

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

วรพงษ์ จันทัง (2541), พฤติกรรมของเหล็กเสริมภายใต้แรงแผ่นกระทำแบบเป็นวัฏจักร.
วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิศวกรรมโยธา. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ภาษาอังกฤษ

ACI Committee 318. (1999). Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI318-99). American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, 1999.

Ahmad, S.H., and Shah, S., P.(1982). Stress-strain curves of concrete confined by spiral reinforcement. ACI Struct. J., 79(46): 484-490.

Cusson, D.; and Paultre, P. (1994). High-Strength Concrete Columns Confined by Rectangular Ties. J. Struct. Engrg., ASCE, 121(3): 783-804.

Cusson, D.; and Paultre, P. (1995). Stress-Strain Model for Confined High-Strength Concrete J. Struct. Engrg. ASCE, 121(3): 468-477.

Dhakal, R.P.(2000). Enhanced fiber model in highly inelastic range and seismic performance assessment of reinforced concrete. Doctoral Dissertation, Dept. of Civ. Engrg., University of Tokyo, Japan.

Hoshikuma, J., Kawashima, K., Nagaya, K. and Taylor, A. W.,(1997). Stress-strain model for confined reinforced concrete in bridge piers. J. Struct. Engrg., ASCE, 123(5): 624-633.

Kent, D.C., and Park,R.(1971). Flexural members with confined concrete. J. Struct. Div., ASCE, 97(7): 1960-1990.

- Lukkunaprasit, P. (2000). An innovative hook-clip for performance improvement of reinforced concrete tied columns. 12th World Conference on Earthquake Engineering. Auckland, New Zealand.
- Mander, J.B., Priestley, M.J.N., and Park, R.,(1988). Theoretical stress-strain model for confined concrete. J. Struct. Engrg., ASCE, 114(8): 1804-1826.
- Mander, J.B., Priestley, M.J.N., and Park, R.,(1988). Observed stress-strain behavior of confined concrete. J. Struct. Engrg., ASCE, 114(8): 1827-1849.
- Mau, S.T., and El-Mabsout, M.(1989). Inelastic buckling of reinforcing bars. J. Engrg. Mech., ASCE, 115(1): 1-17.
- Monti, G., and Nuti, C.,(1992). Nonlinear cyclic behavior of reinforcing bars including buckling bars. J. Struct. Div. ASCE, (118) 12: 3268-3284.
- Papia, M., and Russo, G.,(1989). Instability of longitudinal bars in RC columns. J.Struct. Engrg., ASCE, (114) 2: 445-461.
- Park, R., Priestley, M.J.N., and Gill W.D.(1982). Ductility of square-confined concrete columns. J. Struct. Engrg., ASCE, 108(4): 929-950.
- Razvi, S. R.; and Saatcioglu, M. (1999). Confinement Model for High-Strength Concrete. J. Struct. Engrg., ASCE, 118(6): 281-289.
- Saatcioglu, M.; and Razvi, S. R. (1992). Strength and Ductility of Confined Concrete. J.Struct. Engrg., ASCE, 118(6): 1590-1607.

- Saatcioglu, M.; and Razvi, S. R. (1998). High-Strength Concrete Columns with Square Sections under Concentric Compression. J. Struct. Engrg., ASCE, 124(12): 1438-1447.
- Scott, B.D., Park, R., and Priestley, M.J.N.(1982). Stress-strain behavior of concrete confined by overlapping hoops at low and high strain rates. ACI Concr. Inst.J., 79(1): 13-27.
- Sheikh, S.A., and Uzumeri, S.M.,(1980). Strength and ductility of tied concrete columns. J. Struct. Div. ASCE, 106(5): 1079-1102.
- Sheikh, S.A., and Uzumeri, S.M.,(1982). Analytical model for concrete confinement in tied columns. J. Struct. Div. ASCE, 108(12): 2703-2722.
- Sheikh, S.A., and Toklucu, M.T.(1993). Reinforced concrete columns confined by circular spirals and hoops. ACI Struct. J., 90(S56): 542-553.
- Suda, K., Murayama, Y., Ichinomiya, T., and Shimbo, H.,(1996). Buckling behavior of longitudinal reinforcing bars in concrete column subjected to reserve lateral loading. Proc., 11th World Conf. on Earthquake Engrg., No.1753.
- Sun, Y. P.; Oba, T.; Tian, F. S.; and Ikeda, T. (1996). Confinement Effects of Transverse Hoops in High-Strength Concrete. 11th World Conference on Earthquake Engineering.
- Wehbe, N. I.; Saiid, M. S.; and Sanders, D. H. (1999). Seismic Performance of Rectangular Bridge Columns with Moderate Confinement. ACI Structural Journal. Vol.96 No.2 (march-April1999): 248-258.

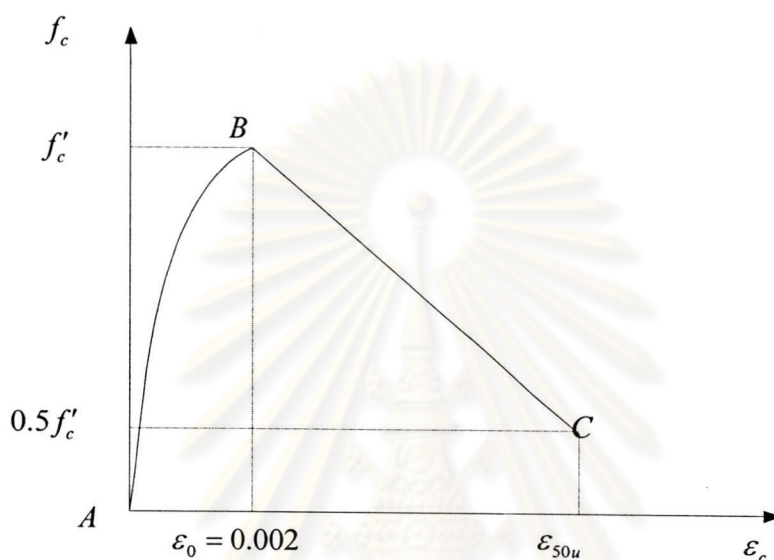


ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก-1 การเสนอความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดของคอนกรีตที่มีการโอบรัด
ของงานวิจัยในอดีต

Kent และ Park (ค.ศ.1971)



รูปที่ ก-1.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของคอนกรีตที่ไม่มีการโอบรัด
(จาก Kent และ Park ค.ศ. 1971)

สมการความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดแบ่งได้เป็น 2 ช่วงดังนี้

ช่วง $\varepsilon_c \leq \varepsilon_0$

$$f_c = f'_c \left[\frac{2\varepsilon_c}{\varepsilon_0} - \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_0} \right)^2 \right] \quad (\text{ค-1.1})$$

ช่วง $\varepsilon_c > \varepsilon_0$

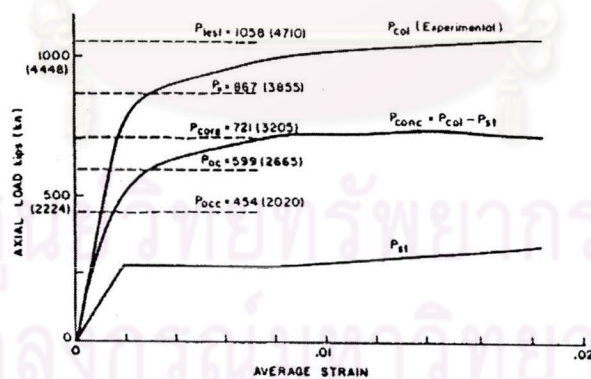
$$f_c = f'_c [1 - Z(\varepsilon_c - \varepsilon_0)] \quad (\text{ค-1.2})$$

โดยที่ค่า f'_c ต้องไม่ต่ำกว่า $0.2Kf_c$

$$Z = \frac{0.5}{\frac{3 + 0.29f'_c}{145f'_c - 1000} + \frac{3}{4}\rho_s\sqrt{\frac{b''}{s}} - \varepsilon_0} \quad (\text{ค-1.3})$$

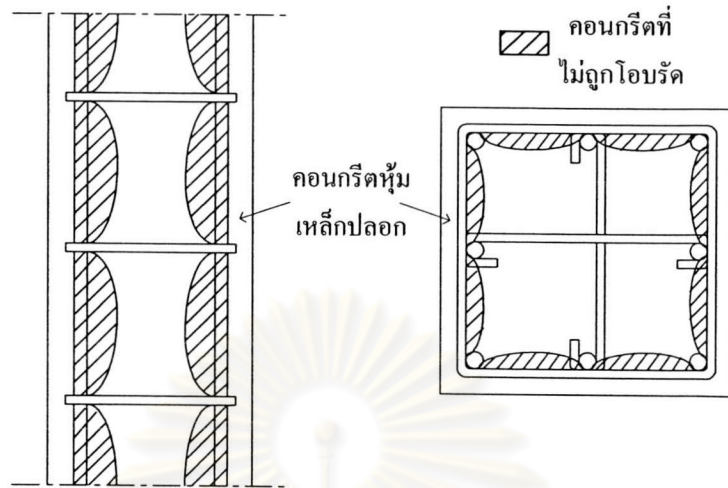
- f_c เป็นค่าความเค้นของคอนกรีต (MPa)
- f'_c เป็นกำลังรับแรงอัดประลัยของแท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอกมาตรฐาน ที่อายุ 28 วัน (MPa)
- ρ_s เป็นอัตราส่วนระหว่างปริมาตรของเหล็กเสริม ต่อปริมาตรของคอนกรีตที่ได้รับการโอบรัดโดยคิดจากเส้นรอบนอกของเหล็กเสริมตามขวาง
- f_{yh} เป็นกำลังที่จุดครากของเหล็กเสริมตามขวาง
- ε_c เป็นความเครียดของคอนกรีต
- ε_0 เป็นความเครียดของคอนกรีต ณ ความเค้นสูงสุดมีค่าเท่ากับ 0.002
- b'' เป็นความกว้างของคอนกรีตที่ได้รับการโอบรัด คิดจากเส้นรอบนอกของเหล็กเสริมตามขวาง
- s เป็นระยะห่างระหว่างเหล็กเสริมตามขวาง

Sheikh และคณะ (ค.ศ. 1980)

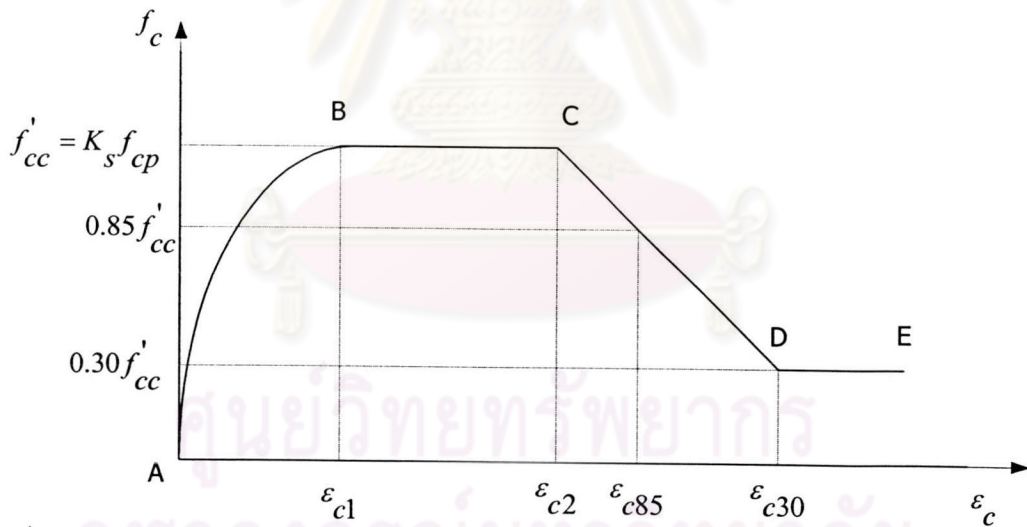


รูปที่ ก-1.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของคอนกรีตที่มีการโอบรัด

(จาก Sheikh และคณะ ค.ศ. 1980)



รูปที่ ก-1.3 ลักษณะของพื้นที่ที่ไม่มีการโอบรัดโดยเหล็กปลอกจากการโอบรัดอย่างไม่สม่ำเสมอของเหล็กปลอกสี่เหลี่ยม (จาก Sheikh และคณะ ค.ศ. 1980)



รูปที่ ก-1.4 แบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของคอนกรีตที่มีการโอบรัด (จาก Sheikh และคณะ ค.ศ. 1980)

สมการความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดแบ่งเป็นได้เป็น 4 ช่วงดังนี้

ช่วง AB: $\varepsilon_c \leq \varepsilon_{c1}$

$$f_c = f'_{cc} \left[\frac{2\varepsilon_c}{\varepsilon_{c1}} - \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{c1}} \right)^2 \right] \quad (\text{ค-1.4})$$

ช่วง BC: $\varepsilon_{c1} < \varepsilon_c \leq \varepsilon_{c2}$

$$f_c = f'_{cc} \quad (\text{ค-1.5})$$

ช่วง CD: $\varepsilon_{c2} < \varepsilon_c \leq \varepsilon_{c30}$

$$f_c = f'_{cc} [1 - Z_2(\varepsilon_c - \varepsilon_{c2})] \quad (\text{ค-1.6})$$

ช่วง DE: $\varepsilon_c > \varepsilon_{c30}$

$$f_c = 0.3f'_{cc} \quad (\text{ค-1.7})$$

โดยที่

$$f'_{cc} = K_s f_{cp} \quad (\text{ค-1.8})$$

$$\varepsilon_{c1} = 0.55K_s f'_c (10^{-6}) \quad \text{สำหรับคอนกรีตที่มีกำลังอัดประมาณ 4000 psi}$$

$$= 0.0022K_s \quad \text{สำหรับคอนกรีตทั่วไป}$$

$$\frac{\varepsilon_{c2}}{\varepsilon_{c0}} = 1 + \frac{0.81}{C} \left[1 - 5 \left(\frac{s}{B} \right)^2 \right] \frac{\rho_s f'_s}{\sqrt{f'_c}} \quad (\text{ค-1.10})$$

$$\varepsilon_{c85} = 0.225 \rho_s \sqrt{\frac{B}{S}} + \varepsilon_{c2} \quad (\text{ค-1.11})$$

$$Z_2 = \frac{1.0}{1.5 \rho_s \sqrt{\frac{B}{S}}} \quad (\text{ค-1.12})$$

$$K_s = 1 + \frac{2.73B^2}{P_{occ}} \left[\left(1 - \frac{nC^2}{5.5B^2} \right) \left(1 - \frac{s}{2B} \right)^2 \right] \sqrt{\rho_s f'_s} \quad (\text{ค-1.13})$$

$$P_{occ} = K_p f'_c (A_{co} - A_s) \quad (\text{ค-1.14})$$

$$\varepsilon_{c0} = 0.0022$$

$$f_{cp} \quad \text{เป็นกำลังอัดของคอนกรีตที่ไม่มีการโอบรัด} = K_p f'_c$$

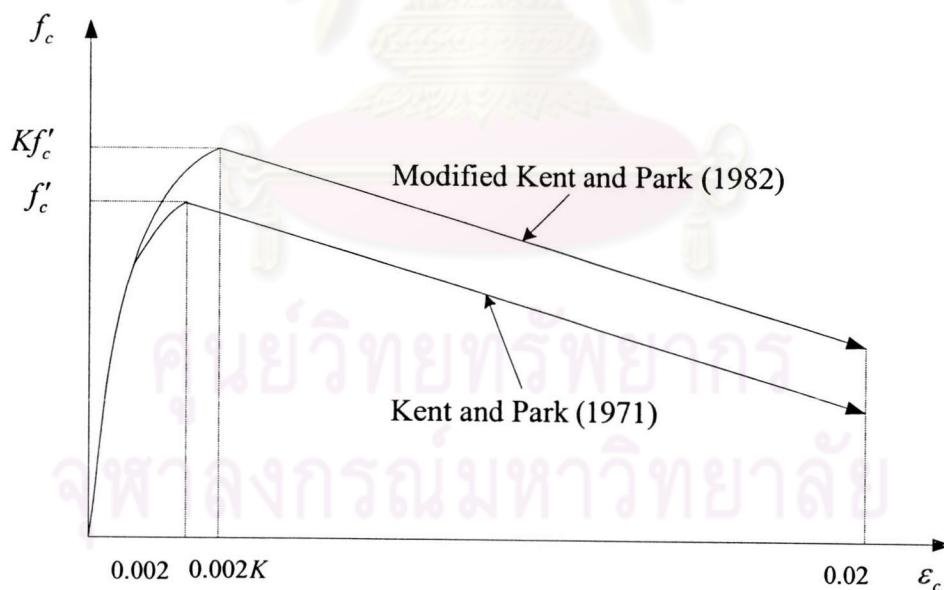
$$f'_c \quad \text{เป็นกำลังอัดของคอนกรีต (psi)}$$

$$K_p \quad \text{เป็นอัตราส่วนระหว่างกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ไม่มีการโอบรัด} \quad \text{ต่อ}$$

คอนกรีตที่มีการโอบรัด

A_{co}	เป็นพื้นที่ของแกนคอนกรีต	วัดระหว่างกึ่งกลางของเหล็กเสริมตามขวาง
	(in ²)	
A_s	เป็นพื้นที่ของเหล็กเสริมตามยาว	(in ²)
B	เป็นความกว้างของเหล็กปลอก	โดยวัดระหว่างกึ่งกลางของเหล็กเสริม
	(in)	
C	เป็นระยะที่วัดระหว่างเหล็กเสริมตามยาว	(in)
f'_s	เป็นหน่วยแรงครากที่เกิดขึ้นในเหล็กเสริมตามขวาง	(psi)
s	เป็นระยะห่างระหว่างเหล็กเสริมตามขวาง	(in)
ρ_s	เป็นอัตราส่วนระหว่างปริมาตรของเหล็กเสริม	ต่อปริมาตรของคอนกรีตที่
	ได้รับการโอบรัด	โดยคิดจากเส้นรอบนอกของเหล็กเสริมตามขวาง
n	เป็นจำนวนเหล็กเสริมตามยาว	

Park และคณะ (1982)



รูปที่ ก-1.5 แบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของคอนกรีตที่มีการโอบรัด (จาก Park และคณะ ค.ศ. 1982)

สมการความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดแบ่งได้เป็น 2 ช่วงดังนี้

ช่วง $\varepsilon_c \leq 0.002K$

$$f_c = Kf'_c \left[\frac{2\varepsilon_c}{0.002K} - \left(\frac{\varepsilon_c}{0.002K} \right)^2 \right] \quad (\text{ค-1.15})$$

ช่วง $\varepsilon_c > 0.002K$

$$f_c = Kf'_c [1 - Z_m (\varepsilon_c - 0.002K)] \quad (\text{ค-1.16})$$

โดยที่ค่า f_c ต้องไม่ต่ำกว่า $0.2Kf'_c$

$$Z_m = \frac{0.5}{\frac{3 + 0.29f'_c}{145f'_c - 1000} + \frac{3}{4} \rho_s \sqrt{\frac{b''}{s}} - 0.002K} \quad (\text{ค-1.17})$$

$$K = 1 + \left[\frac{\rho_s f_{yh}}{f'_c} \right] \quad (\text{ค-1.18})$$

f_c เป็นค่าความเค้นของคอนกรีต (MPa)

f'_c เป็นกำลังรับแรงอัดประลัยของแท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอกมาตรฐาน ที่อายุ 28 วัน (MPa)

ρ_s เป็นอัตราส่วนระหว่างปริมาตรของเหล็กเสริม ต่อปริมาตรของคอนกรีตที่ได้รับการโอบรัดโดยคิดจากเส้นรอบนอกของเหล็กเสริมตามขวาง

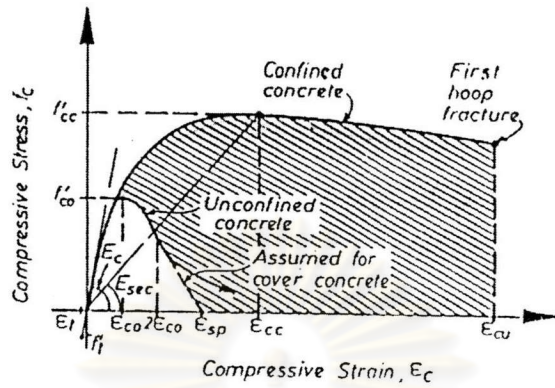
f_{yh} เป็นกำลังที่จุดครากของเหล็กเสริมตามขวาง

ε_c เป็นความเครียดของคอนกรีต

b'' เป็นความกว้างของคอนกรีตที่ได้รับการโอบรัด คิดจากเส้นรอบนอกของเหล็กเสริมตามขวาง

s เป็นระยะห่างระหว่างเหล็กเสริมตามขวาง

Mander และคณะ (ค.ศ. 1988)



รูปที่ ก-1.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของคอนกรีตที่มีการโอบรัด
(จาก Mander และคณะ ค.ศ. 1988)

สมการความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดแสดงได้ดังสมการ

$$f_c = \frac{f'_{cc} x r}{r - 1 + x^r} \tag{ค-1.19}$$

โดยที่

$$f'_{cc} = f'_{co} \left(2.254 \sqrt{1 + \frac{7.94 f'_l}{f'_{co}}} - 2 \frac{f'_l}{f'_{co}} - 1.254 \right) \tag{ค-1.20}$$

$$x = \frac{\epsilon_c}{\epsilon_{cc}} \tag{ค-1.21}$$

$$r = \frac{E_c}{E_c - E_{sec}} \tag{ค-1.22}$$

$$\epsilon_{cc} = \epsilon_{co} \left[1 + 5 \left(\frac{f'_{cc}}{f'_{co}} - 1 \right) \right] \tag{ค-1.23}$$

$$\epsilon_{co} = 0.002$$

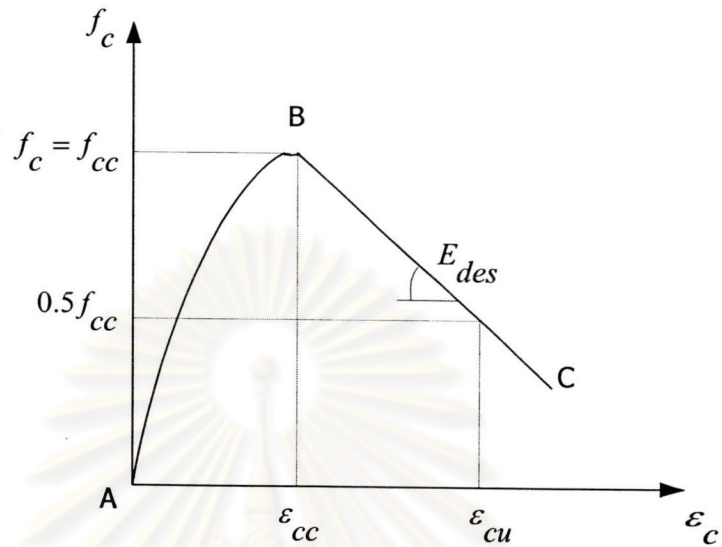
$$E_c = 5000 \sqrt{f'_{co}} \tag{ค-1.24}$$

$$E_{sec} = \frac{f'_{cc}}{\epsilon_{cc}} \tag{ค-1.25}$$

$$110 \rho_s = \int_0^{\epsilon_{cu}} f_c d\epsilon_c + \int_0^{\epsilon_{cu}} f_{sl} d\epsilon_c - 0.017 \sqrt{f'_{co}} \tag{ค-1.26} \quad MJ/m^3$$

- f'_{co} เป็นกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ไม่มีกรโอบรัด
 f'_l เป็นแรงดันโอบรัดประสิทธิผล (effective lateral confining pressure) มีค่าเท่ากับ $f_l \cdot k_e$
 f_l เป็นแรงดันโอบรัดด้านข้าง (lateral confining pressure)
 f_{sl} เป็นความเค้นในเหล็กเสริมตามยาว
 k_e เป็นค่าสัมประสิทธิ์โอบรัดประสิทธิผล (confinement effectiveness coefficient) มีค่าเท่ากับ A_e / A_{cc}
 A_e เป็นพื้นที่ของคอนกรีตที่ถูกโอบรัดประสิทธิผล
 A_{cc} มีค่าเท่ากับ $A_c(1 - \rho_{cc})$
 A_c เป็นพื้นที่ของคอนกรีต ที่อยู่ภายในเส้นรอบรูปของเหล็กเสริมตามขวาง
 ρ_{cc} เป็นอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ของเหล็กเสริมตามยาว ต่อพื้นที่คอนกรีตที่อยู่ภายในเหล็กเสริมตามขวาง
 ε_c เป็นความเครียดในการหดตัวของคอนกรีต
 ε_{cu} เป็นความเครียดในการหดตัวของคอนกรีต ณ ตำแหน่งที่เกิดค่าความเค้นสูงสุด

Hoshikuma และคณะ (ค.ศ. 1997)



รูปที่ ก-1.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของคอนกรีตที่มีการโอบรัด
(จาก Hoshikuma และคณะ ค.ศ. 1997)

ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดแบ่งเป็น 2 ช่วงดังนี้

ช่วง AB: $\epsilon_c \leq \epsilon_{cc}$

$$f_c = E_c \epsilon_c \left[1 - \frac{1}{n} \left(\frac{\epsilon_c}{\epsilon_{cc}} \right)^{n-1} \right] \tag{ค-1.27}$$

ช่วง BC: $\epsilon_{cc} < \epsilon_c \leq \epsilon_{cu}$

$$f_c = f_{cc} - E_{des} (\epsilon_c - \epsilon_{cc}) \tag{ค-1.28}$$

โดยที่

$$n = \frac{E_c \epsilon_{cc}}{E_c \epsilon_{cc} - f_{cc}} \tag{ค-1.29}$$

$$\epsilon_{cu} = \epsilon_{cc} + \frac{f_{cc}}{2E_{des}} \tag{ค-1.30}$$

$$\frac{f_{cc}}{f_{co}} = 1 + 3.8\alpha \frac{\rho_s f_{yh}}{f_{co}} \tag{ค-1.31}$$

$$\varepsilon_{cc} = 0.002 + 0.033\beta \frac{\rho_s f_{yh}}{f_{co}} \quad (\text{ค-1.32})$$

$$E_{des} = 11.2 \frac{f_{co}^2}{\rho_s f_{yh}} \quad (\text{ค-1.33})$$

f_c เป็นกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต (MPa)

ε_{cc} เป็นความเครียดที่กำลังรับแรงอัดสูงสุด

f_{cc} เป็นกำลังรับแรงอัดสูงสุดของคอนกรีต (MPa)

f_{co} เป็นกำลังของคอนกรีตที่ไม่มีการโอบรัด (MPa)

E_c เป็นค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (MPa)

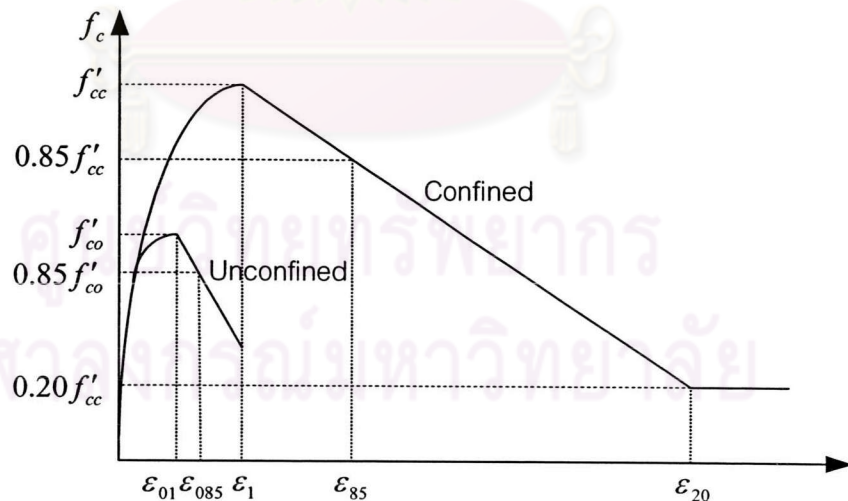
E_{des} เป็นความชันของกราฟพลาจ

ρ_s เป็นอัตราส่วนระหว่างปริมาตรของเหล็กเสริม ต่อปริมาตรของคอนกรีตที่ได้รับการโอบรัดโดยคิดจากเส้นรอบนอกของเหล็กเสริมตามขวาง

f_{yh} เป็นกำลังที่จุดครากของเหล็กเสริมตามขวาง

α, β เป็นพารามิเตอร์ที่ขึ้นอยู่กับลักษณะของหน้าตัดโดย หน้าตัดรูปวงกลมจะมีค่า $\alpha = 1$ และ $\beta = 1$ หน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมจะมีค่า $\alpha = 0.2$ และ $\beta = 0.4$

Saatcoglu และคณะ (ค.ศ. 1999)



รูปที่ ก-1.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของคอนกรีตที่มีการโอบรัด

(จาก Saatcoglu และคณะ ค.ศ. 1999)

สมการความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดแสดงได้ดังสมการ

$$f_{cc} = \frac{f'_{cc} \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_1} \right)^r}{r - 1 + \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_1} \right)^r} \quad (\text{ค-1.19})$$

โดยที่

$$f'_{cc} = f'_{co} + k_1 f_{le}$$

$$k_1 = 6.7 (f_{le})^{-0.17}$$

$$f_{le} = k_2 f_l$$

$$f_l = \frac{\sum_{i=1}^q (A_s f_s \sin \alpha)_i}{s b_c}$$

$$f_s = E_s \left(0.0025 + 0.043 \sqrt{\frac{k_2 \rho_c}{f'_{co}}} \right) \leq f_{yt}$$

$$k_2 = 0.15 \sqrt{\left(\frac{b_c}{s} \right) \left(\frac{b_c}{s} \right)} \leq 1.0$$

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_{01} (1 + 5k_3 K)$$

$$\varepsilon_{085} = 260 k_3 \rho_c \varepsilon_1 [1 + 0.5 k_2 (k_4 - 1)] + \varepsilon_{085}$$

$$k_3 = \frac{40}{f'_{co}} \leq 1.0$$

$$k_4 = \frac{f_{yt}}{500} \geq 1.0$$

$$K = \frac{k_1 f_{le}}{f'_{co}}$$

$$\rho_c = \frac{\sum_{i=1}^n (A_{sx})_i + \sum_{j=1}^m (A_{sy})_j}{s(b_{cx} + b_{cy})}$$

$$\varepsilon_{01} = 0.0028 - 0.0008 k_3$$

$$\varepsilon_{085} = \varepsilon_{01} + 0.0018 k_3^2$$

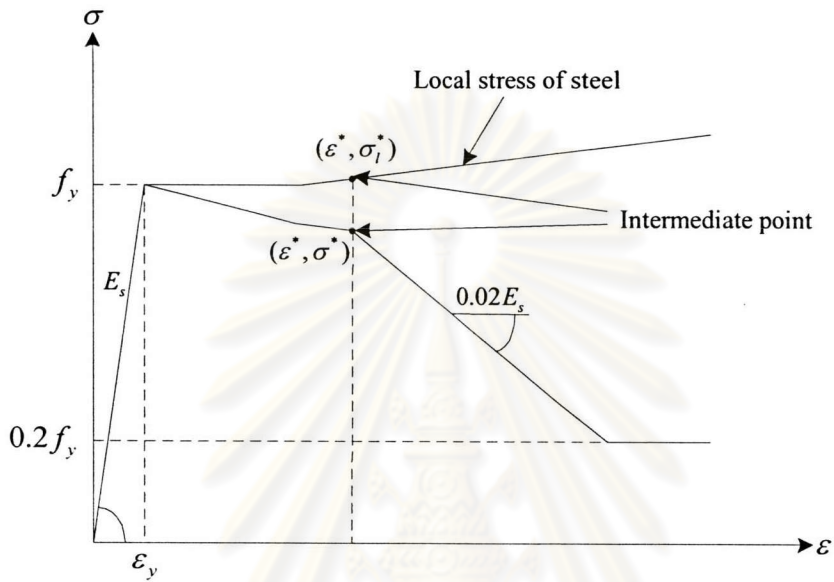
A_s คือ พื้นที่ของขาของเหล็กปลอก

b_c คือ ขนาดของแกนคอนกรีตวัดจากกึ่งกลางของเหล็กปลอก

E_s	คือ อีลาสติกโมดูลัสของเหล็กปลอก
f'_{cc}	คือ กำลังของคอนกรีตที่มีการโอบรัด
f'_{co}	คือ กำลังของคอนกรีตที่ไม่มีการโอบรัด
f_l	คือ กำลังโอบรัดเฉลี่ย
f_{le}	คือ กำลังโอบรัดเทียบเท่า
f_s	คือ ความเค้นในเหล็กปลอกที่ความเค้นสูงสุดของคอนกรีตที่มีการโอบรัด
f_{yt}	คือ กำลังของเหล็กปลอก
m	คือ จำนวนขาเหล็กปลอกในทิศ y
n	คือ จำนวนขาเหล็กปลอกในทิศ x
q	คือ จำนวนขาเหล็กปลอกในด้านที่คิดแรงโอบรัด
s_l	คือ ระยะเรียงเหล็กยื่น
α	คือ มุมระหว่างขาเหล็กปลอกกับด้านของคอนกรีต
ε_1	คือ ความเครียดที่ความเค้นสูงสุดของคอนกรีตที่มีการโอบรัด
ε_{01}	คือ ความเครียดที่ความเค้นสูงสุดของคอนกรีตที่ไม่มีการโอบรัด
ε_{85}	คือ ความเครียดที่ 85% ของความเค้นสูงสุดของคอนกรีตที่มีการโอบรัด
ε_{085}	คือ ความเครียดที่ 85% ของความเค้นสูงสุดของคอนกรีตที่ไม่มีการโอบรัด
ρ_c	คือ ปริมาณเหล็กปลอก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก-2 การเสนอความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดของเหล็กเสริมของงานวิจัยในอดีต



รูปที่ ก-2.1 แบบจำลองทางทฤษฎีความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของเหล็กเสริมตามยาว (จาก Dhakal ค.ศ. 2000)

จากแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดมีพารามิเตอร์ดังนี้ คือ

$$\sigma = \frac{\sigma^*}{\sigma_l} \left(\frac{\epsilon - \epsilon_y}{\epsilon^* - \epsilon_y} \right) \sigma_l + \left(\frac{\epsilon^* - \epsilon}{\epsilon^* - \epsilon_y} \right) \sigma_l \quad \text{สำหรับ } \epsilon_y < \epsilon < \epsilon^* \quad (\text{ค-2.1})$$

$$\sigma = \sigma^* - 0.02E_s(\epsilon - \epsilon^*) \quad ; \quad \sigma \geq 0.2f_y \quad \text{สำหรับ } \epsilon > \epsilon^* \quad (\text{ค-2.2})$$

$$\text{โดยที่ } \frac{\epsilon^*}{\epsilon_y} = 55 - 2.3 \sqrt{\frac{f_y}{100} \frac{L}{D}} \quad ; \quad \frac{\epsilon^*}{\epsilon_y} \geq 7 \quad (\text{ค-2.3})$$

$$\frac{\sigma^*}{\sigma_i} = \alpha \left(1.1 - 0.016 \sqrt{\frac{f_y L}{100 D}} \right) ; \quad \sigma^* \geq 0.2 f_y \quad (\text{ค-2.4})$$

σ_i คือ ความเค้นเฉพาะจุด (local stress) ของเหล็กเสริมที่ความเครียด
ขณะหนึ่งๆ

σ^* คือ ความเค้นที่จุด intermediate point

σ_i^* คือ ความเค้นเฉพาะตัวของเหล็กเสริมที่จุด intermediate point

ε_y คือ ความเครียดเฉพาะจุดที่จุดครากของเหล็กเสริม

ε^* คือ ความเครียดที่จุด intermediate point



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข-1 ส่วนผสมของคอนกรีตที่ใช้ในงานวิจัย

คอนกรีตที่ใช้ในการหล่อขึ้นตัวอย่างสำหรับงานวิจัยนี้ เป็นคอนกรีตผสมเสร็จจากบริษัท
ผลิตภัณฑ์และวัสดุก่อสร้าง จำกัด (CPAC) ซึ่งมีส่วนผสมดังต่อไปนี้

1. คอนกรีตชุดที่ 1 (21MPa)

กำลังของคอนกรีตรูปลูกบาศก์		240	กก./ซม. ²
กำลังของคอนกรีตรูปทรงกระบอก		210	กก./ซม. ²
ค่าความยุบตัว (slump)		10 - 15	ซม.
อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (w/c ratio)		0.60	
ขนาดโตสุดของหิน (max. aggregate size)		20	มม.
การคำนวณหาส่วนผสมต่อปริมาณคอนกรีต 1 ม. ³ โดยปริมาตร			
ปริมาณน้ำ		183	ลิตร
ปริมาณซีเมนต์	= 183/0.60	= 304	กก.
ปริมาตรของซีเมนต์	= 304/3.15	= 97	ลิตร
ปริมาตรของวัสดุละเอียด (ซีเมนต์+ทราย)		402	ลิตร
ปริมาตรของทราย	= 402 - 97	= 306	ลิตร
ปริมาณฟองอากาศ	= (1.0 x 1000)/100	= 10	ลิตร
ปริมาตรทั้งหมด		1006	ลิตร
ปริมาตรของหิน	= 1006 - 402 - 183 - 10	= 411	ลิตร
การคำนวณหาส่วนผสมต่อปริมาณคอนกรีต 1 ม. ³ โดยน้ำหนัก			
ปริมาณซีเมนต์	= 97 x 3.15	= 306	กก.
ปริมาณน้ำ		183	กก.
ปริมาณทราย	= 306 x 2.65 x 1.00	= 810	กก.
ปริมาณหิน	= 411 x 2.70 x 1.00	= 1110	กก.
ปริมาณ P48R	= 306 x 301 x 100	= 0.92	กก.
ส่วนผสมคอนกรีตที่ทำการผสมจริง			
ปริมาณซีเมนต์		306	กก.

ปริมาณน้ำ	125	กก.
ปริมาณทราย	810	กก.
ปริมาณหิน	1100	กก.

2. คอนกรีตชุดที่ 2 (45MPa)

กำลังของคอนกรีตรูปลูกบาศก์	500	กก./ซม. ²
กำลังของคอนกรีตรูปทรงกระบอก	450	กก./ซม. ²
ค่าความยุบตัว (slump)	15 - 20	ซม.
อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (w/c ratio)	0.34	
ขนาดโตสุดของหิน (max. aggregate size)	20	มม.

การคำนวณหาส่วนผสมต่อปริมาณคอนกรีต 1 ม.³ โดยปริมาตร

ปริมาณน้ำ		160	ลิตร	
ปริมาณซีเมนต์	=	$160/0.47$	= 467	กก.
ปริมาตรของซีเมนต์	=	$467/3.15$	= 148	ลิตร
ปริมาตรของวัสดุละเอียด (ซีเมนต์+ทราย)		443	ลิตร	
ปริมาตรของทราย	=	$443 - 148$	= 294	ลิตร
ปริมาณฟองอากาศ	=	$(1.0 \times 1000)/100$	= 10	ลิตร
ปริมาตรทั้งหมด		1013	ลิตร	
ปริมาตรของหิน	=	$1013 - 443 - 160 - 10$	= 400	ลิตร

การคำนวณหาส่วนผสมต่อปริมาณคอนกรีต 1 ม.³ โดยน้ำหนัก

ปริมาณซีเมนต์	=	148×3.15	= 476	กก.
ปริมาณน้ำ		160	กก.	
ปริมาณทราย	=	$294 \times 2.65 \times 1.00$	= 780	กก.
ปริมาณหิน	=	$400 \times 2.70 \times 1.00$	= 1080	กก.
ปริมาณ MT-HPC	=	$476 \times 1281 \times 100$	= 6	กก.

ส่วนผสมคอนกรีตที่ทำการผสมจริง

ปริมาณซีเมนต์	476	กก.
ปริมาณน้ำ	94.8	กก.

ปริมาณทราย

841

กก.

ปริมาณหิน

1085

กก.



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข-2 ผลการทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีตที่ใช้ในงานวิจัย

ตัวอย่างทดสอบ	ตัวอย่างรูปทรงกระบอก	ขนาดของตัวอย่าง		แรงอัด (kN)	f'_c (MPa)	อายุ (วัน)
		เส้นผ่าน ศ.ก. (มม.)	ความสูง (มม.)			
ชุดที่ 1 (21 MPa)	1	150	300	422	24	14
	2	152	300	451	25.5	14
	3	151	302	461	26	14
	ค่าเฉลี่ย	-	-	445	25	-
ชุดที่ 2 (45 MPa)	1	151	299	824	46.6	14
	2	149	301	991	56.1	14
	3	150	302	618	35	14
	ค่าเฉลี่ย	-	-	811	46	-
ชุดที่ 1 (21 MPa)	1	150	301	510	28.8	28
	2	149	300	432	24.7	28
	3	150	300	491	27.8	28
	ค่าเฉลี่ย	-	-	477	27	-
ชุดที่ 2 (45 MPa)	1	151	302	961	53.7	28
	2	149	302	892	51.2	28
	3	150	301	834	47.2	28
	ค่าเฉลี่ย	-	-	896	51	-

ภาคผนวก ข-2 ผลการทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีตที่ใช้ในงานวิจัย

ตัวอย่างทดสอบ	ตัวอย่างรูปทรงกระบอก	ขนาดของตัวอย่าง		แรงอัด (kN)	f'_c (MPa)	อายุ (วัน)
		เส้นผ่าน ศ.ก. (มม.)	ความสูง (มม.)			
ชุดที่ 1 (21 MPa)	1	150	300	422	24	14
	2	152	300	451	25.5	14
	3	151	302	461	26	14
	ค่าเฉลี่ย	-	-	445	25	-
ชุดที่ 2 (45 MPa)	1	151	299	824	46.6	14
	2	149	301	991	56.1	14
	3	150	302	618	35	14
	ค่าเฉลี่ย	-	-	811	46	-
ชุดที่ 1 (21 MPa)	1	150	301	510	28.8	28
	2	149	300	432	24.7	28
	3	150	300	491	27.8	28
	ค่าเฉลี่ย	-	-	477	27	-
ชุดที่ 2 (45 MPa)	1	151	302	961	53.7	28
	2	149	302	892	51.2	28
	3	150	301	834	47.2	28
	ค่าเฉลี่ย	-	-	896	51	-

ภาคผนวก ข-2 ผลการทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีตที่ใช้ในงานวิจัย

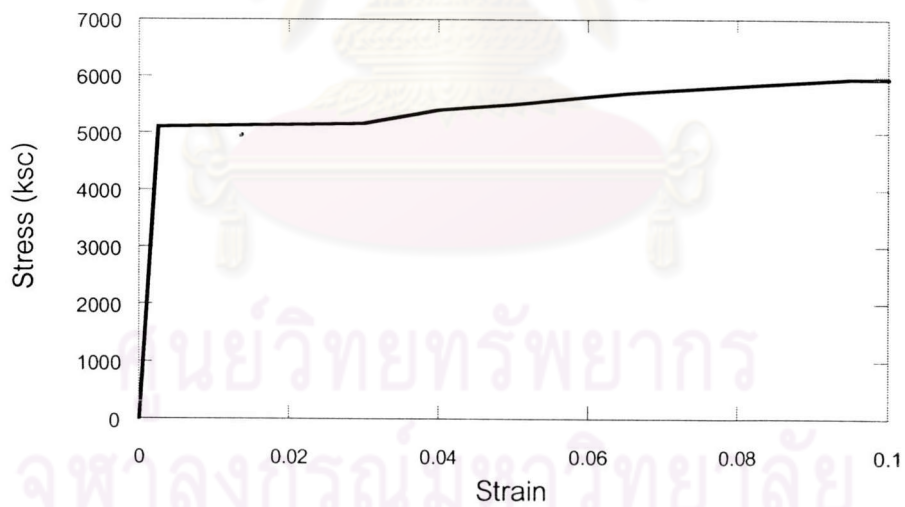
ตัวอย่าง ทดสอบ	ตัวอย่างรูป ทรงกระบอก	ขนาดของตัวอย่าง		แรงอัด (kN)	f'_c (MPa)	อายุ (วัน)
		เส้นผ่าน ศ.ก. (มม.)	ความสูง (มม.)			
ชุดที่ 1 (21 MPa)	1	150	300	422	24	14
	2	152	300	451	25.5	14
	3	151	302	461	26	14
	ค่าเฉลี่ย	-	-	445	25	-
ชุดที่ 2 (45 MPa)	1	151	299	824	46.6	14
	2	149	301	991	56.1	14
	3	150	302	618	35	14
	ค่าเฉลี่ย	-	-	811	46	-
ชุดที่ 1 (21 MPa)	1	150	301	510	28.8	28
	2	149	300	432	24.7	28
	3	150	300	491	27.8	28
	ค่าเฉลี่ย	-	-	477	27	-
ชุดที่ 2 (45 MPa)	1	151	302	961	53.7	28
	2	149	302	892	51.2	28
	3	150	301	834	47.2	28
	ค่าเฉลี่ย	-	-	896	51	-

ภาคผนวก ข-3 ผลการทดสอบคุณสมบัติของตัวอย่างเหล็กเสริมที่ใช้ในงานวิจัย

DB16

ตัวอย่าง	f_y (MPa)	f_{su} (MPa)	E_s (MPa)
1	43	583	199630
2	501	586	202090
3	5013	591	206010
ค่าเฉลี่ย	502	586	202580

Average Stress-Strain Curve for DB16

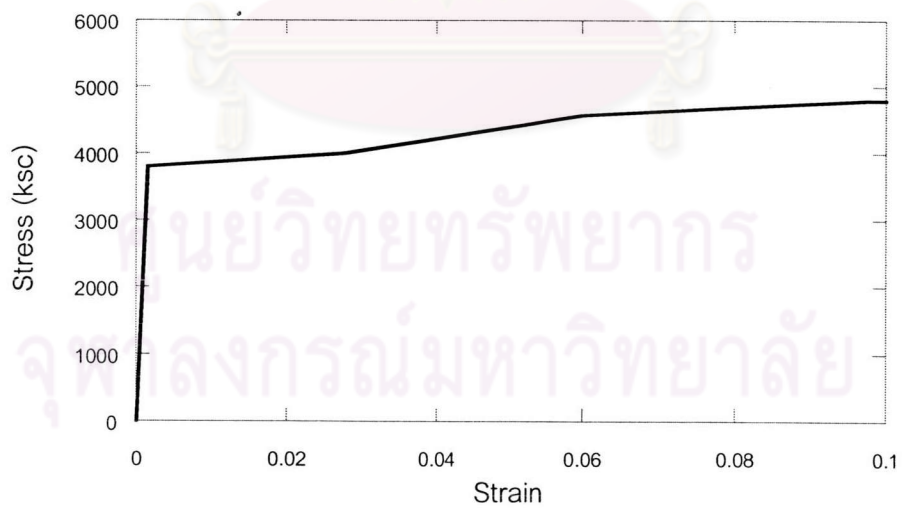


ภาคผนวก ข-3 ผลการทดสอบคุณสมบัติของตัวอย่างเหล็กเสริมที่ใช้ในงานวิจัย (ต่อ)

RB6

ตัวอย่าง	f_{yh} (MPa)	f_{su} (MPa)	E_s (MPa)
1	368	483	204540
2	375	506	202090
3	380	488	200610
ค่าเฉลี่ย	374	492	202410

Average Stress-Strain Curve for RB6



ภาคผนวก ข-4 ขนาดของตัวอย่างทดสอบ

ตัวอย่าง ทดสอบ	กว้าง (มม.)	ยาว (มม.)	สูง (มม.)	ความยาวเกจ (มม.)			
				ตะวันออก	ใต้	ตะวันตก	เหนือ
CA21-1-5	250	250	893	604	601	601	603
CB21-1-5	250	250	898	603	603	603	602
CA21-1-3	250	250	897	603	600	603	602
CB21-1-3	250	252	900	603	603	605	603
CA21-1-1	253	250	898	601	603	603	603
CB21-1-1	252	251	895	604	602	603	603
CA45-1-5	252	250	893	599	602	603	602
CB45-1-5	250	250	894	603	597	603	604
CA45-1-3	250	250	897	601	602	602	604
CB45-1-3	250	250	892	600	604	604	602
CA45-1-1	250	252	892	604	603	603	598
CB45-1-1	250	250	893	603	604	603	604
P21/1	250	251	895	600	602	602	602
P21/2	250	249	896	601	602	603	601
P45/1	248	251	889	602	602	601	604
P45/2	252	252	888	603	602	603	601

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค-1 ผลการสอบเทียบ (calibration) เครื่องวัดการเคลื่อนที่

LVDT No.	Label	Direction	K (mm/V)
1	W3	East	3.2468
2	W2	North	8.5045
3	W7	West	3.2669
4	W4	South	8.2356

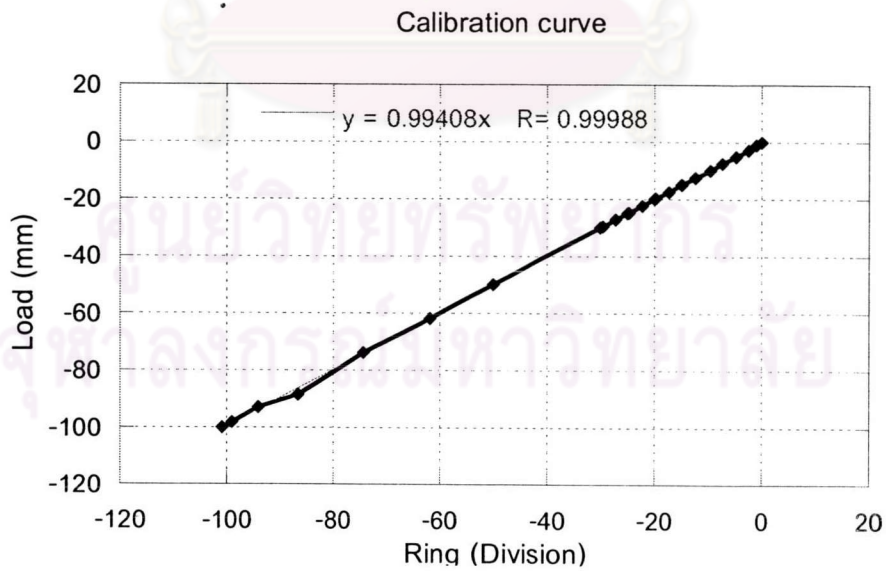


ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค-2 ผลการสอบเทียบ (calibration) โหลดเซลล์ของเครื่องทดสอบอเนกประสงค์กับ proving ring

Load (t)	Division
0	0
-1	0.99056
-2.9	2.4764
-5	4.829
-7.6	7.4292
-10	9.658
-12.58	12.382
-14.97	14.858
-15	14.982
-17.51	17.335
-19.82	19.811
-20	20.059
-22.35	22.288

