

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- ปณิธาน ลักคุณะประสิทธิ์. การวิเคราะห์โครงสร้าง. พิมพ์ครั้งที่ 2, กรุงเทพมหานคร : วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์, 2536
- อรรถพร หาญวานิช. การวิเคราะห์อิลาสติก-พลาสติกอันดับที่สองของโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็ก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540.

ภาษาอังกฤษ

- ACI Committee 318, Building Code Requirement for Reinforced Concrete and (ACI 318-89) and Commentary - ACI 318-95. American Concrete Institute, Detroit, 1997.
- Baker A.L.L and Amarakorn A.M.N. Inelastic Hyperstatic Frames Analysis. Proceeding of the International Symposium on the flexural Mechanics of Reinforced Concrete ASCE-ACI Miami. (Nov.1964):85-142.
- Carol I., and Murcia J. Nonlinear Time-dependent Analysis of Planar Frames using an Exact Formulation-I. Theory. Journal of Computer & Structure. Vol.33, No.1 1989:79-87.
- Carol I., and Murcia J. Nonlinear Time-dependent Analysis of Planar Frames using an Exact Formulation-II. Computer Implementatin for R.C. Structures and Examples. Journal of Computer & Structure. Vol.33, No.1 1989:89-102.
- Chajes A., and Churchill E.J. Nonlinear Frame Analysis by Finite Element Method. Journal of Structural Engineering ASCE, 113(June 1987):1221-1235.
- Chen, W.F., and Lui, E.M. Stabiility Design of Steel Frame. Florida: CRC Press, 1991.
- Corradi, L., Donato, O.D., and Maier, G. Inelastic Analysis of Reinforced Concrete Frames, Journal of the Structural Division. Vol.100, No.ST9. (September 1974) :925-1942.

- Davall, P.L., and Mendis, P.A. Elastic-Plastic-Softening Analysis of Plane Frames. Journal of Structural Engineering. ASCE, Vol. 111, No. 4 (April 1985): 871-888.
- EI-Metwally S.E., and Chen W.F. Nonlinear Behavior of R/C Frames. Journal of Computer & Structure. Vol. 32, No. 6 1989: 1203-1209.
- Ernst G.C., Smith G.M., Riveland A.R., and Pierce D.N. Basic Reinforced Concrete Frame Performance Under Vertical and Lateral Loads. ACI Journal. (April 1973): 261-269.
- Kim J.K., and Lee T.G. Failure Behavior of Reinforce Concrete Frames by the Combined Layered and Nonlayered Method. Journal of Computer & Structure. Vol. 48, No. 6 1991: 819-825.
- Rasheed H.A.S., and Dinno K.S. An Improved Nonlinear Analysis of Reinforced Concrete Frames. Journal of Computer & Structure. Vol. 53, No. 3 1994: 625-636.
- Saatcioglu, M., and Razvi, S.R. Strength and Ductility of Confined Concrete. Journal of Structural Engineering. ASCE, Vol. 118, No. 6 (June 1992): 1590-1607.
- Saatcioglu, M., Salamat, A.S., and Razvi, S.R. Confined Column Under Eccentric Loading. Journal of Structural Engineering. ASCE, Vol. 121, No. 11 (November 1995): 1547-1556.
- Seniwonge M. The Deformation of Reinforced Concrete Beams and Frames up to Failure. The Structural Engineer. Vol. 57, No. 4 (Dec. 1979): 77-81.
- Sirisreetreerux Tunwa. Nonlinear Analysis of Reinforced Concrete Frames. M.Eng. Thesis, Asian Institute of Technology, 1978.
- Zienkiewicz O.C., and Taylor R.L. The Finite Element Method. 4th ed. Vol. 1 London :McGrawHill, 1991.
- Zienkiewicz O.C., and Taylor R.L. The Finite Element Method. 4th ed. Vol. 2 London :McGrawHill, 1991.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การหาสติเฟนสเชิงเส้นดัดแปลงและไม่เชิงเส้นทางเรขาคณิต

จากสมการที่(2.24)

$$\begin{aligned} [k_m] &= [k^a] + [k^b] \\ &= \int_0^L \left\{ \frac{dN_u}{dx} \right\} EA_e \left[\frac{dN_u}{dx} \right] dx + \int_0^L \left\{ \frac{d^2N_v}{dx^2} \right\} EI(x) \left[\frac{d^2N_v}{dx^2} \right] dx \end{aligned} \quad (2.24)$$

