

รายการอ้างอิง

1. Ngo, D. and Scordelis A.C. Finite Element Analysis of Reinforced Concrete Beams. ACI Journal Vol. 65 No. 9 (September 1968): 152-163.
2. Cedolin, L. and Poli S.D. Finite Element Studies of Shear-Critical R/C Beams. Journal of the Engineering Mechanics Division, ASCE Vol.103 No.EM3 (June 1977): 395-410.
3. Colville, J. and Abbasi J. Plane Stress Reinforced Concrete Finite Elements. Journal of the Structural Division, ASCE Vol. 100 No.ST5 (May 1974): 1067-1083.
4. Houde, J. and Mirza M.S. A Finite Element Analysis of Shear Strength of Reinforced Concrete Beams. Shear in Reinforced Concrete Special Publication SP42-5, American Concrete Institute (1974): 103-128.
5. Nam,C. and Salmon C.G. Finite Element Analysis of Concrete Beams. Journal of the Structural Division, ASCE Vol.100 No.ST12 (December 1974): 2419-2432.
6. Jofriet, J.C. and McNeice G.M. Finite Element Analysis of Reinforced Concrete Slab. Journal of the Structural Division, ASCE Vol.97 No.ST3 (March 1971): 785-806.
7. Bashur, F.K. and Darwin D. Nonlinear Model for Reinforced Concrete Slabs. Journal of the Structural Division, ASCE Vol.104 No.ST1 (January 1978): 157-158.
8. Bathe, K.J. and Ramaswamy S. On Three-Dimensional Nonlinear Analysis of Reinforced Concrete Structures. Nuclear Engineering and Design Vol. 52 (1979): 385-409.
9. Bergan, N.B. and Holand I., Nonlinear Finite Element Analysis of Concrete Structures. Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering Vol. 17 No. 18 (1979): 443-467.
10. Yuzugullu,D. Finite Element Approach for the Prediction of Inelastic Behavior of Shear Wall-Frame System. Ph.D. Dissertation, Department of Civil Engineering, University of Illinois at Urbana-Champaign, Urbana, Illinois, 1972.
11. Cervenka, V. Inelastic Finite Element Analysis of Reinforced Concrete Panels under In-plane Loads. Ph.D. Disseratation, Department of Civil Engineering, The University of Colorado, Boulder, Colorado (1980): 239.
12. Cervenka, V. and Gerstle K.H. Inelastic Analysis of Reinforced Concrete Panels : Theory. Publication of International Association for Bridge and Structural Engineering, Vol.31-II (1971): 31-45.
13. Cervenka, V. and Gerstle K.H. Inelastic Analysis of Reinforced Concrete Panels : Experimental Verification and Application. Publication of International Association for Bridge and Structural Engineering, Vol.32-II (1971): 25-39.
14. Darwin, D. and Pecknold D.A.W.. Analysis of RC shear panels under Cyclic Loading. Journal of the Structural Division, ASCE Vol. 107, No. ST2 (February 1976): 355-369.

15. Bergan, N.B. and Holand I., Nonlinear Finite Element Analysis of Concrete Structures. Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering Vol. 17 No. 18 (1979): 443-467.
16. Aktan, H.M. and Hanson R.D. Nonlinear Cyclic Analysis of Reinforced Concrete Plane Stress Members. American Concrete Institute. Special Publication SP63-6. (1980): 135-152.
17. Agrawal, A.B., Jaeger L.G. , and Mufti A.A., Crack Propagation and Plasticity of Reinforced Concrete Shear-Wall under Monotonic and Cyclic Loading. Conference on Finite Element Methods in Engineering. Adelaide, Australia. December 1976.
18. Stevens, N.J., Uzumeri S.M., and Collins M.P. Analytical Modelling of Reinforced concrete Subjected to Monotonic and Reversed Loadings. Publication No 87-1. Department of Civil Engineering. University of Toronto. Toronto.Canada. January 1987.
19. Sittipunt, C. Finite Element Analysis of Reinforced Concrete Shear Walls. Ph.D. Dissertation. Department of Civil Engineering. University of Illinois at Urbana-Champaign. 1994.
20. Wood S.L. Observed Behavior of Slender Reinforced Concrete Walls Subjected to Cyclic Loadings. Earthquake-Resistant Concrete Structure-Inelastic Response and Design SP-127. American Concrete Institute, Detroit, 1991.
21. พิชัย ภัทรรัตนกุล. ผลการจัดเหล็กเสริมรับแรงเฉือนแบบต่างๆต่อพฤติกรรมการรับแรงดัดของคานเป็นวงจักรของคานคอนกรีตเสริมเหล็ก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2541.
22. วรพงษ์ จินข้าง. พฤติกรรมของเหล็กเสริมภายใต้แรงกระทำแบบเป็นวงจักร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2541.
23. Task Committee on Finite Element Analysis of Reinforced Concrete Structures. State-of-the-Art Report on Finite Element Analysis of Reinforced Concrete. American Society of Civil Engineers, New York, NY, 1982.
24. Rashid, Y.R. Analytical of Prestressed Concrete Vessels. Nuclear Engineering and Design Vol. 7 No. 4 (April 1968): 334-344.
25. Bazant, Z.P., and Cedolin L. Blunt Crack Band Propagation in Finite Element Analysis. Journal of the Engineering Mechanics Division. ASCE Vol. 105 No. EM2 (April 1979): 397-315.
26. De Borst, R., and Nauta P. Non-Orthogonal Cracks in a Smeared Finite Element Method. Engineering Computations Vol. 2 (March 1985): 35-46.
27. Yankelevsky, D.Z., and Reinhardt H.W. Uniaxial Behavior of Concrete in Cyclic Tension. Journal of Structural Engineering. ASCE Vol. 115 No. 1 (January 1989): 166-182.
28. Shiekh, S.A. and Uzumeri S.M. 1982. Analytical Model for Concrete Confinement in Tied Columns. Journal of the Structural Division. ASCE Vol.108 No. ST12 (December 1982): 2703-2722.

29. Karsan, I.D. and Jirsa J.O. Behavior of Concrete Under Compressive Loading. Journal of the Structural Division, ASCE Vol. 95 No. ST12 (December 1969): 2543-2563.
30. Yankelevsky, D.Z. and Reinhardt H.W. Model for Cyclic Compressive Behavior of Concrete. Journal of Structural Engineering, ASCE Vol. 113 No. 2 (February 1987): 228-240.
31. Aktan, A.E., Kalsou B.I. and Sozen M.A. Stress-Strain Relationships of Reinforcing Bars Subjected to Large Strain Reversals. Civil Engineering Studies, Structural Research Series No. 397, University of Illinois at Urbana-Champaign, Urbana, Illinois, June 1973.
32. Popov, E.G. Mechanical Characteristics and Bond of Reinforcing Steel under Seismic Conditions. Proceedings, Workshop on Earthquake-Resistant Reinforced Concrete Building Construction (ERCBC), University of California at Berkeley, Berkeley, California, (July 1977): 658-682.
33. Ma, S.Y., Betero V.V., and Popov E.G. Experimental and Analytical Studies on the Hysteretic Behavior of Reinforced Concrete Rectangular and T-Beams. Report No. EERC 76-2, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, May 1976.
34. Okamura, H., Shin H., and Maekawa K. Development of Analytical Model for Reinforced Concrete. Structural Design, Analysis, and Testing, Proceedings of the sessions related to design, analysis and testing at Structures Congress' 89, ASCE (May 1999): 49-58.
35. Park R. and Paulay T. Reinforced Concrete Structures. John Wiley & Sons, Inc. 1975.

ตารางที่ 1-1 รายละเอียดการเสริมเหล็กของตัวอย่างวิเคราะห์

ตัวอย่างที่	เหล็กเสริมรับแรง อัดใน Boundary Element	เหล็กเสริมรับแรง เฉือนแนวนอนใน กำแพง	เหล็กเสริมรับ แรงเฉือนแนว ตั้งในกำแพง	เหล็กเสริมรับ แรงเฉือนใน แนวทแยง	เหล็กเสริมโอบรัด ใน Boundary Element
	$\rho_c(\%)$	$\rho_n(\%)$	$\rho_v(\%)$	$\rho_d(\%)$	$\rho_s(\%)$
1	2.290	0.523	0.393	-	0.283
2	2.290	0.785	0.523	-	0.283
3	2.290	-	-	0.523	0.283
4	2.290	-	-	0.785	0.283

ตารางที่ 1-2 คุณสมบัติของเหล็กเสริมที่ใช้ในการวิเคราะห์

ตัวอย่างเหล็กเสริม	f_y	f_{su}	E_s
RB6	4523	5477	2000000
DB10	4586	7134	1920000
DB12	4336	7345	1950000
DB16	4826	7761	2040000
DB20	4841	6274	2290000

- เมื่อ f_y = กำลังครากของเหล็กเสริม
 f_{su} = กำลังรับแรงดึงของเหล็กเสริม
 E_s = ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของเหล็กเสริม

ตารางที่ 1-3 คุณสมบัติของคอนกรีตที่ใช้ในการวิเคราะห์

ตัวอย่างที่	อายุ (วัน)	f_c (กก./ซม ²)	E_c (กก./ซม ²)
1	180	373	293093
2	180	365	288464
3	165	385	301050
4	165	370	298377

ตารางที่ 2.1 การแยกประเภทของการวิเคราะห์แบบไม่เชิงเส้น

ชนิดของการวิเคราะห์	คำอธิบาย	ชนิดของสูตรที่ใช้
แบบไม่เชิงเส้นทางวัสดุเท่านั้น	มีการเคลื่อนตัวและความเครียดจำนวนมากไม่ถ่วงและมีความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเครียดแบบไม่เชิงเส้น	แบบไม่เชิงเส้นทางวัสดุ
การเคลื่อนตัวสูง, การหมุนของจุดต่อสูงแต่ความเครียดต่ำ	มีการเคลื่อนตัวและการหมุนของจุดต่อสูงแต่ความเครียดต่ำ โดยที่ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเครียดอาจเป็นแบบเชิงเส้นหรือไม่เชิงเส้นก็ได้	แบบไม่เชิงเส้นทางรูปร่างและแบบเชิงเส้นหรือไม่เชิงเส้นทางวัสดุ
การเคลื่อนตัวสูง, การหมุนของจุดต่อสูงและความเครียดสูง	มีความเครียดสูงและมีการเคลื่อนตัวรวมทั้งการหมุนของจุดต่อสูงด้วย โดยที่ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเครียดอาจเป็นแบบเชิงเส้นหรือไม่เชิงเส้นก็ได้	แบบไม่เชิงเส้นทางรูปร่างและแบบเชิงเส้นหรือไม่เชิงเส้นทางวัสดุ

ตารางที่ 3.1 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในแบบจำลองคอนกรีต

a) ฟังก์ชันหน่วยแรงตั้งฉาก

พารามิเตอร์	ค่า	ชื่อในไฟล์ป้อนข้อมูล
σ_1	$0.1\sigma_{cr}$	TENSIG
α	0.2	RATIO
σ_1	$3.0\sigma_{cr}$	C1
σ_2	$0.2\sigma_{cr}$	C2
σ_3	$0.8\sigma_{cr}$	C3
σ_4	$0.2\sigma_{cr}$	C4
σ_1	$3.0\sigma_{cr}$	COMSTIF

คอนกรีตใน web ของทุกตัวอย่าง
วิเคราะห์

พารามิเตอร์	ค่า	ชื่อในไฟล์ป้อนข้อมูล
σ_1	$0.2\sigma_{cr}$	TENSIG
α	0.3	RATIO
σ_1	$3.0\sigma_{cr}$	C1
σ_2	$0.2\sigma_{cr}$	C2
σ_3	$0.8\sigma_{cr}$	C3
σ_4	$0.2\sigma_{cr}$	C4
σ_1	$3.0\sigma_{cr}$	COMSTIF

คอนกรีตใน Boundary Elements ของทุกตัวอย่าง
วิเคราะห์

b1) ฟังก์ชันหน่วยแรงเฉือน

พารามิเตอร์	ค่า	ชื่อในไฟล์ป้อนข้อมูล
μ_1	0.20	MU_ONE
ϵ_{min}	$12.5\sigma_{cr}$	EPSAGG
μ_2	0.20	MU_TWO
γ_2	0.015	GAMDOW
τ_{slip}	0.04 ksi	GSIG
G_{uni}	$0.10G_{conc}$	GUNL
G_{min}	$0.0005G_{conc}$	GMIN

คอนกรีตใน web และ boundary elements ของตัวอย่างวิเคราะห์ที่ 1 และ 2

b2) ฟังก์ชันหน่วยแรงเฉือน

พารามิเตอร์	ค่า	ชื่อในไฟล์ป้อนข้อมูล
μ_1	0.05	MU_ONE
ϵ_{min}	$12.5\sigma_{cr}$	EPSAGG
μ_2	0.20	MU_TWO
γ_2	0.005	GAMDOW
τ_{slip}	0.04 ksi	GSIG
G_{uni}	$0.10G_{conc}$	GUNL
G_{min}	$0.0005G_{conc}$	GMIN

คอนกรีตใน web และ boundary elements ของตัวอย่างวิเคราะห์ที่ 3 และ 4

ตารางที่ 3.2 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในแบบจำลองเหล็กเสริม

พารามิเตอร์	ค่า	ชื่อในไฟล์ป้อนข้อมูล
m	16.9	INITL_RAM_EXPNET
σ_{om}	$0.8\sigma_y$	INITL_RAM_STRESS
α	10	COM_CYCLE_EXPNET
A	0.3359	COM_CYCLE_STRESS
B	0.7372	COM_CYCLE_COEF
α	7	TEN_CYCLE_EXPNET
A	0.9380	TEN_CYCLE_STRESS
B	0.4510	TEN_CYCLE_COEF

เหล็กเสริมใน web

พารามิเตอร์	ค่า	ชื่อในไฟล์ป้อนข้อมูล
m	5.60	INITL_RAM_EXPNET
σ_{om}	$0.8\sigma_y$	INITL_RAM_STRESS
α	10	COM_CYCLE_EXPNET
A	0.3359	COM_CYCLE_STRESS
B	0.7372	COM_CYCLE_COEF
α	7	TEN_CYCLE_EXPNET
A	0.9380	TEN_CYCLE_STRESS
B	0.4510	TEN_CYCLE_COEF

เหล็กเสริมใน Boundary Elements

* $COM_CYCLE_STRESS = A\sigma_y$

** $TEN_CYCLE_STRESS = A\sigma_y$

โดยที่ค่า A ใน TEN_CYCLE_STRESS จะทำการลดค่าเนื่องจากการโก่งเดาะ (Buckling) ของเหล็กเสริมดังนี้

$$A = 0.9380, L/d < 8$$

$$A = 0.3000, L/d < 12$$

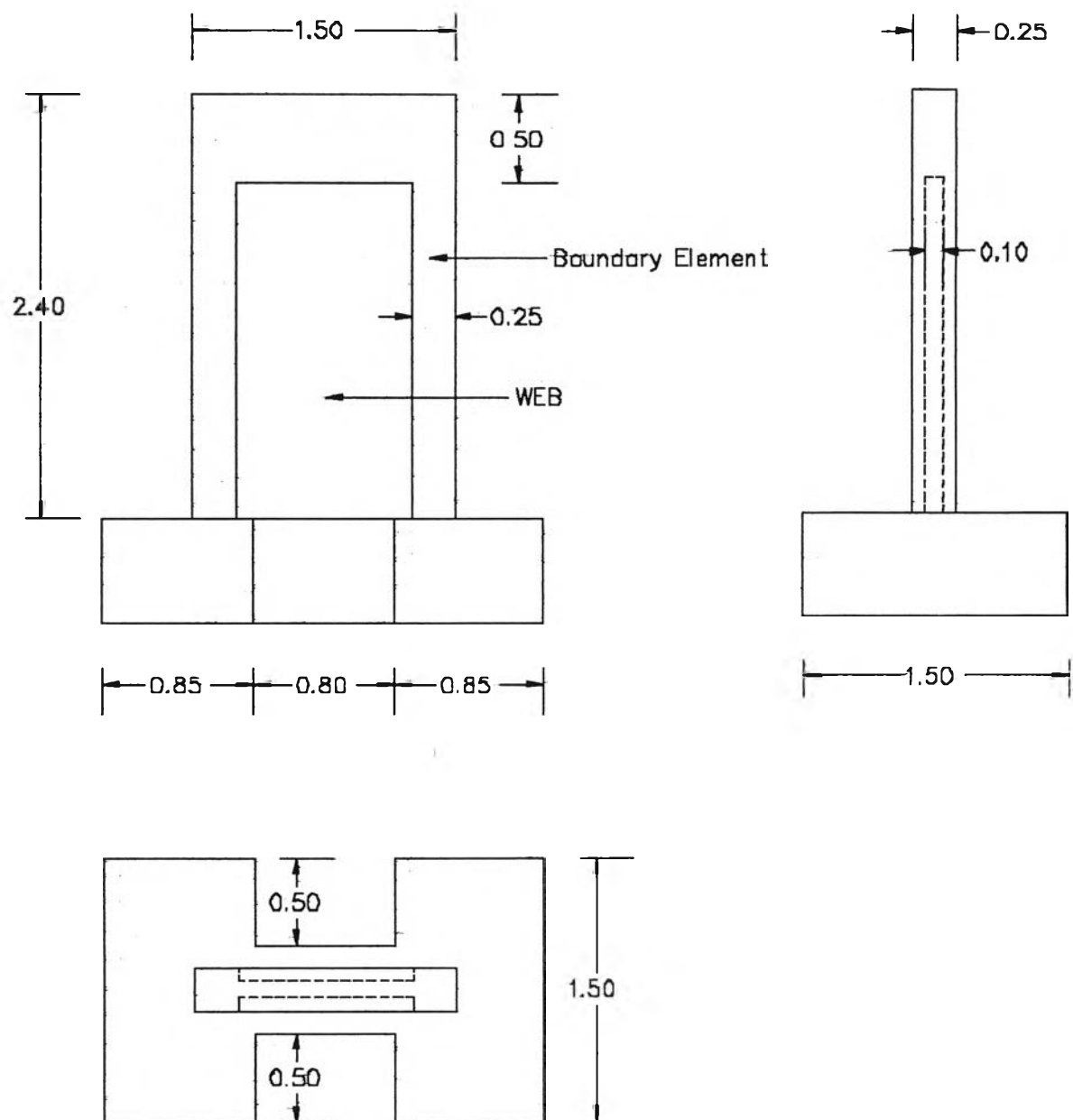
$$A = 0.2000, L/d > 12$$

ตารางที่ 3.3 การสังเกตการวิบัติของกำแพง

ตัวอย่างกำแพง	ผลการทดสอบ	ผลการวิเคราะห์
Wall 1	<p>จะเกิดรอยร้าวครั้งแรกที่ส่วนล่างของกำแพงที่รอบที่ 1 เมื่อแรงกระทำเท่ากับ 196 kN และมีการเคลื่อนที่ด้านข้างเท่ากับ 1.66 mm.</p> <p>รอยร้าวเริ่มขยายไปด้านบนและเหล็กเสริมใน Boundary Element ด้านที่อยู่ใกล้แรงกระทำเริ่มเกิดการครากที่รอบที่ 4 เมื่อแรงกระทำเท่ากับ 441 kN และมีการเคลื่อนที่ด้านข้าง เท่ากับ 7.90 mm.</p> <p>จะเกิดการแตก (Crushing) ของคอนกรีตใน web ของกำแพงจากความมาซายและจะเกิด Web Crushing ที่ระยะ 45 cm. จากฐาน</p>	<p>จะเกิดรอยร้าวครั้งแรกที่ส่วนล่างของกำแพงที่รอบที่ 1 และชั้นของแรงกระทำที่ 4 เมื่อมีแรงกระทำเท่ากับ 140 kN และมีการเคลื่อนที่ด้านข้างเท่ากับ 0.51 mm.</p> <p>รอยร้าวเริ่มขยายไปด้านบนและเหล็กเสริมที่เอลิเมนต์ 229 ใน Boundary Element ด้านที่อยู่ใกล้แรงกระทำเริ่มเกิดการครากที่รอบที่ 4 ชั้นของแรงกระทำที่ 159 เมื่อแรงกระทำเท่ากับ 400 kN และมีการเคลื่อนที่ด้านข้างเท่ากับ 5.4 mm.</p> <p>เหล็กเสริมจะเริ่มเกิดการครากตามมาอีกจำนวน 114 เอลิเมนต์และเหล็กเสริมจะเริ่มอยู่ในช่วงการแข็งตัวเพิ่มขึ้นด้านแรงดึงที่รอบที่ 4 ชั้นของแรงกระทำที่ 165 ที่เอลิเมนต์ 229 และจะมีการดึงช่วงการแข็งตัวเพิ่มขึ้นด้านแรงดึงอีกจำนวน 3 เอลิเมนต์ ได้แก่ เอลิเมนต์ 324, 230, 325</p> <p>ในส่วนของคอนกรีตจะเริ่มเกิด web crushing ที่รอบที่ 8 ชั้นของแรงกระทำที่ 309 ที่เอลิเมนต์ 46 เป็นอันดับแรก จากนั้นจะขยายขึ้นมา โดยจะเกิดภายในระยะ 70 cm. จากฐาน</p>
Wall 2	<p>จะเกิดรอยร้าวครั้งแรกที่ส่วนล่างของกำแพงที่รอบที่ 1 เมื่อแรงกระทำเท่ากับ 196 kN และมีการเคลื่อนที่ด้านข้างเท่ากับ 2.00 mm.</p> <p>รอยร้าวเริ่มขยายไปด้านบนและเหล็กเสริมใน Boundary Element ด้านที่อยู่ใกล้แรงกระทำเริ่มเกิดการครากที่รอบที่ 4 เมื่อแรงกระทำเท่ากับ 441 kN และมีการเคลื่อนที่ด้านข้าง เท่ากับ 7.77 mm.</p> <p>จะเกิดการแตก (Crushing) ของคอนกรีต</p>	<p>จะเกิดรอยร้าวครั้งแรกที่ส่วนล่างของกำแพงที่รอบที่ 1 และชั้นของแรงกระทำที่ 4 เมื่อมีแรงกระทำเท่ากับ 138 kN และมีการเคลื่อนที่ด้านข้างเท่ากับ 0.51 mm.</p> <p>รอยร้าวเริ่มขยายไปด้านบนและเหล็กเสริมที่เอลิเมนต์ 229 ใน Boundary Element ด้านที่อยู่ใกล้แรงกระทำเริ่มเกิดการครากที่รอบที่ 4 ชั้นของแรงกระทำที่ 170 เมื่อแรงกระทำเท่ากับ 396 kN และมีการเคลื่อนที่ด้านข้างเท่า</p>

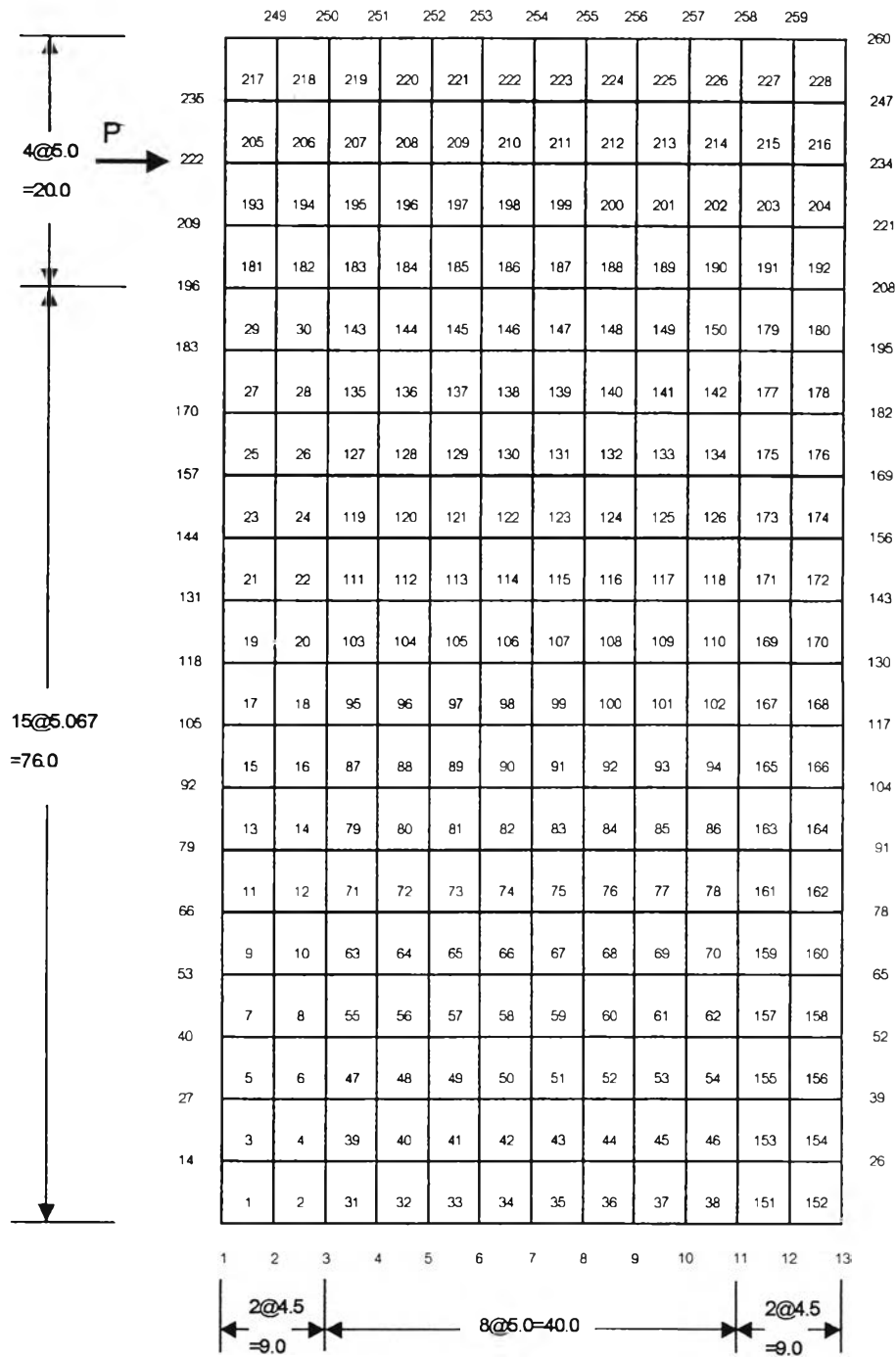
	<p>ใน web ของกำแพงจากขามาซ้ายและจะเกิด Web Crushing ที่ระยะ 30 cm. จากฐาน</p>	<p>กับ 5.39 mm.</p> <p>เหล็กเสริมจะเริ่มเกิดการครากตามมาอีกจำนวน 101 เอลิเมนต์และเหล็กเสริมจะเริ่มอยู่ในช่วงการแข็งตัวเพิ่มขึ้นด้านแรงดึงที่รอบที่ 4 ชั้นของแรงกระทำที่ 194 ที่เอลิเมนต์ 324 และจะมีการดึงช่วงการแข็งตัวเพิ่มขึ้นด้านแรงดึงอีกจำนวน 4 เอลิเมนต์ ได้แก่ เอลิเมนต์ 230, 358, 373, 328</p> <p>ในส่วนของคนกรีตจะเริ่มเกิด web crushing ที่รอบที่ 8 ชั้นของแรงกระทำที่ 329 ที่เอลิเมนต์ 39 เป็นอันดับแรก จากนั้นจะขยายขึ้นมา โดยจะเกิดภายในระยะ 40 cm.</p>
Wall 3	<p>จะเกิดรอยร้าวครั้งแรกที่ส่วนล่างของกำแพงที่รอบที่ 1 เมื่อแรงกระทำเท่ากับ 196 kN และมีการเคลื่อนที่ด้านข้างเท่ากับ 1.67 mm.</p> <p>รอยร้าวเริ่มขยายไปด้านบนและเหล็กเสริมใน Boundary Element ด้านที่อยู่ใกล้แรงกระทำเริ่มเกิดการครากที่รอบที่ 4 เมื่อแรงกระทำเท่ากับ 432 kN และมีการเคลื่อนที่ด้านข้าง เท่ากับ 8.02 mm.</p> <p>จะเกิดการแตก (Crushing) ของคอนกรีตใน Boundary Element</p>	<p>จะเกิดรอยร้าวครั้งแรกที่ส่วนล่างของกำแพงที่รอบที่ 1 และชั้นของแรงกระทำที่ 4 เมื่อมีแรงกระทำเท่ากับ 139 kN และมีการเคลื่อนที่ด้านข้างเท่ากับ 0.51 mm.</p> <p>รอยร้าวเริ่มขยายไปด้านบนและเหล็กเสริมที่เอลิเมนต์ 229 ใน Boundary Element ด้านที่อยู่ใกล้แรงกระทำเริ่มเกิดการครากที่รอบที่ 4 ชั้นของแรงกระทำที่ 156 เมื่อแรงกระทำเท่ากับ 344 kN และมีการเคลื่อนที่ด้านข้างเท่ากับ 5.2 mm.</p> <p>เหล็กเสริมจะเริ่มเกิดการครากตามมาอีกจำนวน 280 เอลิเมนต์และเหล็กเสริมจะเริ่มอยู่ในช่วงการแข็งตัวเพิ่มขึ้นด้านแรงดึงที่รอบที่ 4 ชั้นของแรงกระทำที่ 269 ที่เอลิเมนต์ 268 และจะมีการดึงช่วงการแข็งตัวเพิ่มขึ้นด้านแรงดึงอีกจำนวน 6 เอลิเมนต์ ได้แก่ เอลิเมนต์ 267, 325, 233, 252, 271, 327</p> <p>และจะไม่มี web crushing</p>
Wall 4	<p>จะเกิดรอยร้าวครั้งแรกที่ส่วนล่างของกำแพงที่รอบที่ 1 เมื่อแรงกระทำเท่ากับ 196 kN และมีการเคลื่อนที่ด้านข้างเท่ากับ 1.28 mm.</p>	<p>จะเกิดรอยร้าวครั้งแรกที่ส่วนล่างของกำแพงที่รอบที่ 1 และชั้นของแรงกระทำที่ 4 เมื่อมีแรงกระทำเท่ากับ 129 kN และมีการเคลื่อนที่</p>

	<p>รอยร้าวเริ่มขยายไปด้านบนและเหล็กเสริมใน Boundary Element ด้านที่อยู่ใกล้แรงกระทำเริ่มเกิดการร้าวที่รอบที่ 4 เมื่อแรงกระทำเท่ากับ 481 kN และมีการเคลื่อนที่ด้านข้าง เท่ากับ 7.05 mm.</p>	<p>ด้านข้างเท่ากับ 0.51 mm.</p> <p>รอยร้าวเริ่มขยายไปด้านบนและเหล็กเสริมที่เอลิเมนต์ 229 ใน Boundary Element ด้านที่อยู่ใกล้แรงกระทำเริ่มเกิดการร้าวที่รอบที่ 4 ชั้นของแรงกระทำที่ 119 เมื่อแรงกระทำเท่ากับ 430 kN และมีการเคลื่อนที่ด้านข้างเท่ากับ 6.8 mm.</p> <p>เหล็กเสริมจะเริ่มเกิดการร้าวตามมาอีกจำนวน 275 เอลิเมนต์และเหล็กเสริมจะเริ่มอยู่ในช่วงการแข็งตัวเพิ่มขึ้นด้านแรงดึงที่รอบที่ 7 ชั้นของแรงกระทำที่ 216 ที่เอลิเมนต์ 267 และจะมีการดึงช่วงการแข็งตัวเพิ่มขึ้นด้านแรงดึงอีกจำนวน 9 เอลิเมนต์ ได้แก่ เอลิเมนต์ 249, 268, 230, 286, 287, 306, 325, 324, 233</p> <p>จะไม่มี web crushing</p>
--	--	---



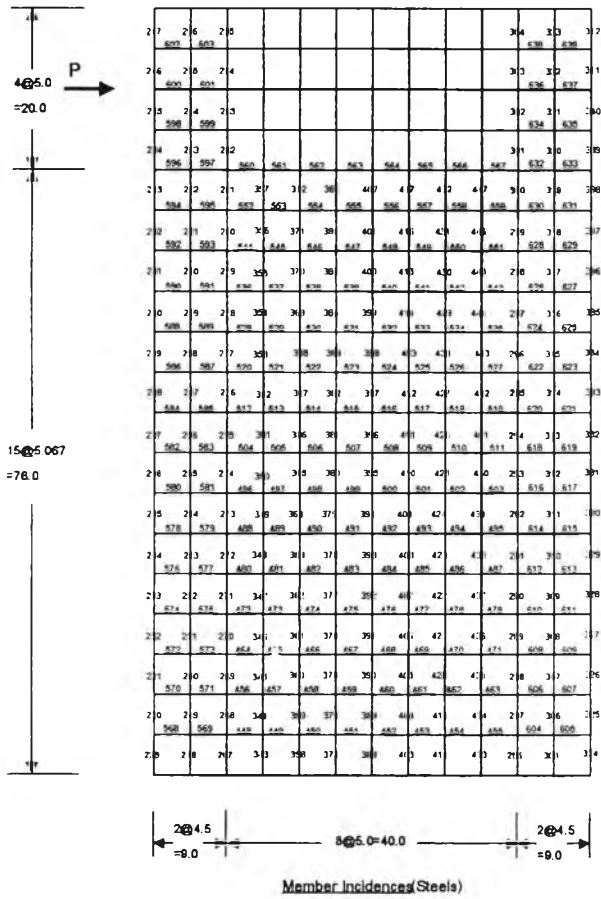
รูปที่ 1.1 ขนาดของกำแพงที่ใช้ในการวิเคราะห์