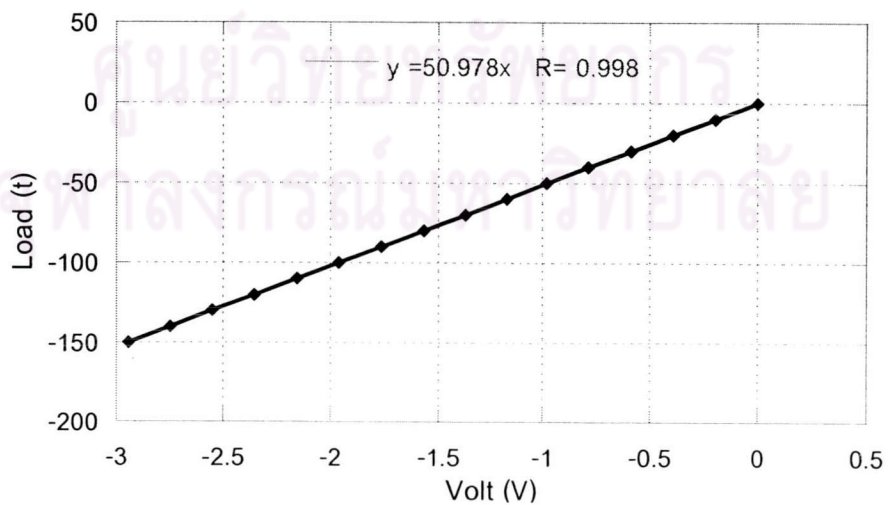
Load (t)	Division
-24.82	24.764
-25	25.135
-27.25	27.24
-29.69	29.717
-30	30.15
-50	50.271
-61.92	61.91
-73.79	74.292
-88.5	86.674
-92.96	94.103
-98.25	99.056
-100	100.91



ภาคผนวก ค-3 ผลการสอบเทียบ (calibration) โหลดเซลล์ของเครื่องทดสอบอเนกประสงค์

Load (t)	Volt (V)	Load (t)	Volt (V)
0	0	0	0
-10	-0.196	-10	-0.196
-20	-0.393	-20	-0.3923
-30	-0.588	-30	-0.589
-40	-0.784	-40	-0.785
-50	-0.981	-50	-0.980
-60	-1.177	-60	-1.177
-70	-1.373	-70	-1.373
-80	-1.570	-80	-1.569
-90	-1.765	-90	-1.766
-100	-1.962	-100	-1.962
-110	-2.158	-110	-2.158
-120	-2.354	-120	-2.354
-130	-2.550	-130	-2.550
-140	-2.746	-140	-2.746
-150	-2.942	-150	-2.943

Calibration curve

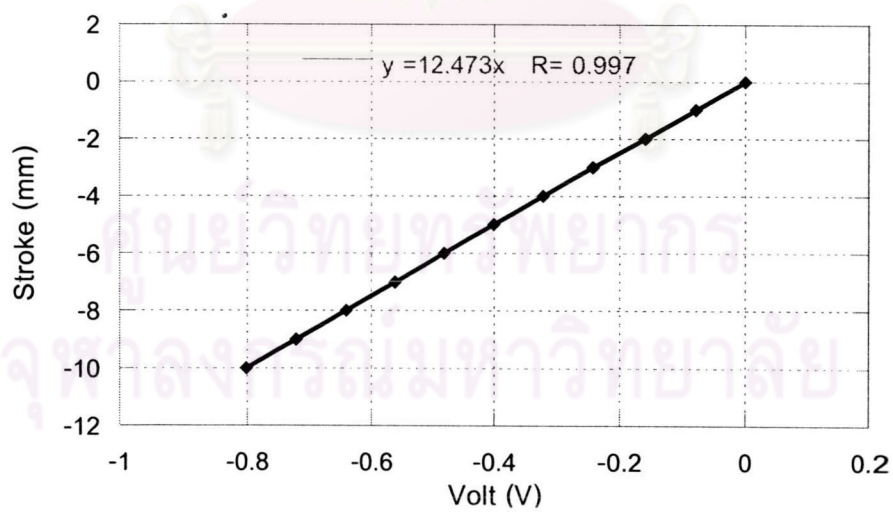


ภาคผนวก ค-4 ผลการสอบเทียบ (calibration) การเคลื่อนที่ของเครื่องทดสอบอเนกประสงค์

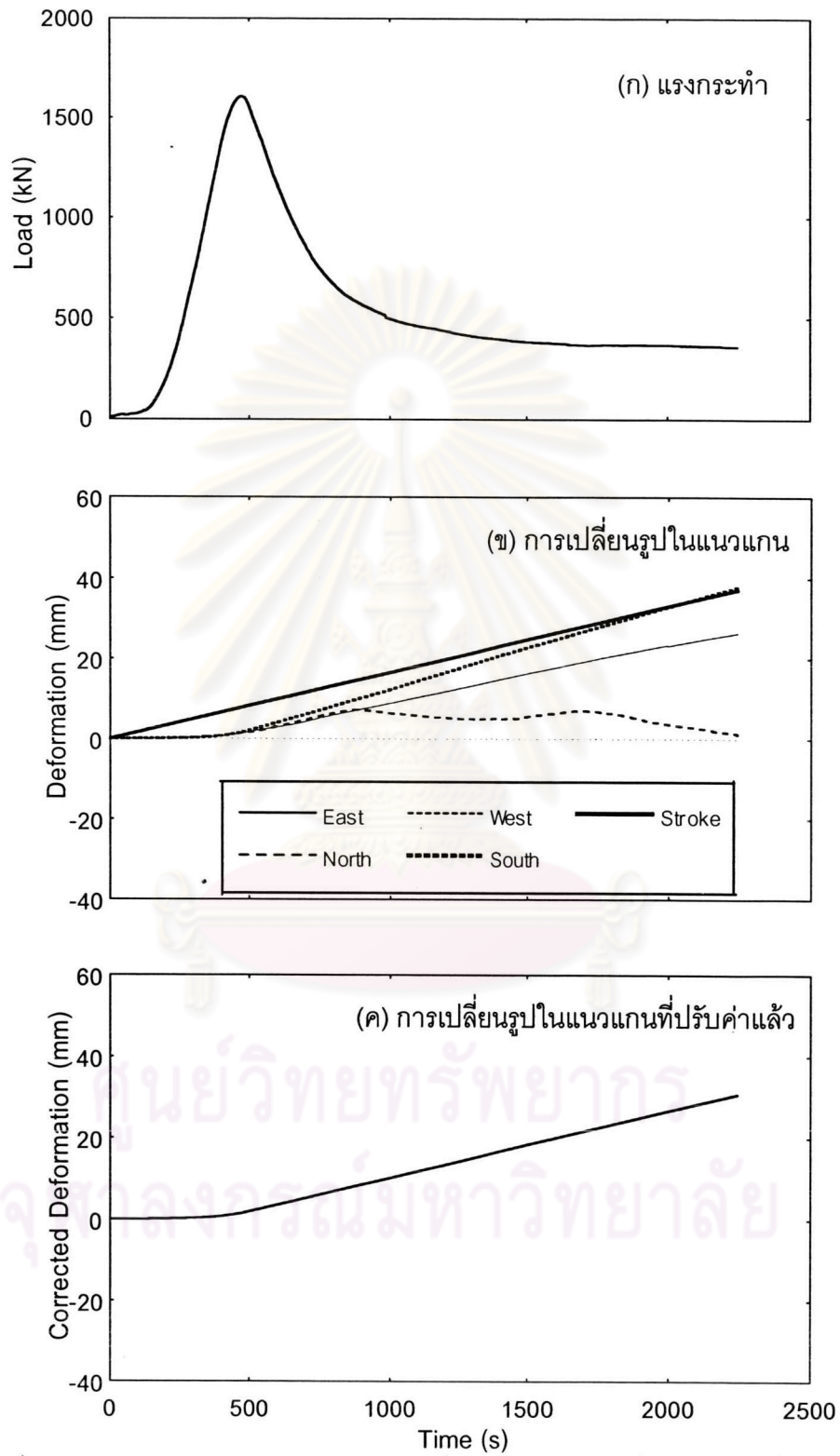
Stroke (mm)	Volt (V)
0	0
-1	-0.080
-2	-0.161
-3	-0.240
-4	-0.322
-5	-0.400
-6	-0.480
-7	-0.560
-8	-0.641
-9	-0.721
-10	-0.801

Stroke (mm)	Volt (V)
0	0
-1	-0.080
-2	-0.160
-3	-0.241
-4	-0.320
-5	-0.401
-6	-0.481
-7	-0.562
-8	-0.641
-9	-0.72
-10	-0.802

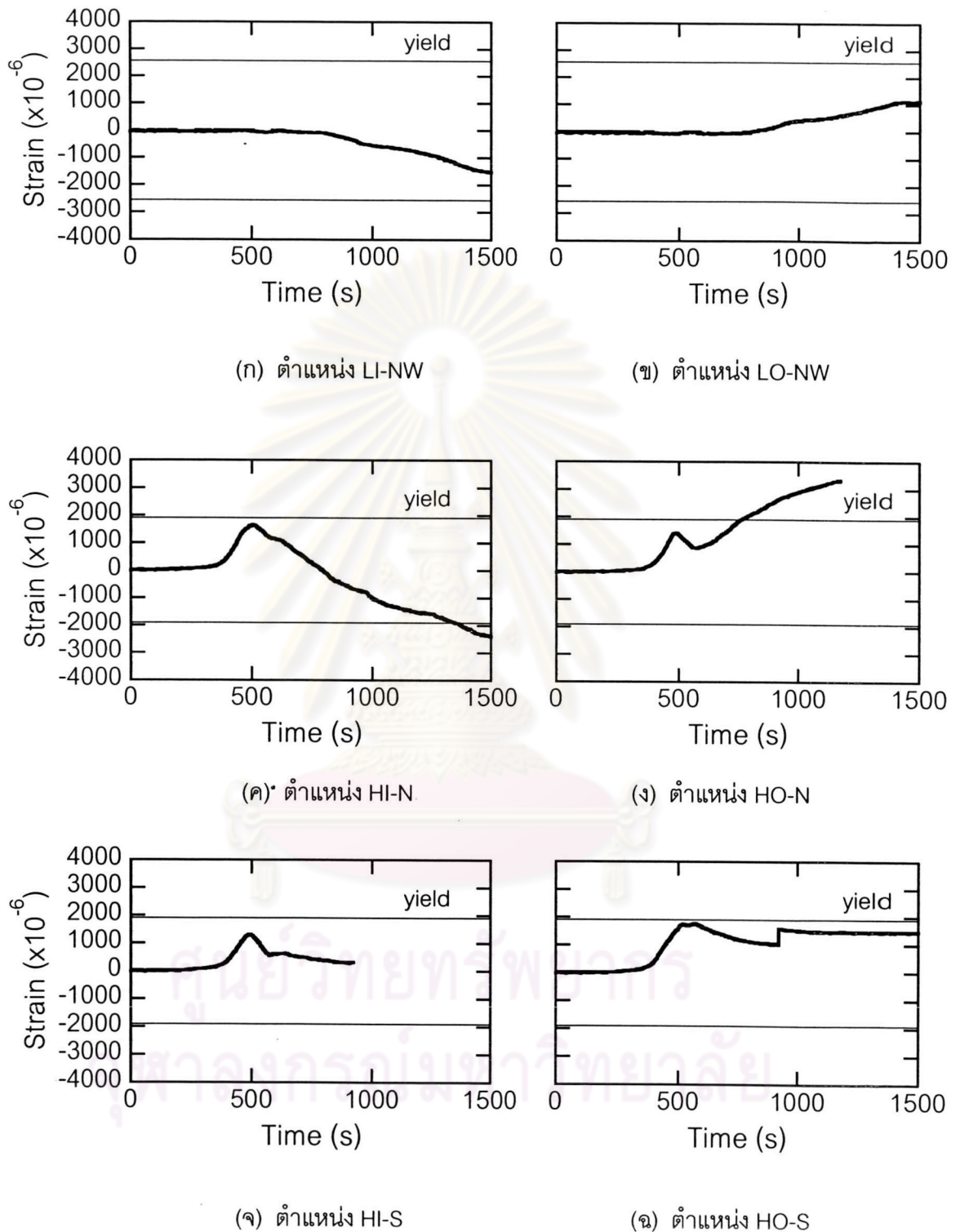
Calibration curve



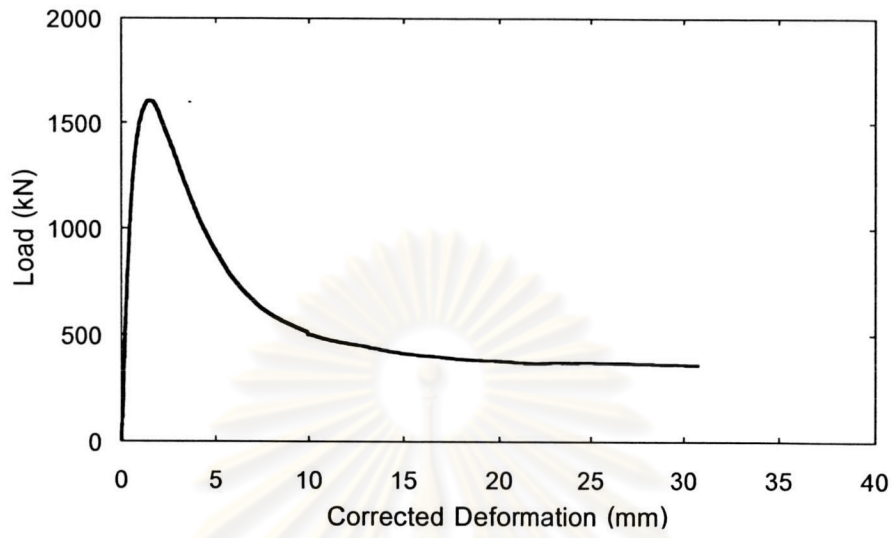
ภาคผนวก ง-1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากตัวอย่างทดสอบ CA21-1-5



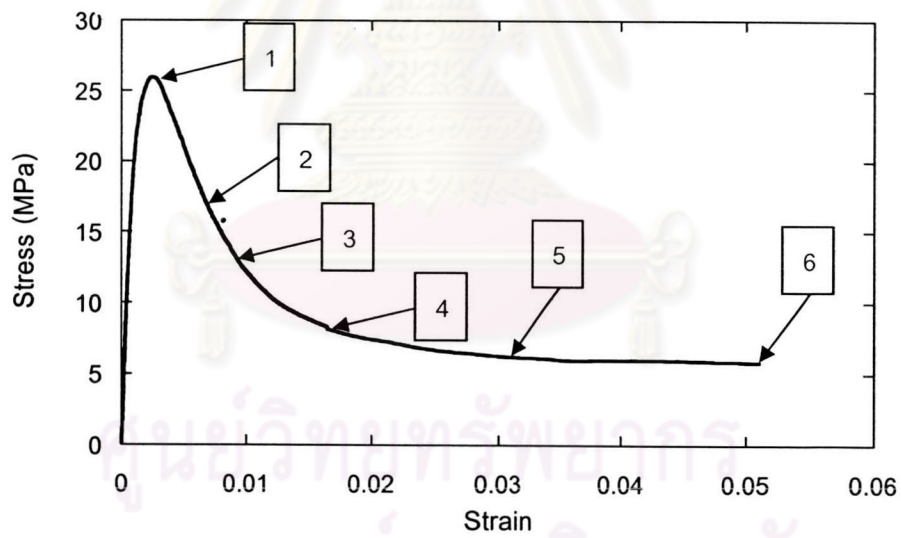
รูปที่ ง-1.1 กราฟแสดงแรงกระทำและการเปลี่ยนรูปในแนวแกนที่วัดได้จากเครื่องมือวัด



รูปที่ ง-1.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเครียดที่วัดได้จากเกจวัดความเครียดที่ตำแหน่งต่างๆ กับเวลา



รูปที่ ง-1.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำกับระยะหดตัวที่ปรับค่าแล้ว

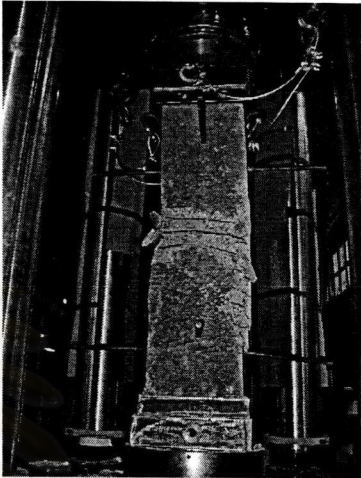


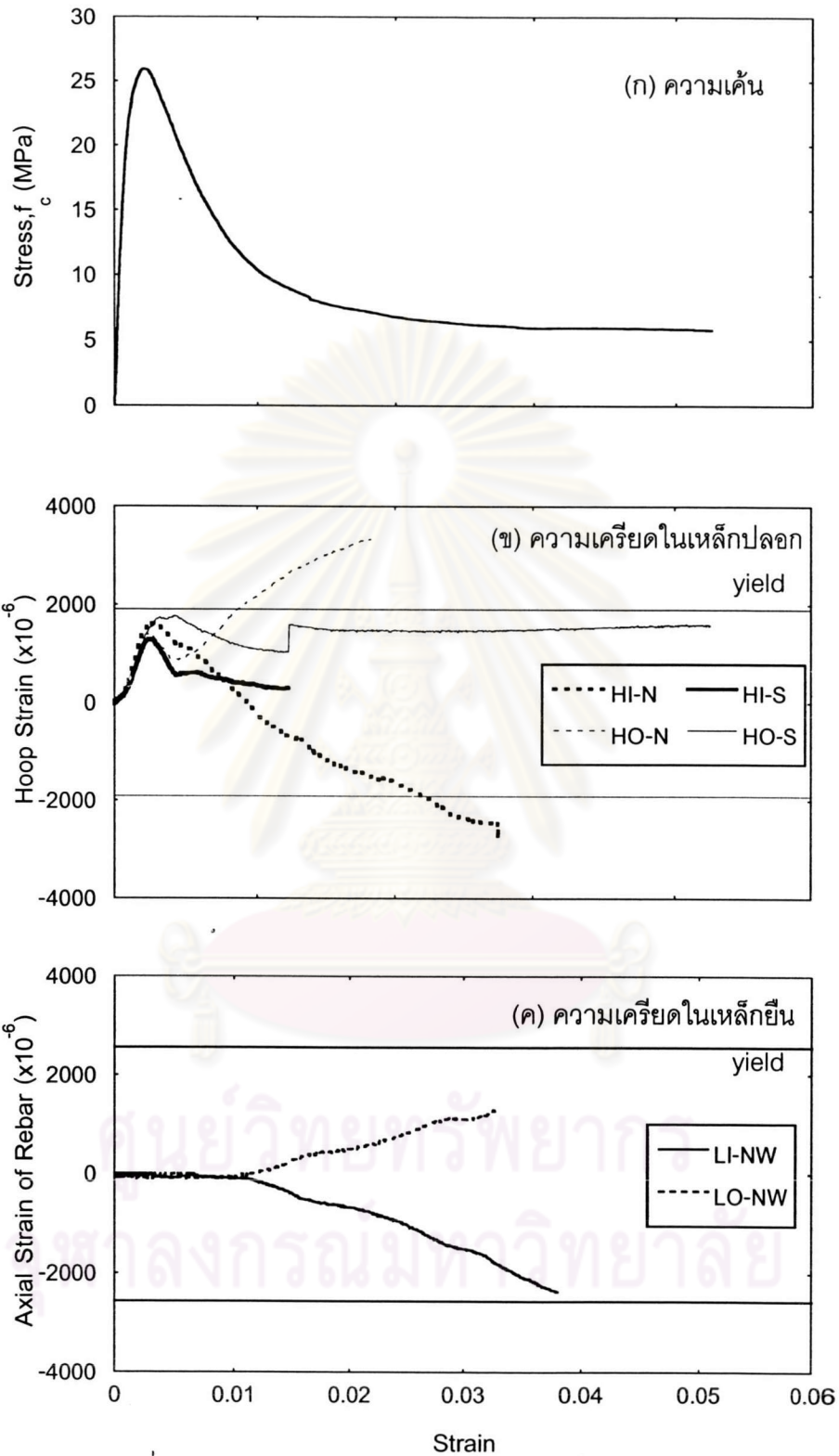
รูปที่ ง-1.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด

ตารางที่ ง-1.1 แสดงพฤติกรรมและภาพถ่ายประกอบที่เหตุการณ์ต่างๆ

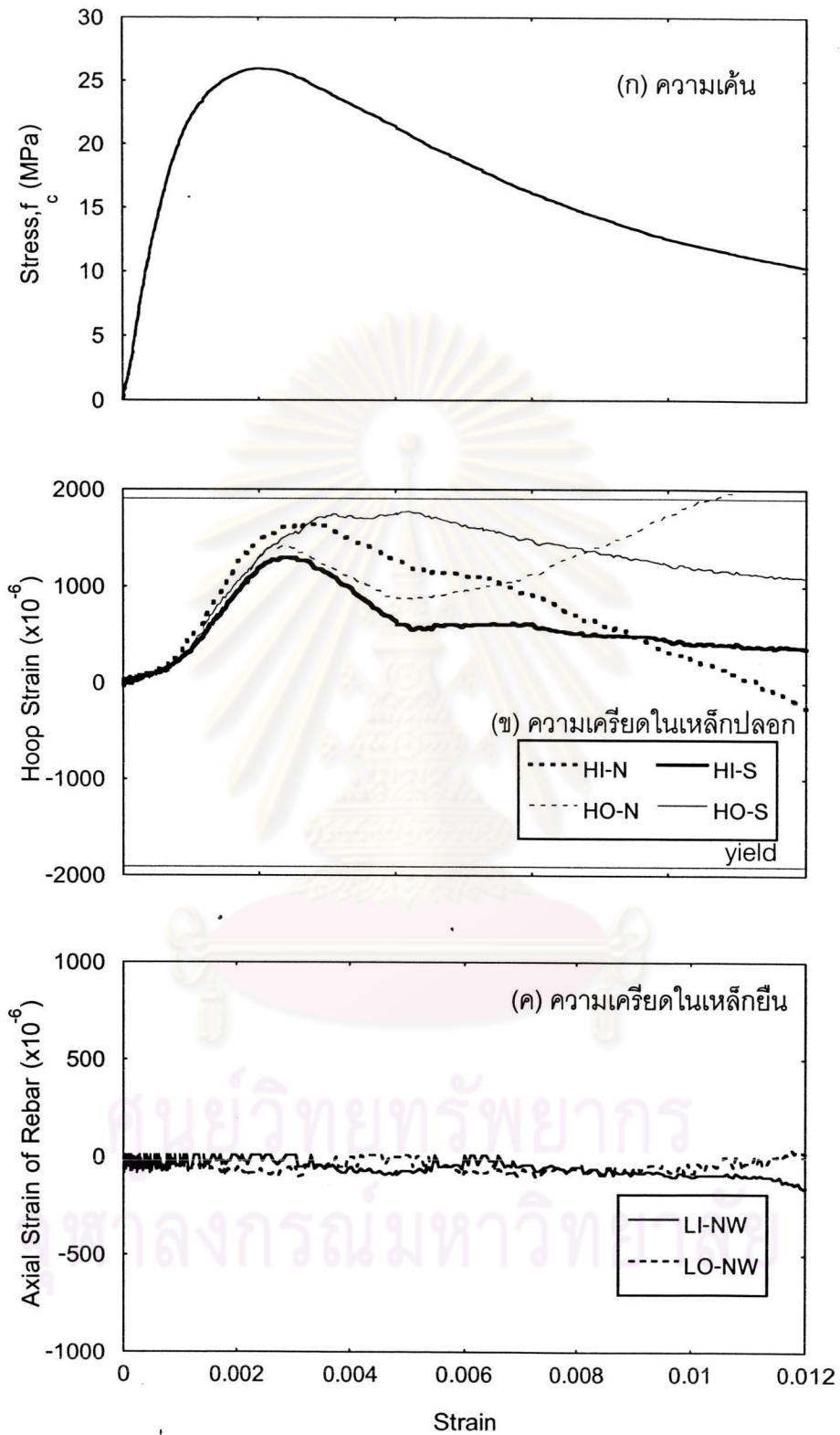
เหตุการณ์	พฤติกรรมที่เกิดขึ้น	ภาพถ่ายประกอบ
1	เกิดรอยแตกร้าวเล็กๆ ตามแนวยาวที่ขอบนอกของตัวอย่างทดสอบ	
2	รอยแตกร้าวเดิมขยายความกว้างและความยาว รวมทั้งเกิดรอยแตกร้าวตามขวางที่ตำแหน่งของเหล็กปลอกที่เริ่มเกิดการโค้งออก	
3	เริ่มเกิดการกะเทาะออกของคอนกรีตจนสามารถเห็นเหล็กปลอกได้	
4	คอนกรีตกะเทาะออกมากและเห็นเหล็กปลอกโค้งอย่างชัดเจน	
5	คอนกรีตกะเทาะออกมากขึ้นจนเห็นเหล็กยื่น	

ตารางที่ ง-1.1 แสดงพฤติกรรมและภาพถ่ายประกอบที่เหตุการณ์ต่างๆ (ต่อ)

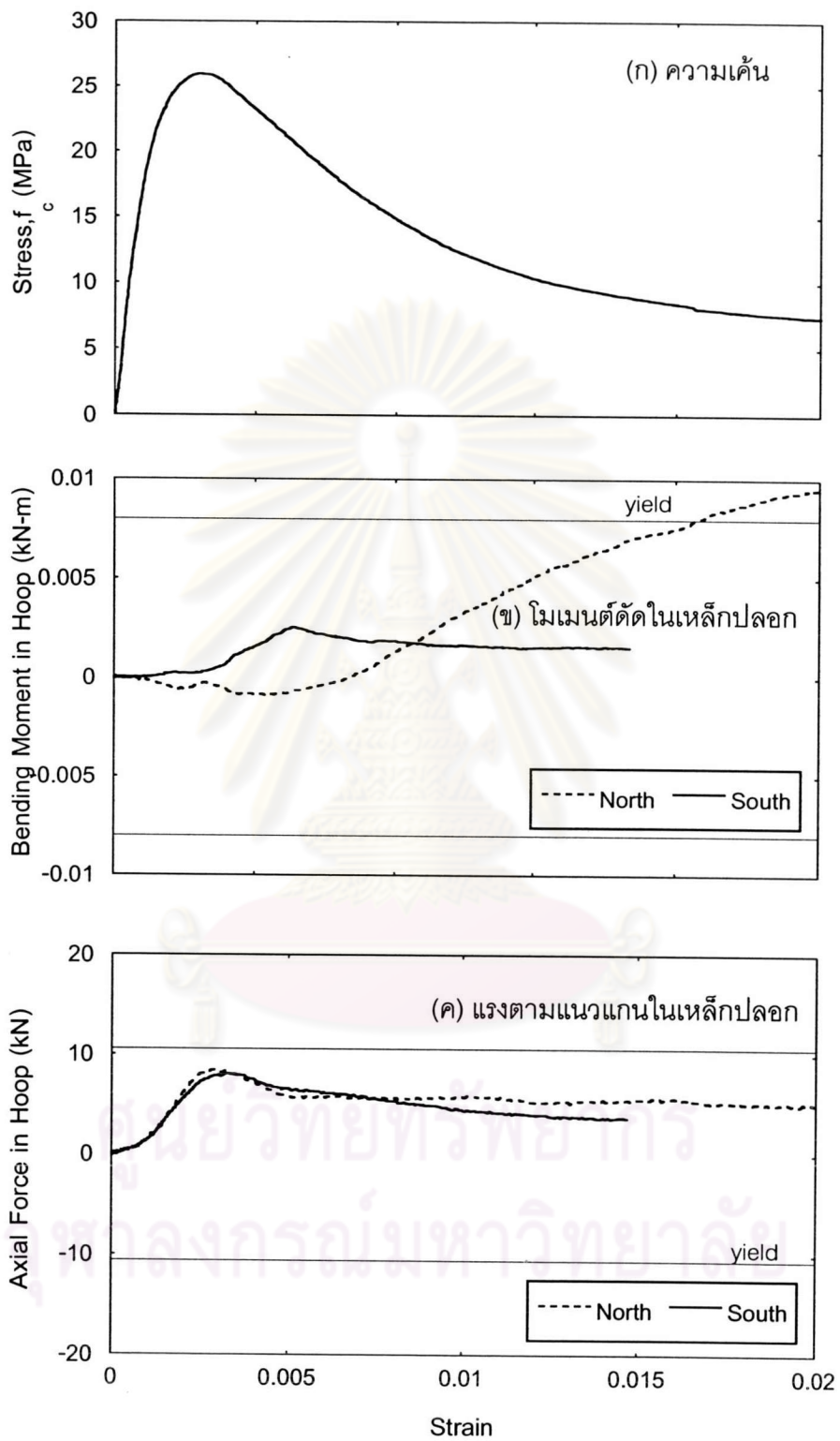
เหตุการณ์	พฤติกรรมที่เกิดขึ้น	ภาพถ่ายประกอบ
6	ตัวอย่างทดสอบหลังการทดสอบ สังเกต ได้ว่าเกิดความเสียหายแบบเฉือน ร่นาบทำมุมประมาณ 60 องศา กับแนวราบ และเหล็กปลอกไม่เกิดการ อ้าออก แต่จะเกิดการเสียรูปอย่างชัดเจน	



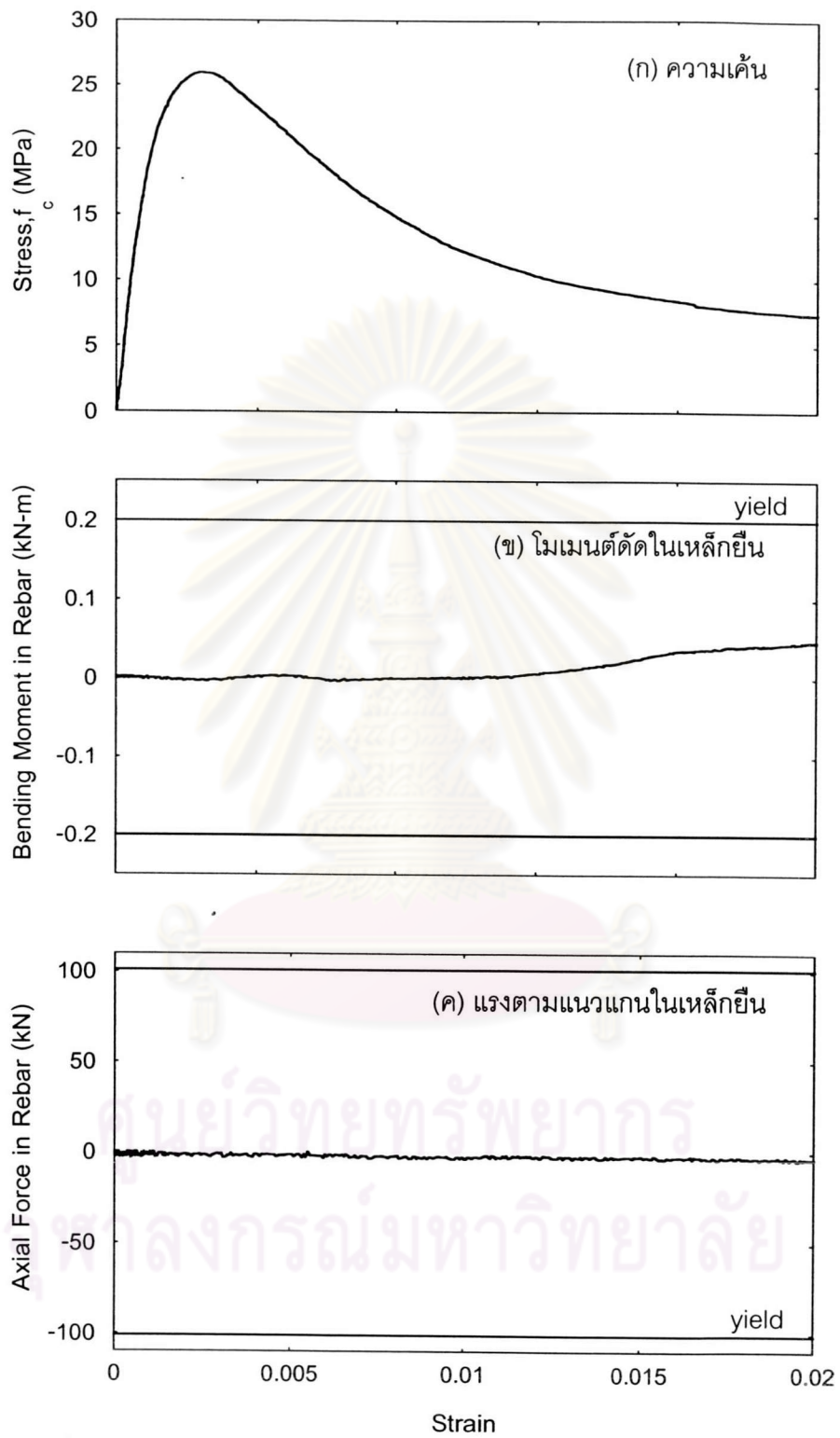
รูปที่ ง-1.5 กราฟแสดงความเค้นและความเครียดในเหล็กเสริม ในช่วงความเครียดตามแนวแกน 0-0.06



รูปที่ ง-1.6 กราฟแสดงความเค้นและความเครียดในเหล็กเสริม ในช่วงความเครียดตามแนวแกน 0-0.012

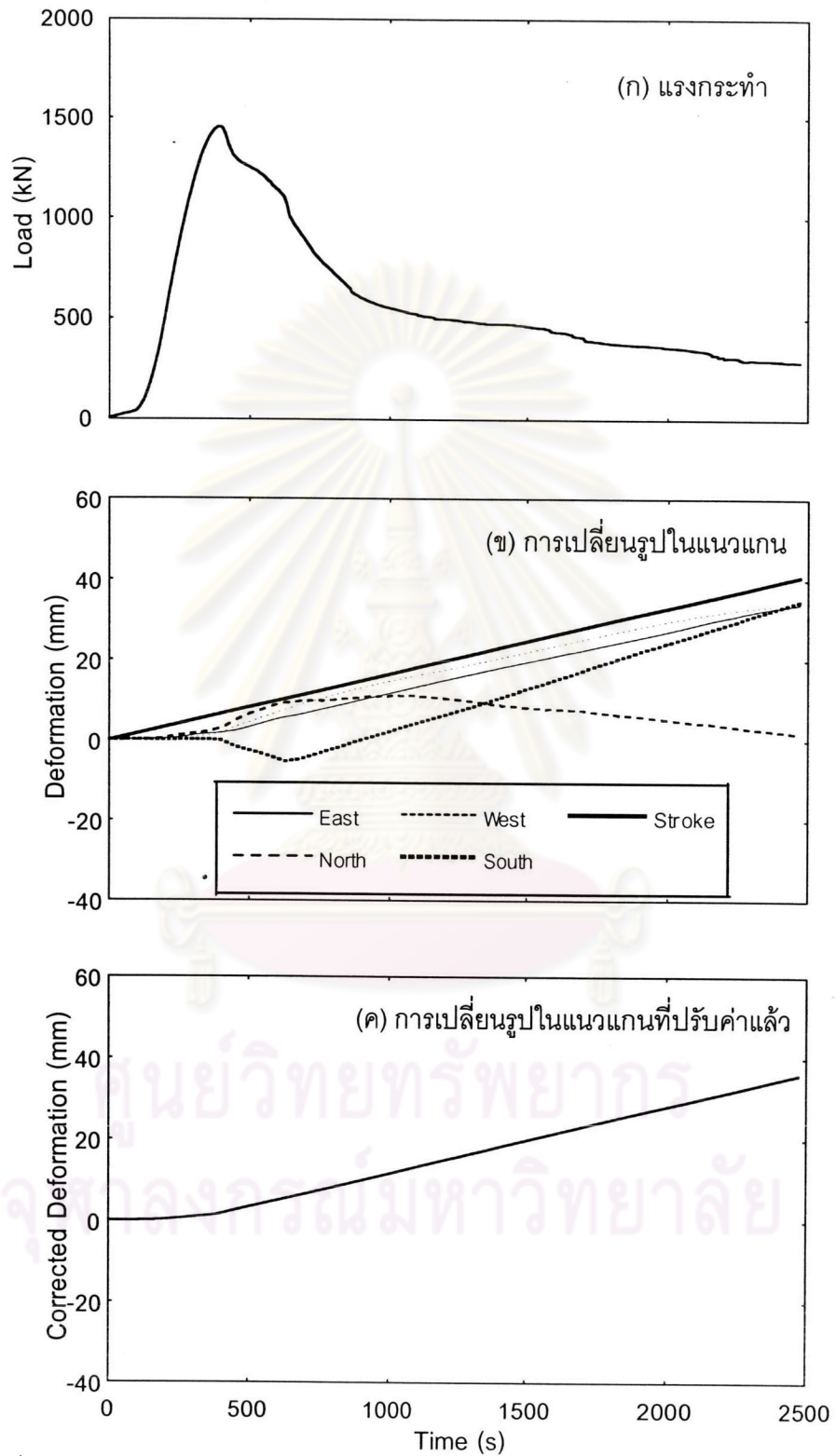


รูปที่ ง-1.7 กราฟแสดงความเค้น โมเมนต์ดัด และแรงตามแนวแกนในเหล็กเสริม

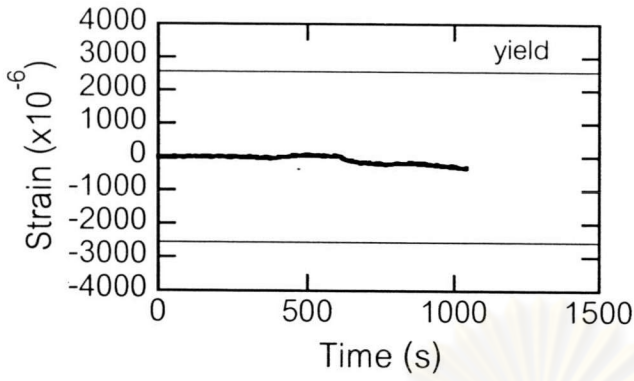


รูปที่ ง-1.8 กราฟแสดงความเค้น โมเมนต์ดัด และแรงตามแนวแกนในเหล็กยื่น

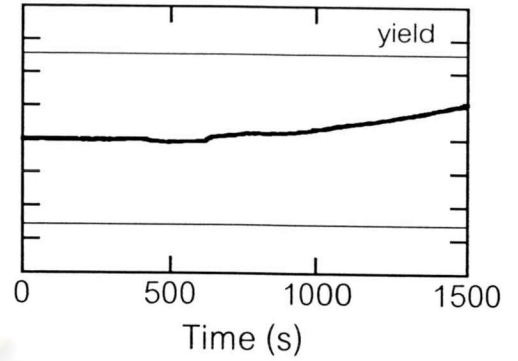
ภาคผนวก ง-2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากตัวอย่างทดสอบ CB21-1-5



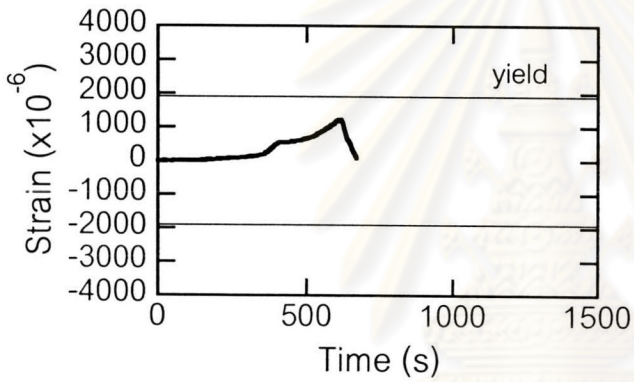
รูปที่ ง-2.1 กราฟแสดงแรงกระทำและการเปลี่ยนรูปในแนวแกนที่วัดได้จากเครื่องมือวัด



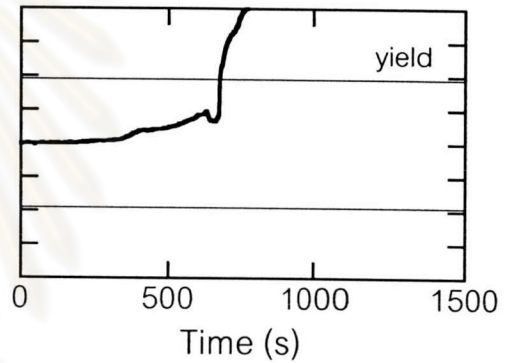
(ก) ตำแหน่ง LI-NW



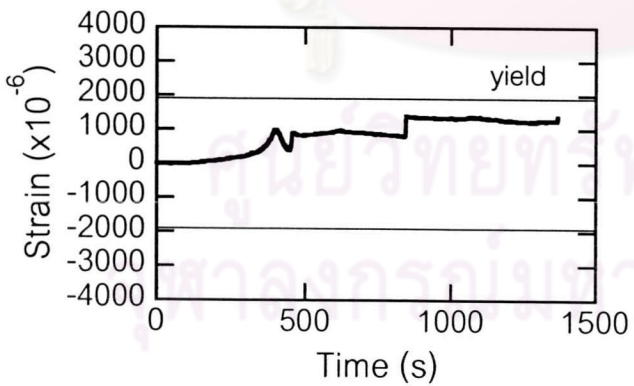
(ข) ตำแหน่ง LO-NW



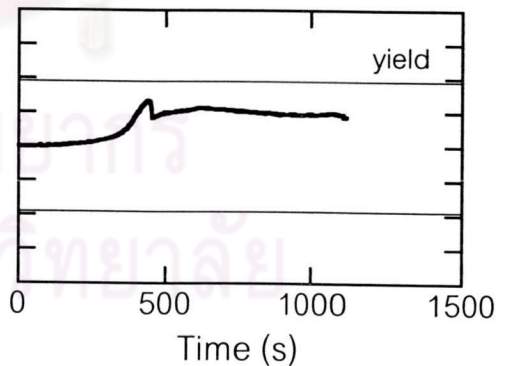
(ค) ตำแหน่ง HI-N



(ง) ตำแหน่ง HO-N

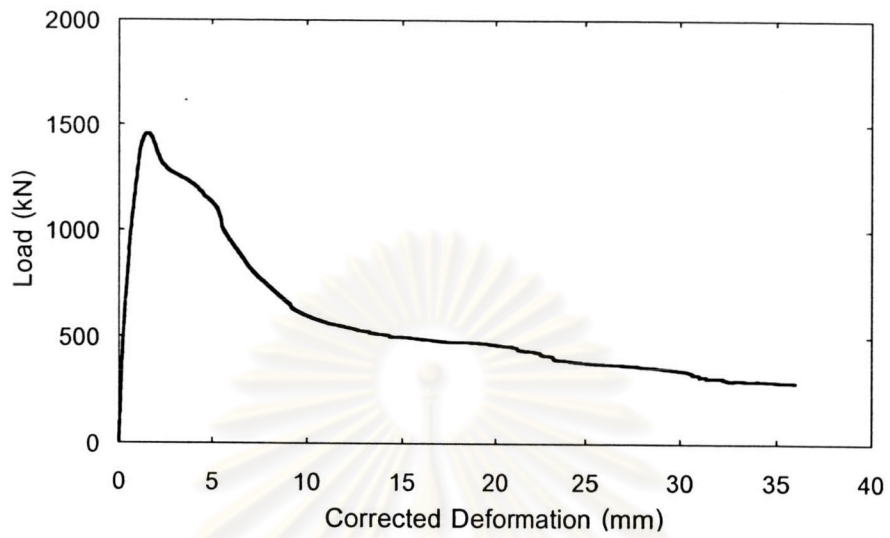


(จ) ตำแหน่ง HI-S

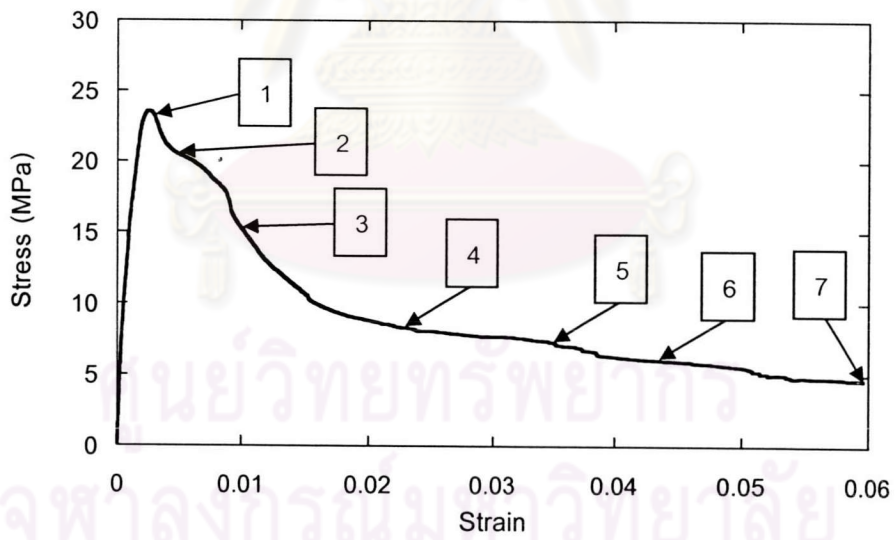


(ฉ) ตำแหน่ง HO-S

รูปที่ 2.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเครียดที่วัดได้จากเกจวัดความเครียดที่ตำแหน่งต่างๆ กับเวลา

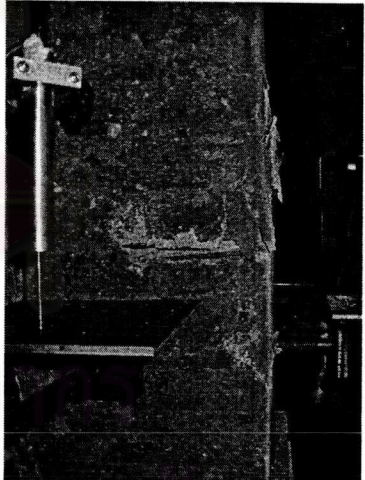


รูปที่ ง-2.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำกับระยะหดตัวที่ปรับค่าแล้ว

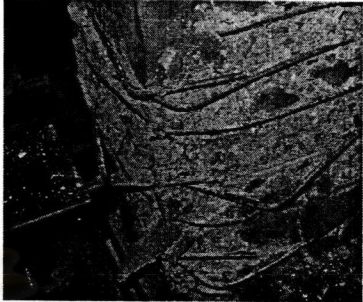



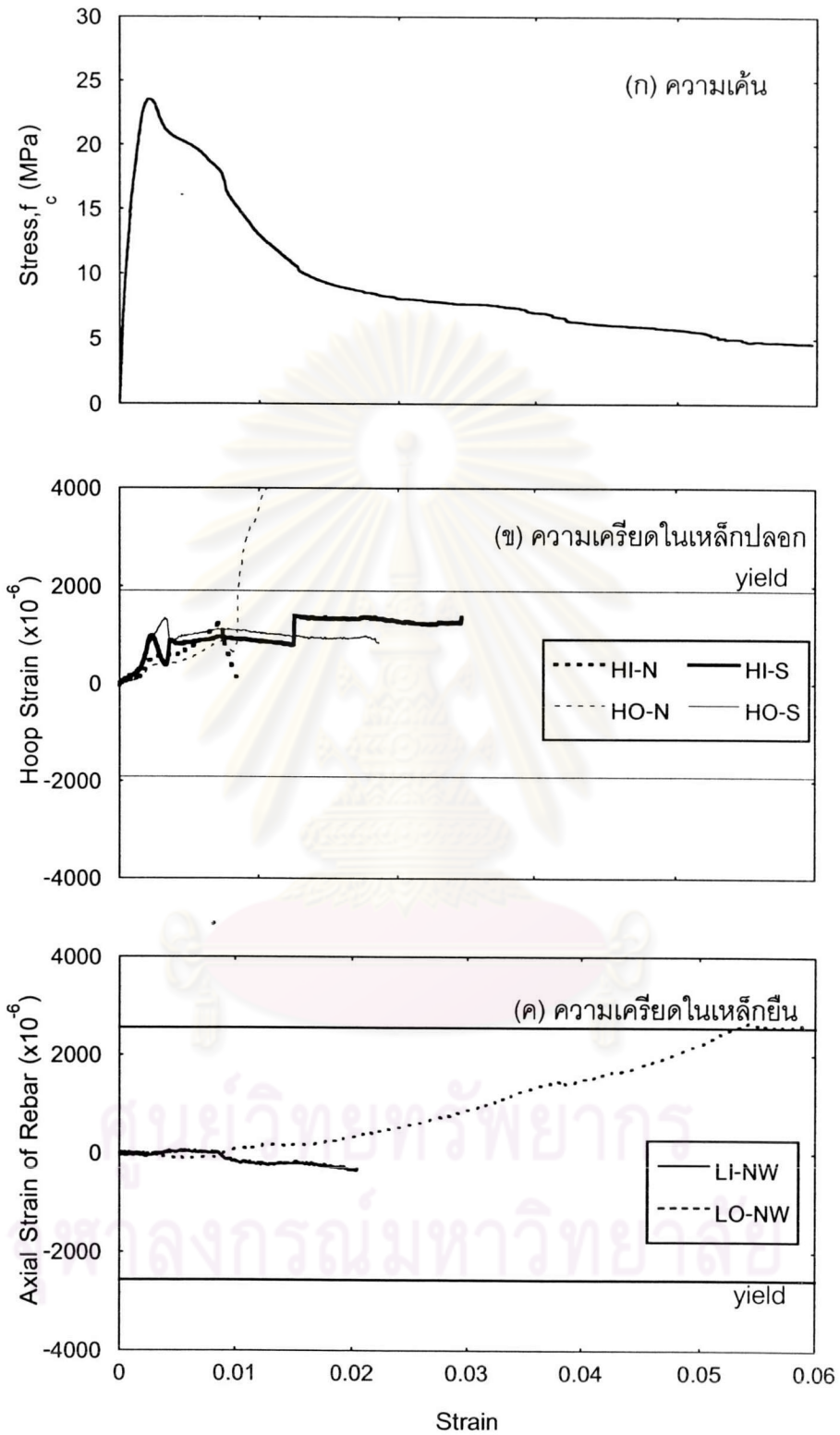
รูปที่ ง-2.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด

ตารางที่ ง-2.1 แสดงพฤติกรรมและภาพถ่ายประกอบที่เหตุการณ์ต่างๆ

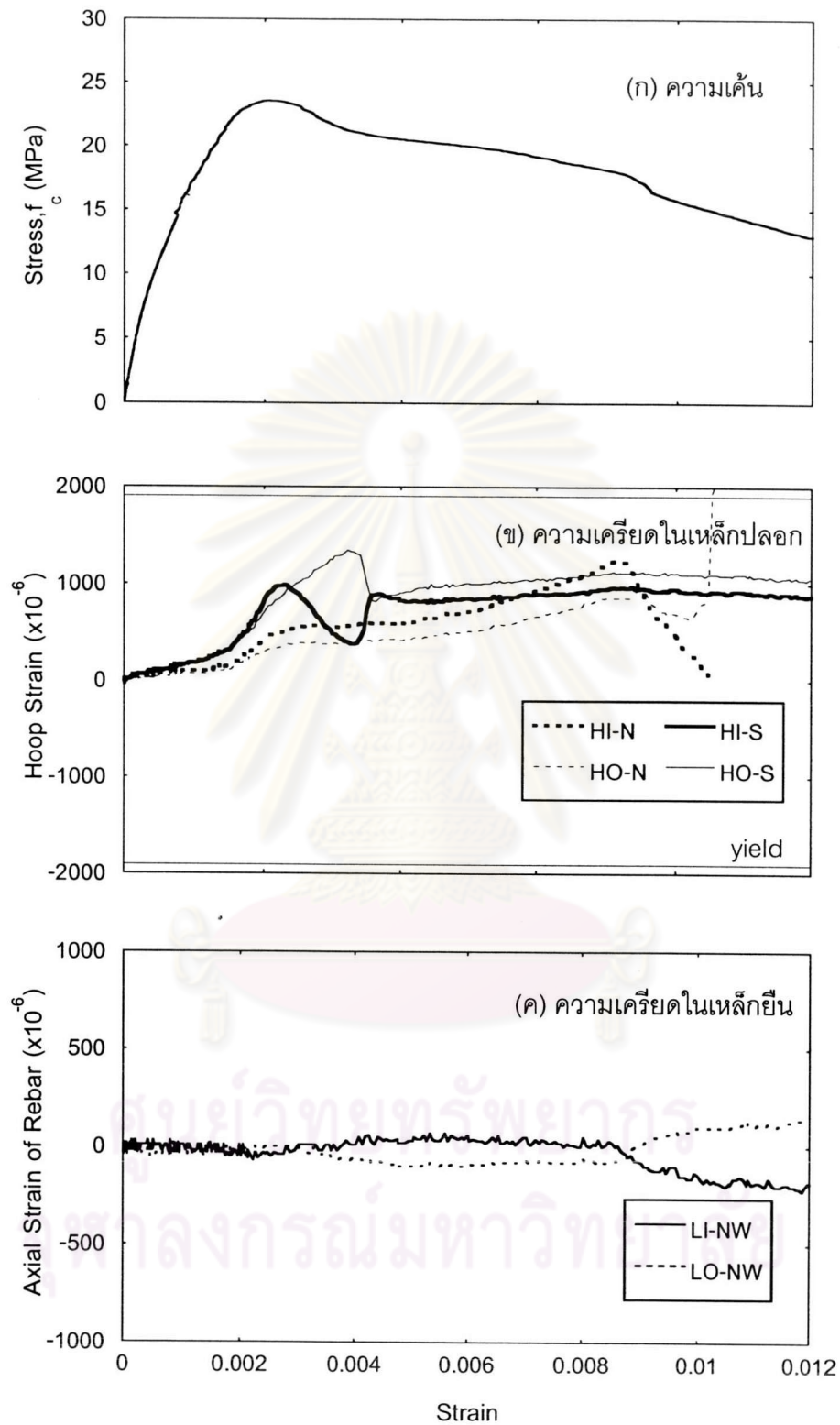
เหตุการณ์	พฤติกรรมที่เกิดขึ้น	ภาพถ่ายประกอบ
1	เกิดรอยแตกร้าวตามแนวยาวที่ขอบนอกของตัวอย่างทดสอบ	
2	คอนกรีตกะเทาะออกจนเห็นเหล็กปลอก	
3	เหล็กปลอกของอ 90 องศาเริ่มแอ้ออกเล็กน้อย	
4	เหล็กปลอกแอ้ออกอย่างชัดเจน	
5	คอนกรีตกะเทาะออกมากจนสามารถเห็นเหล็กยี่น	

ตารางที่ ง-2.1 แสดงพฤติกรรมและภาพถ่ายประกอบที่เหตุการณ์ต่างๆ (ต่อ)

เหตุการณ์	พฤติกรรมที่เกิดขึ้น	ภาพถ่ายประกอบ
6	เหล็กปลอกจำนวนมากเกิดการ้าออกมาก	
7	ตัวอย่างทดสอบหลังการทดสอบ สังเกตได้ว่าความเสียหายเกิดขึ้นบริเวณส่วนล่างของตัวอย่างทดสอบ และเหล็กปลอกจำนวนมากเกิดการ้าออก	

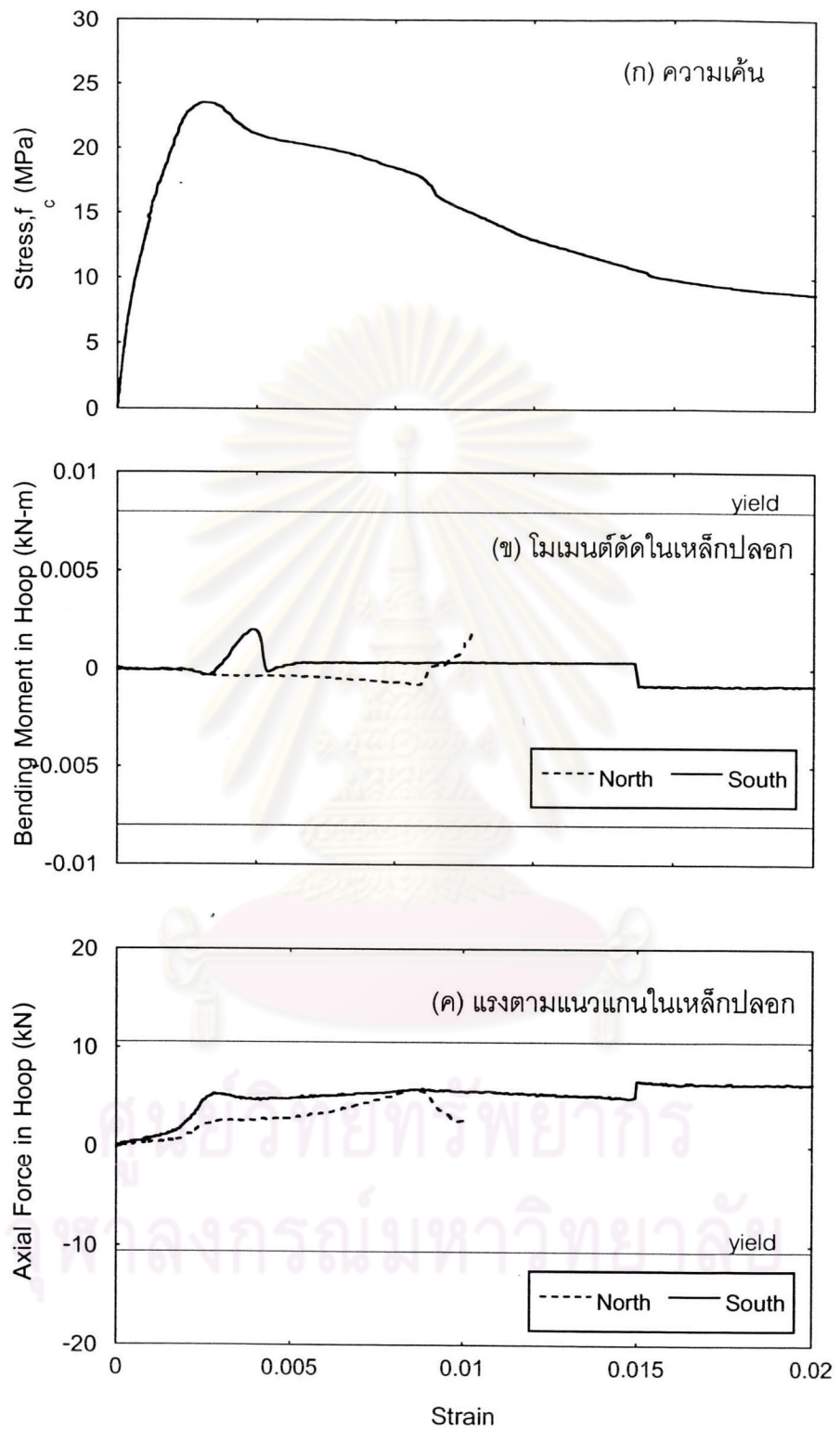


รูปที่ ง-2.5 กราฟแสดงความเค้นและความเครียดในเหล็กเสริม ในช่วงความเครียดตามแนวแกน 0-0.06

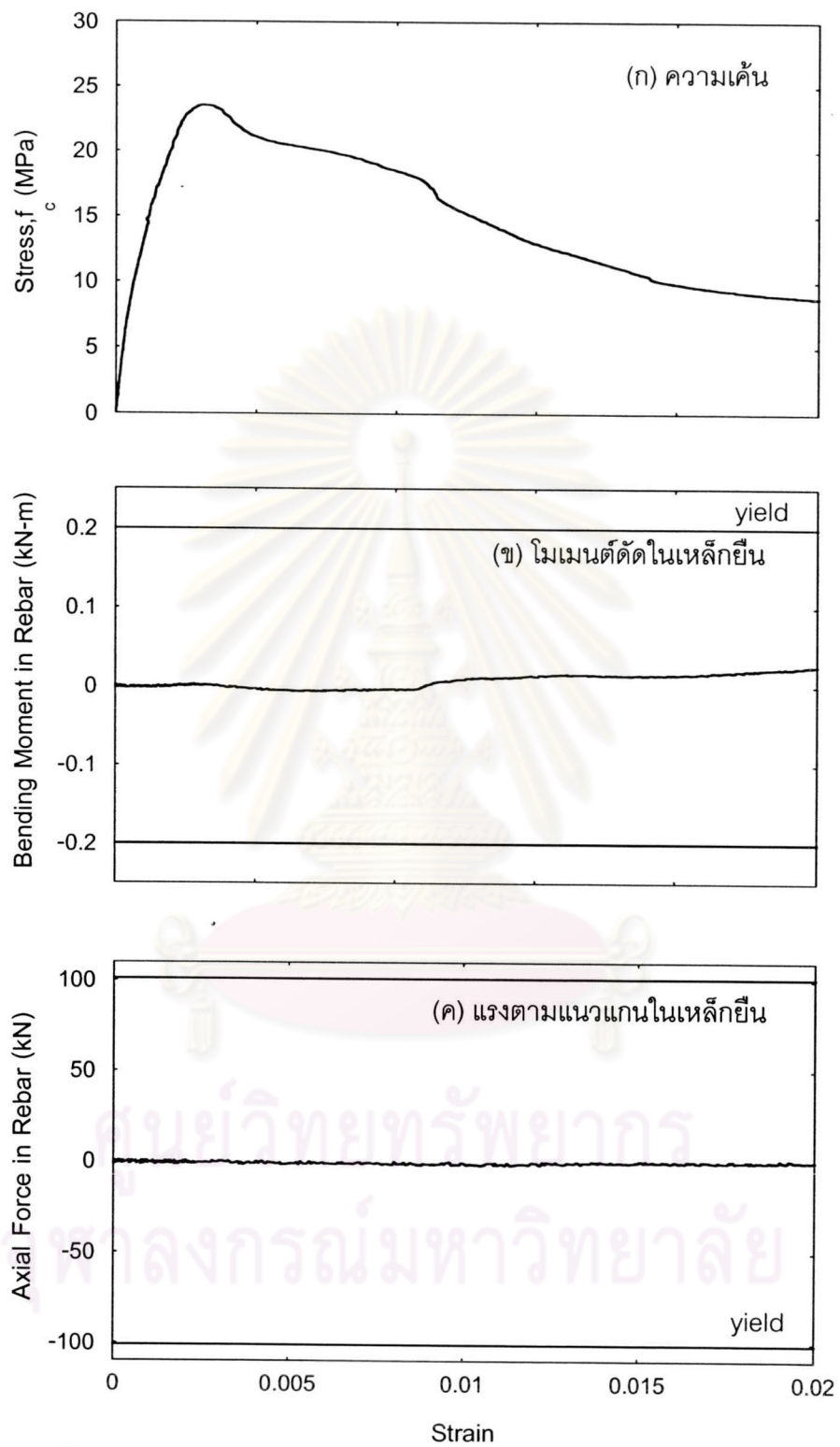


รูปที่ ง-2.6 กราฟแสดงความเค้นและความเครียดในเหล็กเสริม

ในช่วงความเครียดตามแนวแกน 0-0.012

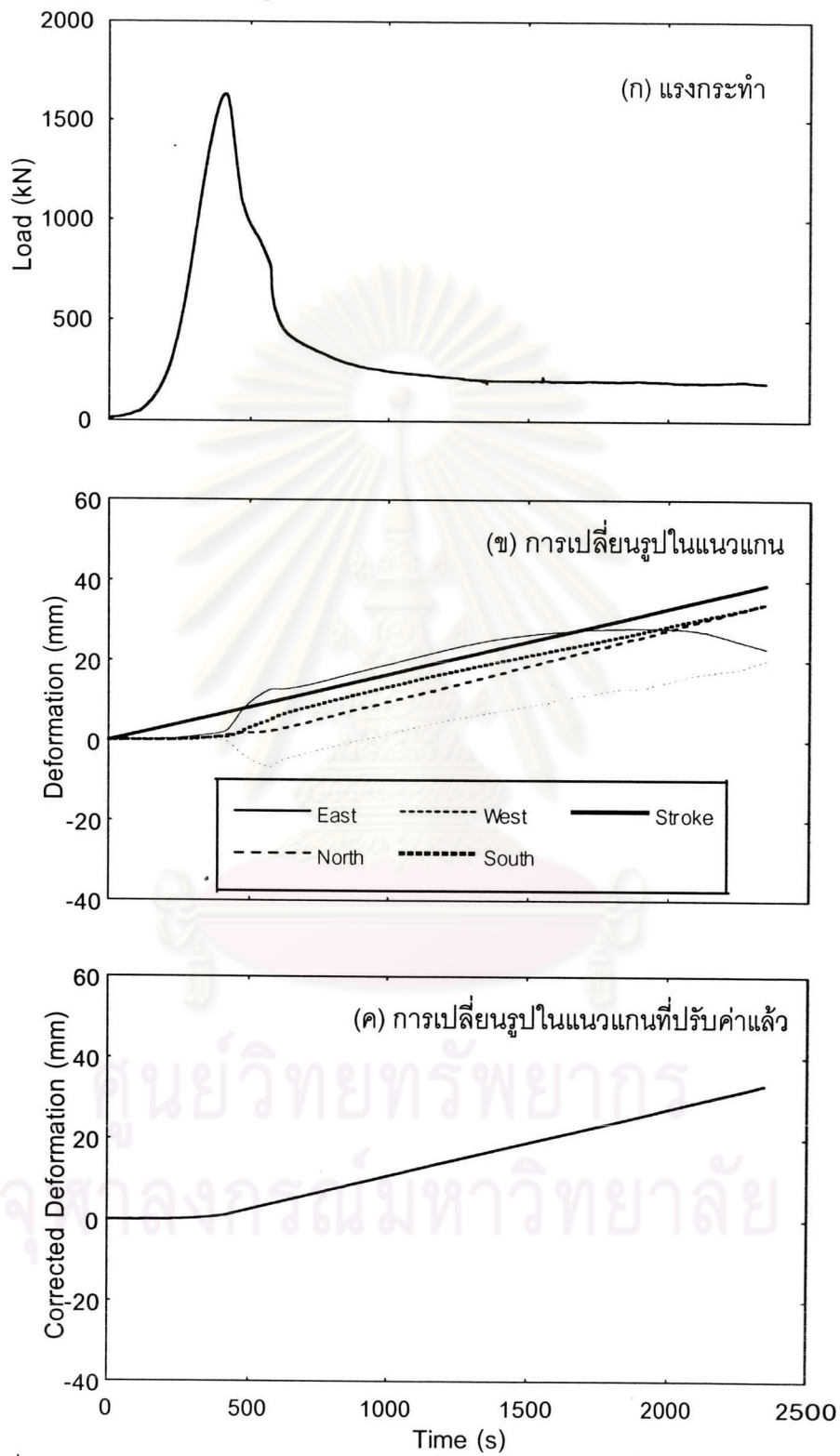


รูปที่ ง-2.7 กราฟแสดงความเค้น โมเมนต์ดัด และแรงตามแนวแกนในเหล็กเสริม

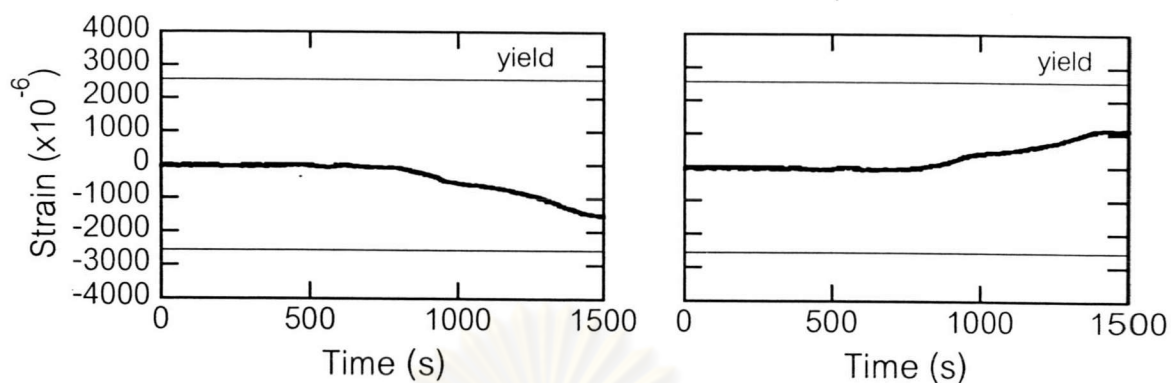


รูปที่ ง-2.8 กราฟแสดงความเค้น โมเมนต์ดัด และแรงตามแนวแกนในเหล็กยื่น

ภาคผนวก ง-3 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากตัวอย่างทดสอบ CA21-1-3

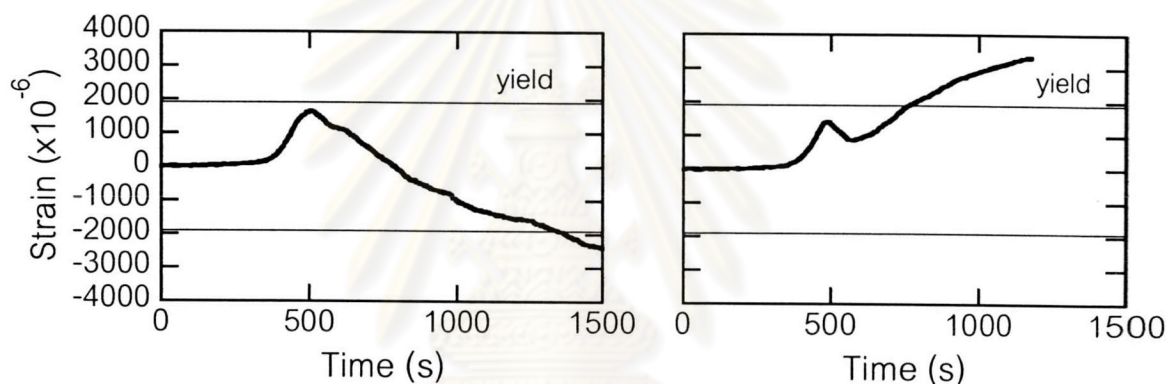


รูปที่ ง-3.1 กราฟแสดงแรงกระทำและการเปลี่ยนรูปในแนวแกนที่วัดได้จากเครื่องมือวัด



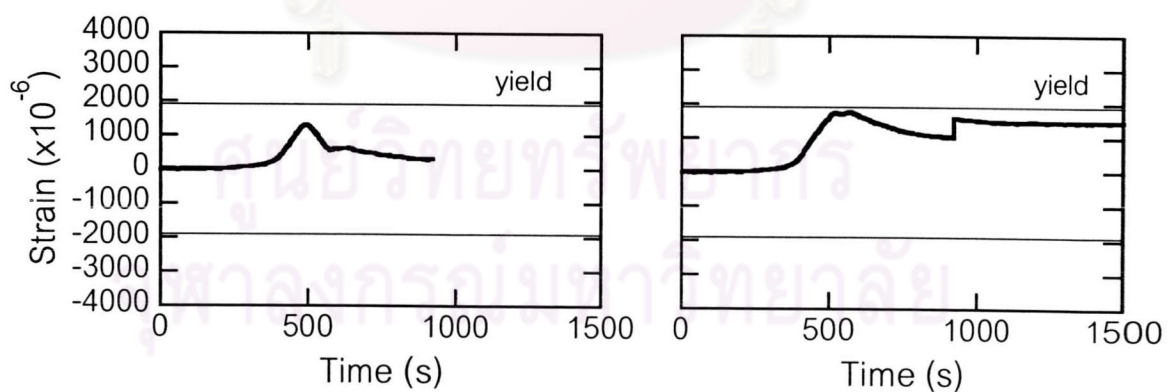
(ก) ตำแหน่ง LI-NW

(ข) ตำแหน่ง LO-NW



(ค) ตำแหน่ง HI-N

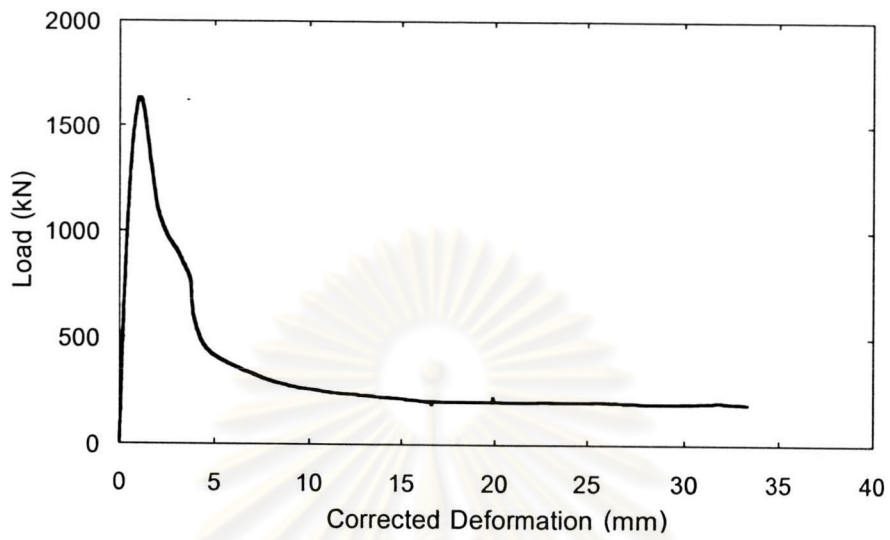
(ง) ตำแหน่ง HO-N



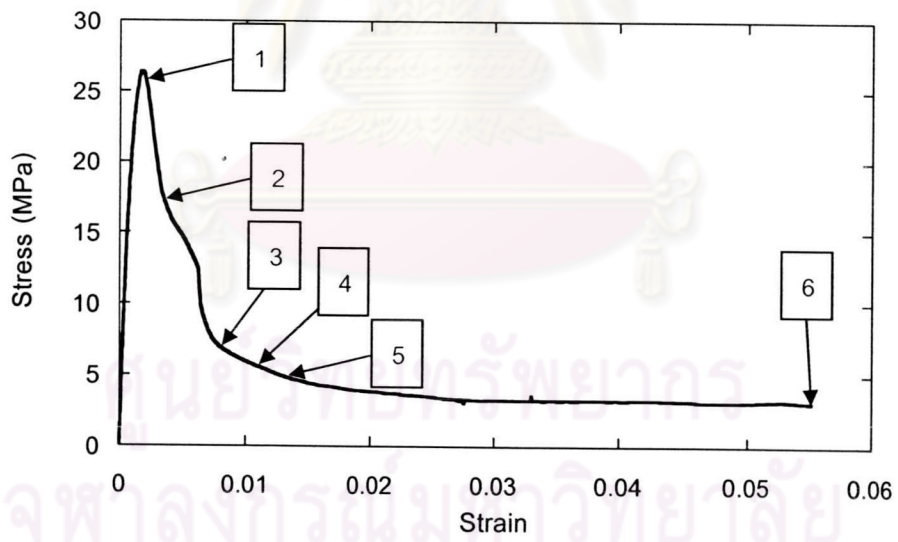
(จ) ตำแหน่ง HI-S

(ฉ) ตำแหน่ง HO-S

รูปที่ 3.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเครียดที่วัดได้จากเกจวัดความเครียดที่ตำแหน่งต่างๆ กับเวลา สำหรับตัวอย่าง CA21-1-3






รูปที่ ง-3.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำกับระยะหดตัวที่ปรับค่าแล้ว



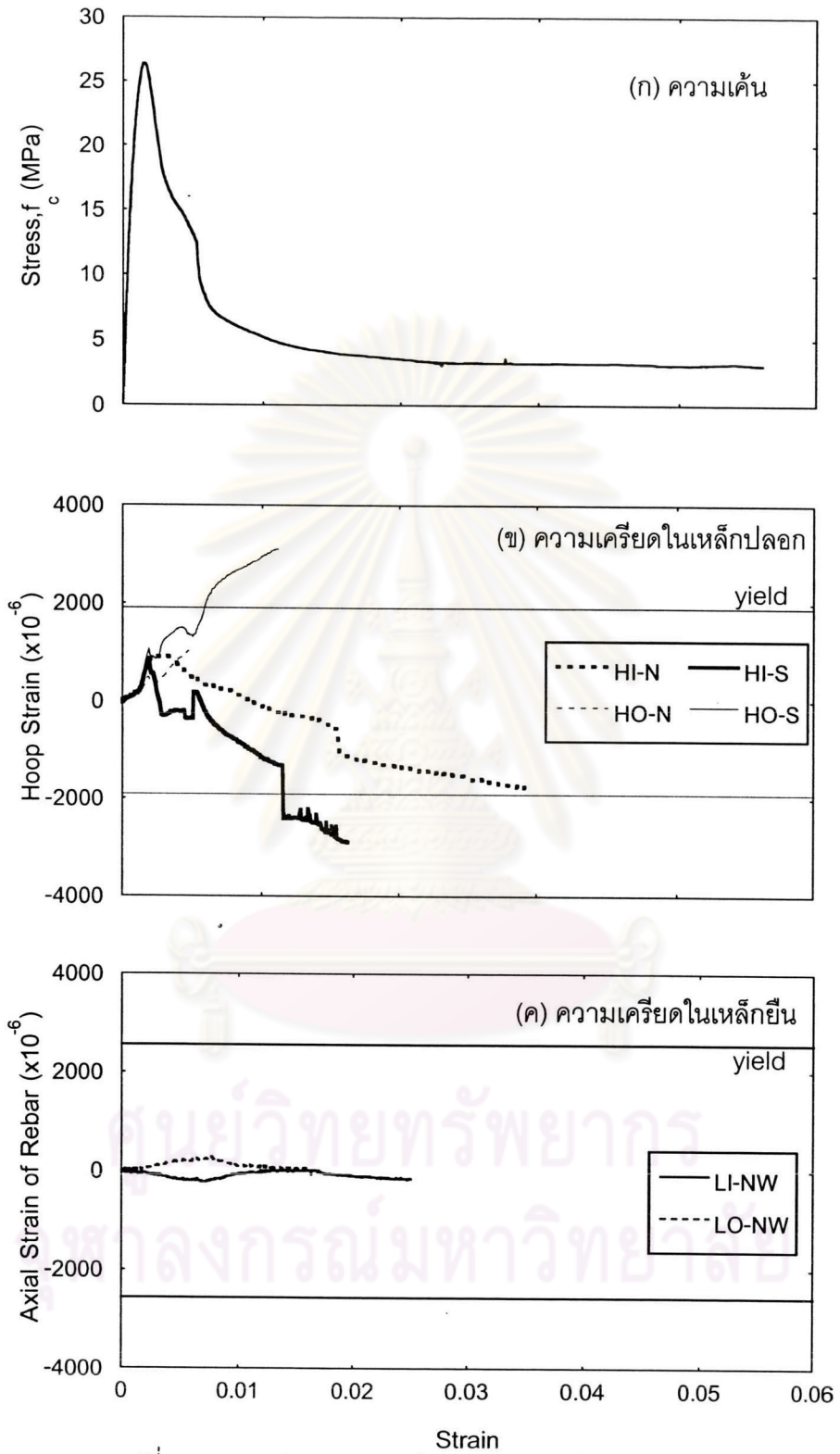
รูปที่ ง-3.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด

ตารางที่ ง-3.1 แสดงพฤติกรรมและภาพถ่ายประกอบที่เหตุการณ์ต่างๆ

เหตุการณ์	พฤติกรรมที่เกิดขึ้น	ภาพถ่ายประกอบ
1	เกิดรอยแตกร้าวตามแนวยาวที่ขอบนอกของตัวอย่างทดสอบ	
2	เกิดรอยแตกร้าวตามขวาง และเริ่มเกิดการกะเทาะออกของคอนกรีต	
3	คอนกรีตกะเทาะออกจนเห็นเหล็กปลอก	
4	คอนกรีตกะเทาะออกมาก และเหล็กปลอกเกิดการโก่งงอจนเสียรูปอย่างชัดเจน	
5	คอนกรีตกะเทาะออกมากจนสามารถเห็นเหล็กยื่น	

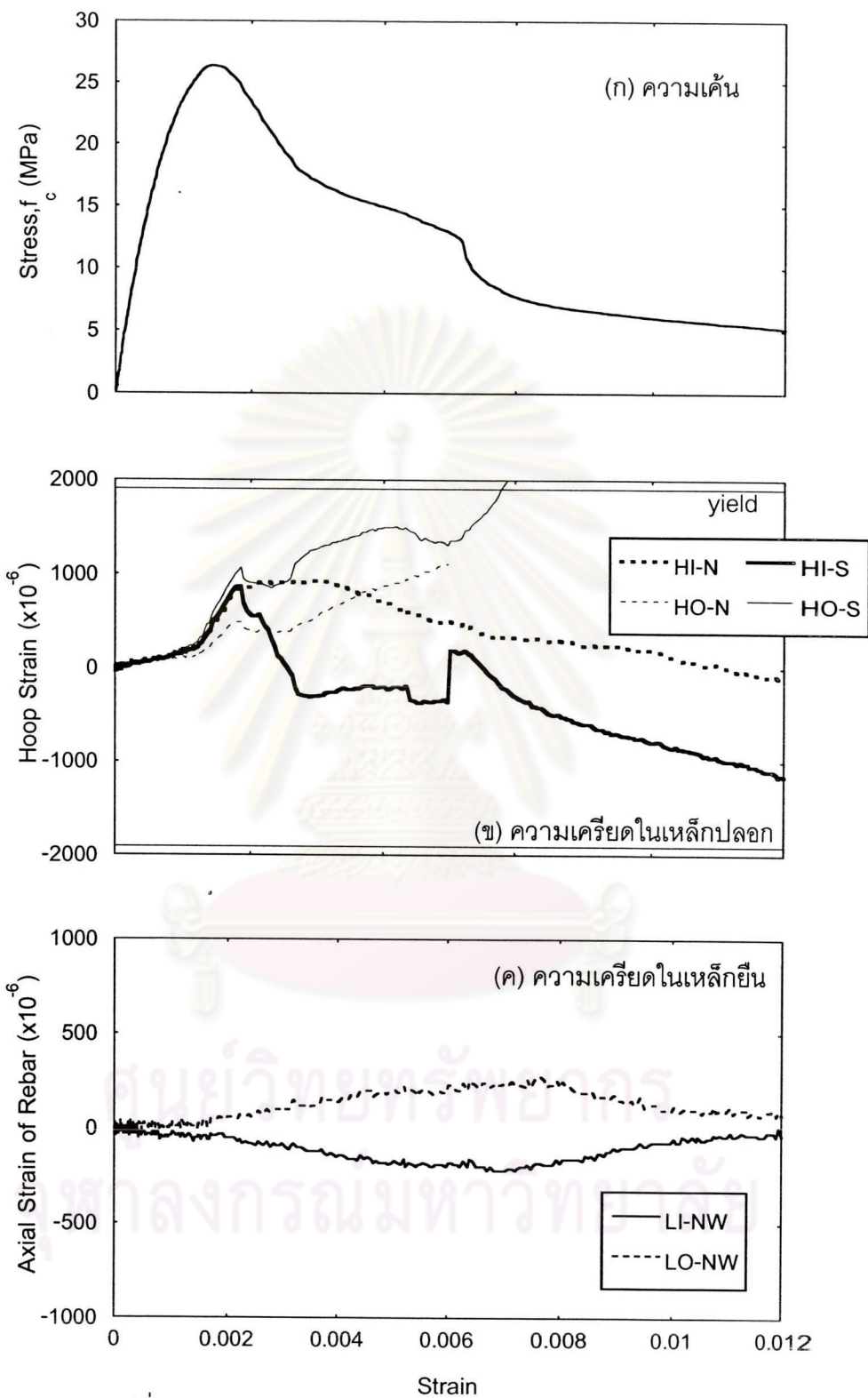
ตารางที่ ง-3.1 แสดงพฤติกรรมและภาพถ่ายประกอบที่เหตุการณ์ต่างๆ (ต่อ)

เหตุการณ์	พฤติกรรมที่เกิดขึ้น	ภาพถ่ายประกอบ
6	<p>ตัวอย่างทดสอบหลังการทดสอบ สังเกตได้ว่าความเสียหายเกิดขึ้นบริเวณชวงกลางของตัวอย่างทดสอบ เหล็กปลอกไม่เกิดการ้าออก แต่จะเกิดการเสียรูปอย่างชัดเจน</p>	

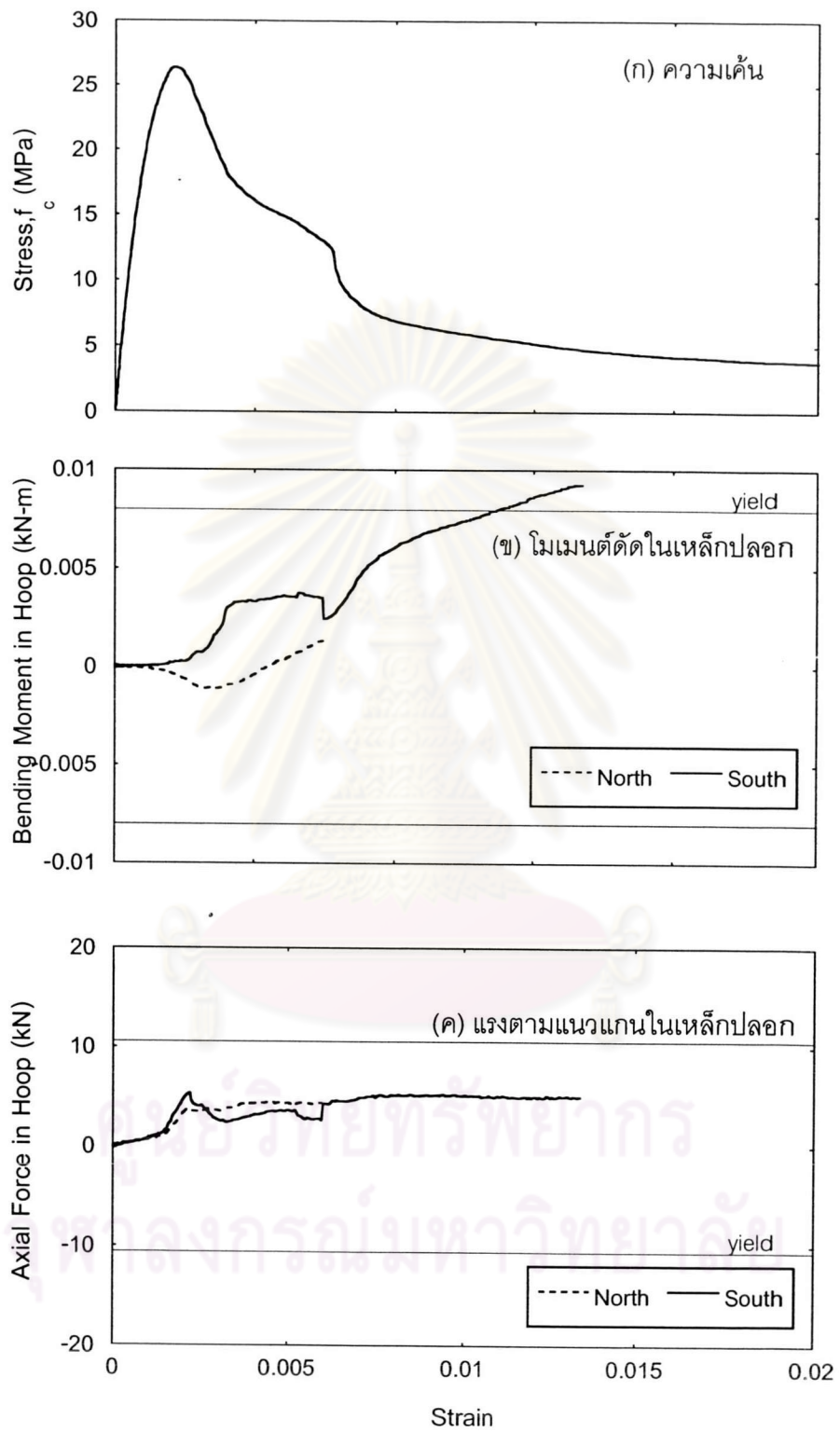


รูปที่ ง-3.5 กราฟแสดงความเค้นและความเครียดในเหล็กเสริม

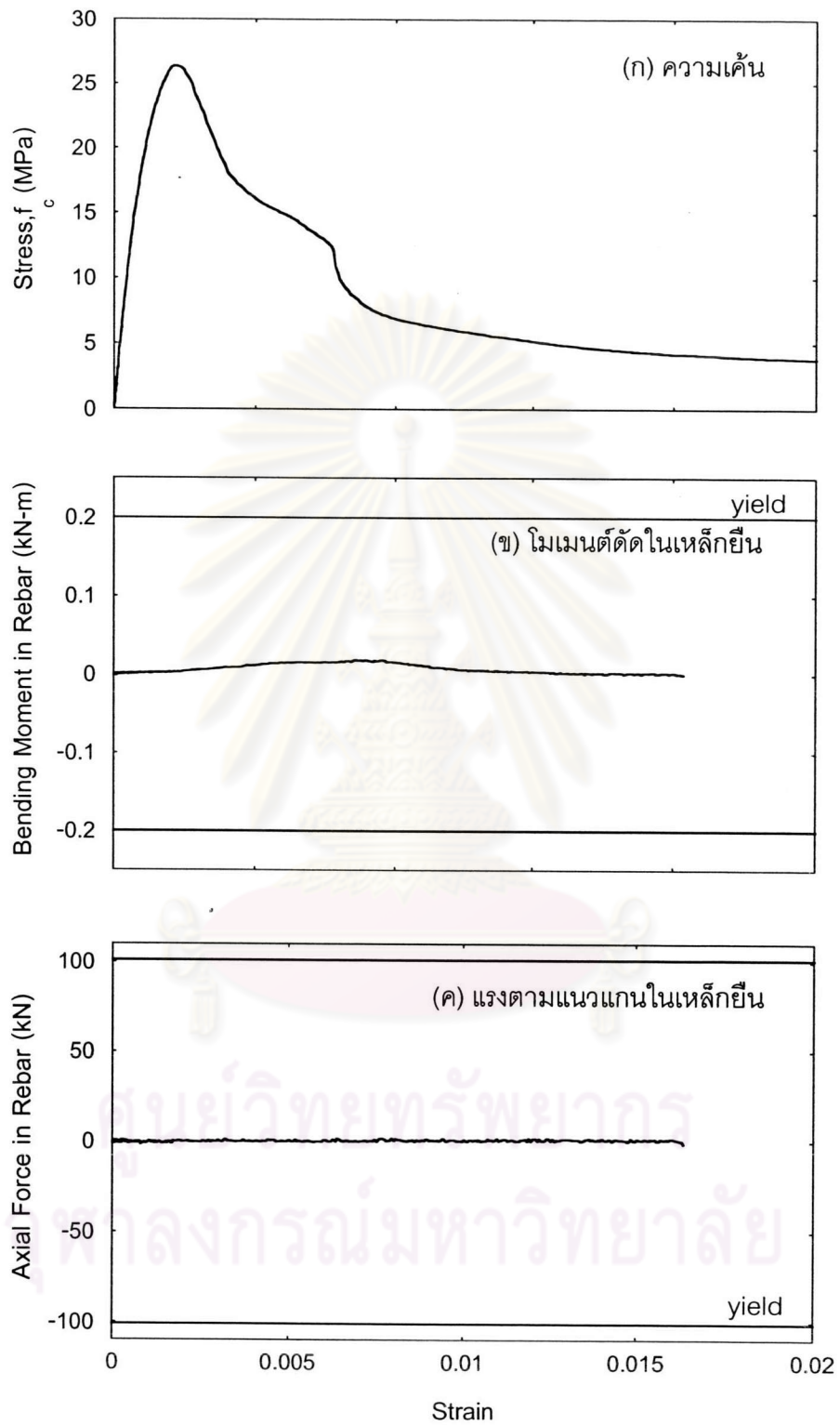
ในช่วงความเครียดตามแนวแกน 0-0.06



รูปที่ 3-6 กราฟแสดงความเค้นและความเครียดในเหล็กเสริม ในช่วงความเครียดตามแนวแกน 0-0.012

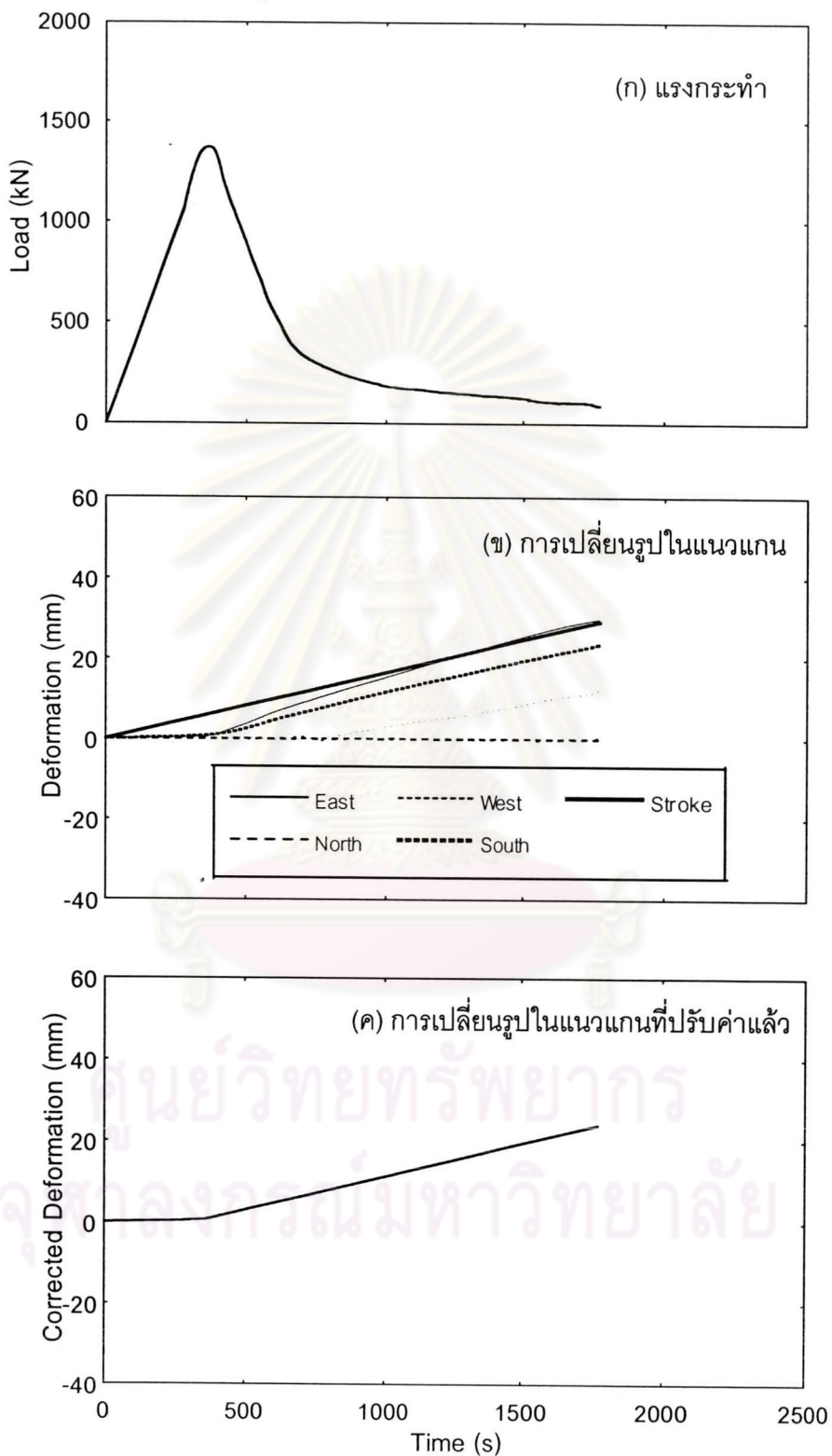


รูปที่ 3-7 กราฟแสดงความเค้น โมเมนต์ดัด และแรงตามแนวแกนในเหล็กเสริม

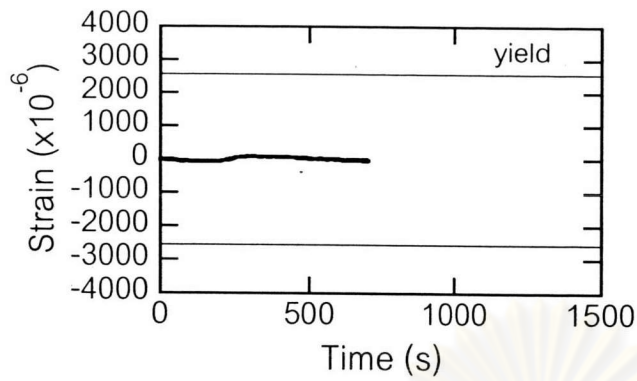


รูปที่ ง-3.8 กราฟแสดงความเค้น โมเมนต์ดัด และแรงตามแนวแกนในเหล็กยื่น

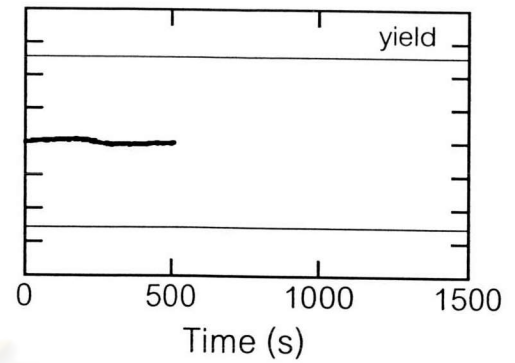
ภาคผนวก ง-4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากตัวอย่างทดสอบ CB21-1-3



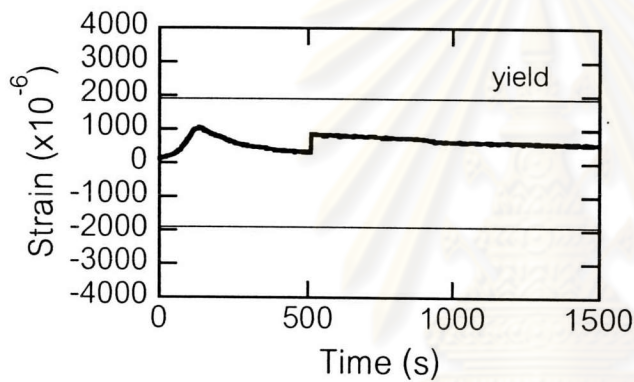
รูปที่ ง-4.1 กราฟแสดงแรงกระทำและการเปลี่ยนรูปในแนวแกนที่วัดได้จากเครื่องมือวัด



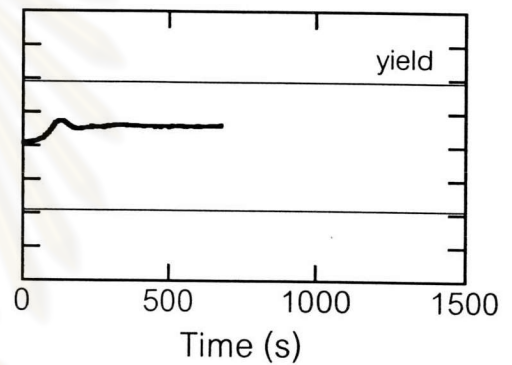
(ก) ตำแหน่ง LI-NW



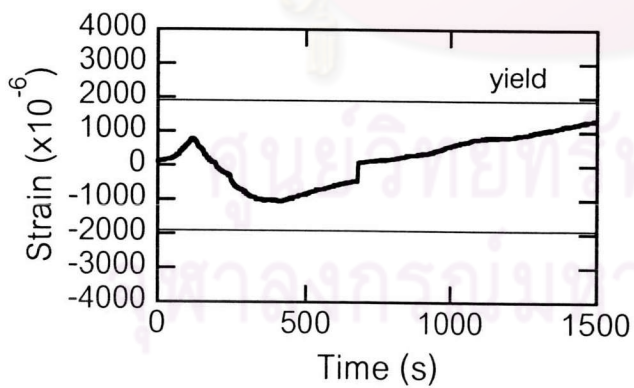
(ข) ตำแหน่ง LO-NW



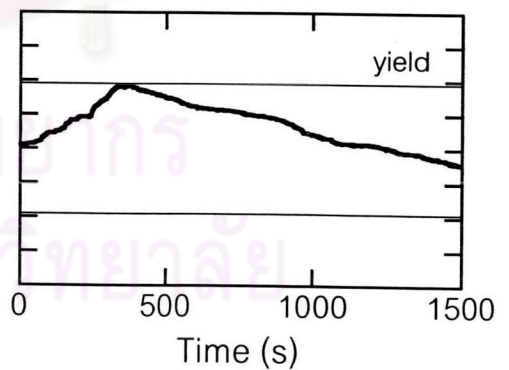
(ค) ตำแหน่ง HI-N



(ง) ตำแหน่ง HO-N

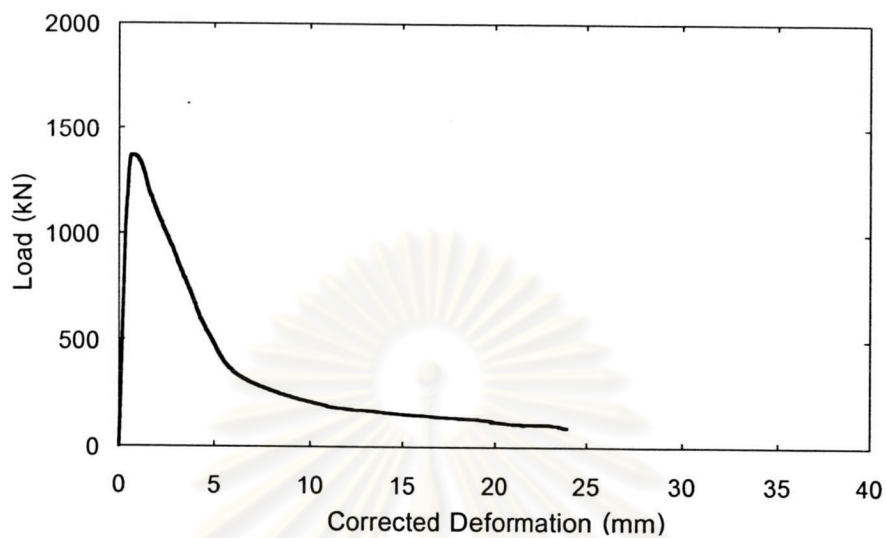


(จ) ตำแหน่ง HI-S

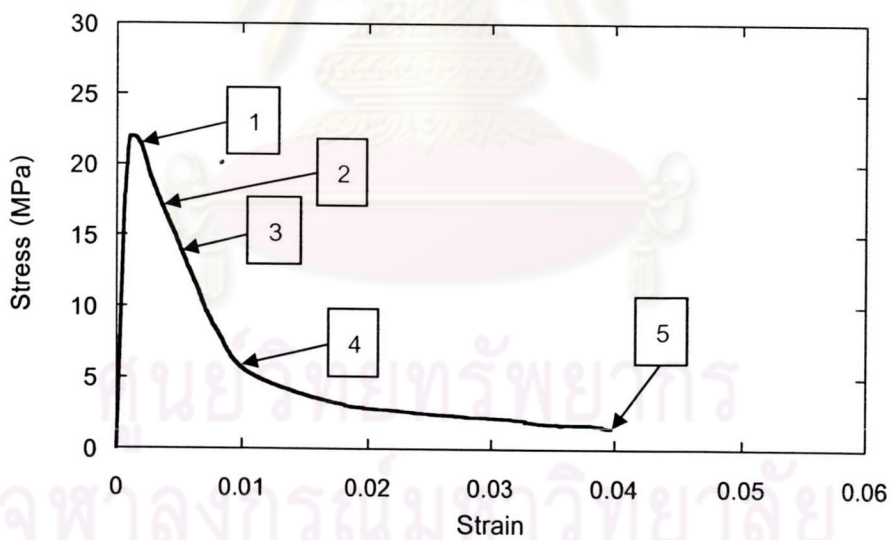


(ฉ) ตำแหน่ง HO-S

รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเครียดที่วัดได้จากเกจวัดความเครียดที่ตำแหน่งต่างๆ กับเวลา