พิจารณาพจน์แรกของสมการ(2.24) คือ $[k^a]$

$$[k^a] = \int_0^L \left\{ \frac{dN_u}{dx} \right\} EA_e \left[\frac{dN_u}{dx} \right] dx \quad (ก.1)$$

เมื่อ $\left\{ \frac{dN_u}{dx} \right\}^T = \left[\frac{dN_u}{dx} \right] = \left[-\frac{1}{L} \quad \frac{1}{L} \right]$ (ก.2)

ดังนั้น

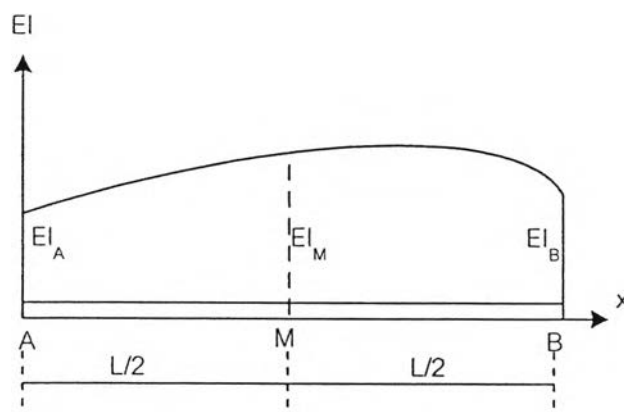
$$\begin{aligned} [k^a] &= EA_e \int_0^L \begin{Bmatrix} -1/L \\ 1/L \end{Bmatrix} \begin{bmatrix} -1/L & 1/L \end{bmatrix} dx \\ &= \frac{EA_e}{L^2} \int_0^L \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} dx \\ [k^a] &= \frac{EA_e}{L} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (ก.3)$$

เมื่อ $A_e = \frac{1}{6} [A_{\bar{A}} + 4A_{\bar{M}} + A_{\bar{B}}]$

เมตริกซ์สติเฟนสในสมการ(ก.3) สัมพันธ์กับการกระจายที่ปลาย $\{r\} = [d_1 \quad d_4]^T$ พิจารณาพจน์ที่สองของสมการ(2.24) คือ $[k^b]$

$$[k^b] = \int_0^L \left\{ \frac{d^2N_v}{dx^2} \right\} EI(x) \left[\frac{d^2N_v}{dx^2} \right] dx \quad (ก.4)$$

จากสมมุติฐานเบื้องต้นที่กำหนดให้ความสัมพันธ์ของสติเฟเนสตลอดความยาวขององค์อาคาร เป็นแบบพาราโบลา ดังรูปที่ ก.1



รูปที่ ก.1 การกระจายสติเฟเนสขององค์อาคาร

เพราะฉะนั้น $EI(x) = \beta_1 + \beta_2 x + \beta_3 x^2$ (ก.5)

โดย $\beta_i, i = 1, 2, 3$ เป็นค่าคงตัวหาได้จากเงื่อนไขที่จุดต่อ คือ

$$EI(x=0) = EI_{\bar{A}}$$

$$EI(x=L/2) = EI_{\bar{M}}$$

$$EI(x=L) = EI_{\bar{B}}$$

จากความสัมพันธ์ดังกล่าวข้างต้น สามารถเขียนลักษณะการกระจายของสติเฟเนสให้อยู่ในรูป แบบสติเฟเนสที่จุดต่อ 3 จุด ได้ดังนี้

$$EI(x) = EI_{\bar{A}} + (-3EI_{\bar{A}} + 4EI_{\bar{M}} - EI_{\bar{B}}) \frac{x}{L} + 2(EI_{\bar{A}} - 2EI_{\bar{M}} + EI_{\bar{B}}) \left(\frac{x}{L}\right)^2 \quad (ก.6)$$

$$\text{และ } \left\{ \frac{d^2 N_v}{dx^2} \right\}^T = \left[\frac{d^2 N_v}{dx^2} \right] = \left[\left(-\frac{6}{L^2} + \frac{12x}{L^3} \right) \quad \left(-\frac{4}{L} + \frac{6x}{L^2} \right) \quad \left(\frac{6}{L^2} - \frac{12x}{L^3} \right) \quad \left(-\frac{2}{L} + \frac{6x}{L^2} \right) \right] \quad (ก.7)$$