WALL 1,2,3,4

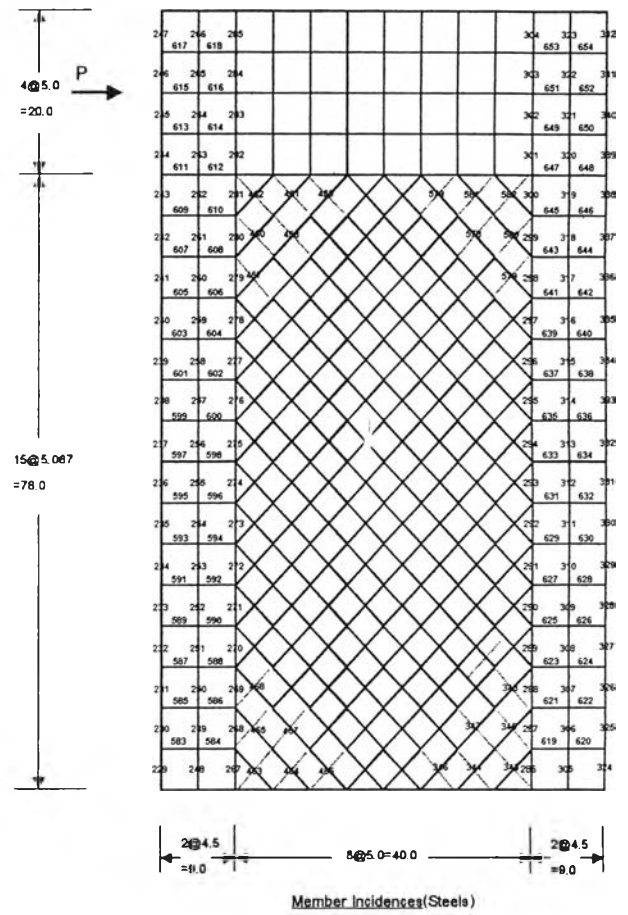


รูปที่ 1.2 การแบ่งชิ้นส่วนของคอนกรีต

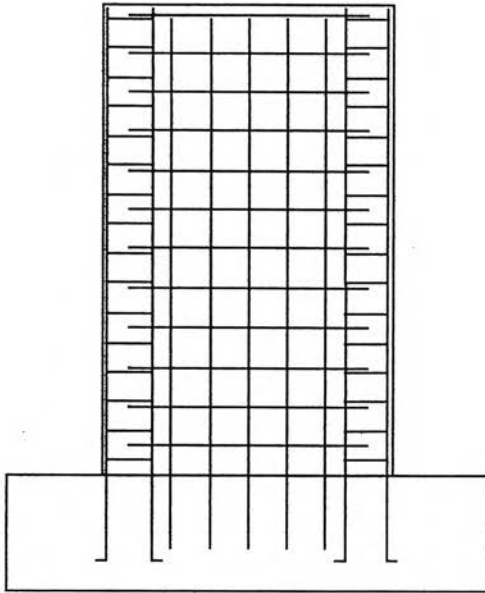
WALL 1,2



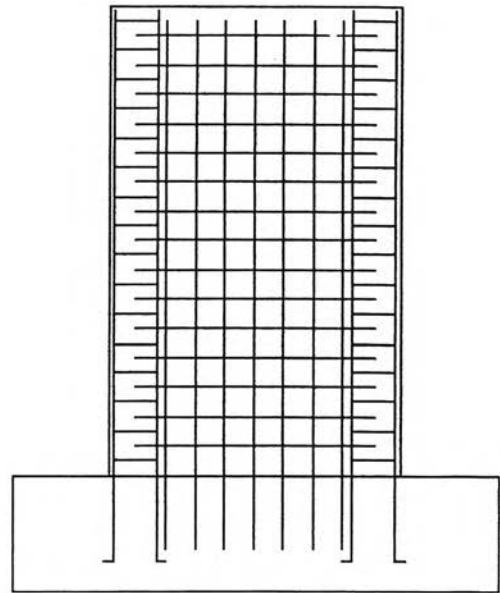
WALL 3,4



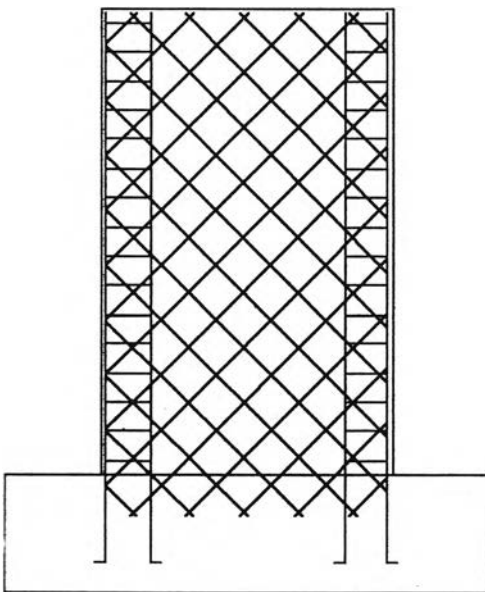
รูปที่ 1.3 การแบ่งชิ้นส่วนของเหล็กเสริม



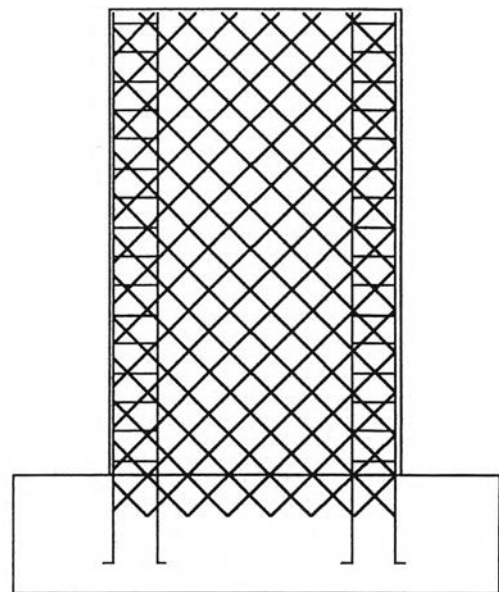
ตัวอย่างวิเคราะห์ที่ 1



ตัวอย่างวิเคราะห์ที่ 2

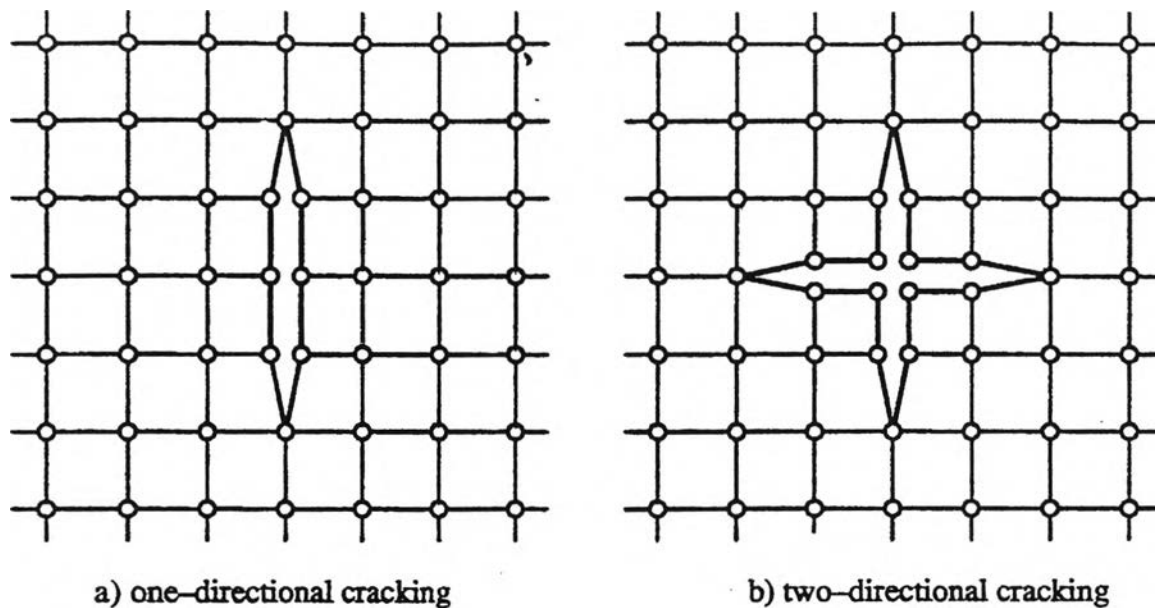


ตัวอย่างวิเคราะห์ที่ 3

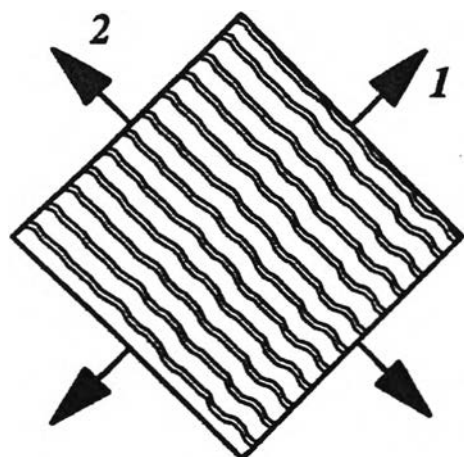


ตัวอย่างวิเคราะห์ที่ 4

รูปที่ 1.4 รูปแบบการเสริมเหล็กของตัวอย่างวิเคราะห์



รูปที่ 2.1 การจำลองรอยแตกแบบดิสครีต (Discrete Crack Model)

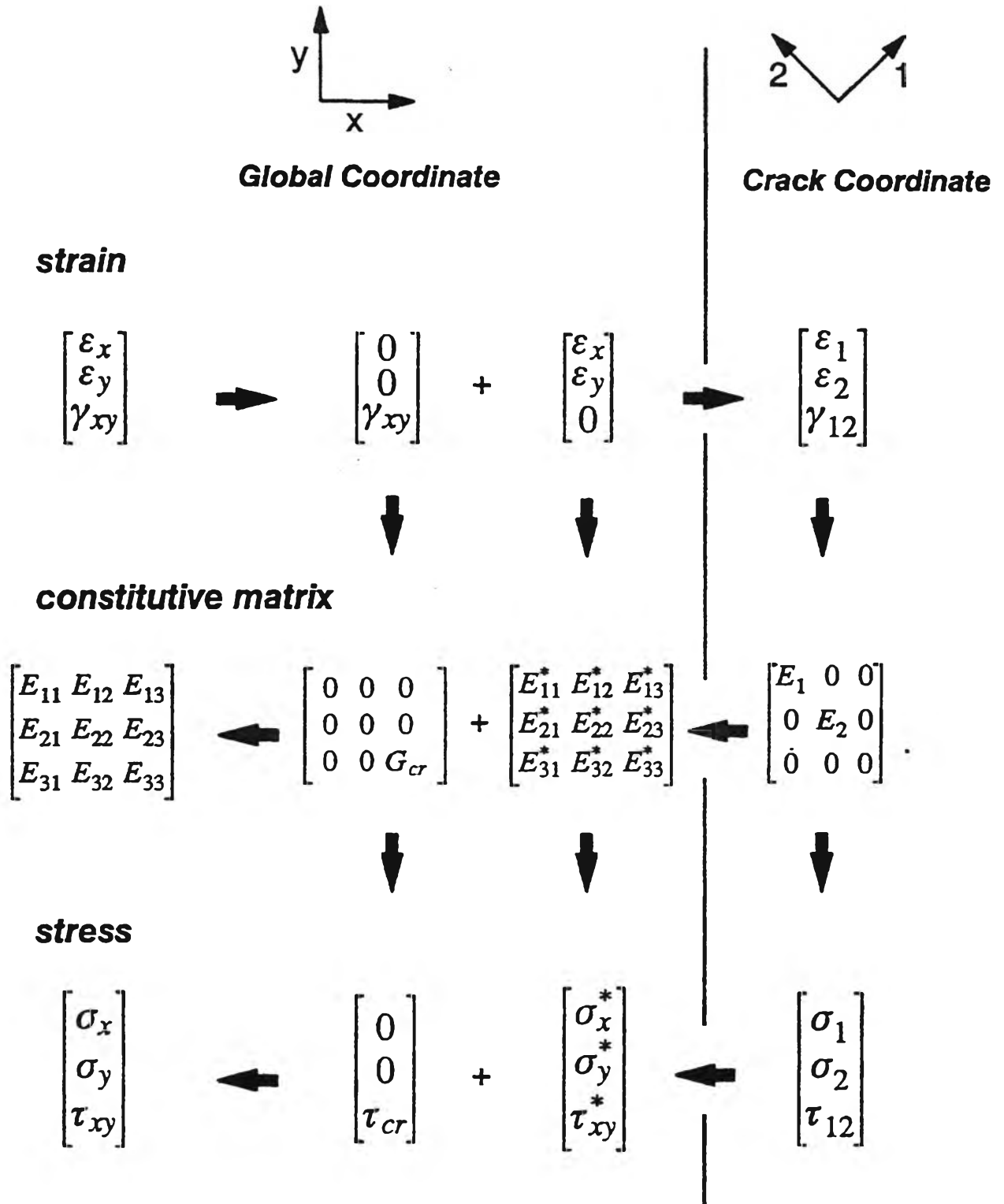


a) one-directional cracking

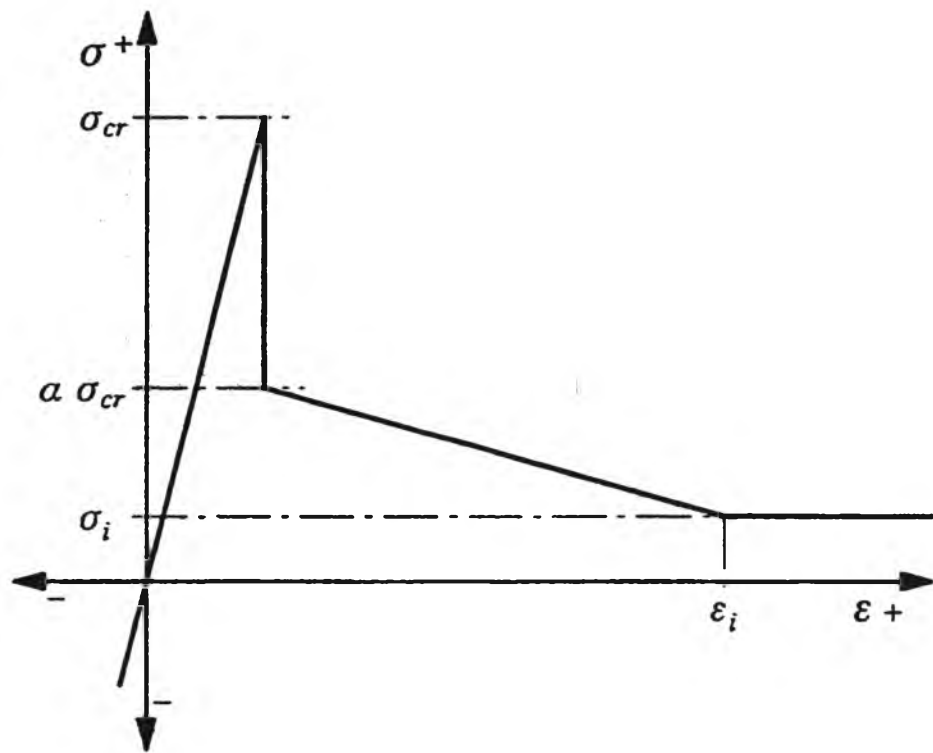
$$\begin{bmatrix} \partial\sigma_1 \\ \partial\sigma_2 \\ \partial\tau_{12} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} E_1 & 0 & 0 \\ 0 & E_2 & 0 \\ 0 & 0 & \beta G \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \partial\varepsilon_1 \\ \partial\varepsilon_2 \\ \partial\gamma_{12} \end{bmatrix}$$

b) constitutive matrix in crack direction

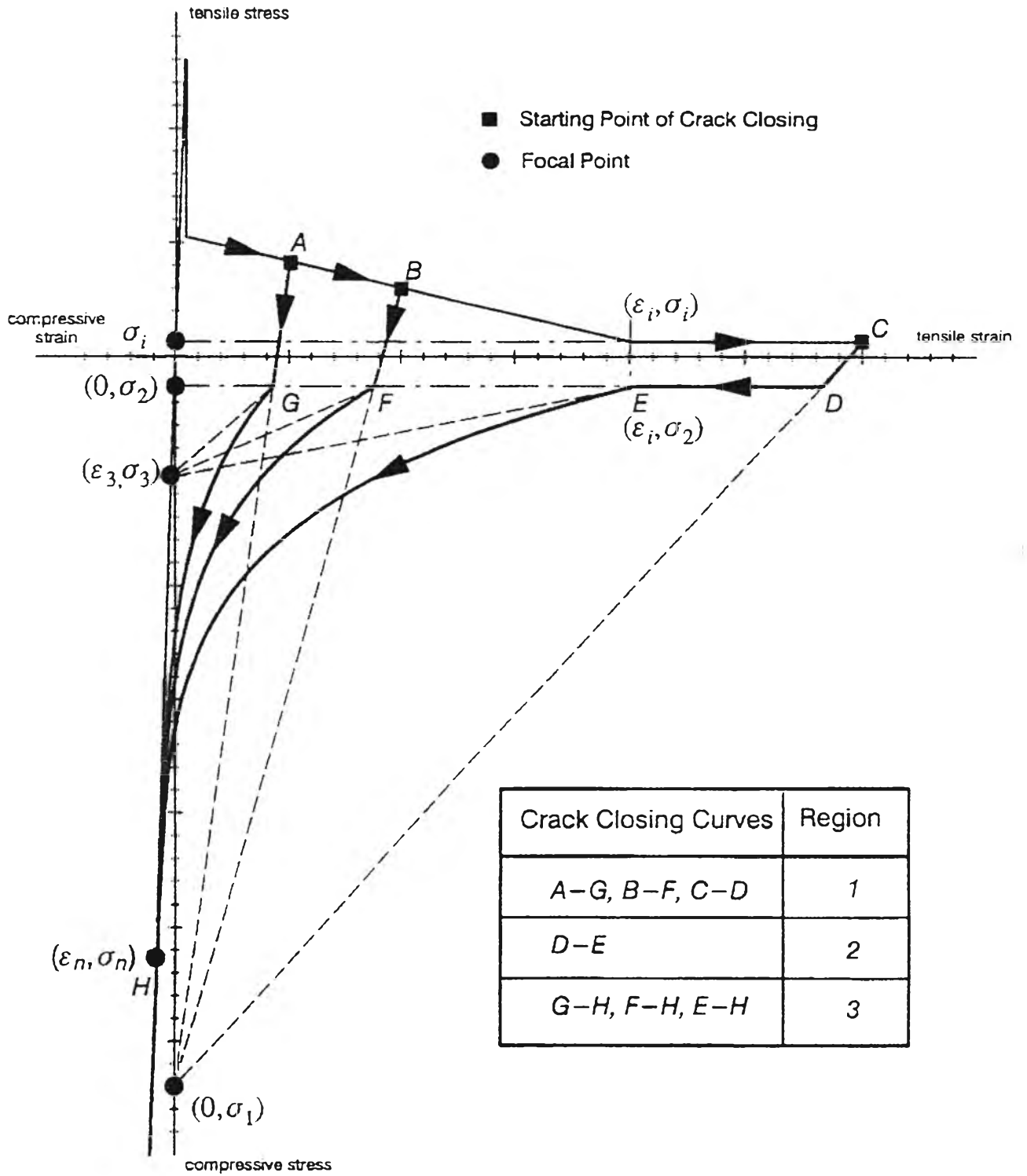
รูปที่ 2.2 การจำลองรอยแตกแบบสเมียร์ (Smear Crack Model)



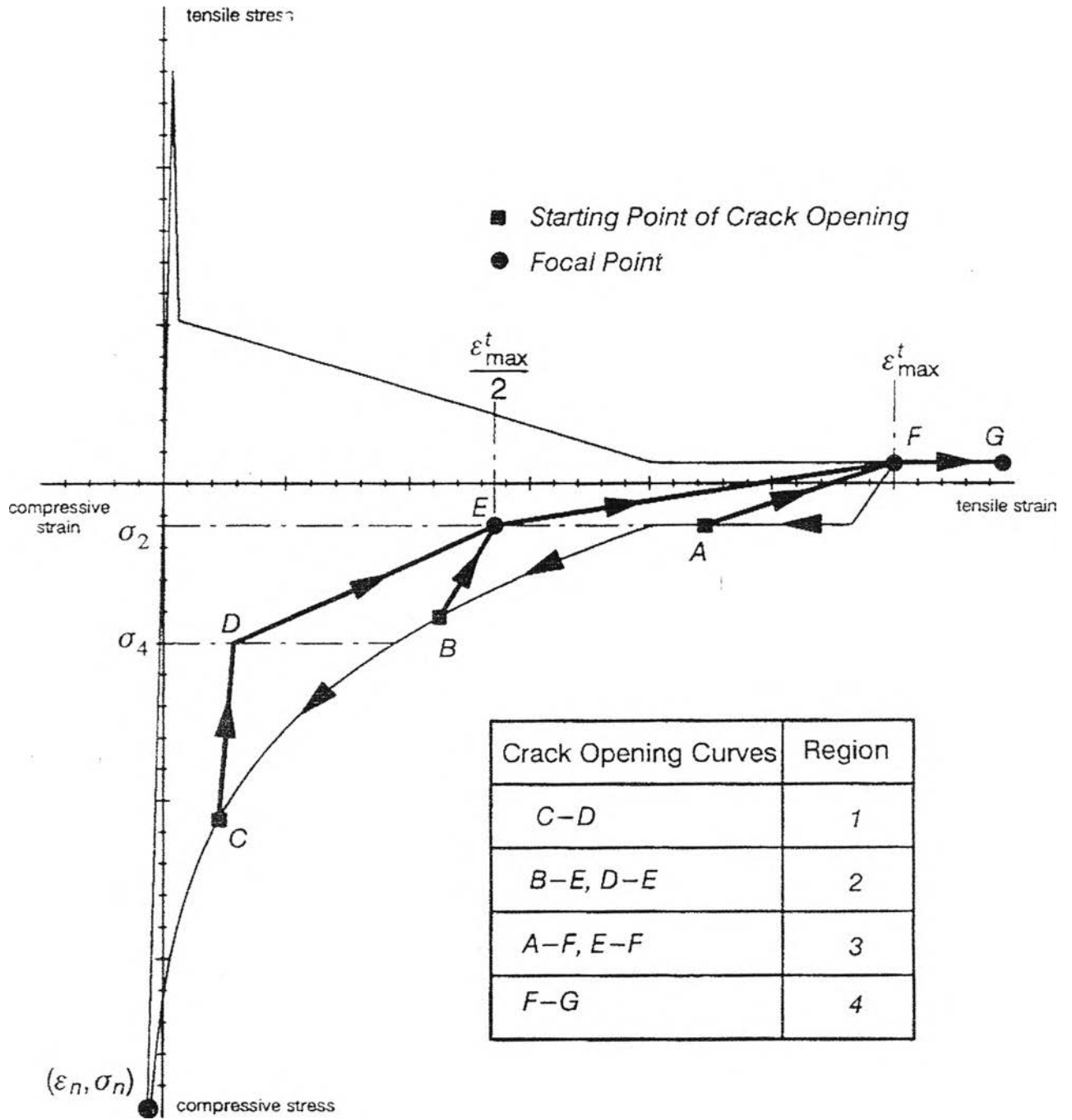
รูปที่ 2.3 การแยกความเครียดเฉือนออกจากองค์ประกอบความเครียดอื่น



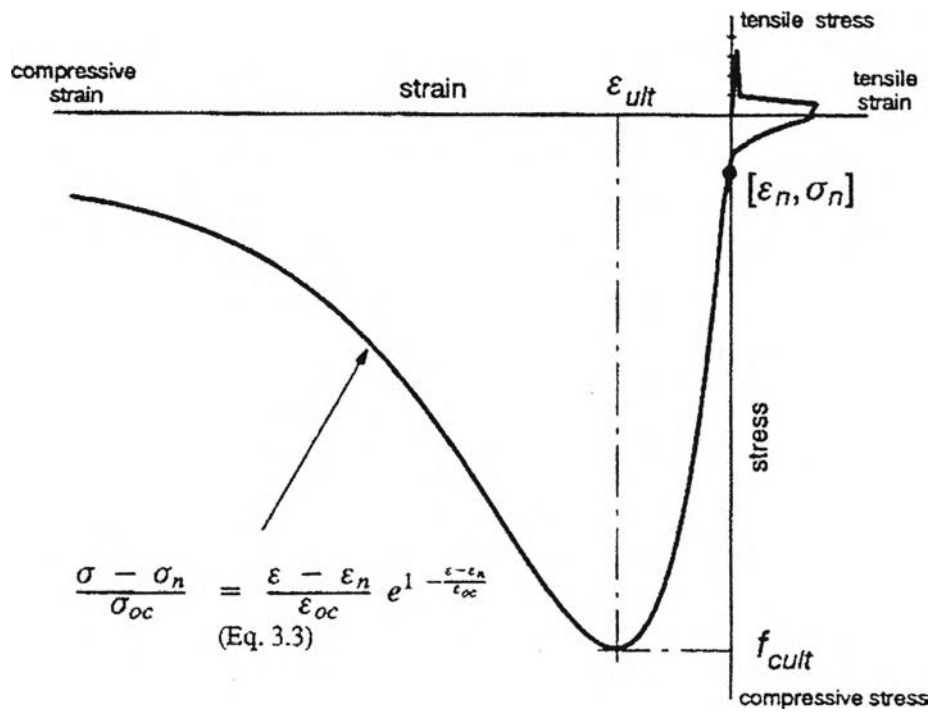
รูปที่ 2.4 การทำให้แข็งขึ้นทางด้านแรงดึง



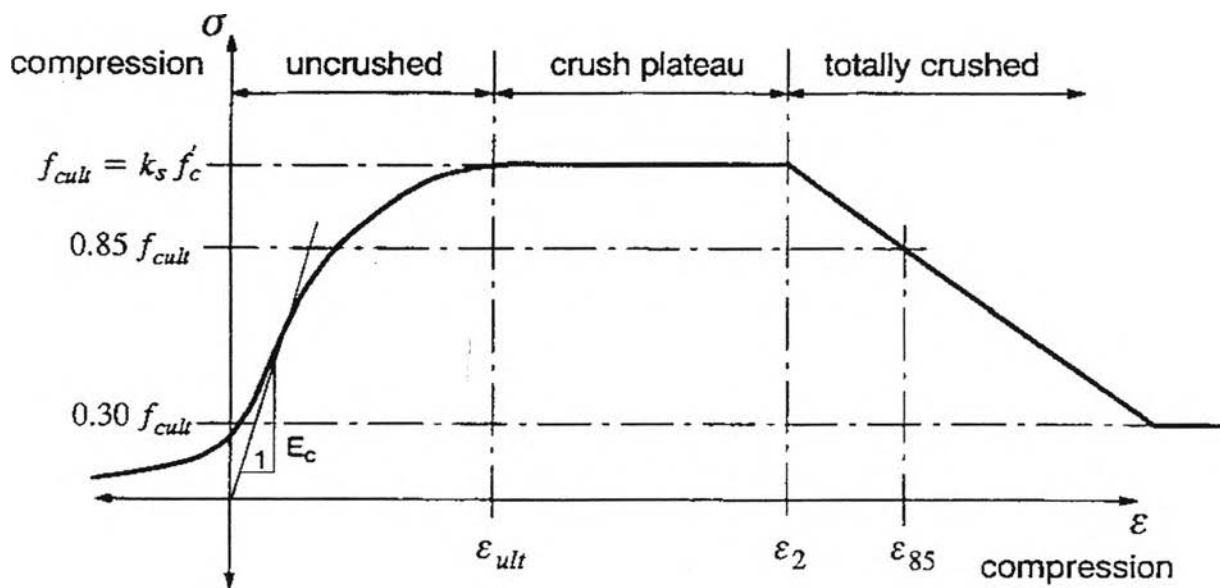
รูปที่ 2.5 การปิดของรอยแตก



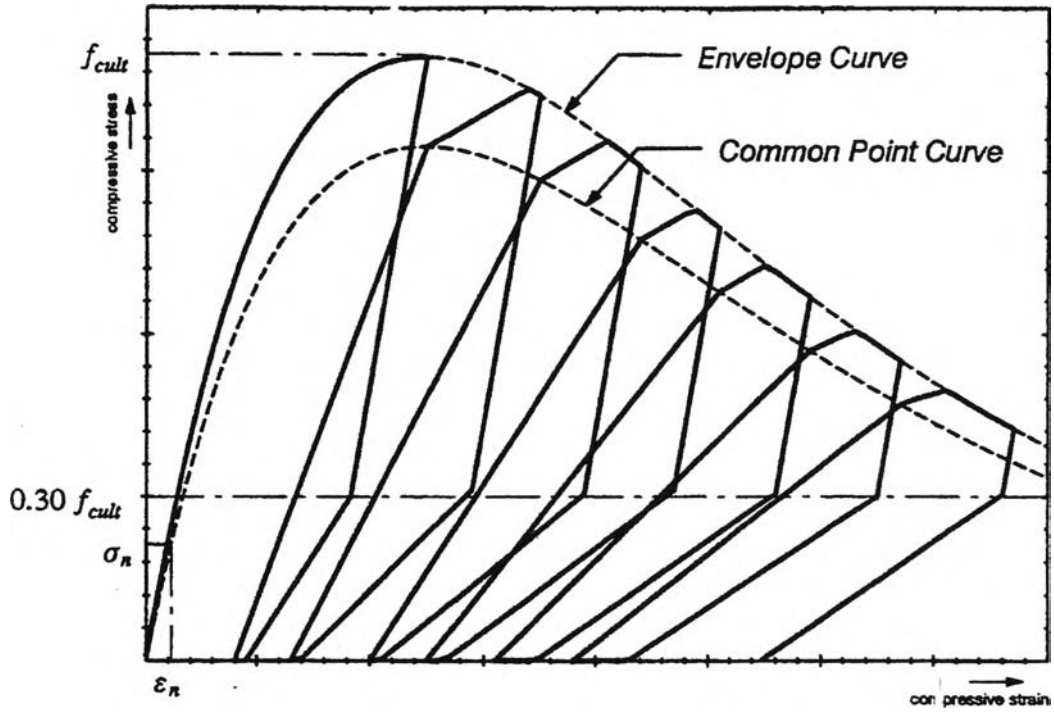
รูปที่ 2.6 การเปิดของรอยแตก



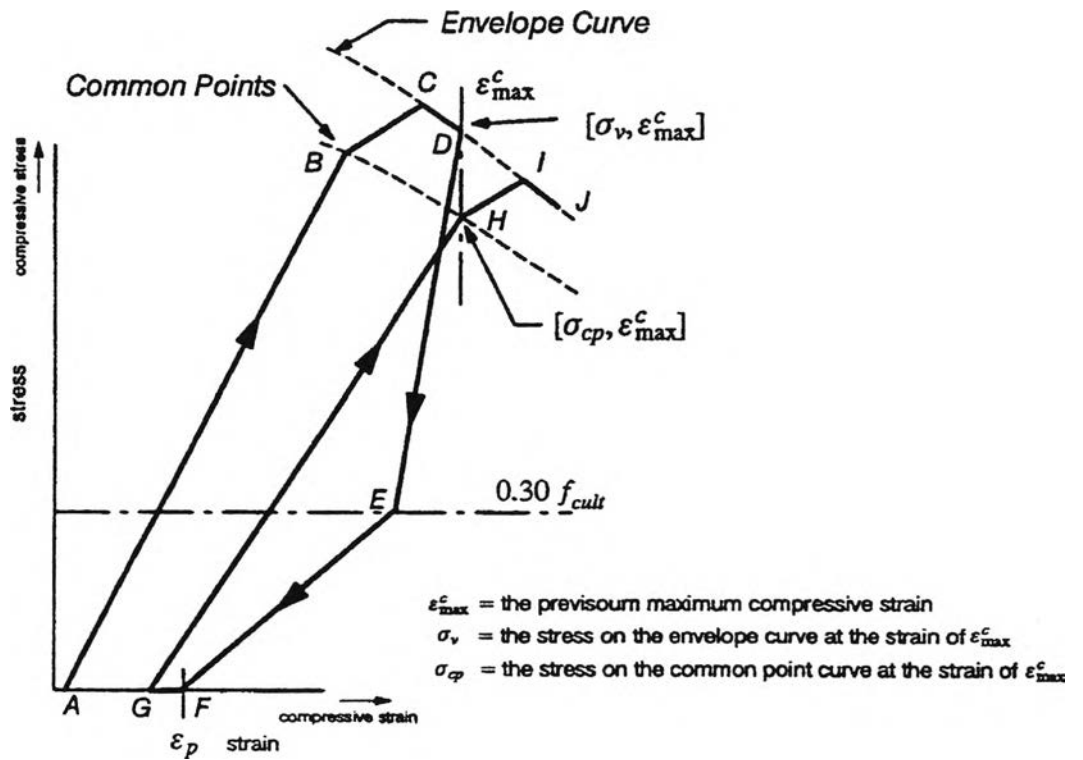
รูปที่ 2.7 การทำให้อ่อนตัวลงด้านแรงอัด



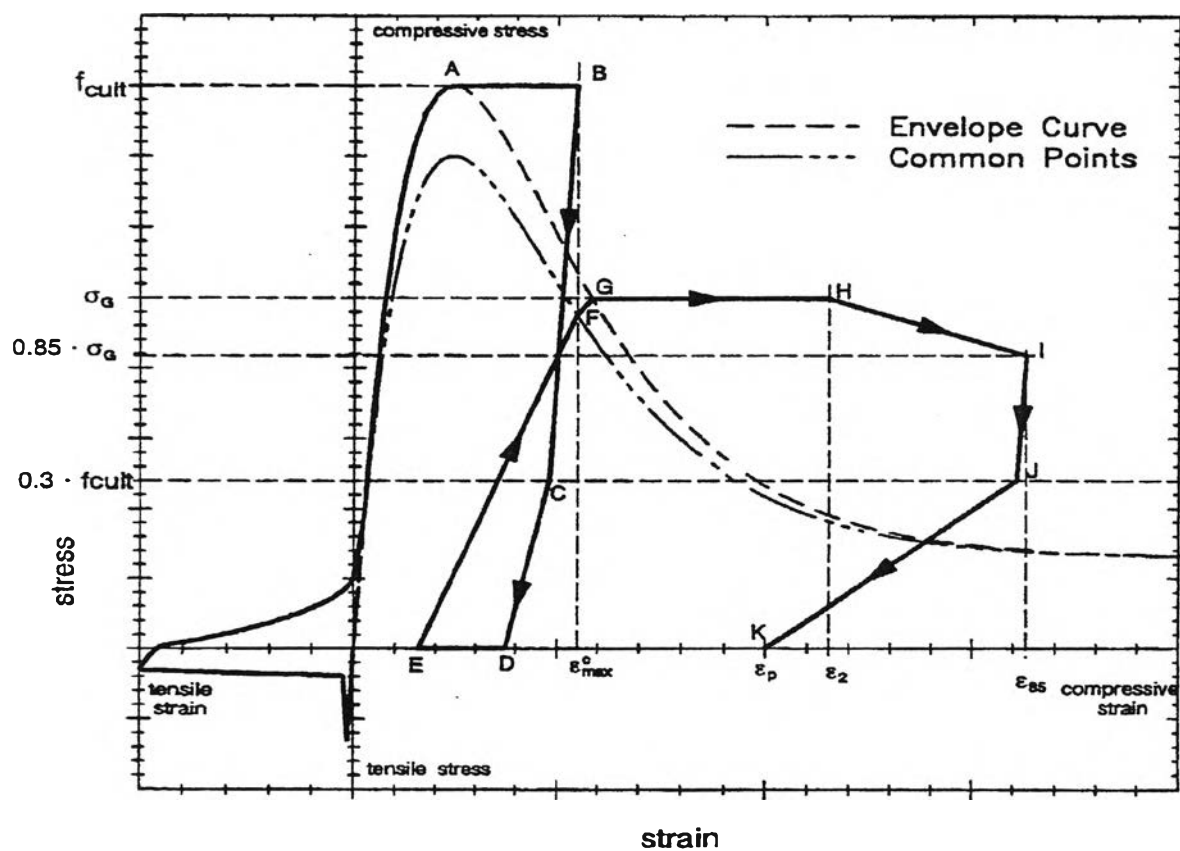
รูปที่ 2.8 แบบจำลองวัสดุของคอนกรีตที่มีการโอบรัดของเหล็กเสริม



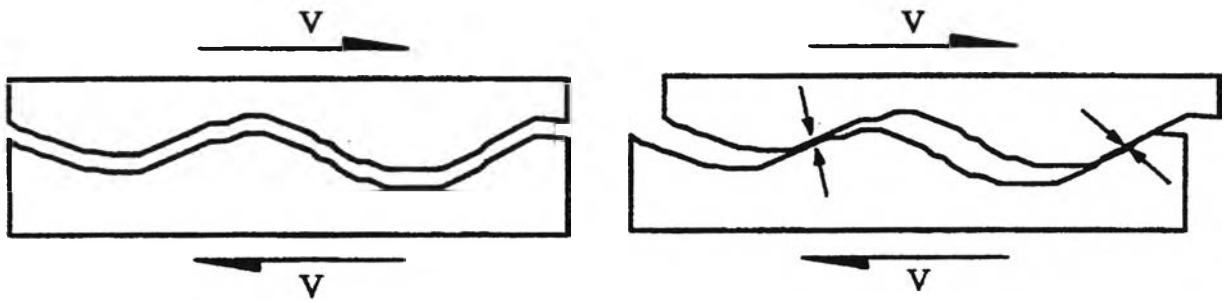
รูปที่ 2.9 เส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเครียดภายใต้แรงอัดกระทำแบบเป็นวัฏจักร



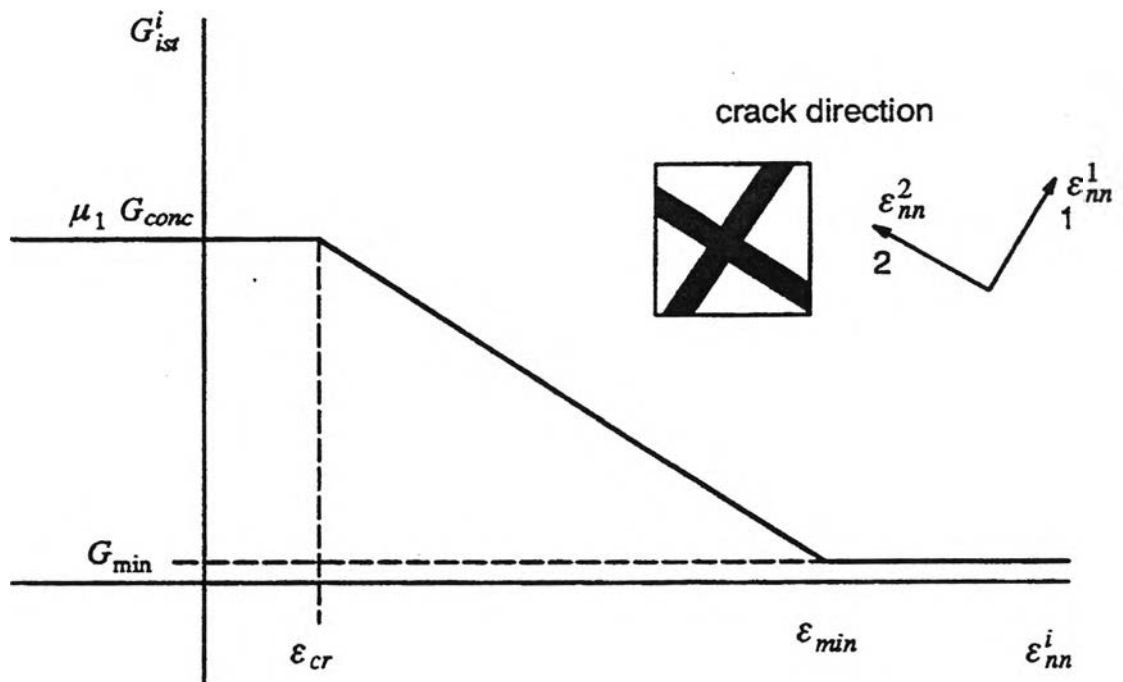
รูปที่ 2.10 การเพิ่มแรงกระทำและการลดแรงกระทำทางด้านแรงอัด



