวณ) แล้วนำผลมารวมกัน
2. วิธีการวิเคราะห์ห้อย่างละเอียด เป็นวิธีการวิเคราะห์โครงสร้างตามเวลาอย่างเป็นขั้นตอน โดยใช้ค่าโมดูลัสปรับแก้อายุที่เกิดขึ้นจริงในแต่ละช่วงเวลา

3. วิธีการวิเคราะห์โดยประมาณ เป็นวิธีการวิเคราะห์โครงสร้างตามเวลาอย่างเป็นขั้นตอน โดยใช้ค่าโมดูลัสปรับแก้ภายในแต่ละช่วงเวลาที่พิจารณาเป็นค่าเฉลี่ยแทนค่าจริง

ในการพิจารณาขั้นตอนการก่อสร้างจะแบ่งเป็น 4 ขั้นตอนคือ ในขั้นตอนที่ 1 โครงสร้างจะถูกถอดค้ำยันออกเมื่อคอนกรีตอายุได้ 10 วัน ($t_1 = 10$ วัน) แล้วรับน้ำหนักกระทำทันที และถือว่าน้ำหนักกระทำนี้คงค้างตลอดช่วงการพิจารณา ในขั้นตอนที่ 2, 3 และ 4 เป็นช่วงที่พิจารณาถึงผลของน้ำหนักบรรทุกคงค้างที่เวลา $t_2 = 40$ วัน, $t_3 = 70$ วัน และ $t_4 = 100$ วัน ค่าสัมประสิทธิ์การคืบ และสัมประสิทธิ์อายุที่ใช้ในการวิเคราะห์แสดงไว้ตามตารางที่ (4.2) โดยไม่พิจารณาถึงผลการหดตัวจากการสูญเสียความชื้น การแสดงผลลัพธ์ที่ได้จะเปรียบเทียบระหว่างโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในงานวิจัยนี้กับการคำนวณโดยวิธีแรงของ Beasley (1994) และเปรียบเทียบผลของการแปรเปลี่ยนเปอร์เซ็นต์เหล็กเสริมที่มีต่อการหดตัวของเสา และการปรับกระจายของแรงภายใน

ตารางที่ 4.1 แสดงคุณสมบัติต่าง ๆ ของคอนกรีต และเหล็กเสริม (ตัวอย่างที่ 1)

เปอร์เซ็นต์เหล็กเสริม	0%	1%	2%	5%	8%
พื้นที่หน้าตัดคอนกรีต (มม ²)	91,800	90,900	90,000	87,500	85,000
พื้นที่เหล็กเสริม (มม ²)	0	900	1,800	4,300	6,800
โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต (นิวตัน/มิลลิเมตร ²)	28,000				
โมดูลัสยืดหยุ่นของเหล็กเสริม (นิวตัน/มิลลิเมตร ²)	200,000				
โมเมนต์ความเฉื่อยของคอนกรีต (เมตร ⁴)	0.001				
โมเมนต์ความเฉื่อยของเหล็กเสริม (เมตร ⁴)	0.0001				

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ การคืบ (Creep coefficient) และสัมประสิทธิ์ อายุ (Aging coefficient) ในช่วงเวลาต่าง ๆ ของคอนกรีต (ตัวอย่างที่ 1)

เวลาเริ่มต้น ที่พิจารณา ($t_{(i)}$, วัน)	เวลาสุดท้ายที่พิจารณา ($t_{(i+1)}$, วัน)							
	$\phi(t_{(i+1)}, t_{(i)})$				$\chi(t_{(i+1)}, t_{(i)})$			
	40	70	100	∞	40	70	100	∞
10	1	1.4	1.8	3	0.97619	0.91111	0.82	0.80
40		0.4	0.8	2.1	1	0.93333	0.84	0.80
70			0.4	1.8		1	0.90	0.80
100				1.6			1	0.80

เมื่อเปรียบเทียบผลการหดตัวที่ได้จากงานวิจัยนี้วิธีที่ 1 ถึงวิธีที่ 3 กับวิธีของ Beasley (1994) สำหรับกรณีของเหล็กเสริม 2% ดังแสดงไว้ตามตารางที่ (4.3) จะเห็นว่าวิธีที่ 1 และวิธีที่ 2 ที่คำนวณโดยพิจารณาค่าโมดูลัสปรับแก้อายุตามเวลาที่มีน้ำหนักกระทำคงค้างจะให้ผลลัพธ์ใกล้เคียงเกือบเท่ากับวิธีการของ Beasley (1994) มาก ส่วนวิธีที่ 3 จะใช้ค่าโมดูลัสปรับแก้อายุเป็นค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์การคืบ และสัมประสิทธิ์อายุในช่วงเวลาที่พิจารณานั้นให้ค่าผิดพลาดไปจากวิธีของ Beasley (1994) อยู่ประมาณ 1% - 3% ในช่วงเวลาแรก ๆ และ 7% ที่เวลาอนันต์

เป็นที่น่าสังเกตว่าผลการวิเคราะห์ที่ได้ค่าการหดตัวที่เวลา 40 , 70 , 100 และเวลาอนันต์เป็น 140% , 170% , 180% และ 300% ของค่าการหดตัวเริ่มแรกเมื่อเวลา 10 วัน (= t_0) ซึ่งใกล้เคียงกับค่าของ $\phi(t, t_0)$ ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณเหล็กเสริมมีน้อยทำให้ผลต่อการเปลี่ยนตำแหน่งไม่มาก นอกจากนี้จะเห็นว่าผลการคืบของคอนกรีตที่เกิดขึ้นภายใต้น้ำหนักบรรทุกคงค้างในชั้นส่วนในช่วง 3 เดือนแรกจะมีค่าประมาณ 60% หลังจากนั้นผลการคืบในระยะยาวจะเริ่มมีค่าน้อยลงมาก ตามทฤษฎีค่าการหดตัวจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติและปริมาณเหล็กเสริมที่ใช้ในคอนกรีต เนื่องจากเหล็กมีคุณสมบัติที่ไม่แปรเปลี่ยนตามเวลาภายใต้น้ำหนักคงค้าง จึงเป็นส่วนช่วยเหนี่ยวรั้งการหดตัวของคอนกรีตจากผลการคืบในโครงสร้าง ทำให้เกิดการปรับกระจายแรงภายในคอนกรีตและเหล็กเสริมอีกด้วย ผลของการปรับกระจายสำหรับกรณีเหล็กเสริม 2% แสดงไว้ในตารางที่ (4.4) และ (4.5) และกราฟรูปที่ (4.3) และ (4.4) จะเห็นว่าแรงภายในที่เกิดขึ้นในคอนกรีตจะลดลงเมื่อเวลามากขึ้น โดยที่แรงภายในส่วนที่ลดลงจะถูกกระจายไปยังเหล็กเสริมทำให้เกิดหน่วยแรงในเหล็กเสริมเพิ่มมากขึ้นตามเวลา

ตารางที่ 4.3 แสดงการเปรียบเทียบการหดตัวตามเวลาของเสาโดยวิธีต่าง ๆ กับวิธีของ Beasley (1994) (ตัวอย่างที่ 1)

ช่วงเวลา วิเคราะห์ (วัน)	การหดตัวของเสาภายใต้น้ำหนักคงค้าง (มม.)				เปรียบเทียบความคลาดเคลื่อน (%)		
	วิธีการของ Beasley(1994)	วิธีที่ใช้ในงานวิจัยนี้			Beasley และวิธี 1	Beasley และวิธี 2	Beasley และวิธี 3
		วิธีที่ 1	วิธีที่ 2	วิธีที่ 3			
10	0.3825618	0.382562	0.382562	0.382562	0.00	0.00	0.00
10 - 40	0.6733429	0.673341	0.673341	0.673343	0.00	0.00	0.00
10 - 70	0.7753791	0.775379	0.775379	0.784909	0.00	0.00	1.21
10 - 100	0.8760256	0.876025	0.875978	0.898305	0.00	0.01	2.48
10 - ∞	1.126341	1.126341	1.126298	1.210555	0.00	0.00	6.96
หมายเหตุ	วิธีที่ 1 วิธีการวิเคราะห์โดยพิจารณาเวลาช่วงเดียว วิธีที่ 2 วิธีการวิเคราะห์อย่างละเอียดตามช่วงเวลาที่พิจารณา วิธีที่ 3 วิธีการวิเคราะห์โดยประมาณตามช่วงเวลาที่พิจารณา ** ตัวเลขทศนิยมหลายตำแหน่งที่แสดงในตารางเพื่อให้เห็นความแตกต่างในการคำนวณ **						

ตารางที่ 4.4 แสดงการเปรียบเทียบแรงตามเวลาภายในเหล็กเสริมของเสา โดยวิธีต่าง ๆ กับวิธีของ Beasley (1994) (ตัวอย่างที่ 1)

ช่วงเวลาที่วิเคราะห์ (วัน)	แรงภายในของเหล็กเสริม (นิวตัน)				เปรียบเทียบความคลาดเคลื่อน (%)		
	วิธีการของ Beasley(1994)	วิธีที่ใช้ในงานวิจัยนี้			Beasley และวิธี 1	Beasley และวิธี 2	Beasley และวิธี 3
		วิธีที่ 1	วิธีที่ 2	วิธีที่ 3			
10	27,545	27,545	27,545	27,545	0.00	0.000	0.00
10 - 40	48,481	48,481	48,481	48,481	0.00	0.000	0.00
10 - 70	55,827	55,827	55,827	56,513	0.00	0.000	1.21
10 - 100	63,074	63,074	63,070	64,678	0.00	0.01	2.48
10 - ∞	81,097	81,097	81,094	87,160	0.00	0.00	6.96
หมายเหตุ	วิธีที่ 1 วิธีการวิเคราะห์โดยพิจารณาเวลาช่วงเดียว วิธีที่ 2 วิธีการวิเคราะห์ห้อยลงละเอียดตามช่วงเวลาที่พิจารณา วิธีที่ 3 วิธีการวิเคราะห์โดยประมาณตามช่วงเวลาที่พิจารณา						

ตารางที่ 4.5 แสดงการเปรียบเทียบแรงตามเวลาภายในคอนกรีตของเสา โดยวิธีต่าง ๆ กับวิธีของ Beasley (1994) (ตัวอย่างที่ 1)

ช่วงเวลาที่วิเคราะห์ (วัน)	แรงภายในของคอนกรีต (นิวตัน)				เปรียบเทียบความคลาดเคลื่อน (%)		
	วิธีการของ Beasley(1994)	วิธีที่ใช้ในงานวิจัยนี้			Beasley และวิธี 1	Beasley และวิธี 2	Beasley และวิธี 3
		วิธีที่ 1	วิธีที่ 2	วิธีที่ 3			
10	172,455	172,455	172,455	172,455	0.00	0.00	0.00
10 - 40	151,519	151,519	151,519	151,519	0.00	0.00	0.00
10 - 70	144,173	144,173	144,173	143,487	0.00	0.00	0.48
10 - 100	136,926	136,926	136,930	135,322	0.00	0.00	1.17
10 - ∞	118,903	118,903	118,906	112,840	0.00	0.00	5.10
หมายเหตุ	วิธีที่ 1 วิธีการวิเคราะห์โดยพิจารณาเวลาช่วงเดียว วิธีที่ 2 วิธีการวิเคราะห์ห้อยลงละเอียดตามช่วงเวลาที่พิจารณา วิธีที่ 3 วิธีการวิเคราะห์โดยประมาณตามช่วงเวลาที่พิจารณา						

นอกจากการศึกษามลปริมาณเหล็กเสริม 2% ของพื้นที่หน้าตัดคอนกรีตแล้ว ในตัวอย่างนี้ยังได้ศึกษาถึงพฤติกรรมการแปรเปลี่ยนปริมาณเหล็กเสริม คือ 0% , 1% , 2% , 5% และ 8% พบว่าการเพิ่มปริมาณเหล็กเสริมมากขึ้นจะช่วยให้เสาเกิดการหดตัวลดลง และแรงภายในเหล็กเสริมเพิ่มขึ้น ตามตารางที่ (4.6) - (4.7) และ (4.9) โดยที่พฤติกรรมไม่ได้เป็นแบบเชิงเส้นแต่จะมีอัตราการลดลงมากในช่วงแรก ๆ ที่เหล็กเสริม 1% การหดตัว

ลดลง 20% อัตราการลดลงนี้จะเริ่มน้อยลงเรื่อย ๆ เหลือ 5% ที่เหล็กเสริม 8% ส่วนแรงอัดในคอนกรีตก็จะลดลงตามเวลาดังแสดงในรูปที่ (4.5) ในทำนองคล้ายกับการหดตัวของเสา สำหรับหน่วยแรงภายในเหล็กเสริม

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าการหดตัวของเสา และเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างที่คำนวณโดยวิธีของ Beasley (1994)

ช่วงเวลา วิเคราะห์ (วัน)	การหดตัวของเสาตามเวลา (มม.)					เปอร์เซ็นต์การลดลงที่แตกต่างกัน			
	เปอร์เซ็นต์การแปรเปลี่ยนเหล็กเสริม					0%-1%	0%-2%	0%-5%	0%-8%
	0%	1%	2%	5%	8%				
10	0.435	0.407	0.383	0.328	0.287	6.41	12.05	24.66	34.10
10 - 40	0.870	0.759	0.673	0.512	0.413	12.73	22.60	41.11	52.49
10 - 70	1.044	0.890	0.775	0.570	0.450	14.74	25.72	45.39	56.88
10 - 100	1.218	1.020	0.876	0.627	0.486	16.26	28.07	48.53	60.06
10 - ∞	1.740	1.370	1.126	0.749	0.558	21.28	35.26	56.96	67.94

ตารางที่ 4.7 แสดงค่าการหดตัวของเสา และเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างที่คำนวณโดยวิธีประมาณ

ช่วงเวลา วิเคราะห์ (วัน)	การหดตัวของเสาตามเวลา (มม.)					เปอร์เซ็นต์การลดลงที่แตกต่างกัน			
	เปอร์เซ็นต์การแปรเปลี่ยนเหล็กเสริม					0%-1%	0%-2%	0%-5%	0%-8%
	0%	1%	2%	5%	8%				
10	0.435	0.407	0.383	0.328	0.287	6.44	11.95	24.60	34.02
10 - 40	0.870	0.759	0.674	0.513	0.414	12.76	22.53	41.03	52.41
10 - 70	1.044	0.898	0.788	0.584	0.463	13.98	24.52	44.06	55.65
10 - 100	1.218	1.035	0.899	0.652	0.509	15.02	26.19	46.47	58.21
10 - ∞	1.740	1.431	1.213	0.836	0.629	17.76	30.29	51.95	63.85

ตารางที่ 4.8 แสดงเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างวิธี Beasley (1994) และวิธีโดยประมาณที่เวลาสุดท้าย

ปริมาณเหล็กเสริม	ค่าการหดตัวที่เวลาสุดท้าย (มม.)		% ความแตกต่าง
	วิธีของ Beasley (1994)	วิธีโดยประมาณ	
0%	1.740	1.740	0
1%	1.370	1.431	4.26
2%	1.126	1.213	7.17
5%	0.749	0.836	10.41
8%	0.558	0.629	11.29

ที่เวลาสุดท้ายจะมีค่าเท่ากับ 2-3.5 เท่าของหน่วยแรงเริ่มแรก ดังแสดงในรูปที่ (4.6) ดังนั้นถ้าใช้ปริมาณเหล็กเสริมในเสาน้อยกว่า 1% อาจทำให้เหล็กเสริมในคอนกรีตถึงจุดคดาก (Yield Point) ได้ ส่วนการเปรียบเทียบผล การหดตัวระหว่างวิธีโดยประมาณกับวิธีของ Beasley (1994) ดังแสดงในรูปที่ (4.7) จะให้ค่าความคลาดเคลื่อนมากขึ้นตามปริมาณเหล็กเสริมที่เพิ่มขึ้นตามตารางที่ (4.8) โดยวิธีประมาณจะให้ค่าสูงกว่าค่าที่คำนวณ ได้จริงประมาณ 11 % ที่ปริมาณเหล็กเสริม 8%

ตารางที่ 4.9 แสดงแรงตามเวลาภายในเหล็กเสริมของเสา โดยวิธีของ Beasley (1994) (ตัวอย่างที่ 1)

เวลาที่ใช้ใน การวิเคราะห์ (วัน)	แรงภายในเหล็กเสริม (นิวตัน)				
	0%	1%	2%	5%	8%
10	0	14,655	27,544	56,369	77,965
10 - 40	0	27,330	48,481	88,115	112,424
10 - 70	0	32,043	55,827	98,056	122,448
10 - 100	0	36,715	63,074	107,828	132,320
10 - ∞	0	49,305	81,097	128,811	151,699

ตารางที่ 4.10 แสดงแรงตามเวลาภายในคอนกรีตของเสา โดยวิธีของ Beasley (1994) (ตัวอย่างที่ 1)

เวลาที่ใช้ใน การวิเคราะห์ (วัน)	แรงภายในคอนกรีต (นิวตัน)				
	0%	1%	2%	5%	8%
10	200,000	185,345	172,456	143,631	122,035
10 - 40	200,000	172,670	151,519	111,885	87,576
10 - 70	200,000	167,957	144,173	101,944	77,552
10 - 100	200,000	163,285	136,926	92,172	67,680
10 - ∞	200,000	150,695	118,903	71,189	48,301

4.3 ตัวอย่างที่ 2 เสาคอนกรีตเสริมเหล็กรับน้ำหนักบรรทุกคงค้าง 4 ขั้นตอน

ในตัวอย่างที่ 2 เป็นตัวอย่างจากหนังสือ Gilbert (1988) ซึ่งพิจารณาโครงสร้างเสาเหมือนกับตัวอย่าง ที่ 1 แต่ในระหว่างช่วงเวลาที่วิเคราะห์จะมีน้ำหนักกระทำเพิ่มขึ้นตามขั้นตอน ดังแสดงในรูปที่ (4.2) ขั้นตอนการก่อสร้างจะแบ่งเป็น 4 ขั้นตอนคือ ในขั้นตอนที่ 1 โครงสร้างจะถูกถอดค้ำยันออกเมื่อคอนกรีตอายุได้ 10 วัน ($t_1 = 10$ วัน) แล้วรับน้ำหนักกระทำทันที 200,000 นิวตัน หลังจากนั้นอีก 30 วันจะมีน้ำหนักกระทำ เพิ่มขึ้นอีก 250,000 นิวตัน กระทำคงที่ ($t_2 = 40$ วัน) จนถึงวันที่ 70 ($t_3 = 70$ วัน) มีน้ำหนักเพิ่มขึ้นอีก 300,000 นิวตัน และในขั้นตอนสุดท้ายวันที่ 100 ($t_4 = 100$ วัน) มีน้ำหนักเพิ่มขึ้นอีก 250,000 นิวตัน โดยถือว่าน้ำหนัก