แทนค่า (ก.6) และ (ก.7) ลงใน (ก.4) จะได้

$$[k^b] = \int_0^L EI(x) \begin{bmatrix} \alpha_1 & \alpha_3 & -\alpha_1 & -\alpha_5 \\ & \alpha_2 & -\alpha_3 & \alpha_6 \\ & & \alpha_1 & \alpha_5 \\ \text{SYM} & & & \alpha_4 \end{bmatrix} dx \quad (n.8)$$

เมื่อ

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= \frac{36}{L^4} - \frac{144x}{L^5} + \frac{144x^2}{L^6} \\ \alpha_2 &= \frac{16}{L^2} - \frac{48x}{L^3} + \frac{36x^2}{L^4} \\ \alpha_3 &= \frac{24}{L^3} - \frac{84x}{L^4} + \frac{72x^2}{L^5} \\ \alpha_4 &= \frac{4}{L^2} - \frac{24x}{L^3} + \frac{36x^2}{L^4} \\ \alpha_5 &= -\frac{12}{L^3} + \frac{60x}{L^4} - \frac{72x^2}{L^5} \\ \alpha_6 &= \frac{8}{L^2} - \frac{36x}{L^3} + \frac{36x^2}{L^4} \end{aligned}$$

อินทิเกรตสมการข้างต้นเราจะได้

$$[k^b] = A_1 \begin{bmatrix} 12/L^3 & 6/L^2 & -12/L^3 & 6/L^2 \\ & 4/L & -6/L^2 & 2/L \\ & & 12/L^3 & -6/L^2 \\ \text{SYM} & & & 4/L \end{bmatrix} + A_2 \begin{bmatrix} 6/L^2 & 2/L & -6/L^2 & 4/L \\ & 1 & -2/L & 1 \\ & & 6/L^2 & -4/L \\ \text{SYM} & & & 3 \end{bmatrix} \\ + A_3 \begin{bmatrix} 24/5L & 7/5 & -24/5L & 17/5 \\ & 8L/15 & -7/5 & 13L/15 \\ & & 24/5L & -17/5 \\ \text{SYM} & & & 38/15 \end{bmatrix} \quad (n.9)$$

โดยที่

$$\begin{aligned} A_1 &= EI_{\bar{A}} \\ A_2 &= \frac{1}{L} (-3EI_{\bar{A}} + 4EI_{\bar{M}} - EI_{\bar{B}}) \\ A_3 &= \left(\frac{2}{L^2}\right) (EI_{\bar{A}} - 2EI_{\bar{M}} + EI_{\bar{B}}) \end{aligned}$$

เมตริกซ์สติฟเนสในสมการ (ก.9) สัมพันธ์กับการกระจัดที่ปลาย $\{r\} = [d_2 \ d_3 \ d_5 \ d_6]^T$ โดยถ้าสมการ (ก.9) มีค่า $I_A = I_M = I_B = I$ ดังนั้น $A_2 = A_3 = 0$ เราจะได้สติฟเนสของคาน้ำทั่วไปคือ

$$[k^b] = EI \begin{bmatrix} 12/L^3 & 6/L^2 & -12/L^3 & 6/L^2 \\ & 4/L & -6/L^2 & 2/L \\ & & 12/L^3 & -6/L^2 \\ \text{SYM} & & & 4/L \end{bmatrix} \quad (\text{ก.10})$$

สามารถเขียนเมตริกซ์สติฟเนสเชิงเส้นดัดแปลงจากการรวม (ก.3) เข้ากับ (ก.9) ที่สัมพันธ์กับการกระจัดที่ปลาย $\{r\} = [d_1 \ d_2 \ d_3 \ d_4 \ d_5 \ d_6]^T$ ได้ดังสมการที่ (2.25)

จากสมการที่ (2.27)

$$[k_G] = \int_0^L \left\{ \frac{dN_v}{dx} \right\}^T P \left[\frac{dN_v}{dx} \right] dx \quad (2.27)$$

เมื่อ

$$\left\{ \frac{dN_v}{dx} \right\}^T = \left[\frac{dN_v}{dx} \right] = \left[\left(-\frac{6x}{L^2} + \frac{6x^2}{L^3} \right) \left(1 - \frac{4x}{L} + \frac{3x^2}{L^2} \right) \left(\frac{6x}{L^2} - \frac{6x^2}{L^3} \right) \left(-\frac{2x}{L} + \frac{3x^2}{L^2} \right) \right] \quad (\text{ก.11})$$