รูปที่ 2.11 เส้นแสดงการเพิ่มแรงกระทำใหม่ทางด้านแรงอัดของคอนกรีตที่โอบรัดด้วยเหล็กปลอก

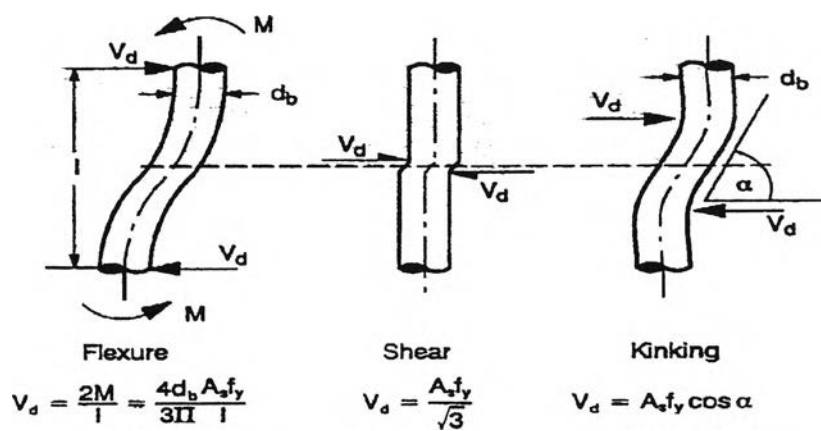


a) รูปแสดงการถ่ายแรงเฉือนผ่านผิวสัมผัส

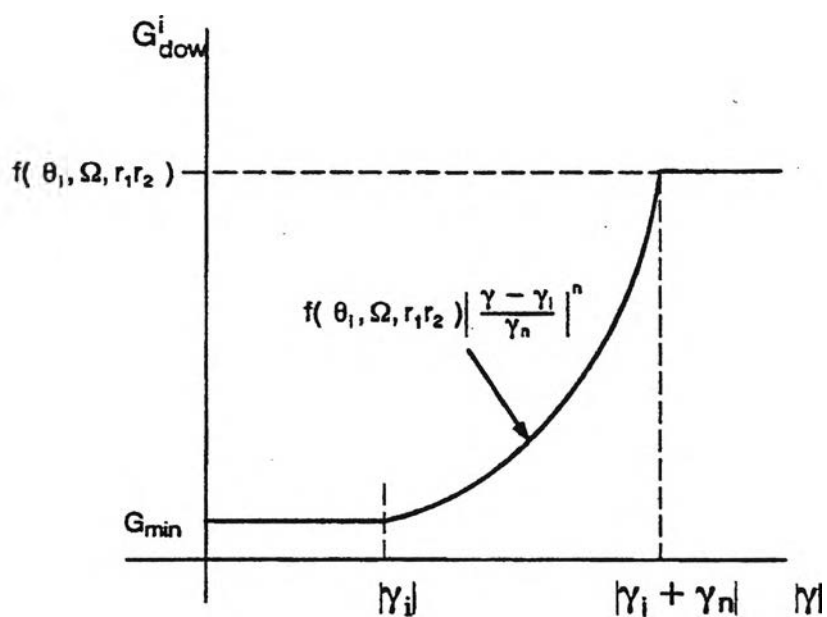


b) ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเครียด

รูปที่ 2.12 การถ่ายเทแรงเฉือนผ่านผิวสัมผัส

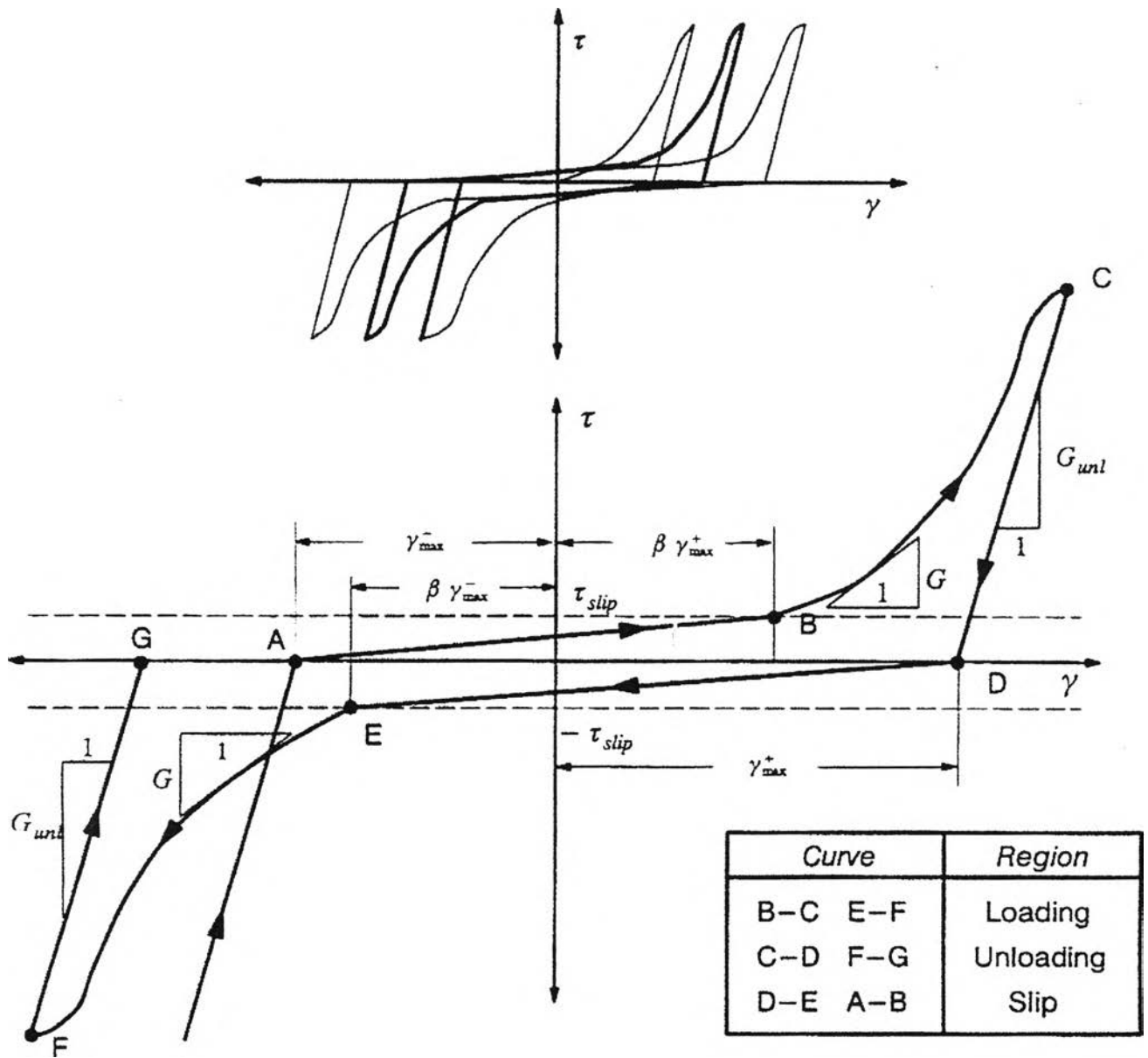


a) รูปแสดงแรงเฉือนเนื่องจาก Dowel Action



b) ความสัมพันธ์ระหว่างสตีเฟนสแรงเฉือนและความเครียด

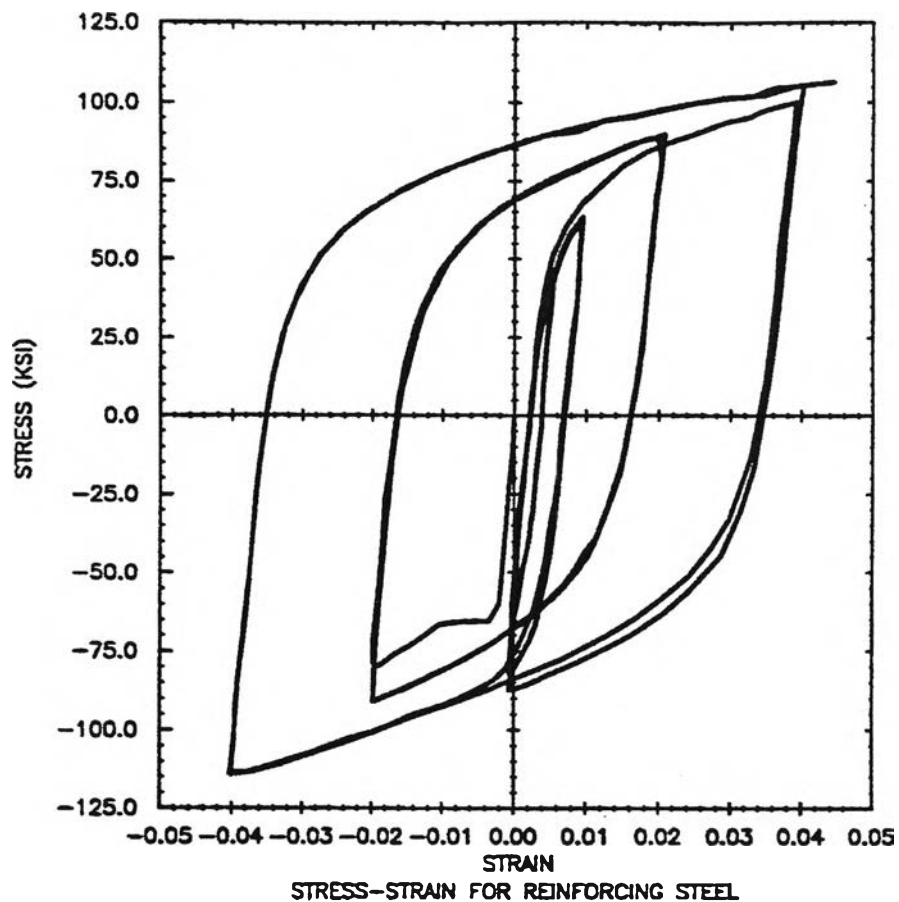
รูปที่ 2.13 แรงเฉือนจาก Dowel Action



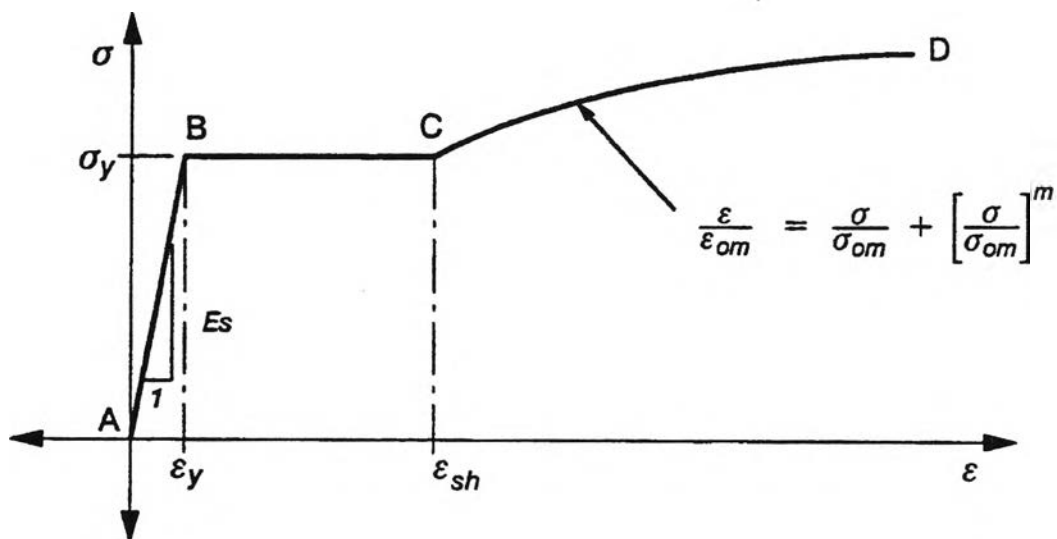
γ_{max}^- = max. negative shear strain intercept in the previous cycles

γ_{max}^+ = max. positive shear strain intercept in the previous cycles

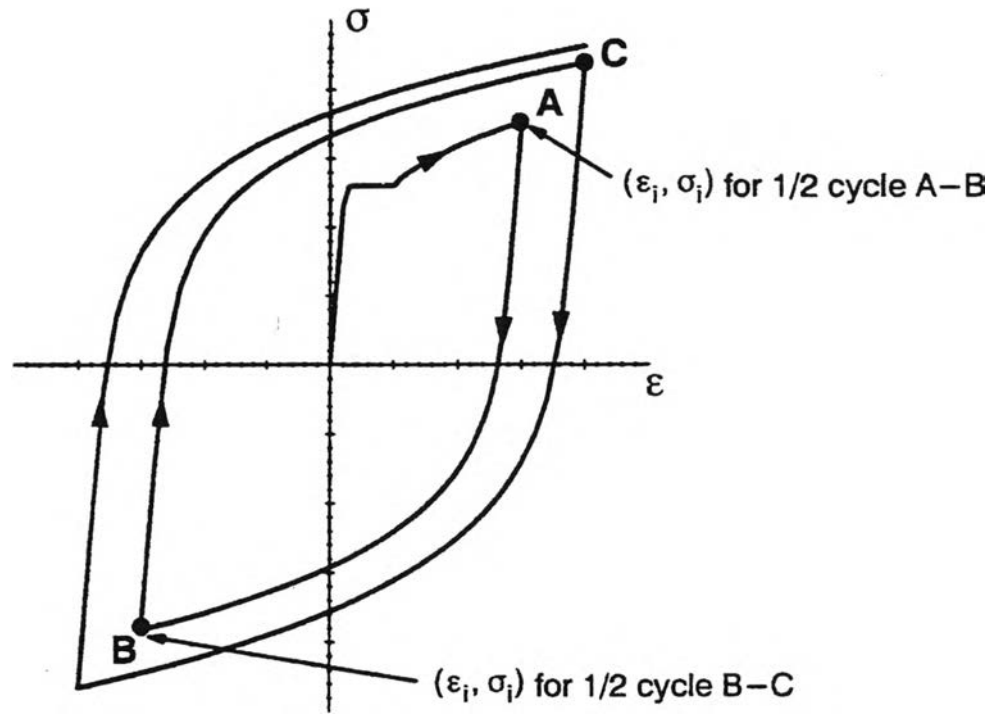
รูปที่ 2.14 การถ่ายเทแรงเฉือนภายใต้แรงกระทำแบบเป็นวัฏจักร



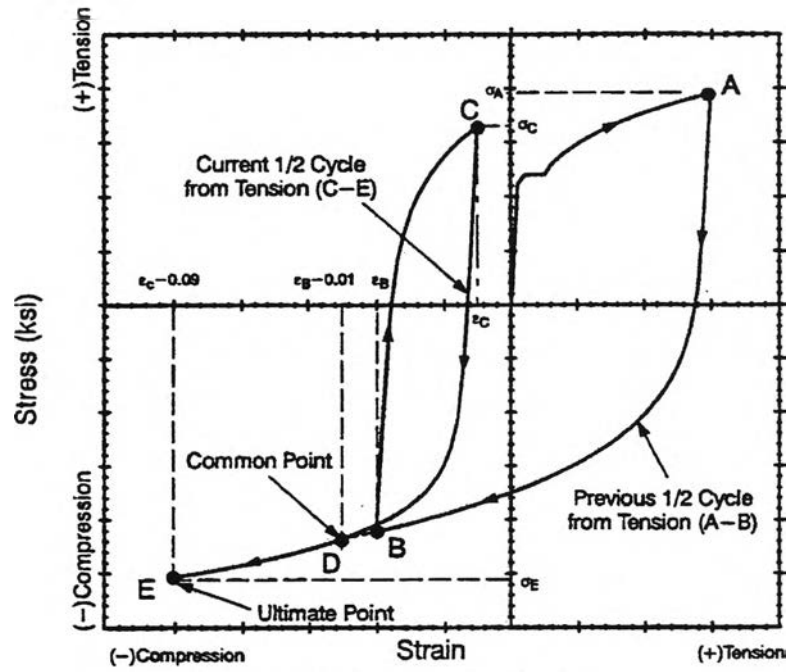
รูปที่ 2.15 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเครียดของเหล็กเสริมภายใต้แรงกระทำแบบเป็นวัฏจักร



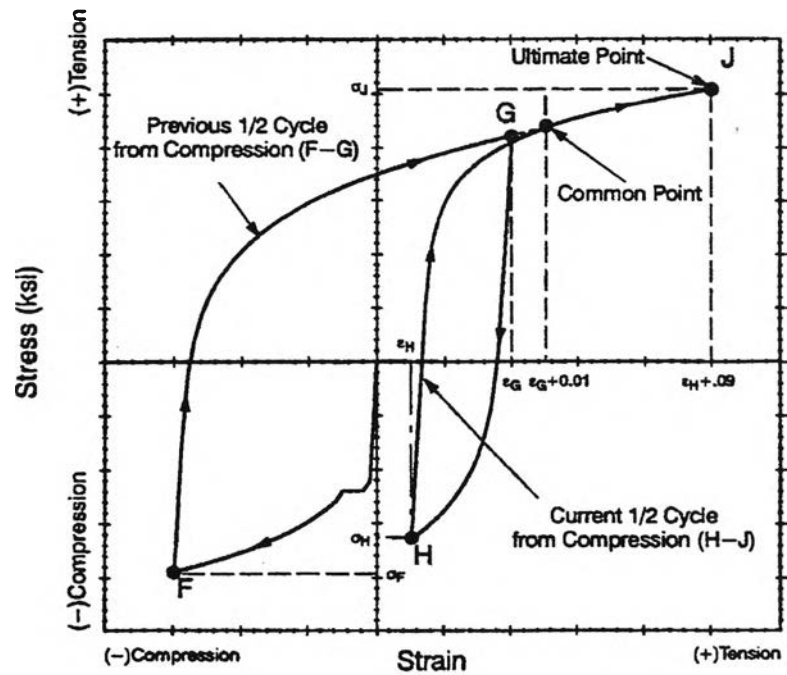
รูปที่ 2.16 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเครียดของเหล็กเสริมเมื่อรับแรงกระทำด้านเดียว



รูปที่ 2.17 รอบความสัมพันธ์หลักระหว่างหน่วยแรงและความเครียดของเหล็กเสริม

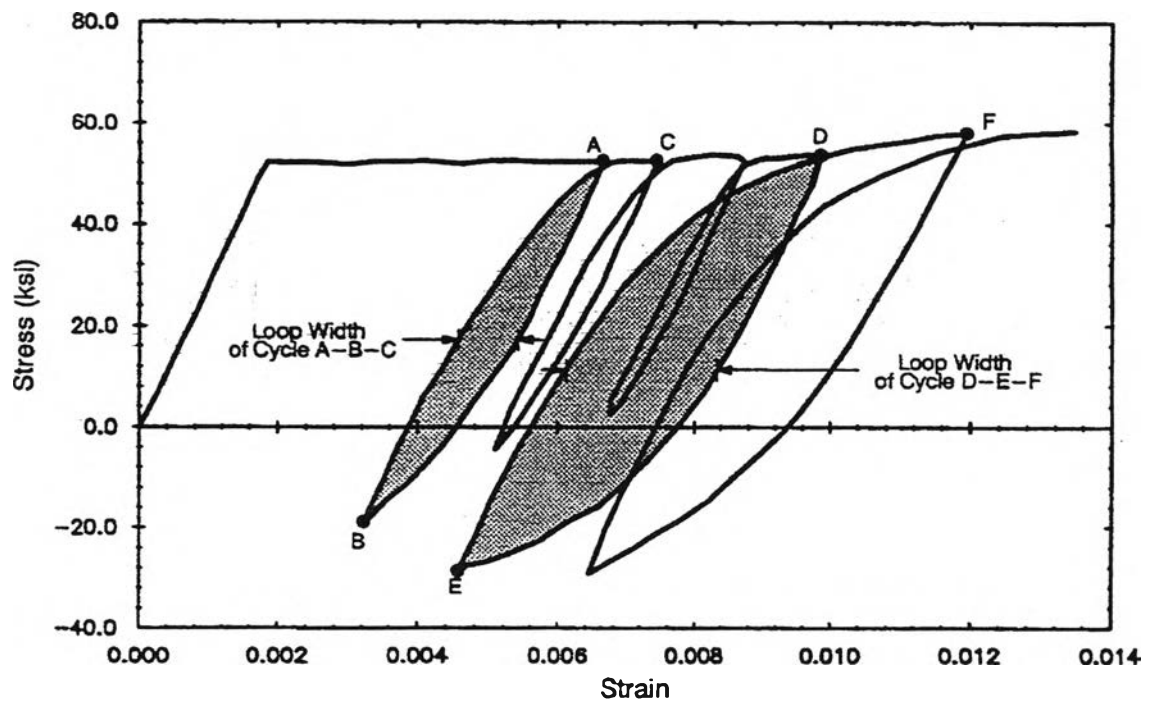


a) 1/2 Cycle from Tension

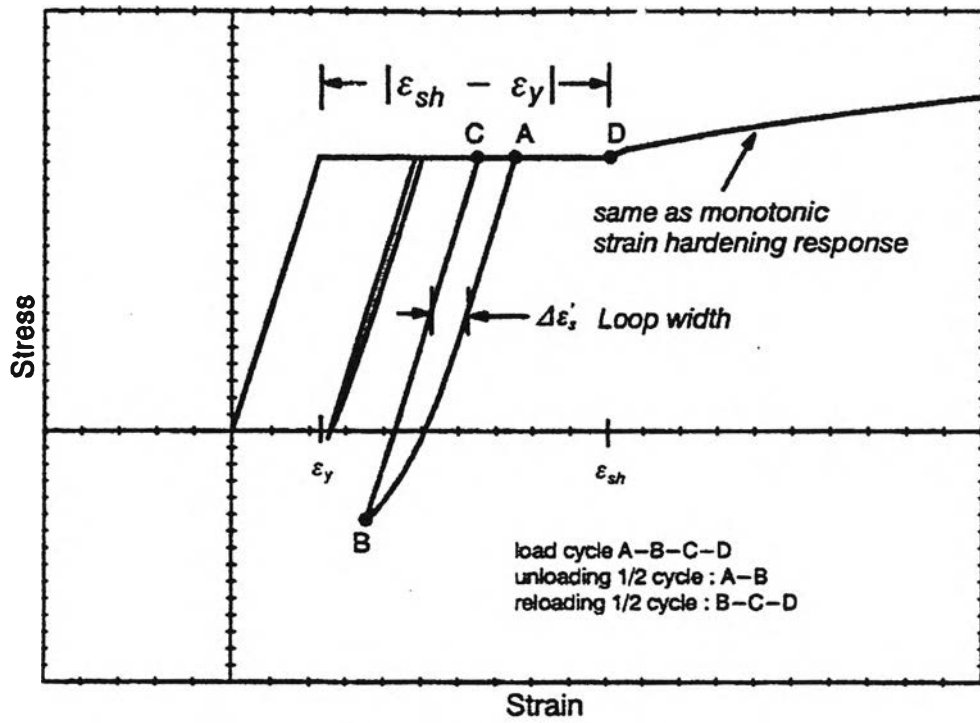


b) 1/2 Cycle from Compression

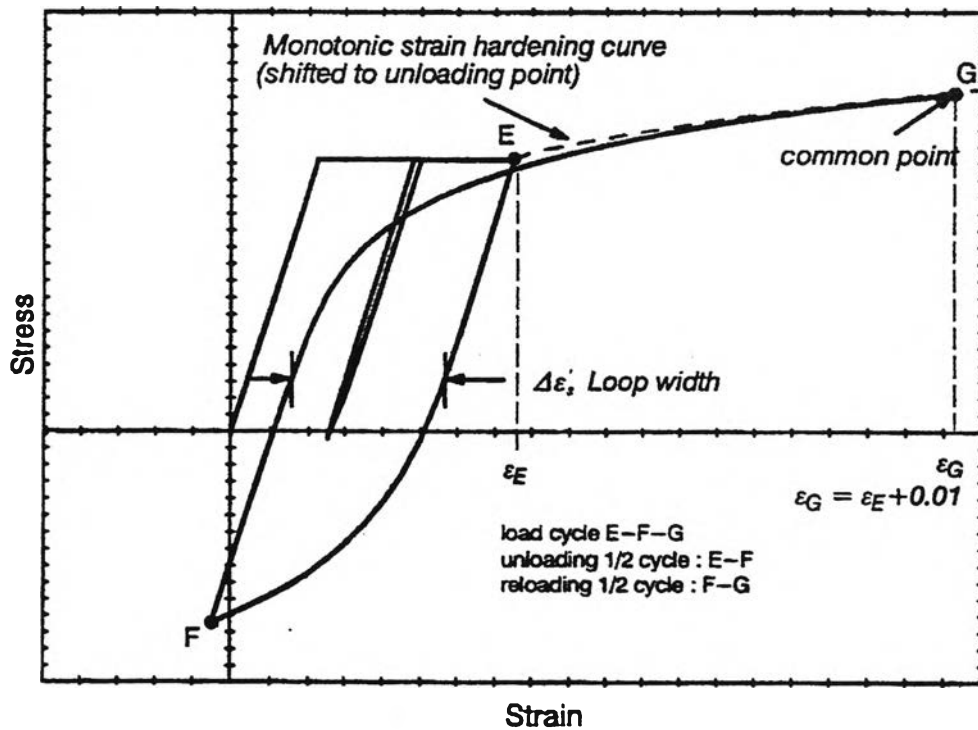
รูปที่ 2.18 ตำแหน่งคอมมอนและตำแหน่งอัลติเมต



รูปที่ 2.19 ผลของการย้อนแรงจากช่วงที่เกิดการคราก

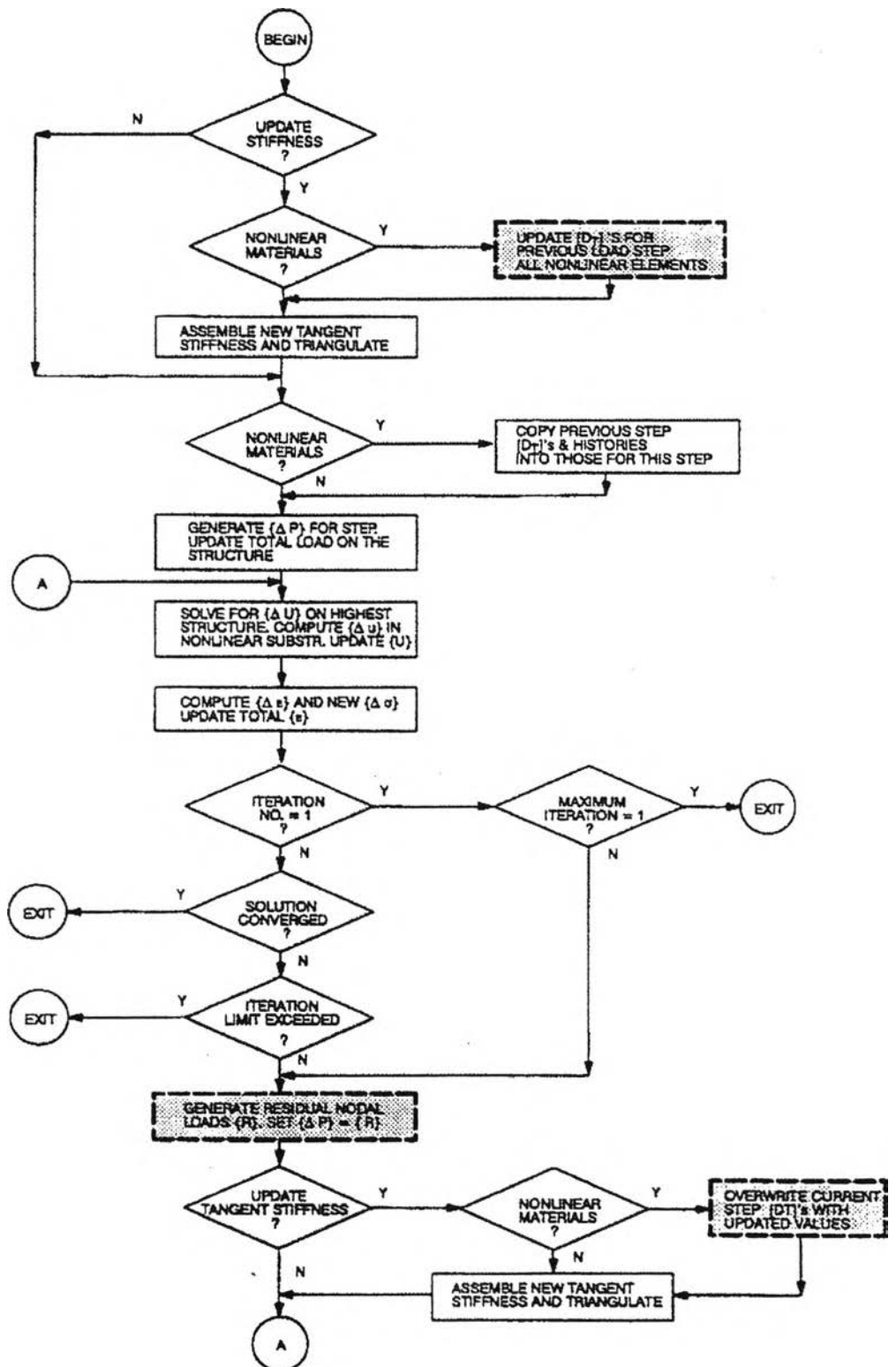


$$a) \Delta\varepsilon'_s < 1/2 |\varepsilon_{sh} - \varepsilon_y|$$

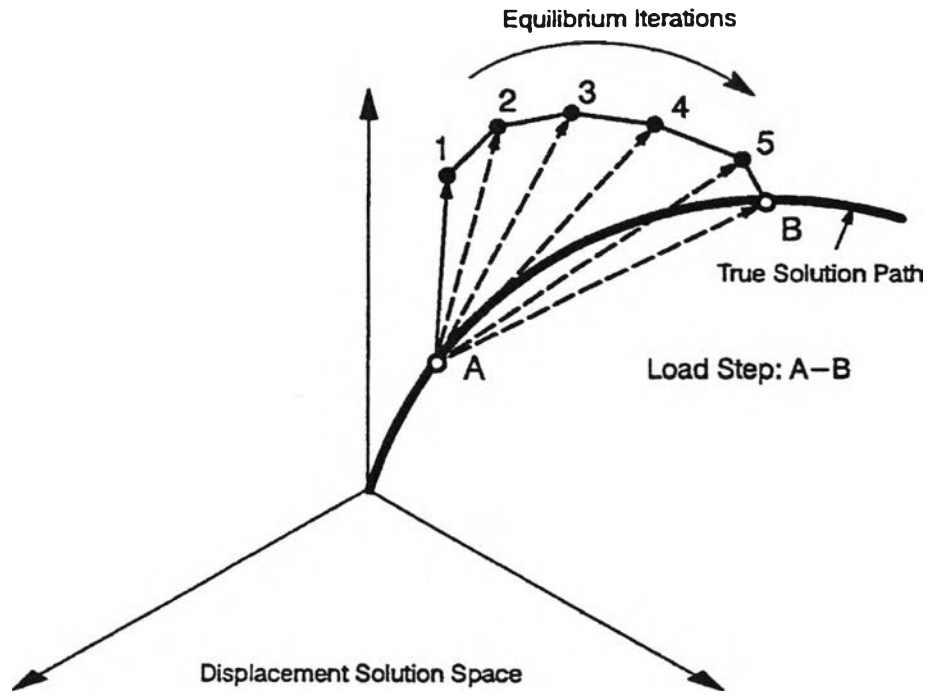


$$b) \Delta\varepsilon'_s \geq 1/2 |\varepsilon_{sh} - \varepsilon_y|$$

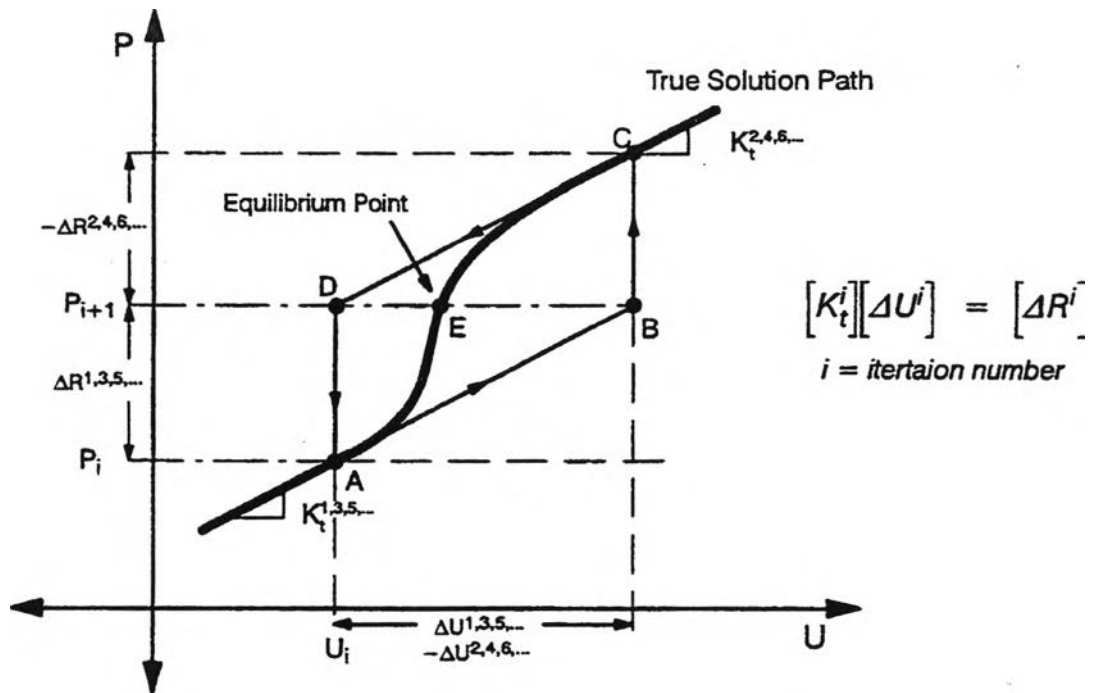
รูปที่ 2.20 การคลายแรงกระทำจากช่วงที่เกิดการคราก



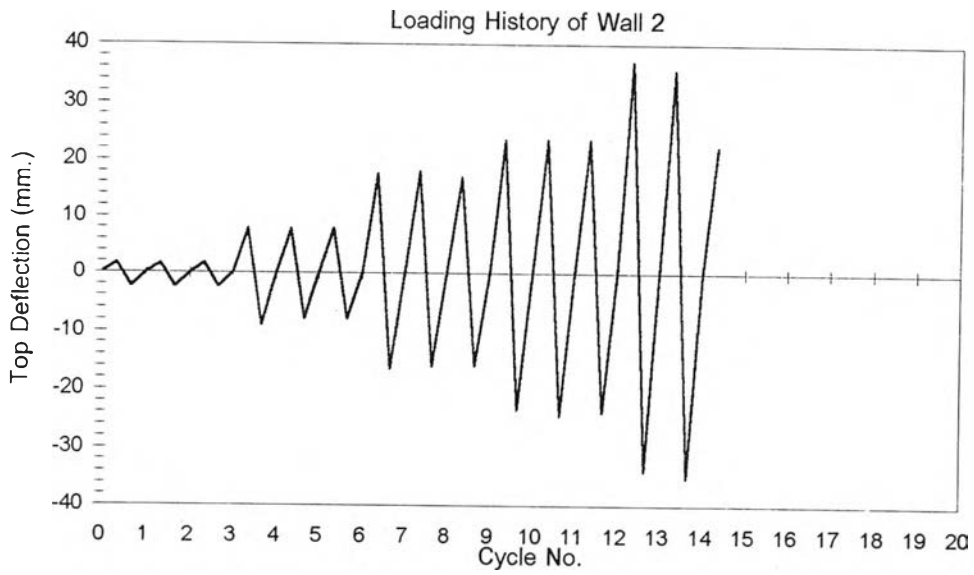
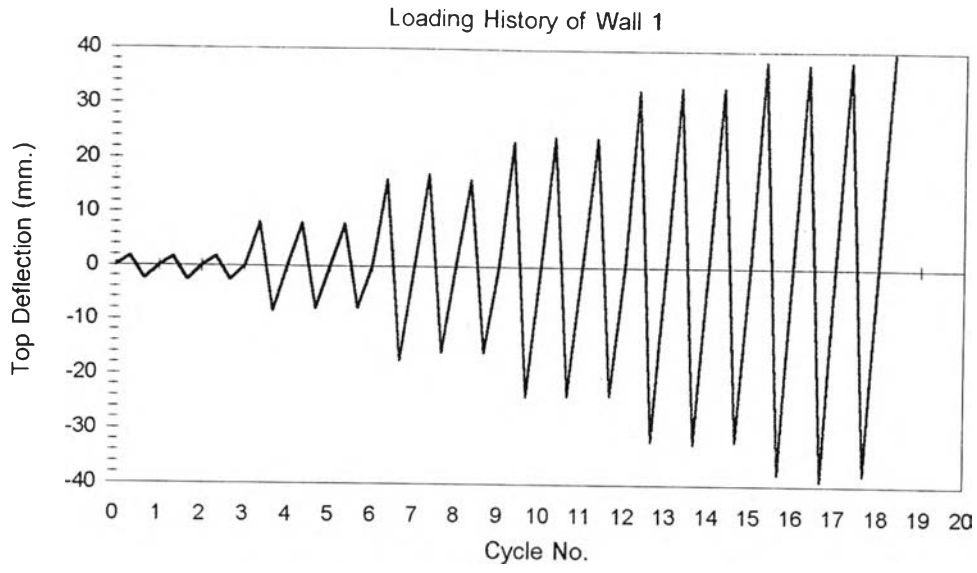
รูปที่ 2.21 วิธีการคำนวณในแต่ละขั้นของแรงกระทำ