กระทำทั้งหมดนี้คงค้างตลอดเวลานับตั้งแต่เริ่มกระทำ สำหรับวิธีการวิเคราะห์ในงานวิจัยที่นำมาใช้กับตัวอย่างนี้จะแบ่งเป็น 2 วิธีคือ

1. วิธีวิเคราะห์โครงสร้างโดยใช้เวลาเพียงช่วงเดียว เป็นวิธีการวิเคราะห์ที่พิจารณาหน้าหน้าบทบรรทุกที่กระทำเพิ่ม เมื่อเวลาใด ๆ ว่ากระทำตั้งแต่เวลาตั้งต้นไปจนถึงเวลาสุดท้ายที่ต้องการ (โดยไม่มีแบ่งชั้นเวลาในการคำนวณ) แล้วนำผลมารวมกัน

2. วิธีการวิเคราะห์โดยประมาณ เป็นวิธีการวิเคราะห์โครงสร้างตามเวลาอย่างเป็นขั้นตอน โดยใช้ค่าโมดูลัสปรับแก้อายุในแต่ละช่วงเวลาที่พิจารณาเป็นค่าเฉลี่ยแทนค่าจริง

ส่วนค่าสัมประสิทธิ์การคืบ , สัมประสิทธิ์อายุ และค่าความเครียดหนืดตัวที่ใช้ในการวิเคราะห์แสดงได้ตามตารางที่ (4.2) และ (4.11) ตามลำดับ

การวิเคราะห์ผลจากความเครียดหนืดตัวในช่วงคิดผลเชิงเวลาจะใช้วิธีแยกวิเคราะห์ต่างหากไม่พิจารณารวมกับผลจากการคืบ โดยผลลัพธ์สุดท้ายที่ได้จะนำมารวมกันในภายหลัง ผลการวิเคราะห์จะทำการเปรียบเทียบระหว่างโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในงานวิจัยนี้กับวิธีแรงใน Gilbert (1988)

ตารางที่ 4.11 แสดงค่าความเครียดหนืดตัวของคอนกรีตที่เวลาต่าง ๆ (ตัวอย่างที่ 2)

เวลาที่พิจารณา (วัน)	10 - 40	10 - 70	10 - 100	10 - ∞
ค่าความเครียดหนืดตัว	0.000205	0.000340	0.000400	0.000600

ตารางที่ 4.12 แสดงค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตที่เวลาต่าง ๆ (ตัวอย่างที่ 2)

โมดูลัสยืดหยุ่น ณ เวลาต่าง ๆ (นิวตัน / มิลลิเมตร ²)	เวลาที่พิจารณา (วัน)			
	10	40	70	100
คอนกรีต	25,044	28,727	29,398	29,680
เหล็ก	200,000	200,000	200,000	200,000

ผลรวมจากแรงภายในและการเปลี่ยนตำแหน่งทั้งหมดที่เกิดขึ้นในโครงสร้าง ณ เวลาต่าง ๆ ที่ได้จากงานวิจัยนี้ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับวิธีแรง Gilbert (1988) ดังแสดงในตารางที่ (4.13) , (4.14) และ (4.15) พบว่า วิธีการวิเคราะห์ที่ได้จากวิธีที่ 1 ในงานวิจัยนี้ให้ค่าเหมือนกับวิธีแรงใน Gilbert (1988) ทุกประการ ส่วนวิธีที่ 2 ซึ่งเป็นวิธีการหาค่าโดยประมาณจะให้ค่าผิดพลาดไปบ้าง โดยในช่วงเวลาต้น ๆ ช่วงห่างของเวลาไม่มากนักจะให้ค่าความผิดพลาดไปประมาณ 1% - 2% และช่วงเวลาสุดท้ายจาก 100 วัน ถึงเวลานั้นผิดพลาดประมาณ 4% ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นมีค่าน้อยลงเมื่อเทียบกับตัวอย่างแรกเนื่องจากค่าโมดูลัสยืดหยุ่นปรับแก้อายุของคอนกรีตในช่วงเวลาสุดท้ายที่มีหน้าหน้ากระทำ 4 ชุด จะใช้ค่าโมดูลัสปรับแก้อายุเฉลี่ยแทนซึ่งจะเฉลี่ยกว่าที่ใช้ในวิธีแรก

ตารางที่ 4.13 แสดงการเปรียบเทียบการหดตัวตามเวลาของเสาโดยวิธีในงานวิจัยกับวิธี แรง Gilbert (1988)
(ตัวอย่างที่ 2)

ช่วงเวลาที่ วิเคราะห์ (วัน)	การหดตัวของเสาภายใต้น้ำหนักคงค้าง (มม.)			เปรียบเทียบความคลาดเคลื่อน(%)	
	วิธีแรง Gilbert (1988)	วิธีที่ใช้ในงานวิจัยนี้		Gilbert (1988) กับวิธีที่ 1	Gilbert (1988) กับวิธีที่ 2
		วิธีที่ 1	วิธีที่ 2		
10	0.382561	0.382561	0.382561	0.00	0.00
10 - 40	1.452434	1.452434	1.452435	0.00	0.00
40	1.876820	1.876820	1.876736	0.00	0.01
10 - 70	2.589107	2.589107	2.607606	0.00	0.71
70	3.088139	3.088139	3.106638	0.00	0.60
10 - 100	3.676495	3.676495	3.727487	0.00	1.37
100	4.088873	4.088873	4.139865	0.00	1.23
10 - ∞	6.234450	6.234450	6.494632	0.00	4.01
หมายเหตุ	วิธีที่ 1 วิธีวิเคราะห์โครงสร้างโดยใช้เวลาช่วงเดียว วิธีที่ 2 วิธีวิเคราะห์โดยประมาณตามช่วงเวลาที่พิจารณา ** ตัวเลขทศนิยมหลายตำแหน่งที่แสดงในตารางเพื่อให้เห็นความแตกต่างในการคำนวณ **				

ตารางที่ 4.14 แสดงการเปรียบเทียบแรงภายในเหล็กเสริมตามเวลาของเสาโดยวิธีในงานวิจัยนี้กับวิธีแรง
Gilbert (1988) (ตัวอย่างที่ 2)

ช่วงเวลาที่ วิเคราะห์ (วัน)	แรงภายในเหล็กเสริม (นิวตัน)			เปรียบเทียบความคลาดเคลื่อน(%)	
	วิธีแรง Gilbert (1988)	วิธีที่ใช้ในงานวิจัยนี้		Gilbert (1988) และวิธีที่ 1	Gilbert (1988) และวิธีที่ 2
		วิธีที่ 1	วิธีที่ 2		
10	27,544	27,544	27,544	0.00	0.00
10 - 40	104,575	104,575	104,575	0.00	0.00
40	135,131	135,131	135,131	0.00	0.01
10 - 70	186,416	186,416	187,748	0.00	0.71
70	222,346	222,346	223,678	0.00	0.60
10 - 100	264,708	264,708	268,379	0.00	1.37
100	294,399	294,399	298,070	0.00	1.23
10 - ∞	448,880	448,880	467,614	0.00	4.01
หมายเหตุ	วิธีที่ 1 วิธีวิเคราะห์โครงสร้างโดยใช้เวลาช่วงเดียว วิธีที่ 2 วิธีวิเคราะห์โดยประมาณตามช่วงเวลาที่พิจารณา				

ตารางที่ 4.15 แสดงการเปรียบเทียบแรงภายในคอนกรีตตามเวลาของเสา โดยวิธีในงานวิจัยนี้กับวิธีของ Gilbert (1988) (ตัวอย่างที่ 2)

ช่วงเวลาที่วิเคราะห์ (วัน)	แรงภายในคอนกรีต (นิวตัน)			เปรียบเทียบความคลาดเคลื่อน (%)	
	วิธีแรง Gilbert (1988)	วิธีที่ใช้ในงานวิจัยนี้		Gilbert (1988) และวิธีที่ 1	Gilbert (1988) และวิธีที่ 2
		วิธีที่ 1	วิธีที่ 2		
10	172,456	172,456	172,456	0.00	0.00
10 - 40	95,425	95,425	95,425	0.00	0.00
40	314,869	314,869	314,869	0.00	0.00
10 - 70	263,584	263,584	262,252	0.00	0.51
70	527,654	527,654	526,322	0.00	0.25
10 - 100	485,292	485,292	481,621	0.00	0.76
100	705,601	705,601	701,930	0.00	0.52
10 - ∞	551,120	551,120	532,386	0.00	3.40
หมายเหตุ	วิธีที่ 1 วิธีวิเคราะห์โครงสร้างโดยใช้เวลาช่วงเดียว วิธีที่ 2 วิธีการวิเคราะห์โดยประมาณตามช่วงเวลาที่พิจารณา				

4.4 ตัวอย่างที่ 3 โครงสร้างพอร์ทัล (Portal frame) 1 ชั้น

พิจารณาโครงสร้างพอร์ทัลชั้นเดียว (จากหนังสือ Neville และคณะฯ (1983)) ดังแสดงในรูปที่ (4.10) โครงสร้างนี้ประกอบด้วยคานคอนกรีตล้วนและเสาเหล็ก มีช่วงความยาวของคานเท่ากับ 12 เมตร และความสูงของโครงสร้างเท่ากับ 4 เมตร ฐานรองรับเป็นแบบยึดหมุน (Hinge support) โดยคุณสมบัติของวัสดุชิ้นส่วนแสดงดังตารางที่ (4.16) และให้โครงสร้างรับน้ำหนักกระทำแผ่กระจายสม่ำเสมอบนคานขนาด 5,000 นิวตัน / เมตร ค่าของสัมประสิทธิ์การคืบที่ใช้ในการวิเคราะห์อ้างอิงตามคณะกรรมการของ ACI 209 (1985) โดยไม่คำนึงถึงผลการหดตัวจากการสูญเสียความชื้น ผลการวิเคราะห์จะเปรียบเทียบระหว่างโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในงานวิจัยกับวิธีแรง Neville และคณะฯ (1983)

ตารางที่ 4.16 แสดงคุณสมบัติต่าง ๆ ของวัสดุ (ตัวอย่างที่ 3)

ชนิดวัสดุ	โมดูลัสยืดหยุ่น (นิวตัน / เมตร ²)	พื้นที่หน้าตัด (เมตร ²)	โมเมนต์ความเฉื่อย (เมตร ⁴)	สัมประสิทธิ์การคืบ ϕ	สัมประสิทธิ์อายุ χ
1	2.000×10^{11}	100	0.00018	0.00	0.00
2	2.491055×10^{10}	1000	0.0100	2.50	0.82

ในการวิเคราะห์โครงสร้างภายใต้น้ำหนักบรรทุกคงค้างแผ่กระจายสม่ำเสมอบนคาน 5,000 นิวตัน / เมตร จะพิจารณาผลของแรงภายในโครงสร้างออกเป็น 2 ช่วงคือ ช่วงอีลาสติก และช่วงผลตามเวลา ระยะเวลาที่มีน้ำหนักคงค้างกระทำคือ 28 วัน ถึง 30 ปี ซึ่งจะให้ค่าสัมประสิทธิ์การคืบ และสัมประสิทธิ์อายุคงที่เท่ากับ 2.5 และ 0.82 ตามลำดับ โดยผลของโมเมนต์ลบที่หัวเสา และโมเมนต์บวกที่กึ่งกลางคานที่เกิดขึ้นทั้งหมดแสดงไว้ดังตารางที่ (4.17) การนำเสนอนี้จะเปรียบเทียบผลที่วิเคราะห์ได้จากโปรแกรมโดยวิธีสตีเฟนสโดยตรง กับวิธีของแรง Neville และคณะฯ (1983) ซึ่งให้ค่าความคลาดเคลื่อนต่างกันน้อยมาก

จากตารางที่ (4.17) แสดงให้เห็นว่าผลเชิงเวลาจากการคืบ ทำให้เกิดการปรับกระจายโมเมนต์ลบบนคานที่หัวเสาเปลี่ยนแปลงจากเดิมในช่วงอีลาสติก เท่ากับ 23.5922 kN - m เป็น 43.4083 kN - m หรือเพิ่มขึ้นอีก 19.8161 kN - m คิดเป็นร้อยละ 84 % ในขณะที่โมเมนต์บวกที่กึ่งกลางคานเปลี่ยนแปลงจากเดิม 66.0408 kN - m เป็น 46.5917 kN - m ลดลง 30 % ดังแสดงในรูปที่ (4.11) จากผลวิเคราะห์นี้แสดงให้เห็นว่า ถ้าพิจารณาถึงผลเชิงเวลาจากการคืบในคอนกรีตจะทำให้สตีเฟนสของชิ้นส่วนที่เป็นคอนกรีตอ่อนลงหรือลดลง ในขณะที่สตีเฟนสของเสาเหล็กยังเหมือนเดิมทำให้ความสัมพันธ์ระหว่างสตีเฟนสในเสาเทียบกับคานเพิ่มมากขึ้น จึงเกิดการปรับกระจายโมเมนต์ภายในเพิ่มมากขึ้นที่หัวเสาและลดลงที่กึ่งกลางคาน

ตารางที่ 4.17 แสดงการเปรียบเทียบค่าโมเมนต์ลบบนคานที่หัวเสา และโมเมนต์บวกที่กึ่งกลางคานในช่วงเวลา 28 วัน ถึง 30 ปี ระหว่างงานวิจัยนี้กับวิธีแรง Neville และคณะฯ (1983) (ตัวอย่างที่ 3)

	การวิเคราะห์ในช่วงอีลาสติก		การวิเคราะห์เชิงเวลา		ค่าความคลาดเคลื่อน (%)
	วิธีแรงของ Neville (kN - m)	ในงานวิจัยนี้ (kN - m)	วิธีแรงของ Neville (kN - m)	ในงานวิจัยนี้ (kN - m)	
โมเมนต์ลบบนคาน (หัวเสา)	- 23.5922	- 23.5922	- 43.4084	- 43.4083	0.00
โมเมนต์บวก (กึ่งกลางคาน)	+ 66.4078	+ 66.4078	+ 46.5917	+ 46.5917	0.00

4.5 ตัวอย่างที่ 4 อาคารใบหยก 2

ตัวอย่างสุดท้ายเป็นอาคารสูง ซึ่งจะแตกต่างกับ 3 ตัวอย่างแรกโดยในตัวอย่างนี้จะพิจารณาขั้นตอนการก่อสร้างที่เพิ่มขึ้นตามจำนวนชั้น และน้ำหนักบรรทุกกระทำ ลักษณะโครงสร้างโดยทั่ว ๆ ไปเป็นอาคาร 90 ชั้น ความสูง 319.2 เมตร ดังรูปที่ (4.12) อาคารมีความชะลูดมากในทิศทางสั้น (ประมาณ 6.4:1 เมื่อคิดความกว้างฐาน 50 เมตร) และรูปที่ (4.13) แสดงตัวอย่างแปลน ระบบโครงสร้างหลักเป็นระบบกล่องซ้อนกล่อง (Tube-in-tube) โดยที่กล่องภายนอกเป็นกล่องโครงถัก (Trussed tube) ซึ่งประกอบด้วยเสาใหญ่ 12 ต้นเรียงกันอยู่รอบพื้นที่สี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาด 33 เมตร X 33 เมตร มีคานขอบคูสิ่ 0.60 เมตร ยึดที่ชั้นต่าง ๆ และมีชั้น

ตารางที่ 4.18 แสดงคุณสมบัติต่าง ๆ และน้ำหนักบรรทุกกระทำตามแนวกั้นของเสา CA , CC และ CB
ในอาคารไบนัย 2 (ตัวอย่างที่ 4)

พื้นชั้น ที่	ความ สูง (m)	ระยะเวลาที่ มีน้ำหนัก บรรทุกจร (วัน)	น้ำหนัก บรรทุกจร (Ton)	ระยะ เวลาก่อ สร้าง (วัน)	น้ำหนัก คงที่ (Ton)	กำลังอัด คอนกรีต (ksc)	อัตรา ส่วน (W/C)	พื้นที่ต่อ ความลึก (m ² /m)	เส้นรอบรูป ต่อความ กว้าง (m/m)	ปริมาณ เหล็ก เสริม(%)
LGF	4.00	200	15.0 8.0	30 30	43.9 23.3	700 700	0.45 0.45	1.67 1.52	8.00 0.60	30.5 5.3
1	4.00	200	14.3 8.0	30 30	41.8 26.6	700 700	0.45 0.45	2.17 1.67	10.60 8.0	6.8 29.5
2	4.00	200	14.3 8.0	30 30	25.3 26.6	700 700	0.45 0.45	2.17 1.66	10.60 8.00	6.8 29.5
3	4.00	200	14.3 8.0	30 30	25.3 26.6	700 700	0.45 0.45	2.17 1.66	10.60 8.00	6.8 29.5
4	4.00	200	14.3 8.0	30 30	25.3 26.6	700 700	0.45 0.45	2.17 1.66	10.60 8.00	6.8 29.5
5	5.55	200	6.0 3.2	30 30	31.6 16.9	700 700	0.45 0.45	1.66 1.54	8.00 0.60	29.5 4.2
6	3.10	200	5.7 6.0	30 30	30.1 31.6	700 700	0.45 0.45	2.20 1.67	10.60 8.00	5.3 28.9
7	3.10	200	3.2 5.7	30 30	16.9 30.1	700 700	0.45 0.45	1.54 2.20	0.60 10.60	4.2 5.3
8	3.10	200	6.0 3.2	30 30	31.6 16.9	700 700	0.45 0.45	1.67 1.54	8.00 0.60	28.9 4.2
9	3.10	200	5.7 6.0	30 30	30.1 31.6	700 700	0.45 0.45	2.24 1.67	10.60 8.00	3.7 28.9
10	3.10	200	3.2 5.7	30 30	16.9 30.1	700 700	0.45 0.45	1.54 2.24	0.60 10.60	4.2 3.7
11	3.10	200	6.0 3.2	30 30	31.6 16.9	800 700	0.45 0.45	1.70 1.56	8.00 0.60	26.7 4.0
12	3.10	200	5.7 6.0	30 14	30.1 31.6	700 800	0.45 0.45	2.00 1.70	10.60 8.00	3.1 25.1
13	3.10	200	3.2 5.7	14 14	16.9 30.1	700 700	0.45 0.45	1.56 2.00	0.60 10.60	4.0 3.1
14	3.35	200	6.2 3.2	14 14	32.7 16.9	800 700	0.45 0.45	1.70 1.57	8.00 0.60	25.1 3.2
15	3.35	200	5.7 15.5	14 14	30.1 32.7	700 800	0.45 0.45	2.00 1.70	10.60 8.00	2.1 25.1
16	4.00	200	8.0 8.6	14 14	16.9 30.1	700 700	0.45 0.45	1.57 2.00	0.60 10.60	3.2 2.1
17	6.10	200	8.6 15.5	14 14	28.2 30.7	700 800	0.45 0.45	2.00 1.70	10.60 8.00	2.1 20.2
18	6.10	200	8.0 8.6	14 14	15.9 28.2	700 700	0.45 0.45	1.57 2.00	0.60 10.60	2.6 1.8
19	7.60	200	8.0 8.6	14 21	15.9 74.4	700 800	0.45 0.45	1.57 1.69	0.60 8.00	2.6 20.7
			8.6	21	68.4	700	0.45	2.00	10.60	1.5