ดังนั้น

$$[k_G] = \int_0^L P \begin{bmatrix} \gamma_1 & \gamma_3 & -\gamma_1 & -\gamma_5 \\ & \gamma_2 & -\gamma_3 & \gamma_6 \\ & & \gamma_1 & \gamma_5 \\ \text{SYM} & & & \gamma_4 \end{bmatrix} dx \quad (\text{ก.12})$$

เมื่อ

$$\begin{aligned} \gamma_1 &= \frac{36x^2}{L^4} - \frac{72x^3}{L^5} + \frac{36x^4}{L^6} \\ \gamma_2 &= 1 - \frac{8x}{L} + \frac{22x^2}{L^2} - \frac{24x^3}{L^3} + \frac{9x^4}{L^4} \\ \gamma_3 &= -\frac{6x}{L^2} + \frac{30x^2}{L^3} - \frac{42x^3}{L^4} + \frac{18x^4}{L^5} \\ \gamma_4 &= \frac{4x^2}{L^2} - \frac{12x^3}{L^3} + \frac{9x^4}{L^4} \end{aligned}$$

$$\gamma_5 = -\frac{12x^2}{L^3} + \frac{30x^3}{L^4} - \frac{18x^4}{L^5}$$

$$\gamma_6 = -\frac{2x}{L} + \frac{11x^2}{L^2} - \frac{18x^3}{L^3} + \frac{9x^4}{L^4}$$

อินทิเกรตสมการข้างต้นเราจะได้

$$[k_G] = \frac{P}{30L} \begin{bmatrix} 36 & 3L & -36 & 3L \\ & 4L^2 & -3L & -L^2 \\ & & 36 & -3L \\ \text{SYM} & & & 4L^2 \end{bmatrix} \quad (\text{n.13})$$

เมตริกซ์สติฟเนสในสมการ(ก.13) สัมพันธ์กับการกระจัดที่ปลาย $\{r\} = [d_2 \ d_3 \ d_5 \ d_6]^T$ ซึ่งสามารถเขียนเมตริกซ์สติฟเนสไม่เชิงเส้นทางเรขาคณิตขององค์อาคารรับแรงดัดและแรงตามแนวแกนที่สัมพันธ์กับการกระจัดที่ปลาย $\{r\} = [d_1 \ d_2 \ d_3 \ d_4 \ d_5 \ d_6]^T$ ดังสมการที่(2.28)

ภาคผนวก ข

ตัวอย่าง Input และ Output

Project Name : EX

Coordinate Input Data

No of Node = 17

Node No :	X-Coor	Y-Coor	X-Bou	Y-Bou	Z-Bou
1	0.0000	0.0000	Fix	Fix	Fix
2	0.0000	14.0625			
3	0.0000	28.1250			
4	0.0000	42.1875			
5	0.0000	56.2500			
6	0.0000	70.3125			
7	0.0000	84.3750			
8	0.0000	98.4375			
9	0.0000	112.5000			
10	0.0000	126.5625			
11	0.0000	140.6250			
12	0.0000	154.6875			
13	0.0000	168.7500			
14	0.0000	182.8125			
15	0.0000	196.8750			
16	0.0000	210.9375			
17	0.0000	225.0000			

Project Name : EX

Element Connectivity Input Data

No of Element = 16

Ele No :	Node1	Node2	Rigid1	Rigid2	Mat.No1	Mat.No2	Mat.No3
1	1	2	0.00	0.00	1	1	1
2	2	3	0.00	0.00	1	1	1
3	3	4	0.00	0.00	1	1	1
4	4	5	0.00	0.00	1	1	1
5	5	6	0.00	0.00	1	1	1
6	6	7	0.00	0.00	1	1	1
7	7	8	0.00	0.00	1	1	1
8	8	9	0.00	0.00	1	1	1
9	9	10	0.00	0.00	1	1	1
10	10	11	0.00	0.00	1	1	1
11	11	12	0.00	0.00	1	1	1
12	12	13	0.00	0.00	1	1	1
13	13	14	0.00	0.00	1	1	1
14	14	15	0.00	0.00	1	1	1
15	15	16	0.00	0.00	1	1	1
16	16	17	0.00	0.00	1	1	1

Project Name : EX

Material Property Input Data

No of Material = 1

Mat.No :	1
Ec	3.4205E+05
Es	2.1000E+06
fc'	400.00
fs	4826.00
b	20.00
h	15.00
bcx	17.83
bcy	12.83
fyt	4826.00
ρ	0.015
ϵ	10.00
six	17.83
sly	12.83
$(\sum A_n f_n \sin \alpha)_x$	6872.22
$(\sum A_n f_n \sin \alpha)_y$	6872.22
sect.	1