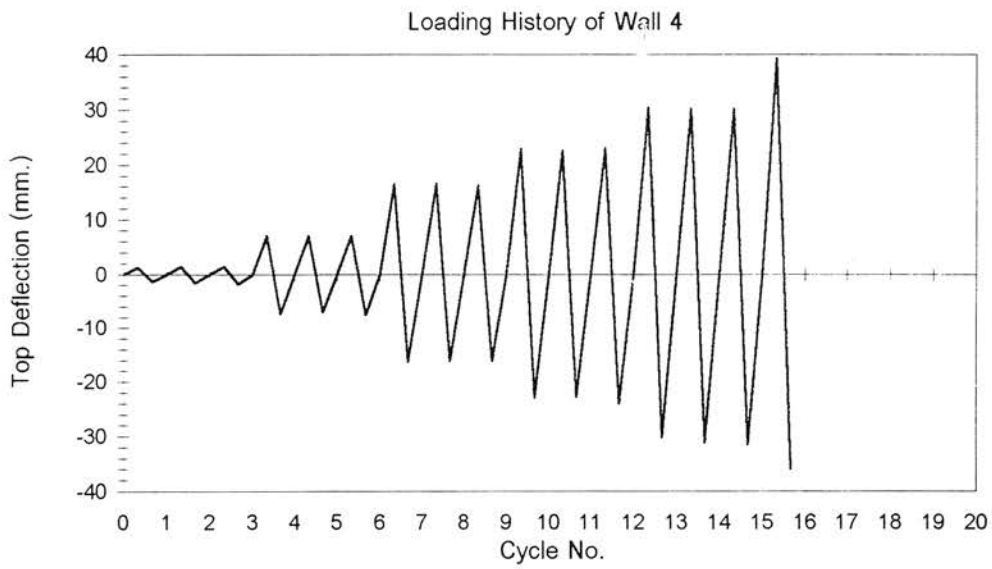
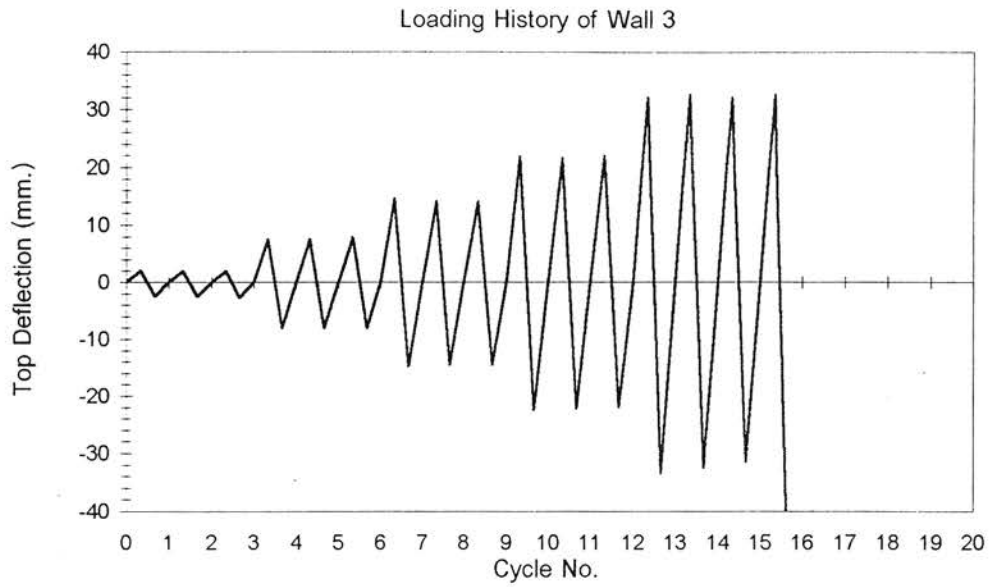
รูปที่ 2.22 เส้นทางการคำนวณของวิธีการ Incremental-iterative



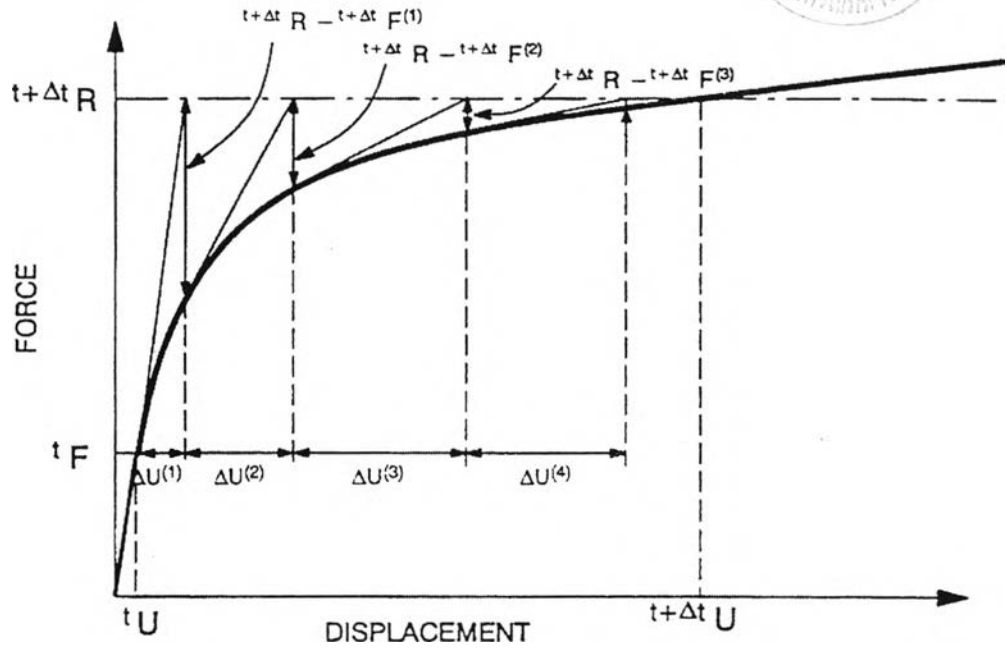
รูปที่ 2.23 ปัญหาในเชิงตัวเลขด้วยวิธีการนิวตัน-กราฟเส้นอเทอเรนซ์



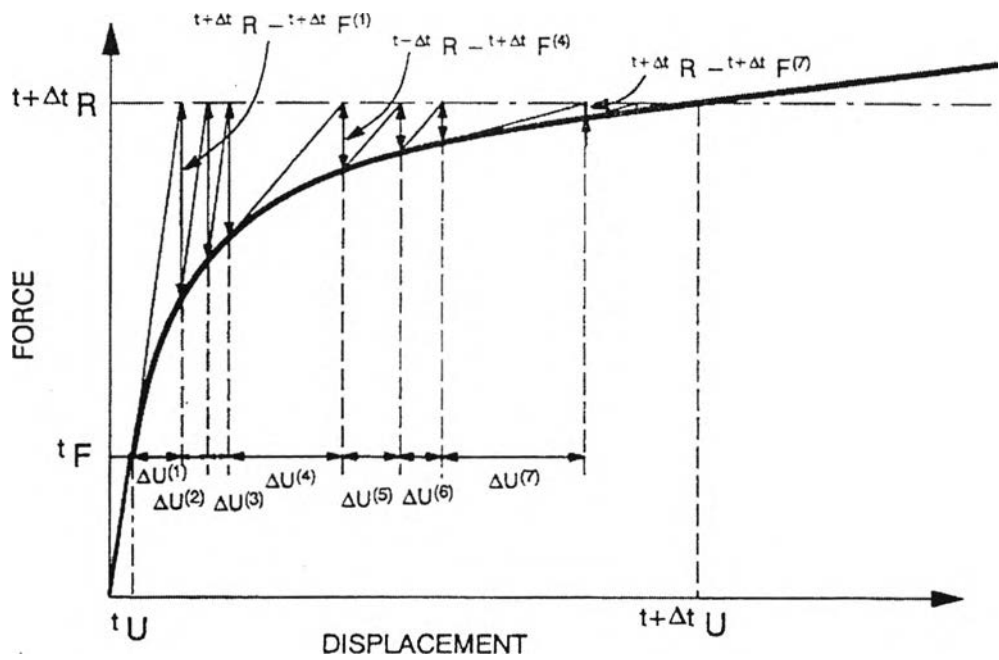
รูปที่ 2.24 ประวัติของการรับแรงของกำแพง



รูปที่ 2.25 ประวัติของการรับแรงของกำแพง (ต่อ)

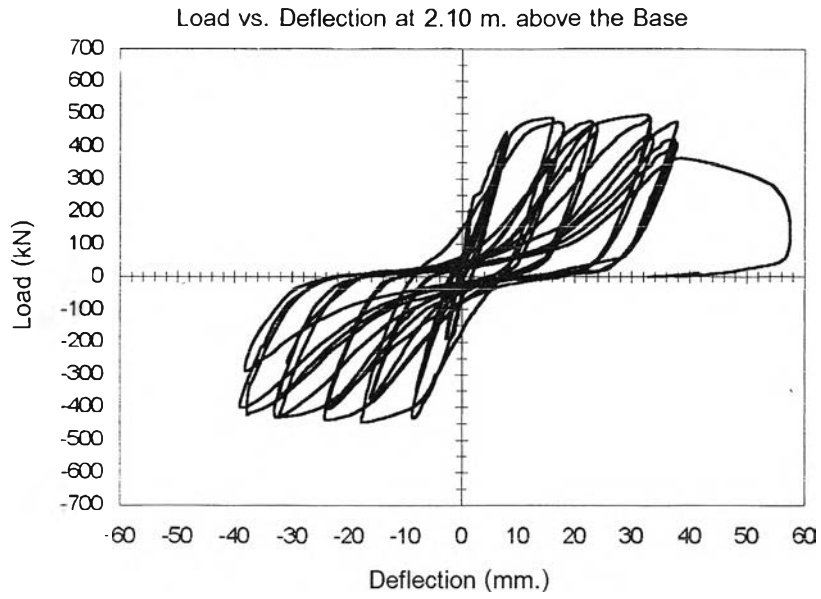


a) Full Newton-Raphson Algorithm

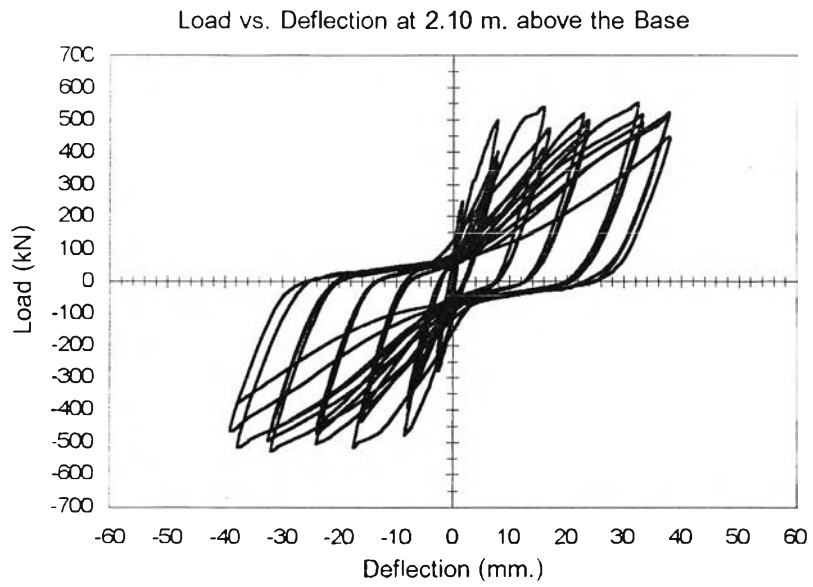


b) Modified Newton-Raphson Algorithm

รูปที่ 2.26 วิธีการนิวตัน-ราฟสันอิเทอเรชัน

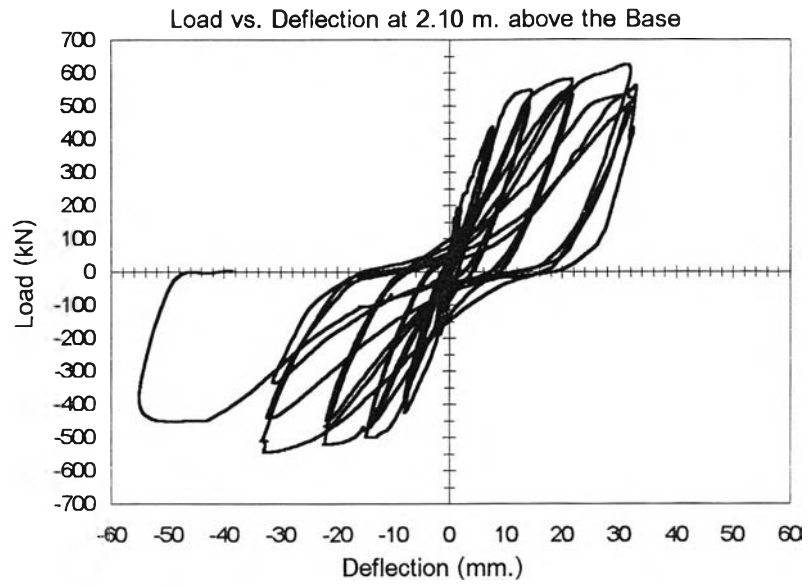


Experimental Data

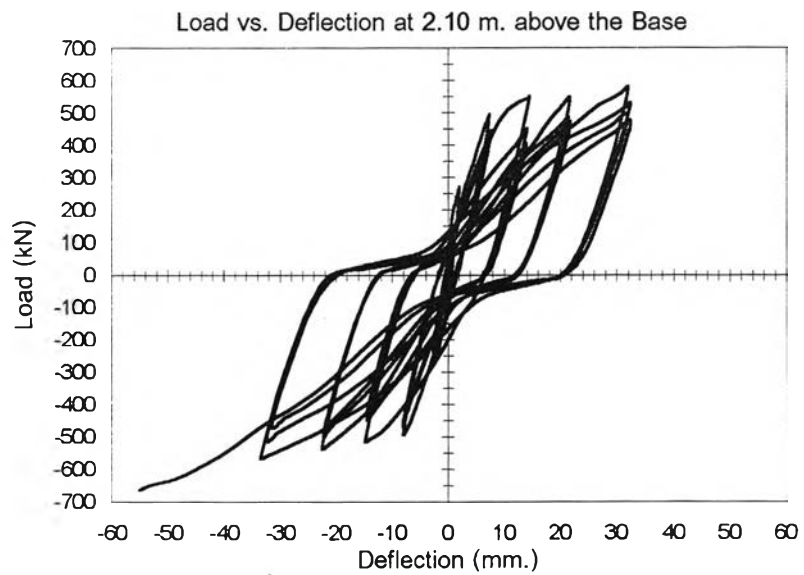


Calculated Response

รูปที่ 3.1 โค้งความสัมพันธ์ระหว่างแรงด้านข้างที่กระทำและการเคลื่อนที่ด้านข้างของตัวอย่างวิเคราะห์ที่ 1 เปรียบเทียบกับผลการทดสอบ

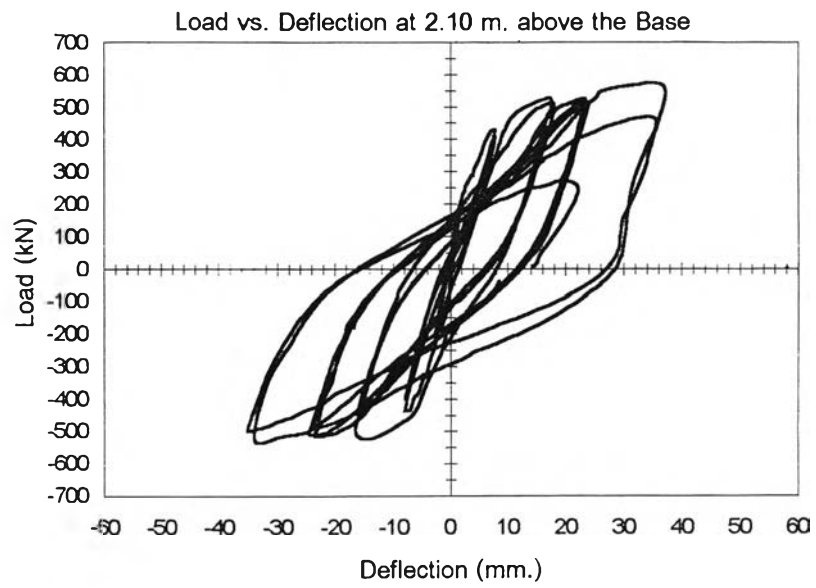


Experimental Data

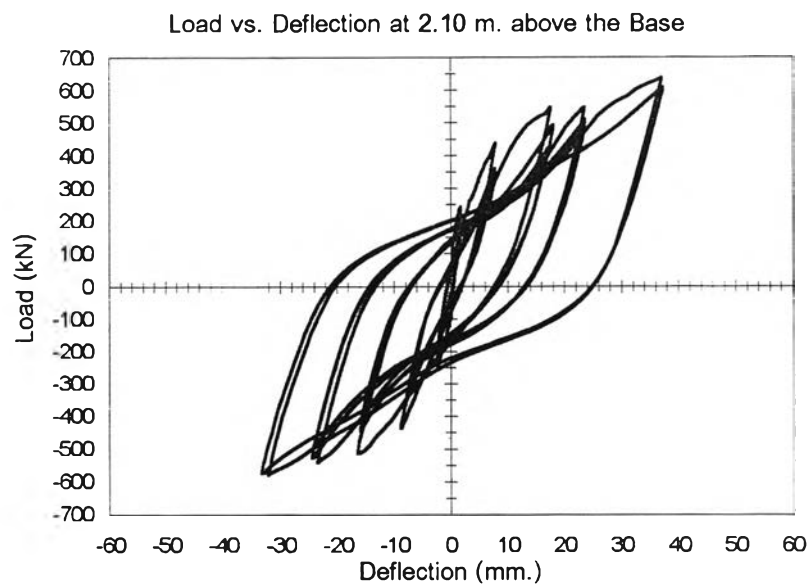


Calculated Response

รูปที่ 3.2 ได้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงต้านข้างที่กระทำและการเคลื่อนที่ด้านข้างของตัวอย่างวิเคราะห์ที่ 2 เปรียบเทียบกับผลการทดสอบ

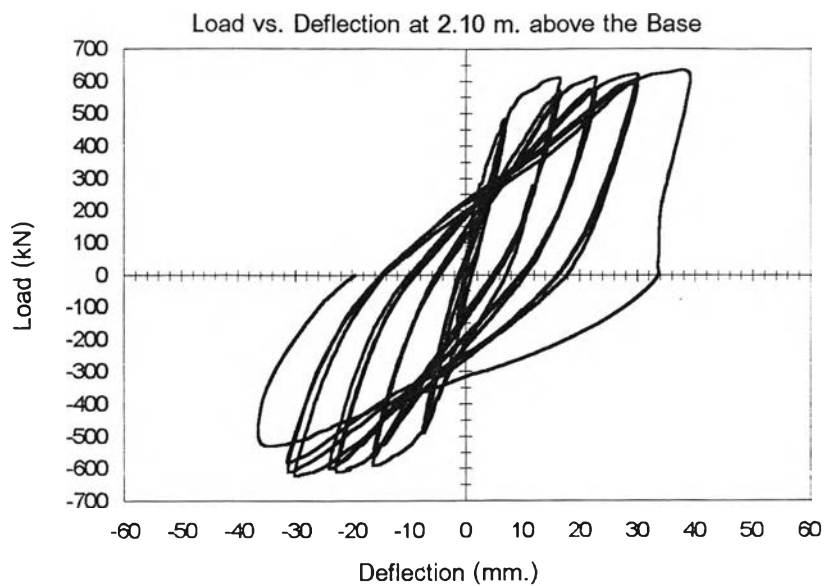


Experimental Data

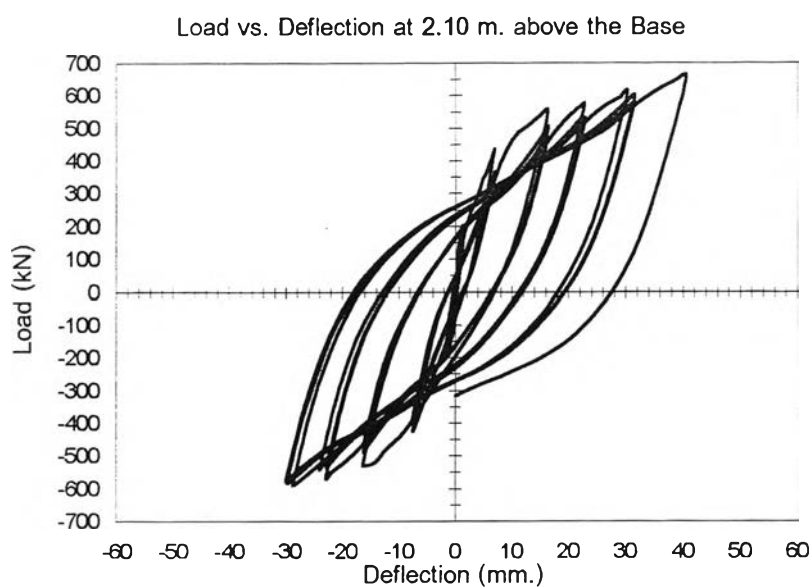


Calculated Response

รูปที่ 3.3 โค้งความสัมพันธ์ระหว่างแรงด้านข้างที่กระทำและการเคลื่อนที่ด้านข้าง
ของตัวอย่างวิเคราะห์ที่ 3 เปรียบเทียบกับผลการทดสอบ



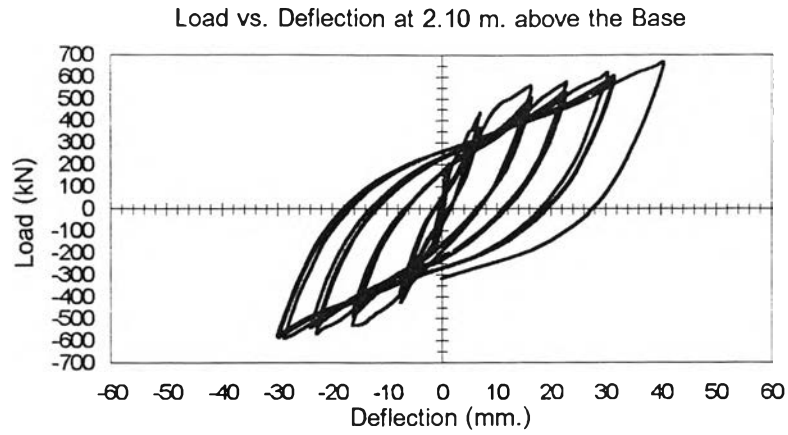
Experimental Data



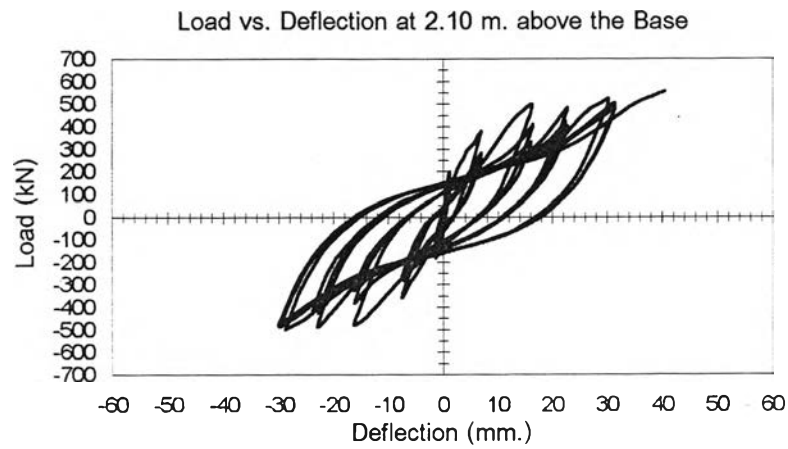
Calculated Response

รูปที่ 3.4 ได้ถึงความสัมพันธ์ระหว่างแรงต้านข้างที่กระทำและการเคลื่อนที่ด้านข้าง
ของตัวอย่างวิเคราะห์ที่ 4 เปรียบเทียบกับผลการทดสอบ

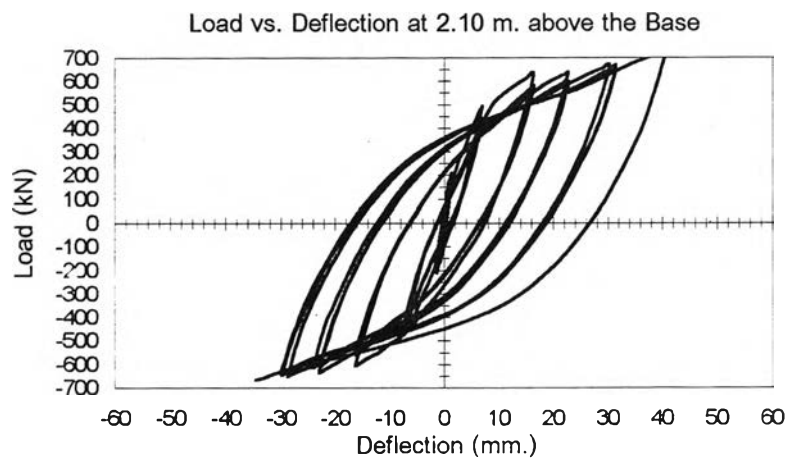
$A_s = A_{s1}$



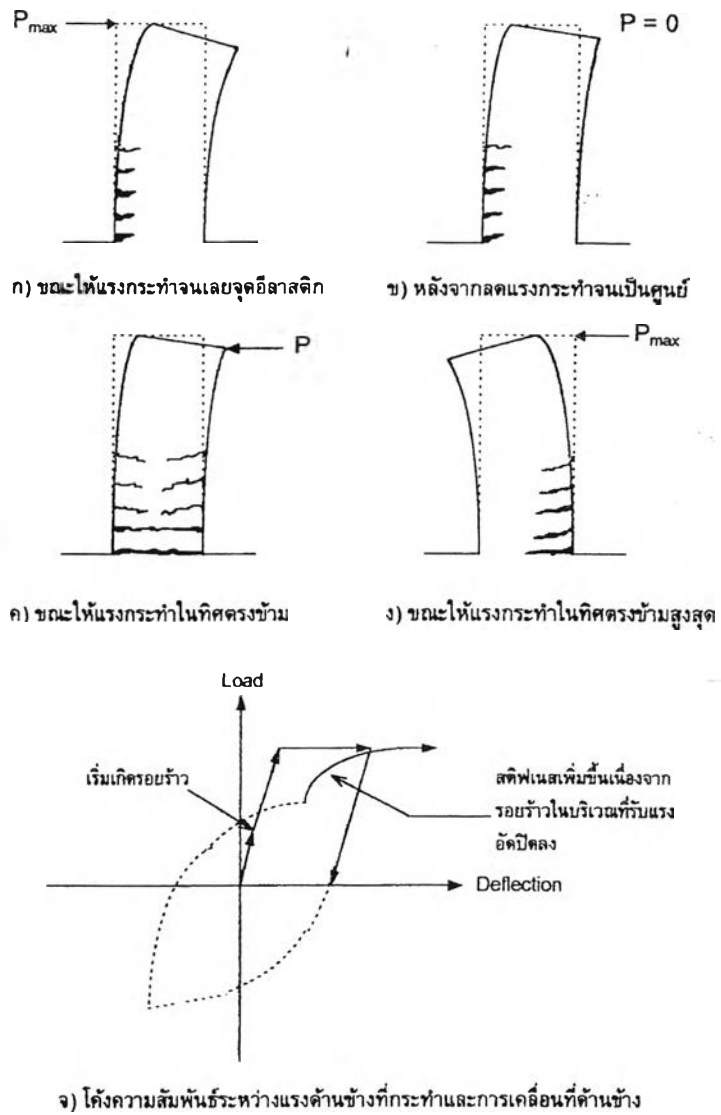
$A_s = 0.5A_{s1}$



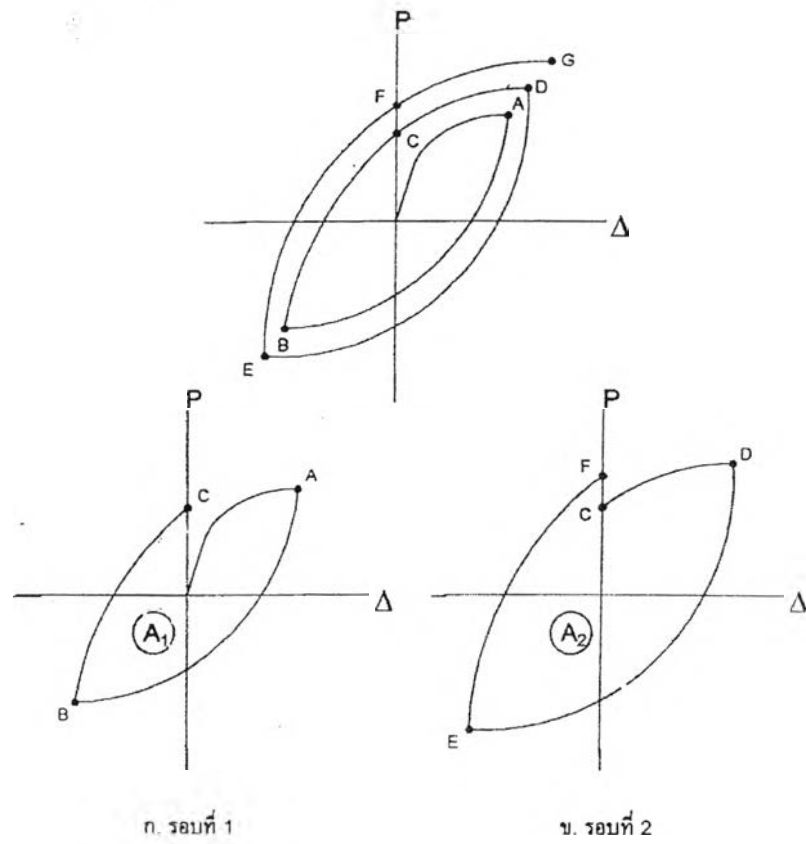
$A_s = 2.0A_{s1}$



โดยที่ A_{s1} = เหล็กเสริมทแยงปกติ และ A_s = เหล็กเสริมทแยงในกรณีต่าง ๆ
 รูปที่ 3.5 ได้ถึงความสัมพันธ์ระหว่างแรงต้านข้างที่กระทำและการเคลื่อนที่ด้านข้าง
 ของตัวอย่างวิเคราะห์ที่ 4 เปรียบเทียบกันเมื่อใช้ปริมาณ
 เหล็กเสริมทแยงต่างกัน



รูปที่ 3.6 พฤติกรรมของกำแพงคอนกรีตเสริมเหล็กภายใต้แรงกระทำด้านข้างแบบเป็นวัฏจักร (20)

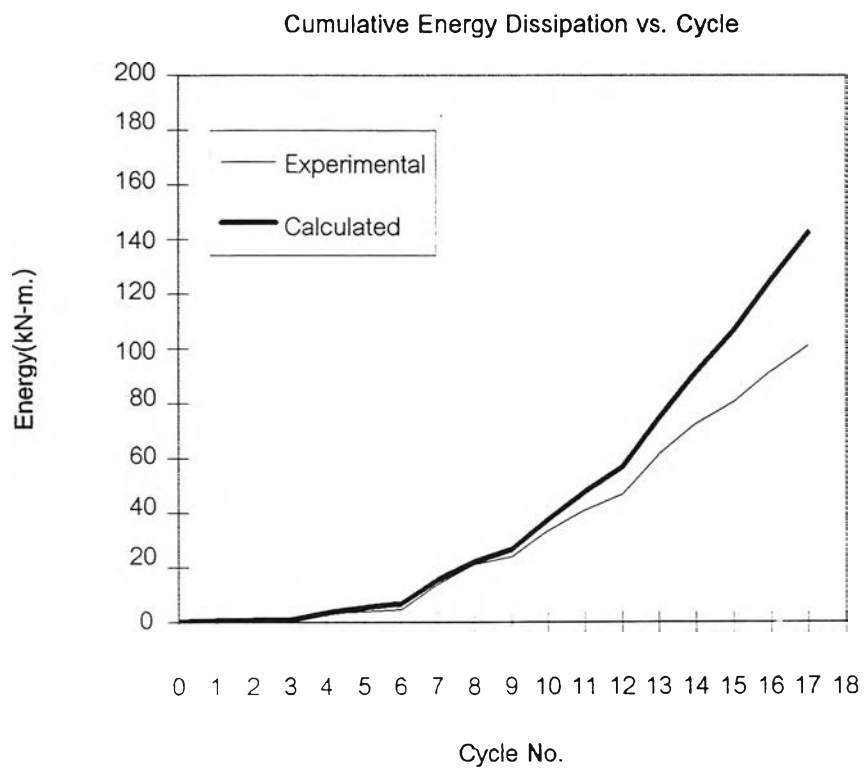


เมื่อ P คือ แรงดันข้างที่กระทำ

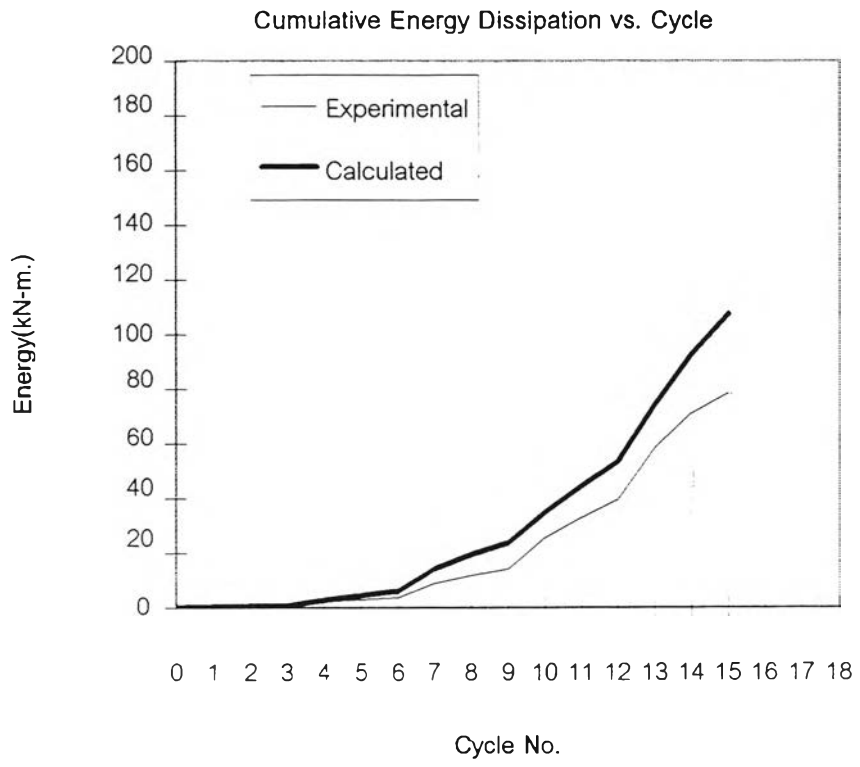
Δ คือ การเคลื่อนที่ด้านข้างที่ส่วนบนสุดของท่าแพง (ในงานวิจัยนี้คือการเคลื่อนที่ด้านข้างที่ระดับ 2.10 ม. เหนือฐานท่าแพง)