ตารางที่ 4.18 (ต่อ) แสดงคุณสมบัติต่าง ๆ และน้ำหนักบรรทุกกระทำตามแนวแกนของเสา CA , CC และ CB
ในอาคารไพบย 2 (ตัวอย่างที่ 4)

พื้นชั้น ที่	ความ สูง (m)	ระยะเวลาที่มี น้ำหนัก บรรทุก (วัน)	น้ำหนัก บรรทุก (Ton)	ระยะ เวลาก่อ สร้าง (วัน)	น้ำหนัก คงที่ (Ton)	กำลังอัด คอนกรีต (ksc)	อัตรา ส่วน (W/C)	พื้นที่ต่อ ความลึก (m ² /m)	เส้นรอบรูป ต่อความ กว้าง (m/m)	ปริมาณ เหล็ก เสริม(%)
20	3.10	200	15.5	10	31.9	800	0.45	1.69	8.00	17.4
			7.1	10	17.3	700	0.45	1.57	0.60	1.6
21	3.10	200	5.1	10	16.3	700	0.45	2.01	10.60	1.5
			15.5	10	31.9	800	0.45	1.69	8.00	17.4
			7.1	10	17.3	700	0.45	1.57	0.60	1.6
22	3.10	200	5.1	10	16.3	700	0.45	2.01	10.60	1.5
			15.5	10	31.9	800	0.45	1.69	8.00	17.4
			7.1	10	17.3	700	0.45	1.57	0.60	1.6
23	3.10	200	5.1	10	16.3	700	0.45	2.01	10.60	1.5
			15.5	10	31.9	800	0.45	1.69	8.00	17.4
			7.1	10	17.3	700	0.45	1.57	0.60	1.6
24	3.10	200	5.1	10	16.3	700	0.45	2.01	10.60	1.5
			15.5	10	31.9	800	0.45	1.69	8.00	17.4
			7.1	10	17.3	700	0.45	1.57	0.60	1.6
25	3.10	200	5.1	10	16.3	700	0.45	2.01	10.60	1.5
			15.5	10	31.9	800	0.45	1.69	8.00	17.4
			7.1	10	17.3	700	0.45	1.57	0.60	1.6
26	3.10	200	5.1	10	16.3	700	0.45	2.01	10.60	1.5
			15.5	10	31.9	800	0.45	1.87	8.00	11.7
			7.1	10	17.3	700	0.45	1.57	0.60	1.6
27	3.10	200	5.1	10	16.3	700	0.45	2.01	10.60	1.5
			15.5	10	31.9	800	0.45	1.87	8.00	11.7
			7.1	10	17.3	700	0.45	1.57	0.60	1.6
28	3.10	200	5.1	10	16.3	700	0.45	2.01	10.60	1.5
			15.5	10	31.9	800	0.45	1.87	8.00	11.7
			7.1	10	17.3	700	0.45	1.57	0.60	1.6
29	3.10	200	5.1	10	16.3	700	0.45	2.01	10.60	1.5
			15.5	10	31.9	800	0.45	1.87	8.00	11.7
			7.1	10	17.3	700	0.45	1.57	0.60	1.6
30	3.10	200	5.1	10	16.3	700	0.45	2.01	10.60	1.5
			15.5	10	31.9	800	0.45	1.87	8.00	11.7
			7.1	10	17.3	700	0.45	1.57	0.60	1.6
31	3.10	200	5.1	10	16.3	700	0.45	2.01	10.60	1.5
			15.5	10	31.9	800	0.45	1.87	8.00	10.2
			7.1	10	17.3	700	0.45	1.57	0.60	1.6
32	3.10	200	5.1	10	16.3	700	0.45	2.01	10.60	1.5
			15.5	10	31.9	800	0.45	1.87	8.00	10.4
			7.1	10	17.3	700	0.45	1.57	0.60	1.6
33	3.10	200	5.1	10	16.3	700	0.45	2.01	10.60	1.5
			15.5	10	31.9	800	0.45	1.87	8.00	10.4
			7.1	10	17.3	700	0.45	1.57	0.60	1.6
34	3.10	200	5.1	10	16.3	700	0.45	2.01	10.60	1.5
			15.5	10	31.9	800	0.45	1.87	8.00	10.4
			7.1	10	17.3	700	0.45	1.57	0.60	1.6
35	3.10	200	5.1	10	16.3	700	0.45	2.01	10.60	1.5
			15.5	10	31.9	800	0.45	1.87	8.00	10.4
			7.1	10	17.3	700	0.45	1.57	0.60	1.6
36	3.10	200	4.0	10	16.3	700	0.45	2.01	10.60	1.5
			15.0	10	31.9	800	0.45	1.87	8.00	10.4
			4.2	10	11.6	700	0.45	1.57	0.60	1.6
37	3.10	200	15.5	10	31.9	800	0.45	1.87	8.00	10.4
			4.2	10	11.6	700	0.45	1.57	0.60	1.6
38	3.10	200	15.5	10	31.9	800	0.45	1.87	8.00	10.4
			4.2	10	11.6	700	0.45	1.57	0.60	1.6
39	3.10	200	15.5	10	31.9	800	0.45	1.87	8.00	10.4
			4.2	10	11.6	700	0.45	1.57	0.60	1.6
40	3.10	200	15.5	10	31.9	800	0.45	1.87	8.00	10.4
			4.2	10	11.6	700	0.45	1.57	0.60	1.6
41	3.10	200	15.5	10	31.9	800	0.45	1.87	8.00	10.4
			4.2	10	11.6	700	0.45	1.57	0.60	1.6

ตารางที่ 4.18 (ต่อ) แสดงคุณสมบัติต่าง ๆ และน้ำหนักบรรทุกกระทำตามแนวแกนของเสา CA , CC และ CB
ในอาคารไบกย 2 (ตัวอย่างที่ 4)

พื้นที่ ที่	ความ สูง (m)	ระยะเวลาที่ มีน้ำหนัก บรรทุก (วัน)	น้ำหนัก บรรทุก (Ton)	ระยะ เวลาถือ สร้าง (วัน)	น้ำหนัก คงที่ (Ton)	กำลังอัด คอนกรีต (ksc)	อัตรา ส่วน (W/C)	พื้นที่ต่อ ความลึก (m ² /m)	เส้นรอบรูป ต่อความ กว้าง (m/m)	ปริมาณ เหล็ก เสริม(%)
42	3.10	200	15.5	10	31.9	800	0.45	1.87	8.00	10.4
			4.2	10	11.6	700	0.45	1.57	0.60	1.6
43	3.10	200	15.5	10	31.9	800	0.45	1.87	8.00	9.0
			4.2	10	11.6	700	0.45	1.57	0.60	1.6
44	3.10	200	15.5	10	31.9	800	0.45	1.87	8.00	9.0
			4.2	10	11.6	700	0.45	1.57	0.60	1.6
45	3.10	200	15.5	10	31.9	800	0.45	1.87	8.00	9.0
			4.2	10	11.6	700	0.45	1.57	0.60	1.6
46	3.10	200	15.5	10	31.9	800	0.45	1.87	8.00	9.0
			4.2	10	11.6	700	0.45	1.57	0.60	1.6
47	3.10	200	15.5	10	31.9	800	0.45	1.87	8.00	9.0
			4.2	10	11.6	700	0.45	1.57	0.60	1.6
48	3.10	200	15.5	10	31.9	800	0.45	1.87	8.00	9.0
			4.2	10	11.6	700	0.45	1.57	0.60	1.6
49	3.10	200	15.5	10	31.9	800	0.45	1.87	8.00	9.0
			4.2	10	11.6	700	0.45	1.57	0.60	1.6
50	3.10	200	15.5	10	31.9	800	0.45	1.87	8.00	9.0
			4.2	10	11.6	700	0.45	1.57	0.60	1.6
51	3.10	200	15.5	10	31.9	800	0.45	1.87	8.00	8.5
			4.2	10	11.6	700	0.45	1.57	0.60	1.6
52	3.10	200	23.2	10	34.9	800	0.45	1.87	8.00	8.5
				10			0.45			7.9
53	3.10	200	13.4	10	28.6	800	0.45	1.87	8.00	8.5
				10			0.45			7.9
54	3.10	200	12.4	10	26.5	800	0.45	1.87	8.00	8.5
				10			0.45			7.9
55	3.10	200	11.3	10	24.5	800	0.45	1.87	8.00	8.5
				10			0.45			7.9
56	3.10	200	11.3	10	24.5	800	0.45	1.87	8.00	8.5
				10			0.45			7.9
57	3.10	200	11.3	10	24.5	800	0.45	1.87	8.00	8.5
				10			0.45			7.9
58	3.10	200	11.3	10	24.5	800	0.45	1.87	8.00	8.5
				10			0.45			7.9
59	3.10	200	11.3	10	24.5	800	0.45	1.87	8.00	8.5
				10			0.45			7.9
60	3.10	200	11.3	10	24.5	800	0.45	1.87	8.00	8.5
				10			0.45			7.9
61	3.10	200	11.3	10	24.5	700	0.45	1.92	8.00	5.6
				10			0.45			5.6
62	3.10	200	11.3	10	24.5	700	0.45	1.92	8.00	5.6
				10			0.45			5.6

ตารางที่ 4.18 (ต่อ) แสดงคุณสมบัติต่าง ๆ และน้ำหนักบรรทุกกระทำตามแนวก้นของเสา CA, CC และ CB ในอาคารโบยก 2 (ตัวอย่างที่ 4)

พื้นชั้น ที่	ความ สูง (m)	ระยะเวลาที่ มีน้ำหนัก บรรทุกจร (วัน)	น้ำหนัก บรรทุก จร (Ton)	ระยะ เวลาก่อ สร้าง (วัน)	น้ำหนัก คงที่ (Ton)	กำลังอัด คอนกรีต (ksc)	อัตรา ส่วน (W/C)	พื้นที่ต่อ ความลึก (m ² /m)	เส้นรอบรูป ต่อความ กว้าง (m/m)	ปริมาณ เหล็กเสริม (%)
63	3.10	200	11.3	10	24.5	700	0.45	1.92	8.00	5.6
				10			0.45			5.6
64	3.10	200	11.3	10	24.5	700	0.45	1.92	8.00	5.6
				10			0.45			5.6
65	3.10	200	11.3	10	24.5	700	0.45	1.92	8.00	5.6
				10			0.45			5.6
66	3.10	200	11.3	10	24.5	700	0.45	1.92	8.00	5.6
				10			0.45			5.6
67	3.10	200	11.3	10	24.5	700	0.45	1.92	8.00	5.6
				10			0.45			5.6
68	3.10	200	11.3	10	24.5	700	0.45	1.92	8.00	5.6
				10			0.45			5.6
69	3.10	200	11.3	10	24.5	700	0.45	1.92	8.00	5.6
				10			0.45			5.6
70	3.10	200	11.3	10	24.5	700	0.45	1.92	8.00	5.6
				10			0.45			5.6
71	3.10	200	11.3	10	24.5	700	0.45	1.95	8.00	4.2
				10			0.45			4.2
72	3.10	200	11.3	10	24.5	700	0.45	1.95	8.00	4.2
				10			0.45			4.2
73	3.10	200	11.3	10	24.5	700	0.45	1.95	8.00	4.2
				10			0.45			4.2
74	3.10	200	11.3	10	24.5	700	0.45	1.95	8.00	4.2
				10			0.45			4.2
75	3.10	200	11.3	10	24.5	700	0.45	1.95	8.00	4.2
				10			0.45			4.2
76	3.10	200	4.5	10	25.5	700	0.45	1.95	8.00	4.2
				10			0.45			4.2
77	5.00	200	4.5	10	25.5	700	0.45	1.95	8.00	4.2
				10			0.45			4.2
78	5.00	200	4.5	10	36.3	700	0.45	1.95	8.00	4.2
				10			0.45			4.2
79	5.00	200	8.3	10	34.0	700	0.45	1.95	8.00	4.2
				10			0.45			4.2
80	5.00	200	3.6	10	33.3	700	0.45	1.95	8.00	4.2
				10			0.45			4.2
81	5.00	200	2.4	10	14.3	700	0.45	1.95	8.00	4.2
				10			0.45			4.2
82	5.00	200	2.4	10	14.3	700	0.45	1.95	8.00	4.2
				10			0.45			4.2
83	5.00	200	7.3	10	14.8	700	0.45	1.95	8.00	4.2
				10			0.45			4.2
				10			0.45			4.2

หมายเหตุ : หน่วยน้ำหนักของคอนกรีต = 2,400 kg/m³

ส่วนทแยง (Diagonal bracing) ยึดทุกช่วง 8 ชั้น ทั้ง 4 ด้าน สำหรับกล่องภายในเป็นกลุ่มของผนังโคงสิทธิ์ และบันได

อาคารไบนัยก 2 นี้ใช้คอนกรีต และเหล็กเสริมกำลังสูง โดยที่กำลังของคอนกรีตในเสาเท่ากับ 500 - 600 กก. / ตร.ซม. (ในงานก่อสร้างจริงกำลังที่ทดสอบได้สูงถึง 600 - 700 กก. / ตร.ซม.) และเหล็กเสริมที่ใช้คือ SD 40 และ SD 50 ซึ่งมีกำลังดึงที่จุดคานง 4000 กก. / ตร.ซม. และ 5000 กก. / ตร.ซม. ตามลำดับ ส่วนแผ่นเหล็กที่ใช้ประกอบแกนเหล็กกลวงเป็นชนิดกำลังสูงเกรด SM 570 ซึ่งมีกำลังดึงที่จุดคานงราว 4400 กก. / ตร.ซม. รูปแบบของเสามีลักษณะสมมาตรโดยที่เสา CA เป็นเสาสี่เหลี่ยมกลวงขนาด 2.00 X 2.00 เมตร (ปล่อง Core) ในเสาขนาด 1.45 - 1.60 เมตร) ทำจากแผ่นเหล็กรูปพรรณเชื่อมเป็นกล่องเสริมประกอบอยู่ด้านใน มีสลักรับแรงเฉือน (Shear studs) ขนาด ϕ 19 มม. เชื่อมติดเพื่อทำหน้าที่ถ่ายแรงเข้าไปยังเสาเหล็ก ดังรูปที่ (4.14) เปลือกคอนกรีตเสริมเหล็กซึ่งหุ้มแกนเหล็กทำหน้าที่รับแรงและป้องกันไฟให้กับกล่องเหล็กด้วย ส่วนเสา CC เป็นเสาสี่เหลี่ยมตันคอนกรีตเสริมเหล็กขนาด 0.80 X 2.00 เมตร และเสา CB เป็นเสาสี่เหลี่ยมกลวงคอนกรีตเสริมเหล็กขนาด 2.00 X 2.00 เมตร

ในการวิเคราะห์ผลการหดตัวของเสาจะพิจารณาเฉพาะโครงข้อแข็งระนาบซึ่งประกอบไปด้วยเสา CA , CC และ CB ดังรูปที่ (4.15) ซึ่งมีช่วงยาว 4.25 เมตร จำนวน 2 ช่วง เสา CA ซึ่งจำลองถึงชั้น 51 เท่านั้น และ CC มีความสูง 184.65 เมตร จากระดับพื้นได้ดินไปจนถึงชั้นที่ 51 ส่วนเสา CB มีความสูงเพียง 135.05 เมตรถึงชั้นที่ 35 เท่านั้น การวิเคราะห์การหดตัวที่แตกต่างกันของเสาในตัวอย่างนี้จะแยกพิจารณาออกเป็น 2 กรณีคือ

1. การหดตัวอย่างอิสระของเสา (Free column shortening)
2. การหดตัวที่พิจารณาผลการยึดรั้งของคานระหว่างเสา (Frame interaction column shortening)

โดยจะพิจารณาผลของการคืบเพียงอย่างเดียว และพิจารณาว่าโครงสร้างมีการปรับแก้ระดับทุกชั้นตอนการก่อสร้าง

น้ำหนักบรรทุกรวมที่นำมาวิเคราะห์โครงสร้างจะคิดจากพื้นที่น้ำหนักขอบเสา (Tributary area loading) ซึ่งจะประกอบด้วยน้ำหนัก 2 ชุดคือ น้ำหนักคงที่ของโครงสร้าง และน้ำหนักที่เกิดขึ้นในระหว่างการก่อสร้าง โดยจะพิจารณาว่าน้ำหนักจะค่อย ๆ เกิดขึ้นเป็นไปตามขั้นตอนการก่อสร้างในแต่ละชั้นที่เพิ่มขึ้น สำหรับในงานวิจัยนี้จะแบ่งออกเป็น 67 ขั้นตอนสำหรับการก่อสร้างถึงชั้น 65 และ 69 ขั้นตอนเมื่อพิจารณาการก่อสร้างถึงชั้นสุดท้าย ค่าคุณสมบัติของวัสดุต่าง ๆ ในองค์อาคารและน้ำหนักที่วิเคราะห์แสดงไว้ตามตารางที่ (4.18) สัมประสิทธิ์การคืบ จะอ้างอิงตามคณะกรรมการของ ACI 209 (1985)