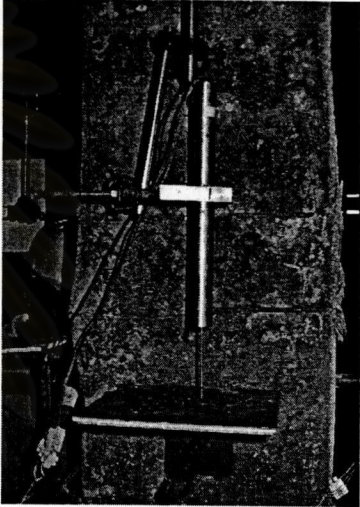
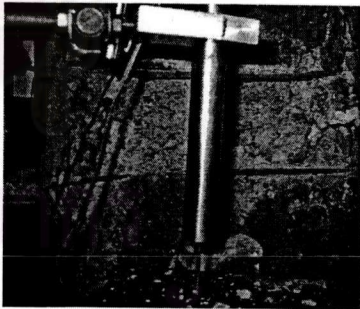


รูปที่ ง-4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำกับระยะหดตัวที่ปรับค่าแล้ว

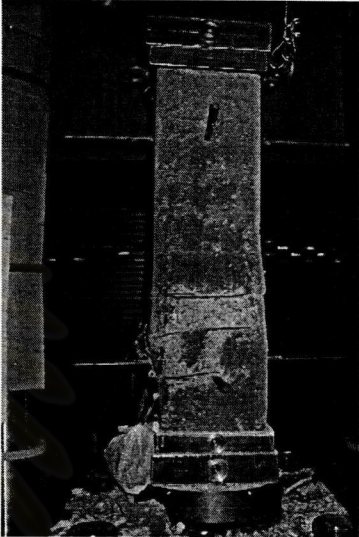


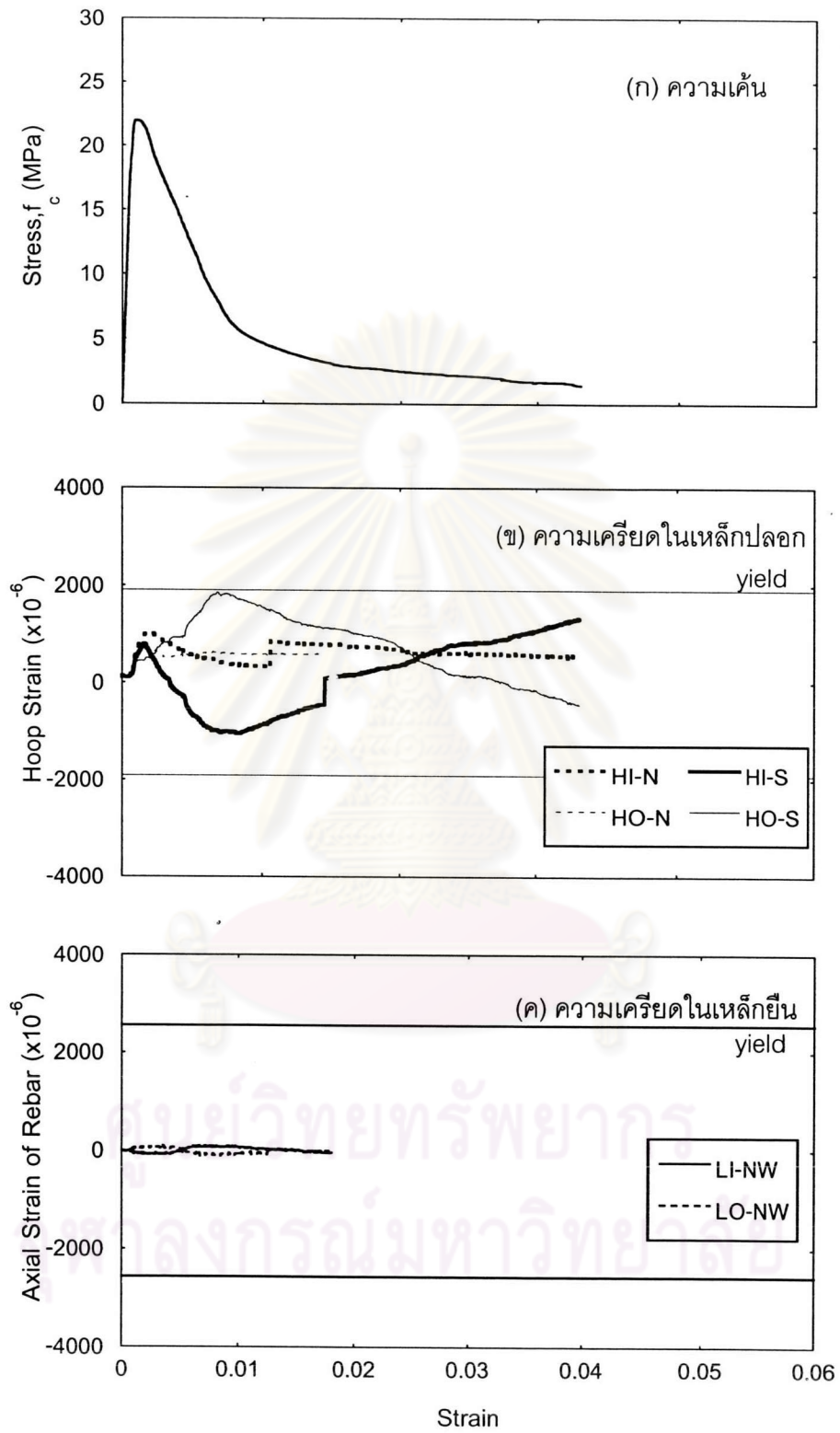
รูปที่ ง-4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด

ตารางที่ ง-4.1 แสดงพฤติกรรมและภาพถ่ายประกอบที่เหตุการณ์ต่างๆ

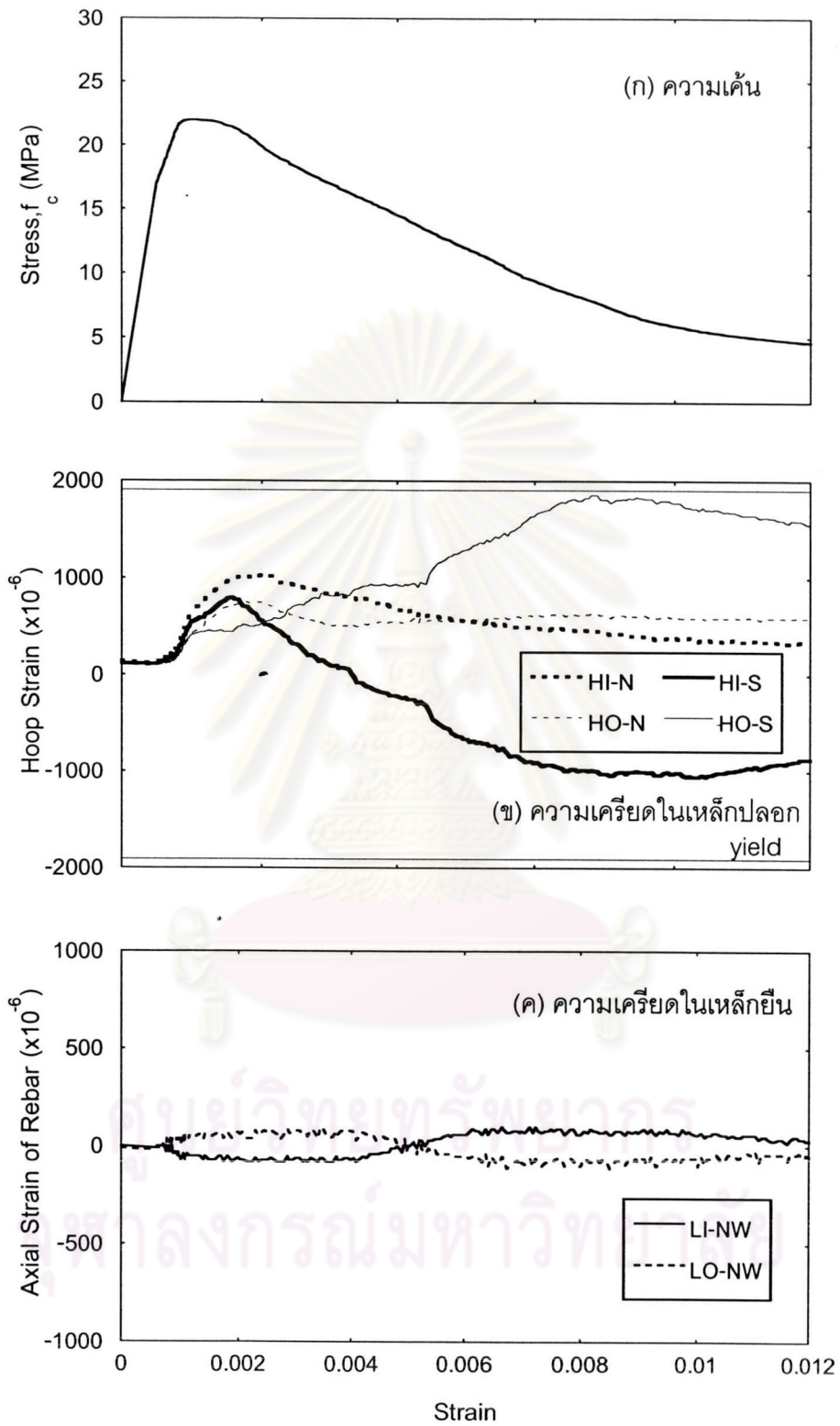
เหตุการณ์	พฤติกรรมที่เกิดขึ้น	ภาพถ่ายประกอบ
1	เกิดรอยแตกร้าวตามแนวยาวที่ขอบนอกของตัวอย่างทดสอบ	
2	เกิดรอยแตกร้าวตามขวาง และเริ่มเกิดการกะเทาะออกของคอนกรีต	
3	คอนกรีตกะเทาะออกจนเห็นเหล็กปลอก	
4	คอนกรีตกะเทาะออกมากขึ้น และเห็นเหล็กปลอกเริ่มแอ่อกเล็กน้อย	

ตารางที่ ง-4.1 แสดงพฤติกรรมและภาพถ่ายประกอบที่เหตุการณ์ (ต่อ)

เหตุการณ์	พฤติกรรมที่เกิดขึ้น	ภาพถ่ายประกอบ
5	<p>ตัวอย่างทดสอบหลังการทดสอบ สังเกต ได้ว่าความเสียหายเกิดขึ้นบริเวณ ส่วนล่างของตัวอย่างทดสอบ และเหล็ก ปลอกเกิดการแอ่อกเพียงเล็กน้อย เท่านั้น แต่จะเกิดการเสียรูปอย่างชัดเจน</p>	

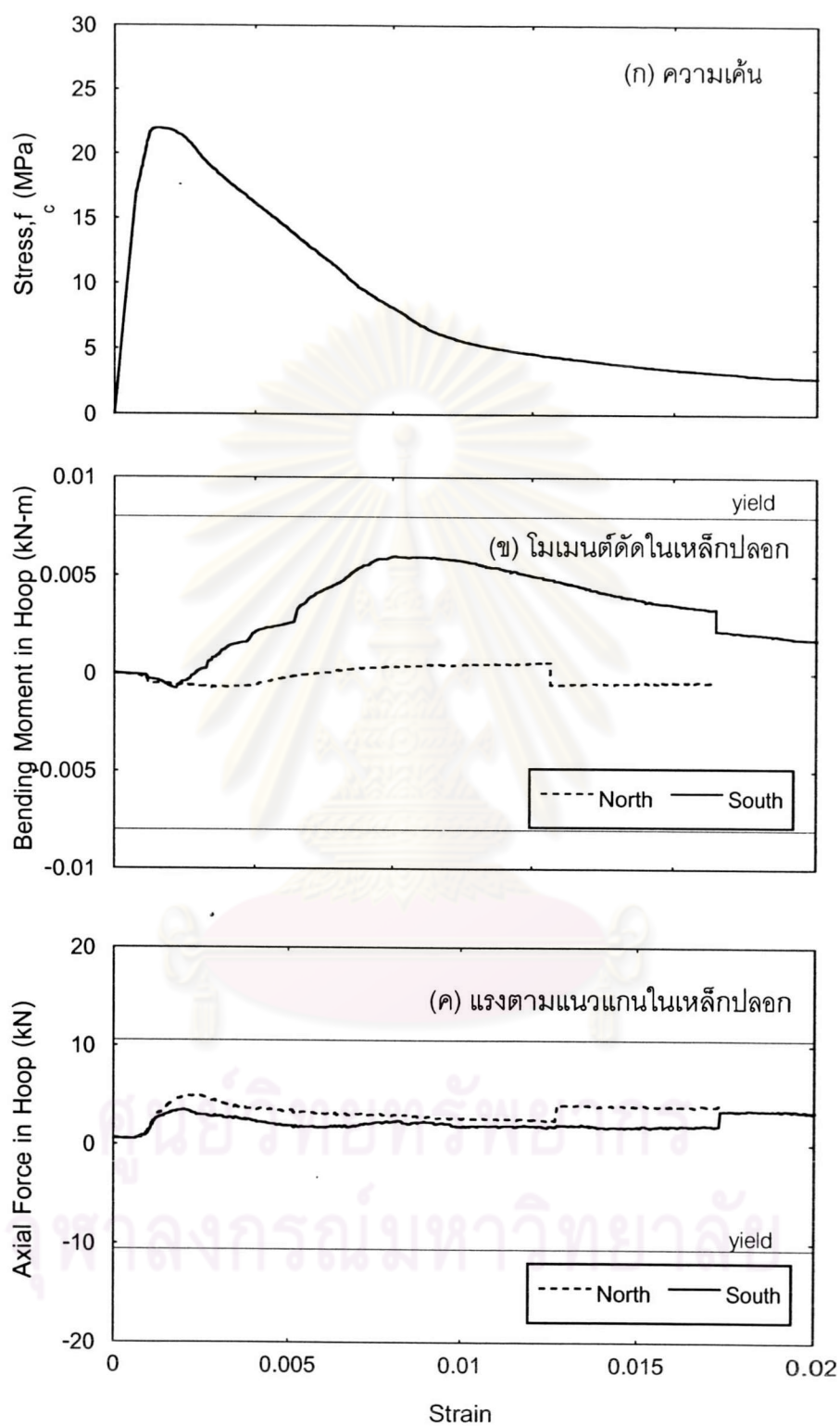


รูปที่ ง-4.5 กราฟแสดงความเค้นและความเครียดในเหล็กเสริม ในช่วงความเครียดตามแนวแกน 0-0.06

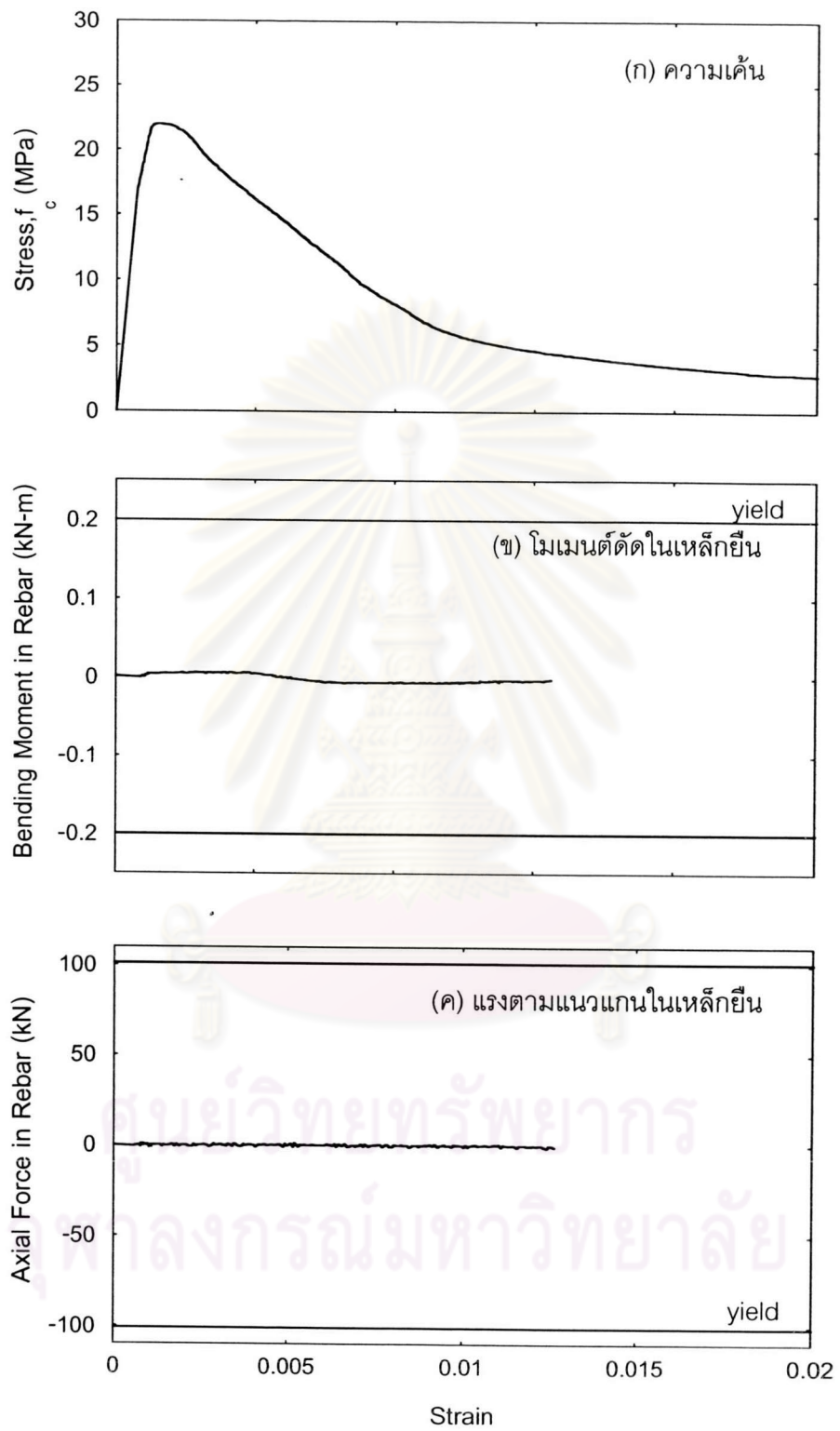


รูปที่ ง-4.6 กราฟแสดงความเค้นและความเครียดในเหล็กเสริม

ในช่วงความเครียดตามแนวนอน 0-0.012

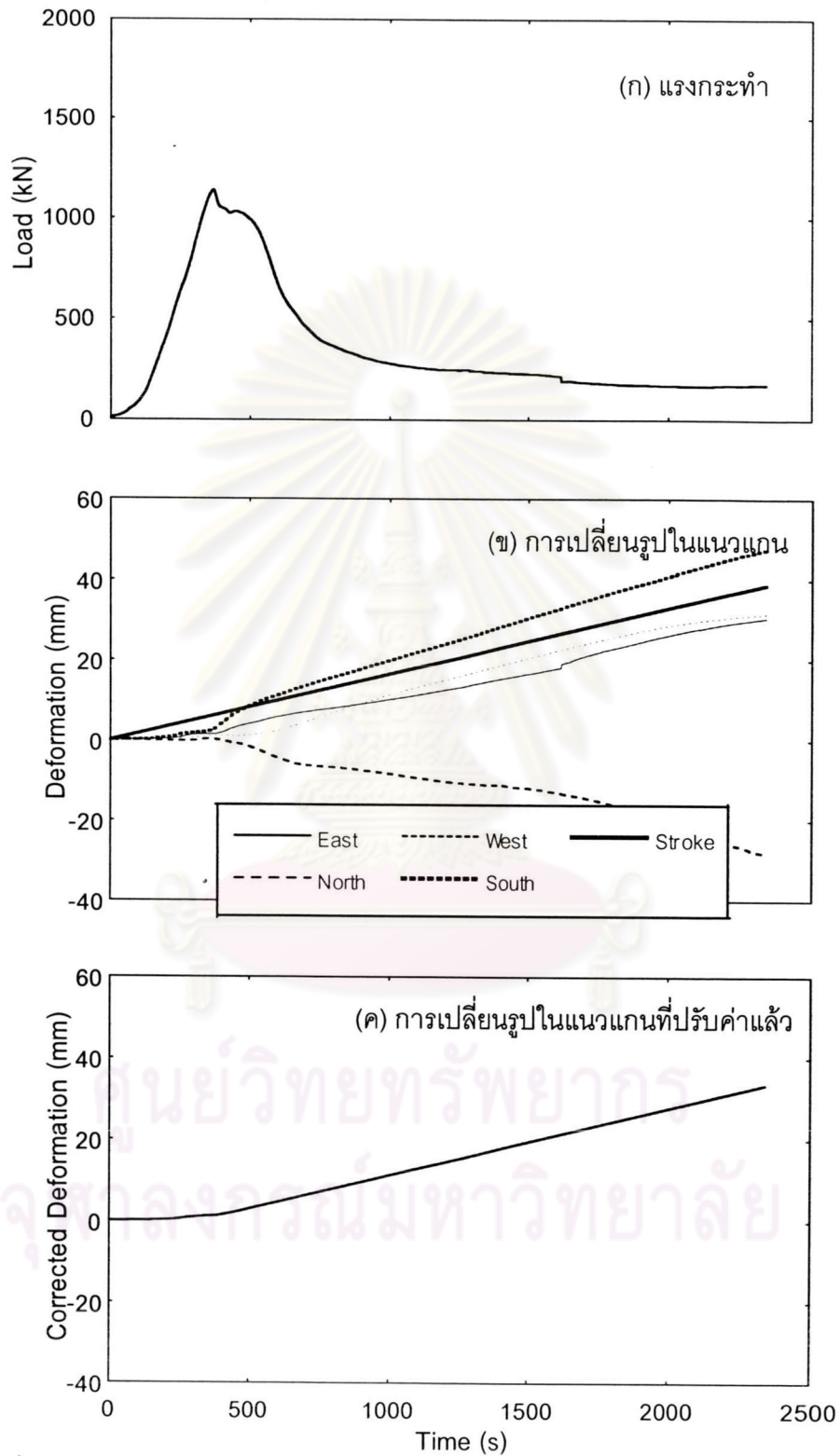


รูปที่ 4-7 กราฟแสดงความเค้น โมเมนต์ดัด และแรงตามแนวแกนในเหล็กเสริม

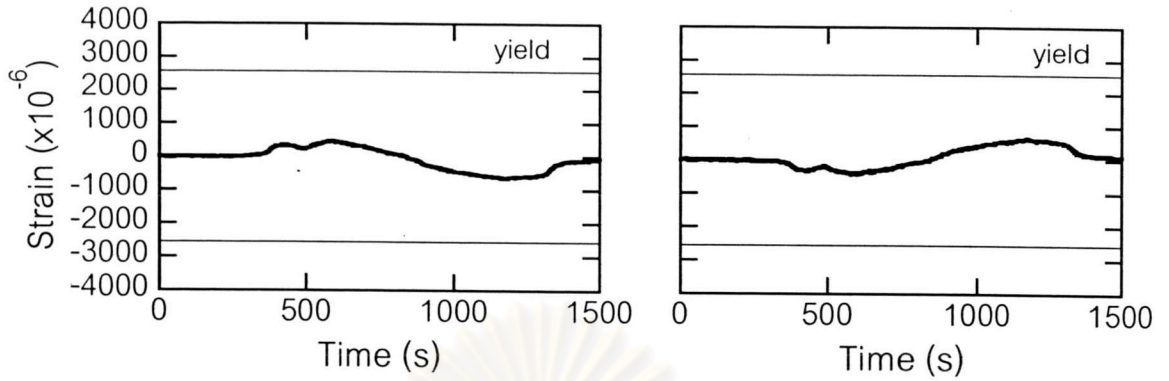


รูปที่ 4-8 กราฟแสดงความเค้น โมเมนต์ดัด และแรงตามแนวแกนในเหล็กยื่น

ภาคผนวก ง-5 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากตัวอย่างทดสอบ CA21-1-1

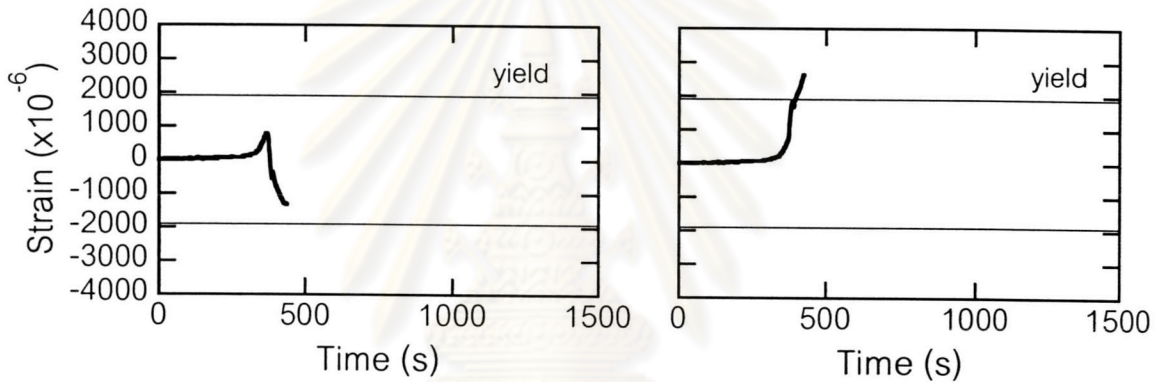


รูปที่ ง-5.1 กราฟแสดงแรงกระทำและการเปลี่ยนรูปในแนวแกนที่วัดได้จากเครื่องมือวัด



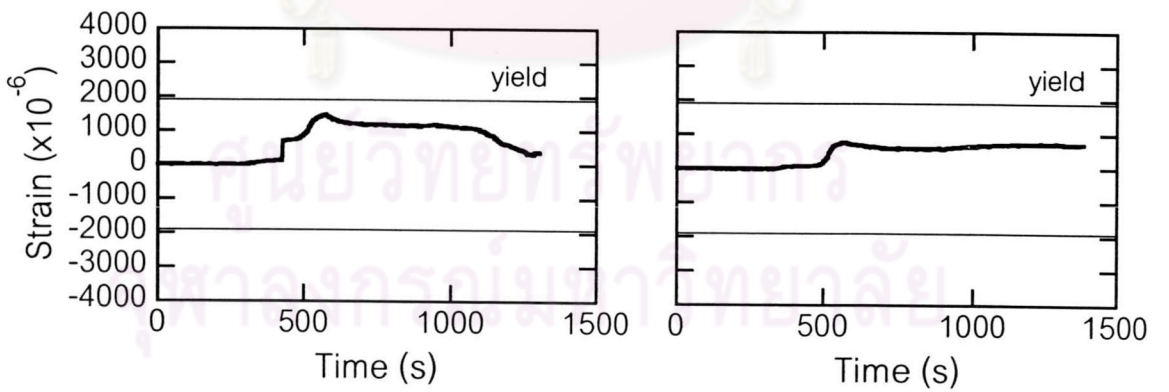
(ก) ตำแหน่ง LI-NW

(ข) ตำแหน่ง LO-NW



(ค) ตำแหน่ง HI-N

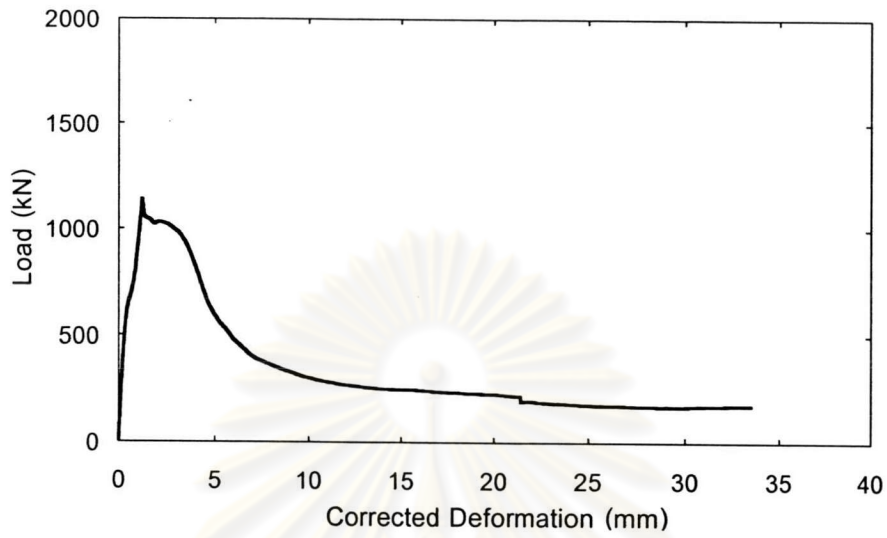
(ง) ตำแหน่ง HO-N



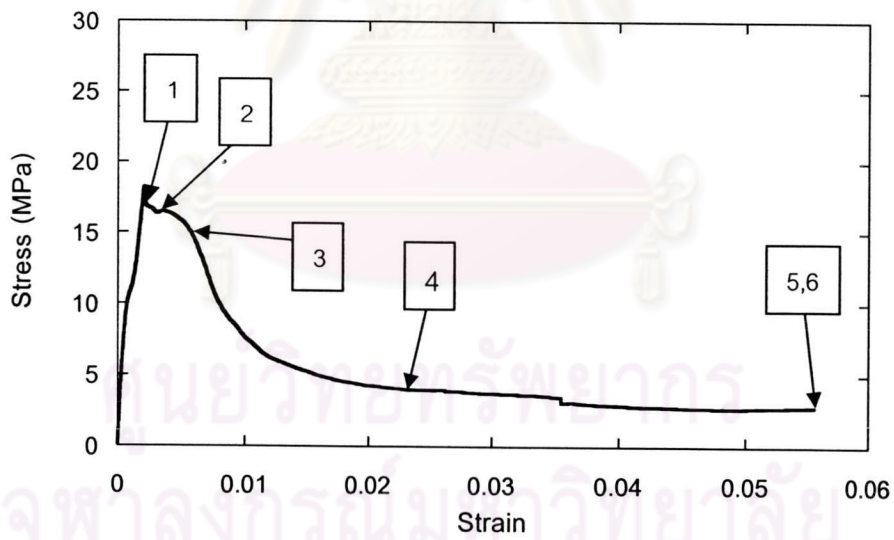
(จ) ตำแหน่ง HI-S

(ฉ) ตำแหน่ง HO-S

รูปที่ 5.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเครียดที่วัดได้จากเกจวัดความเครียดที่ตำแหน่งต่างๆ กับเวลา

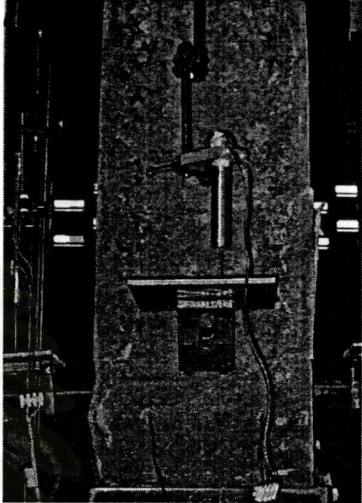
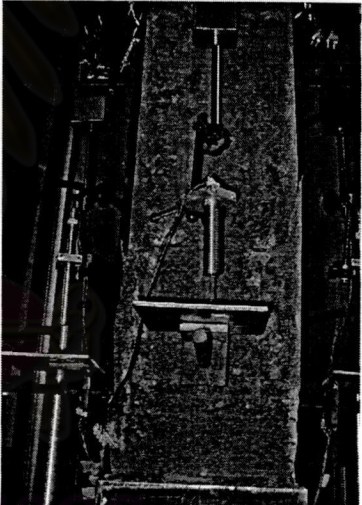


รูปที่ ง-5.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำกับระยะหดตัวที่ปรับค่าแล้ว

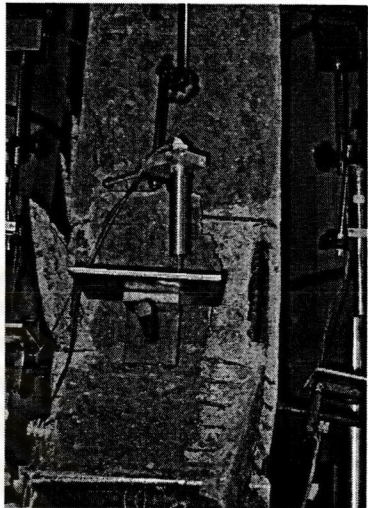
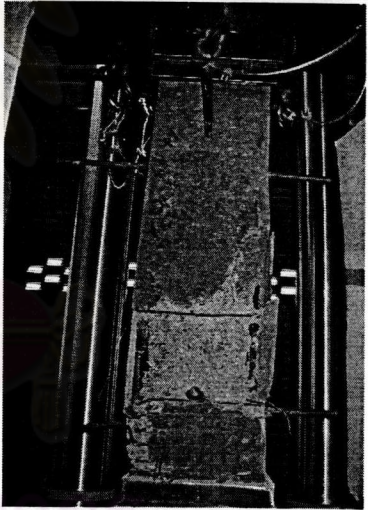
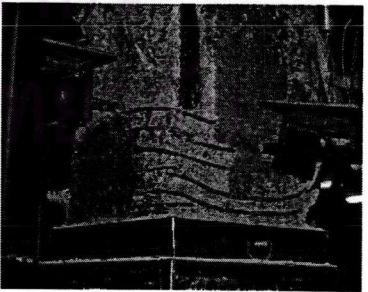


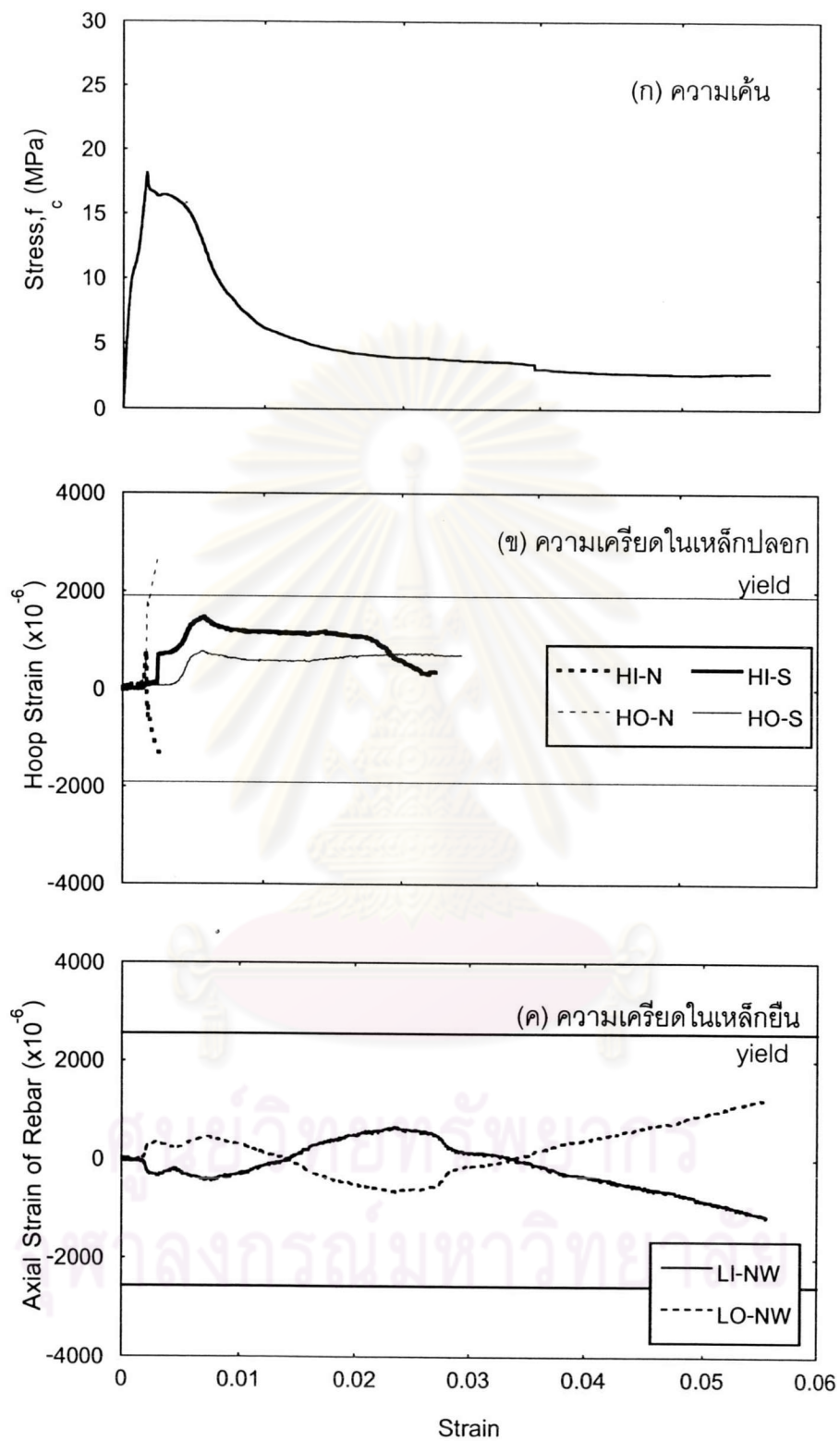
รูปที่ ง-5.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด

ตารางที่ ง-5.1 แสดงพฤติกรรมและภาพถ่ายประกอบที่เหตุการณ์ต่างๆ

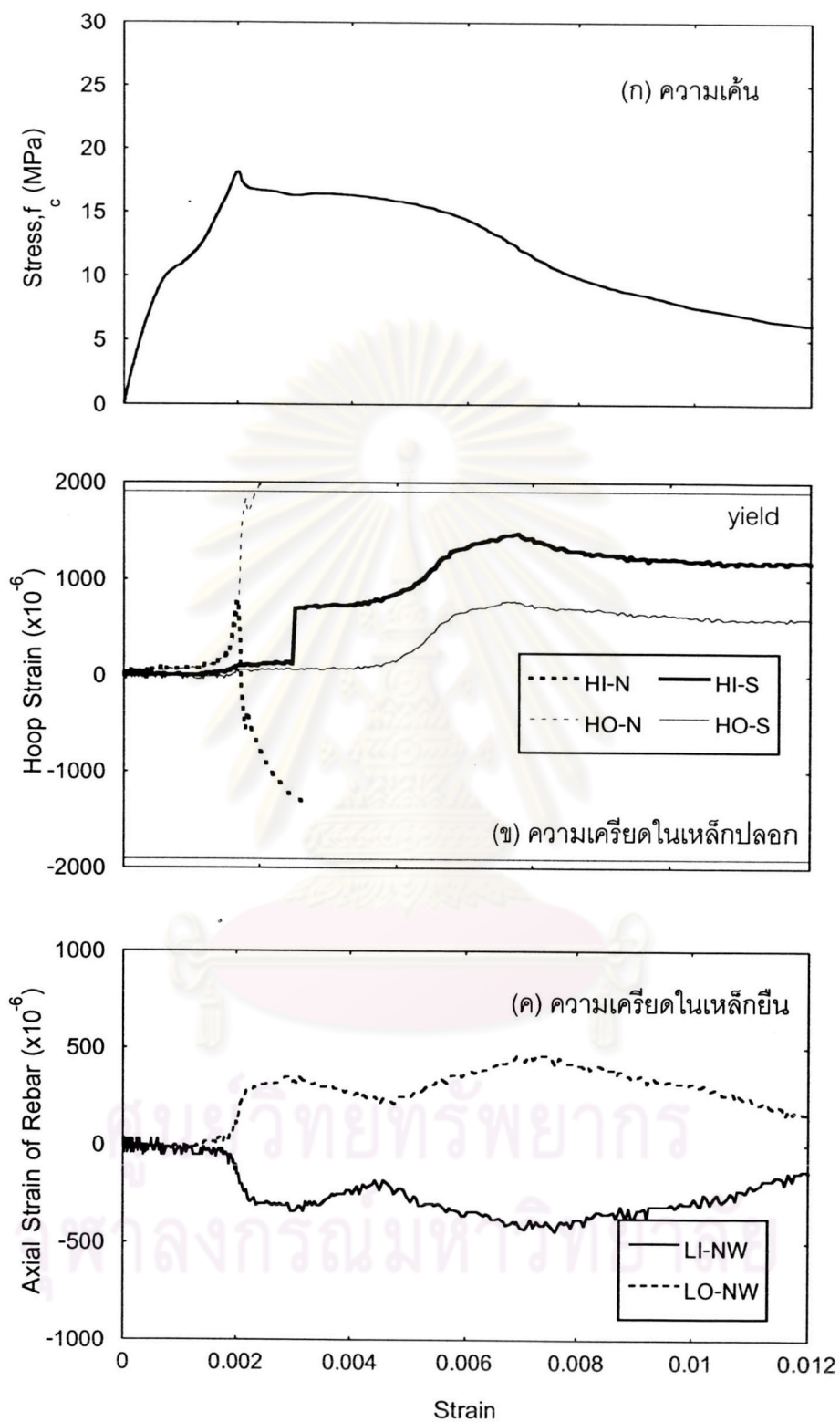
เหตุการณ์	พฤติกรรมที่เกิดขึ้น	ภาพถ่ายประกอบ
1	เกิดรอยแตกร้าวตามแนวยาวที่ขอบนอกของตัวอย่างทดสอบ	
2	เกิดรอยแตกร้าวตามขวาง และเริ่มเกิดการกะเทาะออกของคอนกรีต	
3	คอนกรีตกะเทาะออกมากขึ้นจนเห็นเหล็กปลอก	

ตารางที่ ง-5.1 แสดงพฤติกรรมและภาพถ่ายประกอบที่เหตุการณ์ (ต่อ)

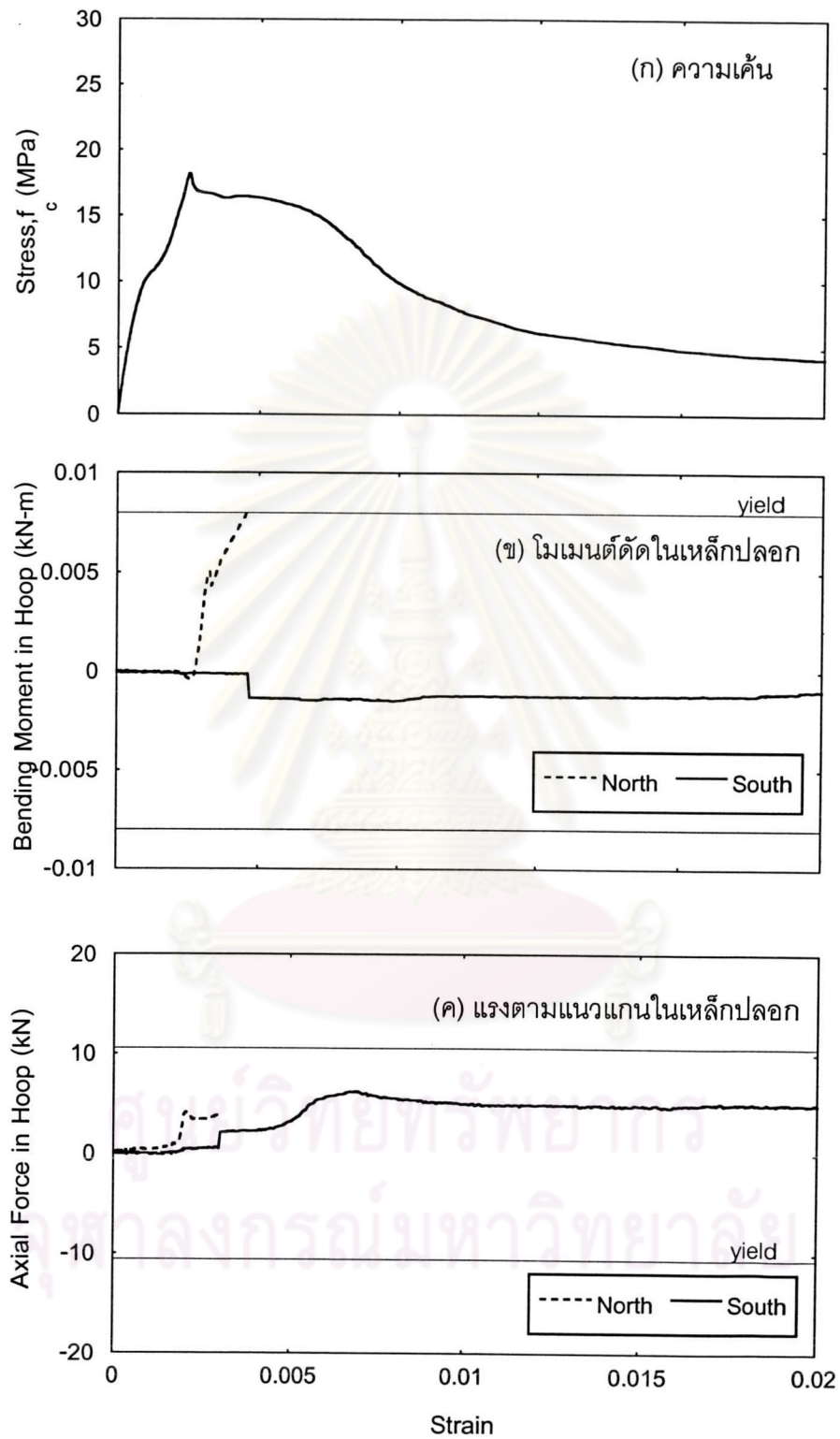
เหตุการณ์	พฤติกรรมที่เกิดขึ้น	ภาพถ่ายประกอบ
4	คอนกรีตกะเทาะออกเป็นแผ่นขนาดใหญ่ และสามารถมองเห็นเหล็กยื่น	
5	ตัวอย่างทดสอบหลังการทดสอบ สังเกตได้ว่าความเสียหายเกิดขึ้นบริเวณส่วนล่างของตัวอย่างทดสอบ เหล็กปลอกไม่เกิดการแอ่นออกเพียงเล็กน้อยเท่านั้น แต่จะเกิดการเสียรูปอย่างชัดเจนที่ส่วนล่างของตัวอย่างทดสอบ อีกทั้งยังสังเกตเห็นว่าการกะเทาะออกของคอนกรีตเข้าไปในส่วนที่เป็นแกนคอนกรีต	
6	เหล็กปลอกส่วนล่างเกิดการเสียรูปอย่างชัดเจน คือเกิดการโก่งงอตามทิศทางของแรงกระทำ	



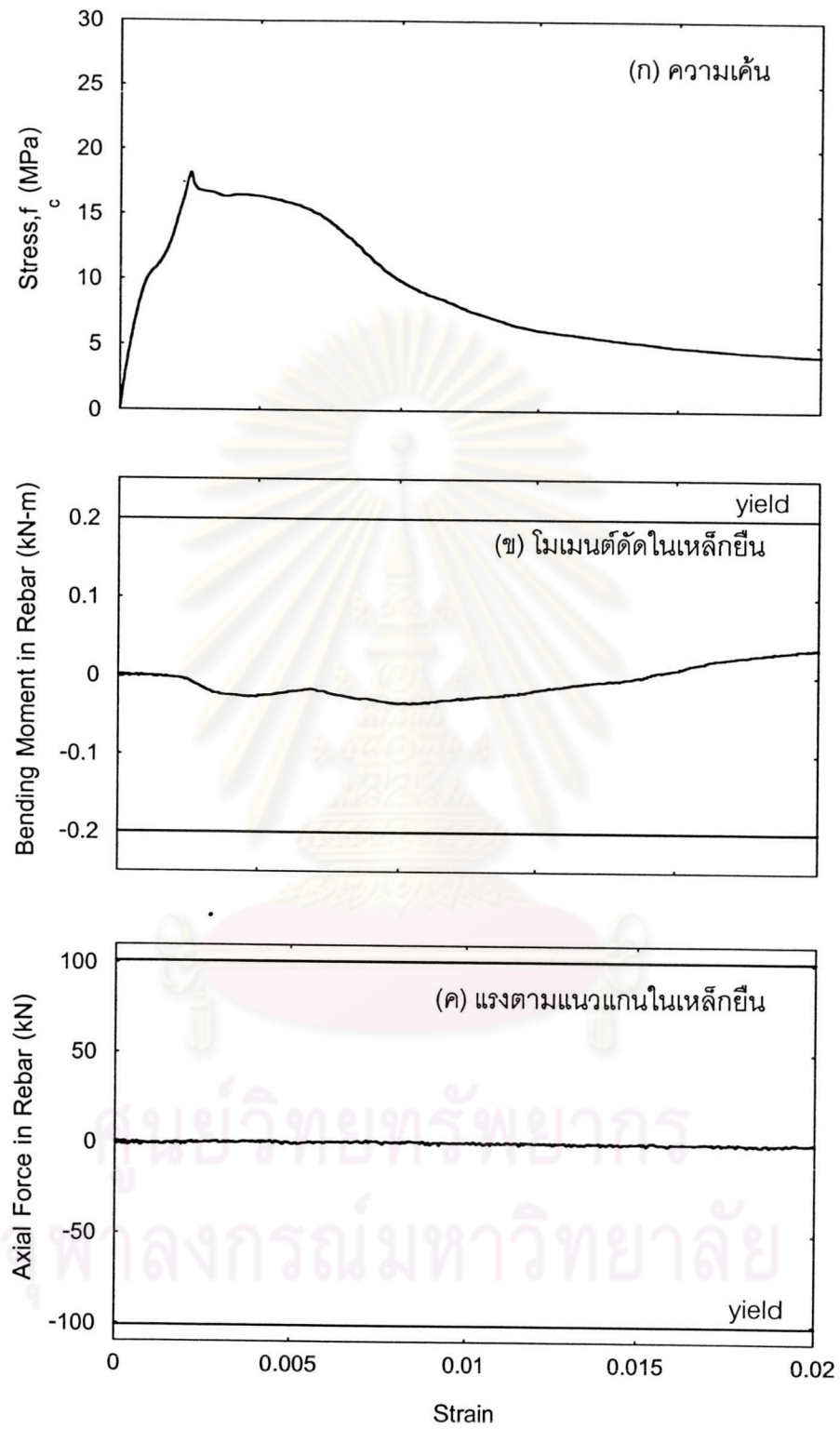
รูปที่ ง-5.5 กราฟแสดงความเค้นและความเคียดในเหล็กเสริม
ในช่วงความเคียดตามแนวแกน 0-0.06



รูปที่ ง-5.6 กราฟแสดงความเค้นและความเครียดในเหล็กเสริม
ในช่วงความเครียดตามแนวแกน 0-0.012