A คือ ความสามารถในการกระจายพลังงานในแต่ละรอบของแรงกระทำ

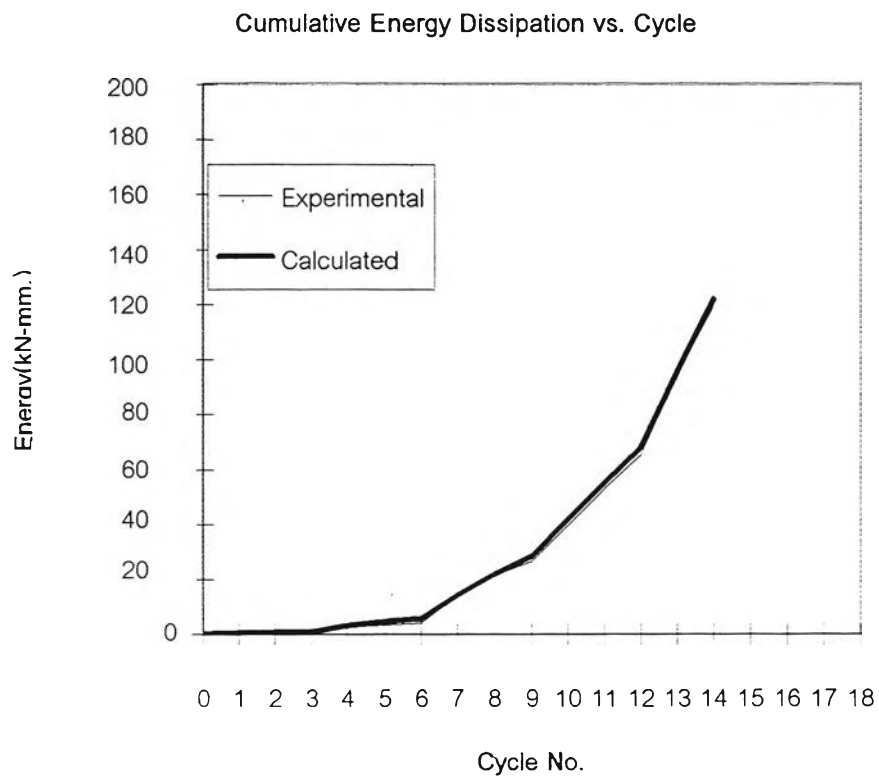
รูปที่ 3.7 วิธีการคำนวณหาการกระจายพลังงาน (20)



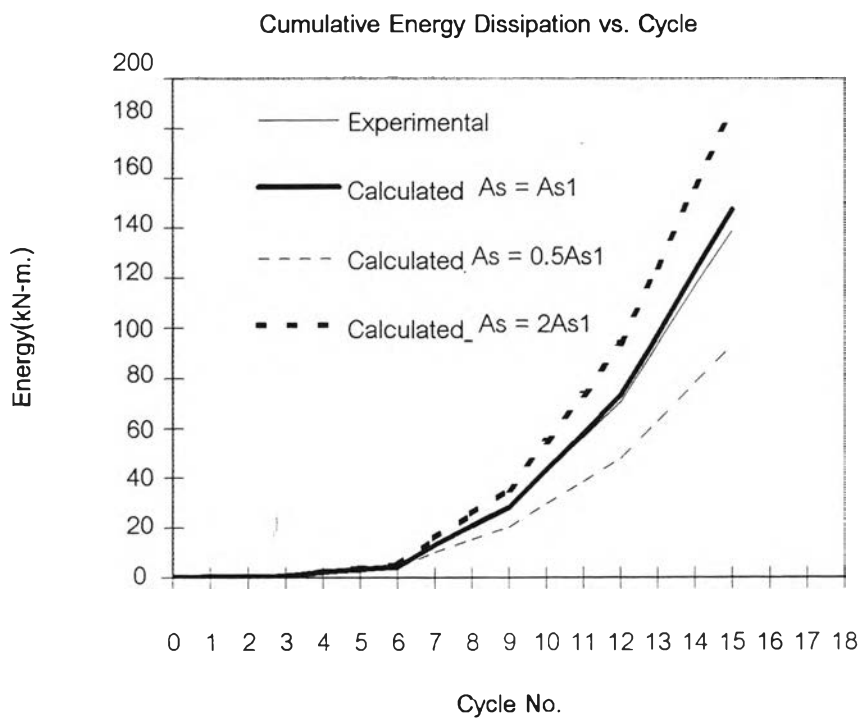
รูปที่ 3.8 ความสามารถในการกระจายพลังงานของตัวอย่างวิเคราะห์ที่ 1



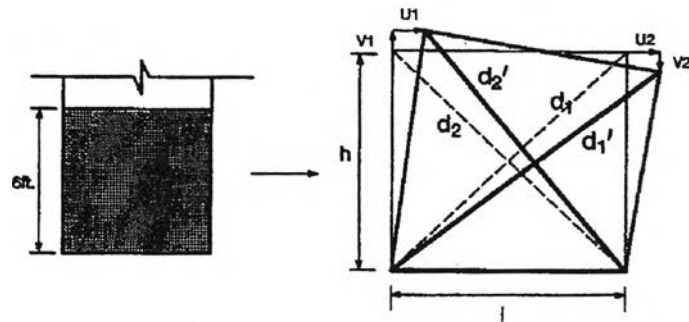
รูปที่ 3.9 ความสามารถในการกระจายพลังงานของตัวอย่างวิเคราะห์ที่ 2



รูปที่ 3.10 ความสามารถในการกระจายพลังงานของตัวอย่างวิเคราะห์ที่ 3



โดยที่ A_{s1} = เหล็กเสริมทแยงปกติ และ A_s = เหล็กเสริมทแยงในกรณีต่างๆ
 รูปที่ 3.11 ความสามารถในการกระจายพลังงานของตัวอย่างวิเคราะห์ที่ 4

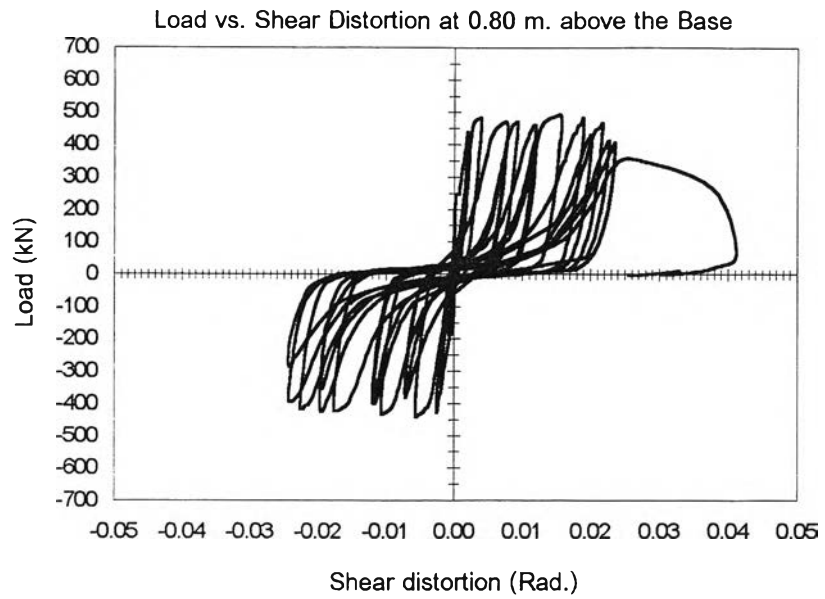


$$d_1 = \sqrt{(h + v_2)^2 + (l + u_2)^2}$$

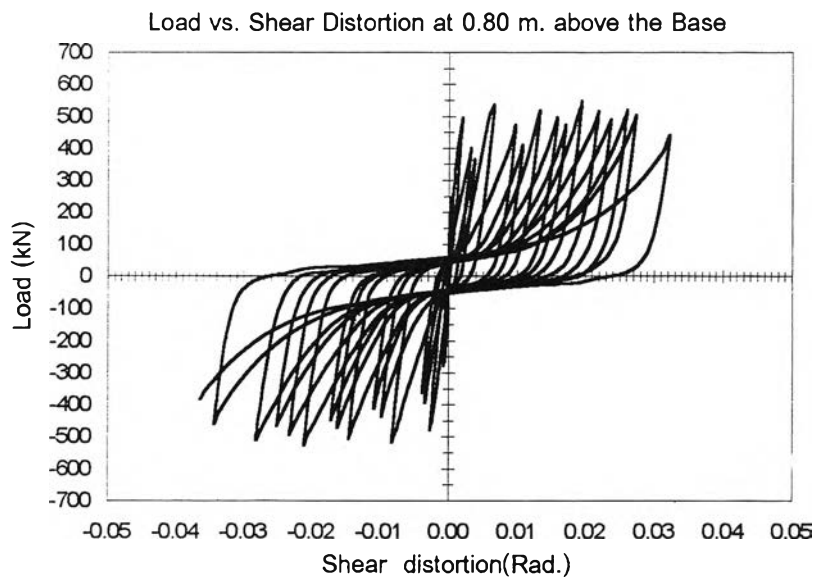
$$d_2 = \sqrt{(h + v_1)^2 + (l - u_1)^2}$$

$$\gamma_{Avg} = \frac{(d_1 - d_1)d_1 - (d_2 - d_2)d_2}{2 h l}$$

รูปที่ 3.12 การคำนวณหาการเสียรูปด้วยแรงเฉือน

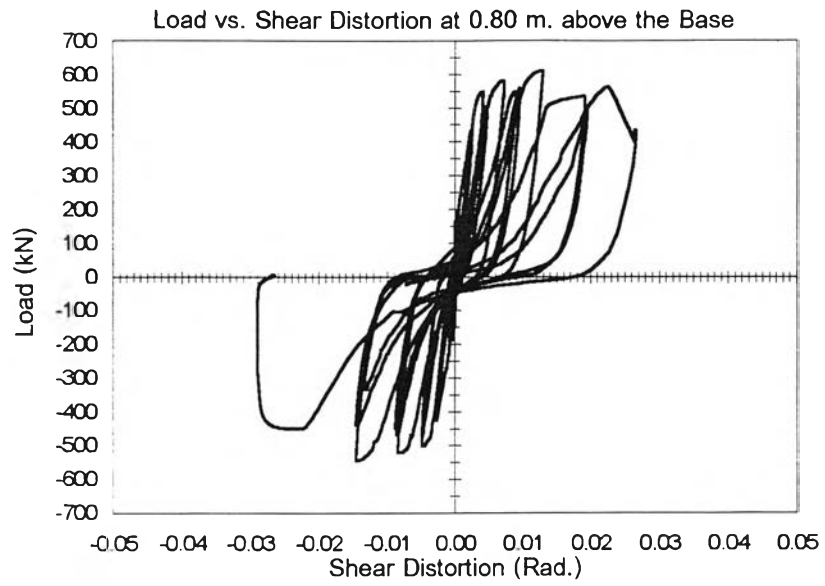


Experimental Data

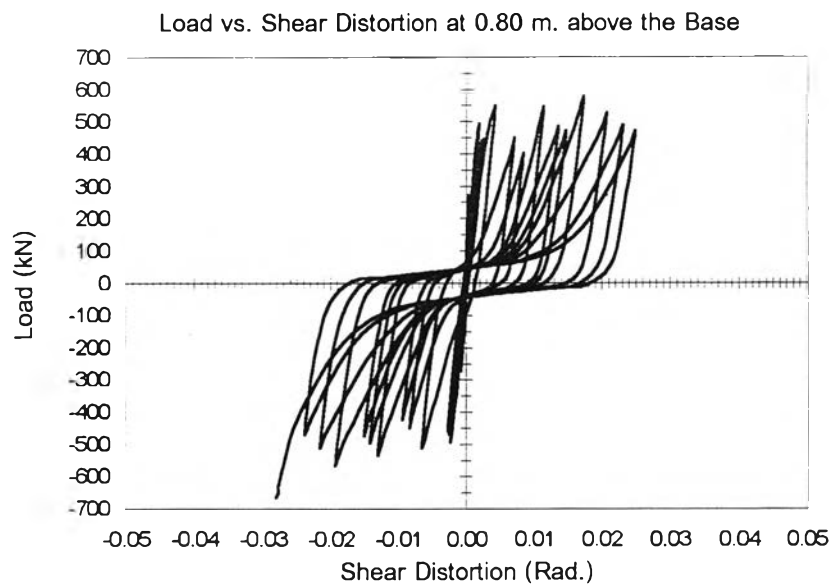


Calculated Response

รูปที่ 3.13 โค้งความสัมพันธ์ระหว่างแรงต้านข้างที่กระทำและการเสียรูปด้วยแรงเฉือนของตัวอย่างวิเคราะห์ที่ 1 เปรียบเทียบกับผลการทดสอบ

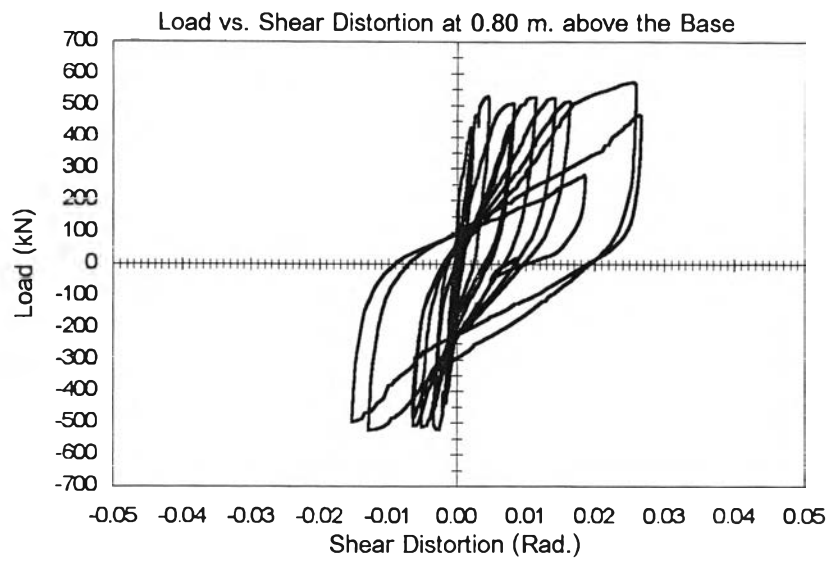


Experimental Data

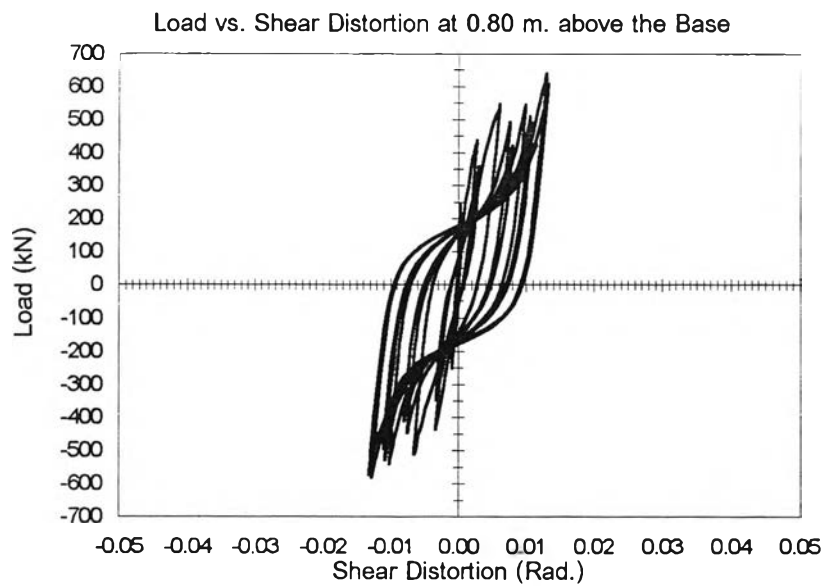


Calculated Response

รูปที่ 3.14 โค้งความสัมพันธ์ระหว่างแรงด้านข้างที่กระทำและการเสียรูปด้วยแรงเฉือน
ของตัวอย่างวิเคราะห์ที่ 2 เปรียบเทียบกับผลการทดสอบ

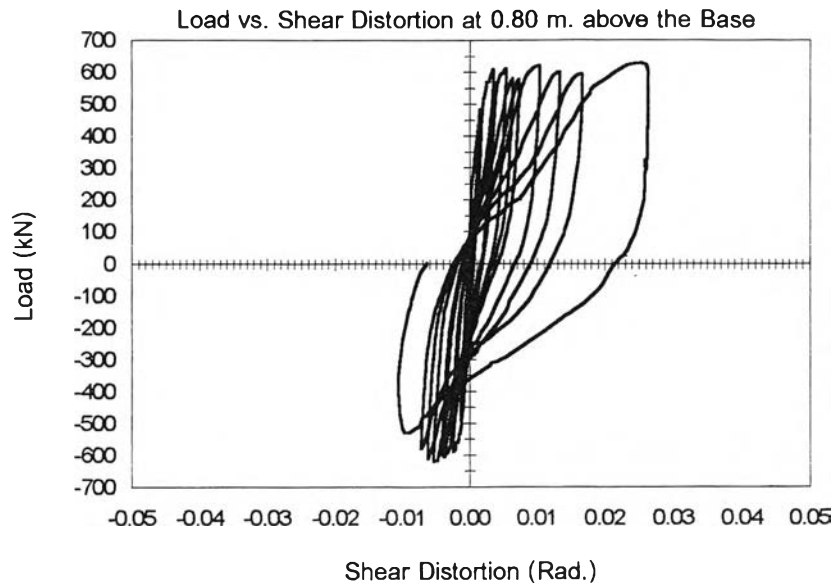


Experimental Data

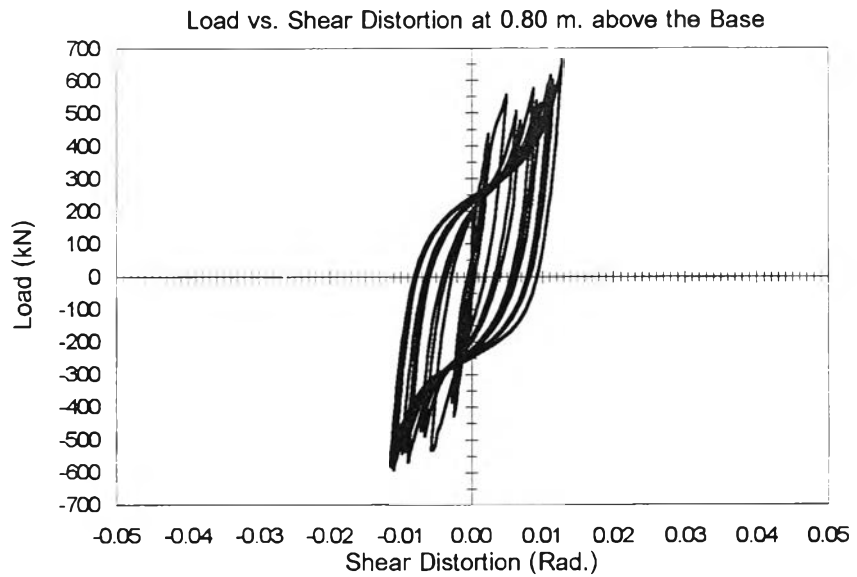


Calculated Response

รูปที่ 3.15 ได้ถึงความสัมพันธ์ระหว่างแรงต้านข้างที่กระทำและการเสียรูปด้วยแรงเฉือนของตัวอย่างวิเคราะห์ที่ 3 เปรียบเทียบกับผลการทดสอบ

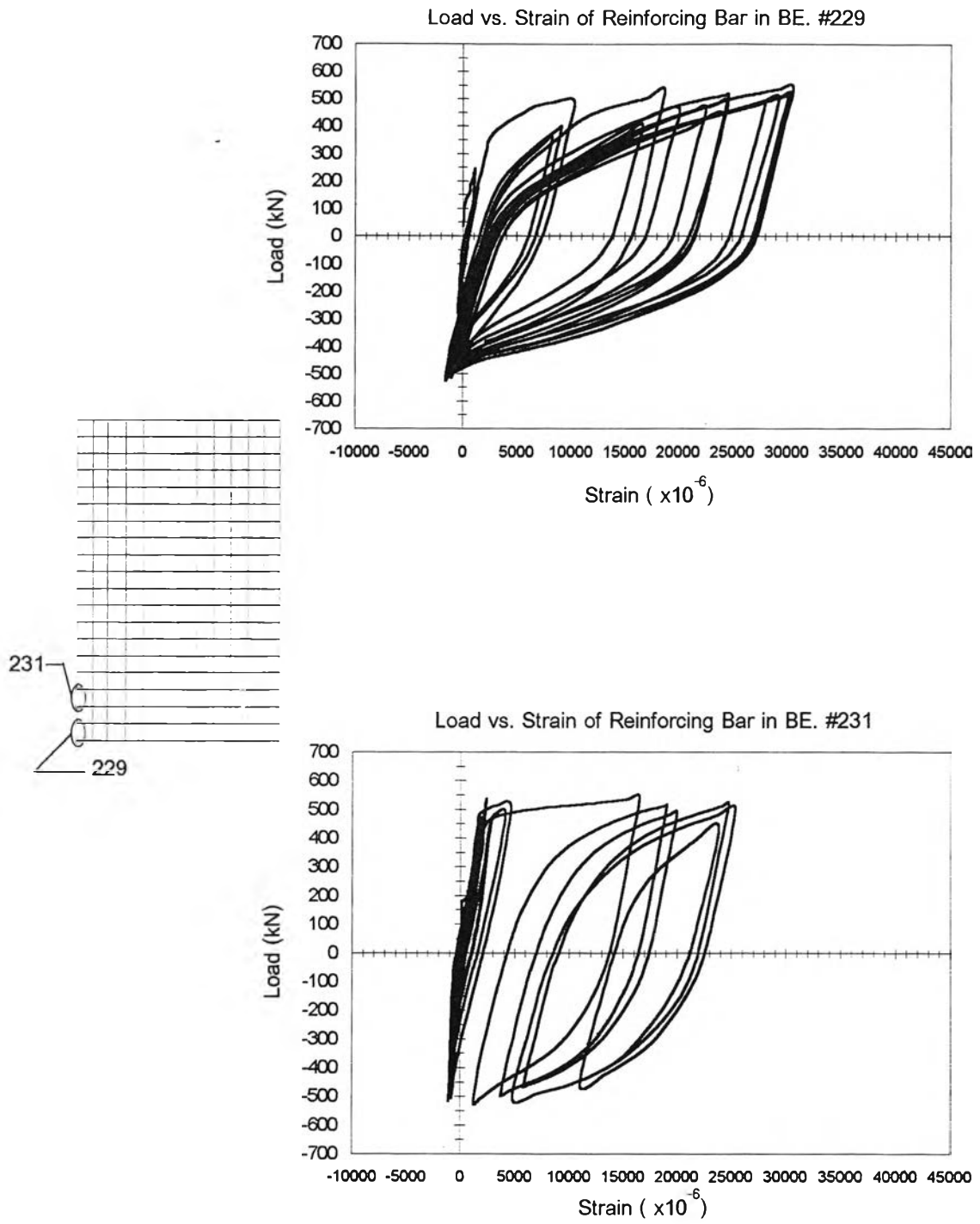


Experimental Data

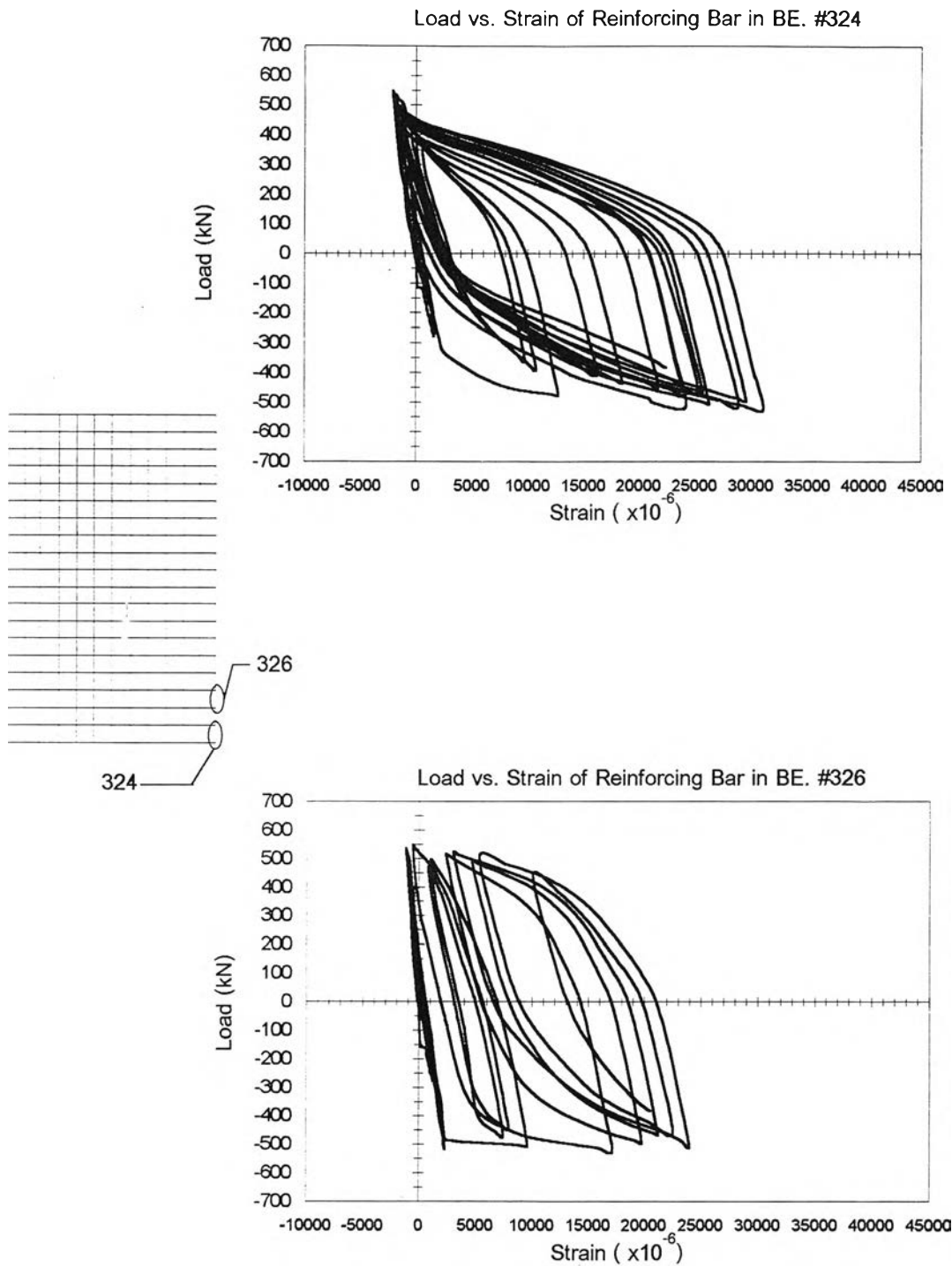


Calculated Response

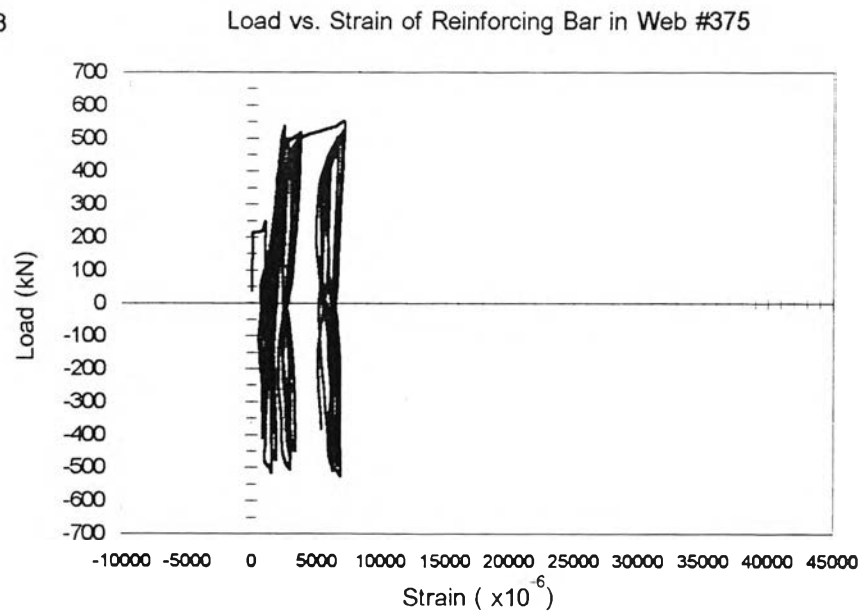
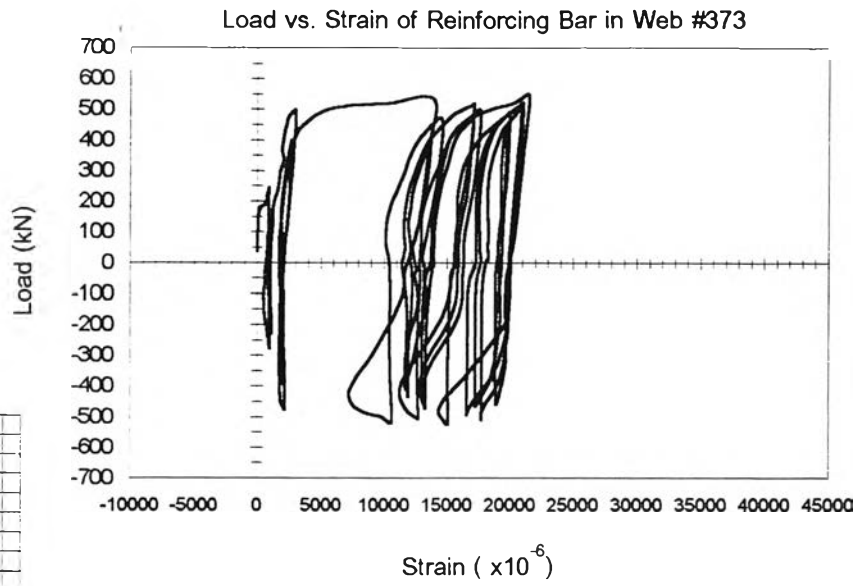
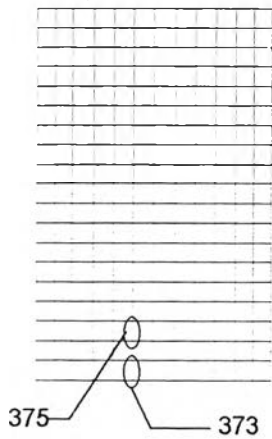
รูปที่ 3.16 โค้งความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัดข้างที่กระทำและการเสียรูปด้วยแรงเฉือนของตัวอย่างวิเคราะห์ที่ 4 เปรียบเทียบกับผลการทดสอบ



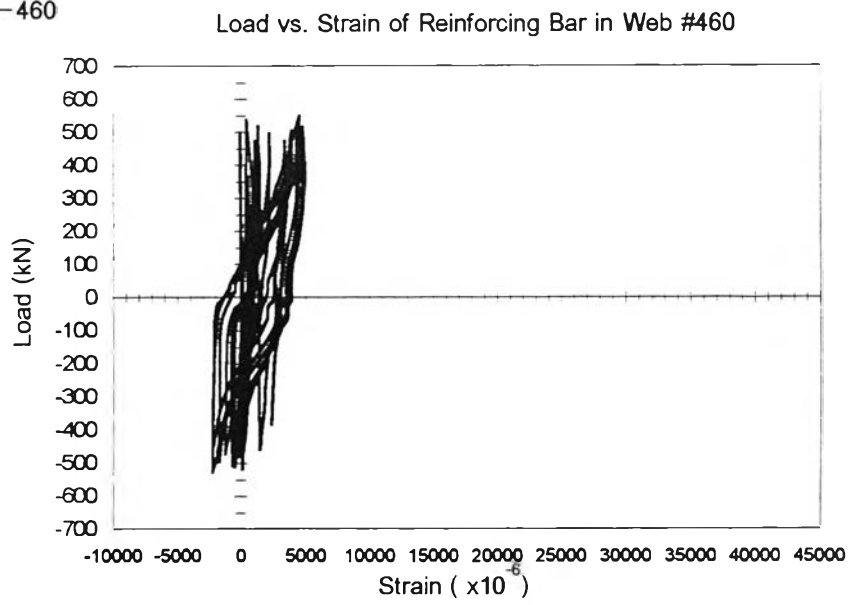
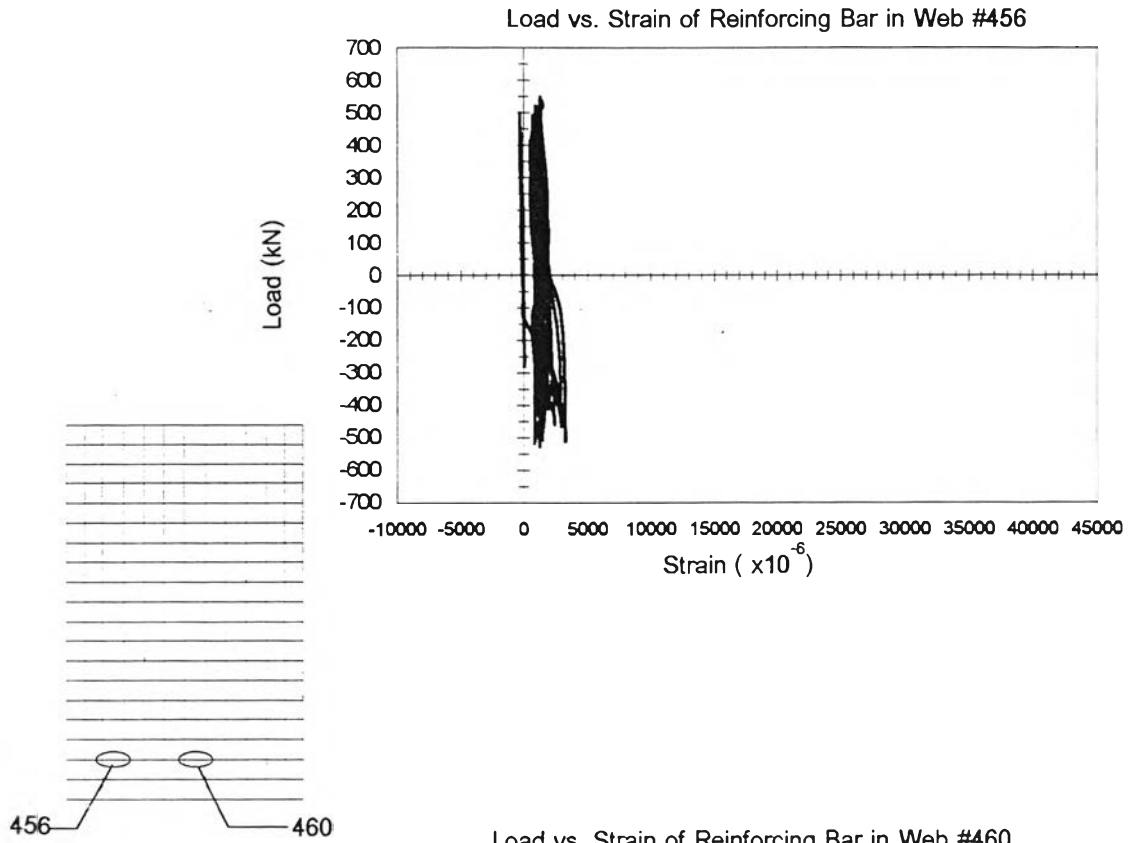
รูปที่ 3.17 โค้งความสัมพันธ์ระหว่างแรงต้านข้างที่กระทำและความเครียด
 ในเหล็กเสริมของตัวอย่างวิเคราะห์ที่ 1