ผลของการหดตัวที่แตกต่างกันของเสา (Differential shortening) ในอาคารสูง เกิดจากแรงอัดในแนวแกน และคุณสมบัติวัสดุของเสาที่ใช้ไม่เหมือนกัน โดยเฉพาะเสา CA ที่รับน้ำหนักมากกว่าต้นอื่น ๆ จะเกิดการหดตัวอีลาสติกจำนวนไม่น้อย ซึ่งจะส่งผลกับคานที่ยึดรั้งกับเสาให้มีการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งที่ไม่เท่ากัน (Differential displacement) ทำให้เกิดแรงภายในขึ้น หากเป็นอาคารคอนกรีตก็จะเกิดการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งเพิ่มขึ้นจากผลของการคืบ และการหดตัวเพิ่มขึ้นอีกราวเท่าตัวหรือมากกว่านั้น ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของคอนกรีตที่ใช้

ตารางที่ 4.19 ค่าการหดตัวอย่างอิสระของเสา CA , CC และ CB เมื่อก่อสร้างถึงชั้นที่ 65

พื้นชั้นที่	การหดตัวอีลาสติก (มม.)			การหดตัวตามเวลา (มม.)			ผลรวมการหดตัวทั้งหมด (มม.)			ความแตกต่าง (มม.)	
	CB	CC	CA	CB	CC	CA	CB	CC	CA	CC - CB	CC - CA
B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LGF	0.36138	0.52156	0.59964	0.31575	0.47001	0.20349	0.67713	0.99157	0.80313	0.31444	0.18844
1	0.69702	1.02138	1.19565	0.60645	0.9176	0.40956	1.30348	1.93897	1.6052	0.63549	0.33377
2	1.00706	1.49956	1.77231	0.88112	1.35097	0.61065	1.88817	2.85053	2.38296	0.96236	0.46757
3	1.29153	1.95616	2.32397	1.13723	1.7679	0.81167	2.42876	3.72406	3.13563	1.2953	0.58843
4	1.55048	2.39122	2.86769	1.37425	2.16793	0.99539	2.92473	4.55915	3.86308	1.63442	0.69606
5	1.92494	3.01221	3.61216	1.74085	2.77342	1.2553	3.6658	5.78563	4.86746	2.11983	0.91816
6	2.08231	3.31549	3.99239	1.90987	3.07982	1.39281	3.99218	6.39532	5.38521	2.40314	1.01011
7	2.23141	3.60341	4.35912	2.09564	3.3728	1.52598	4.32704	6.9762	5.8851	2.64916	1.0911
8	2.36119	3.87594	4.71233	2.26361	3.65261	1.65491	4.6248	7.52855	6.36724	2.90375	1.16131
9	2.47168	4.13314	5.05206	2.41393	3.91961	1.7797	4.88561	8.05275	6.83176	3.16714	1.22099
10	2.59325	4.3734	5.37832	2.58948	4.1769	1.90051	5.18273	8.5503	7.27883	3.36757	1.27147
11	2.69296	4.59863	5.70358	2.74591	4.42287	2.04529	5.43886	9.0215	7.74887	3.58264	1.27263
12	2.77005	4.80827	6.01476	2.90997	4.67982	2.19316	5.68002	9.48809	8.20792	3.80807	1.28017
13	2.83341	5.01064	6.30807	3.07175	4.94169	2.33312	5.90515	9.95233	8.64119	4.04718	1.31114
14	2.88936	5.22231	6.61864	3.2252	5.2119	2.47885	6.11456	10.4342	9.09749	4.31965	1.33672
15	2.90494	5.3825	6.88228	3.35015	5.46375	2.61756	6.25509	10.8463	9.49984	4.59116	1.34641
15 U	2.97402	5.64722	7.28529	3.52517	5.80631	2.80663	6.49919	11.4535	10.0919	4.95435	1.36161
16	2.97852	5.83813	7.64601	3.63585	6.08921	3.01163	6.61437	11.9273	10.6576	5.31297	1.2697
17	3.05488	6.19479	8.2531	3.84232	6.5574	3.33626	6.8972	12.7522	11.5894	5.85499	1.16283
18	3.08296	6.51319	8.82235	3.96919	6.98809	3.64438	7.05215	13.5013	12.4667	6.44913	1.03455
19	2.79732	6.67627	9.30946	4.15113	7.48657	4.01188	6.94845	14.1628	13.3213	7.21439	0.8415
20	2.72965	6.66468	9.45071	3.95527	7.53094	4.11212	6.68492	14.1956	13.5628	7.5107	0.63279
21	2.64777	6.63243	9.57075	3.87479	7.60527	4.22279	6.52256	14.2377	13.7935	7.71513	0.44415
22	2.55165	6.57949	9.66957	3.80009	7.6601	4.3238	6.35175	14.2396	13.9934	7.88785	0.24622
23	2.44128	6.50586	9.74717	3.71849	7.69145	4.41356	6.15977	14.1973	14.1607	8.03754	0.03658
24	2.31664	6.41153	9.80354	3.62561	7.69833	4.4917	5.94225	14.1099	14.2952	8.16761	-0.18538
25	2.17772	6.29648	9.83869	3.51939	7.68045	4.55809	5.69711	13.9769	14.3968	8.27982	-0.41985
26	2.02451	6.16071	9.87052	3.39872	7.63771	4.66434	5.42323	13.7984	14.5349	8.37519	-0.73644
27	1.857	6.00422	9.87992	3.2629	7.57008	4.75623	5.1199	13.5743	14.6361	8.4544	-1.06184
28	1.67518	5.82699	9.86689	3.11148	7.4776	4.83353	4.78666	13.3046	14.7004	8.51793	-1.39583
29	1.47904	5.62902	9.83145	2.94417	7.36026	4.89611	4.4232	12.9893	14.7276	8.56608	-1.73828
30	1.26855	5.4103	9.7736	2.76073	7.21811	4.94389	4.02928	12.6284	14.7175	8.59913	-2.08908
31	1.0437	5.17082	9.70481	2.56101	7.05117	4.99484	3.60471	12.222	14.6997	8.61728	-2.47766

ตารางที่ 4.19 (ต่อ) ค่าการหดตัวอย่างอิสระของเสา CA , CC และ CB เมื่อก่อสร้างถึงชั้นที่ 65

พื้นที่	การหดตัวอีลาสติก (มม.)			การหดตัวตามเวลา (มม.)			ผลรวมการหดตัวทั้งหมด (มม.)			ความแตกต่าง (มม.)	
	CB	CC	CA	CB	CC	CA	CB	CC	CA	CC- CB	CC - CA
32	0.80446	4.91056	9.61271	2.34489	6.85947	5.02978	3.14935	11.77	14.6425	8.62068	-2.87246
33	0.5508	4.6295	9.49731	2.11227	6.64304	5.04858	2.66307	11.2725	14.5459	8.60947	-3.27334
34	0.28267	4.32762	9.35861	1.86309	6.40191	5.05112	2.14576	10.7295	14.4097	8.58377	-3.6802
35	0	4.00487	9.19662	1.59727	6.13611	5.03737	1.59727	10.141	14.234	8.54371	-4.093
36		3.81703	9.01133		5.84561	5.00726		9.66264	14.0186		-4.35596
37		3.61576	8.80276		5.60354	4.96076		9.2193	13.7635		-4.54422
38		3.40106	8.57089		5.36423	4.89784		8.76529	13.4687		-4.70344
39		3.17293	8.31572		5.11969	4.81847		8.29262	13.1342		-4.84157
40		2.93135	8.03725		4.86647	4.72265		7.79782	12.7599		-4.96208
41		2.67632	7.73547		4.60267	4.61035		7.27899	12.3458		-5.06683
42		2.40783	7.41037		4.32711	4.48158		6.73494	11.892		-5.15702
43		2.12586	7.0691		4.03901	4.3477		6.16486	11.4168		-5.25194
44		1.83038	6.7034		3.73783	4.19602		5.56821	10.8994		-5.33121
45		1.52139	6.31325		3.42317	4.02645		4.94456	10.3397		-5.39514
46		1.29269	6.08094		3.09473	3.83889		4.38742	9.91983		-5.53241
47		1.05407	5.83225		2.79649	3.68015		3.85056	9.51241		-5.66184
48		0.80553	5.56719		2.49998	3.52119		3.30551	9.08838		-5.78287
49		0.54703	5.28575		2.20012	3.35695		2.74714	8.6427		-5.89556
50		0.27853	4.98792		1.89462	3.18523		2.17315	8.17315		-6
51		0	4.6737		1.5822	3.00482		1.5822	7.67853		-6.09633

ตารางที่ 4.20 ค่าการหดตัวที่พิจารณาผลการยึดรั้งจากคานของเสา CA , CC และ CB เมื่อก่อสร้างถึงชั้นที่ 65

พื้นที่	การหดตัวอีลาสติค (มม.)			การหดตัวตามเวลา (มม.)			ผลรวมการหดตัวทั้งหมด (มม.)			ความแตกต่าง (มม.)	
	CB	CC	CA	CB	CC	CA	CB	CC	CA	CC- CB	CC - CA
B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LGF	0.37091	0.50526	0.60053	0.35737	0.33167	0.22433	0.72829	0.83693	0.82486	0.10865	0.01207
1	0.71608	0.98887	1.19742	0.68963	0.64138	0.45188	1.4057	1.63025	1.6493	0.22455	-0.01905
2	1.0356	1.45099	1.77491	1.00564	0.93782	0.67428	2.04124	2.38882	2.44919	0.34758	-0.06037
3	1.32953	1.89176	2.333	1.30276	1.21923	0.89065	2.63229	3.11098	3.22365	0.47869	-0.11267
4	1.59787	2.31125	2.87171	1.58028	1.48564	1.10077	3.17816	3.79688	3.97248	0.61873	-0.1756
5	1.98573	2.91052	3.61698	2.00792	1.8946	1.38898	3.99365	4.80512	5.00595	0.81147	-0.20083
6	2.15054	3.20203	3.99752	2.21018	2.09452	1.5419	4.36072	5.29655	5.53942	0.93583	-0.24287
7	2.30729	3.47861	4.36443	2.43214	2.28436	1.68995	4.73943	5.76296	6.05438	1.02353	-0.29142
8	2.44458	3.74029	4.7177	2.77251	2.72634	2.18645	5.0798	6.20495	6.55088	1.12515	-0.34594
9	2.56244	3.98716	5.05732	2.81948	2.63565	1.9717	5.38192	6.6228	7.02902	1.24089	-0.40622
10	2.69219	4.21772	5.38332	3.03386	2.80049	2.10561	5.72605	7.01821	7.48893	1.29216	-0.47072
11	2.79992	4.43379	5.70813	3.22796	2.95761	2.26421	6.02788	7.3914	7.97234	1.36352	-0.58095
12	2.8849	4.63477	6.01871	3.42877	3.12743	2.42572	6.31367	7.7622	8.44442	1.44853	-0.68223
13	2.95643	4.82835	6.31136	3.62968	3.3003	2.57857	6.58611	8.12864	8.88993	1.54253	-0.76129
14	3.02103	5.03112	6.62103	3.82423	3.4779	2.73762	6.84526	8.50901	9.35865	1.66376	-0.84963
15	3.04406	5.18558	6.88307	3.98904	3.64131	2.88888	7.0331	8.82689	9.77195	1.79379	-0.94505
15 U	3.12279	5.44378	7.28359	4.21635	3.86879	3.0943	7.33914	9.31256	10.3779	1.97342	-1.06533
16	3.13556	5.63003	7.64148	4.38428	4.24061	3.6728	7.50707	9.68438	10.9564	2.17731	-1.27201
17	3.22382	5.98123	8.24384	4.64488	4.37529	3.66327	7.86871	10.3565	11.9071	2.48781	-1.55059
18	3.26331	6.29581	8.80782	4.8659	4.66796	3.99331	8.12922	10.9638	12.8011	2.83455	-1.83736
19	2.99494	6.44901	9.28878	5.0968	5.00525	4.38585	8.09173	11.4543	13.6746	3.36253	-2.22037
20	2.9239	6.45717	9.42273	4.93037	4.99326	4.49341	7.85427	11.4504	13.9161	3.59616	-2.46571
21	2.83735	6.44772	9.53476	4.8698	5.03222	4.60924	7.70715	11.4799	14.144	3.77279	-2.66406
22	2.73533	6.42047	9.62492	4.80948	5.0655	4.71338	7.54481	11.486	14.3383	3.94116	-2.85233
23	2.61788	6.37524	9.69323	4.73751	5.08759	4.80438	7.35539	11.4628	14.4976	4.10744	-3.03478
24	2.48502	6.31187	9.73977	4.64984	5.09678	4.88191	7.13486	11.4087	14.6217	4.27379	-3.21303
25	2.33681	6.2302	9.76455	4.39637	5.0107	4.9707	6.8814	11.3226	14.7105	4.44117	-3.3879
26	2.17328	6.13008	9.78528	4.25721	4.97389	5.06978	6.59402	11.2041	14.8343	4.61007	-3.63024
27	1.99448	6.01133	9.78313	4.09896	4.92244	5.13381	6.27224	11.0525	14.9191	4.78028	-3.86657
28	1.80045	5.87377	9.75817	3.9213	4.85593	5.18153	5.91577	10.8673	14.9647	4.95149	-4.0974
29	1.59125	5.71721	9.71046	3.724	4.77406	5.21288	5.52445	10.6478	14.9711	5.12338	-4.32322
30	1.36691	5.54149	9.64006	3.50691	4.67659	5.22781	5.09816	10.3938	14.9383	5.29564	-4.54447
31	1.12746	5.34641	9.55826	3.26991	4.56331	5.25576	4.63682	10.1048	14.8958	5.46798	-4.79102

ตารางที่ 4.20 (ต่อ) ค่าการหดตัวที่พิจารณาผลการยึดรั้งจากคานของเสา CA , CC และ CB เมื่อก่อสร้างถึงชั้นที่ 65

พื้นชั้นที่	การหดตัวอีลาสติก (มม.)			การหดตัวตามเวลา (มม.)			ผลรวมการหดตัวทั้งหมด (มม.)			ความแตกต่าง (มม.)	
	CB	CC	CA	CB	CC	CA	CB	CC	CA	CC- CB	CC - CA
32	0.87294	5.13178	9.453	3.0129	4.43391	5.25399	4.14036	9.78032	14.8123	5.63996	-5.03193
33	0.60338	4.89736	9.32433	2.73578	4.28816	5.23466	3.60872	9.41994	14.6877	5.81121	-5.26772
34	0.31876	4.64294	9.17235	2.4384	4.12585	5.19774	3.04178	9.02321	14.5221	5.98143	-5.49886
35	0.01903	4.36834	8.99713	2.42025	4.22145	5.31854	2.43928	8.58979	14.3157	6.15051	-5.72588
36		4.22436	8.80294		4.04605	5.26985		8.27041	14.0728		-5.80238
37		4.06621	8.58584		3.91997	5.20544		7.98618	13.7913		-5.8051
38		3.89384	8.34584		3.79827	5.12451		7.69211	13.4703		-5.77823
39		3.70727	8.08291		3.67275	5.02698		7.38002	13.1099		-5.72987
40		3.50649	7.79706		3.53973	4.91288		7.04622	12.7099		-5.66372
41		3.29154	7.48826		3.39713	4.7822		6.68867	12.2705		-5.58179
42		3.06243	7.15651		3.24363	4.63497		6.30606	11.7915		-5.48541
43		2.81916	6.80881		3.07837	4.48238		5.89752	11.2912		-5.39367
44		2.56171	6.43706		2.90064	4.31197		5.46235	10.749		-5.28668
45		2.29007	6.04122		2.70995	4.12367		5.00001	10.1649		-5.16488
46		2.09685	5.80209		2.50587	3.91741		4.60271	9.7195		-5.11679
47		1.89313	5.54693		2.32168	3.74182		4.21481	9.28875		-5.07394
48		1.67884	5.27577		2.13567	3.56652		3.81451	8.84229		-5.02778
49		1.4539	4.98863		1.94418	3.38636		3.39808	8.37499		-4.97691
50		1.21818	4.68558		1.74537	3.19912		2.96355	7.8847		-4.92114
51		0.97153	4.36666		1.53808	3.00366		2.50962	7.37032		-4.8607

ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.21 ค่าการหดตัวอย่างอิสระของเสา CA , CC และ CB ที่เวลา 10 ปี