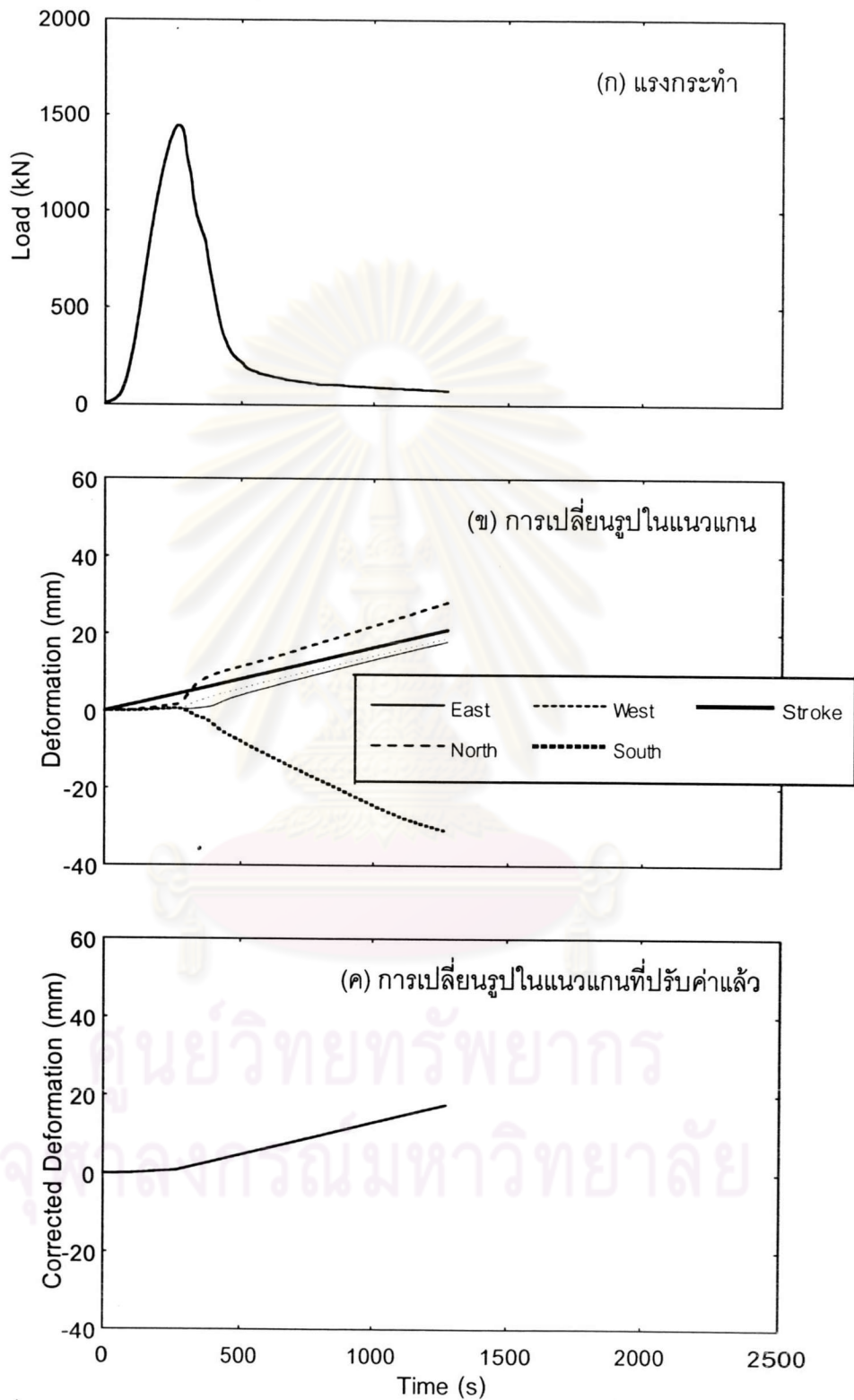


รูปที่ ง-5.7 กราฟแสดงความเค้น โมเมนต์ดัด และแรงตามแนวแกนในเหล็กเสริม

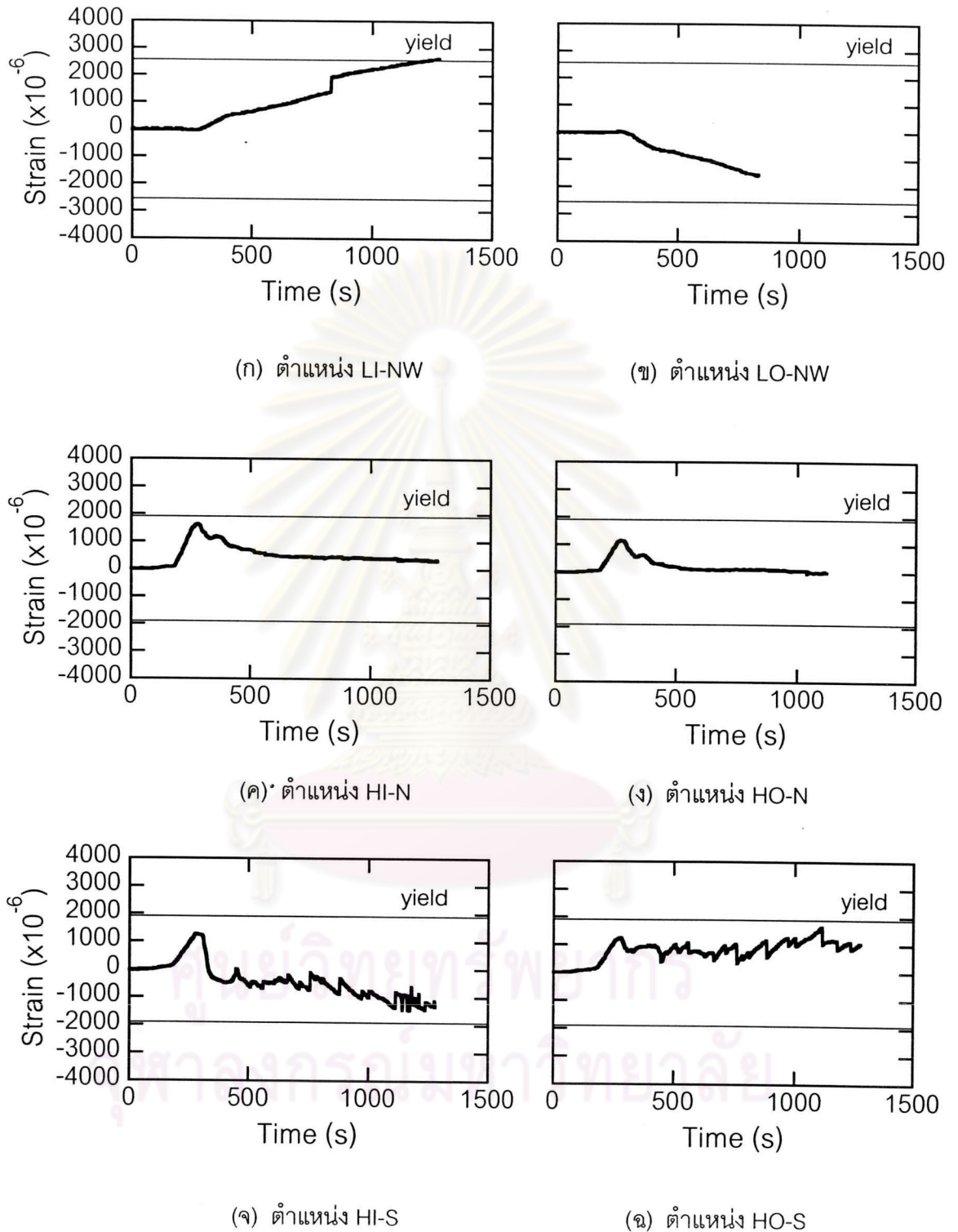


รูปที่ ง-5.8 กราฟแสดงความเค้น โมเมนต์ดัด และแรงตามแนวแกนในเหล็กยื่น

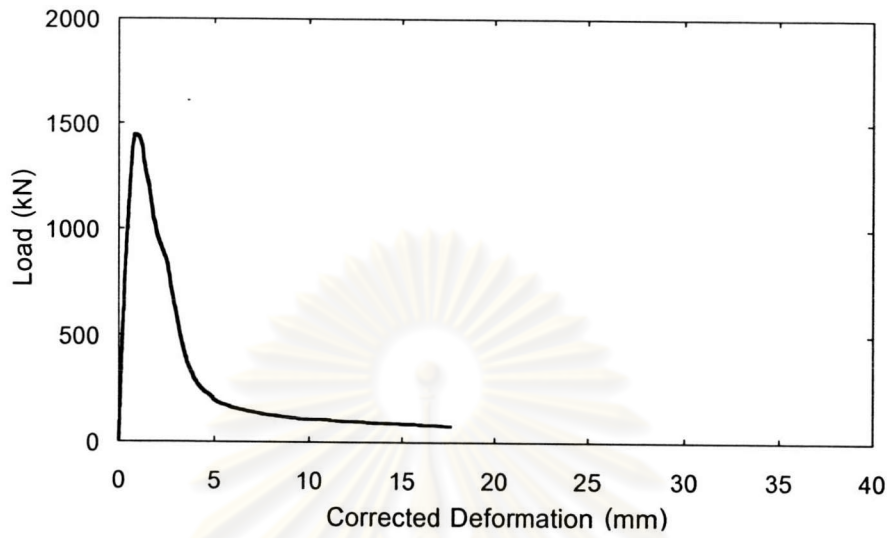
ภาคผนวก ง-6 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากตัวอย่างทดสอบ CB21-1-1



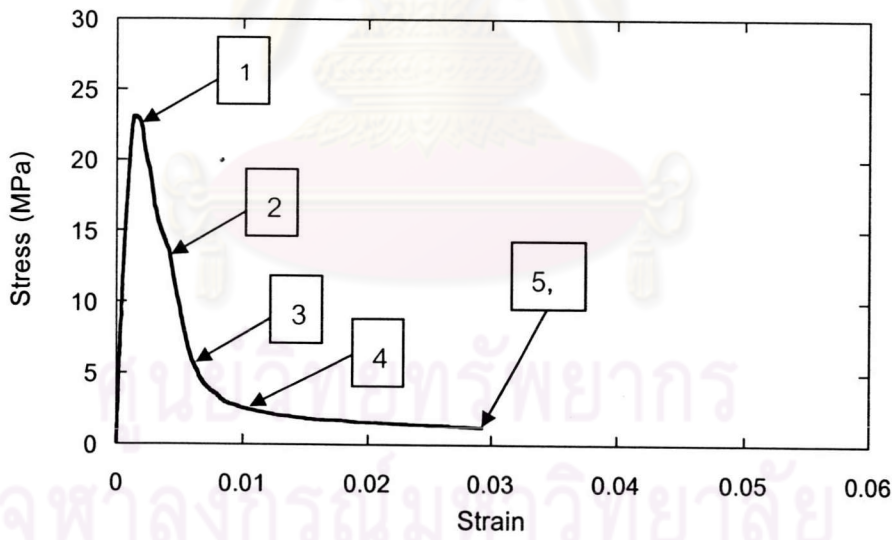
รูปที่ ง-6.1 กราฟแสดงแรงกระทำและการเปลี่ยนรูปในแนวแกนที่วัดได้จากเครื่องมือวัด



รูปที่ 6.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเครียดที่วัดได้จากเกจวัดความเครียดที่ตำแหน่งต่างๆ กับเวลา

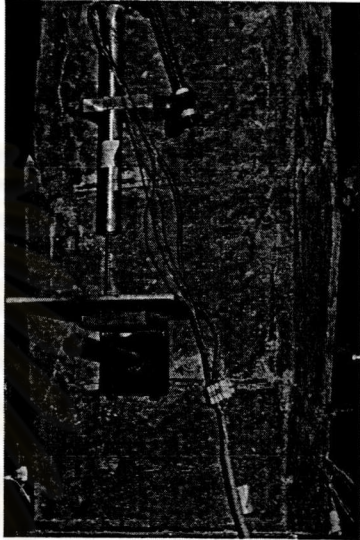
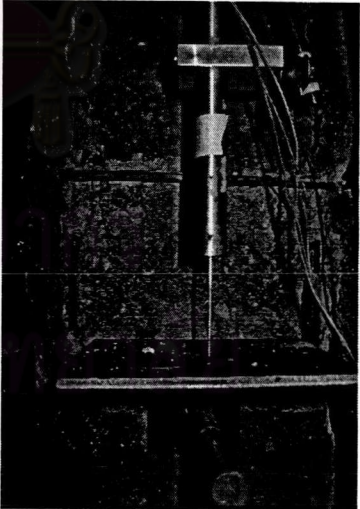


รูปที่ ง-6.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำกับระยะหดตัวที่ปรับค่าแล้ว

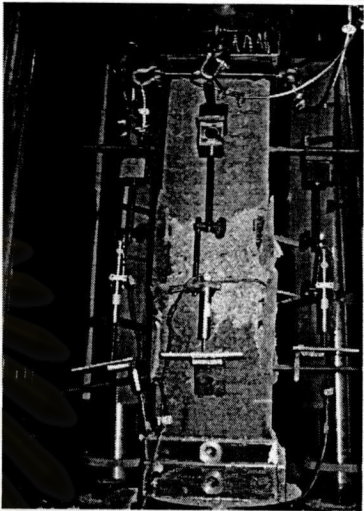


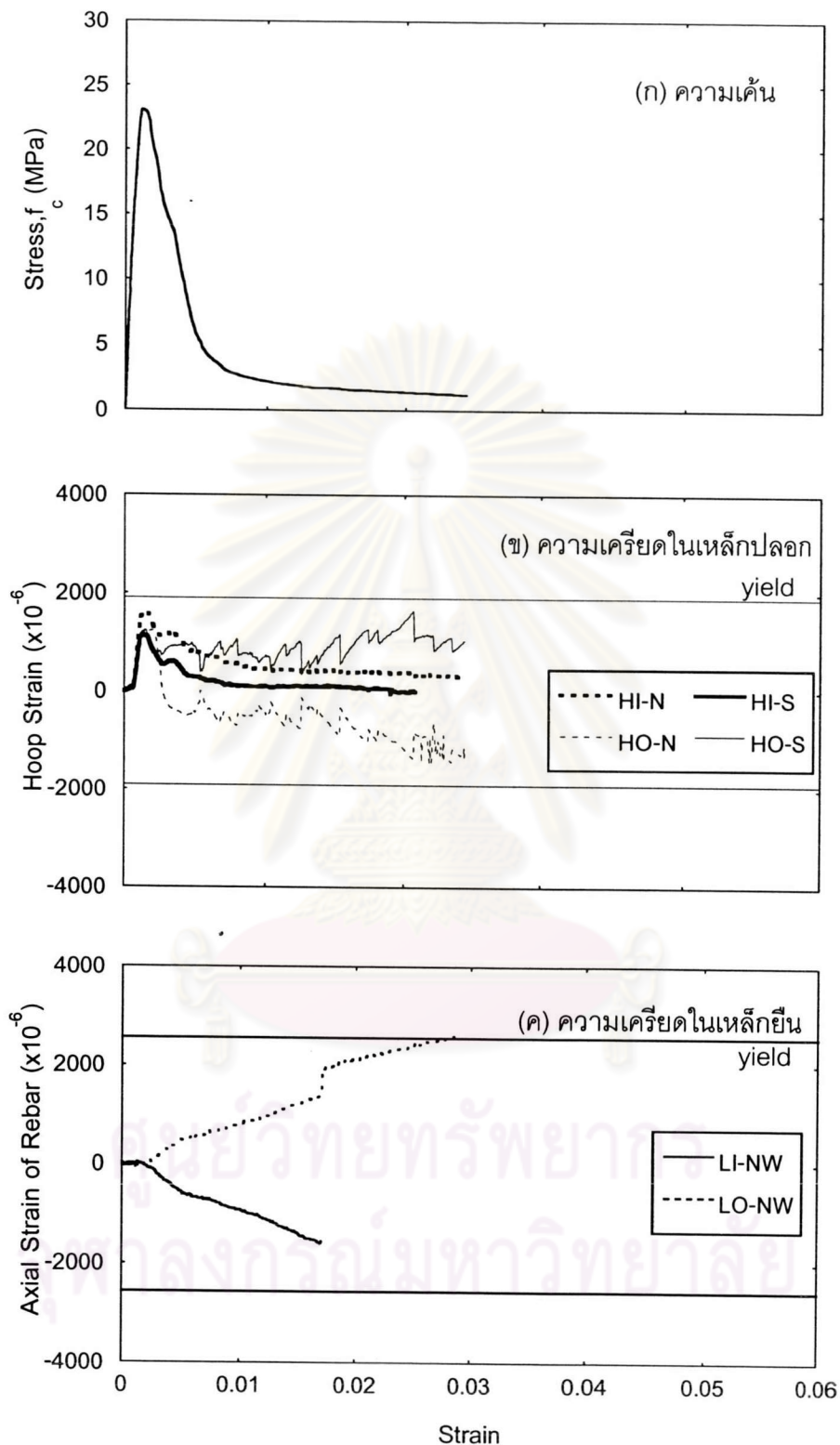
รูปที่ ง-6.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด

ตารางที่ ง-6.1 แสดงพฤติกรรมและภาพถ่ายประกอบที่เหตุการณ์ต่างๆ

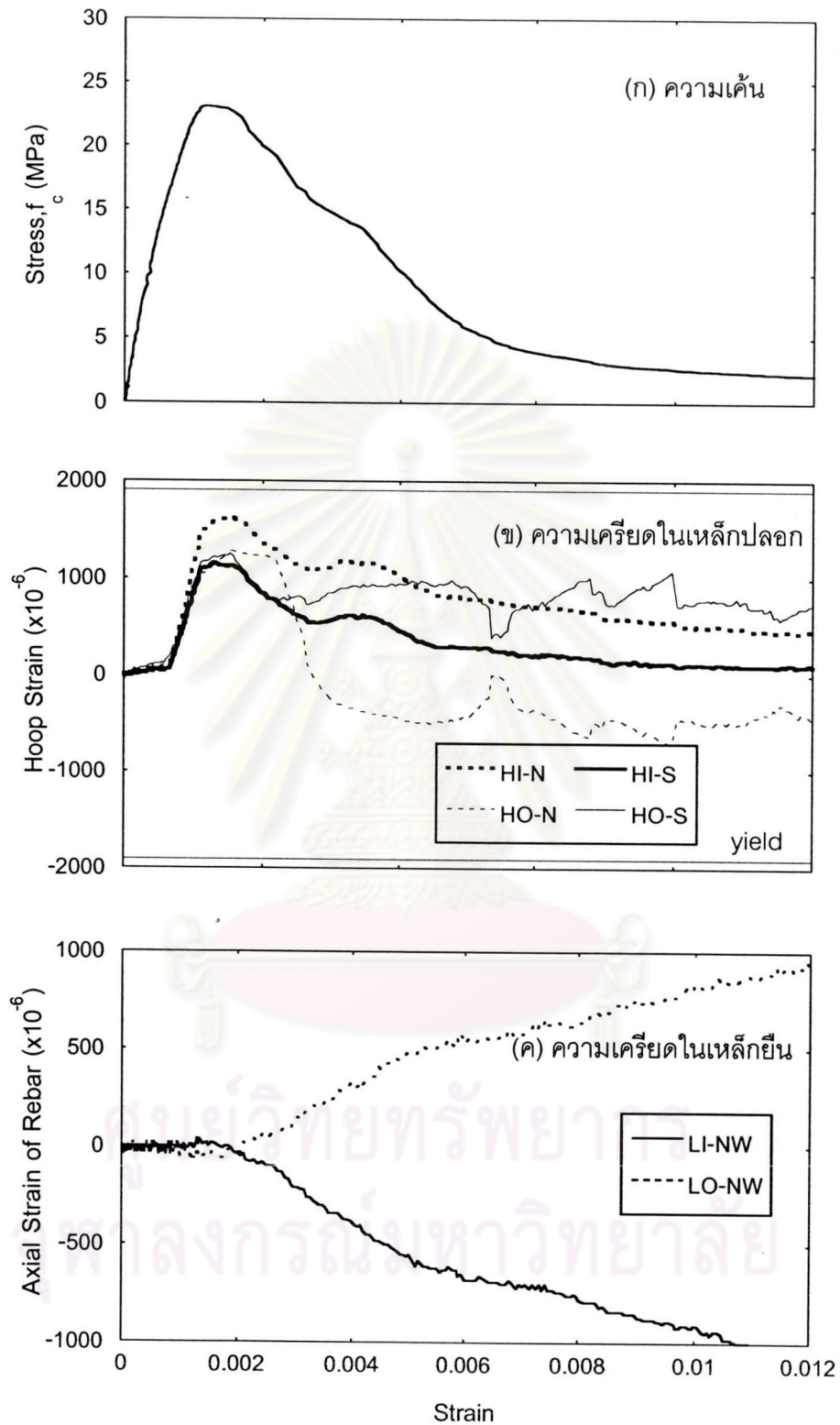
เหตุการณ์	พฤติกรรมที่เกิดขึ้น	ภาพถ่ายประกอบ
1	เกิดรอยแตกร้าวตามแนวยาวและตามขวางที่ผิวของตัวอย่างทดสอบ	
2	คอนกรีตกะเทาะออกจนเห็นเหล็กปลอก	
3	คอนกรีตกะเทาะออกมากขึ้นจนเห็นเหล็กยื่น และเหล็กปลอกเริ่มแอ่อก	
4	คอนกรีตกะเทาะออกเป็นแผ่นขนาดใหญ่	

ตารางที่ ง-6.1 แสดงพฤติกรรมและภาพถ่ายประกอบที่เหตุการณ์ต่างๆ (ต่อ)

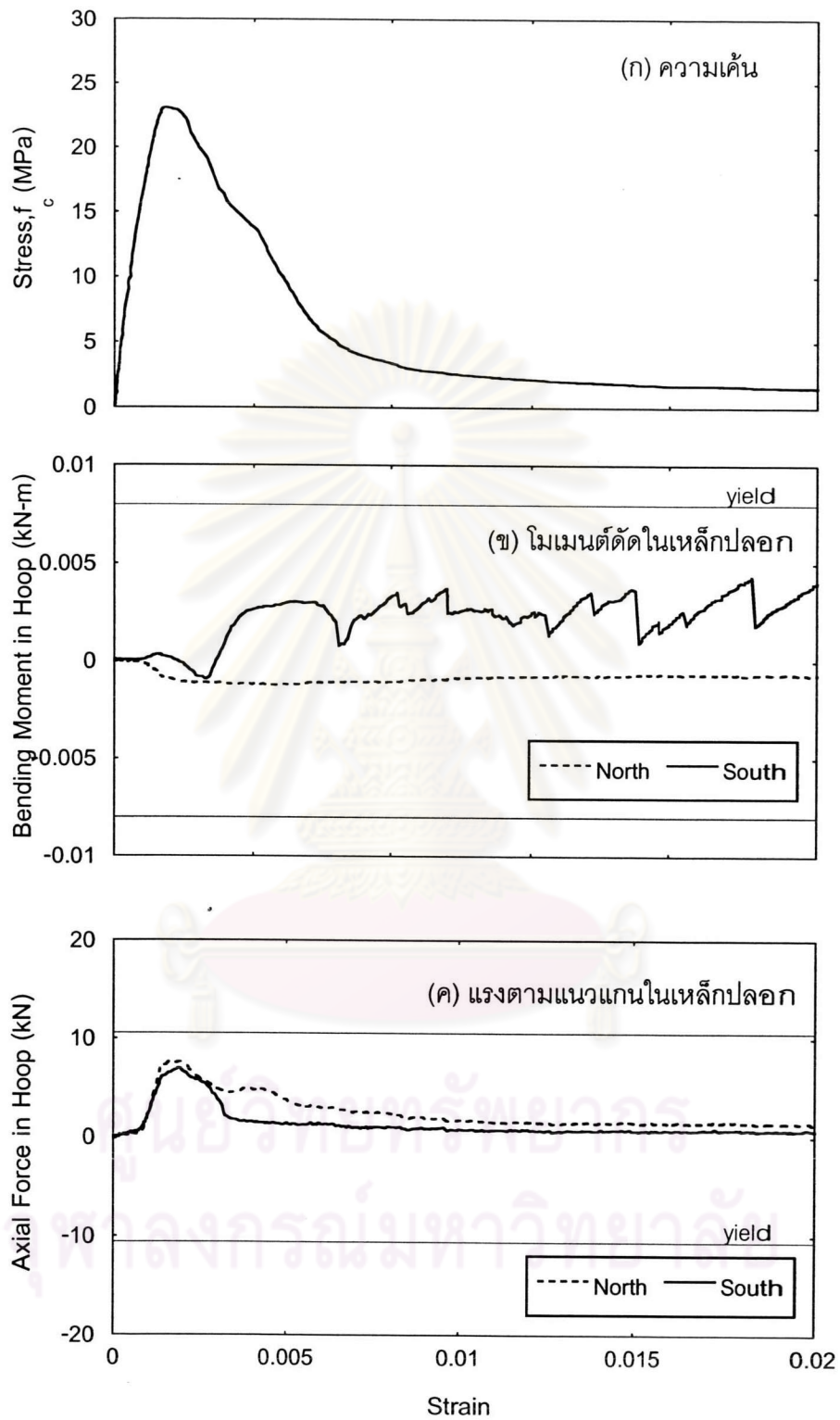
เหตุการณ์	พฤติกรรมที่เกิดขึ้น	ภาพถ่ายประกอบ
5	<p>ตัวอย่างทดสอบหลังการทดสอบ สังเกต ได้ว่าความเสียหายเกิดขึ้นบริเวณช่วง กลางของตัวอย่างทดสอบ และเหล็ก ปลอกเกิดการแอ่นออก อีกทั้งยังสังเกตได้ ว่าเกิดการกะเทาะออกของคอนกรีตเข้า ไปในส่วนที่เป็นแกนคอนกรีต</p>	
6	<p>เหล็กปลอกของอ 90 องศาเกิดการแอ่น ออก</p>	



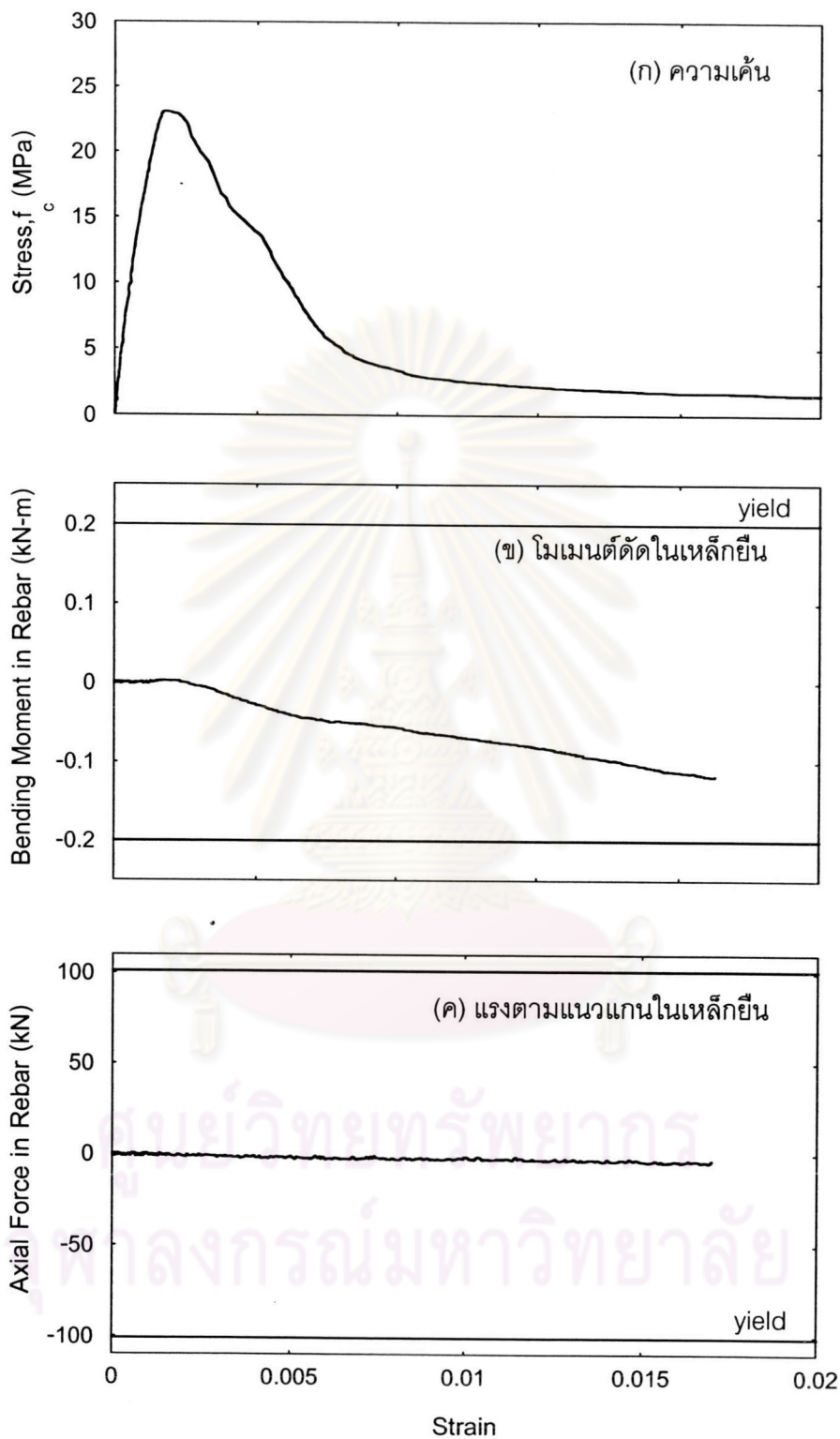
รูปที่ ง-6.5 กราฟแสดงความเค้นและความเครียดในเหล็กเสริม ในช่วงความเครียดตามแนวแกน 0-0.06



รูปที่ ง-6.6 กราฟแสดงความเค้นและความเครียดในเหล็กเสริม
ในช่วงความเครียดตามแนวแกน 0-0.012

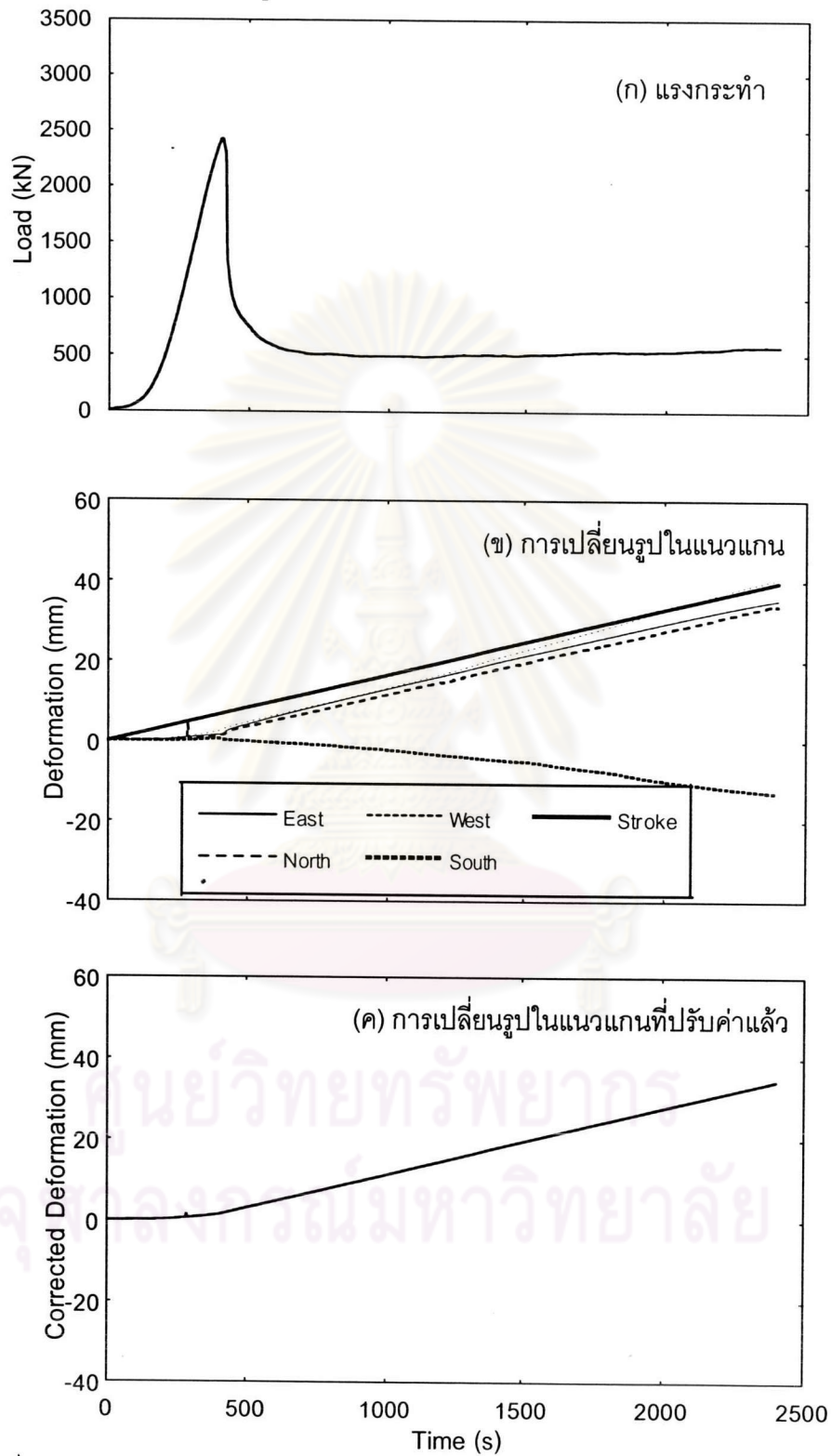


รูปที่ ง-6.7 กราฟแสดงความเค้น โมเมนต์ดัด และแรงตามแนวแกนในเหล็กเสริม

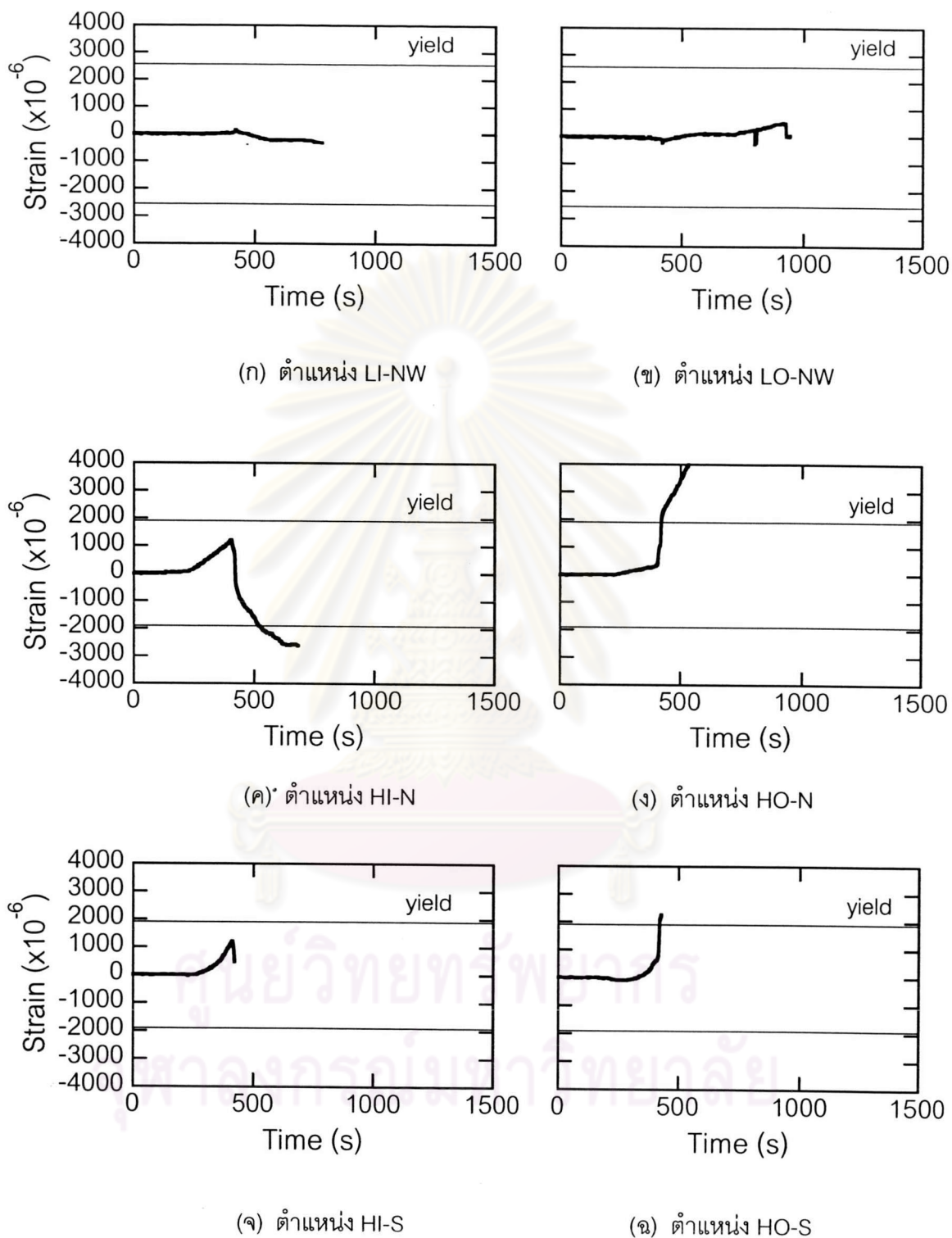


รูปที่ 6-8 กราฟแสดงความเค้น โมเมนต์ดัด และแรงตามแนวแกนในเหล็กยื่น

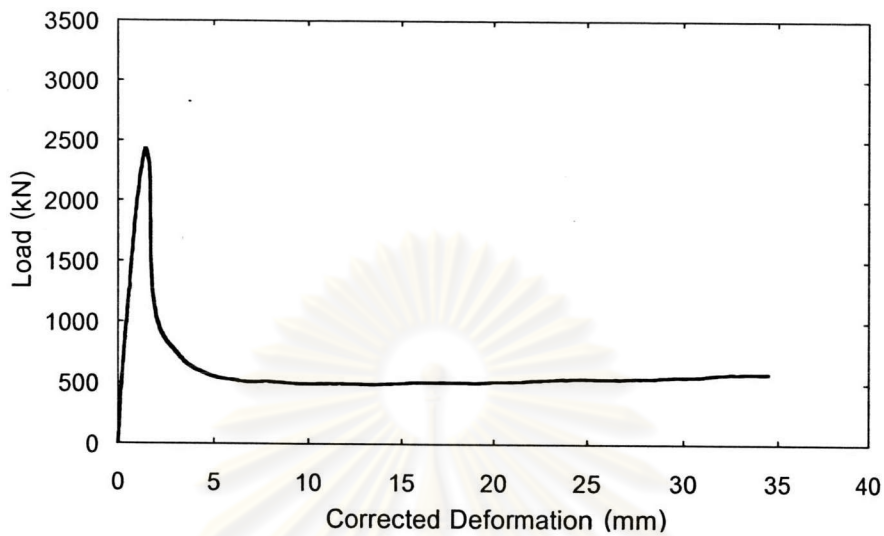
ภาคผนวก ง-7 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากตัวอย่างทดสอบ CA45-1-5



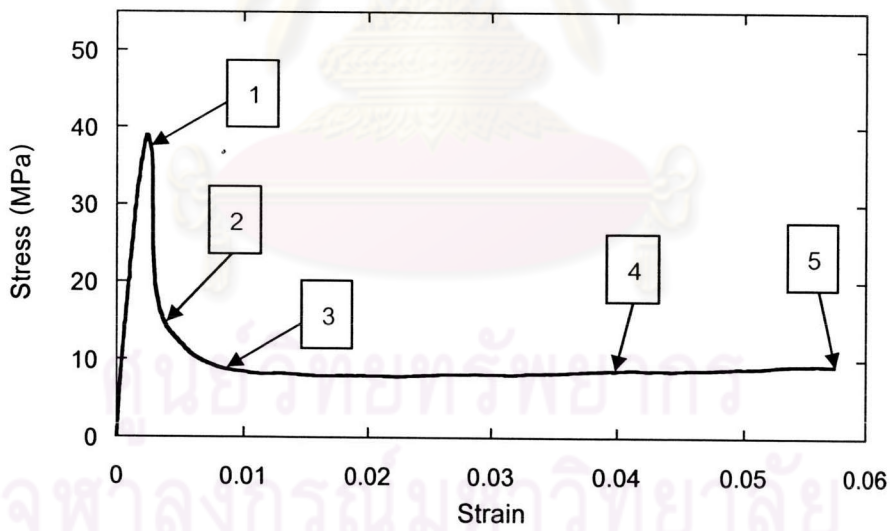
รูปที่ ง-7.1 กราฟแสดงแรงกระทำและการเปลี่ยนรูปในแนวแกนที่วัดได้จากเครื่องมือวัด



รูปที่ 7.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเครียดที่วัดได้จากเกจวัดความเครียดที่ตำแหน่งต่างๆ กับเวลา

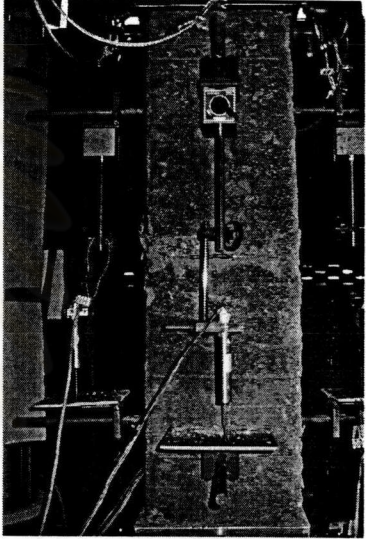
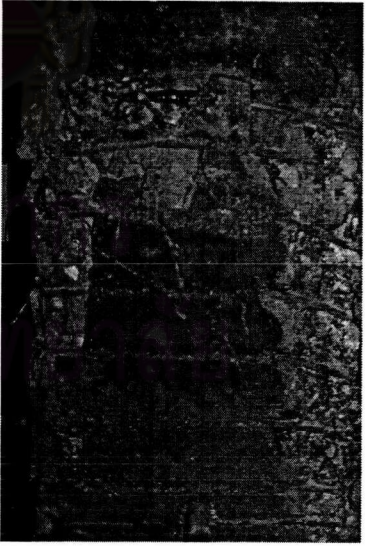


รูปที่ ง-7.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำกับระยะหดตัวที่ปรับค่าแล้ว

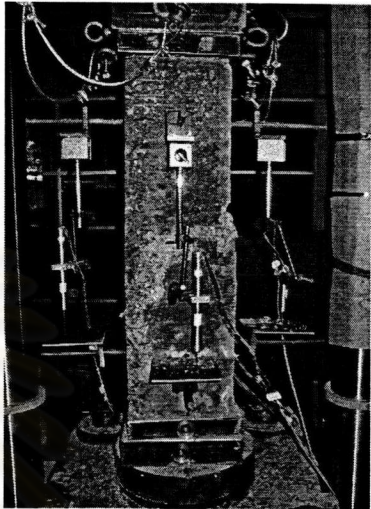


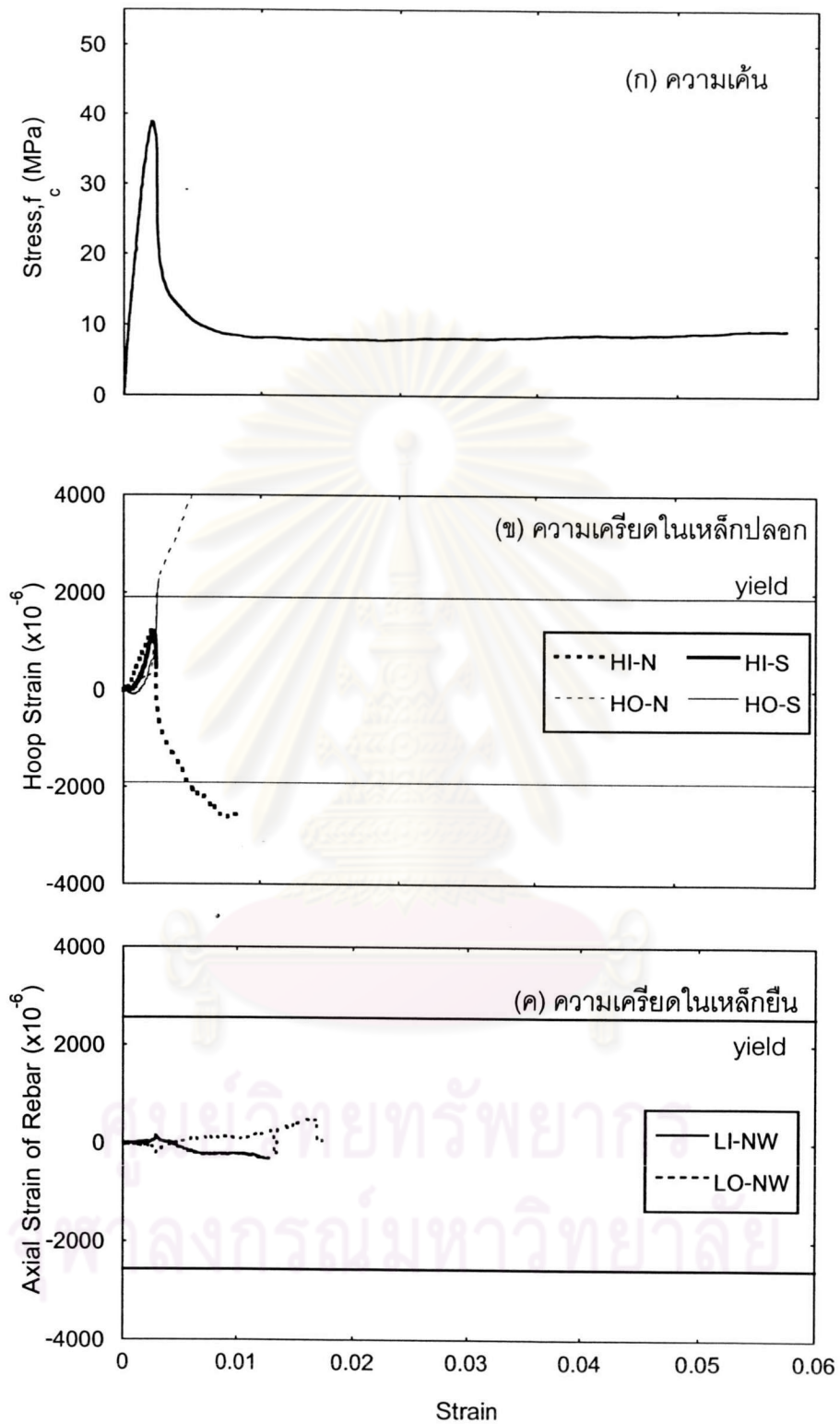
รูปที่ ง-7.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด

ตารางที่ ง-7.1 แสดงพฤติกรรมและภาพถ่ายประกอบที่เหตุการณ์ต่างๆ

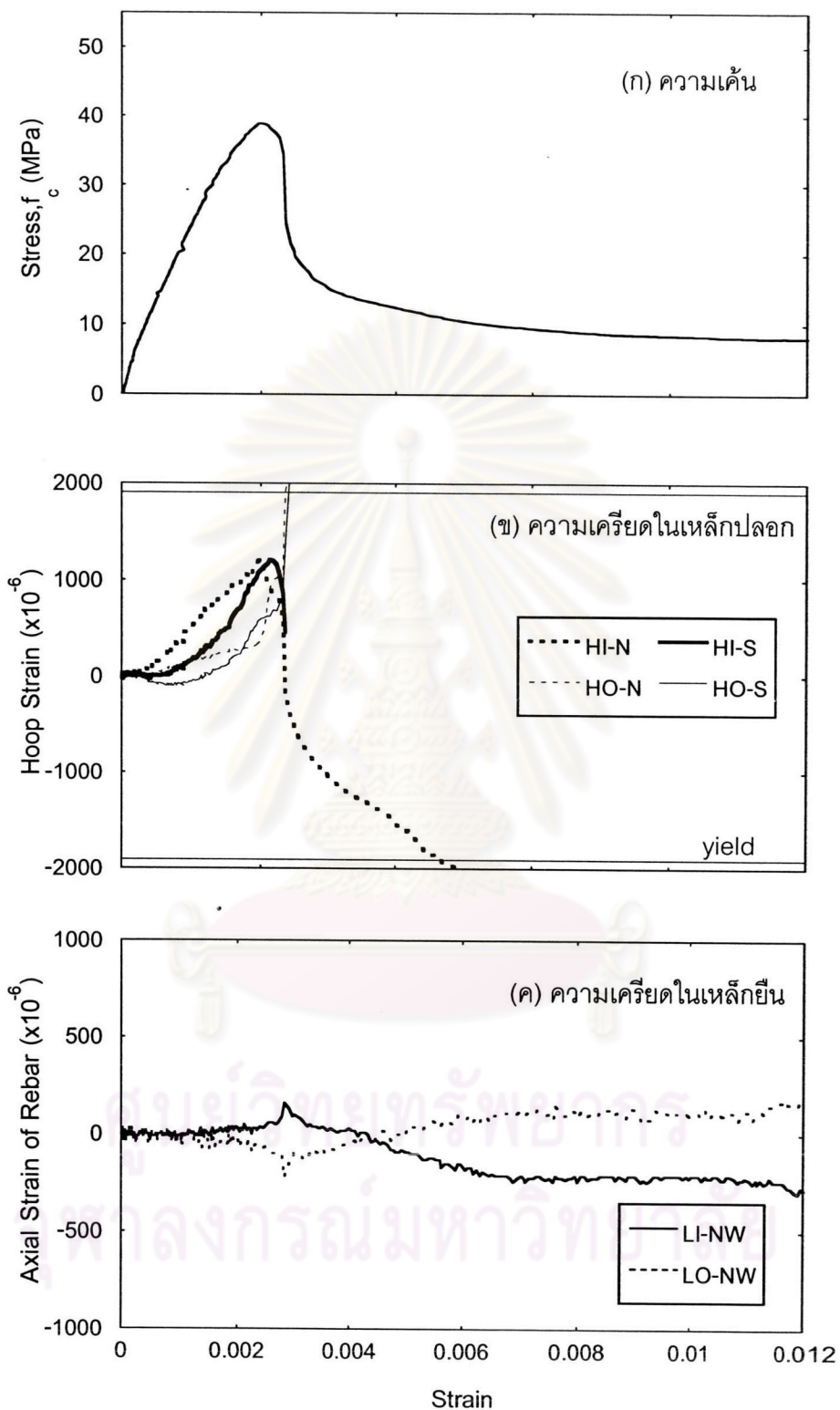
เหตุการณ์	พฤติกรรมที่เกิดขึ้น	ภาพถ่ายประกอบ
1	เกิดรอยแตกร้าวตามแนวยาวที่ขอบนอกของตัวอย่างทดสอบ	
2	เกิดรอยแตกร้าวตามขวาง และเริ่มเกิดการกะเทาะออกของคอนกรีต	
3	คอนกรีตกะเทาะออกจนเห็นเหล็กปลอก	
4	คอนกรีตกะเทาะออกมากขึ้นและเห็นเหล็กปลอกเสียรูปอย่างชัดเจน	

ตารางที่ ง-7.1 แสดงพฤติกรรมและภาพถ่ายประกอบที่เหตุการณ์ต่างๆ (ต่อ)