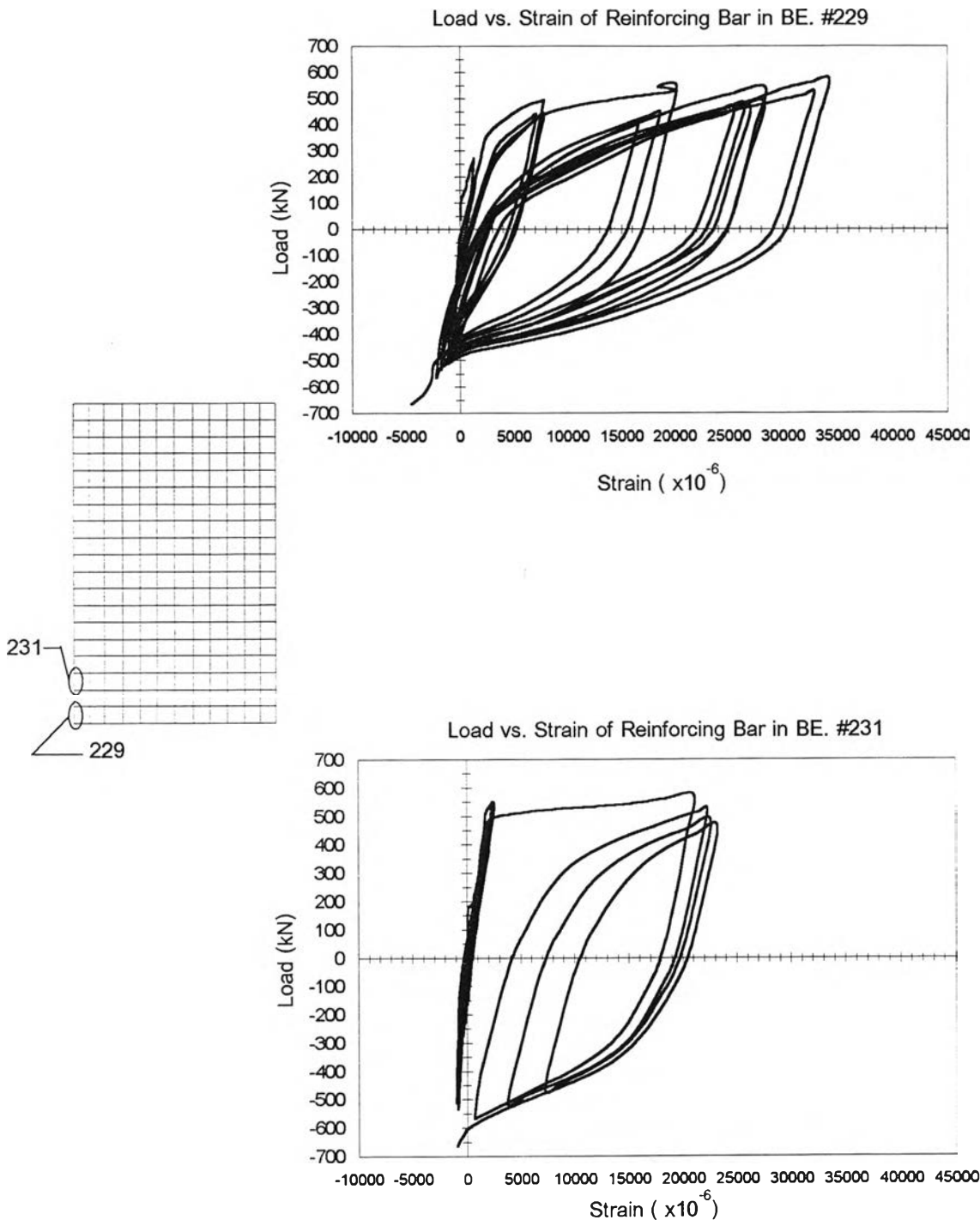
รูปที่ 3.17 (ต่อ) ได้ังความสัมพันธ์ระหว่างแรงด้นข้างที่กระทำและความเครียด
ในเหล็กเสริมของตัวอย่างวิเคราะห์ที่ 1



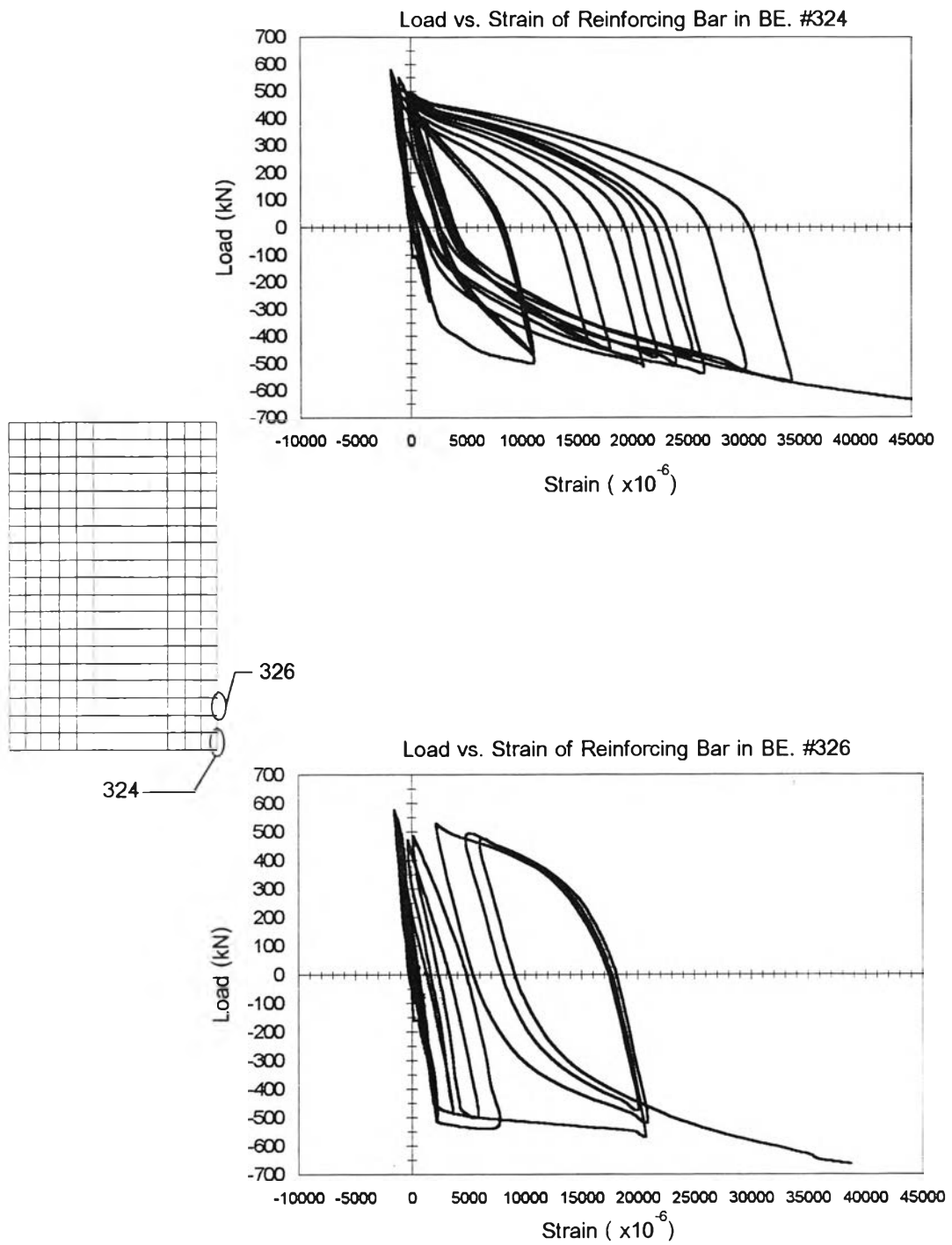
รูปที่ 3.17 (ต่อ) โค้งความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัดข้างที่กระทำและความเครียด
ในเหล็กเสริมของตัวอย่างวิเคราะห์ที่ 1



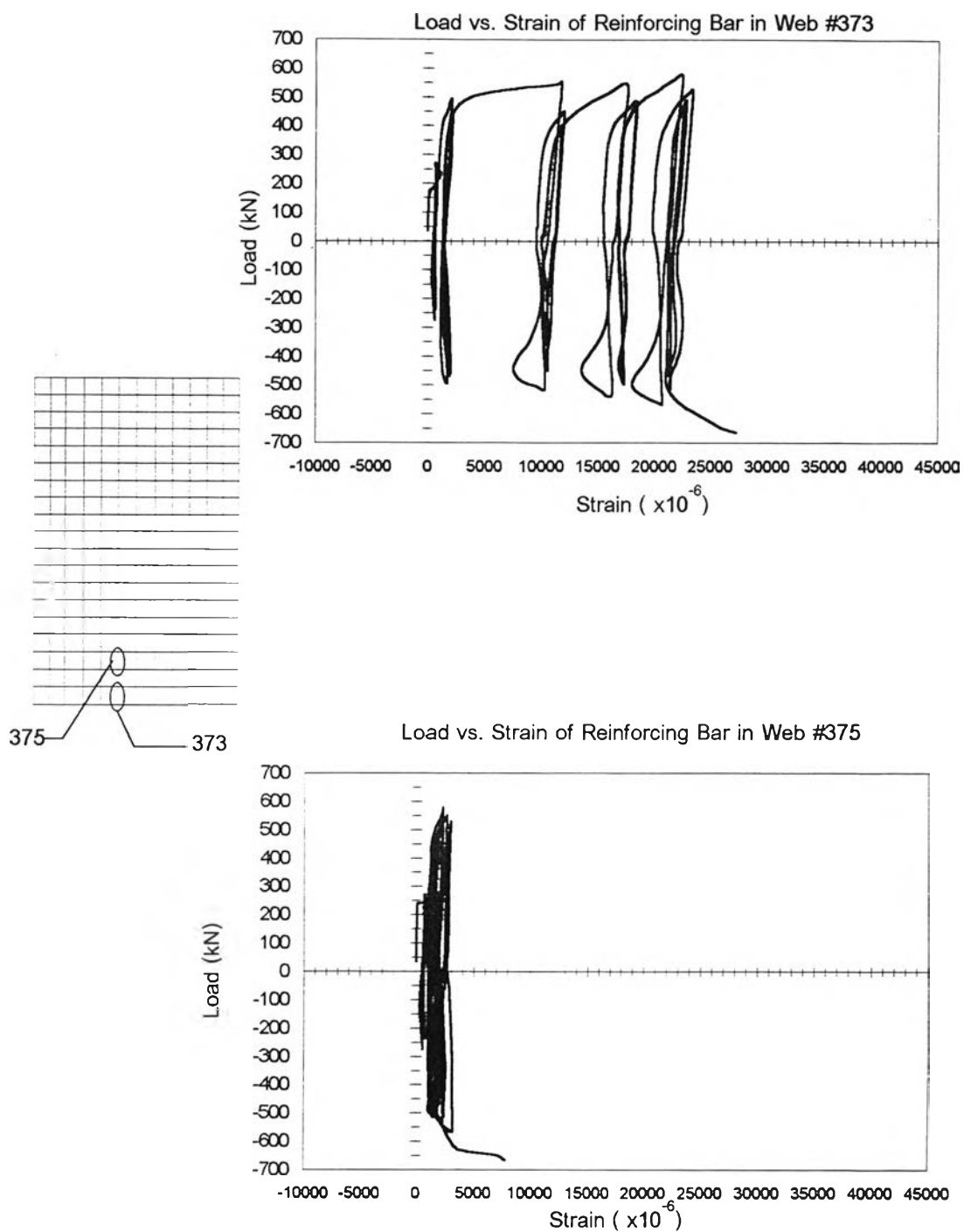
รูปที่ 3.17 (ต่อ) โค้งความสัมพันธ์ระหว่างแรงต้านข้างที่กระทำและความเคี้ยว
ในเหล็กเสริมของตัวอย่างวิเคราะห์ที่ 1



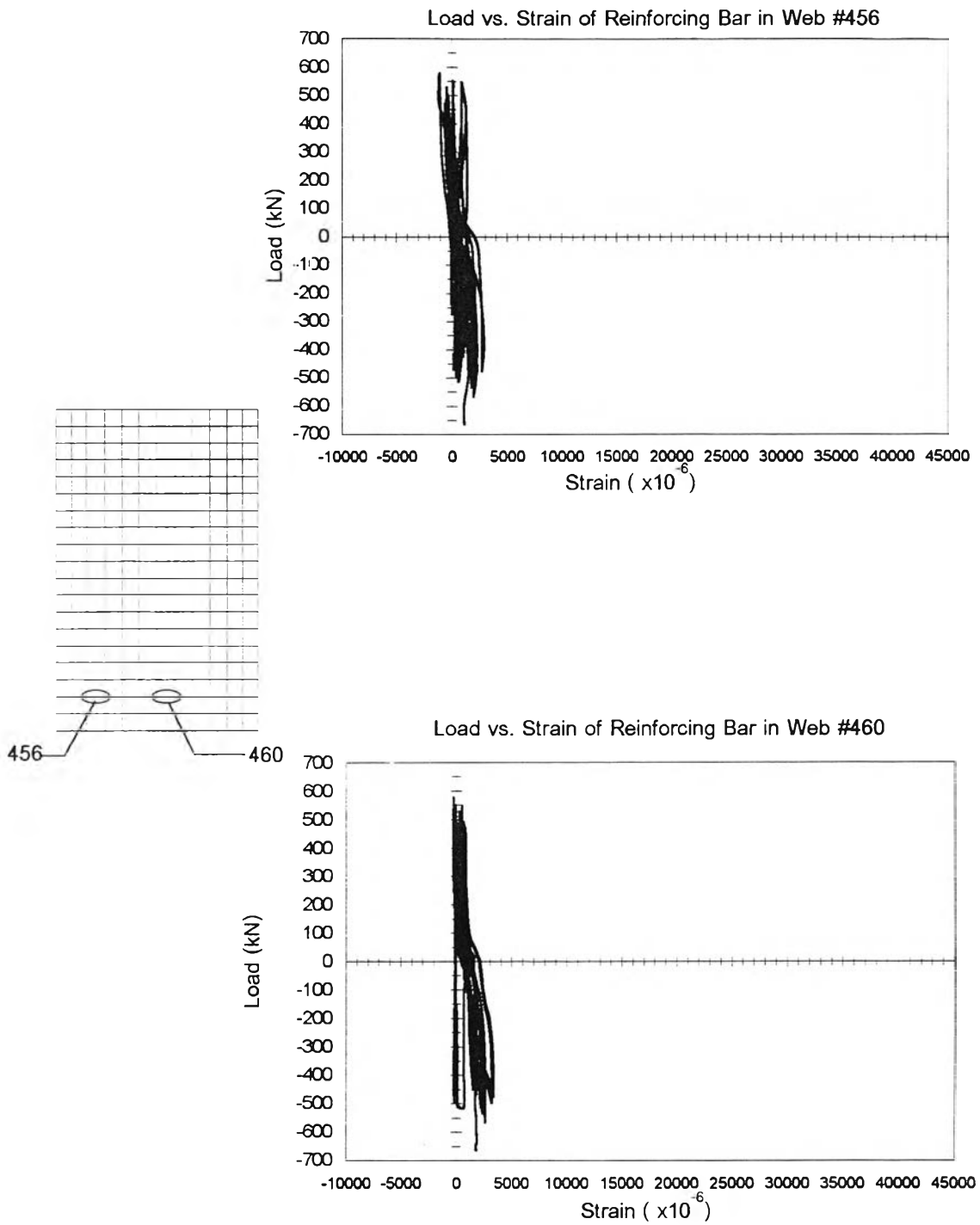
รูปที่ 3.18 ได้ถึงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัดข้างที่กระทำและความเครียด
ในเหล็กเสริมของตัวอย่างวิเคราะห์ที่ 2



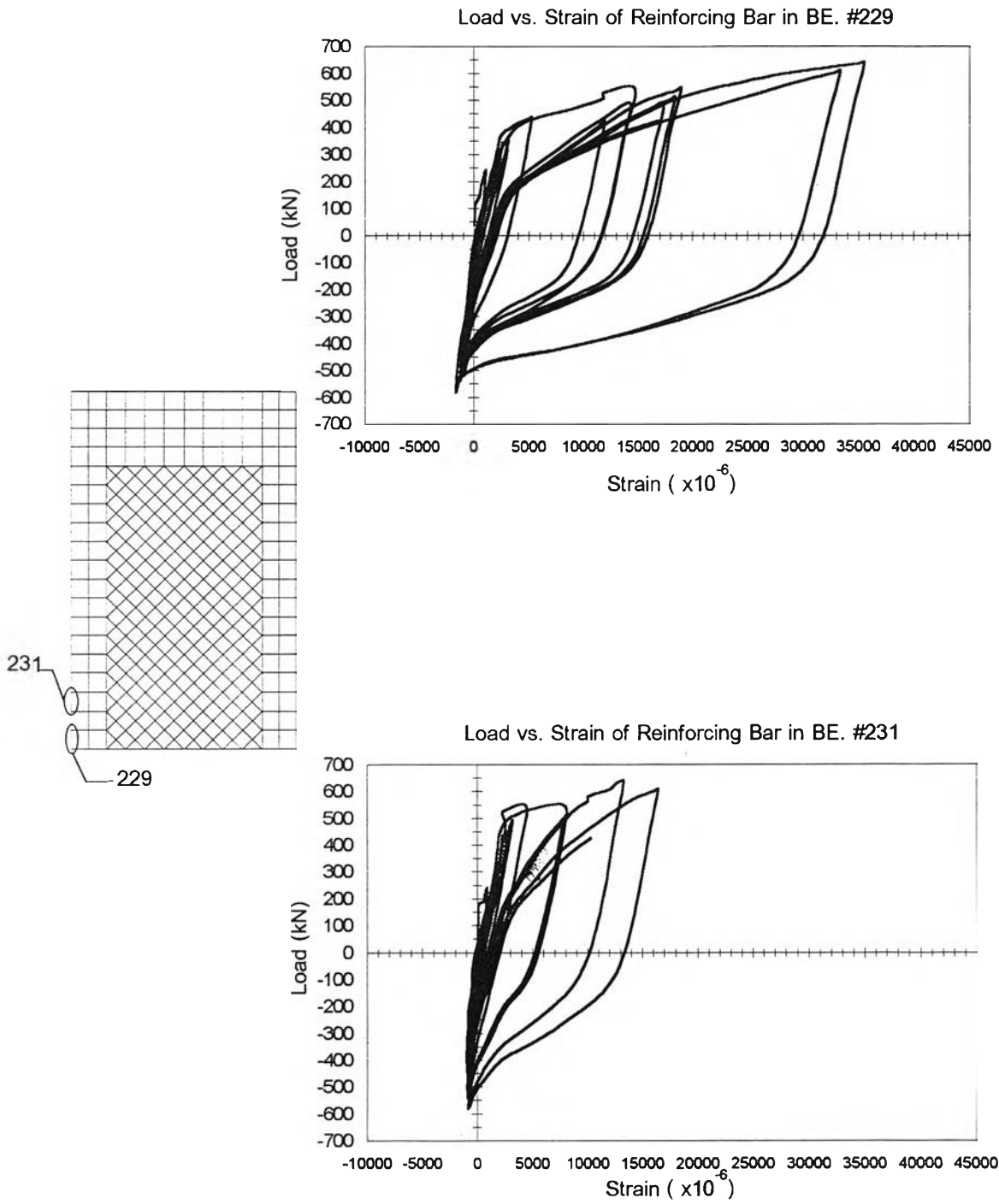
รูปที่ 3.18 (ต่อ) ได้ังความสัมพันธ์ระหว่างแรงต้านข้างที่กระทำและความเครียด
ในเหล็กเสริมของตัวอย่างวิเคราะห์ที่ 2



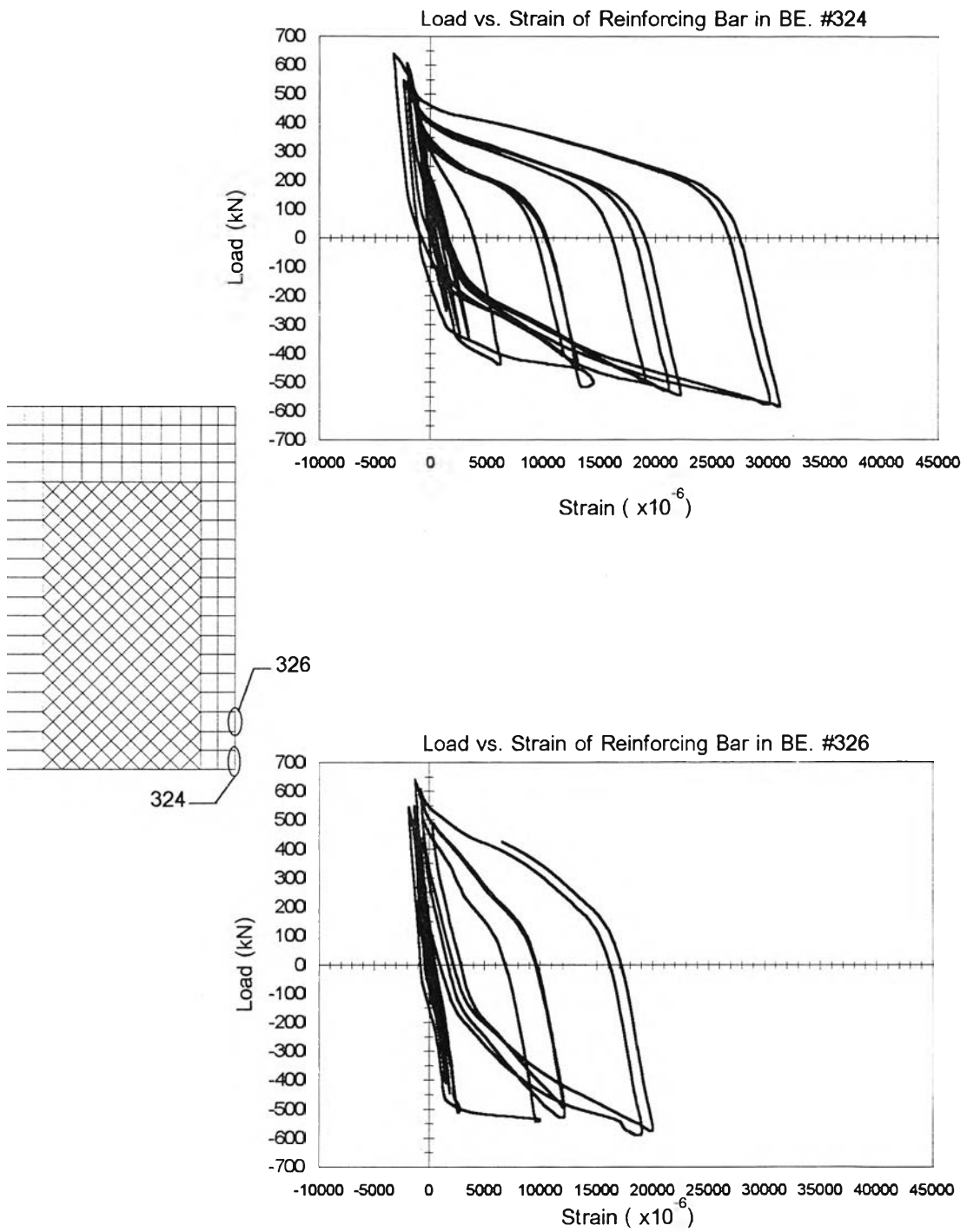
รูปที่ 3.18 (ต่อ) ได้ถึงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัดข้างที่กระทำและความเครียด
ในเหล็กเสริมของตัวอย่างวิเคราะห์ที่ 2



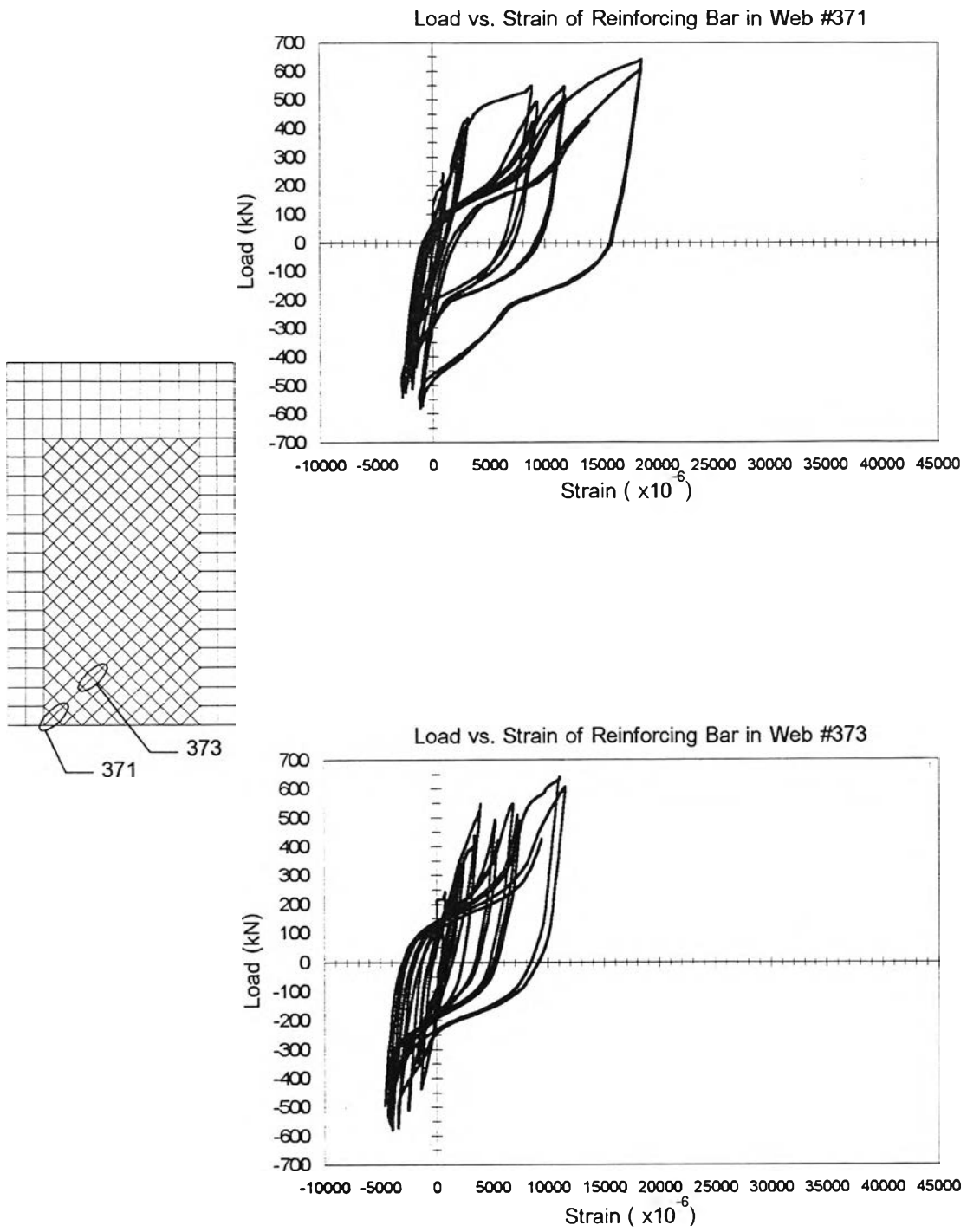
รูปที่ 3.18 (ต่อ) ได้ถึงความสัมพันธ์ระหว่างแรงด้านข้างที่กระทำและความเครียด
ในเหล็กเสริมของตัวอย่างวิเคราะห์ที่ 2



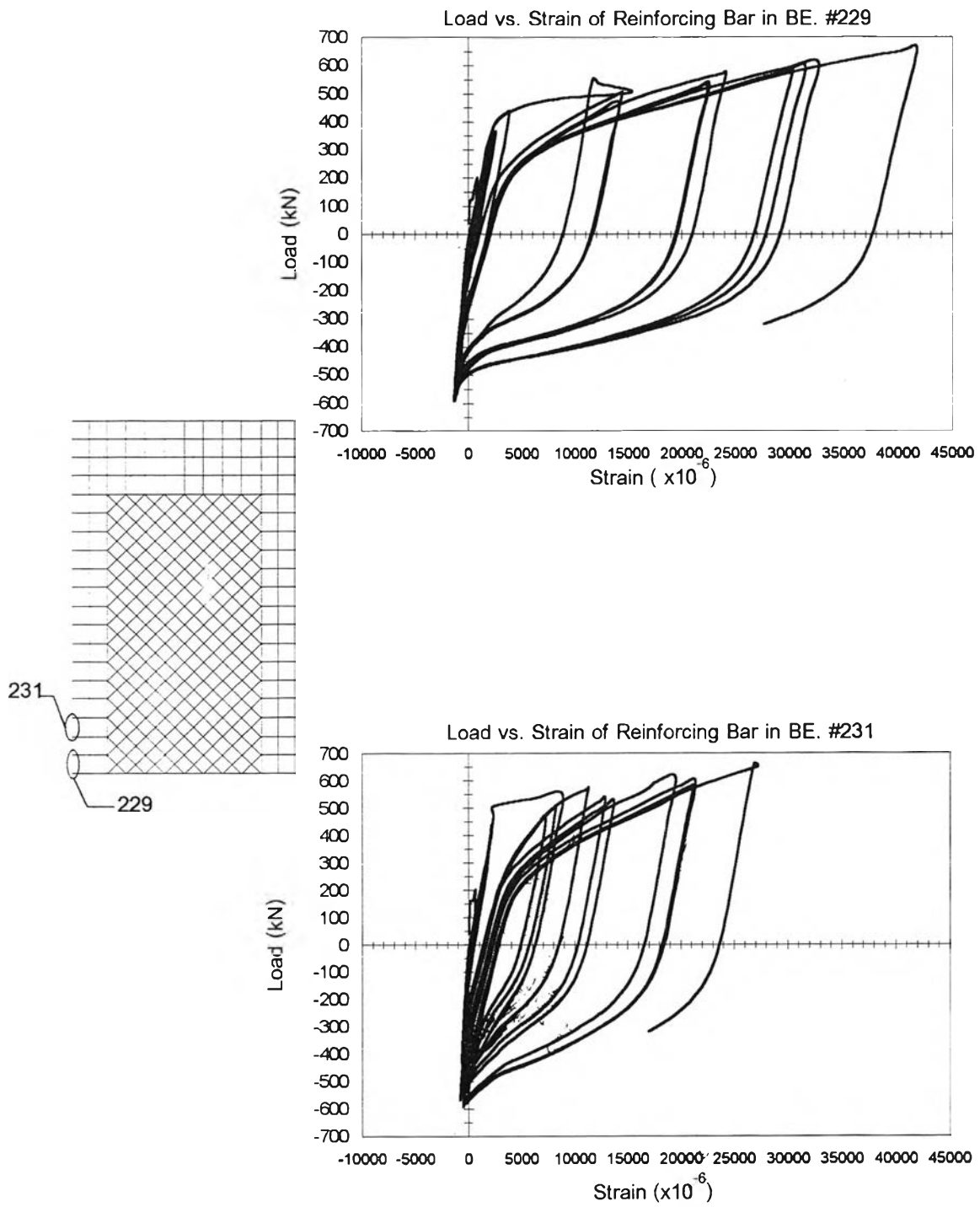
รูปที่ 3.19 ได้ถึงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัดข้างที่กระทำและความเครียด
 ในเหล็กเสริมของตัวอย่างวิเคราะห์ที่ 3



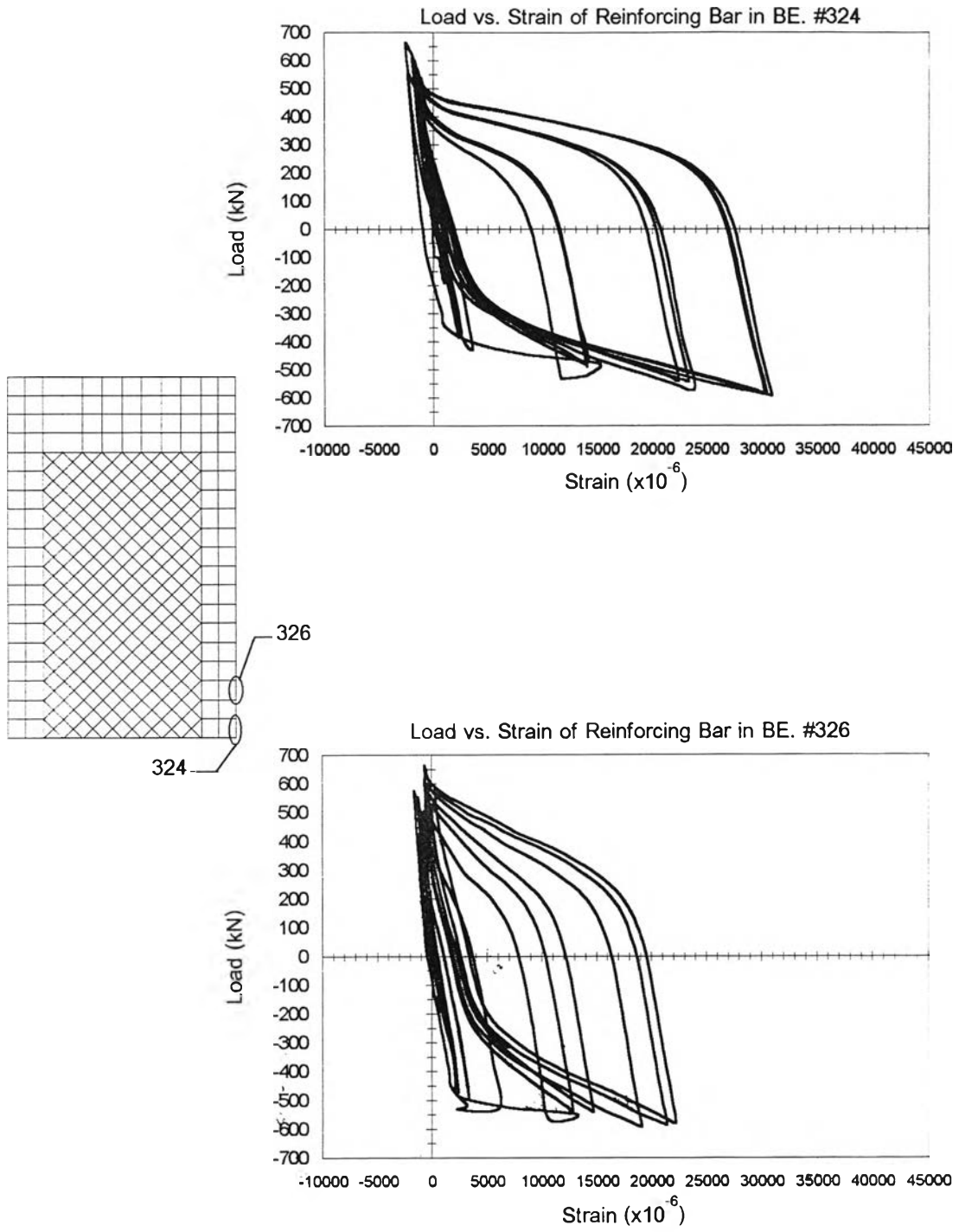
รูปที่ 3.19 (ต่อ) ได้ังความสัมพันธ์ระหว่างแรงด้นข้างที่กระทำและความเครียด
ในเหล็กเสริมของตัวอย่างวิเคราะห์ที่ 3



รูปที่ 3.19 (ต่อ) ได้ถึงความสัมพันธ์ระหว่างแรงต้านข้างที่กระทำและความเครียด
ในเหล็กเสริมของตัวอย่างวิเคราะห์ที่ 3

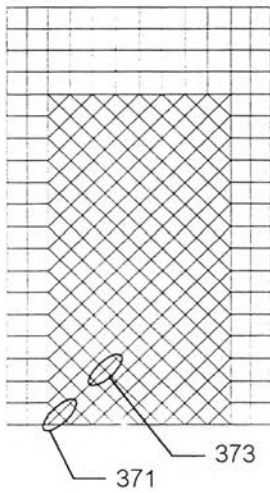
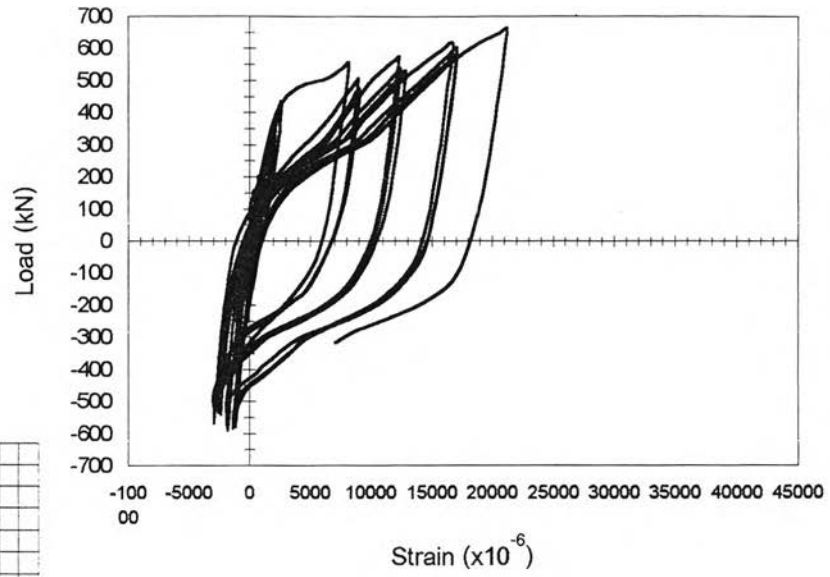


รูปที่ 3.20 ได้ถึงความสัมพันธ์ระหว่างแรงด้านข้างที่กระทำและความเครียด
ในเหล็กเสริมของตัวอย่างวิเคราะห์ที่ 4