พื้นที่	การหดตัวอีลาสติก (มม.)			การหดตัวตามเวลา (มม.)			ผลรวมการหดตัวทั้งหมด (มม.)			ความแตกต่าง (มม.)	
	CB	CC	CA	CB	CC	CA	CB	CC	CA	CC - CB	CC - CA
B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LGF	0.36138	0.53376	0.79384	0.35024	0.54665	0.31213	0.71162	1.08041	1.10597	0.36879	-0.02557
1	0.69702	1.04577	1.58908	0.67447	1.07015	0.63237	1.3715	2.11592	2.22145	2.19316	-0.10553
2	1.00706	1.53615	2.36498	0.98203	1.57904	0.94771	1.98909	3.11519	3.3127	1.1261	-0.19751
3	1.29153	2.00495	3.12158	1.2704	2.07107	1.25737	2.56193	4.07602	4.37895	1.51409	-0.30293
4	1.55048	2.45221	3.85887	1.539	2.54578	1.5612	3.08948	4.99799	5.42007	1.90852	-0.42208
5	1.92494	3.09063	4.87982	1.95458	3.26537	1.98	3.87952	6.35599	6.85981	2.47647	-0.50382
6	2.08231	3.40365	5.4154	2.15041	3.63521	2.20825	4.23272	7.03886	7.62364	2.80614	-0.58478
7	2.23141	3.70131	5.93748	2.36677	3.99133	2.43227	4.59818	7.69264	8.36975	3.09446	-0.67711
8	2.36119	3.98359	6.44606	2.56469	4.33403	2.65219	4.92587	8.31761	9.09825	3.39174	-0.78063
9	2.47168	4.25052	6.94115	2.74427	4.66366	2.86813	5.21595	8.91418	9.80928	3.69824	-0.8951
10	2.59325	4.50048	7.4228	2.95411	4.98391	3.08026	5.54736	9.48439	10.5031	3.93704	-1.01867
11	2.69296	4.73542	7.90817	3.14404	5.29268	3.33448	5.83699	10.0281	11.2426	4.19111	-1.21454
12	2.77005	4.95476	8.37947	3.34043	5.61179	3.59165	6.11048	10.5666	11.9711	4.45607	-1.40457
13	2.83341	5.16708	8.8329	3.53736	5.94057	3.84084	6.37077	11.1077	12.6737	4.73688	-1.56609
14	2.88936	5.38952	9.31651	3.72731	6.2823	4.10448	6.61666	11.6718	13.421	5.05516	-1.74917
15	2.90494	5.56048	9.7532	3.88721	6.6049	4.36097	6.79215	12.1654	14.1142	5.37323	-1.94879
15 U	2.97402	5.83998	10.3939	4.10786	7.04313	4.71146	7.08188	12.8831	15.1053	5.80123	-2.2222
16	2.97852	6.04407	10.9848	4.25769	7.41402	5.0971	7.23621	13.4581	16.0819	6.22188	-2.62384
17	3.05488	6.42084	11.9431	4.52063	8.01433	5.69671	7.5755	14.4352	17.6398	6.85967	-3.20464
18	3.08296	6.75935	12.8636	4.73062	8.57506	6.27936	7.81358	15.3344	19.1429	7.52084	-3.8085
19	2.79732	6.9475	13.7883	4.94724	9.2362	6.98916	7.74456	16.1837	20.7774	8.43914	-4.59372
20	2.72965	6.94658	14.1216	4.77334	9.3492	7.25327	7.50299	16.2958	21.3749	8.79279	-5.07912
21	2.64777	6.92501	14.4338	4.7137	9.49295	7.52729	7.36147	16.418	21.9611	9.05649	-5.54312
22	2.55165	6.88276	14.7248	4.65869	9.61566	7.79114	7.21035	16.4984	22.5159	9.28807	-6.01747
23	2.44128	6.81982	14.9945	4.59561	9.71328	8.04322	7.03689	16.5331	23.0377	9.4962	-6.50462
24	2.31664	6.73617	15.243	4.52004	9.7848	8.28312	6.83668	16.521	23.5261	9.68429	-7.00517
25	2.17772	6.63181	15.4704	4.4299	9.82989	8.51072	6.60762	16.4617	23.9811	9.85408	-7.51937
26	2.02451	6.50674	15.7047	4.32405	9.8484	8.82877	6.34856	16.3551	24.5335	10.0066	-8.17832
27	1.857	6.36094	15.9166	4.20166	9.8403	9.13167	6.05866	16.2012	25.0483	10.1426	-8.84705
28	1.67518	6.19441	16.1061	4.06256	9.80554	9.4192	5.73774	16	25.5253	10.2622	-9.52539
29	1.47904	6.00715	16.2733	3.90609	9.74409	9.69117	5.38512	15.7512	25.9644	10.3661	-10.2132
30	1.26855	5.79914	16.418	3.73209	9.65595	9.94757	5.00064	15.4551	26.3656	10.4544	-10.9105
31	1.0437	5.57038	16.5598	3.54038	9.54109	10.2276	4.58408	15.1115	26.7874	10.5274	-11.6759

ตารางที่ 4.21 (ต่อ) ค่าการหดตัวอย่างอิสระของเสา CA, CC และ CB ที่เวลา 10 ปี

พื่นชั้นที่	การหดตัวอีลาสติก (มม.)			การหดตัวตามเวลา (มม.)			ผลรวมการหดตัวทั้งหมด (มม.)			ความแตกต่าง (มม.)	
	CB	CC	CA	CB	CC	CA	CB	CC	CA	CC- CB	CC - CA
32	0.80446	5.32084	16.6784	3.33077	9.39948	10.4905	4.13523	14.7203	27.1689	10.5851	-12.4486
33	0.5508	5.05051	16.7736	3.10314	9.23111	10.7364	3.65394	14.2816	27.51	10.6277	-13.2284
34	0.28267	4.75937	16.8456	2.85734	9.03593	10.965	3.14002	13.7953	27.8106	10.6553	-14.0153
35	0	4.44736	16.8943	2.59326	8.81389	11.1762	2.59326	13.2613	28.0705	10.668	-14.8093
36		4.27027	16.9198		8.56492	11.37		12.8352	28.2898		-15.4546
37		4.07977	16.922		8.36297	11.5463		12.4427	28.4683		-16.0256
38		3.87584	16.901		8.16232	11.705		12.0382	28.606		-16.5678
39		3.6585	16.8567		7.95494	11.846		11.6134	28.7027		-17.0893
40		3.42773	16.7892		7.73735	11.9693		11.1651	28.7585		-17.5934
41		3.18353	16.6985		7.50756	12.0749		10.6911	28.7733		-18.0822
42		2.92589	16.5844		7.26437	12.1626		10.1903	28.747		-18.5568
43		2.6548	16.4637		7.00694	12.2689		9.66174	28.7326		-19.0709
44		2.37025	16.3187		6.73465	12.3557		9.1049	28.6744		-19.5695
45		2.07223	16.1494		6.44705	12.4228		8.51928	28.5722		-20.0529
46		1.73073	15.9557		6.17378	12.4701		7.90451	28.4258		-20.5213
47		1.43572	15.7378		5.82454	12.4974		7.26026	28.2352		-20.9749
48		1.09719	15.4955		5.4891	12.5046		6.58629	28.0001		-21.4138
49		0.74509	15.2289		5.13726	12.4914		5.88234	27.7202		-21.8379
50		0.37938	14.9379		4.76882	12.4575		5.1482	27.3955		-22.2473
51		0	14.6226		4.38364	12.4027		4.38364	27.0254		-22.6417

ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.22 ค่าการหดตัวที่พิจารณาผลการยึดรั้งจากคานของเสา CA, CC และ CB ที่เวลา 10 ปี

พื้นที่	การหดตัวอีลาสติก (มม.)			การหดตัวตามเวลา (มม.)			ผลรวมการหดตัวทั้งหมด (มม.)			ความแตกต่าง (มม.)	
	CB	CC	CA	CB	CC	CA	CB	CC	CA	CC - CB	CC - CA
B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LGF	0.35318	0.5808	0.77765	0.39364	0.41144	0.33571	0.74682	0.99224	1.11336	0.24542	-0.12112
1	0.68061	1.13993	1.55625	0.76117	0.80035	0.68015	1.44178	1.94028	2.23639	0.4985	-0.29611
2	0.98243	1.67753	2.31546	1.11178	1.17576	1.01948	2.0942	2.85329	3.33494	0.75908	-0.48166
3	1.25867	2.19368	3.05531	1.44279	1.53593	1.35285	2.70146	3.72961	4.40816	1.02815	-0.67855
4	1.50937	2.68844	3.77581	1.75345	1.88092	1.68001	3.26282	4.56936	5.45582	1.30654	-0.88646
5	1.87179	3.39505	4.77337	2.23142	2.4128	2.13072	4.10321	5.80785	6.90409	1.70464	-1.09625
6	2.02244	3.74636	5.29572	2.46111	2.68149	2.37633	4.48355	6.42786	7.67204	1.94431	-1.24419
7	2.16443	4.08259	5.80447	2.71354	2.94032	2.61712	4.87797	7.02292	8.42159	2.14494	-1.39867
8	2.28703	4.40375	6.29963	3.0688	3.51098	3.34832	5.23324	7.59357	9.15279	2.36033	-1.55923
9	2.39027	4.7099	6.7812	3.15916	3.43059	3.08454	5.54943	8.14049	9.86575	2.59106	-1.72525
10	2.50334	4.99925	7.24921	3.40659	3.66651	3.31138	5.90993	8.66576	10.5606	2.75584	-1.89483
11	2.59447	5.27389	7.7204	3.63267	3.89536	3.58045	6.22714	9.16926	11.3009	2.94212	-2.1316
12	2.66299	5.53318	8.1774	3.86403	4.13702	3.8522	6.52701	9.6702	12.0296	3.14318	-2.35941
13	2.71747	5.78631	8.61655	4.09732	4.38906	4.11504	6.81479	10.1754	12.7316	3.36058	-2.55622
14	2.76381	6.05311	9.08461	4.32507	4.65235	4.39267	7.08888	10.7055	13.4773	3.61658	-2.77182
15	2.76875	6.27124	9.50512	4.52124	4.90106	4.66219	7.29	11.1723	14.1673	3.8823	-2.99501
15 U	2.82291	6.61633	10.1234	4.85826	5.24683	5.02941	7.68117	11.8632	15.1528	4.18199	-3.2896
16	2.8143	6.87953	10.6923	4.96904	5.80724	5.99876	7.79195	12.4236	16.1221	4.63162	-3.69854
17	2.8704	7.34711	11.6168	5.29851	6.03511	6.05131	8.16891	13.3822	17.6681	5.21331	-4.28586
18	2.87828	7.77689	12.5031	5.56299	6.4981	6.65353	8.44127	14.275	19.1567	5.83372	-4.88168
19	2.57099	8.07184	13.3863	5.84487	7.04894	7.38477	8.41586	15.1208	20.771	6.70492	-5.65024
20	2.48448	8.13941	13.697	5.6945	7.13492	7.65375	8.17898	15.2743	21.3507	7.09534	-6.07639
21	2.3829	8.18833	13.986	5.64848	7.27156	7.93017	8.03138	15.4599	21.9162	7.42852	-6.45631
22	2.26631	8.21832	14.2535	5.60117	7.40221	8.19409	7.86748	15.6205	22.4476	7.75305	-6.82708
23	2.13479	8.22909	14.4995	5.54062	7.5213	8.44403	7.67541	15.7504	22.9435	8.07498	-7.19315
24	1.98844	8.22036	14.7242	5.46273	7.62707	8.67959	7.45117	15.8474	23.4038	8.39626	-7.55632
25	1.82732	8.19186	14.9273	5.2045	7.69023	9.10406	7.19294	15.9106	23.8282	8.71765	-7.91763
26	1.65155	8.14329	15.1364	5.07249	7.74728	9.4188	6.89981	15.9391	24.3461	9.03933	-8.40692
27	1.46123	8.07432	15.3232	4.9199	7.78854	9.68783	6.57145	15.9318	24.8243	9.36038	-8.89244
28	1.25651	7.98459	15.4877	4.74655	7.81314	9.93964	6.20779	15.8875	25.2629	9.67967	-9.3754
29	1.0375	7.87375	15.6301	4.55238	7.82027	10.1742	5.80889	15.8049	25.6619	9.99597	-9.85705
30	0.80436	7.74141	15.7503	4.33739	7.80915	10.3915	5.37489	15.6829	26.0216	10.308	-10.3387
31	0.55723	7.58719	15.8673	4.10164	7.77904	10.6491	4.90601	15.5205	26.3994	10.6144	-10.8789

ตารางที่ 4.22 (ต่อ) ค่าการหดตัวที่พิจารณาผลการยืดรั้งจากคานของเสา CA , CC และ CB ที่เวลา 10 ปี

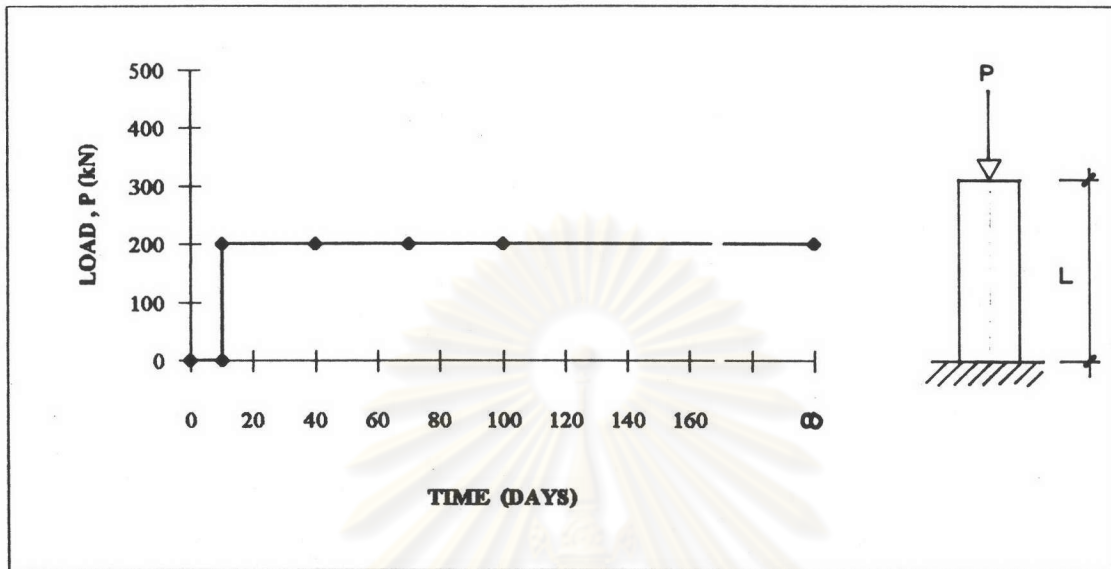
พื้นที่	การหดตัวอีลาสติก (มม.)			การหดตัวตามเวลา (มม.)			ผลรวมการหดตัวทั้งหมด (มม.)			ความแตกต่าง (มม.)	
	CB	CC	CA	CB	CC	CA	CB	CC	CA	CC- CB	CC - CA
32	0.29628	7.41061	15.9616	3.84534	7.7288	10.8687	4.40257	15.316	26.7361	10.9134	-11.4201
33	0.02166	7.21119	16.0333	3.56871	7.65734	11.0702	3.86499	15.068	27.0318	11.203	-11.9638
34	-0.26647	6.98844	16.0825	3.272	7.56348	11.2535	3.29366	14.7747	27.2868	11.481	-12.5121
35	-0.56804	6.74198	16.1093	3.25678	7.69276	11.3921	2.68874	14.4347	27.5014	11.746	-13.0666
36		6.62252	16.1179		7.57584	11.5619		14.1984	27.6797		-13.4814
37		6.48795	16.1042		7.50597	11.7151		13.9939	27.8192		-13.8253
38		6.33834	16.0681		7.43833	11.8507		13.7767	27.9188		-14.1421
39		6.17381	16.0095		7.36492	11.9687		13.5387	27.9782		-14.4395
40		5.99448	15.9285		7.28218	12.0689		13.2767	27.9974		-14.7207
41		5.80042	15.8249		7.18807	12.1512		12.9885	27.9761		-14.9876
42		5.59169	15.6987		7.0813	12.2156		12.673	27.9143		-15.2413
43		5.36831	15.5661		6.96097	12.2977		12.3293	27.8638		-15.5345
44		5.13026	15.4099		6.82622	12.3603		11.9565	27.7702		-15.8138
45		4.87746	15.2301		6.67792	12.4034		11.5554	27.6335		-16.0781
46		4.60983	15.0268		6.51069	12.4267		11.1205	27.4535		-16.333
47		4.32722	14.8001		6.32862	12.4304		10.6558	27.2305		-16.5746
48		4.02945	14.55		6.12939	12.4144		10.1588	26.9644		-16.8055
49		3.71626	14.2767		5.91216	12.3788		9.62842	26.6554		-17.027
50		3.38732	13.9803		5.67585	12.3237		9.06317	26.304		-17.2408
51		3.04219	13.661		5.41906	12.2493		8.46125	25.9104		-17.4491

ถ้ามีการเปลี่ยนตำแหน่งเกิดขึ้นมากเกินไป ผนังหรือกระจกอาจแตกร้าวหรือเสียหายได้ และคานที่เป็นส่วนโครงสร้างก็จะเกิดการแตกร้าวได้เช่นกัน

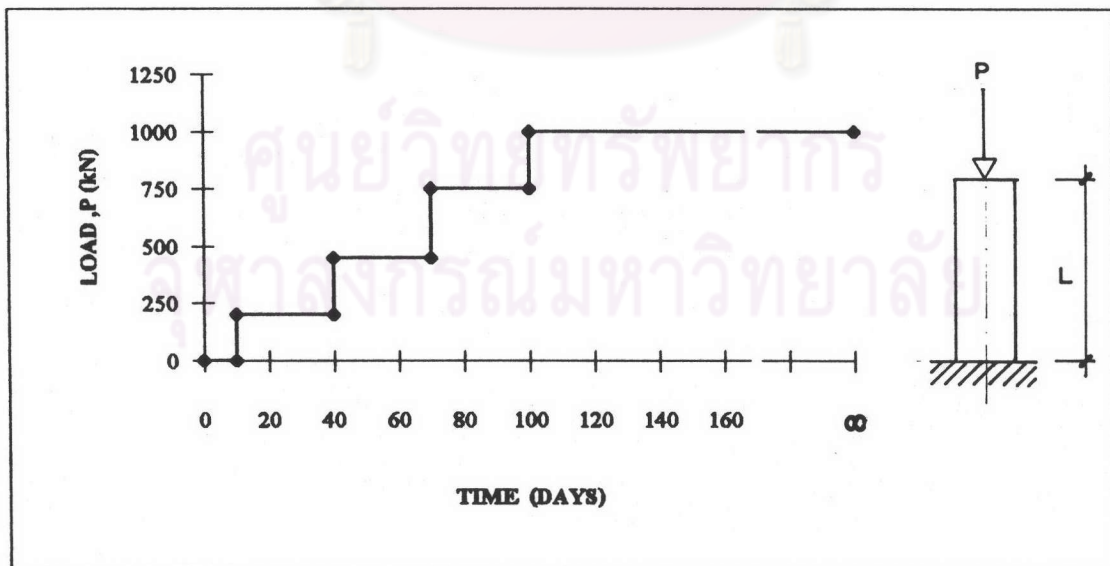
ในอาคารใบหยก 2 ปัญหาที่เกิดขึ้นกลับซับซ้อนมากขึ้นไปอีก เนื่องจากเสา CC และ CB จะเตี้ยกว่าเสา CA แต่เสา CC และ CB มีหน้าตัดที่ใหญ่เพื่อเหตุผลทางด้านลติฟเนส ดังนั้นเสาที่เตี้ยกว่านี้จะมีหน่วยแรงอัดน้อยกว่าเสา CA มาก นอกจากนี้เสา CA กับเสา CC ยังอยู่ใกล้กันมาก คือห่างกันเพียง 4.25 เมตร เมื่อก่อสร้างถึงชั้นที่ 51 ซึ่งเป็นชั้นสูงสุดของเสา CC เสาทุกต้นจะมีระดับเท่ากันที่ชั้น 51 แต่เสา CA ยังจะต้องต่อขึ้นไปอีกจนถึงชั้นบนสุดของอาคารก็จะมีน้ำหนักกดลงที่ ชั้น 51 ของเสา CA เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ตามขั้นตอนการก่อสร้าง คิดเป็นน้ำหนักบรรทุกทั้งหมดอีกประมาณ 800 - 900 ตัน ในขณะที่เสา CC ไม่มีน้ำหนักเพิ่มขึ้นอีก ทำให้เกิดผลการหดตัวที่แตกต่างกันมากกว่าอาคารทั่ว ๆ ไป