No of Section = 1

Sect.No = 1 : Layers of Steel = 2

Layer No. :	Area of Steel	Distance from top face
1	2.262	2.00
2	2.262	13.00

Project Name : EX

External Point Load Data

Node No :	X-Load	Y-Load	Moment	Type_X	Type_Y	Type_Z
17	0.00	-40000.00	60000.00		Incre	Incre

Project Name : EX

Load Factor = 0.950

Ele No :	Axial	Shear	Bending	Axial	Shear	Bending
1	3.8000E+04	-2.2684E+01	-1.8527E+05	-3.8000E+04	2.2684E+01	1.8464E+05
2	3.8000E+04	-6.7769E+01	-1.8464E+05	-3.8000E+04	6.7769E+01	1.8277E+05
3	3.8000E+04	-1.1201E+02	-1.8277E+05	-3.8000E+04	1.1201E+02	1.7968E+05
4	3.8000E+04	-1.5495E+02	-1.7968E+05	-3.8000E+04	1.5495E+02	1.7542E+05
5	3.7999E+04	-1.9626E+02	-1.7542E+05	-3.7999E+04	1.9626E+02	1.7007E+05
6	3.7999E+04	-2.3572E+02	-1.7007E+05	-3.7999E+04	2.3572E+02	1.6368E+05
7	3.7999E+04	-2.7332E+02	-1.6368E+05	-3.7999E+04	2.7332E+02	1.5632E+05
8	3.7999E+04	-3.0915E+02	-1.5632E+05	-3.7999E+04	3.0915E+02	1.4806E+05
9	3.7998E+04	-3.4310E+02	-1.4806E+05	-3.7998E+04	3.4310E+02	1.3897E+05
10	3.7998E+04	-3.7505E+02	-1.3897E+05	-3.7998E+04	3.7505E+02	1.2909E+05
11	3.7998E+04	-4.0485E+02	-1.2909E+05	-3.7998E+04	4.0485E+02	1.1849E+05
12	3.7998E+04	-4.3232E+02	-1.1849E+05	-3.7998E+04	4.3232E+02	1.0724E+05
13	3.7997E+04	-4.5733E+02	-1.0724E+05	-3.7997E+04	4.5733E+02	9.5391E+04
14	3.7997E+04	-4.7979E+02	-9.5391E+04	-3.7997E+04	4.7979E+02	8.3020E+04
15	3.7997E+04	-4.9952E+02	-8.3020E+04	-3.7997E+04	4.9952E+02	7.0198E+04
16	3.7996E+04	-5.1642E+02	-7.0198E+04	-3.7996E+04	5.1642E+02	5.7000E+04

Project Name : EX

Load Factor = 0.950

Node No :	X-Disp	Y-Disp	Rotation
1	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
2	-1.0556000E-02	-5.0160000E-03	1.5000000E-03
3	-4.2028000E-02	-1.0056000E-02	2.9710000E-03
4	-9.3835000E-02	-1.5141000E-02	4.3890000E-03
5	-1.6509400E-01	-2.0291000E-02	5.7370000E-03
6	-2.5475500E-01	-2.5520000E-02	7.0060000E-03
7	-3.6164200E-01	-3.0841000E-02	8.1860000E-03
8	-4.8448700E-01	-3.6262000E-02	9.2770000E-03
9	-6.2204300E-01	-4.1792000E-02	1.0282000E-02
10	-7.7326100E-01	-4.7438000E-02	1.1222000E-02
11	-9.3723200E-01	-5.3211000E-02	1.2096000E-02
12	-1.1130140E+00	-5.9117000E-02	1.2902000E-02
13	-1.2996240E+00	-6.5159300E-02	1.3636000E-02
14	-1.4960300E+00	-7.1332000E-02	1.4295000E-02
15	-1.7011570E+00	-7.7626000E-02	1.4876000E-02
16	-1.9138740E+00	-8.4029000E-02	1.5374000E-02
17	-2.1329990E+00	-9.0530000E-02	1.5788000E-02

ประวัติผู้เขียน

นายเกรียงศักดิ์ กอจันทร์ เกิดเมื่อวันที่ 25 มีนาคม 2517 ที่จังหวัดอุบลราชธานี สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต จากภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี (ปัจจุบันคือ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี) เมื่อปีการศึกษา 2538 และได้เข้าศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2539