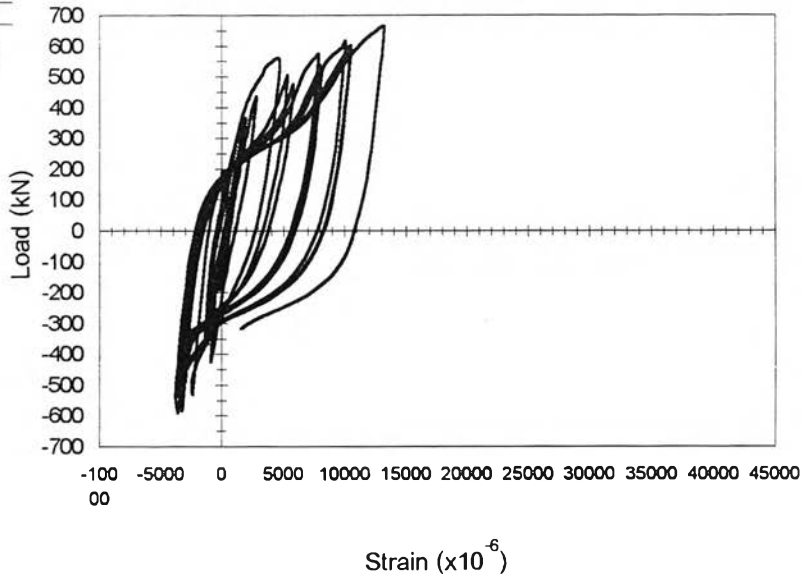


รูปที่ 3.20 (ต่อ) ได้ถึงความสัมพันธ์ระหว่างแรงต้านข้างที่กระทำและความเครียด
ในเหล็กเสริมของตัวอย่างวิเคราะห์ที่ 4

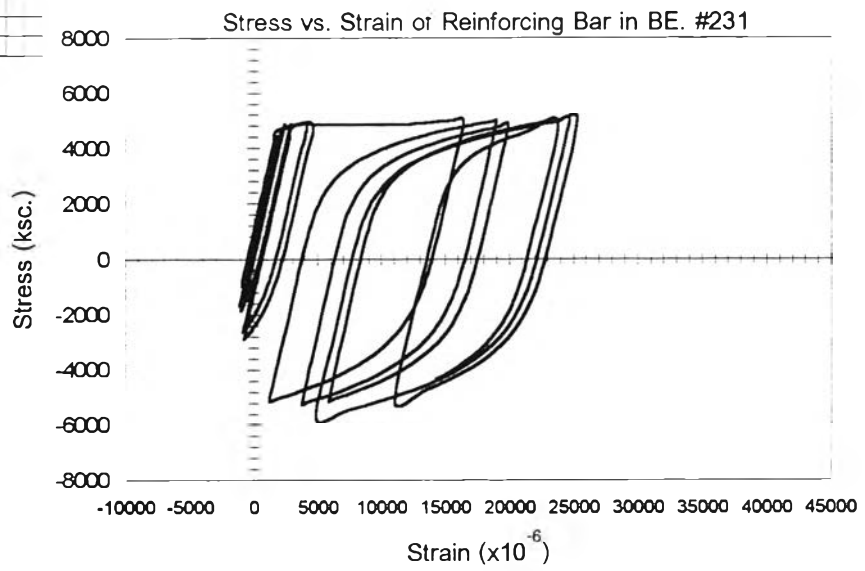
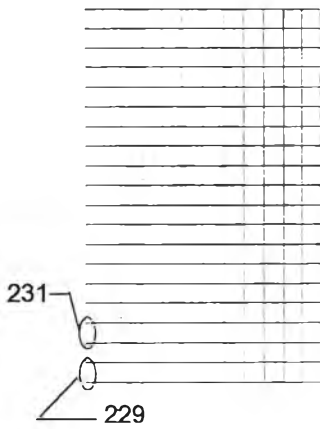
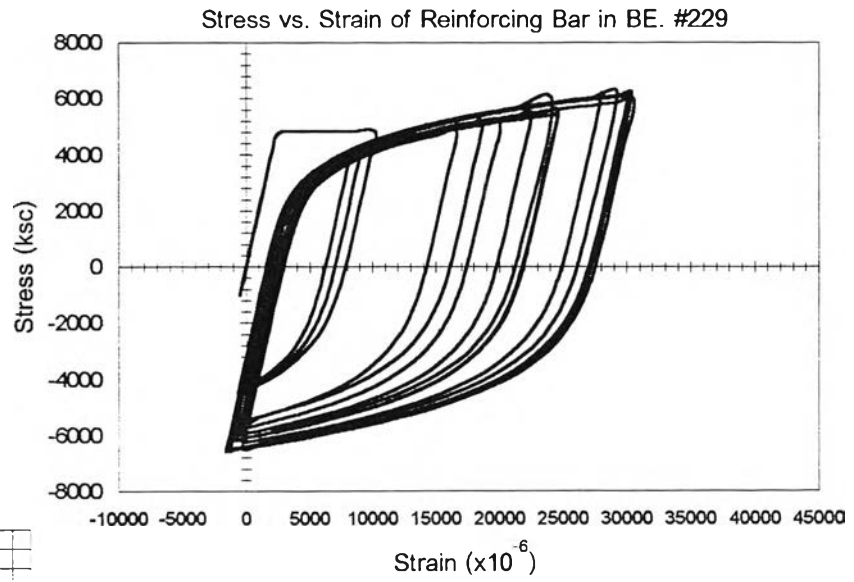
Load vs. Strain of Reinforcing Bar in Web #371



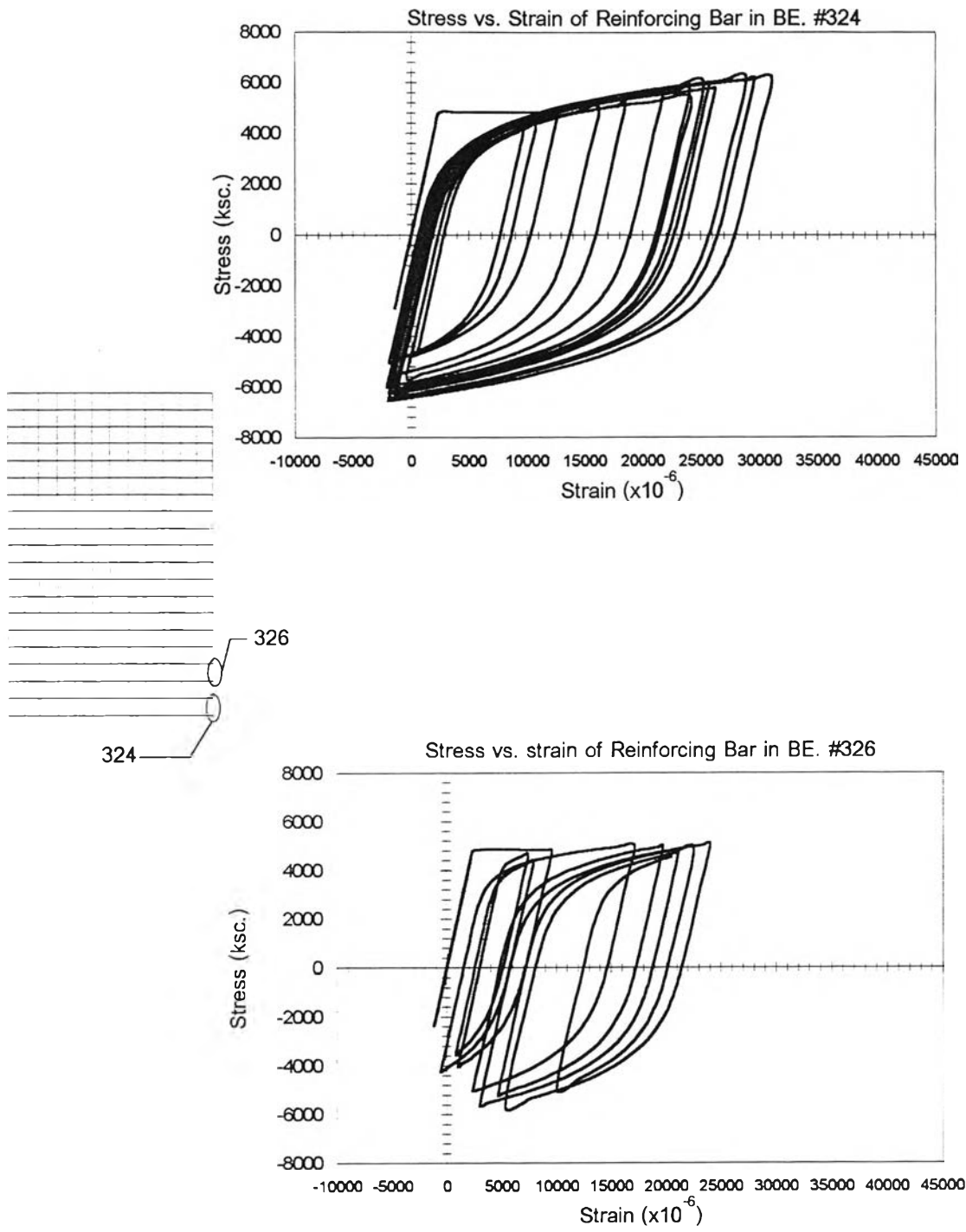
Load vs. Strain of Reinforcing Bar in Web #373



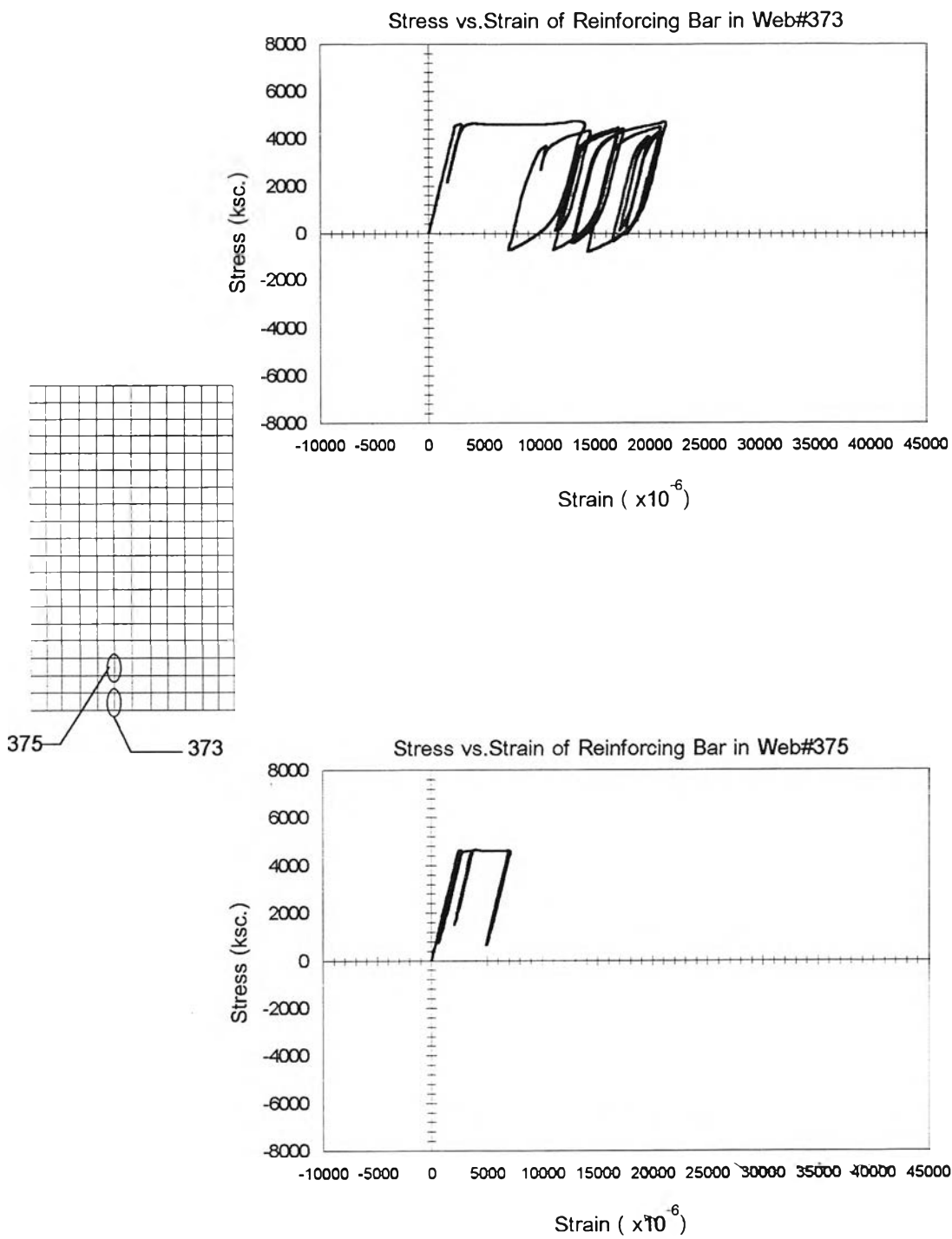
รูปที่ 3.20 (ต่อ) โค้งความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัดข้างที่กระทำและความเครียด
ในเหล็กเสริมของตัวอย่างวิเคราะห์ที่ 4



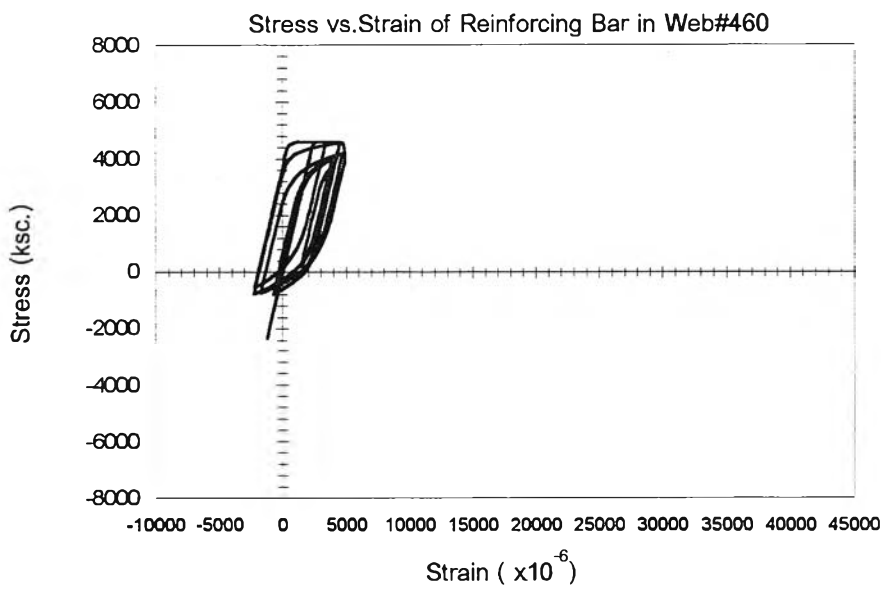
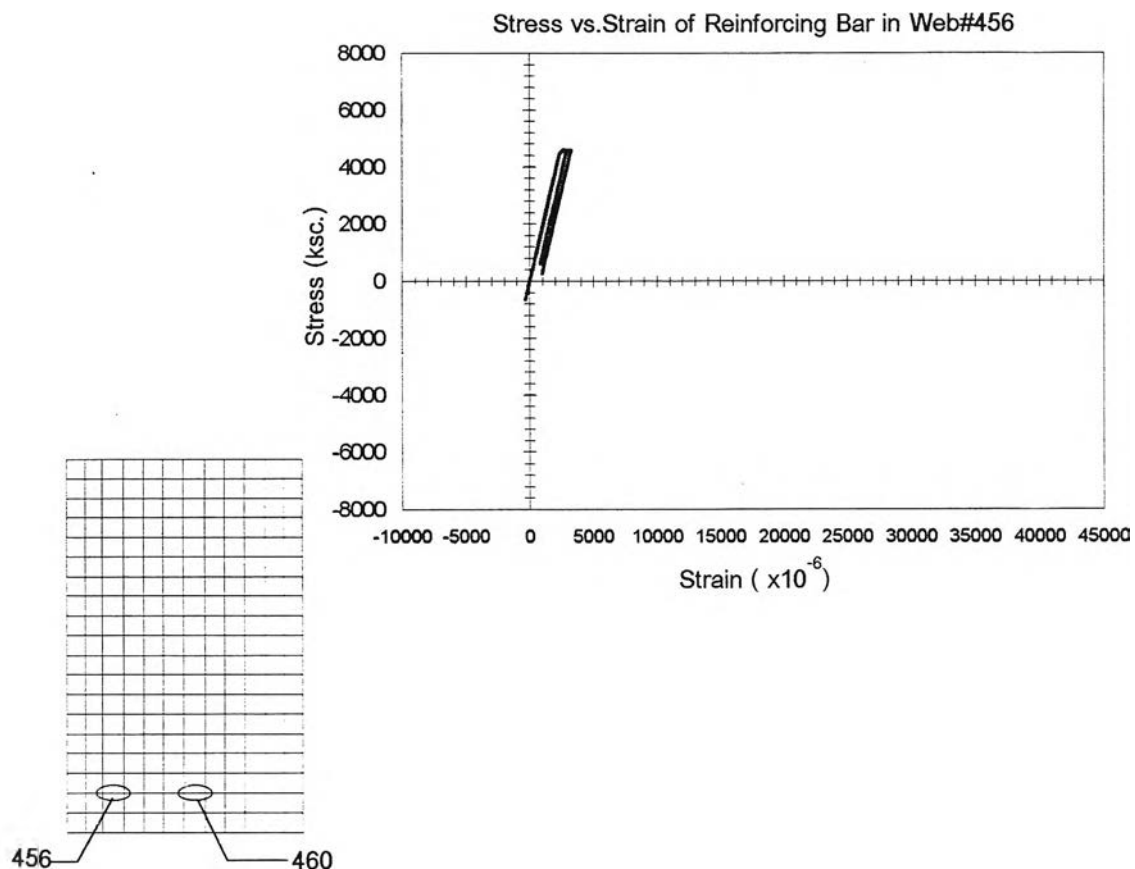
รูปที่ 3.21 โค้งความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเครียดในเหล็กเสริม
ของตัวอย่างวิเคราะห์ที่ 1



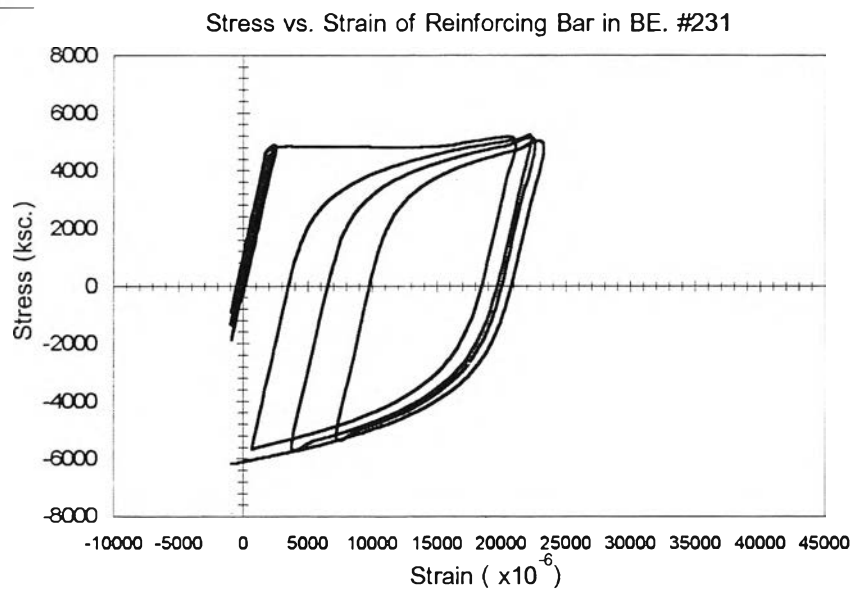
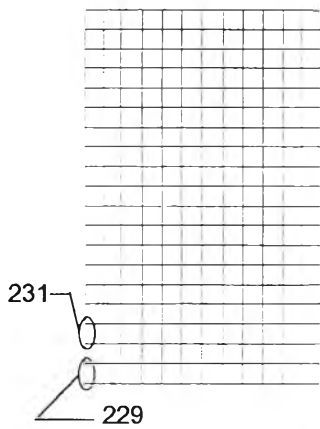
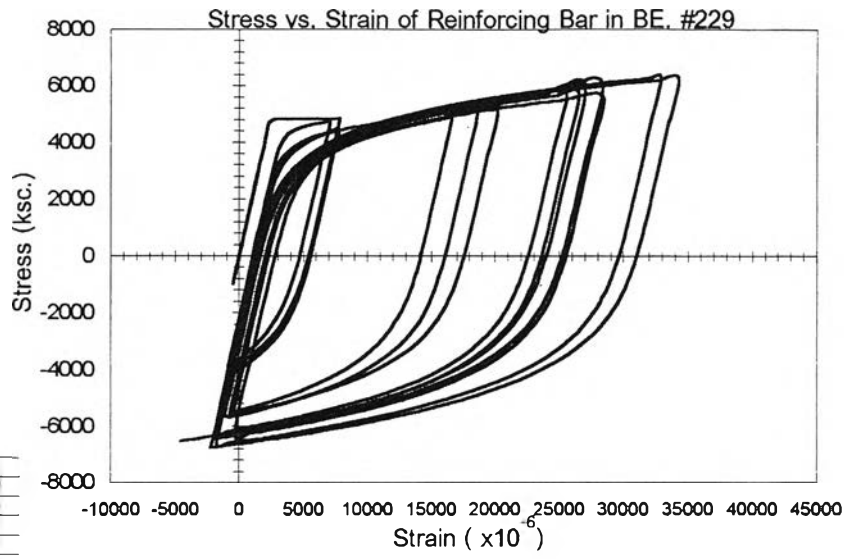
รูปที่ 3.21 (ต่อ) โค้งความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเครียดในเหล็กเสริม
ของตัวอย่างวิเคราะห์ที่ 1



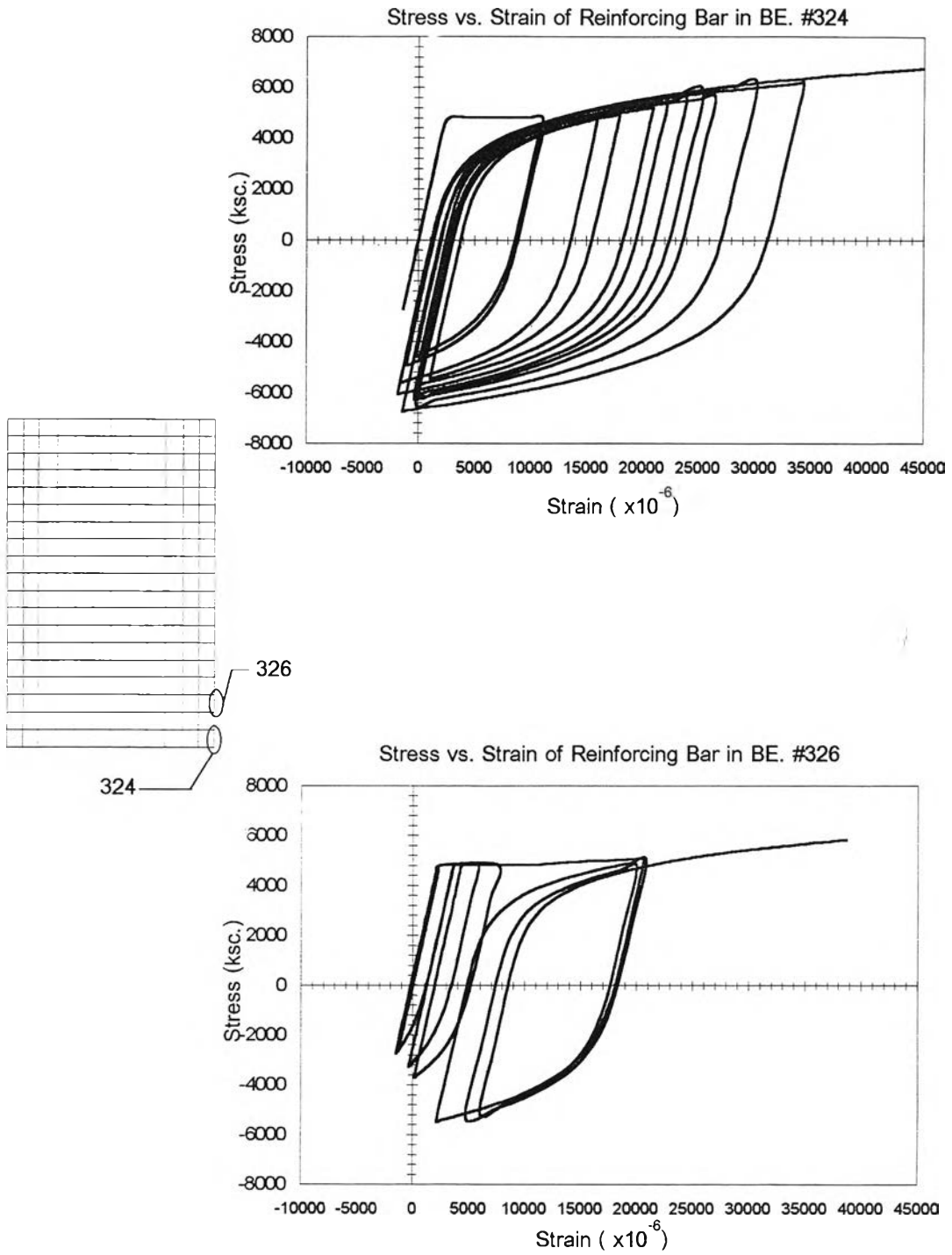
รูปที่ 3.21 (ต่อ) โค้งความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเครียดในเหล็กเสริม
ของตัวอย่างวิเคราะห์ที่ 1



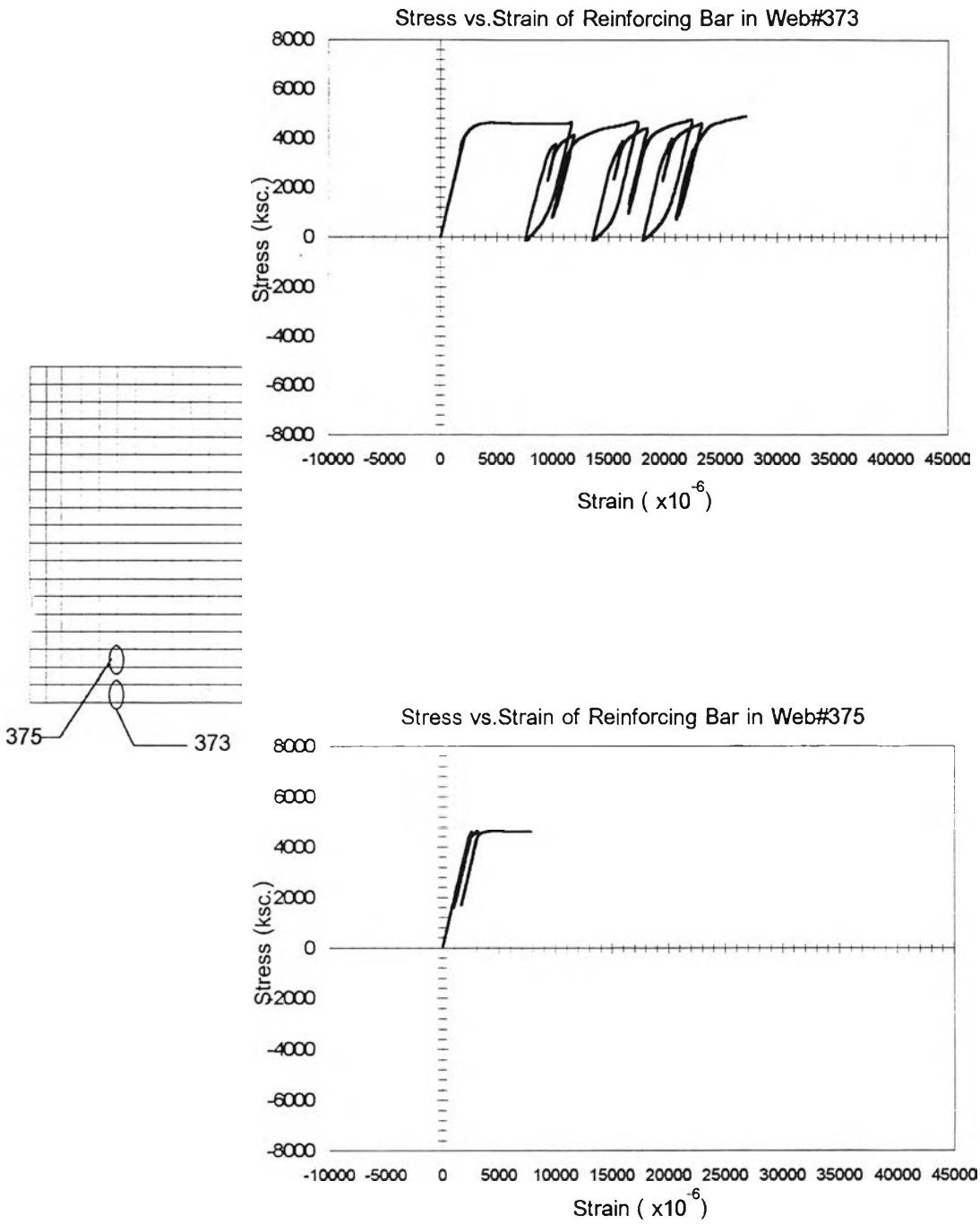
รูปที่ 3.21 (ต่อ) ได้ถึงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเครียดในเหล็กเสริม
ของตัวอย่างวิเคราะห์ที่ 1



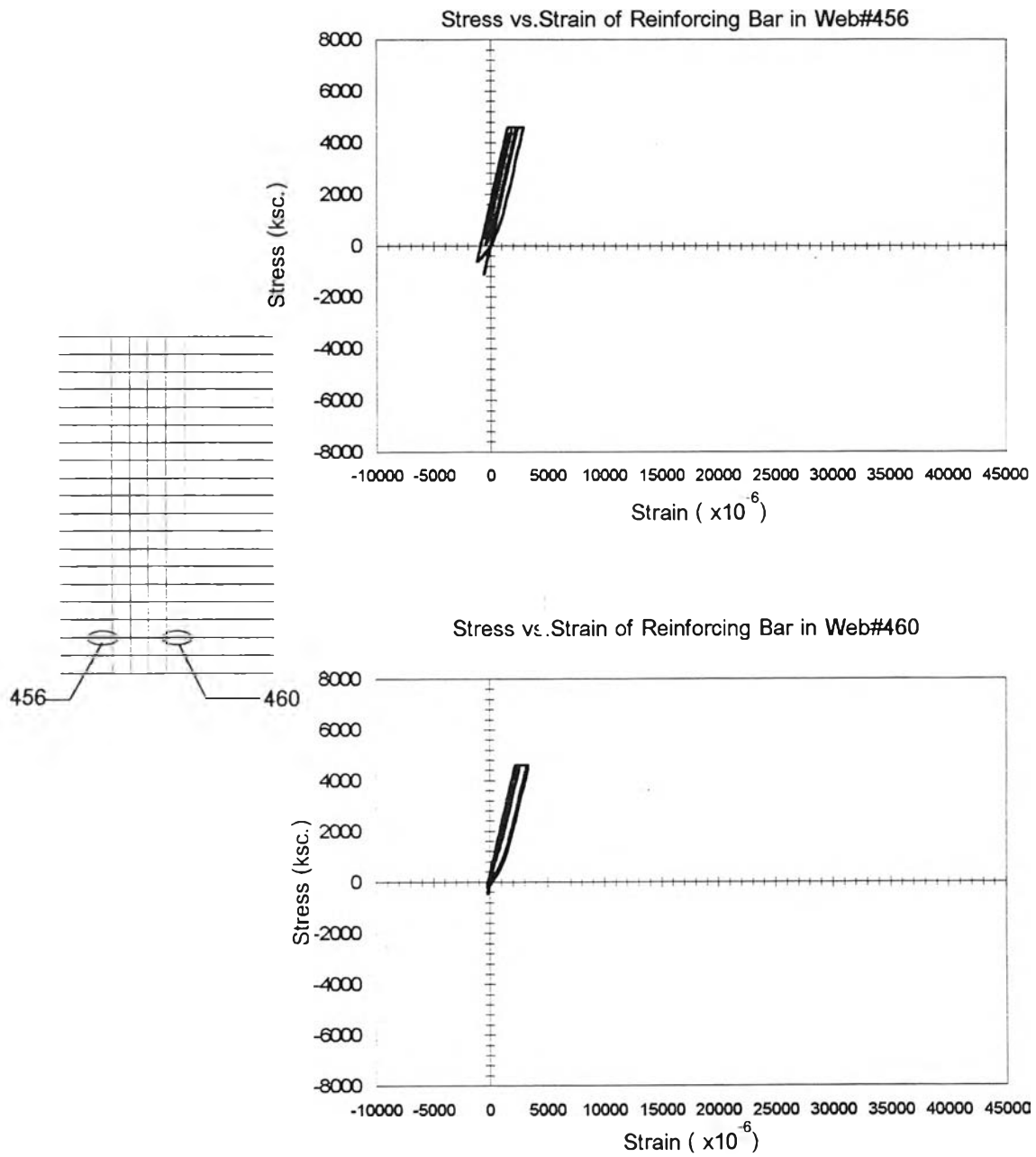
รูปที่ 3.22 ได้ถึงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเครียดในเหล็กเสริม
ของตัวอย่างวิเคราะห์ที่ 2



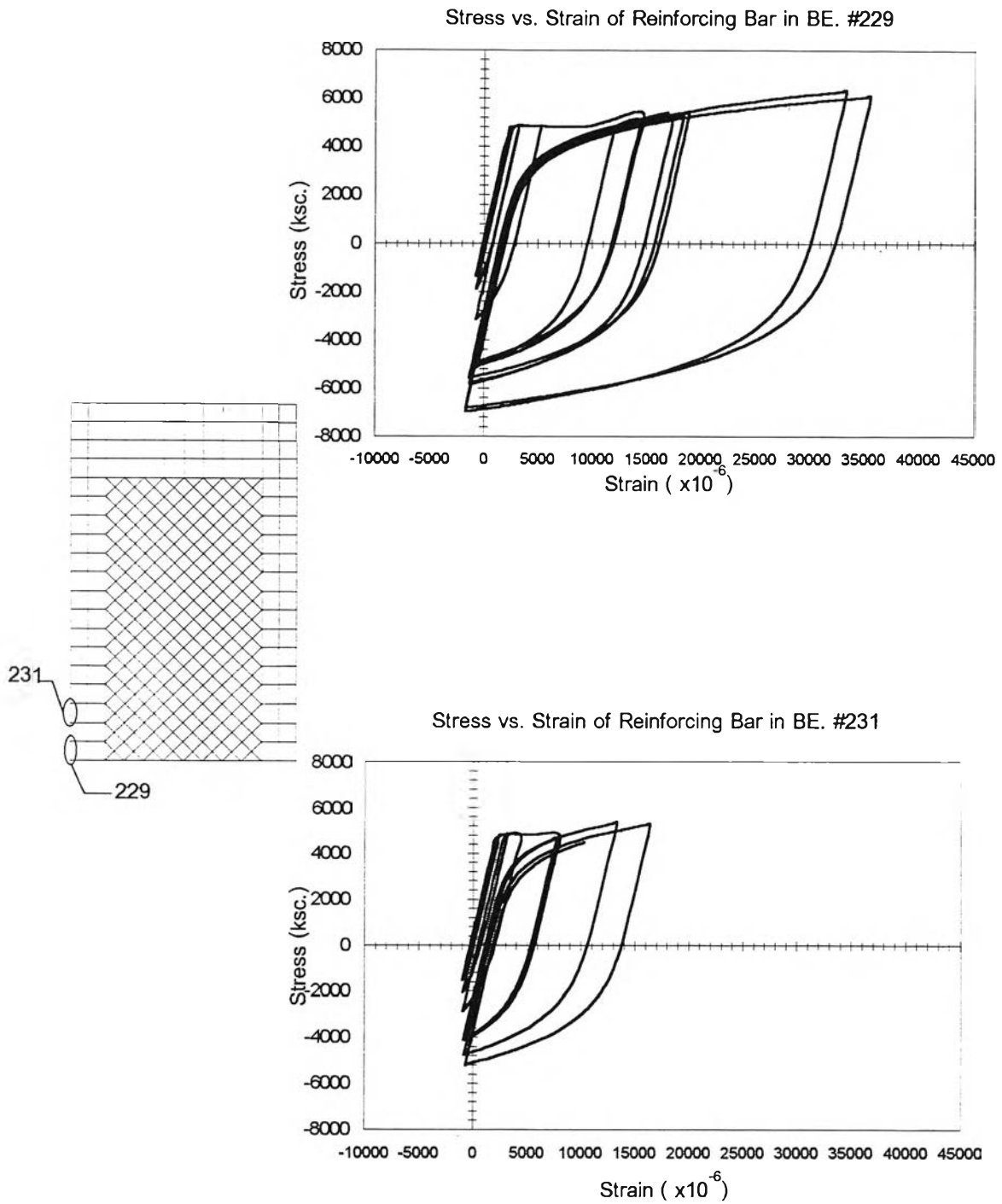
รูปที่ 3.22 (ต่อ) โค้งความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเครียดในเหล็กเสริม
ของตัวอย่างวิเคราะห์ที่ 2