ผลวิเคราะห์การหดตัวของเสา CB, CC และ CA แสดงในตารางที่ (4.19) - (4.22) และรูปที่ (4.16) - (4.17) สำหรับกรณีการก่อสร้างถึงชั้น 65 ค่าการหดตัวที่แตกต่างกันของเสาอย่างอิสระที่ชั้น 51 ระหว่าง CC-CA เท่ากับ 6.1 มม. ถ้าคิดผลของคานหน้าตัด 0.50×0.60 ม. ยึดรั้งอยู่ระหว่างเสาจะช่วยให้การหดตัวของเสาลดลงเหลือ 4.86 มม. ที่ชั้น 35 ค่าการหดตัวของเสาที่แตกต่างกันระหว่าง CC-CB เท่ากับ 8.54 มม. และ CC-CA เท่ากับ -4.1 มม. และเท่ากับ 6.15 มม. สำหรับการหดตัวกรณีอิสระ และ -5.73 มม. ตามลำดับ หากคิดผลการยึดรั้งของคาน ส่วนค่าการหดตัวที่แตกต่างกันของเสาเมื่อคิดผลระยะยาว 10 ปี จากตารางที่ (4.21) - (4.22) และรูปที่ (4.17) เสาหดตัวอย่างอิสระที่ชั้น 51 ระหว่าง CC-CA เท่ากับ 22.64 มม. ถ้าคิดผลของคานหน้าตัด 0.50×0.60 ม. ยึดรั้งอยู่ระหว่างเสาจะช่วยให้การหดตัวของเสาลดลงเหลือ 17.45 มม. หรือประมาณ 20% ของการหดตัวอย่างอิสระ และที่ชั้น 35 ระหว่าง CC-CB ค่าหดตัวแตกต่างกันเท่ากับ 10.7 มม. และ CC-CA เท่ากับ -14.81 มม. ผลการยึดรั้งของคานทำให้การหดตัวในเสาจะเปลี่ยนแปลงไป 11.75 มม. และ -13.07 มม. ตามลำดับ หรือประมาณ 10% ของการหดตัวอย่างอิสระ นอกจากนี้ผลการเหนียวรั้งของคานจะช่วยส่งถ่ายน้ำหนักจากเสาต้นริม CA ที่หดตัวมากกว่าไปยังเสาต้นกลาง CC ที่หดตัวน้อยกว่า ทำให้เกิดการปรับกระจายแรงอัดภายในเสาตามแนวแกนไปที่เสา CC เพิ่มขึ้นโดยเปอร์เซ็นต์ของการเพิ่มขึ้นจะมีลักษณะมากขึ้นเรื่อย ๆ จากชั้นล่างมาถึงชั้นบนสุดซึ่งมีค่ามากที่สุดประมาณ 30%

ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

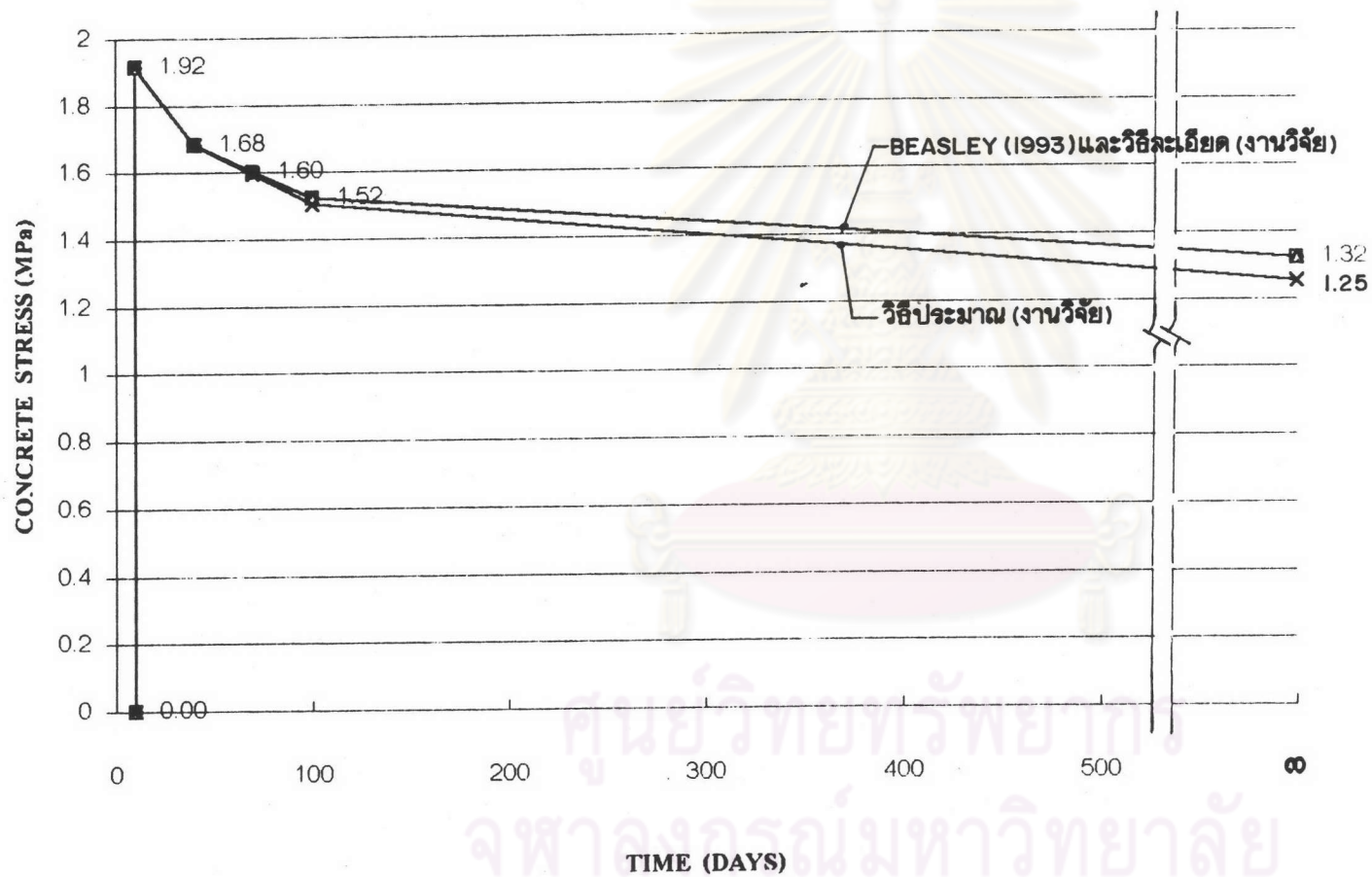


รูปที่ 4.1 น้ำหนักบรรทุกคงค้างคงที่ค่าเดียวในโครงสร้างเสาเดียว (ตัวอย่างที่ 1)



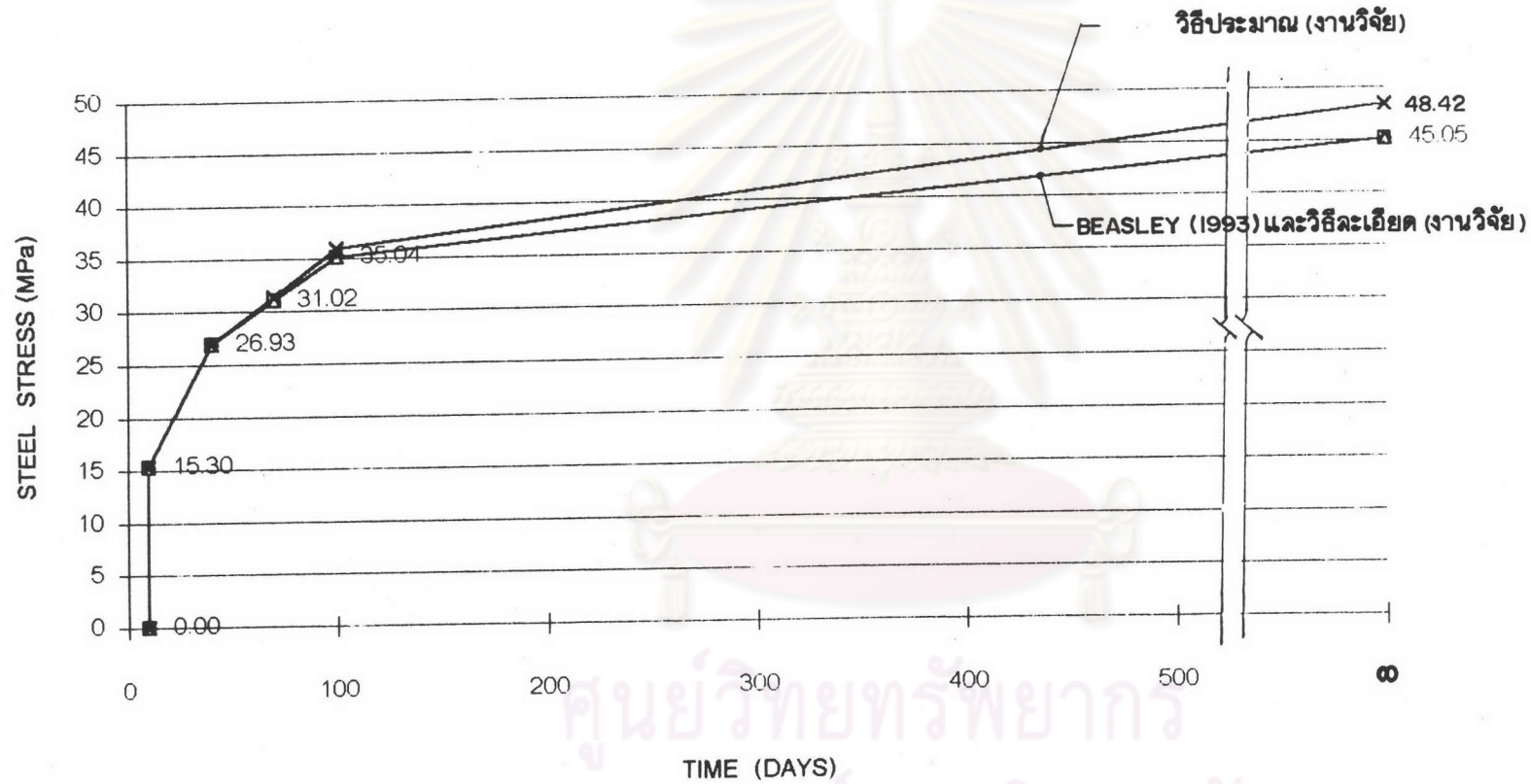
รูปที่ 4.2 น้ำหนักบรรทุกคงค้าง 4 ขั้นตอนในโครงสร้างเสาเดียว (ตัวอย่างที่ 2)

CONCRETE STRESS HISTORIES

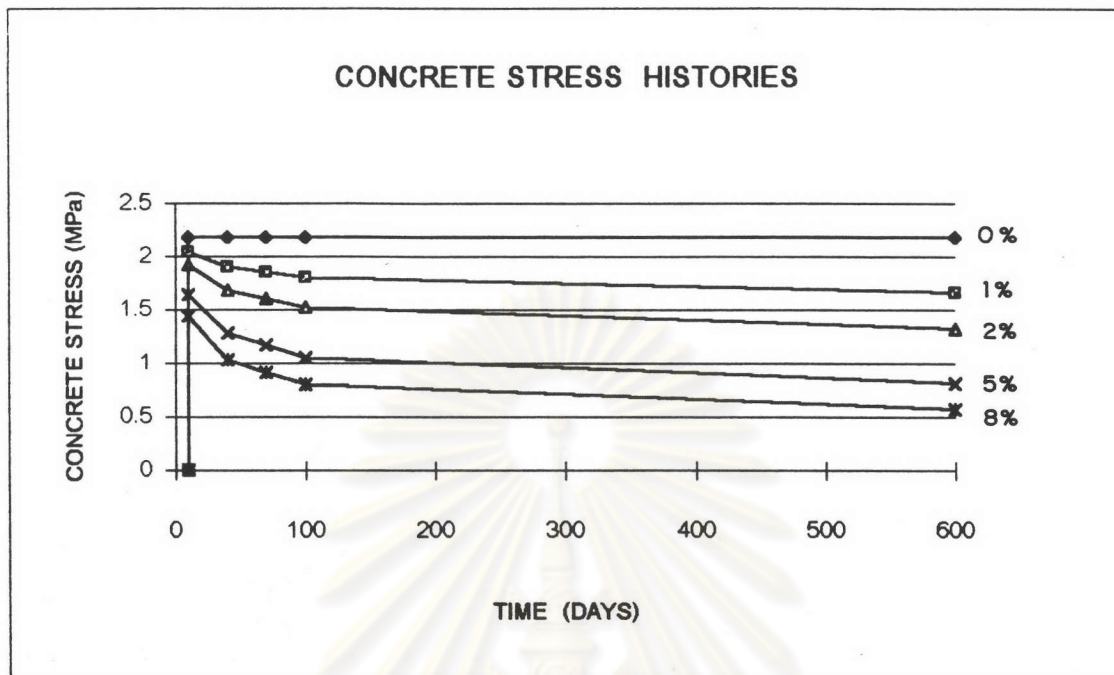


รูปที่ 4.3 หน่วยแรงคงค้างในคอนกรีตของโครงสร้างเสาเดียว (ตัวอย่างที่ 1)

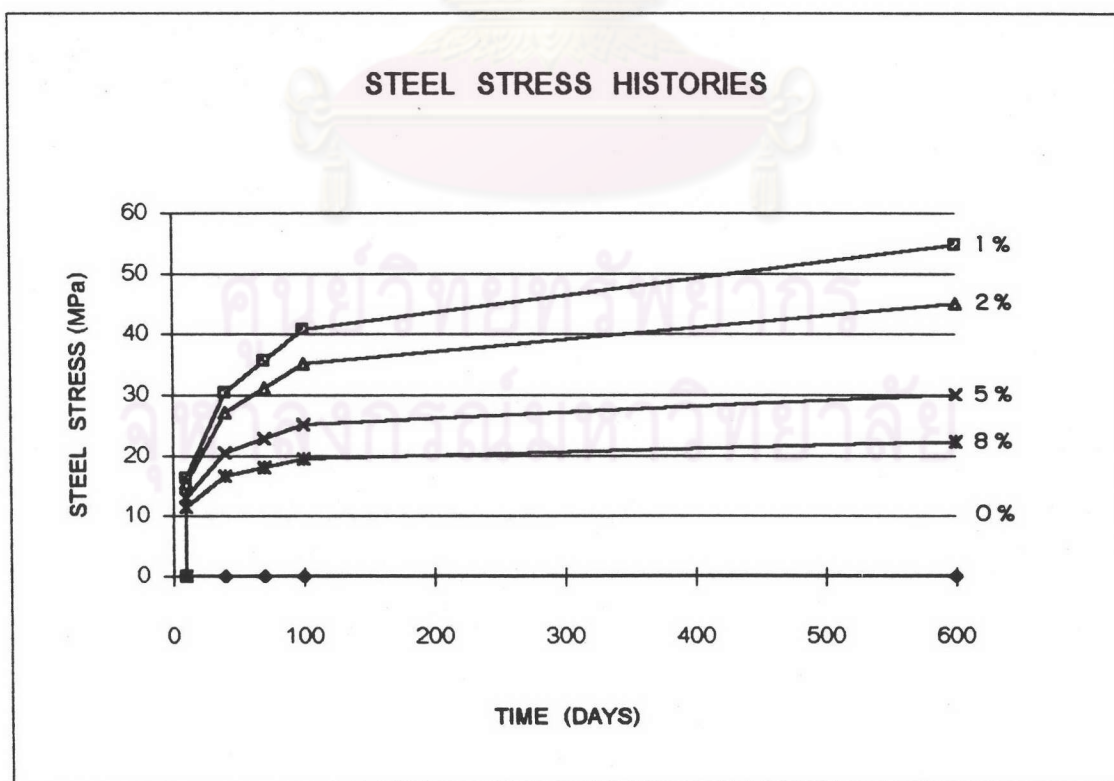
STEEL STRESS HISTORIES



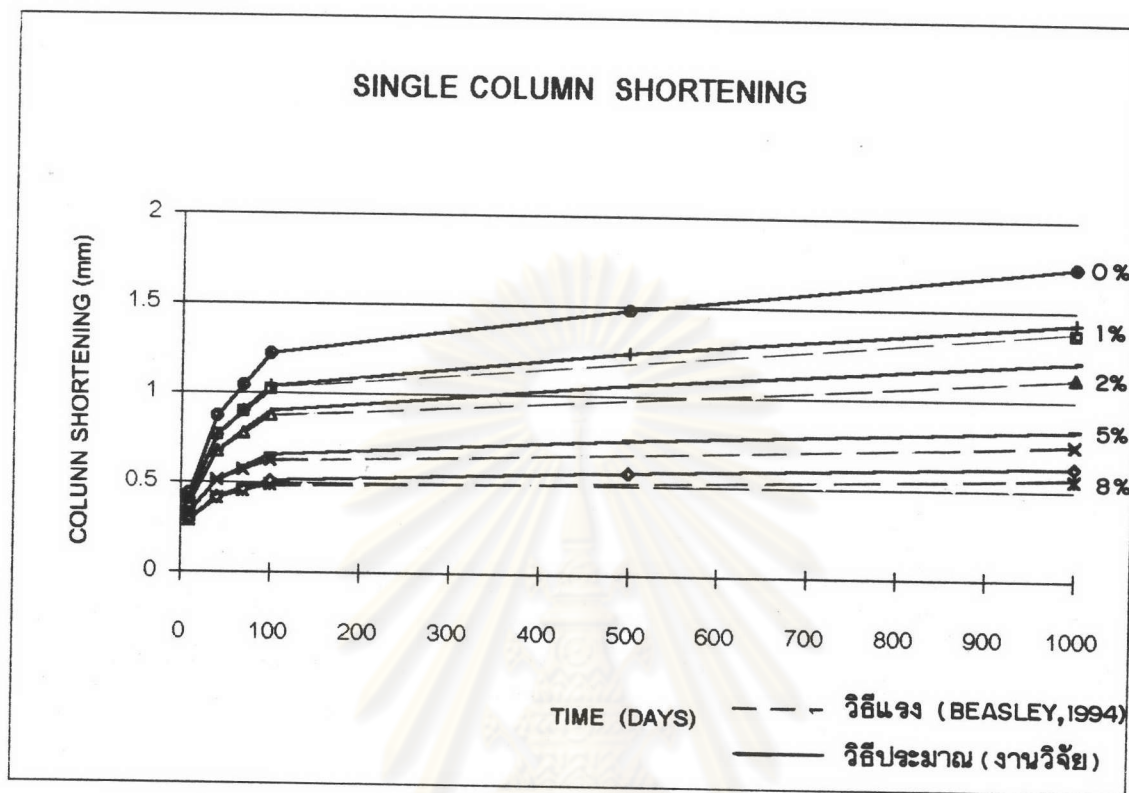
รูปที่ 4.4 หน่วยแรงคด้างในเหล็กเสริมของโครงสร้างเสาเดี่ยว (ตัวอย่างที่ 1)



รูปที่ 4.5 หน่วยแรงค้ำในคอนกรีตที่แปรเปลี่ยนพื้นที่หน้าตัดของโครงสร้างเสาเดี่ยว (ตัวอย่างที่ 1)



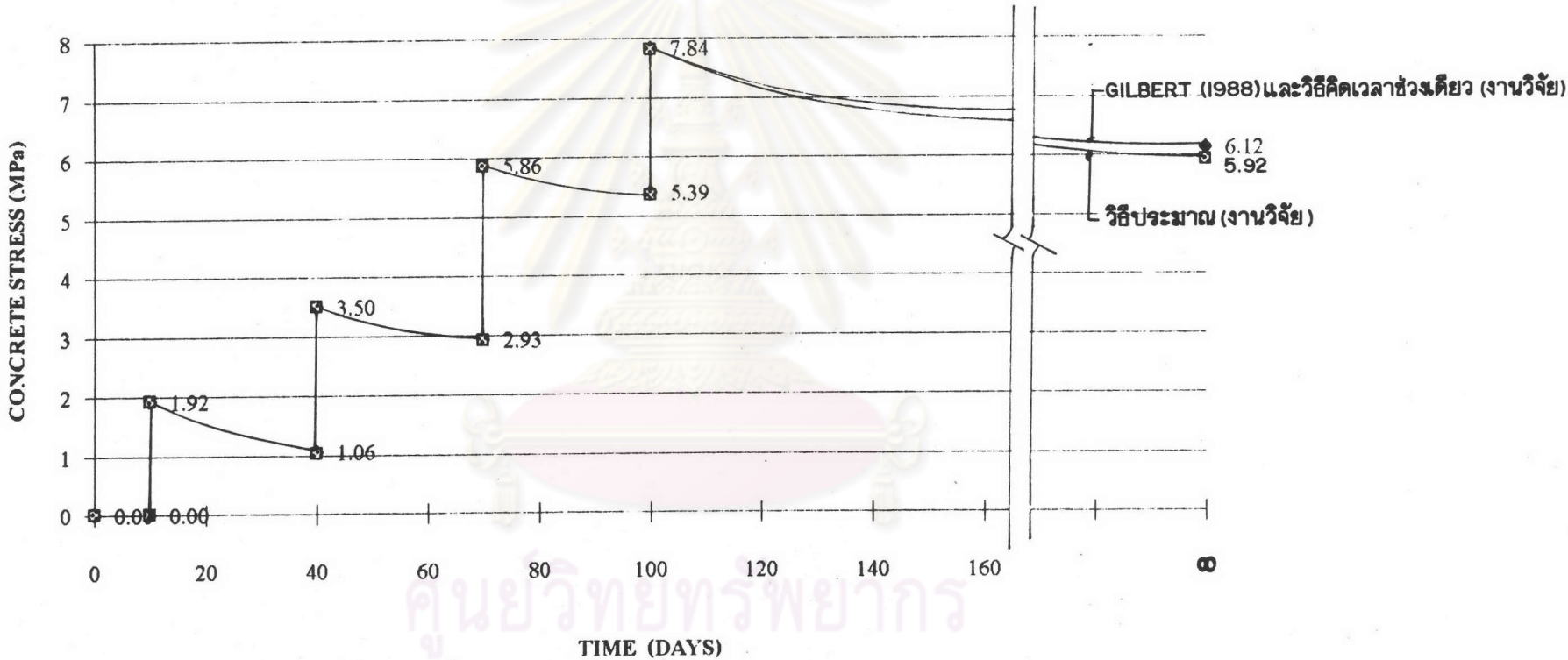
รูปที่ 4.6 หน่วยแรงค้ำในเหล็กเสริมที่แปรเปลี่ยนพื้นที่หน้าตัดของโครงสร้างเสาเดี่ยว (ตัวอย่างที่ 1)



รูปที่ 4.7 การเปรียบเทียบผลการหดตัวของเสาที่คำนวณโดยวิธีของ Beasley (1994) กับวิธีโดยประมาณ เมื่อเปลี่ยนแปลงปริมาณเหล็กเสริม (ตัวอย่างที่ 1)

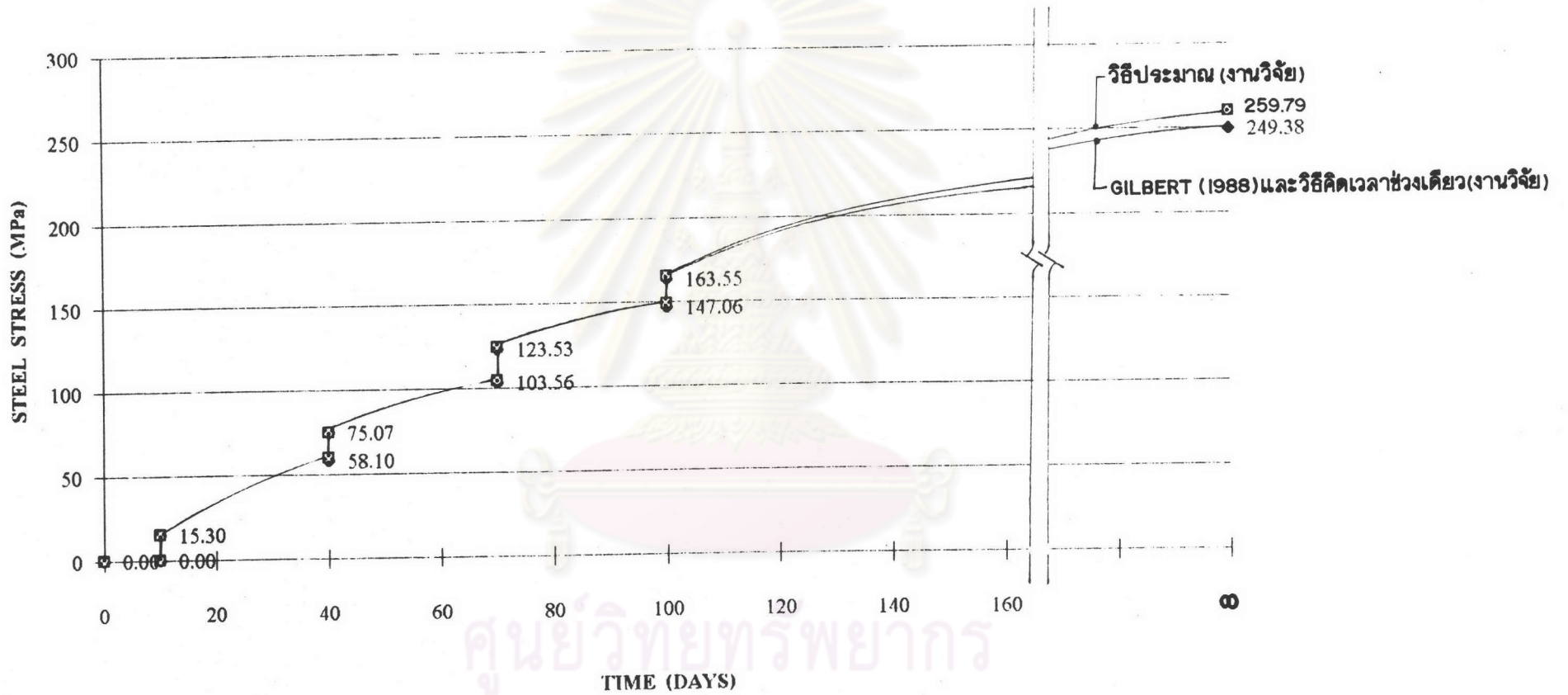
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CONCRETE STRESS HISTORIES



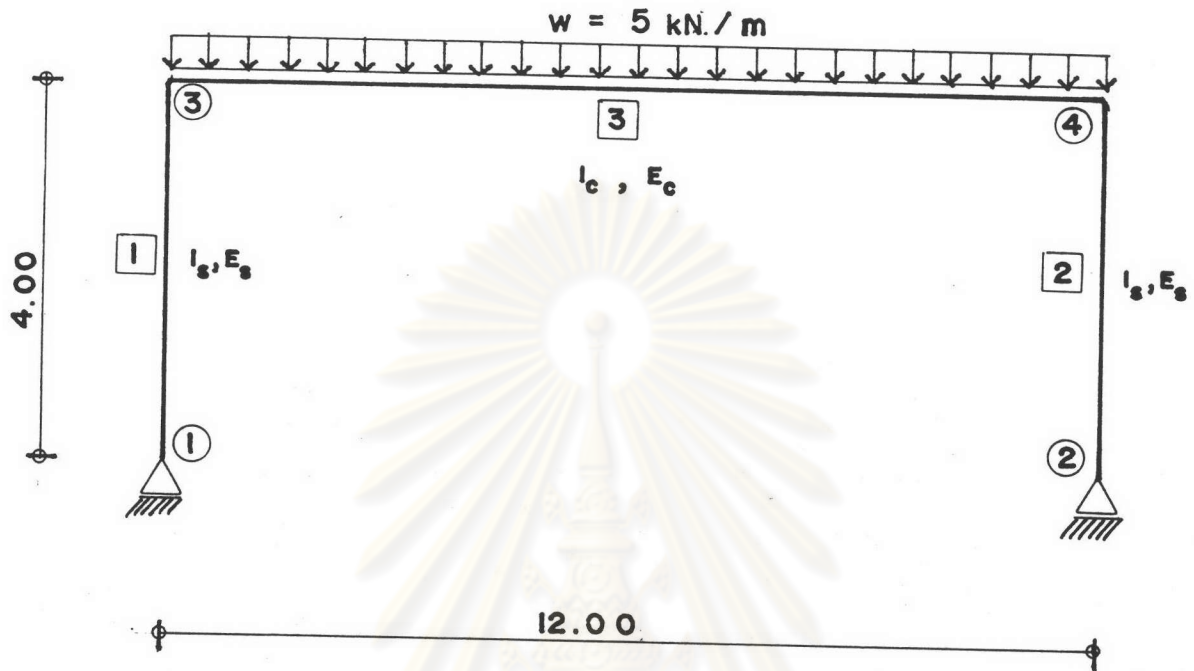
รูปที่ 4.8 หน่วยแรงค้ำเพิ่มขึ้นในคอนกรีตของโครงสร้างเสาเดียว (ตัวอย่างที่ 2)

STEEL STRESS HISTORIES



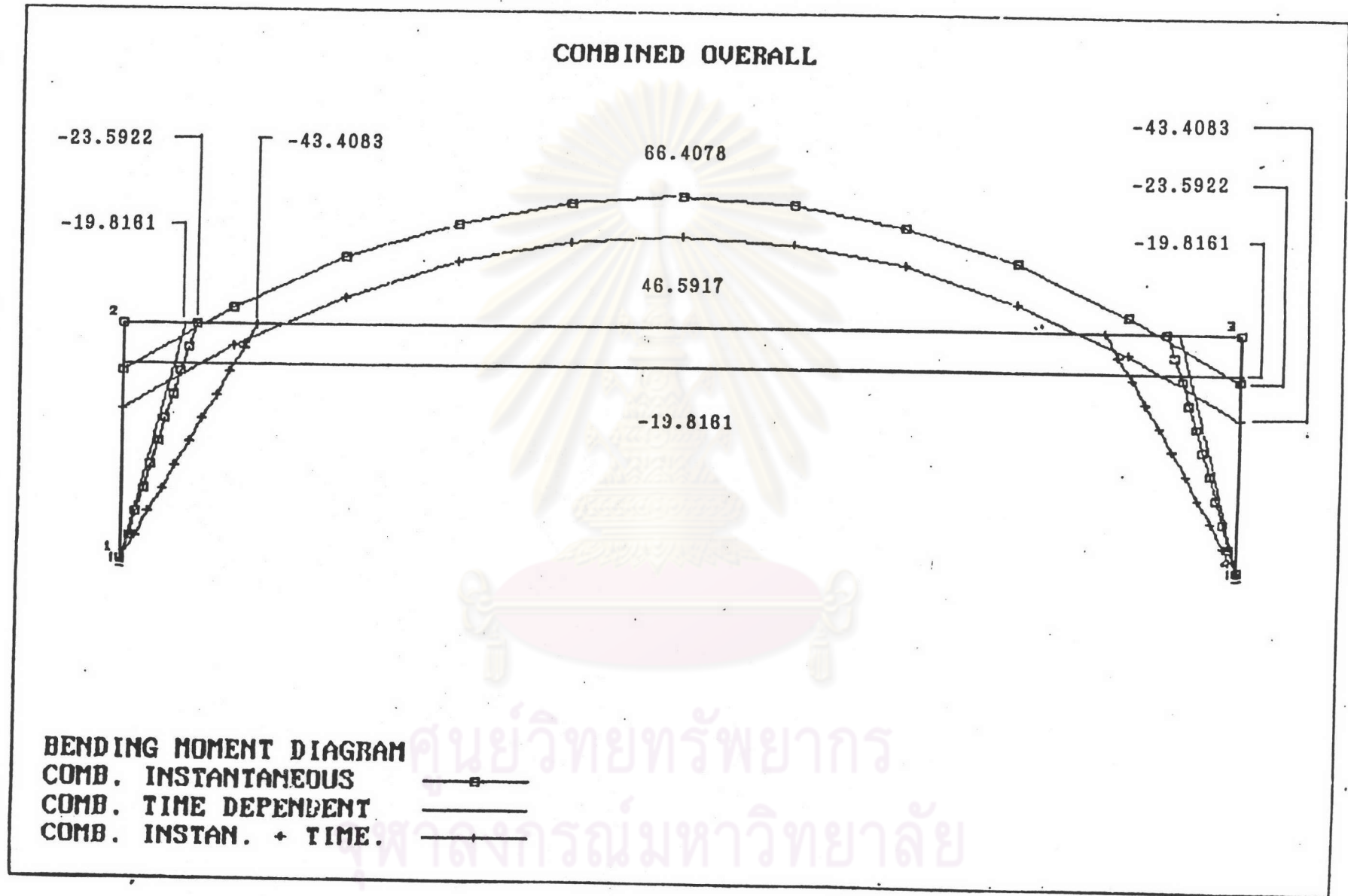
รูปที่ 4.9 หน่วยแรงคงค้างเพิ่มขึ้นในเหล็กเสริมของโครงสร้างเสาเดียว (ตัวอย่างที่ 2)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

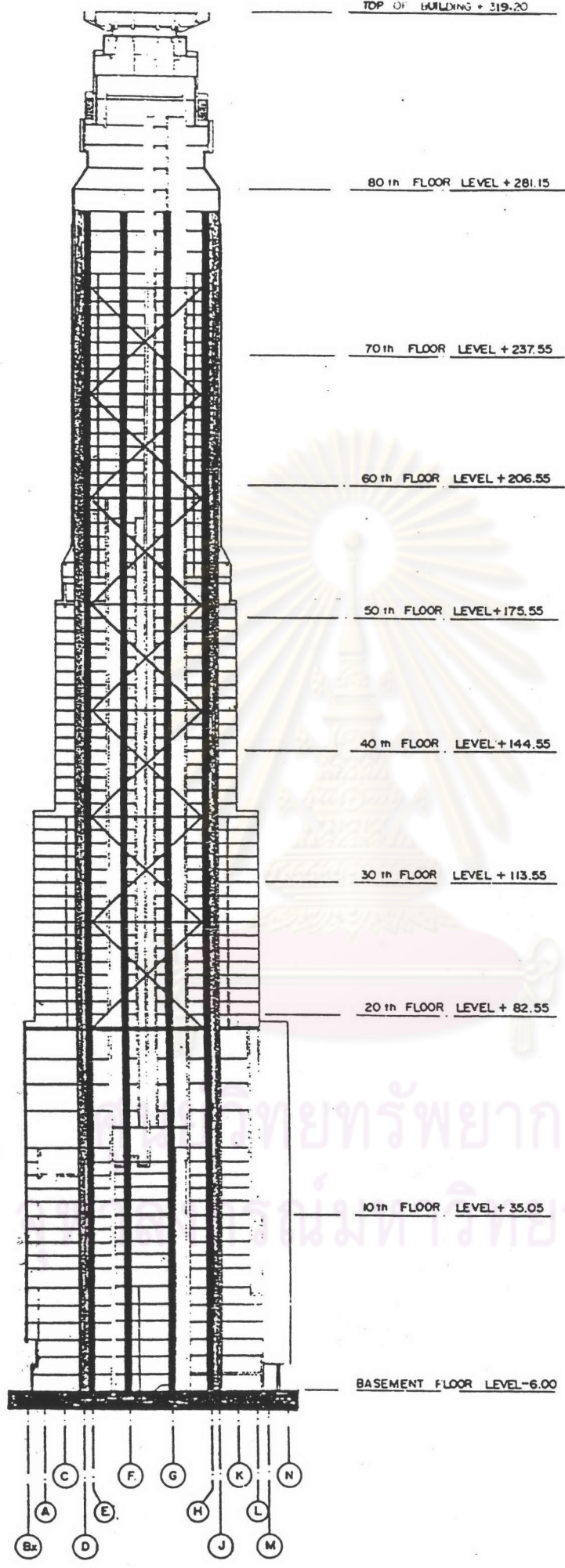


รูปที่ 4.10 โครงสร้างพอร์ทัล (Portal frame) (ตัวอย่างที่ 3)