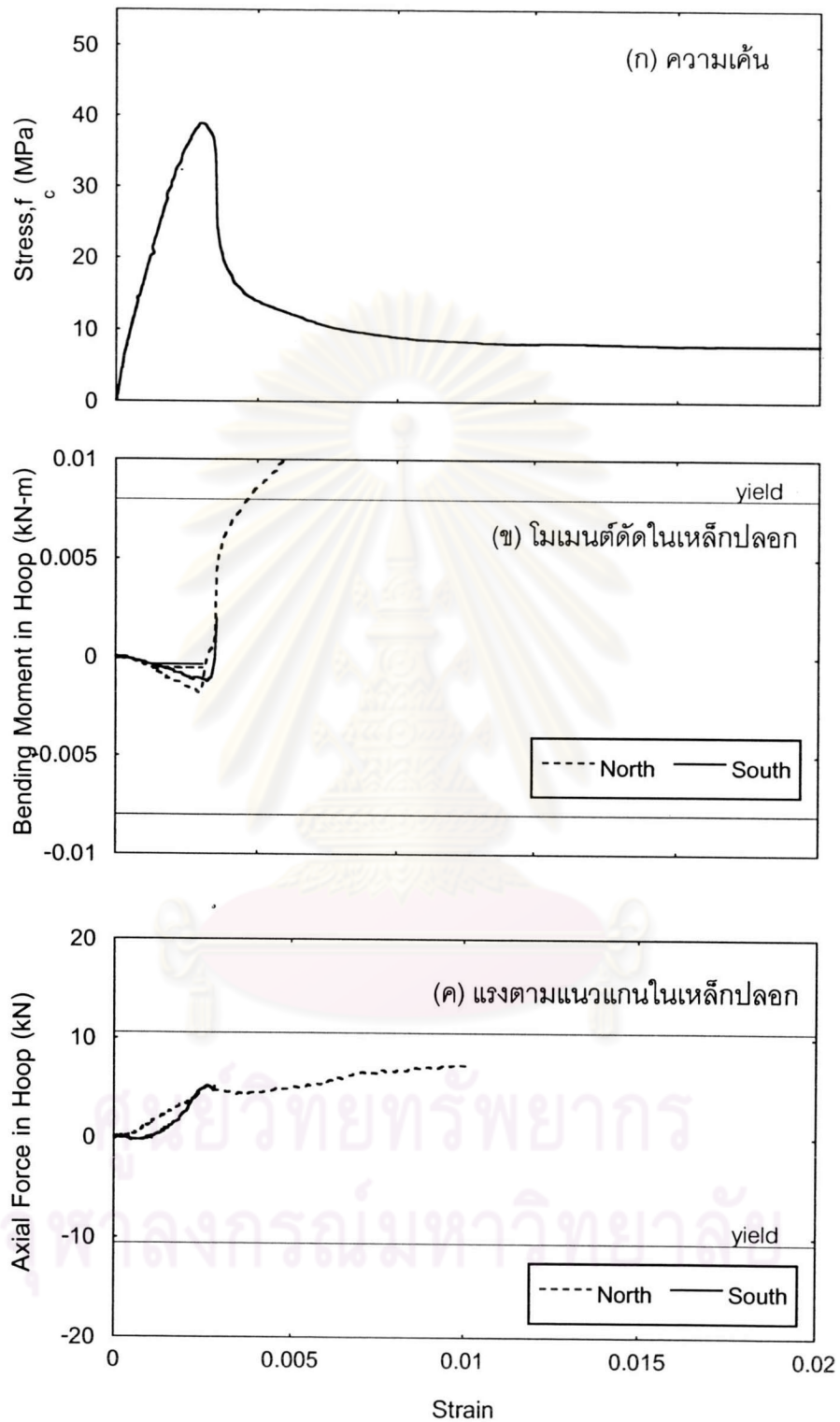
เหตุการณ์	พฤติกรรมที่เกิดขึ้น	ภาพถ่ายประกอบ
5	<p>ตัวอย่างทดสอบหลังการทดสอบ สังเกต ได้ว่าเกิดความเสียหายแบบเฉือน ราบทำมุมประมาณ 60 องศา กับ แนวราบ และเหล็กปลอกไม่เกิดการอ้า ออก แต่จะเกิดการเสียรูป</p>	



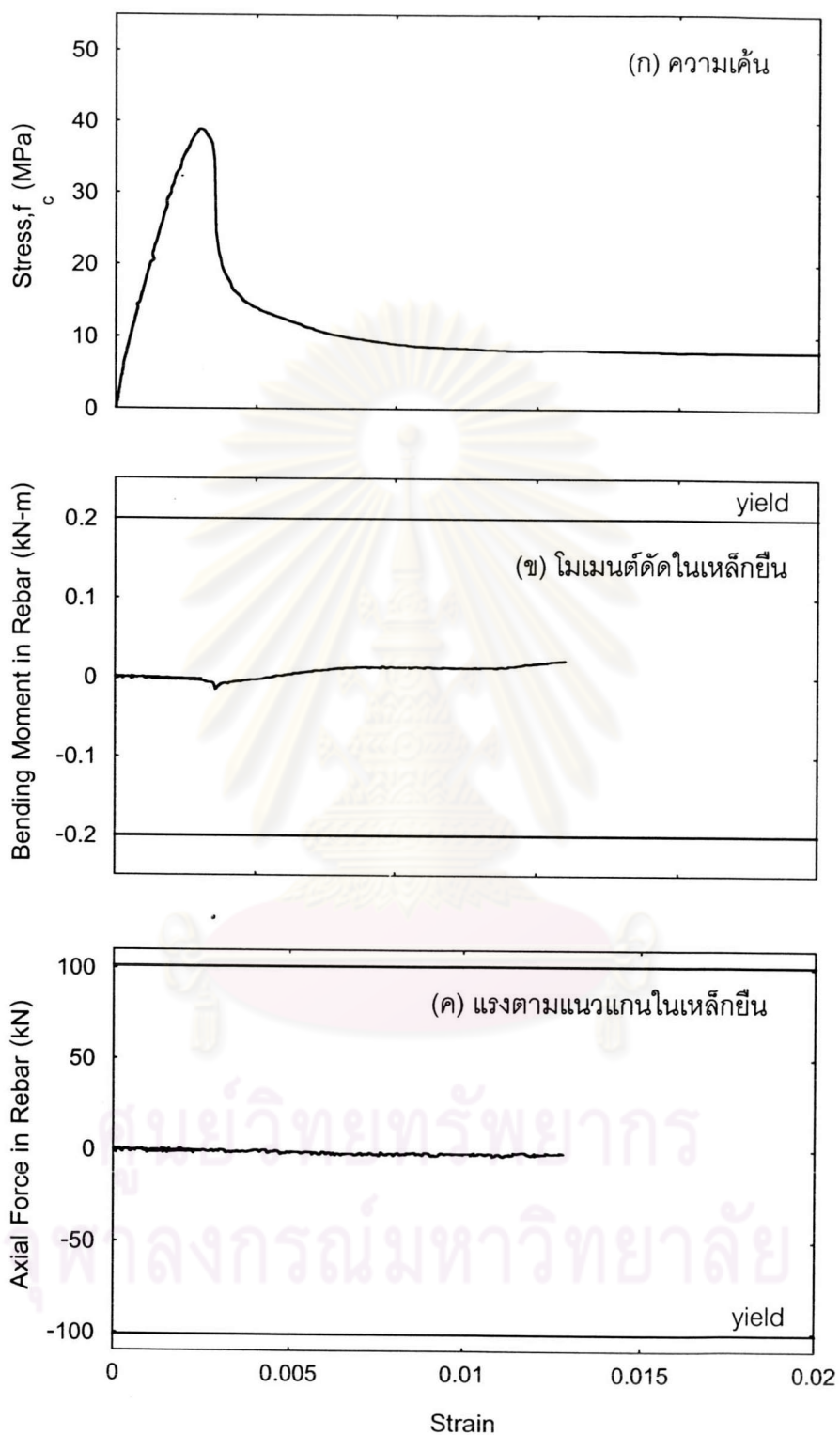
รูปที่ ๗-๕.๕ กราฟแสดงความเค้นและความเครียดในเหล็กเสริม
ในช่วงความเครียดตามแนวแกน 0-0.06



รูปที่ ง-7.6 กราฟแสดงความเค้นและความเครียดในเหล็กเสริม
ในช่วงความเครียดตามแนวนอน 0-0.012

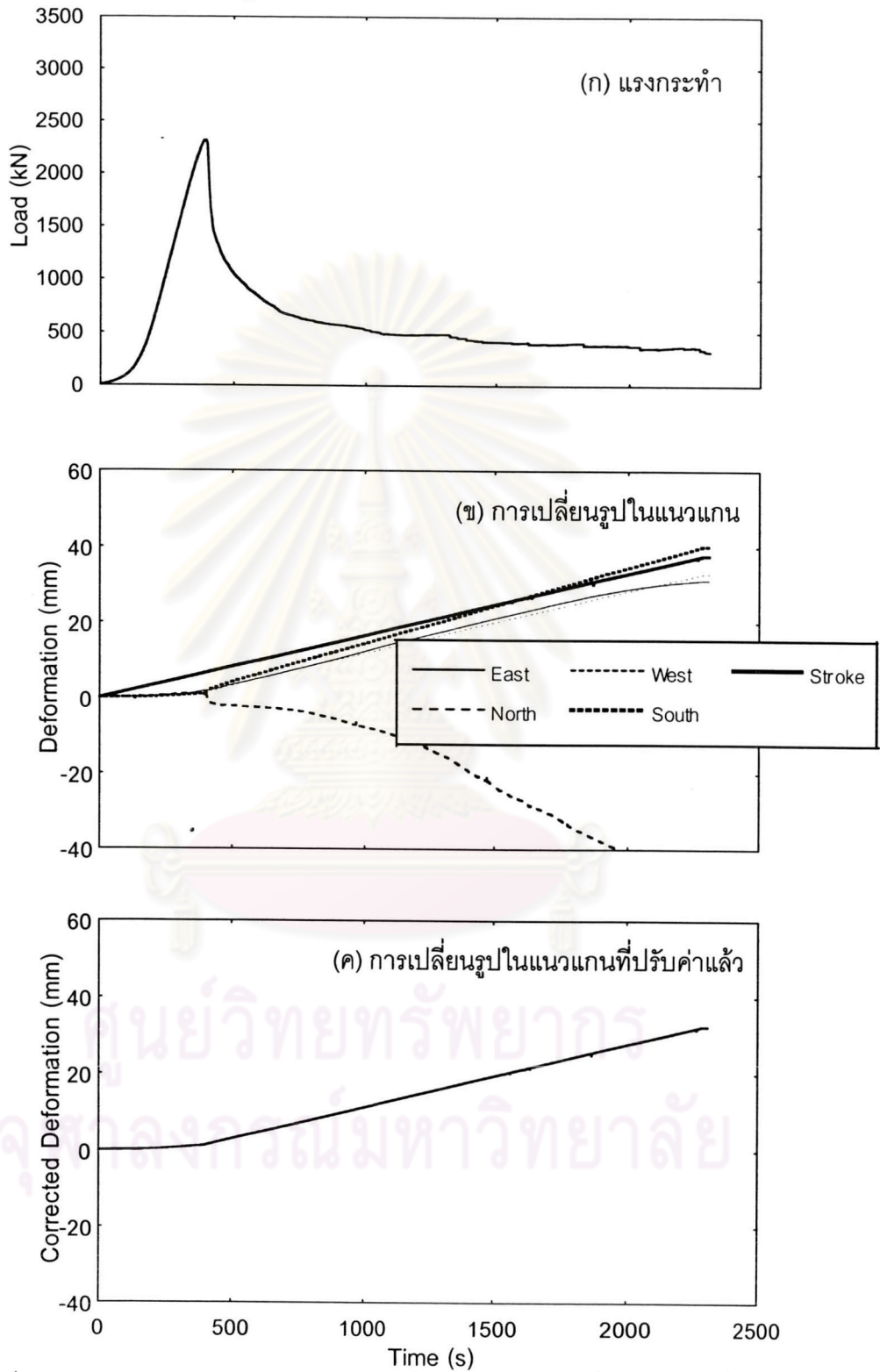


รูปที่ 7-7 กราฟแสดงความเค้น โมเมนต์ดัด และแรงตามแนวแกนในเหล็กเสริม

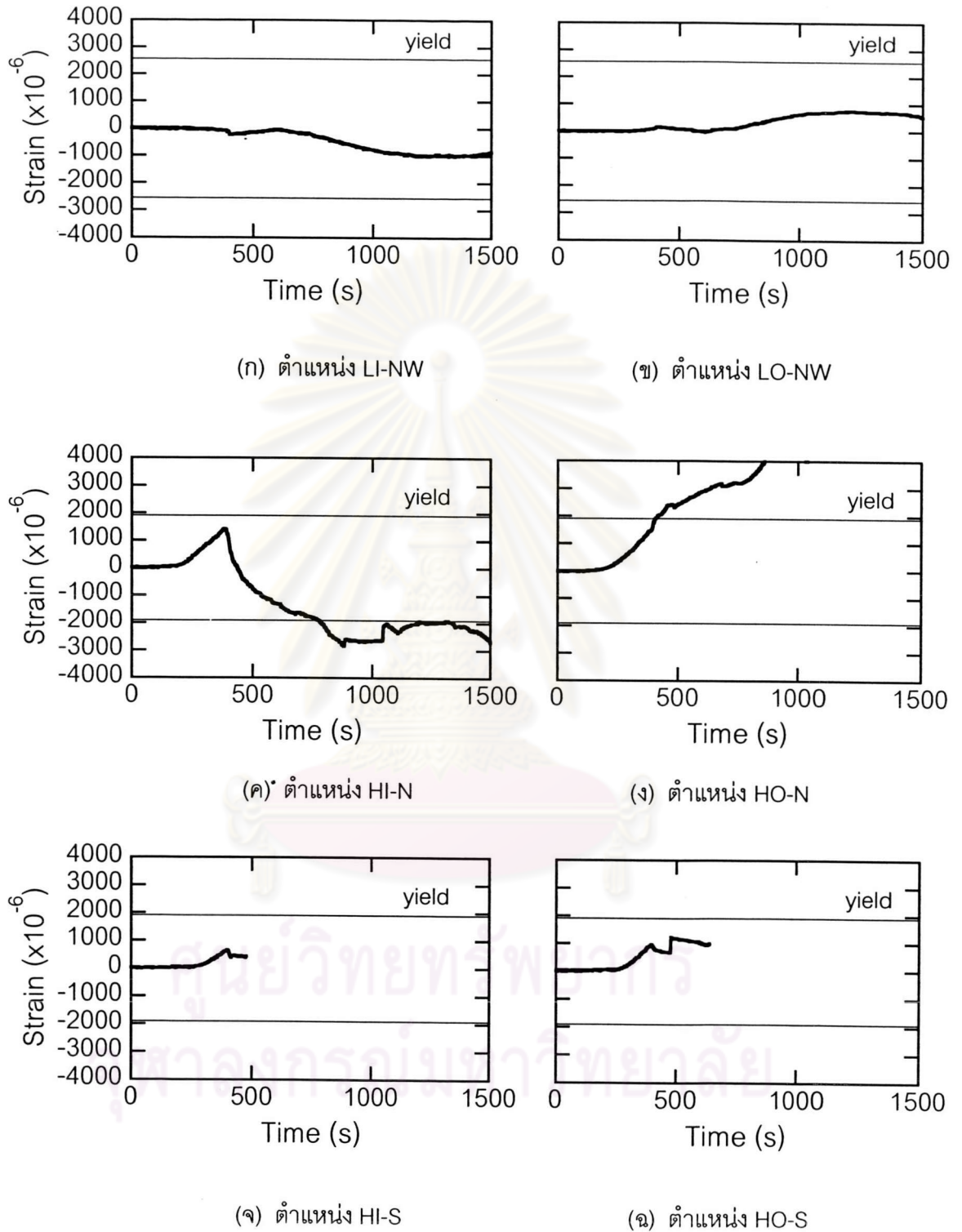


รูปที่ ง-7.8 กราฟแสดงความเค้น โมเมนต์ดัด และแรงตามแนวแกนในเหล็กยื่น

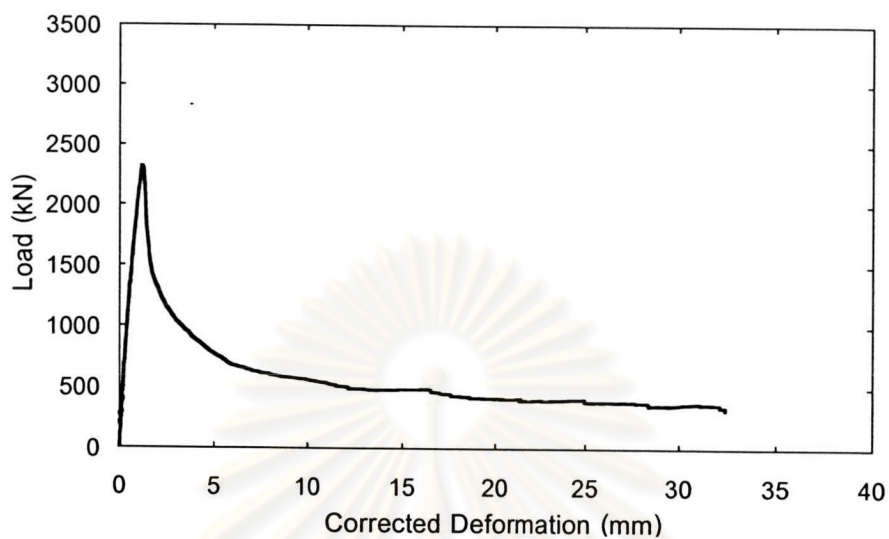
ภาคผนวก ง-8 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากตัวอย่างทดสอบ CB45-1-5



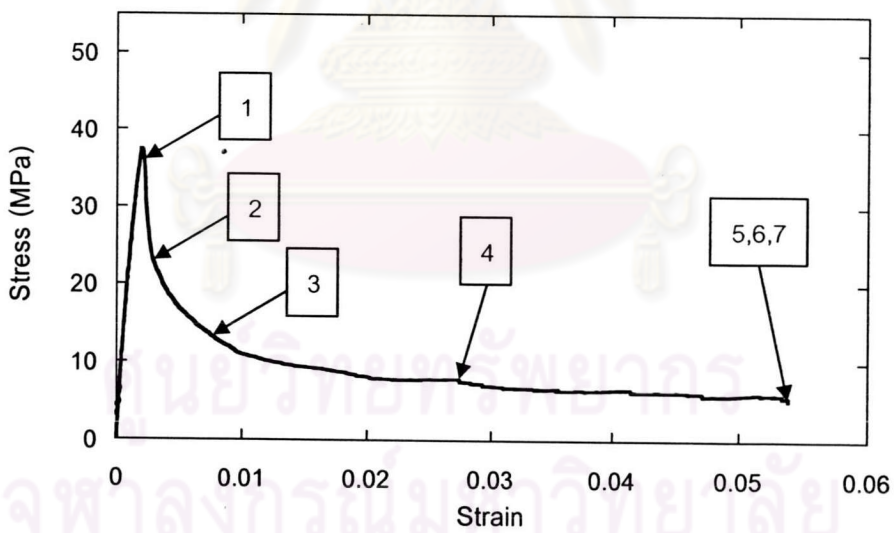
รูปที่ ง-8.1 กราฟแสดงแรงกระทำและการเปลี่ยนรูปในแนวแกนที่วัดได้จากเครื่องมือวัด



รูปที่ 8.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเครียดที่วัดได้จากเกจวัดความเครียดที่ตำแหน่งต่างๆ กับเวลา ส้ำ

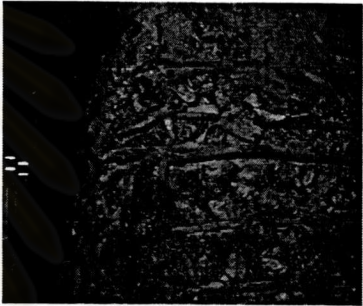
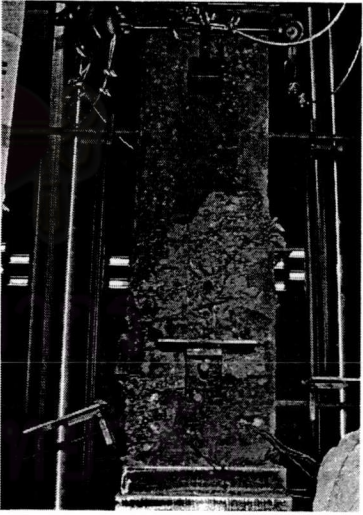


รูปที่ ง-8.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำกับระยะหดตัวที่ปรับค่าแล้ว



รูปที่ ง-8.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด

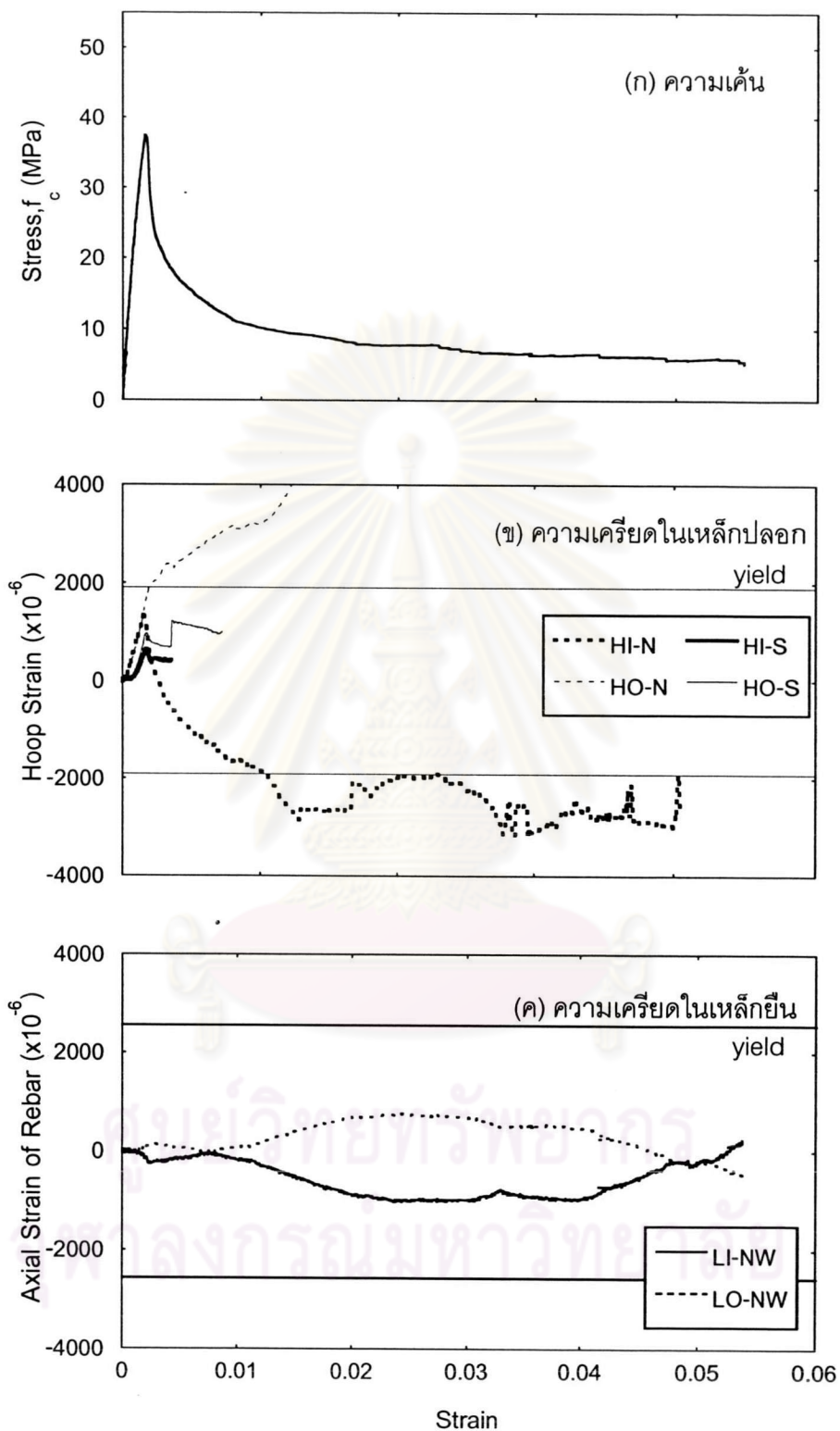
ตารางที่ ง-8.1 แสดงพฤติกรรมและภาพถ่ายประกอบที่เหตุการณ์ต่างๆ

เหตุการณ์	พฤติกรรมที่เกิดขึ้น	ภาพถ่ายประกอบ
1	เกิดรอยแตกร้าวตามแนวยาวที่ขอบนอกของตัวอย่างทดสอบ	
2	เกิดรอยแตกร้าวตามขวาง และเริ่มเกิดการกะเทาะออกของคอนกรีต	
3	คอนกรีตกะเทาะออก และเหล็กปลอกเริ่มอ้าออก	
4	เหล็กปลอกจำนวนมากเกิดการอ้าออกมาก	
5	ตัวอย่างทดสอบหลังการทดสอบ สังเกตได้ว่าเกิดความเสียหายแบบเฉือนระนาบทำมุมประมาณ 60 องศา กับแนวราบ และเหล็กปลอกจำนวนมากเกิดการอ้าออก และเกิดการเสีรูปร่วมด้วย	

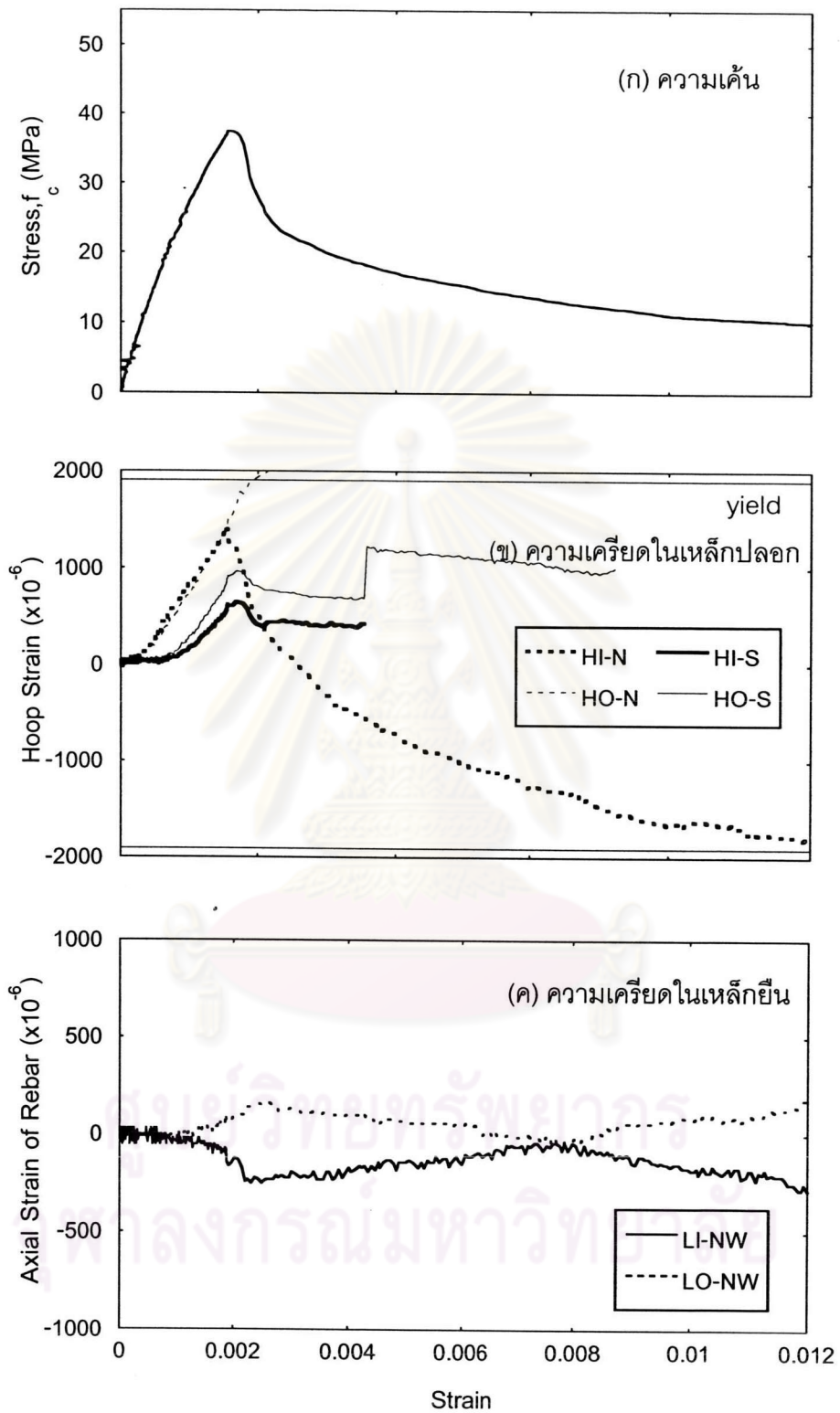
ตารางที่ ง-8.1 แสดงพฤติกรรมและภาพถ่ายประกอบที่เหตุการณ์ต่างๆ ต่อ)

เหตุการณ์	พฤติกรรมที่เกิดขึ้น	ภาพถ่ายประกอบ
6	เหล็กปลอกของอ 90 องศาเกิดการชำ ออก	
7	เหล็กปลอกเกิดการชำออกและเกิดการ โก่งจนเสียรูปด้วย	

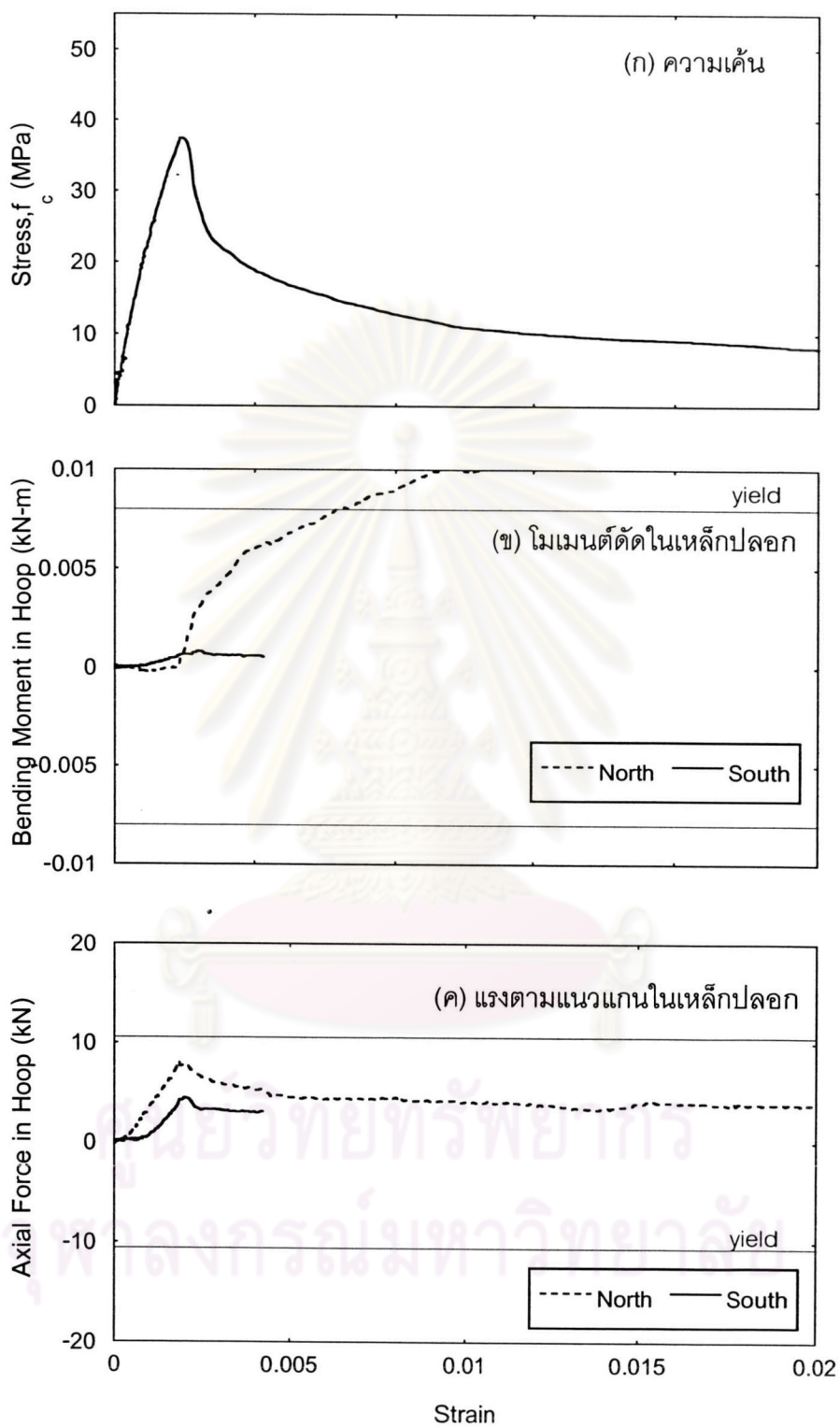
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



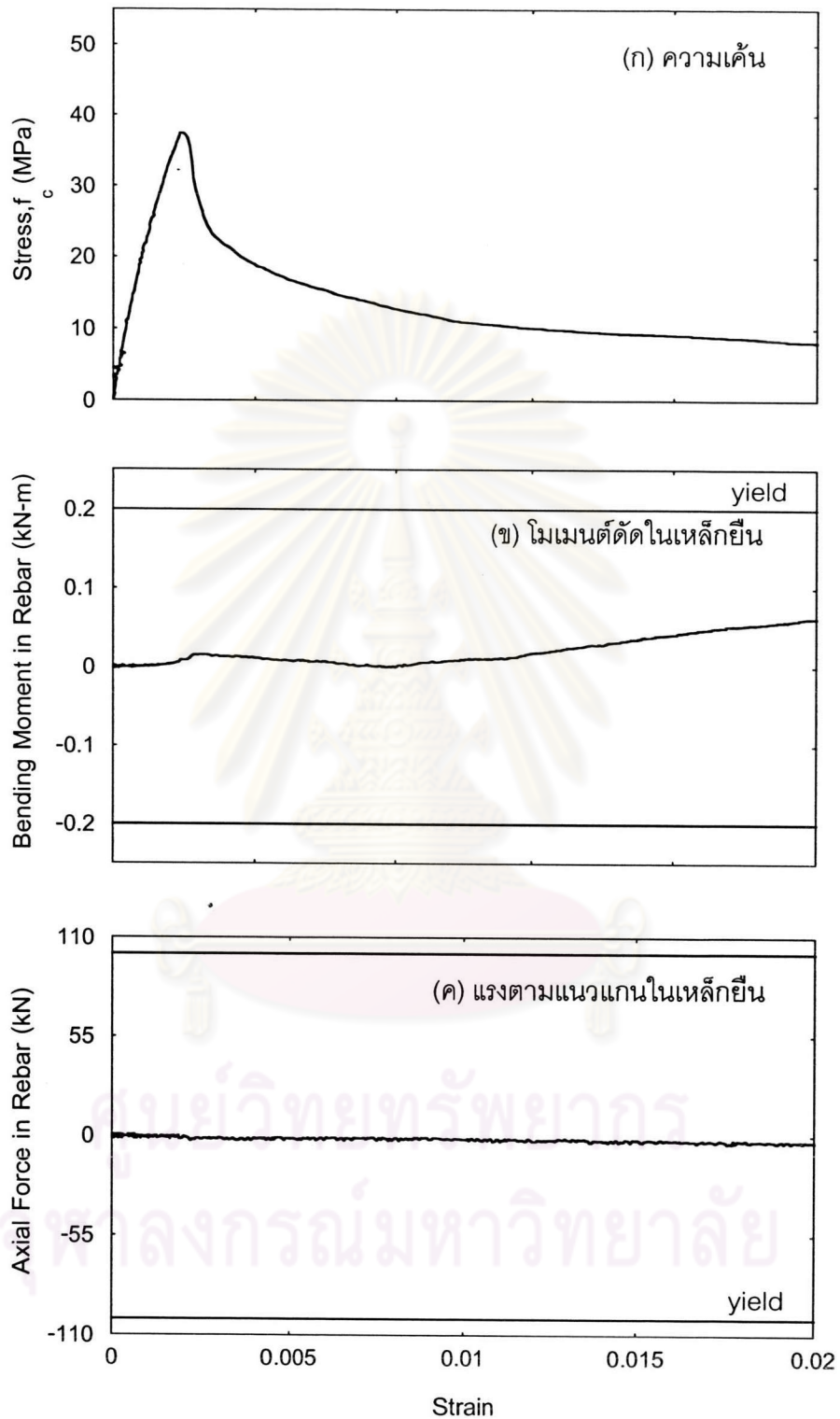
รูปที่ 8-5 กราฟแสดงความเค้นและความเครียดในเหล็กเสริมในช่วงความเครียดตามแนวนอน 0-0.06



รูปที่ ง-8.6 กราฟแสดงความเค้นและความเครียดในเหล็กเสริม
ในช่วงความเครียดตามแนวแกน 0-0.012

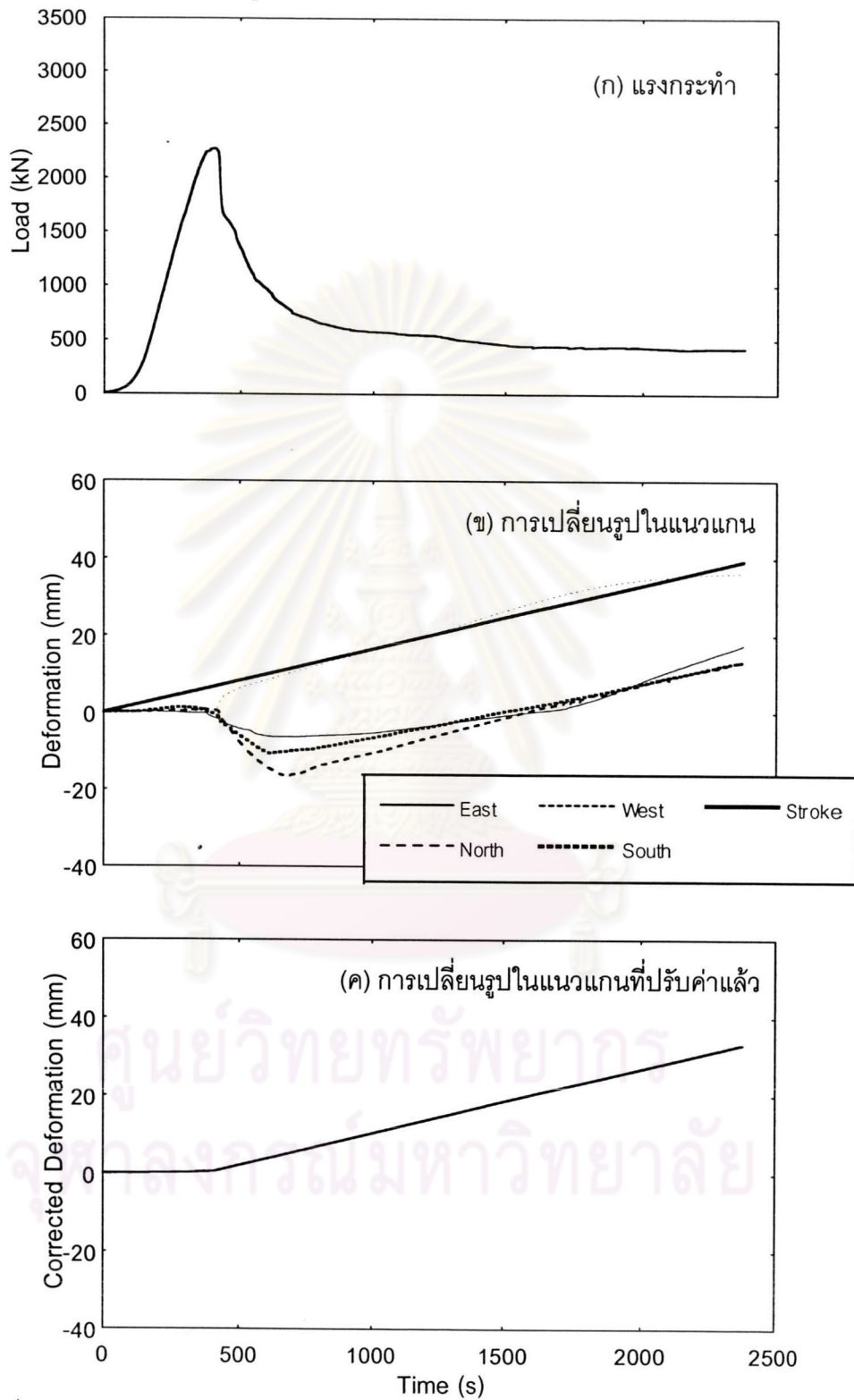


รูปที่ 8-7 กราฟแสดงความเค้น โมเมนต์ดัด และแรงตามแนวแกนในเหล็กเสริม

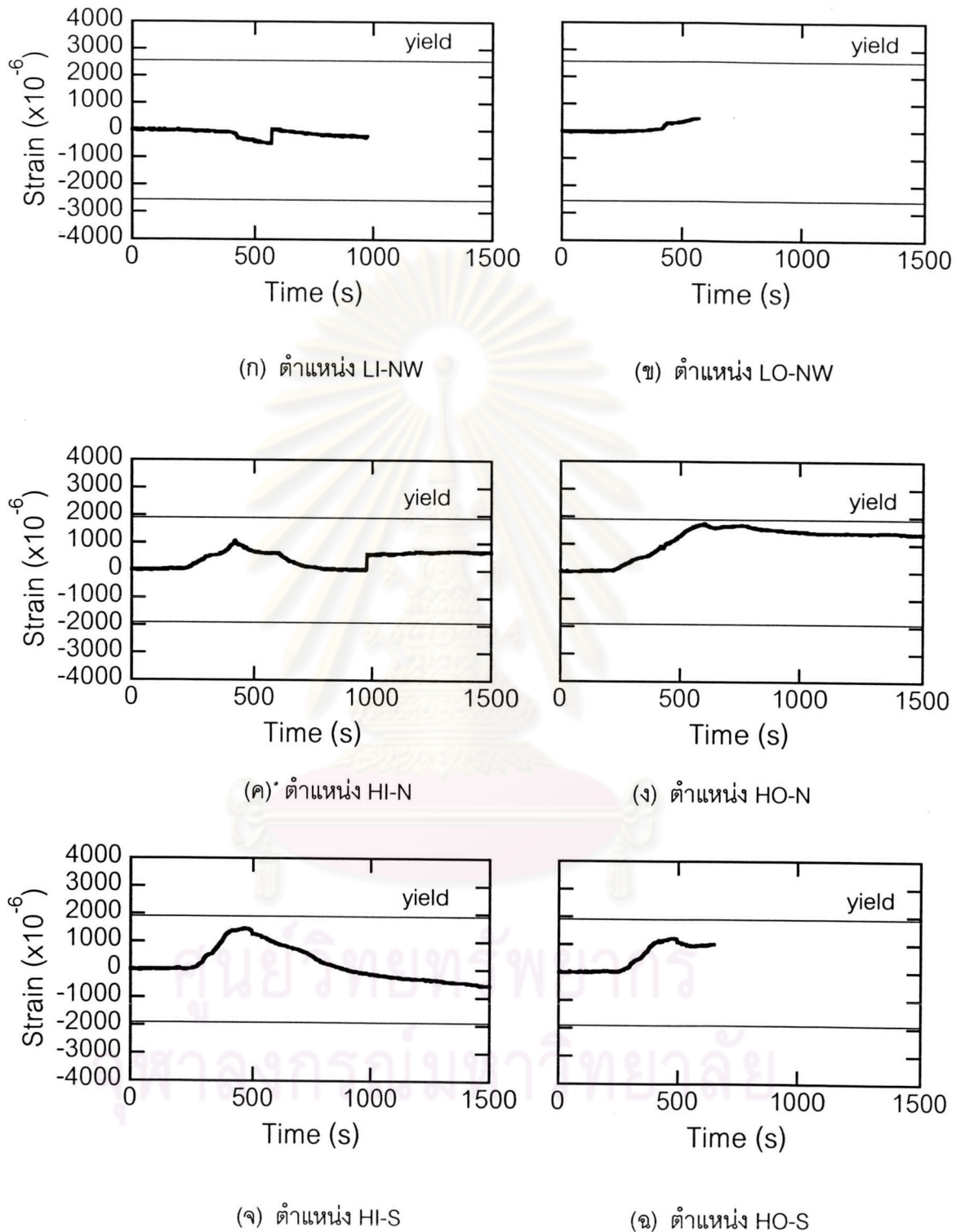


รูปที่ ง-8.8 กราฟแสดงความเค้น โมเมนต์ดัด และแรงตามแนวแกนในเหล็กยื่น

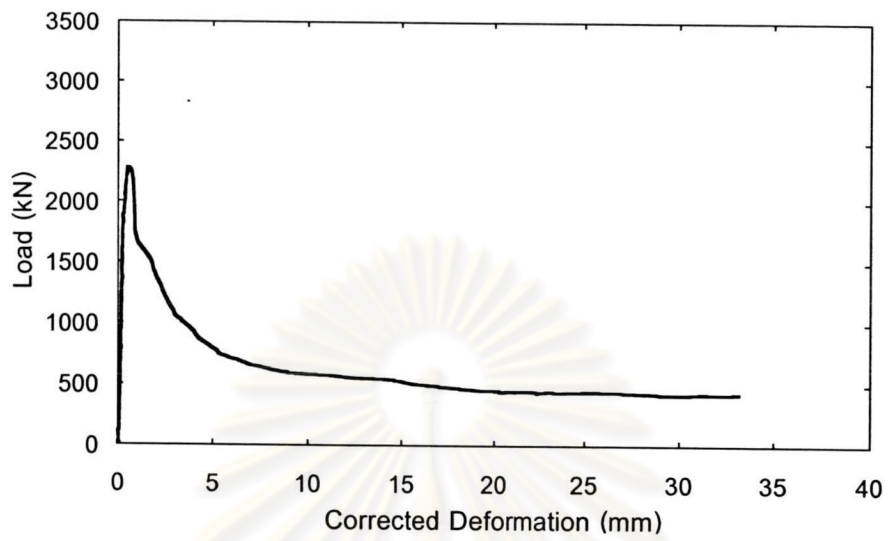
ภาคผนวก ง-9 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากตัวอย่างทดสอบ CA45-1-3



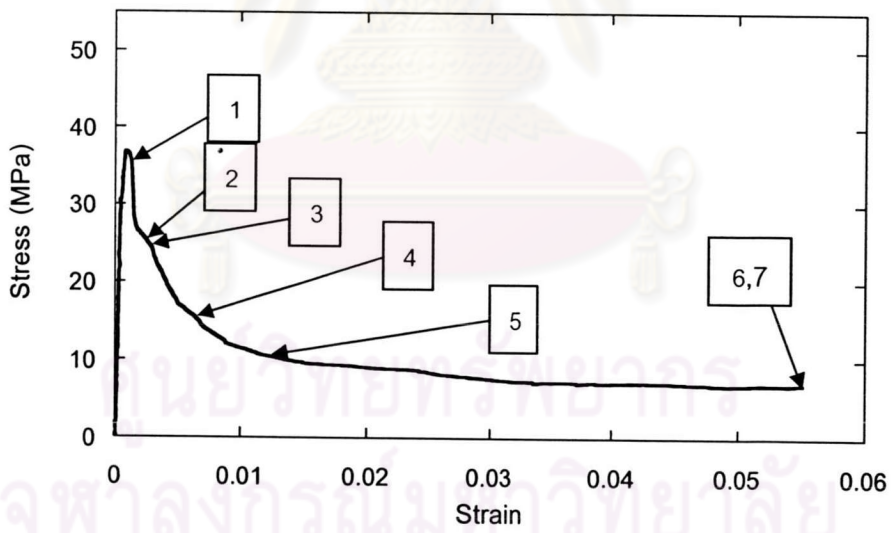
รูปที่ ง-9.1 กราฟแสดงแรงกระทำและการเปลี่ยนรูปในแนวแกนที่วัดได้จากเครื่องมือวัด



รูปที่ 9.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเครียดที่วัดได้จากเกจวัดความเครียดที่ตำแหน่งต่างๆ กับเวลา

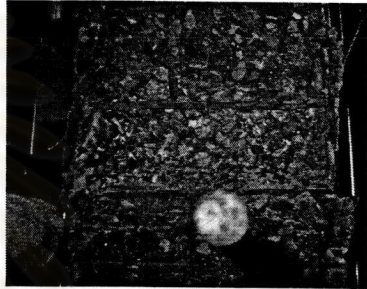




รูปที่ ง-9.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำกับระยะหดตัวที่ปรับค่าแล้ว



รูปที่ ง-9.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด

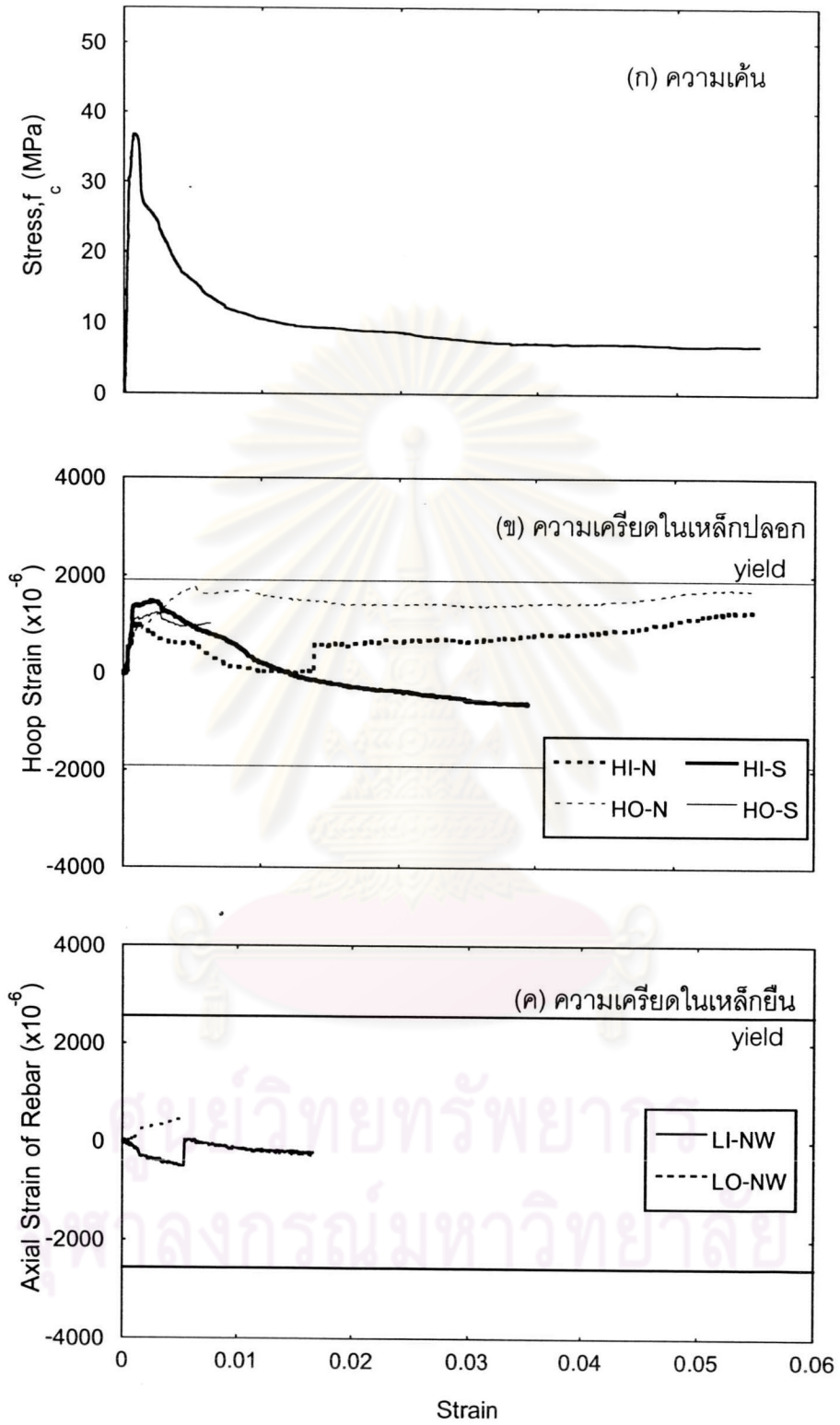
ตารางที่ ง-9.1 แสดงพฤติกรรมและภาพถ่ายประกอบที่เหตุการณ์ต่างๆ