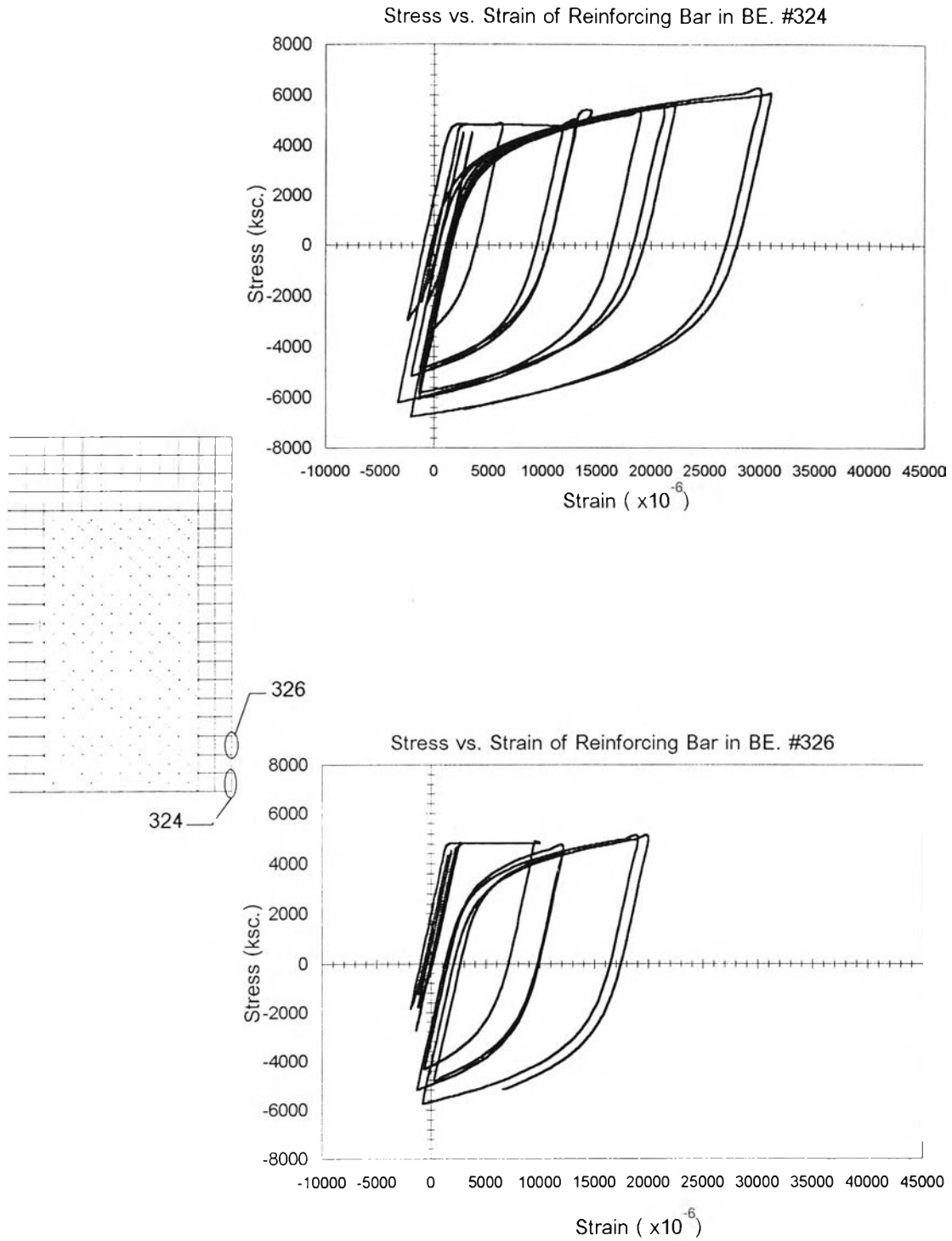
รูปที่ 3.22 (ต่อ) ได้ังความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเครียดในเหล็กเสริม
ของตัวอย่างวิเคราะห์ที่ 2



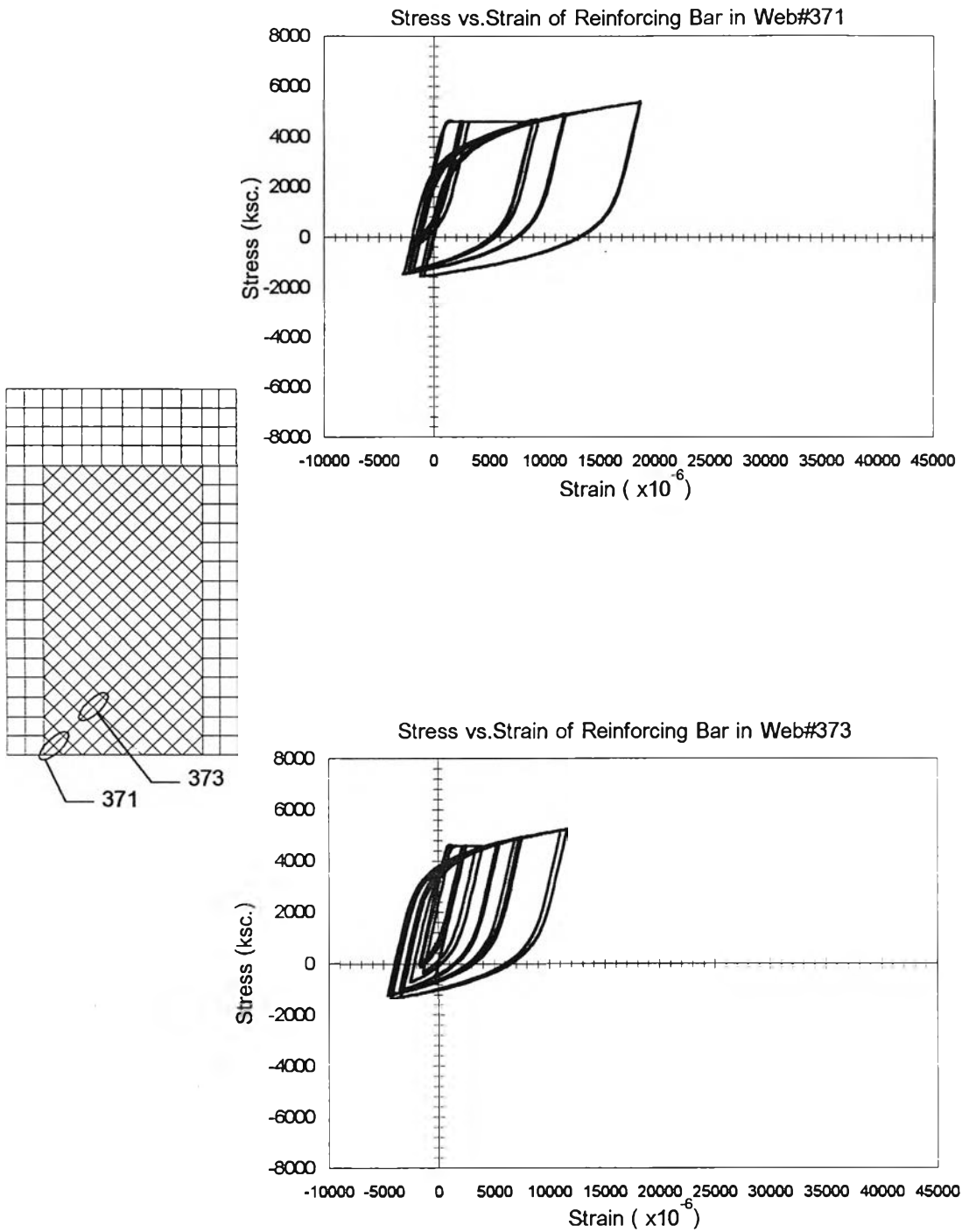
รูปที่ 3.22 (ต่อ) ได้ถึงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเครียดในเหล็กเสริม
ของตัวอย่างวิเคราะห์ที่ 2



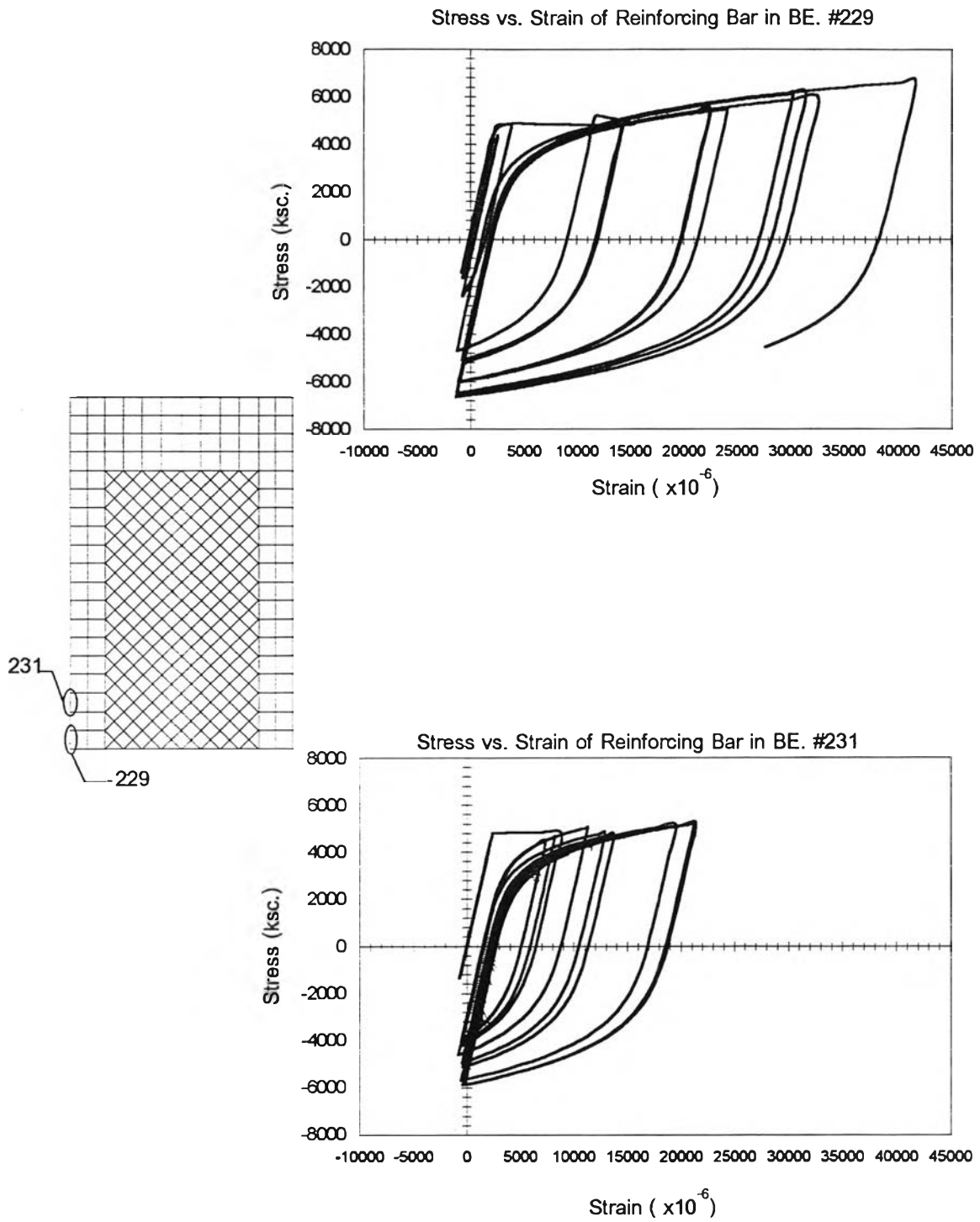
รูปที่ 3.23 โค้งความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเคี้ยวในเหล็กเสริม
ของตัวอย่างวิเคราะห์ที่ 3



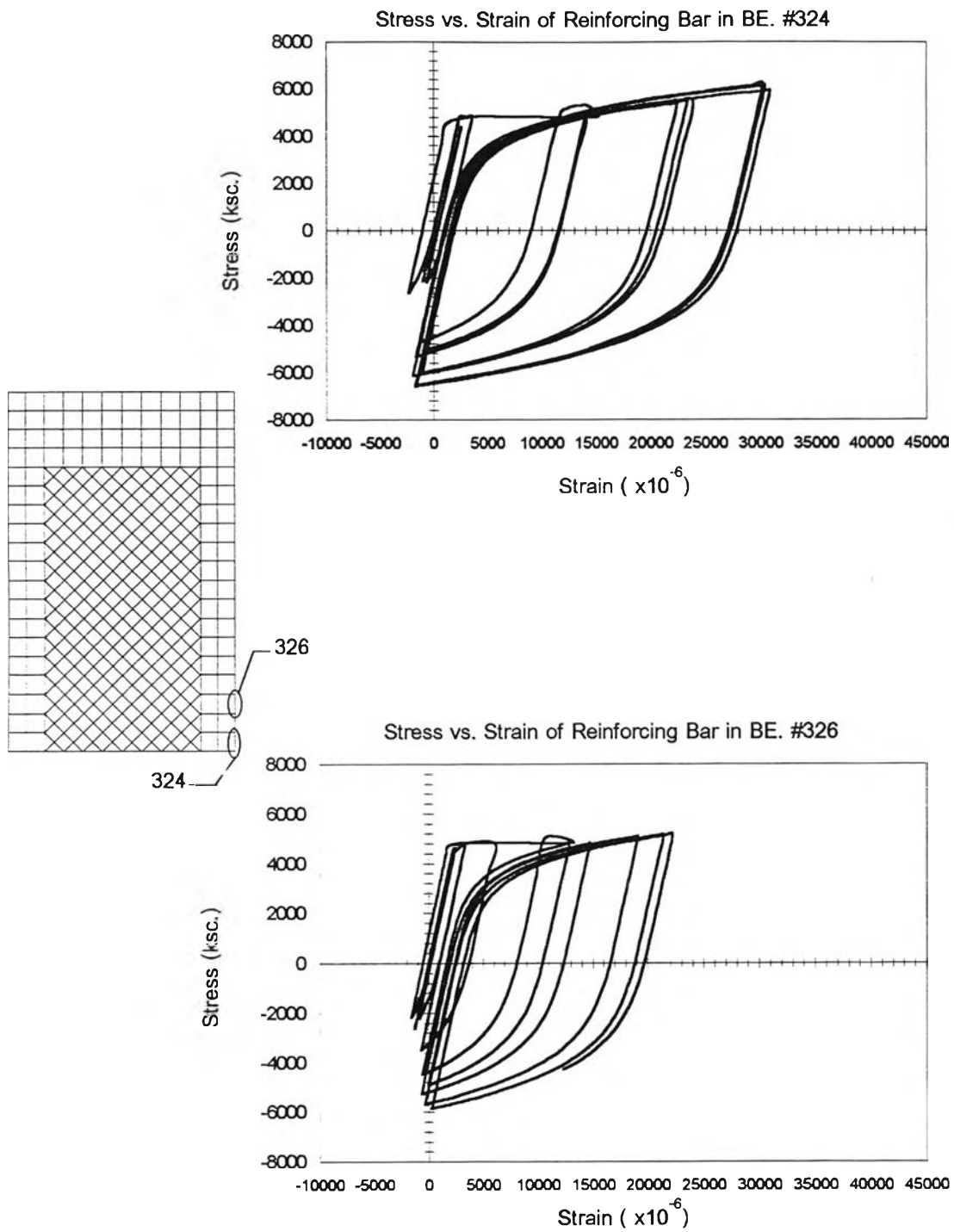
รูปที่ 3.23 (ต่อ) ได้ถึงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเครียดในเหล็กเสริม
ของตัวอย่างวิเคราะห์ที่ 3



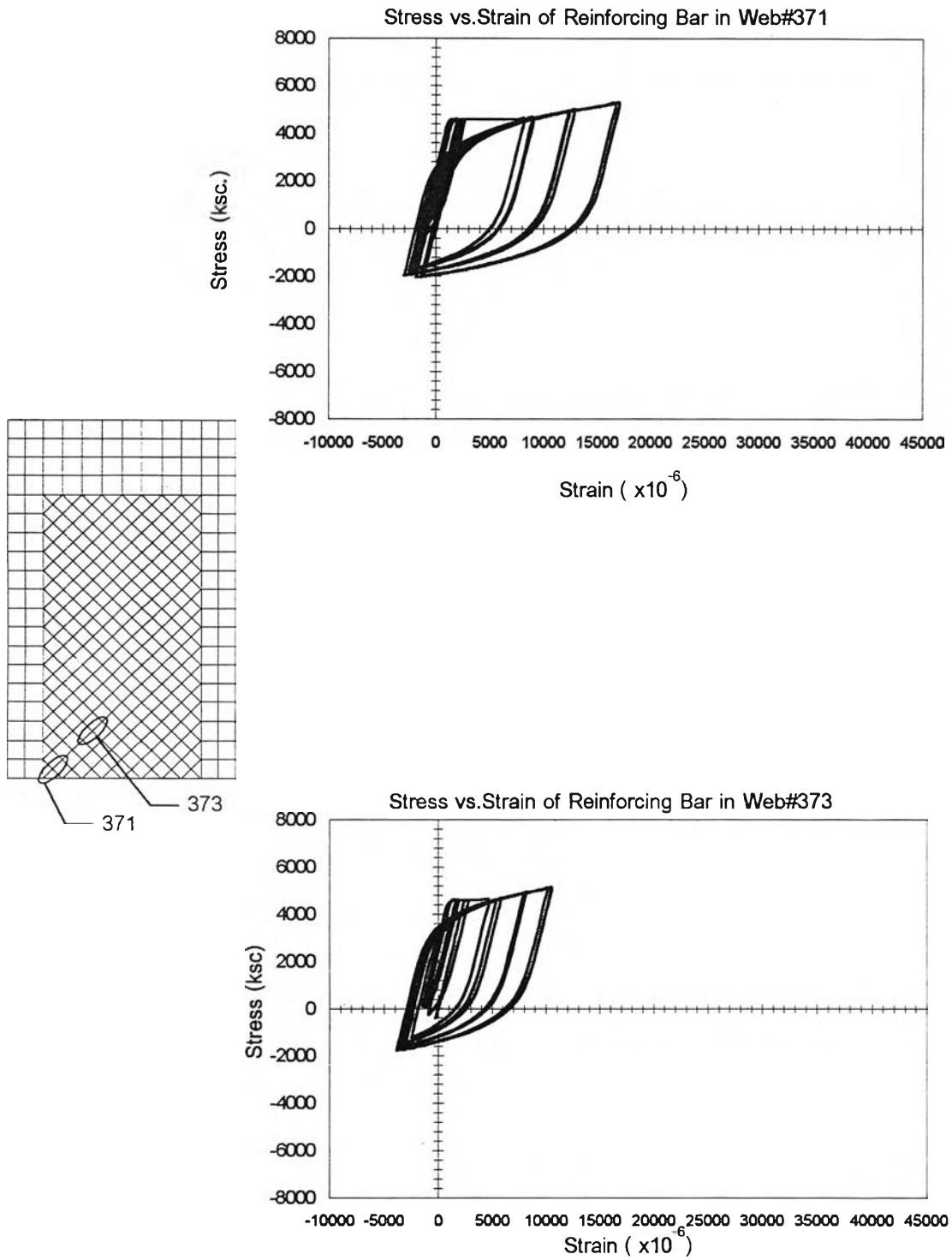
รูปที่ 3.23 (ต่อ) โค้งความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเครียดในเหล็กเสริม
ของตัวอย่างวิเคราะห์ที่ 3



รูปที่ 3.24 ได้ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเครียดในเหล็กเสริม
ของตัวอย่างวิเคราะห์ที่ 4

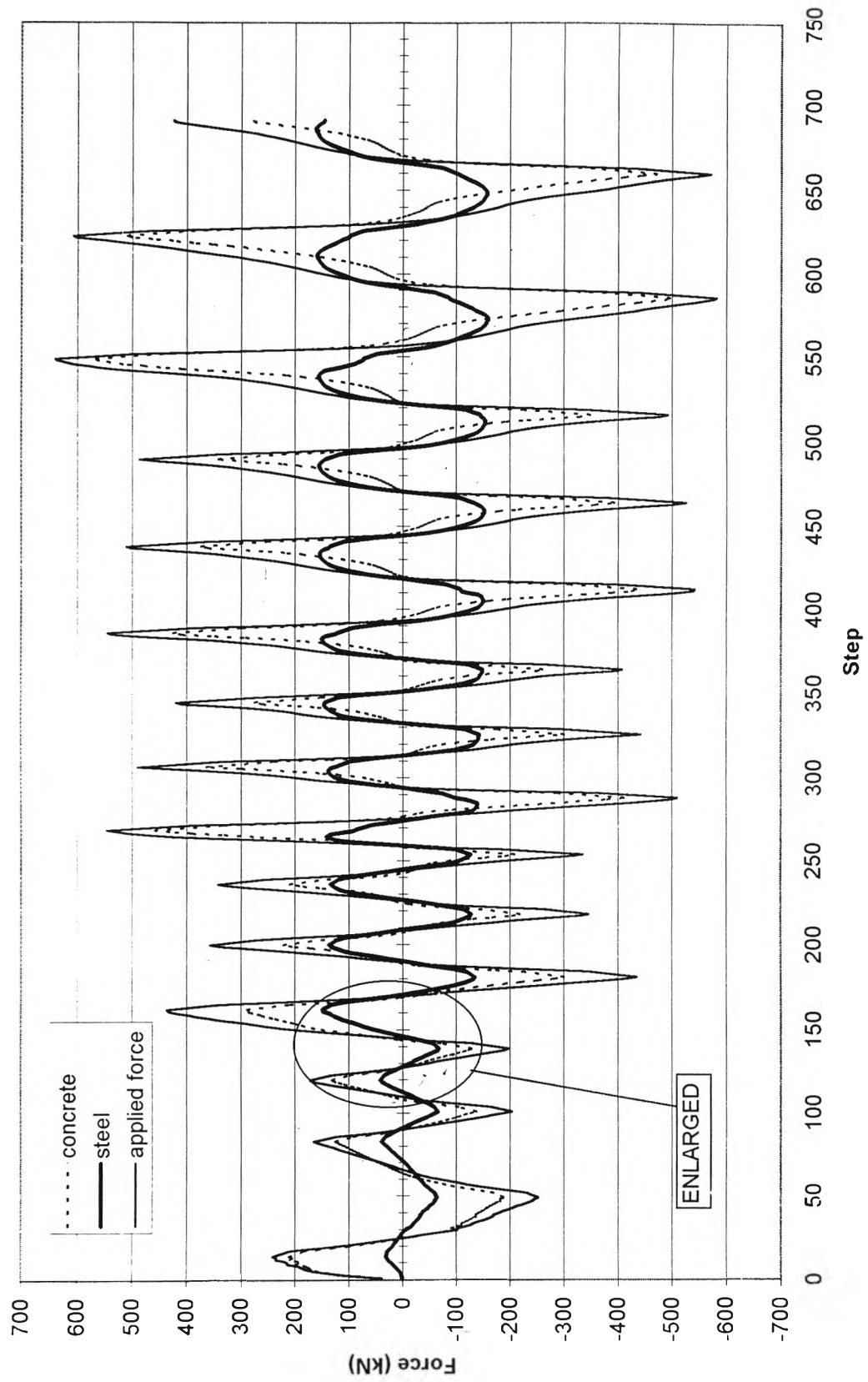


รูปที่ 3.24 (ต่อ) โค้งความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเครียดในเหล็กเสริม
ของตัวอย่างวิเคราะห์ที่ 4



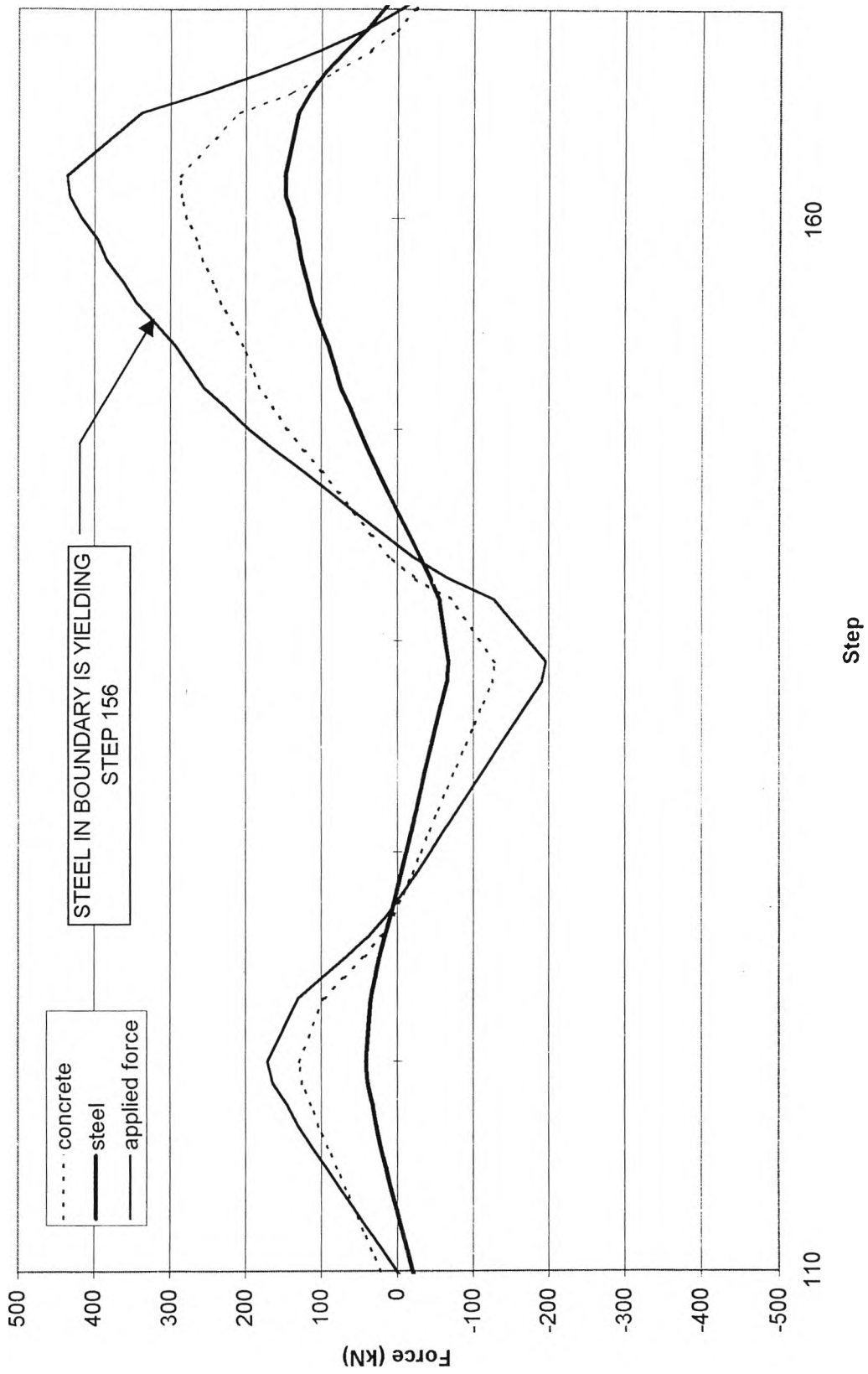
รูปที่ 3.24 (ต่อ) ได้ถึงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเครียดในเหล็กเสริม
ของตัวอย่างวิเคราะห์ที่ 4

shear developed by concrete , diagonal steel and applied force (wall3)



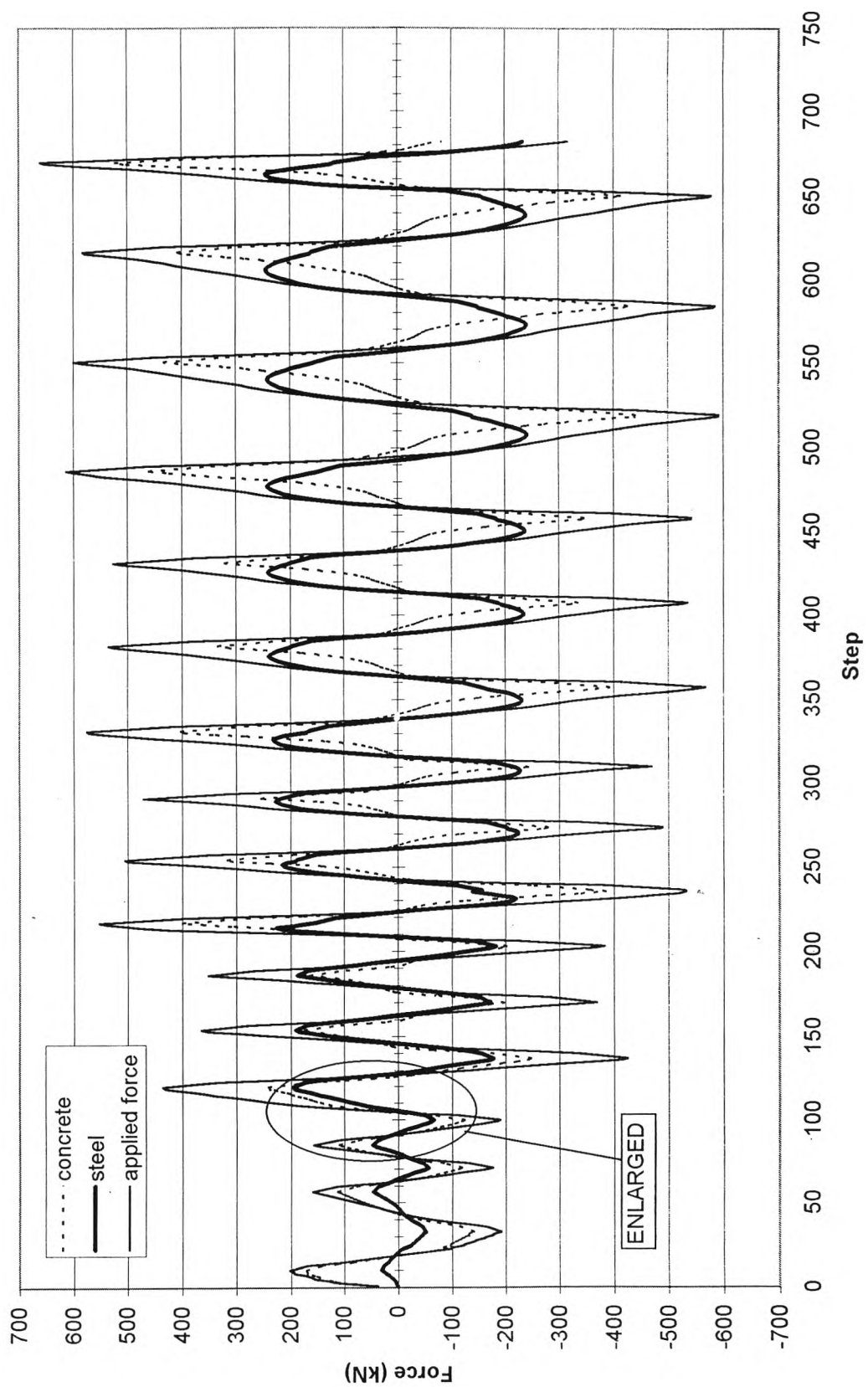
รูปที่ 3.25 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงด้านข้างที่กระทำและชั้นของแรงกระทำแยกเป็นแรงเฉือนในคอนกรีตและแรงเฉือนในเหล็กเสริมทแยงของตัวอย่างวิเคราะห์ที่ 3

shear developed by concrete , diagonal steel and applied force (wall3)



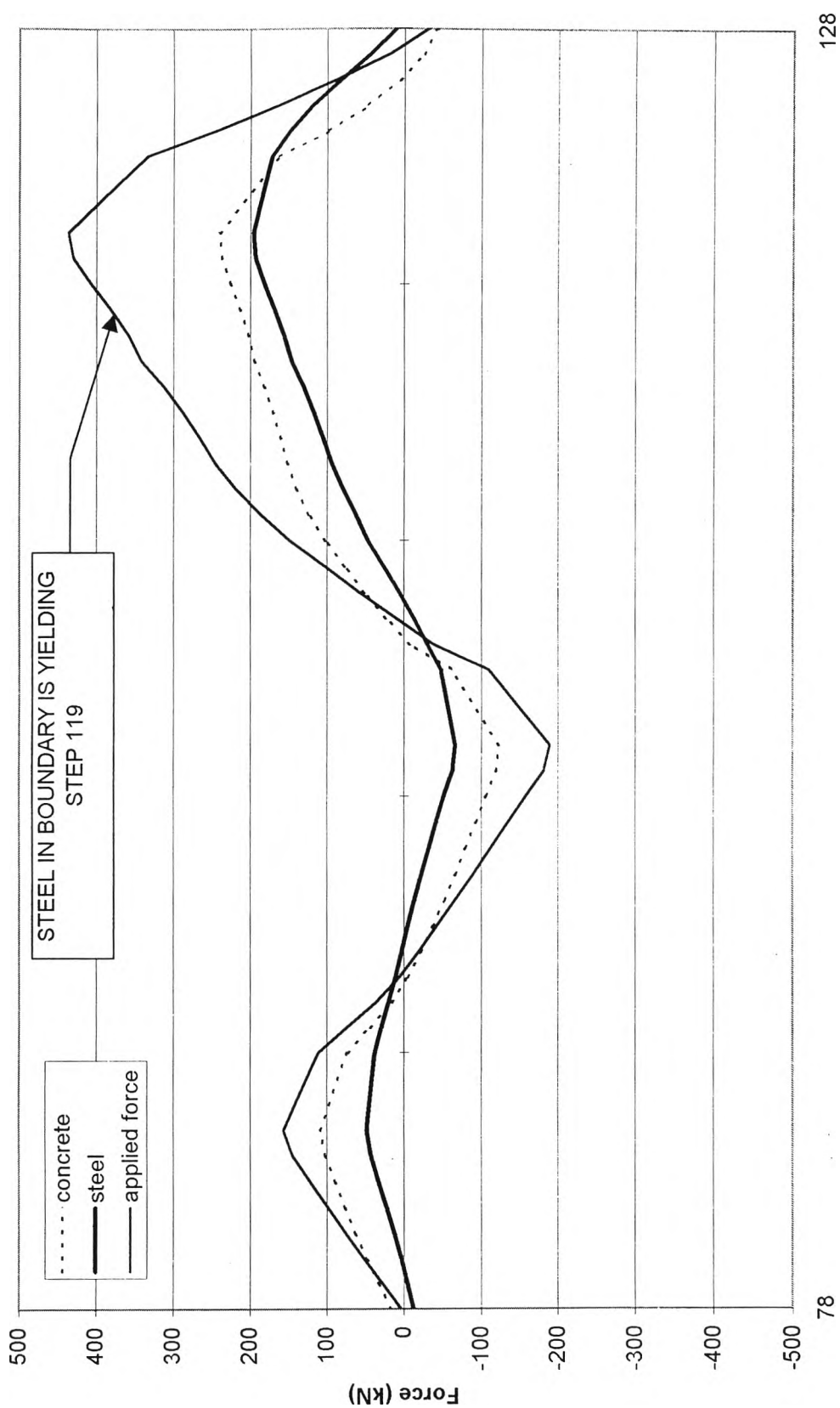
รูปที่ 3.25 (ต่อ) กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงต้านข้างที่กระทำและชั้นของแรงกระทำแยกเป็นแรงเฉือนในคอนกรีตและแรงเฉือนในเหล็กเสริมทแยงของตัวอย่างวิเคราะห์ที่ 3

shear developed by concrete , diagonal steel and applied force (wall4)



รูปที่ 3.26 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงด้านข้างที่กระทำและชั้นของแรงกระทำแยกเป็นแรงเฉือนในคอนกรีตและแรงเฉือนในเหล็กเสริมทแยงของตัวอย่างวิเคราะห์ที่ 4

shear developed by concrete , diagonal steel and applied force (wall4)



รูปที่ 3.26 (ต่อ) กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันทันข้างที่กระทำและชั้นของแรงกระทำแยกเป็นแรงเฉือนในคอนกรีตและแรงเฉือนในเหล็กเสริมทแยงของตัวอย่างวิเคราะห์ที่ 4

ประวัติผู้เขียน

นายเสกสรรค์ ธรรมอำนวยสุข เกิดเมื่อวันที่ 25 พฤษภาคม พ.ศ. 2511 ที่อำเภอท่ายาง จังหวัด เพชรบุรี สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา จากจุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2532 และได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยเมื่อปีการศึกษา 2539