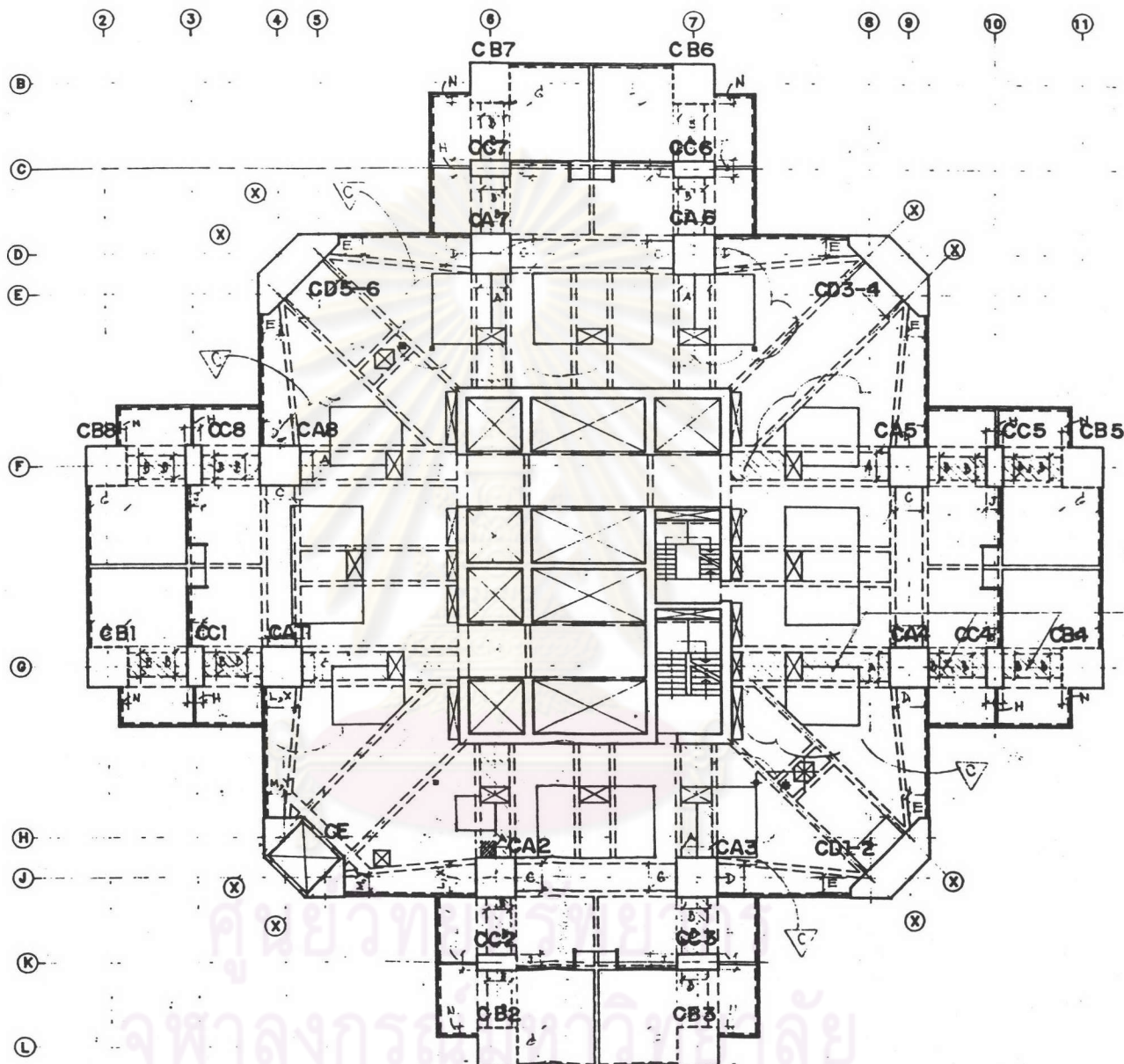
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.11 ผลรวมโมเมนต์คัตที่เวลาเริ่มแรก และเวลาสุดท้ายของโครงสร้างพอร์ทอล (ตัวอย่างที่ 3)

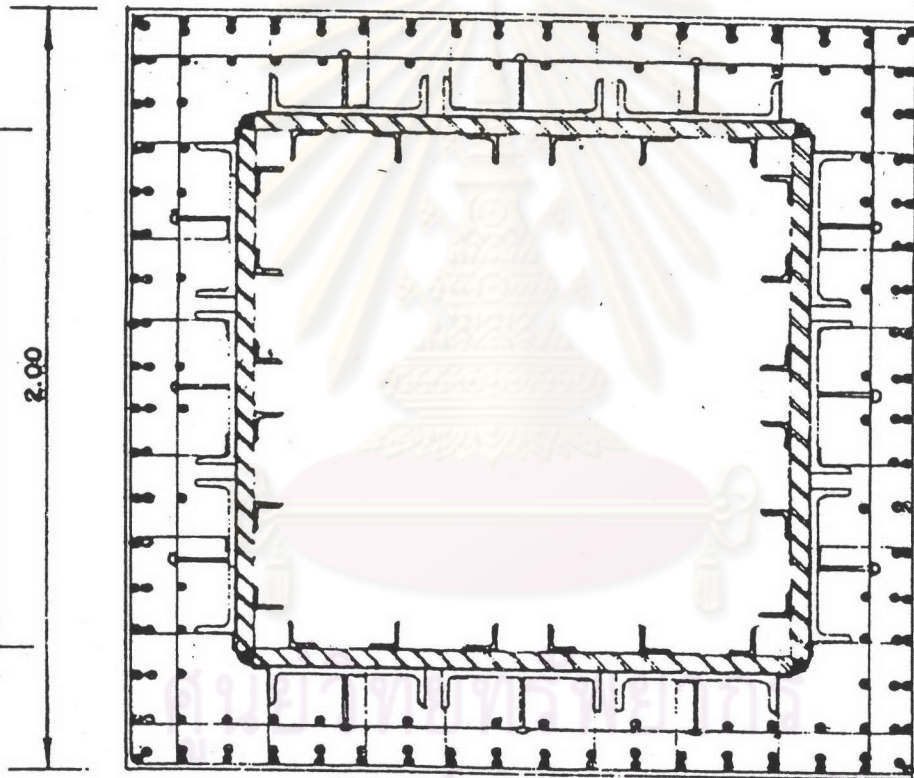


รูปที่ 4.12 รูปตัดตามขวางของอาคารไบนยัค 2



รูปที่ 4.13 ผังอาคารโหลยก 2

1.36 FOR 11th FL-15th FL.
 1.40 FOR 16th FL-20th FL.
 1.42 FOR 21st FL-25th FL

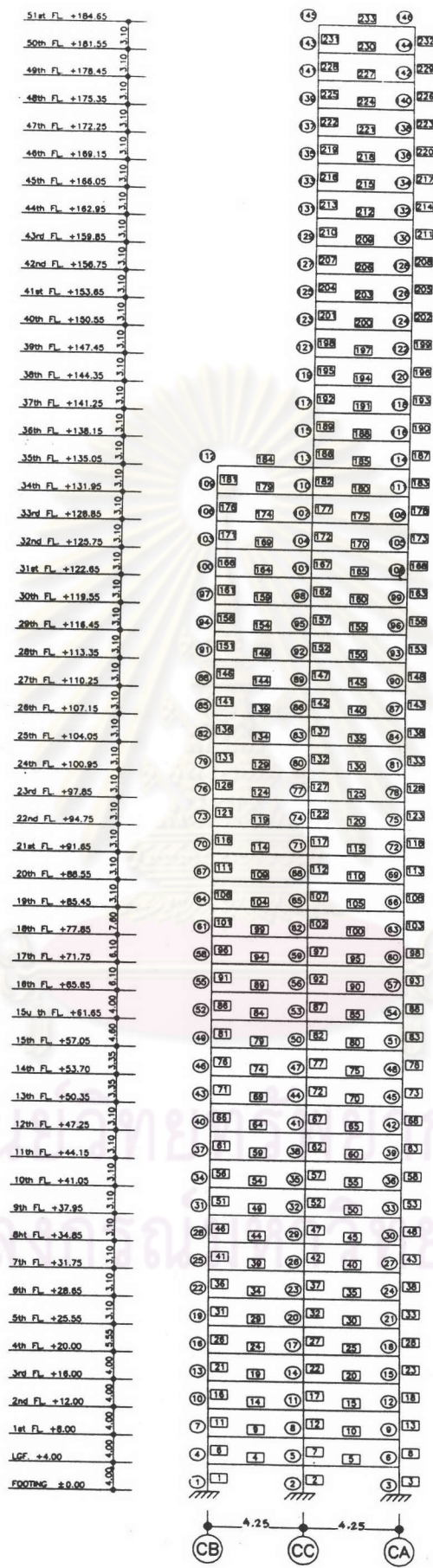


1.36 FOR 11th FL-15th FL.
 1.40 FOR 16th FL-20th FL.
 1.42 FOR 21st FL-25th FL

$f_c = 600 \text{ ksc.}$
 180 ϕ 32mm. +
 I2E - 400 x 100 x 10.5 x 16 (54.5 kg/m)
 SHEAR CONNECTOR ϕ 19 mm.
 24L-75 x 75 x 6 (6.85 kg/m.) +
 STEEL PLATE 40mm thk. FOR 11th - 15th FL
 25mm thk. FOR 16th - 20th FL
 15mm thk. FOR 21st - 25th FL
 ปอ 12mm. @ 0.30 + ϕ 16mm. @ 0.30

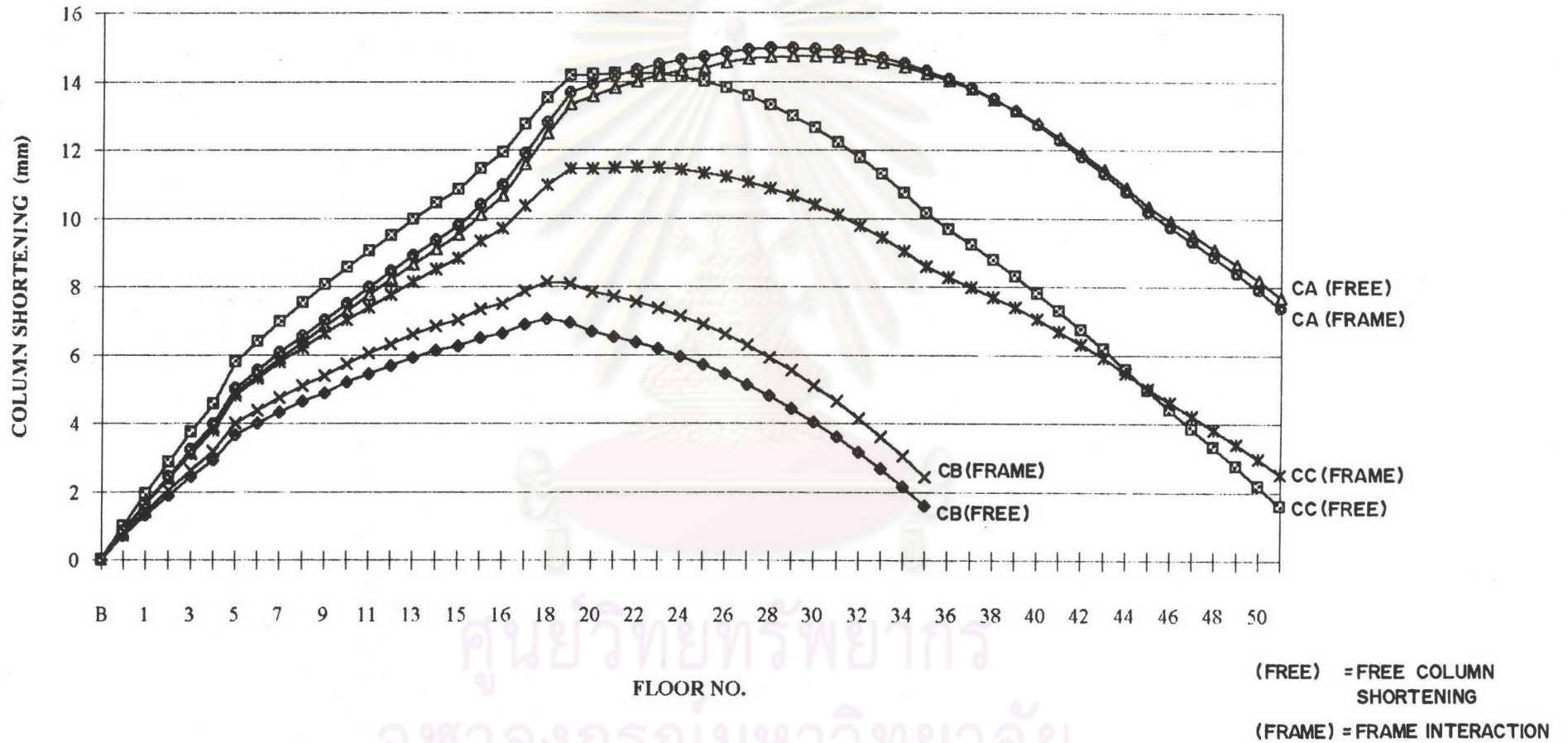
(จัดรอบนอก)

รูปที่ 4.14 หน้าตัดเสา CA



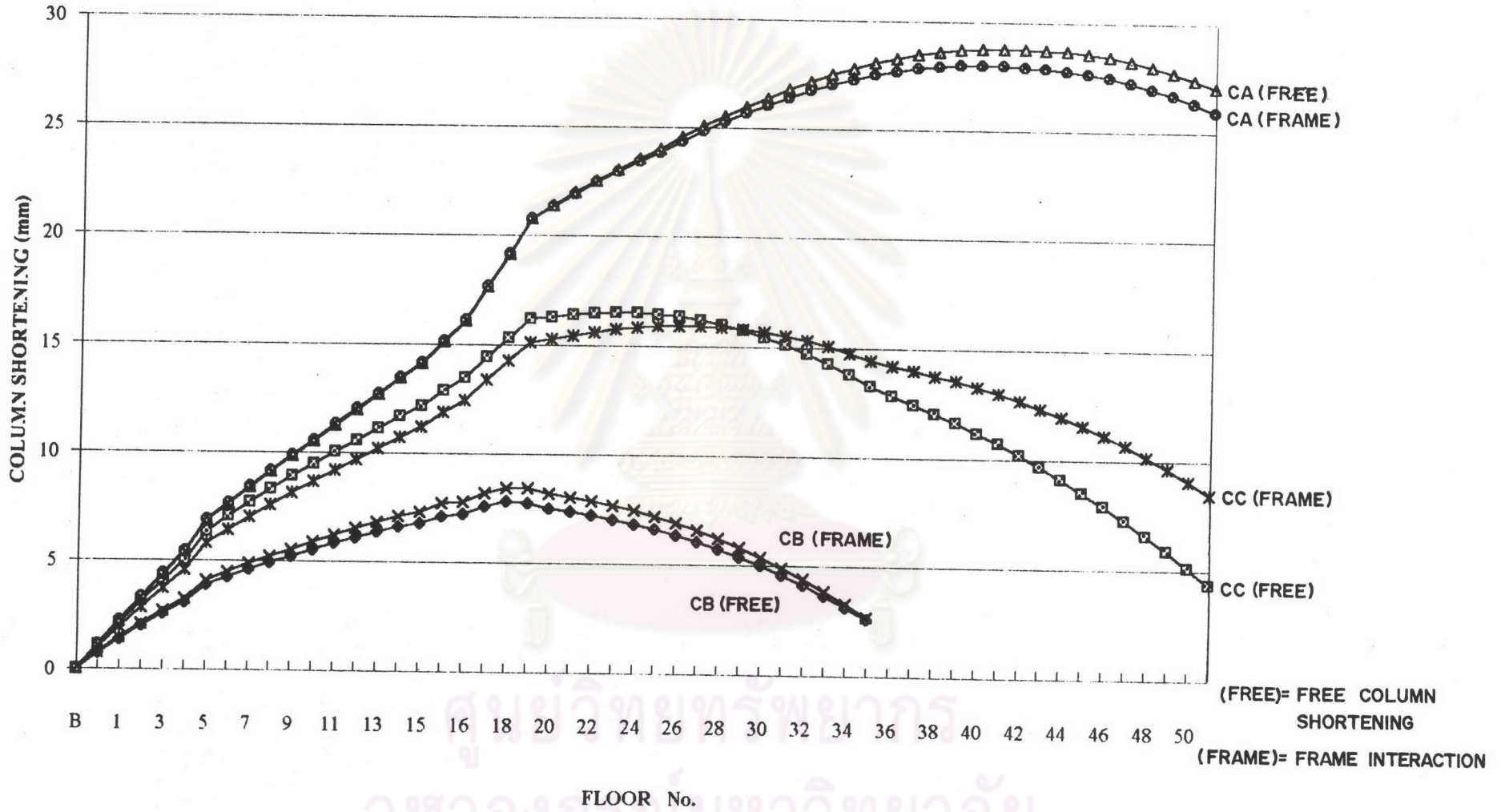
รูปที่ 4.15 โครงสร้างจำลอง (Idellize structure) ที่ใช้ในการวิเคราะห์อาคารโมหยก 2

COLUMN SHORTENING OF BAIYOKE 2 (AT L. 65)



รูปที่ 4.16 การหดตัวของเสา CA, CC และ CB อย่างอิสระ และคิดผลถ่วงน้ำหนักจากคาน เมื่อก่อสร้างถึงชั้นที่ 65 (ตัวอย่างที่ 4)

COLUMN SHORTENING OF BAIYOKE 2 AT 10 YEARS



รูปที่ 4.17 การหดตัวของเสา CA, CC และ CB อย่างอิสระ และคิดผลการยึดรั้งจากคาน ณ เวลา 10 ปี (ตัวอย่างที่ 4)