เหตุการณ์	พฤติกรรมที่เกิดขึ้น	ภาพถ่ายประกอบ
1	เกิดรอยแตกร้าวตามแนวยาวที่ขอบนอกของตัวอย่างทดสอบ	
2	เกิดรอยแตกร้าวตามขวาง	
3	เริ่มเกิดการกะเทาะออกของคอนกรีต	
4	คอนกรีตเกิดการกะเทาะมากขึ้นจนเห็นเหล็กปลอก	
5	เกิดรอยแตกร้าวตามแนวยาวที่ตำแหน่งกลางของตัวอย่างทดสอบ	
6	ตัวอย่างทดสอบหลังการทดสอบ สังเกตได้ว่าความเสียหายเกิดขึ้นบริเวณส่วนล่างของตัวอย่างทดสอบ ส่วนเหล็กปลอกไม่เกิดการแอ่นออก แต่จะเกิดการโก่งจนเสียรูป	

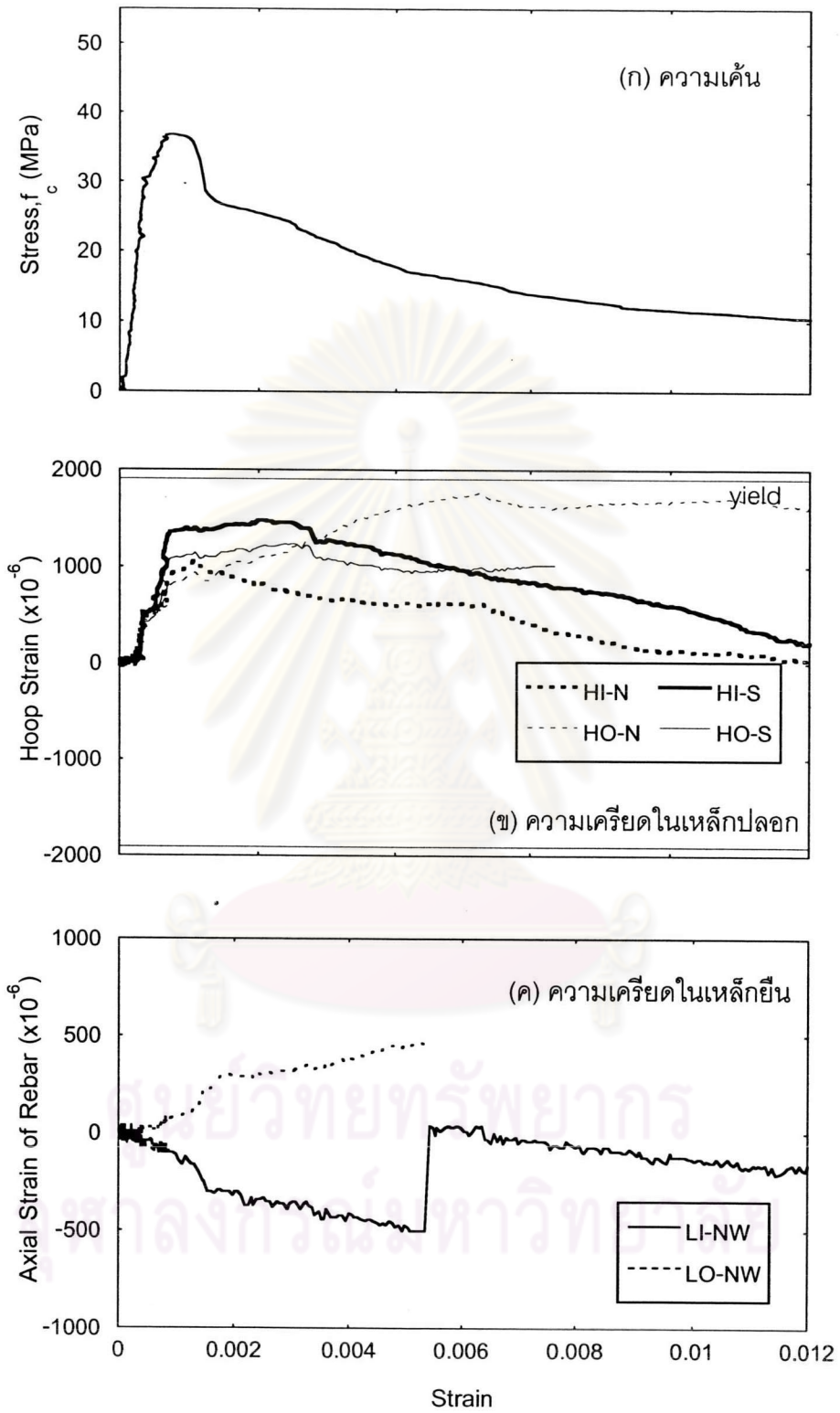
ตารางที่ ง-9.1 แสดงพฤติกรรมและภาพถ่ายประกอบที่เหตุการณ์ต่างๆ (ต่อ)

เหตุการณ์	พฤติกรรมที่เกิดขึ้น	ภาพถ่ายประกอบ
7	เหล็กปลอกเกิดการโก่งจนเสียรูป	

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

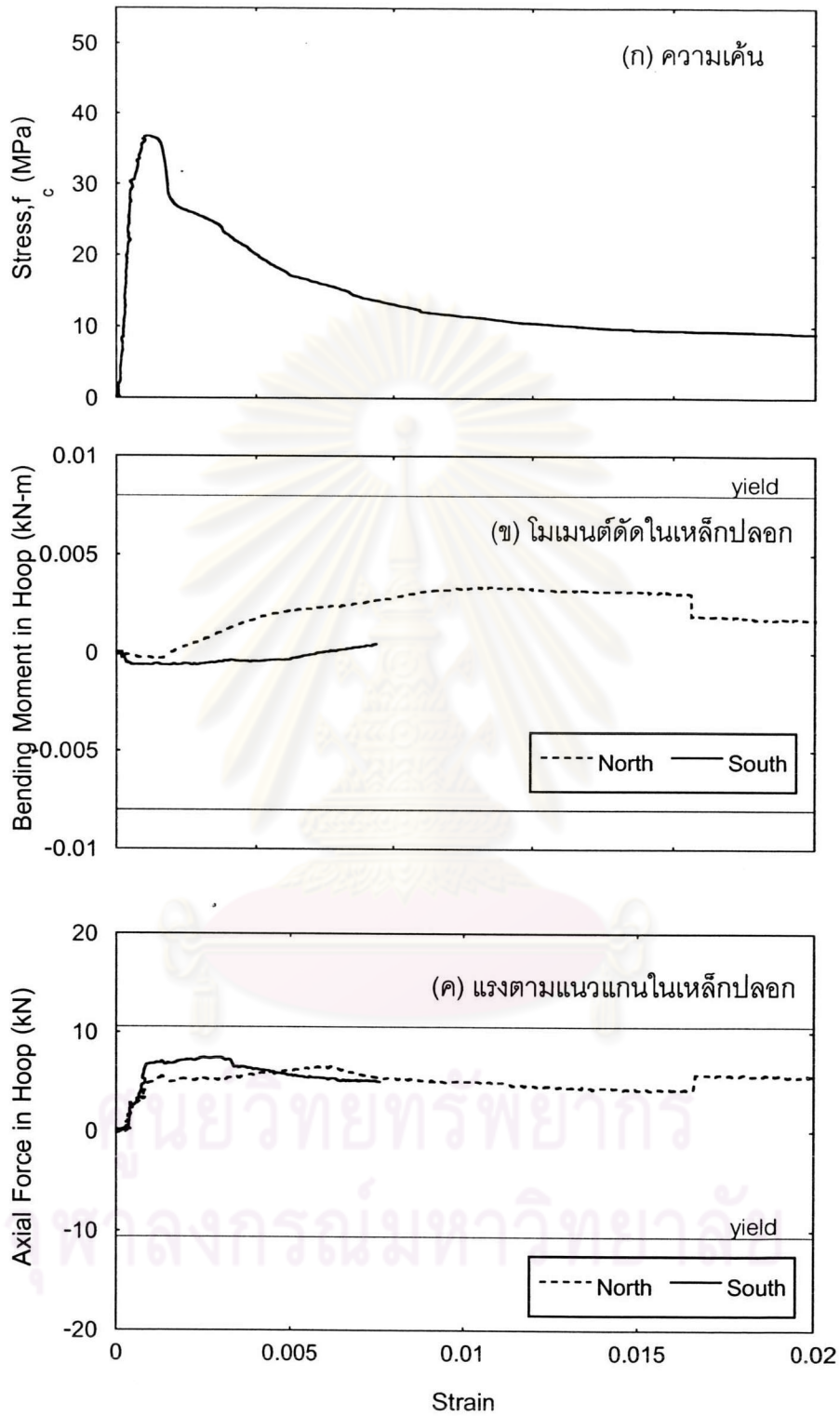


รูปที่ ง-9.5 กราฟแสดงความเค้นและความเครียดในเหล็กเสริม ในช่วงความเครียดตามแนวแกน 0-0.06

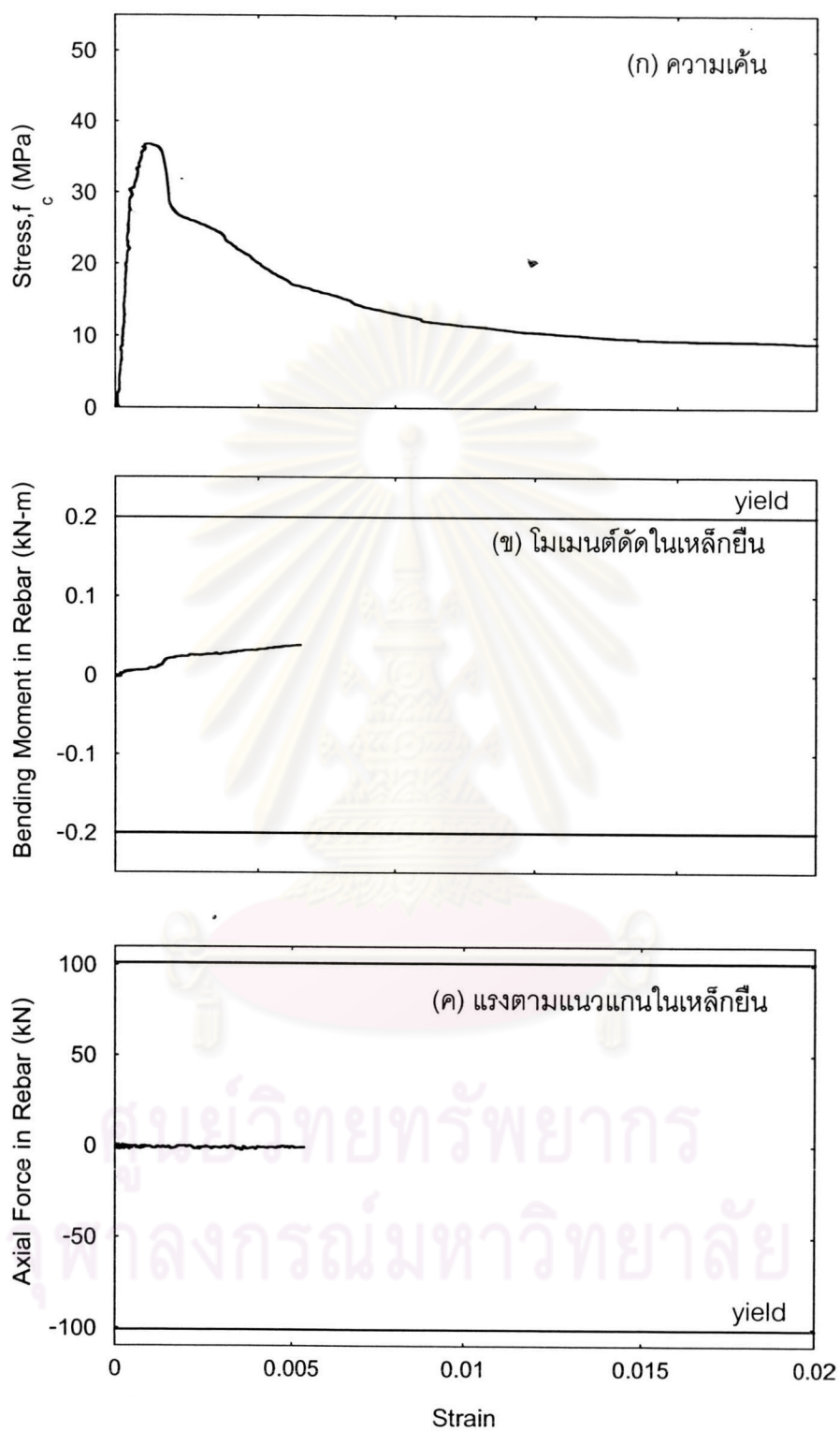


รูปที่ ง-9.6 กราฟแสดงความเค้นและความเครียดในเหล็กเสริม

ในช่วงความเครียดตามแนวนอน 0-0.012

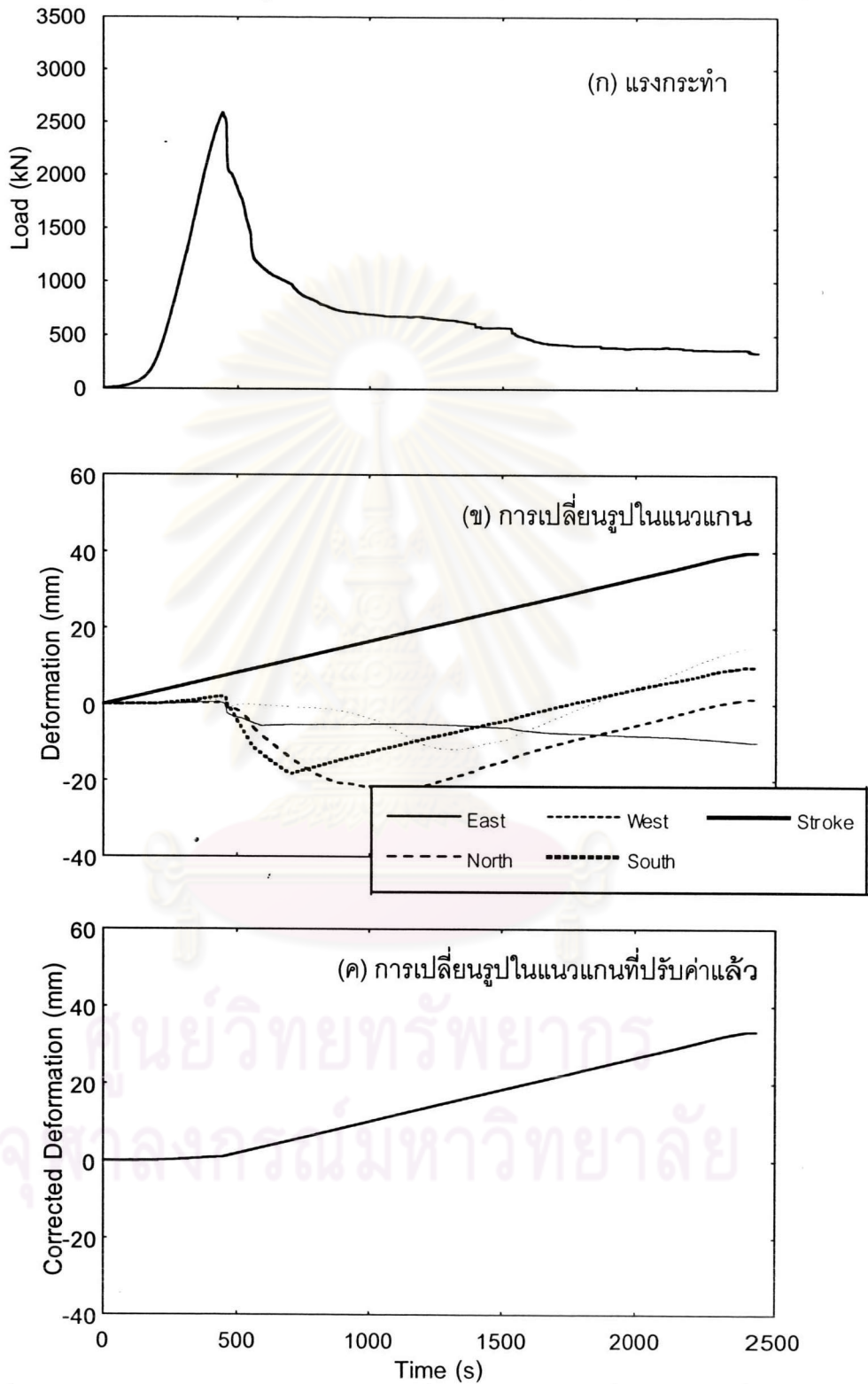


รูปที่ ง-9.7 กราฟแสดงความเค้น โมเมนต์ดัด และแรงตามแนวแกนในเหล็กเสริม

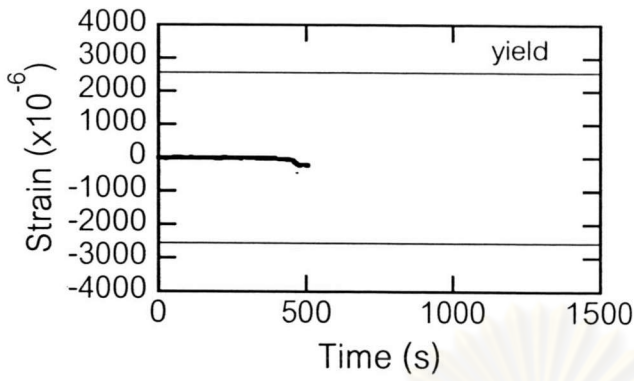


รูปที่ 9-8 กราฟแสดงความเค้น โมเมนต์ดัด และแรงตามแนวแกนในเหล็กยื่น

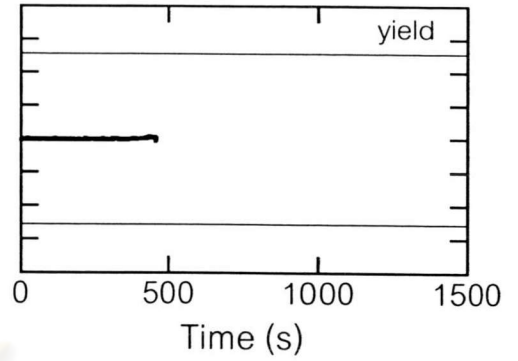
ภาคผนวก ง-10 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากตัวอย่างทดสอบ CB45-1-3



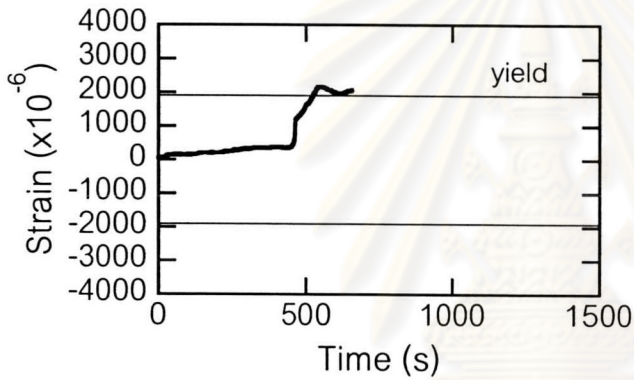
รูปที่ ง-10.1 กราฟแสดงแรงกระทำและการเปลี่ยนรูปในแนวแกนที่วัดได้จากเครื่องมือวัด



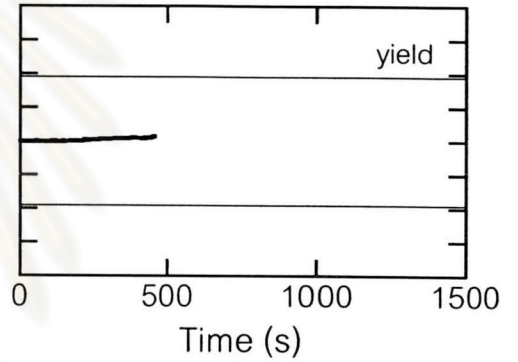
(ก) ตำแหน่ง LI-NW



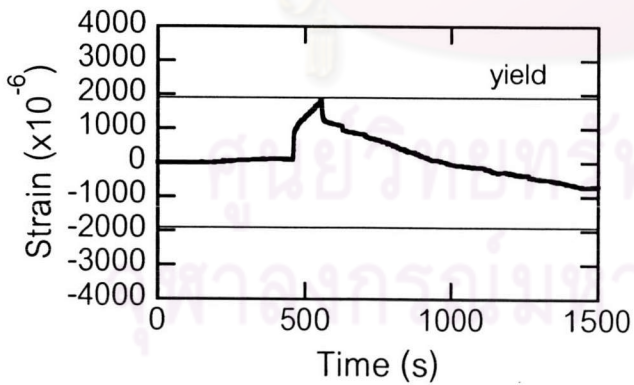
(ข) ตำแหน่ง LO-NW



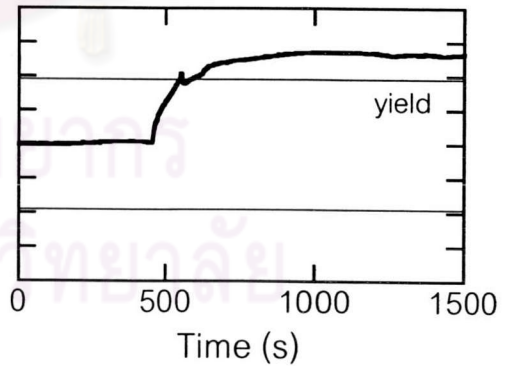
(ค) ตำแหน่ง HI-N



(ง) ตำแหน่ง HO-N

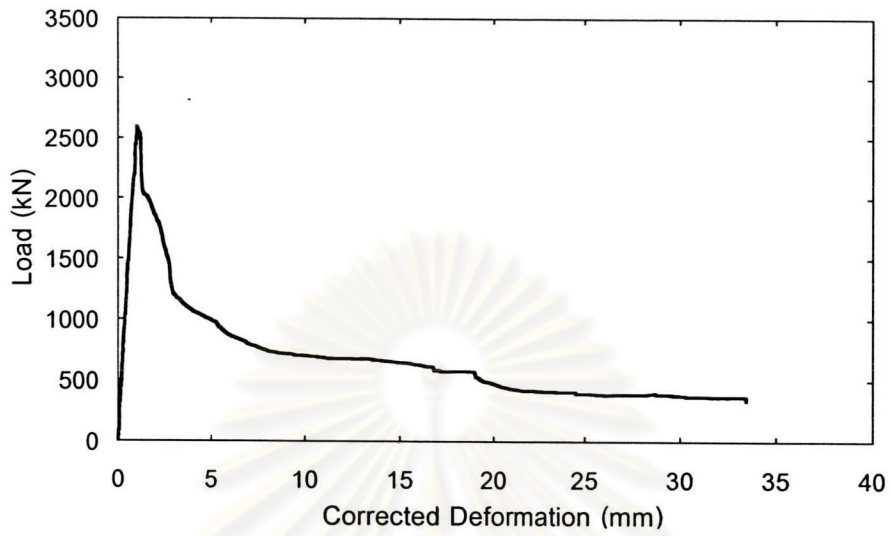


(จ) ตำแหน่ง HI-S

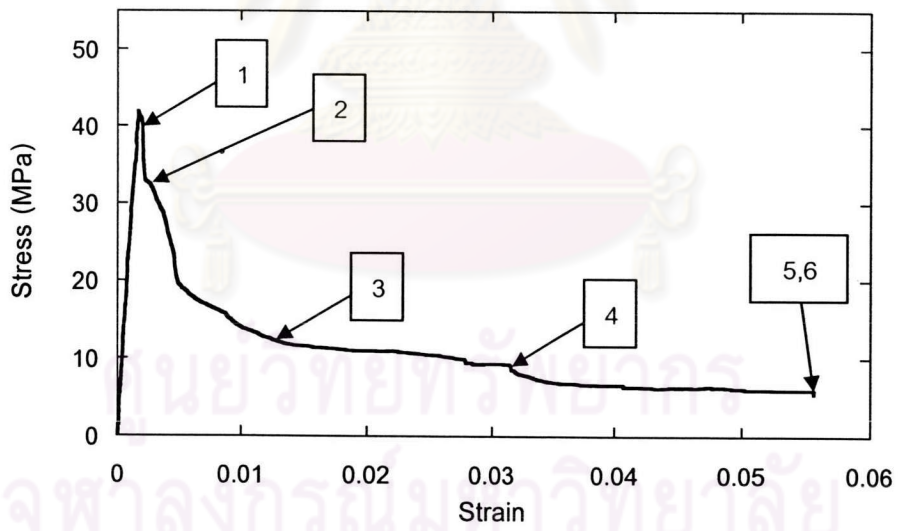


(ฉ) ตำแหน่ง HO-S

รูปที่ 10.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเครียดที่วัดได้จากเกจวัดความเครียดที่ตำแหน่งต่างๆ กับเวลา



รูปที่ ง-10.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำกับระยะหดตัวที่ปรับค่าแล้ว



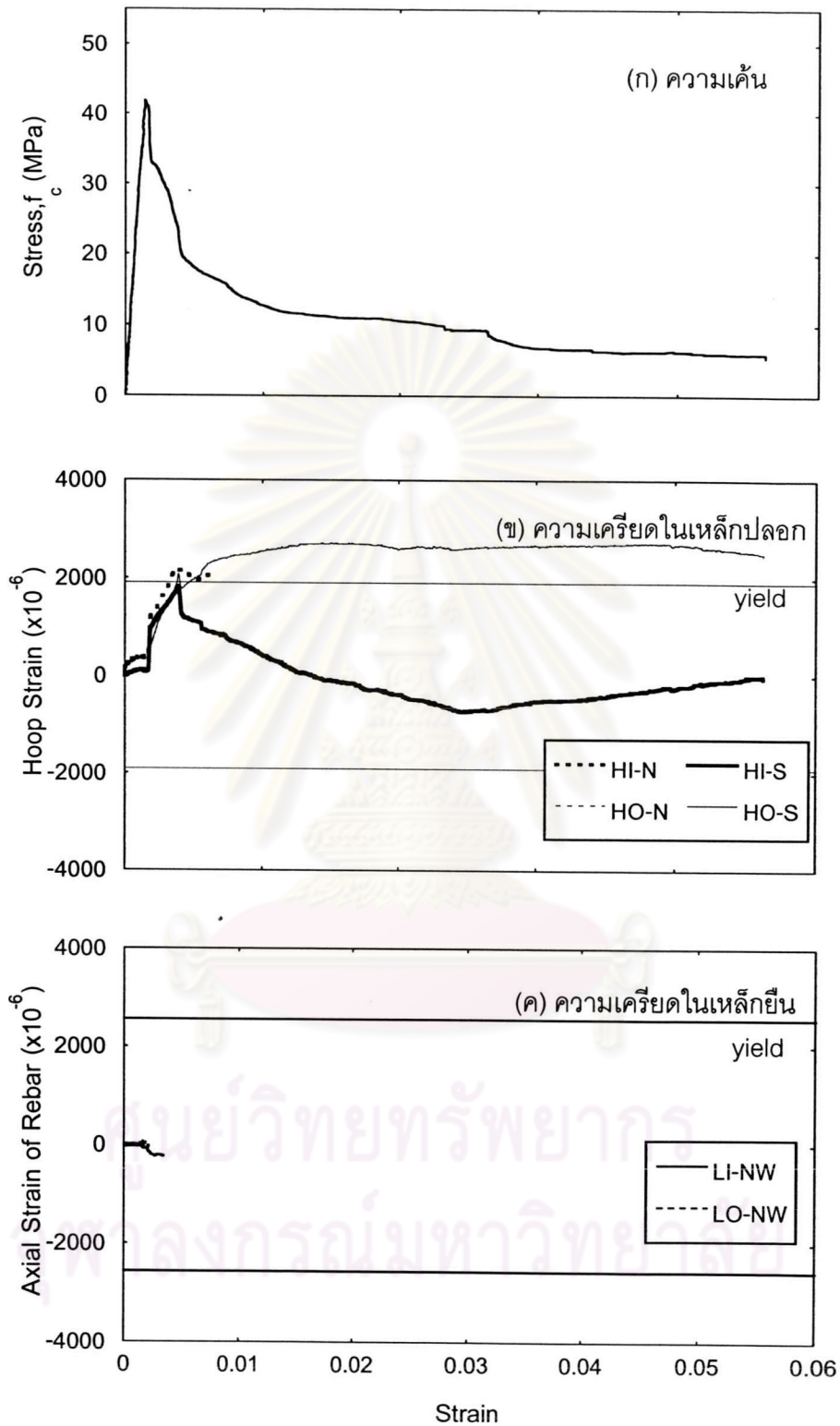
รูปที่ ง-10.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด

ตารางที่ ง-10.1 แสดงพฤติกรรมและภาพถ่ายประกอบที่เหตุการณ์ต่างๆ

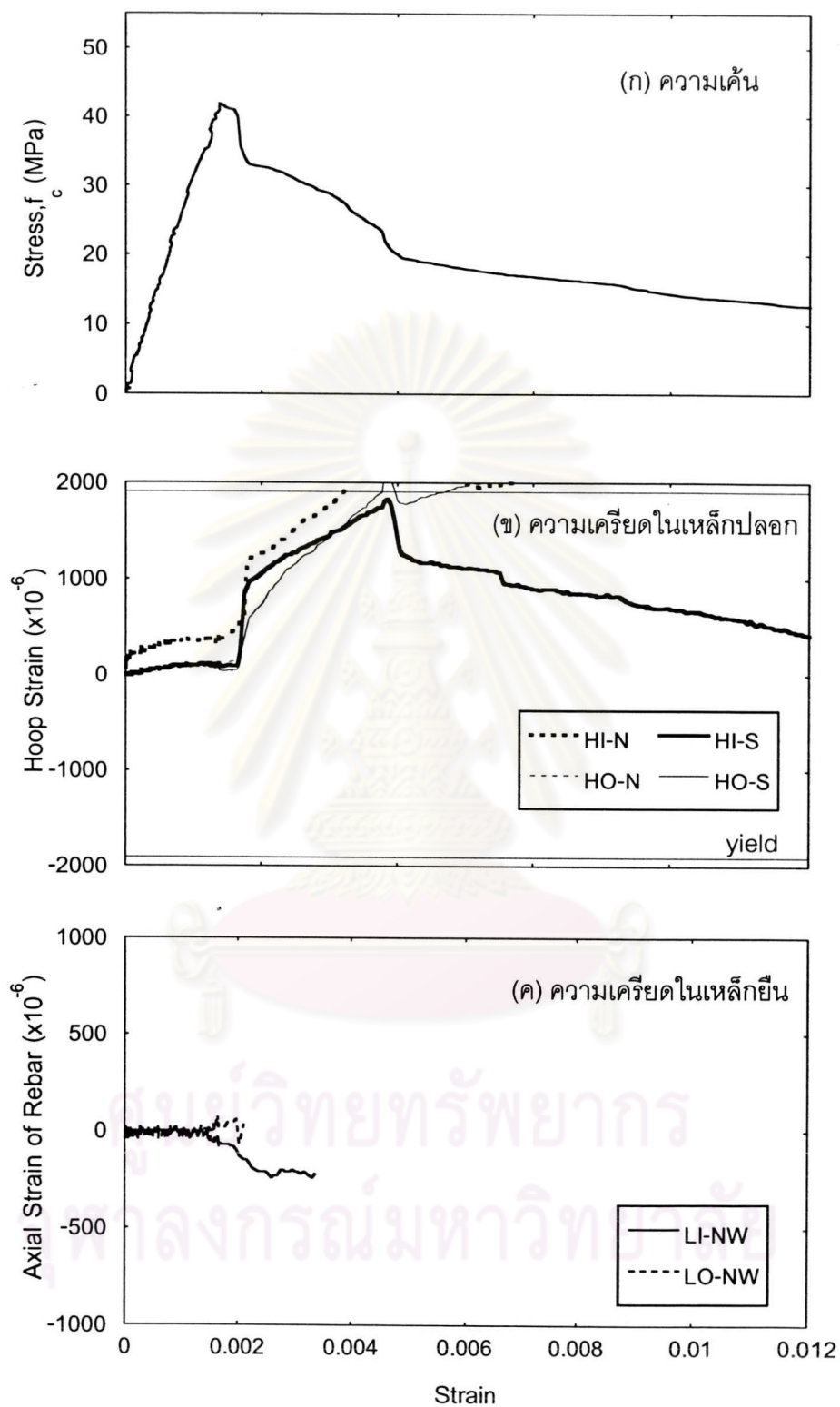
เหตุการณ์	พฤติกรรมที่เกิดขึ้น	ภาพถ่ายประกอบ
1	เกิดรอยแตกร้าวตามแนวยาวที่ขอบนอกของตัวอย่างทดสอบ	
2	เกิดรอยแตกร้าวตามขวาง	
3	เกิดรอยแตกร้าวเพิ่มขึ้นและเกิดการกะเทาะออกของคอนกรีต	
4	คอนกรีตกะเทาะออกมากขึ้นจนเห็นเหล็กปลอก และเหล็กปลอกเริ่มแอ่อก	

ตารางที่ ง-10.1 แสดงพฤติกรรมและภาพถ่ายประกอบที่เหตุการณ์ต่างๆ (ต่อ)

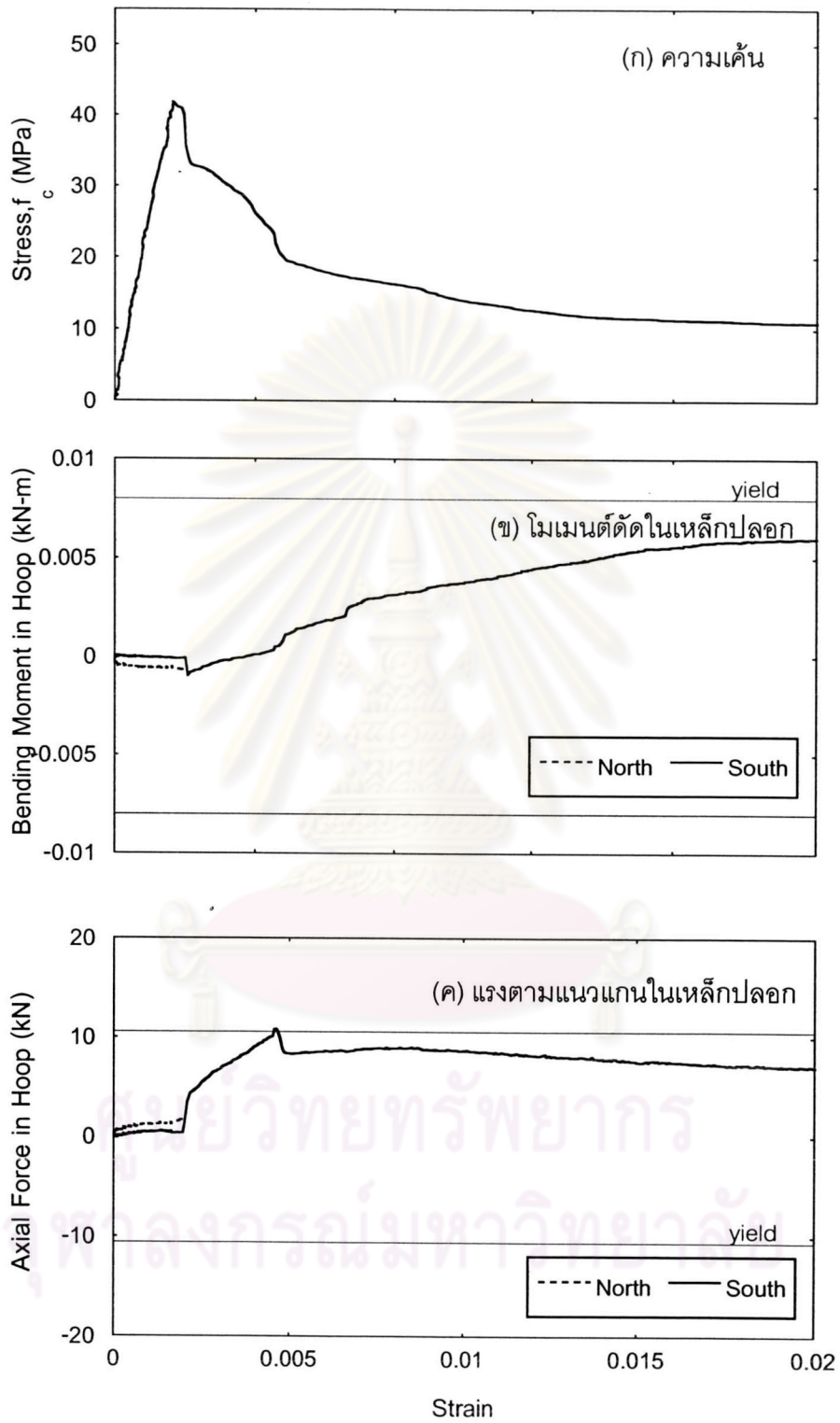
เหตุการณ์	พฤติกรรมที่เกิดขึ้น	ภาพถ่ายประกอบ
5	<p>ตัวอย่างทดสอบหลังการทดสอบ สังเกต ได้ว่าเกิดความเสียหายแบบเฉือน ระนาบทำมุมประมาณ 60 องศา กับ แนวราบ และเหล็กปลอกเกิดการแอ่นออก เล็กน้อย</p>	
6	<p>เกิดรอยแตกร้าวตามแนวยาวที่ตำแหน่ง กลางของตัวอย่างทดสอบ</p>	



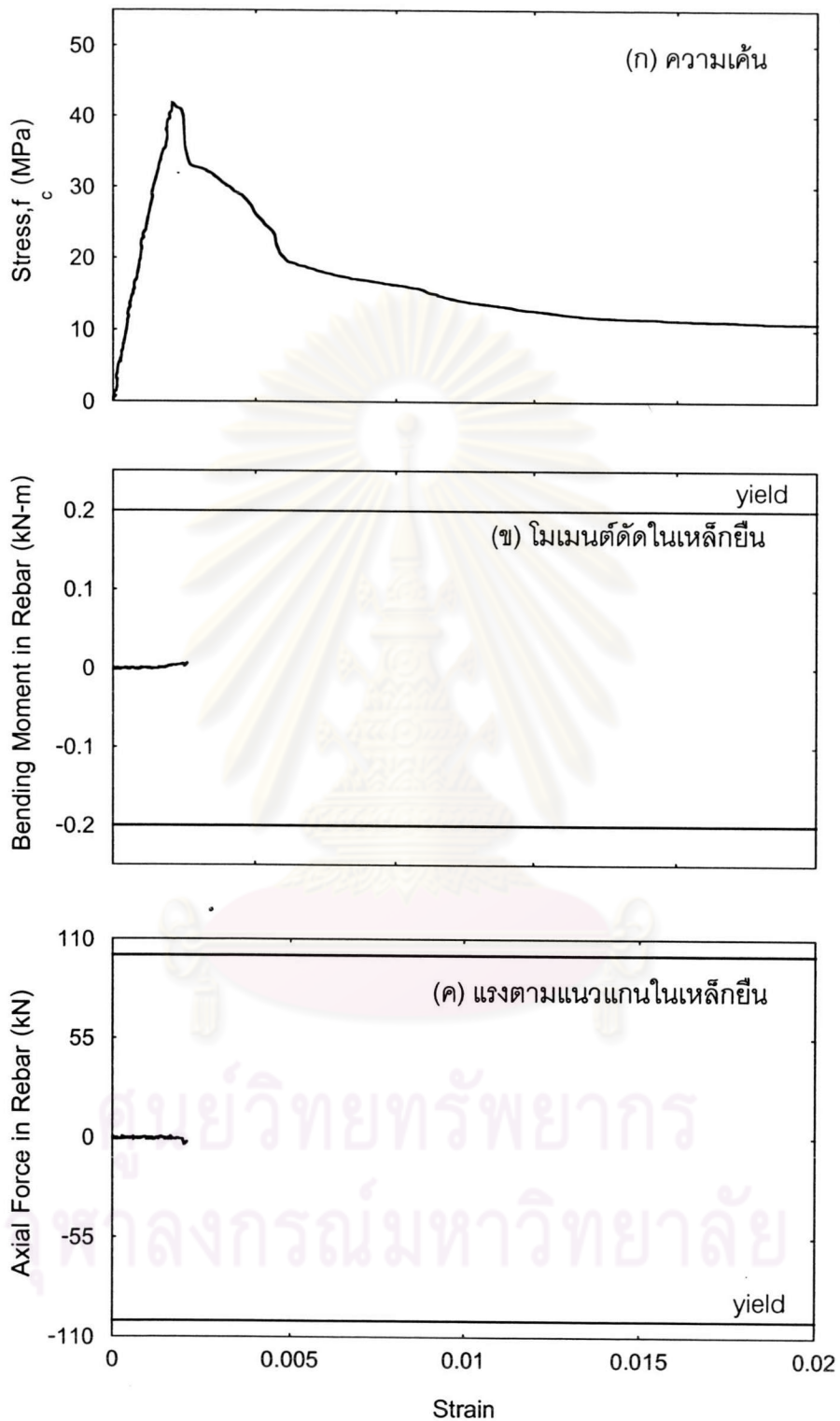
รูปที่ ง-10.5 กราฟแสดงความเค้นและความเครียดในเหล็กเสริม ในช่วงความเครียดตามแนวแกน 0-0.06



รูปที่ ง-10.6 กราฟแสดงความเค้นและความเครียดในเหล็กเสริม
ในช่วงความเครียดตามแนวนอน 0-0.012

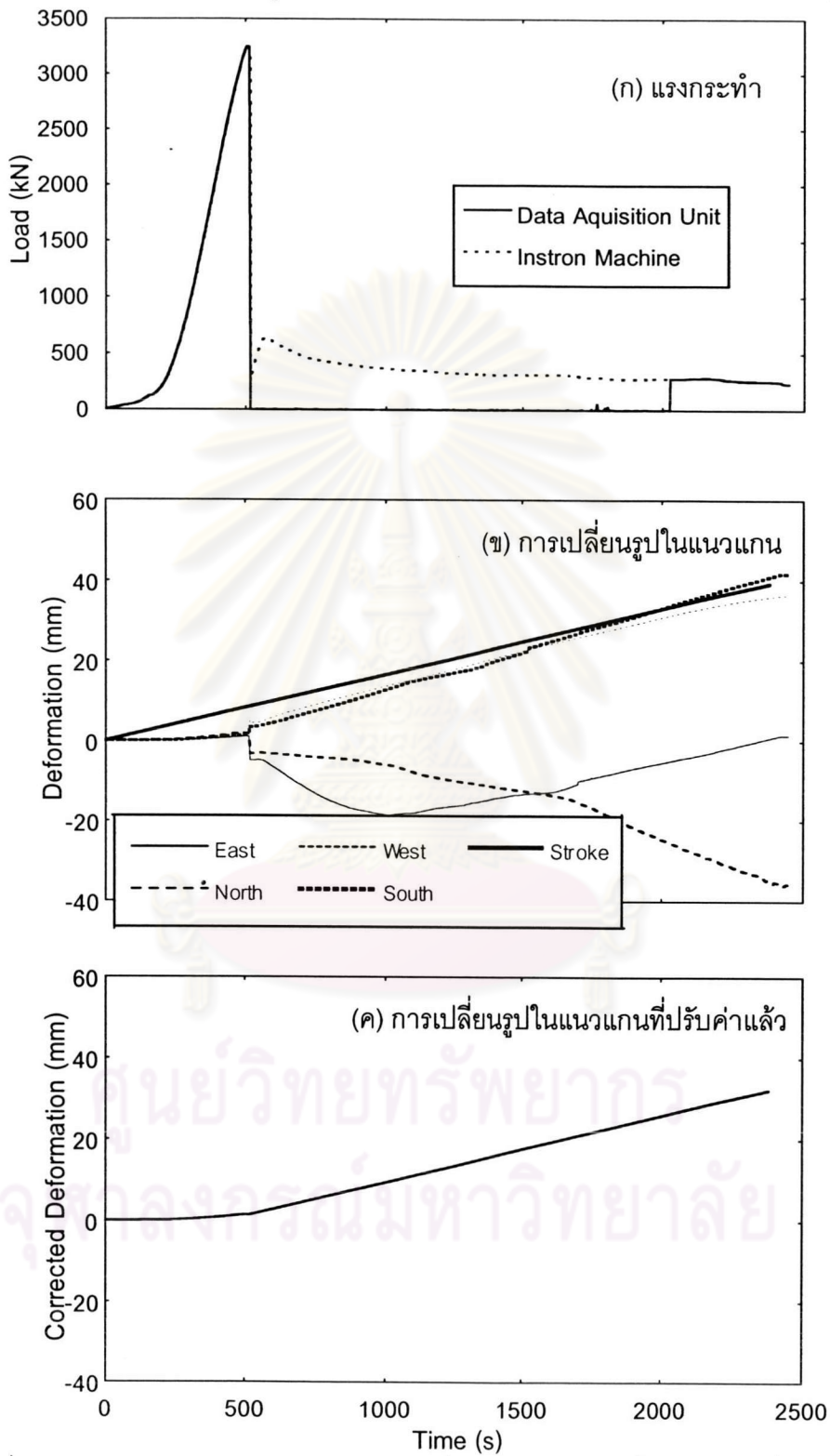


รูปที่ ง-10.7 กราฟแสดงความเค้น โมเมนต์ดัด และแรงตามแนวแกนในเหล็กเสริม

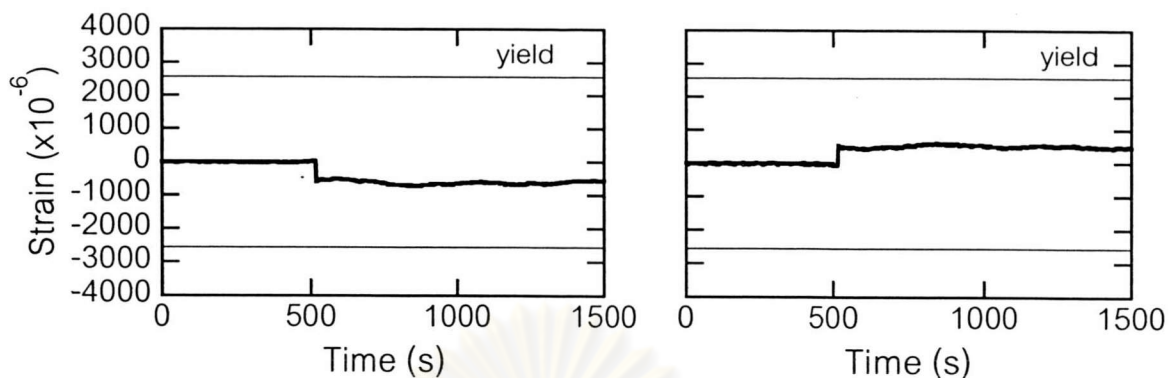


รูปที่ 10.8 กราฟแสดงความเค้น โมเมนต์ดัด และแรงตามแนวแกนในเหล็กยื่น

ภาคผนวก ง-11 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากตัวอย่างทดสอบ CA45-1-1

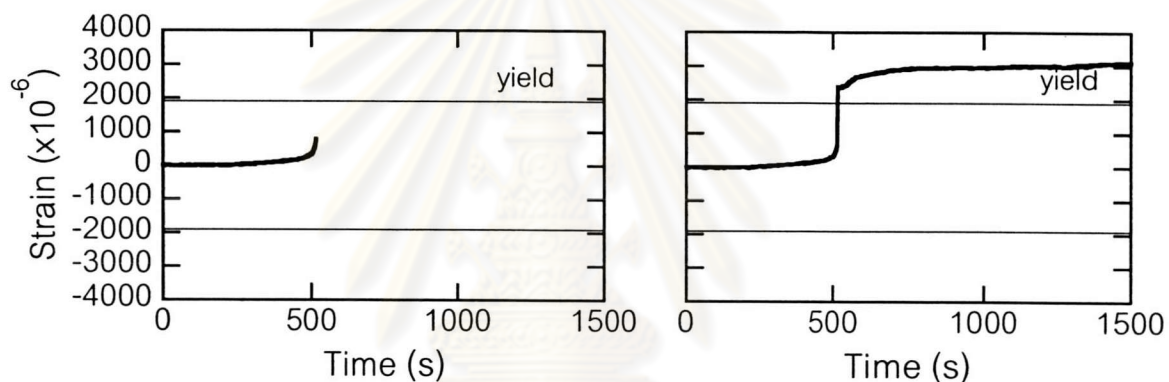


รูปที่ ง-11.1 กราฟแสดงแรงกระทำและการเปลี่ยนรูปในแนวแกนที่วัดได้จากเครื่องมือวัด



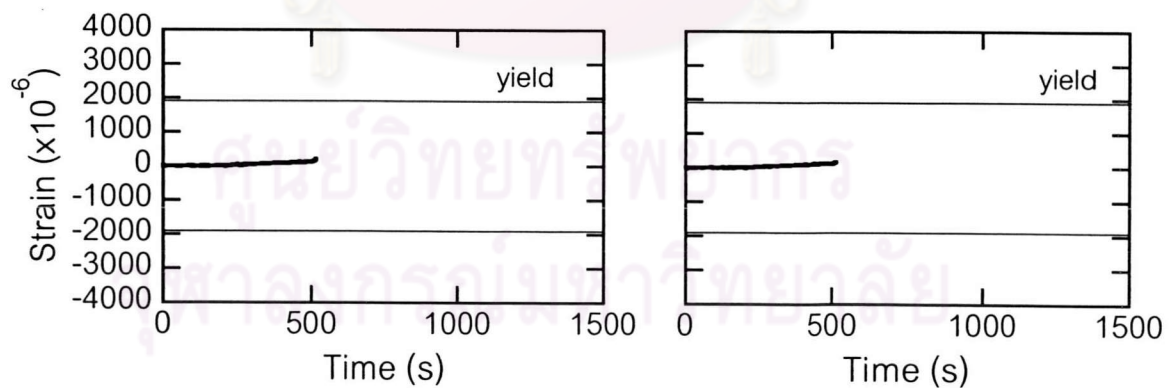
(ก) ตำแหน่ง LI-NW

(ข) ตำแหน่ง LO-NW



(ค) ตำแหน่ง HI-N

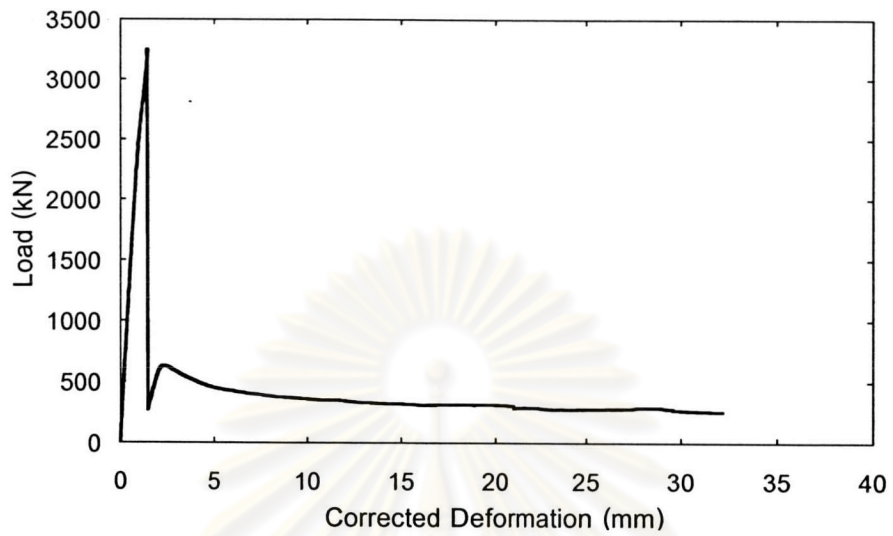
(ง) ตำแหน่ง HO-N



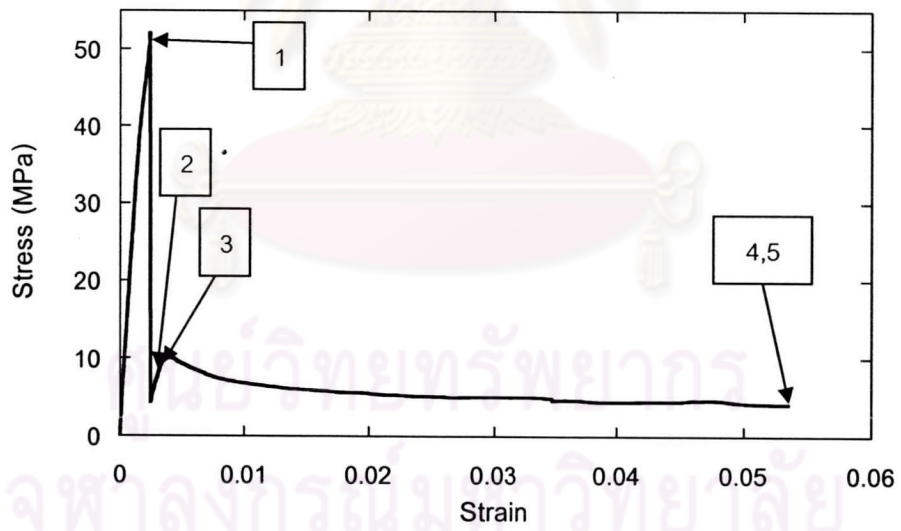
(จ) ตำแหน่ง HI-S

(ฉ) ตำแหน่ง HO-S

รูปที่ ง-11.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเครียดที่วัดได้จากเกจวัดความเครียดที่ตำแหน่งต่างๆ กับเวลา



รูปที่ ง-11.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำกับระยะหดตัวที่ปรับค่าแล้ว



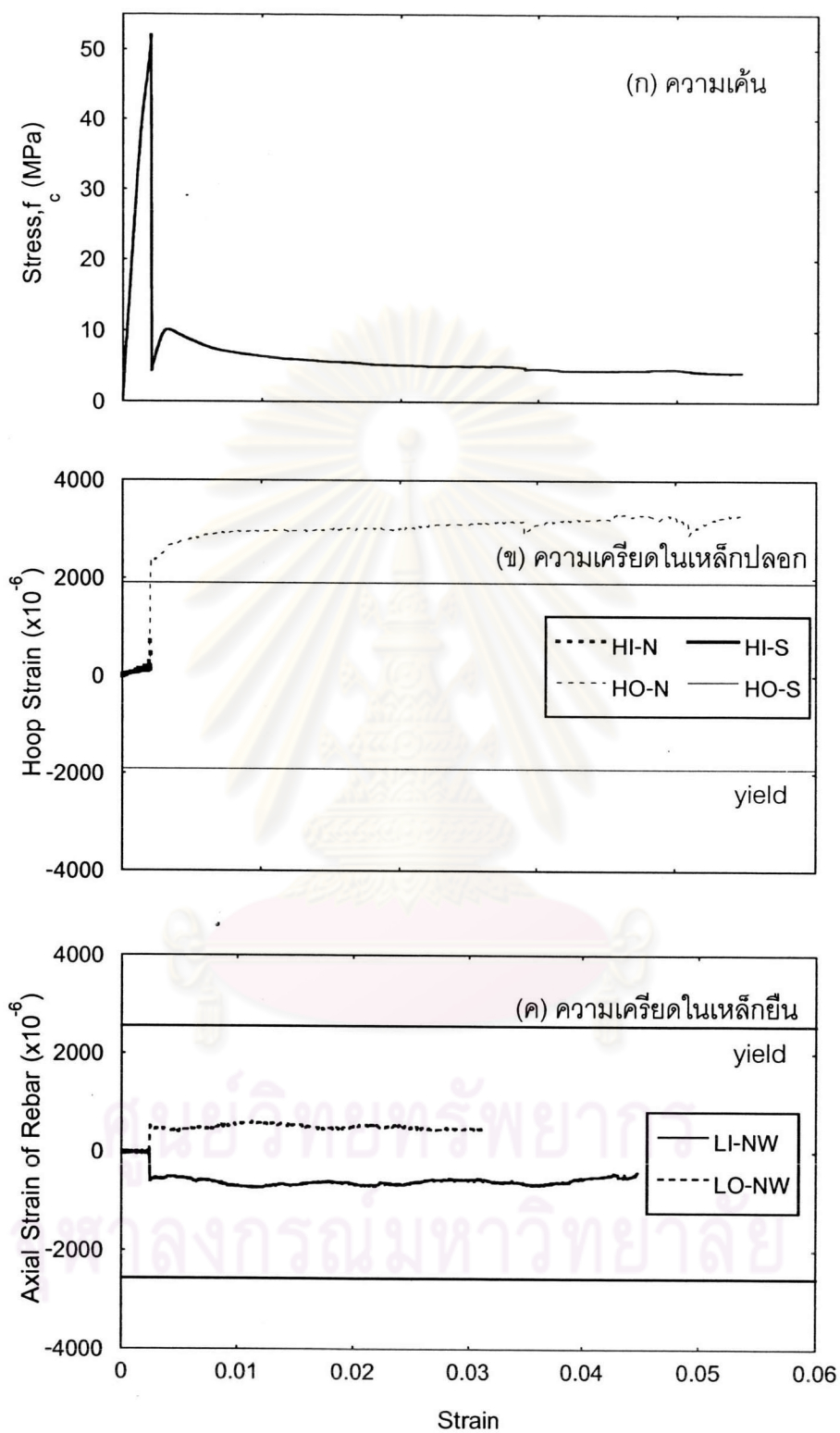
รูปที่ ง-11.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด

ตารางที่ ง-11.1 แสดงพฤติกรรมและภาพถ่ายประกอบที่เหตุการณ์ต่างๆ

เหตุการณ์	พฤติกรรมที่เกิดขึ้น	ภาพถ่ายประกอบ
1	หลังจากตัวอย่างทดสอบรับน้ำหนักกระทำถึงค่าสูงสุดเล็กน้อย เกิดการแตกร้าวตามแนวขวางที่ตำแหน่งเหล็กปลอกอย่างรุนแรงและเกิดเสียงดัง	
2	หลังเกิดการแตกร้าวอย่างรุนแรง สังเกตได้ว่าคอนกรีตเกิดการกะเทาะออกและเริ่มเกิดระนาบของการเสียหายแบบเฉือนที่ส่วนล่างของตัวอย่างทดสอบ	
3	คอนกรีตเกิดการกะเทาะออกมากขึ้นและเกิดระนาบของการเสียหายแบบเฉือนที่ส่วนล่างของตัวอย่างทดสอบชัดเจน	

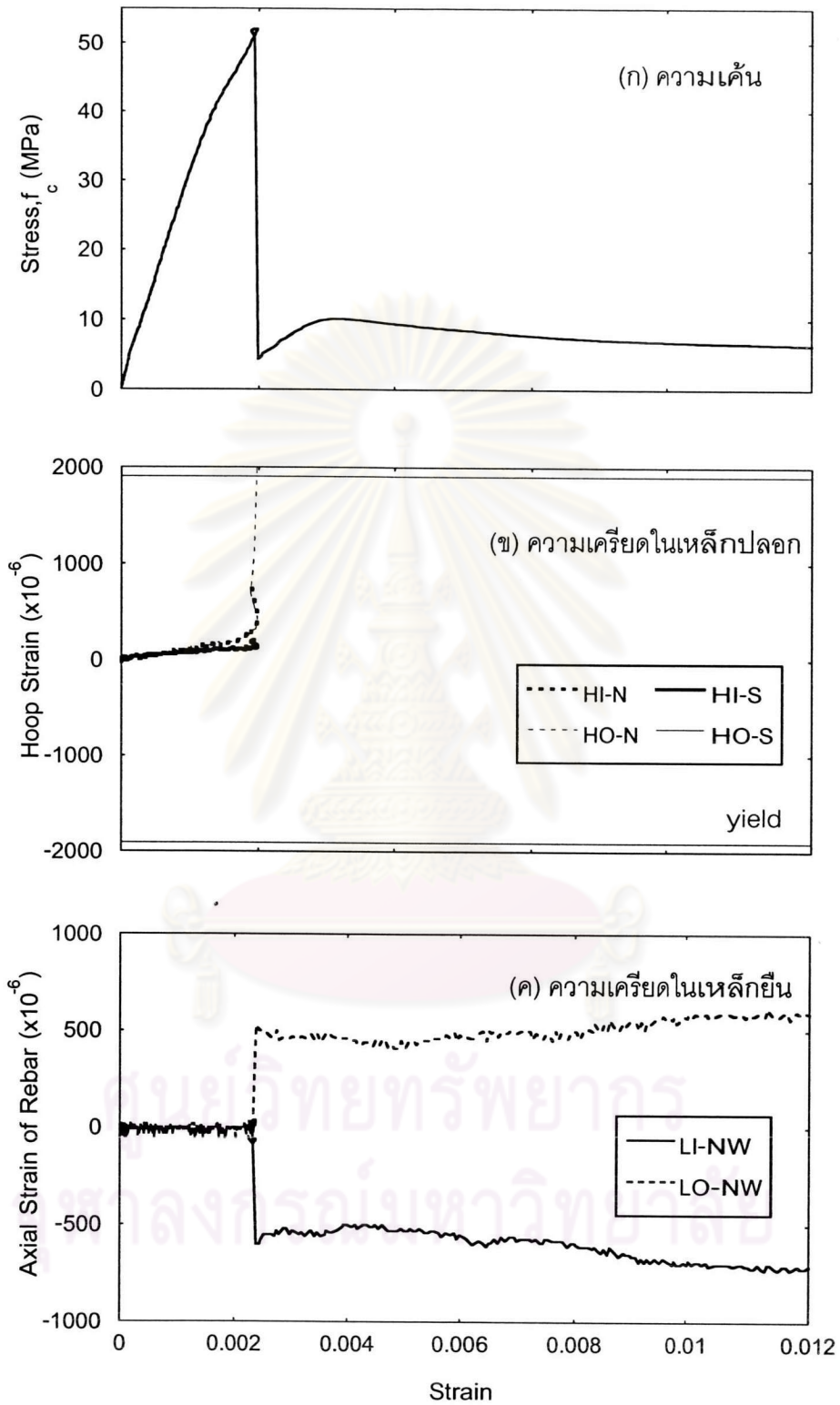
ตารางที่ ง-11.1 แสดงพฤติกรรมและภาพถ่ายประกอบที่เหตุการณ์ต่างๆ (ต่อ)

เหตุการณ์	พฤติกรรมที่เกิดขึ้น	ภาพถ่ายประกอบ
4	<p>ตัวอย่างทดสอบหลังการทดสอบ สังเกต ได้ว่าเกิดความเสียหายแบบเฉือน ระนาบทำมุมประมาณ 60 องศากับ แนวราบ เหล็กปลอกไม่เกิดการ้าออก แต่เกิดการโก่งจนเสียรูป อีกทั้งเกิด การกะเทาะออกของคอนกรีตเข้าไปใน ส่วนที่เป็นแกนคอนกรีต</p>	
5	<p>เกิดการกะเทาะออกของคอนกรีตเข้าไป ในส่วนที่เป็นแกนคอนกรีต และเหล็ก ปลอกเกิดการโก่งจนเสียรูป</p>	

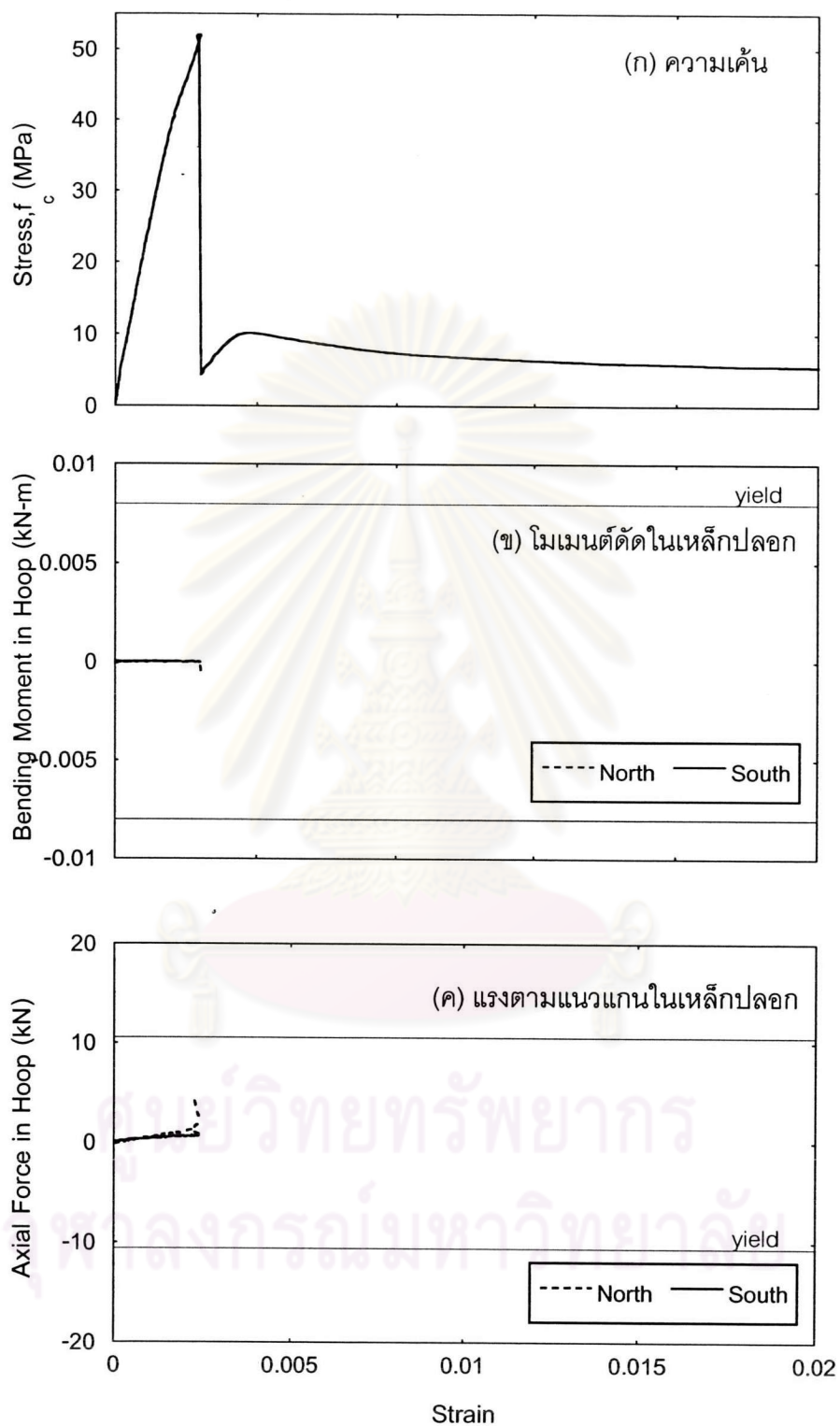


รูปที่ ง-11.5 กราฟแสดงความเค้นและความเครียดในเหล็กเสริม

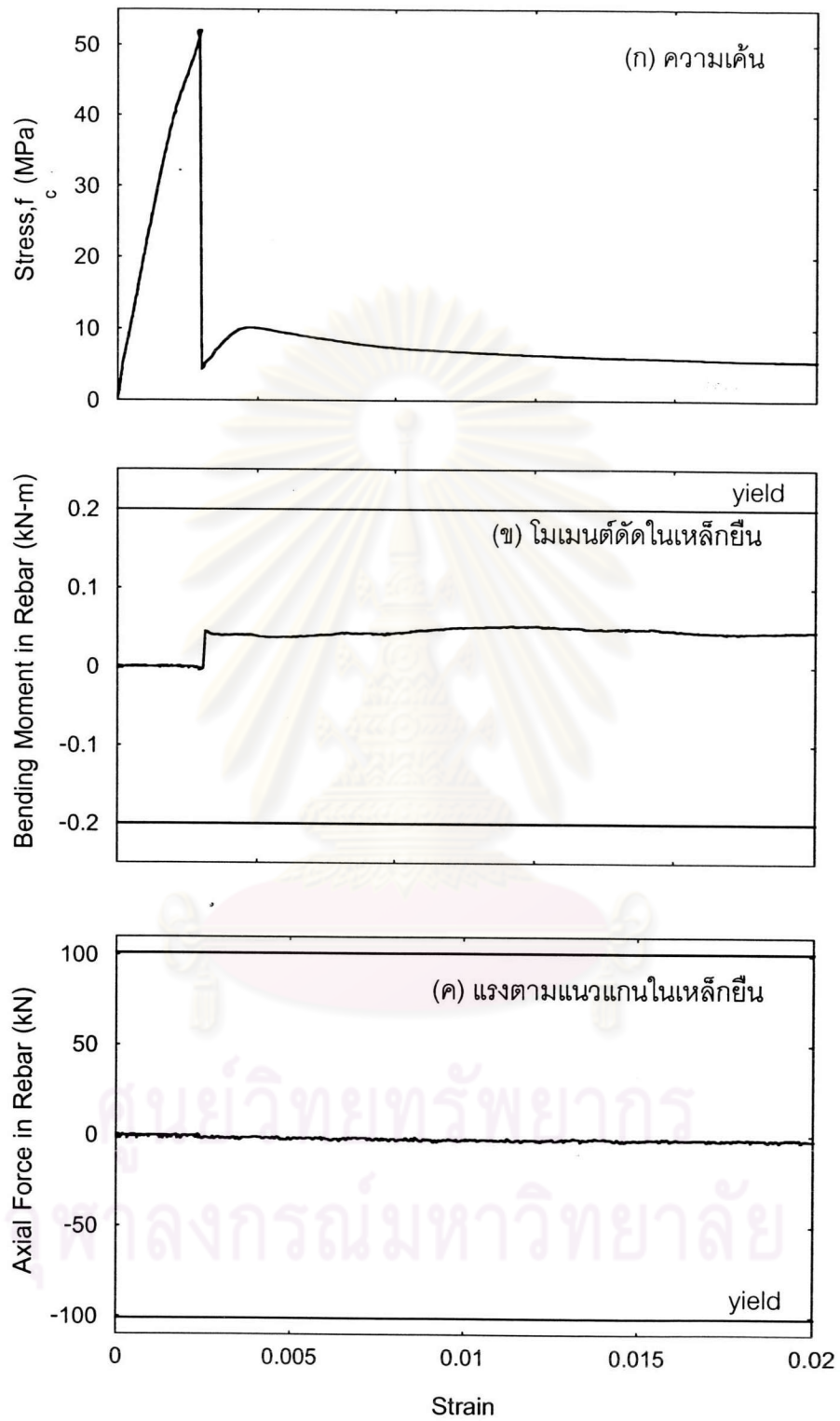
ในช่วงความเครียดตามแนวแกน 0-0.06



รูปที่ ง-11.6 กราฟแสดงความเค้นและความเครียดในเหล็กเสริม
ในช่วงความเครียดตามแนวแกน 0-0.012

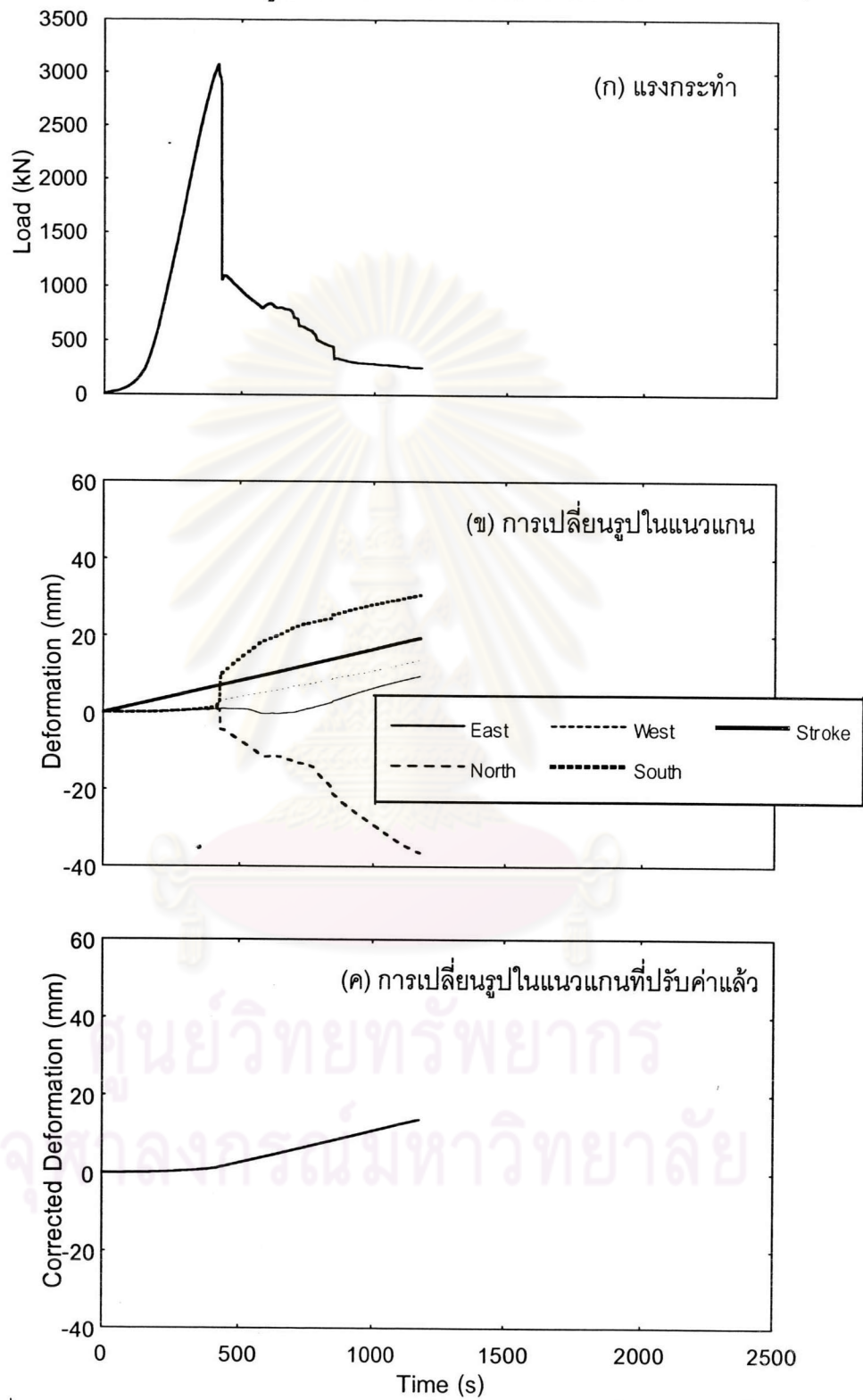


รูปที่ ง-11.7 กราฟแสดงความเค้น โมเมนต์ดัด และแรงตามแนวแกนในเหล็กเสริม

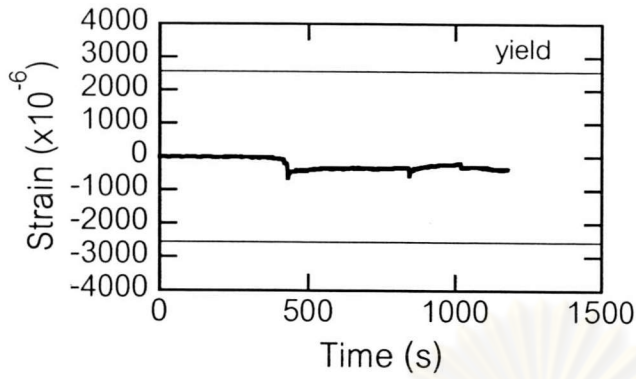


รูปที่ ง-11.8 กราฟแสดงความเค้น โมเมนต์ดัด และแรงตามแนวแกนในเหล็กยื่น

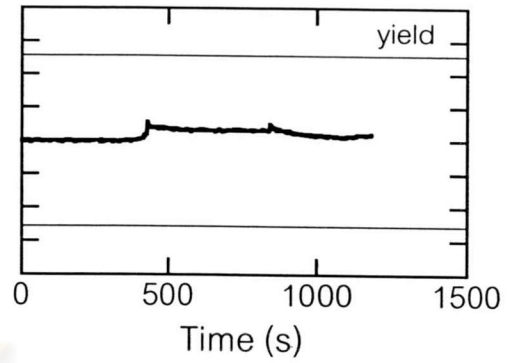
ภาคผนวก ง-12 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากตัวอย่างทดสอบ CB45-1-1



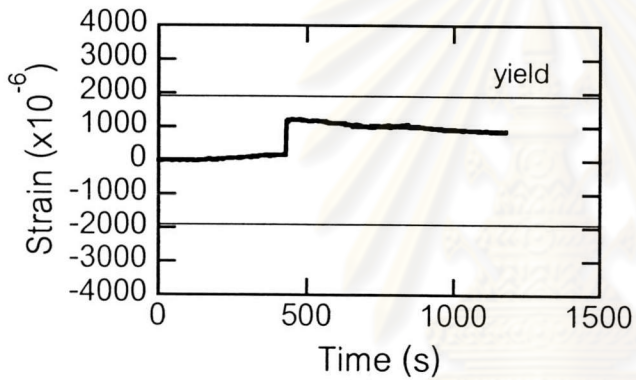
รูปที่ ง-12.1 กราฟแสดงแรงกระทำและการเปลี่ยนรูปในแนวแกนที่วัดได้จากเครื่องมือวัด



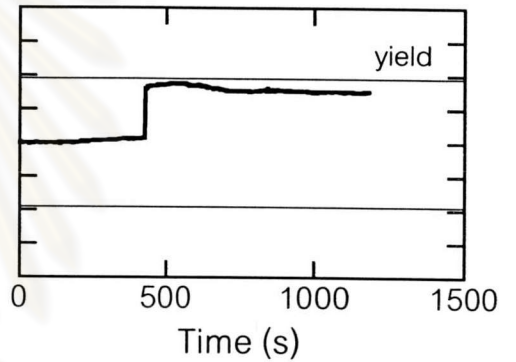
(ก) ตำแหน่ง LI-NW



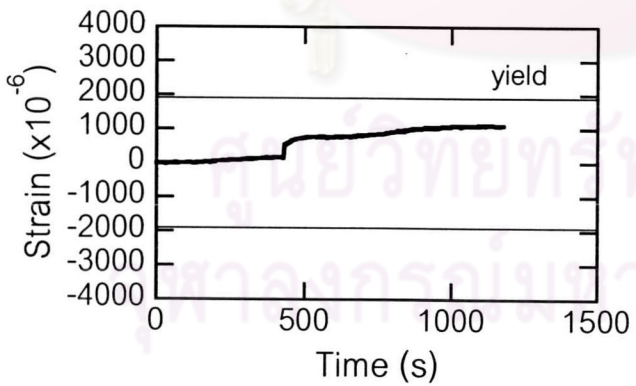
(ข) ตำแหน่ง LO-NW



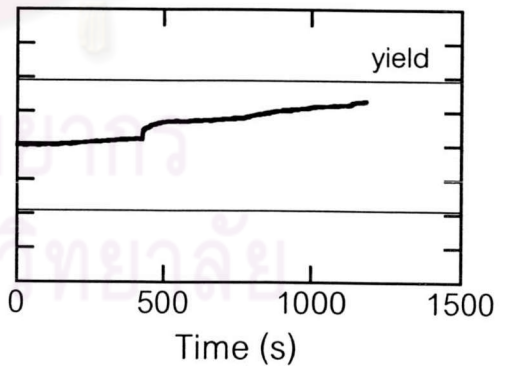
(ค) ตำแหน่ง HI-N



(ง) ตำแหน่ง HO-N

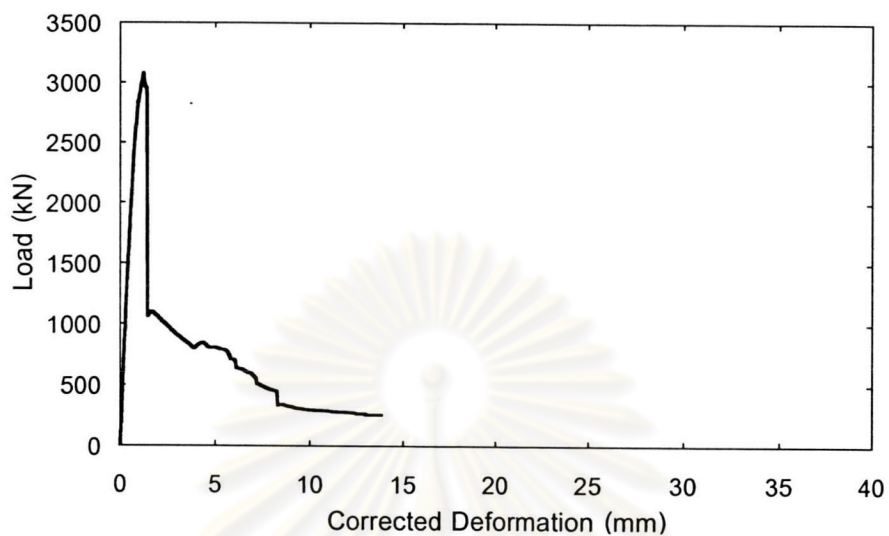


(จ) ตำแหน่ง HI-S

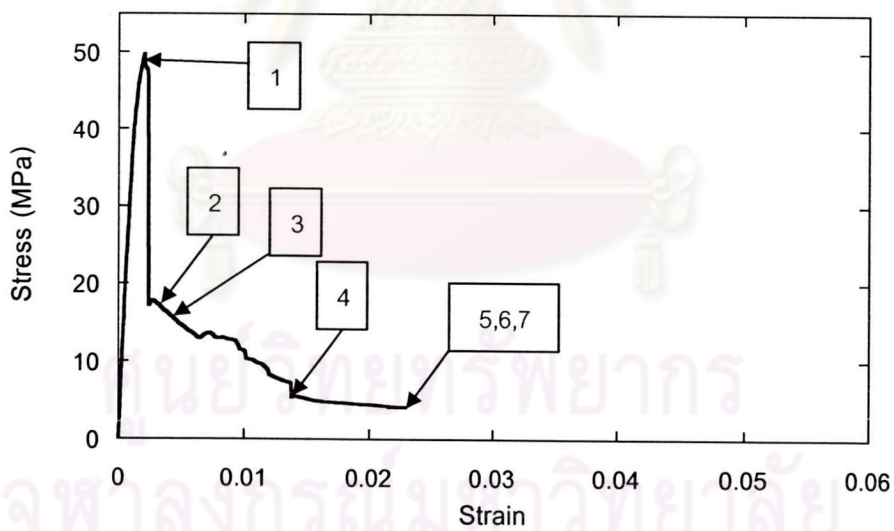


(ฉ) ตำแหน่ง HO-S

รูปที่ ง-12.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเครียดที่วัดได้จากเกจวัดความเครียดที่ตำแหน่งต่างๆ กับเวลา

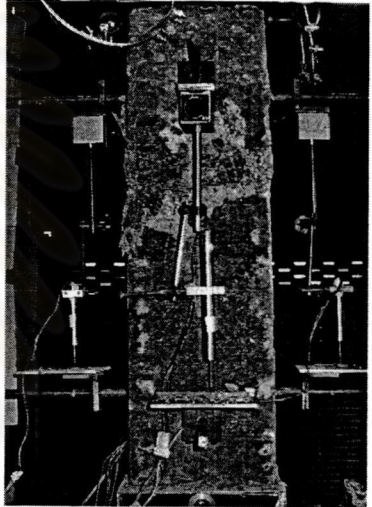
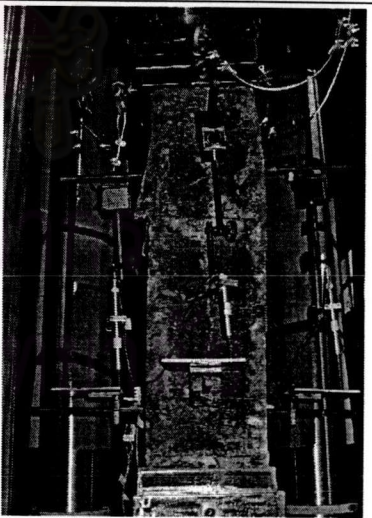


รูปที่ ง-12.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำกับระยะหดตัวที่ปรับค่าแล้ว

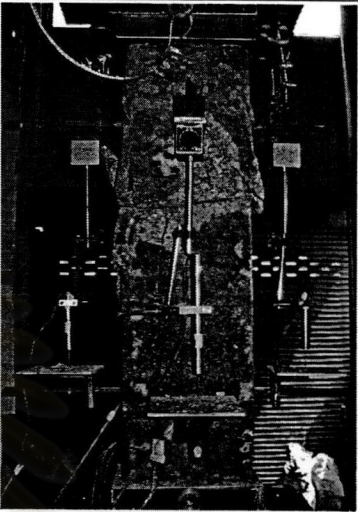




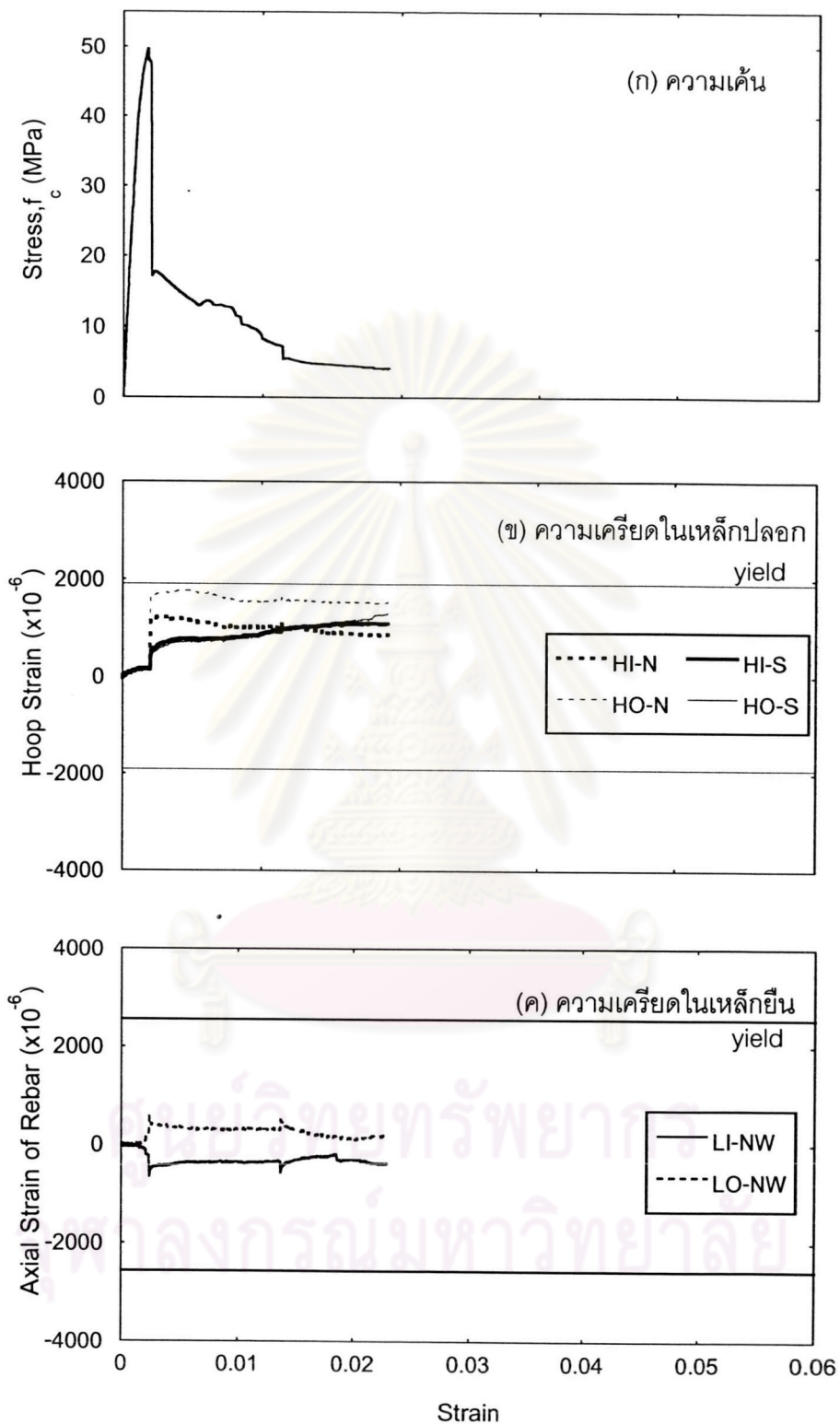
รูปที่ ง-12.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด

ตารางที่ ง-12.1 แสดงพฤติกรรมและภาพถ่ายประกอบที่เหตุการณ์ต่างๆ

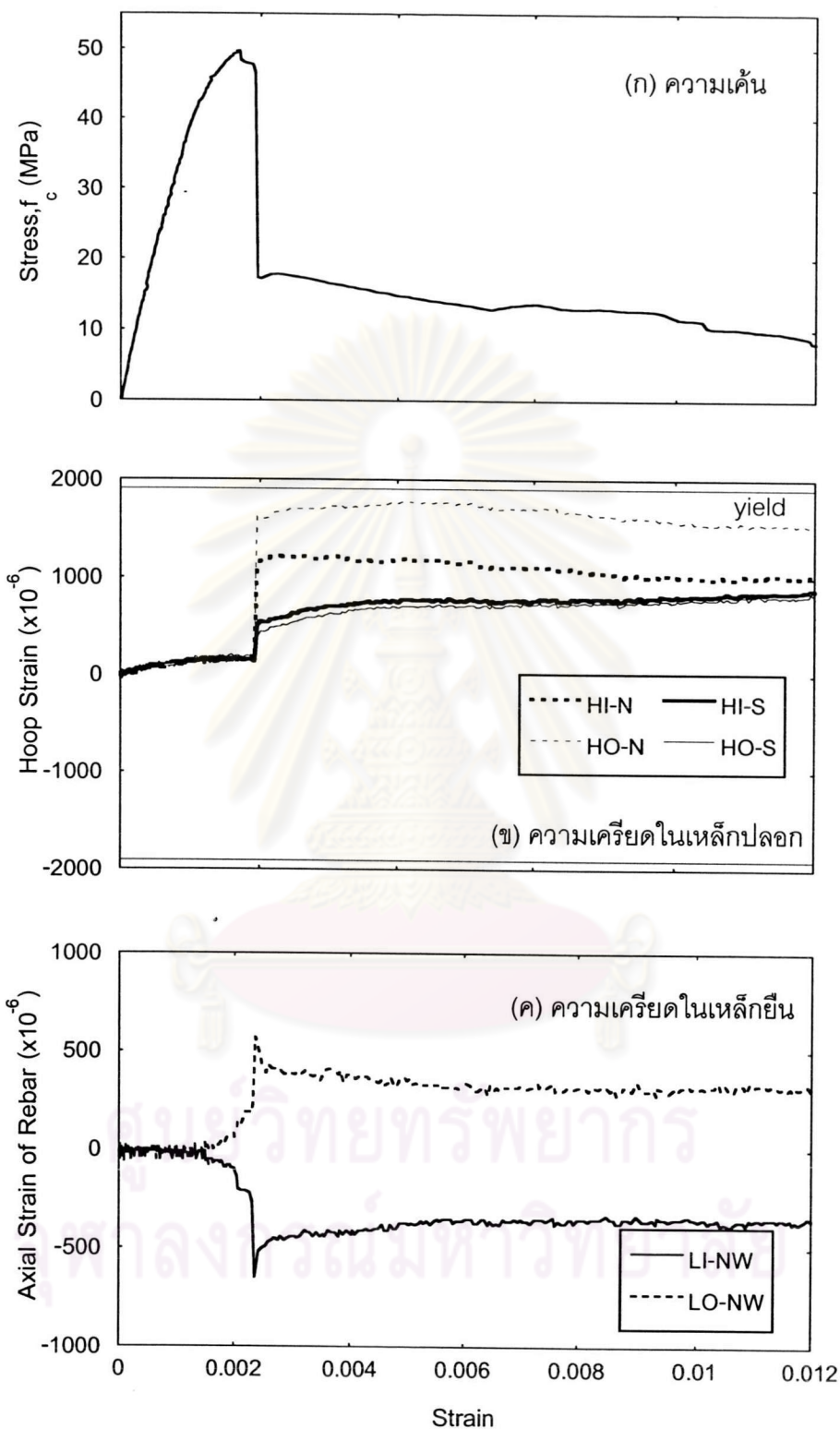
เหตุการณ์	พฤติกรรมที่เกิดขึ้น	ภาพถ่ายประกอบ
1	หลังจากตัวอย่างทดสอบรับน้ำหนักกระทำถึงค่าสูงสุดเล็กน้อย เกิดการแตกร้าวตามแนวขวางที่ตำแหน่งเหล็กปลอกอย่างรุนแรงและเกิดเสียงดัง	
2	คอนกรีตกะเทาะออกจนเห็นเหล็กปลอก	
3	เกิดรอยแตกร้าวตามแนวยาวที่ตำแหน่งกลางของตัวอย่างทดสอบ และเกิดระนาบของการเสียหายแบบเฉือนที่ช่วงกลางของตัวอย่างทดสอบชัดเจน	
4	เกิดการแตกร้าวตามแนวขวางที่ตำแหน่งเหล็กปลอกอย่างรุนแรงและเกิดเสียงดังอีกครั้งหนึ่ง ทำให้เกิดรอยแตกร้าวกว้างขึ้น	

ตารางที่ ง-12.1 แสดงพฤติกรรมและภาพถ่ายประกอบที่เหตุการณ์ต่างๆ (ต่อ)

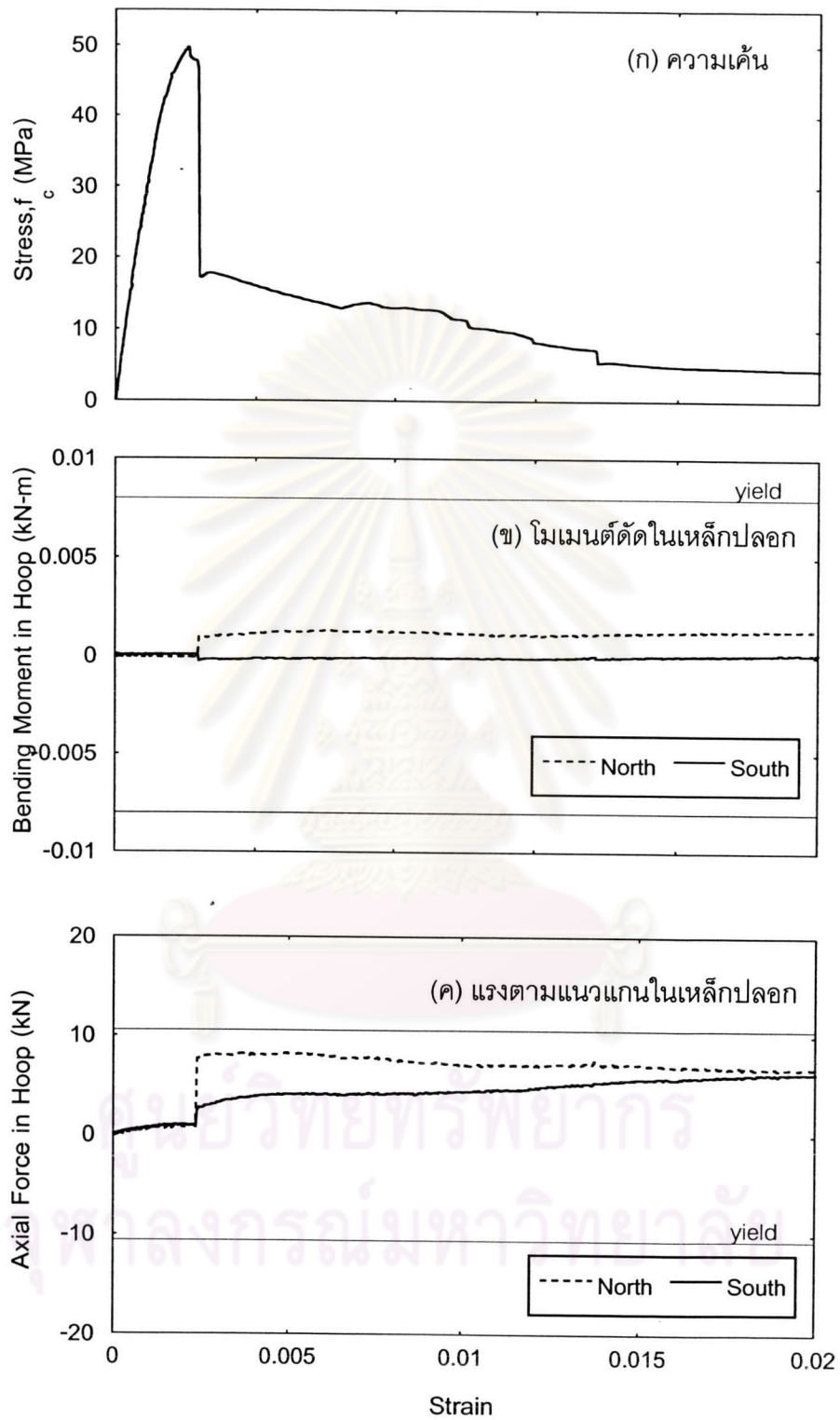
เหตุการณ์	พฤติกรรมที่เกิดขึ้น	ภาพถ่ายประกอบ
5	<p>ตัวอย่างทดสอบหลังการทดสอบ สังเกต ได้ว่าเกิดความเสียหายแบบเฉือน ระนาบทำมุมประมาณ 30 องศากับ แนวราบ เหล็กปลอกไม่เกิดการแอ่อก แต่เกิดการโก่งจนเสียรูปอีกทั้งเกิด การกะเทาะออกของคอนกรีตเข้าไปใน ส่วนที่เป็นแกนคอนกรีต</p>	
6	<p>เกิดการกะเทาะออกของคอนกรีตเข้าไป ในส่วนที่เป็นแกนคอนกรีต</p>	
7	<p>เกิดรอยแตกร้าวตามแนวยาวที่ตำแหน่ง กลางของตัวอย่างทดสอบ และเกิดการ กะเทาะออกของคอนกรีตเข้าไปในส่วน ที่เป็นแกนคอนกรีต</p>	



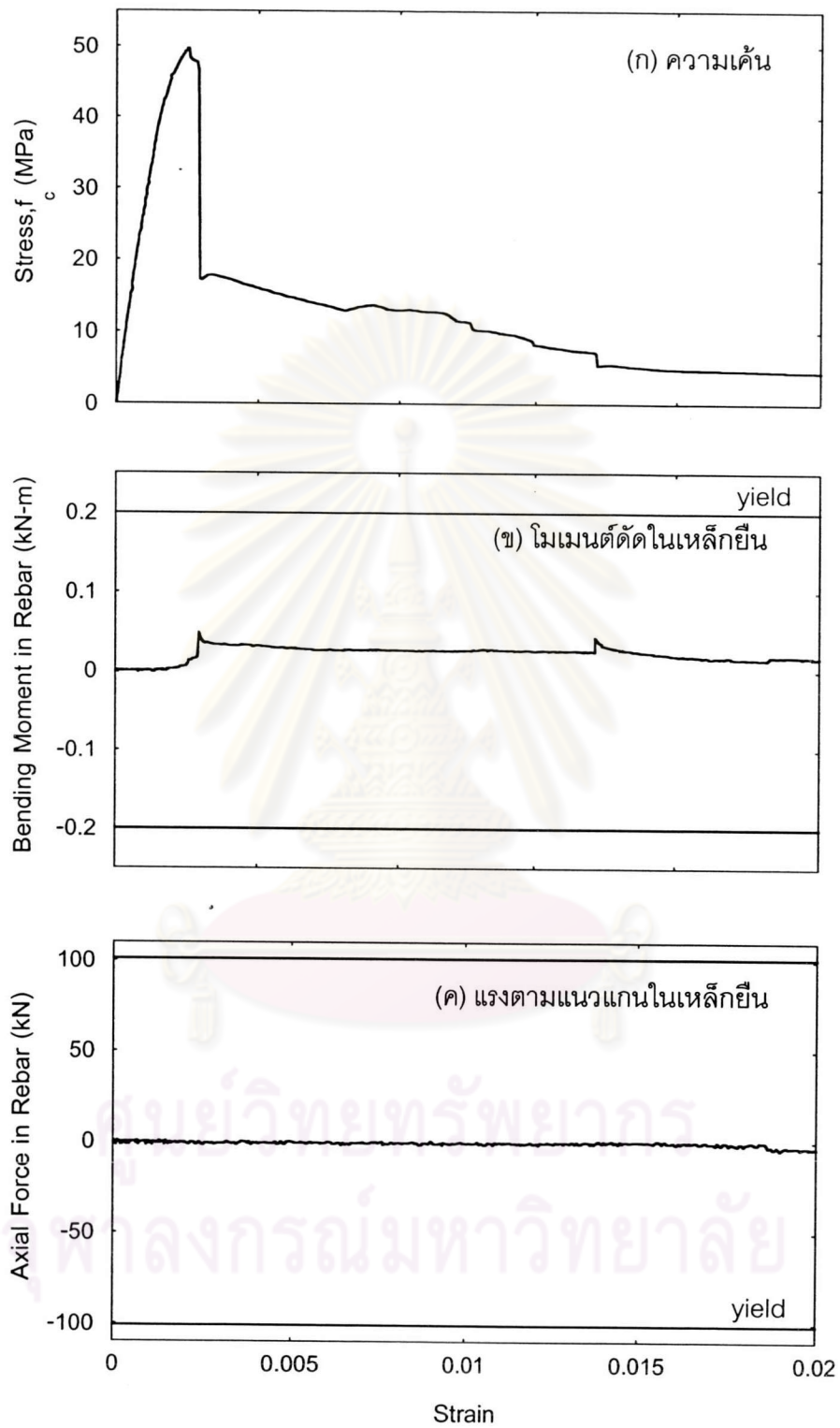
รูปที่ ง-12.5 กราฟแสดงความเค้นและความเครียดในเหล็กเสริม
ในช่วงความเครียดตามแนวนอน 0-0.06



รูปที่ ง-12.6 กราฟแสดงความเค้นและความเครียดในเหล็กเสริม ในช่วงความเครียดตามแนวแกน 0-0.012



รูปที่ ง-12.7 กราฟแสดงความเค้น โมเมนต์ดัด และแรงตามแนวแกนในเหล็กเสริม



รูปที่ ง-12.8 กราฟแสดงความเค้น โมเมนต์ดัด และแรงตามแนวแกนในเหล็กยื่น

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายวิรัช ประทักษิธ เกิดเมื่อวันที่ 16 เมษายน พ.ศ. 2523 ที่กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิศวกรรมบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ในปีการศึกษา 2543 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2544



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย