รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

ปณิธาน ลักคุณะประสิทธิ์. การวิเคราะห์โครงสร้าง.พิมพ์ครั้งที่ 2 , กรุงเทพมหานคร : วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์

ภาษาอังกฤษ

ACI Committee 318, Building Code Requirement for Reinforced Concrete and (ACI 318-89) (Revised 1992) and Commentary - ACI 318R-89 (Revised 1992) AmericanConcrete Institute, Detroit, 1989.

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.

Bakoss S.L., Gilbert R.I., and Pulmono V.A. Long-Term Behavior of Reinforced Concrete Frames. UNICIV REPORT no.R-212 (July 1983)

Bathe, K.J., and Wilson, E.L. Numerical Methods in Finite Element Analysis. New Jersey : Prentice-Hall, 1976.

Bertero V.V. and McClure G. Behavior of Reinforced Concrete Frames Subjected to Repeated Reversible Loads. ACI Journal (Oct. 1964) : 1305 - 1329.

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.

________ . Nonlinear Time-dependent Analysis of Planar Frames using an Exact Formulation -II. Computer Implementation for R.C. structures and Examples. Journal of computer & Structure, Vol.33, No.1 1989 : 89-102.

Carrieira D.J., and Kuang-Han Chu. The Moment-Curvature Relationship of Reinforced Concrete Members. ACI Structural Journal. (March-April 1986) : 191-198.

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. Stability Design of Steel Frames. Florida : CRC Press, 1991.

Cook R.D., Malkus D.S., and Plesha M.E. Concepts and Applications of Finite Element Analysis. 3rd ed., John Wiley & Sons, 1989.

El - Metwally S.E., and Chen W.F. Load - deformation Relations for Reinforced Concrete Sections. ACI Structural Journal . (March - April , 1989) : 163 - 167.

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.

Pulmano V.A., and Young Sik Shin. Simplified Finite-Element Analysis of Deflections of Reinforced Concrete Beams. ACI Structural Journal. (July-August,1987) : 342-348.

Seniwongse M. The deformation of reinforced concrete beams and frames up to failure. The Structural Engineer , Vol. 57, No. 4 (Dec. 1979) : 77- 81.

Tunwa Sirisreetreerux. Nonlinear Analysis of Reinforced Concrete Frames. M.Eng. Thesis, Asian Institute of Technology, 1978.

Yang , Y.B. Linear and Nonlinear Analysis of Space Frames with Nonuniform Torsion Using Interactive Computer Graphics . Doctoral Dissertation , Cornell University . 1984.

Zienkiewicz O.C., and Taylor R.L. The Finite Element Method. 4th ed. Vol.1 London : McGrawhill, 1991.

________. The Finite Element Method. 4th ed. Vol.2 London : McGrawhill, 1991.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

การหาสติฟเนสเชิงเส้นดัดแปลงและไม่เชิงเส้นทางเรขาคณิต

จากสมการที่ (2.24)

$$[k_m] = [k^a] + [k^b]$$

$$= \int_0^L \left\{\frac{dN_u}{dx}\right\} EA_e \left[\frac{dN_u}{dx}\right] dx + \int_0^L \left\{\frac{d^2N_v}{dx^2}\right\} EI(x) \left[\frac{d^2N_v}{dx^2}\right] dx \qquad (2.24)$$

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

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

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

$$[k_a] = EA_e \int_0^L \begin{Bmatrix} -1/L \\ 1/L \end{Bmatrix} [-1/L \quad 1/L] dx$$

$$= \frac{EA_e}{L^2} \int_0^L \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} dx$$

$$[k_a] = \frac{EA_e}{L} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \qquad (ก.3)$$

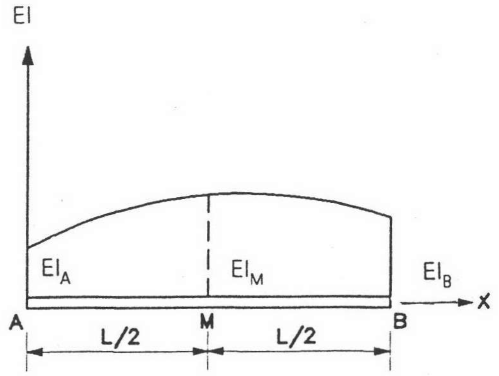
เมื่อ $A_e = \frac{1}{6}[A_A + 4A_M + A_B]$

สติฟเนสเมตริกซ์ในสมการ (ก.3) สัมพันธ์กับการเปลี่ยนตำแหน่งที่ปลาย $\{r\} = [d_1 \ \ d_4]^T$

พิจารณาพจน์ที่สองของสมการ (2.24) คือ $[k^b]$

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

จากสมมติฐานเบื้องต้นที่กำหนดให้ความสัมพันธ์ของสติฟเนสตลอดความยาวขององค์อาคารเป็นแบบพาราโบลา ดังรูปที่ ก.1



รูปที่ ก.1 แสดงค่าสติฟเนสขององค์อาคาร

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

โดย β_i, i = 1, 2, 3 เป็นค่าคงตัวหาได้จากเงื่อนไขที่จุดต่อ คือ

$$EI(x=0) = EI_A$$
$$EI(x=L/2) = EI_M$$
$$EI(x=L) = EI_B$$

จากความสัมพันธ์ดังกล่าวข้างต้น สามารถเขียนลักษณะการกระจายของสติฟเนสให้อยู่ในรูปแบบสติฟเนสที่จุดต่อ 3 จุดได้ดังนี้

$$EI(x) = EI_A + (-3EI_A + 4EI_M - EI_B)\frac{x}{L} + 2(EI_A - 2EI_M + EI_B)\left(\frac{x}{L}\right)^2 \qquad (ก.6)$$

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

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

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

เมื่อ

$$\alpha_1 = \frac{36}{L^4} - \frac{144x}{L^5} + \frac{144x^2}{L^6}$$

$$\alpha_2 = \frac{16}{L^2} - \frac{48x}{L^3} + \frac{36x^2}{L^4}$$

$$\alpha_3 = \frac{24}{L^3} - \frac{84x}{L^4} + \frac{72x^2}{L^5}$$

$$\alpha_4 = \frac{4}{L^2} - \frac{24x}{L^3} + \frac{36x^2}{L^4}$$

$$\alpha_5 = -\frac{12}{L^3} + \frac{60x}{L^4} - \frac{72x^2}{L^5}$$

$$\alpha_6 = \frac{8}{L^2} - \frac{36x}{L^3} + \frac{36x^2}{L^4}$$

อินทิเกรตสมการข้างต้นเราจะได้รับ

$$[k^b] = A_1\begin{bmatrix} 12/L^3 & 6/L^2 & -12/L^3 & 6/L^2 \\ & 4/L & -6/L^2 & 2/L \\ & & 12/L^3 & -6/L^2 \\ SYM. & & & 4/L \end{bmatrix} + A_2\begin{bmatrix} 6/L^2 & 2/L & -6/L^2 & 4/L \\ & 1 & -2/L & 1 \\ & & 6/L^2 & -4/L \\ SYM. & & & 3 \end{bmatrix}$$

$$+ A_3\begin{bmatrix} 24/5L & 7/5 & -24/5L & 17/5 \\ & 8L/15 & -7/5 & 13L/15 \\ & & 24/5L & -17/5 \\ SYM. & & & 38L/15 \end{bmatrix} \qquad (ก.9)$$

โดยที่

$$A_1 = EI_A$$

$$A_2 = \frac{1}{L}(-3EI_A + 4EI_M - EI_B)$$

$$A_3 = \left(\frac{2}{L^2}\right)(EI_A - 2EI_M + EI_B)$$

สติฟเนสเมตริกซ์ในสมการ (ก.9) สัมพันธ์กับการเปลี่ยนตำแหน่งที่ปลาย $\{r\} = \left[d_2\ d_3\ d_5\ d_6\right]^T$ โดยถ้าสมการ (ก.9) มีค่า $I_A = I_M = I_B = I$ ดังนั้น $A_2 = A_3 = 0$ เราจะได้สติฟเนสเมตริกซ์ของคานทั่วไปคือ

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

สามารถเขียนสติฟเนสเมตริกซ์เชิงเส้นดัดแปลงจากการรวม (ก.3)เข้ากับ(ก.9) ที่สัมพันธ์กับการเปลี่ยนตำแหน่งที่ปลาย $\{r\} = \left[d_1 \quad d_2 \quad d_3 \quad d_4 \quad d_5 \quad d_6\right]^T$ ได้ดังสมการที่ (2.25)

จากสมการที่ (2.27)

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

เมื่อ

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

(ก.11)

ดังนั้น

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

เมื่อ

$$\gamma_1 = \frac{36x^2}{L^4} - \frac{72x^3}{L^5} + \frac{36x^4}{L^6}$$

$$\gamma_2 = 1 - \frac{8x}{L} + \frac{22x^2}{L^2} - \frac{24x^3}{L^3} + \frac{9x^4}{L^4}$$

$$\gamma_3 = \frac{-6x}{L^2} + \frac{30x^2}{L^3} - \frac{42x^3}{L^4} + \frac{18x^4}{L^5}$$

$$\gamma_4 = \frac{4x^2}{L^2} - \frac{12x^3}{L^3} + \frac{9x^4}{L^4}$$

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

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

อินทิเกรตสมการข้างต้นเราจะได้

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

สติฟเนสเมตริกซ์ในสมการ (ก.13) สัมพันธ์กับการเปลี่ยนตำแหน่งที่ปลาย$\{r\} = [d_2\ d_3\ d_5\ d_6]^T$ ซึ่งสามารถเขียนสติฟเนสเมตริกซ์ไม่เชิงเส้นทางเรขาคณิตขององค์อาคารรับแรงดัดและแรงตามแนวแกนที่สัมพันธ์กับการเปลี่ยนตำแหน่งที่ปลาย $\{r\} = [d_1\quad d_2\quad d_3\quad d_4\quad d_5\quad d_6]^T$ ดังสมการที่ (2.28)

ภาคผนวก ข

ตัวอย่าง Input และ Output

:- Project Name : EX1_1
:- Coordinate Input Data

:-No of Node = 13

Node No:	X-Coor :	Y-Coor :	X-Bou :	Y-Bou :	Z-Bou :
1	0.000	0.000	Fix	Fix	Fix
2	0.000	34.000			
3	0.000	60.000			
4	0.000	101.000			
5	0.000	102.000			
6	1.000	102.000			
7	51.000	102.000			
8	101.000	102.000			
9	102.000	102.000			
10	102.000	101.000			
11	102.000	60.000			
12	102.000	34.000			
13	102.000	0.000	Fix	Fix	Fix

:- Project Name : EX1_1
:- Element Connectivity Input Data

:- No of Element = 12

EleNo :	Node1 :	Node2 :	Rigid 1 :	Rigid 2 :	Mat.No1 :	Mat.No2 :	Mat.No3
1	1	2	0.000	0.000	1	1	1
2	2	3	0.000	0.000	1	1	1
3	3	4	0.000	0.000	1	1	1
4	4	5	0.000	0.000	1	1	1
5	5	6	0.000	0.000	1	1	1
6	6	7	0.000	0.000	1	1	1
7	7	8	0.000	0.000	1	1	1
8	8	9	0.000	0.000	1	1	1
9	9	10	0.000	0.000	1	1	1
10	10	11	0.000	0.000	1	1	1
11	11	12	0.000	0.000	1	1	1
12	12	13	0.000	0.000	1	1	1

:- Project Name : EX1_1
:- Material Property Input Data

:- No of Material = 1

Mat.No:	Ec :	Es :	fc' :	fs :	b :	h	:Sect.No
1	2.0679e+05	2.0600e+06	296.00	3394.00	7.30	10.20	1

:- No of Section = 1

:- Sect.No. = 1 :- Layers of Steel = 2

Layer No :	Area of steel :	Distance from top face :
1	0.633	1.800
2	0.633	8.400

:- Project Name : EX1_1
:- External Point Load Data

Node No:	X-Load :	Y-Load :	Moment :	Type_X :	Type_Y :	Type_I
5	700.000	0.000	0.000	Incre		
7	0.000	-700.000	0.000		Incre	

Project Name : EX1_1
Load Factor= 1.243

EleNo:	Axial :	Shear :	Bending :	Axial :	Shear :	Bending
1	5.7962e+01	4.1005e+02	2.4315e+04	-5.7962e+01	-4.1005e+02	-1.0353e+04
2	5.4874e+01	4.1047e+02	1.0353e+04	-5.4874e+01	-4.1047e+02	3.4248e+02
3	5.5422e+01	4.1040e+02	-3.4248e+02	-5.5422e+01	-4.1040e+02	1.7202e+04
4	5.7116e+01	4.1017e+02	-1.7202e+04	-5.7116e+01	-4.1017e+02	1.7613e+04
5	4.5984e+02	7.1088e+01	-1.7613e+04	-4.5984e+02	-7.1088e+01	1.7690e+04
6	4.6048e+02	6.6828e+01	-1.7690e+04	-4.6048e+02	-6.6828e+01	2.1157e+04
7	4.5535e+02	-8.0949e+02	-2.1157e+04	-4.5535e+02	8.0949e+02	-1.9446e+04
8	4.6037e+02	-8.0664e+02	1.9446e+04	-4.6037e+02	8.0664e+02	-2.0253e+04
9	7.9910e+02	4.7334e+02	2.0253e+04	-7.9910e+02	-4.7334e+02	-1.9768e+04
10	7.9681e+02	4.7719e+02	1.9768e+04	-7.9681e+02	-4.7719e+02	3.2215e+02
11	7.9618e+02	4.7823e+02	-3.2215e+02	-7.9618e+02	-4.7823e+02	1.3094e+04
12	7.9984e+02	4.7208e+02	-1.3094e+04	-7.9984e+02	-4.7208e+02	2.9432e+04

Project Name : EX1_1
Load Factor= 1.243

Node No:	X-Disp :	Y-Disp :	Rotation
1	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00
2	4.8774400e-01	-1.2506000e-02	-2.0966999e-02
3	1.0581681e+00	-2.0104000e-02	-2.2306999e-02
4	1.9026300e+00	-3.0904001e-02	-1.6620001e-02
5	1.9190720e+00	-3.1243000e-02	-1.6264001e-02
6	1.9187911e+00	-4.7341999e-02	-1.5938999e-02
7	1.9091970e+00	-3.8491899e-01	4.3500001e-03
8	1.9044620e+00	-3.4818999e-02	5.6940001e-03
9	1.9041080e+00	-3.4109998e-02	-1.5509000e-02
10	1.8884079e+00	-3.3619002e-02	-1.5900999e-02
11	1.0467041e+00	-1.9259000e-02	-2.2257000e-02
12	4.7876701e-01	-1.1647000e-02	-2.0928999e-02
13	0.0000000e+00	0.0000000e+00	0.0000000e+00

ประวัติผู้เขียน

นาย ขจรศักดิ์ มโนทรัพย์ศักดิ์ เกิดเมื่อวันที่ 16 ตุลาคม 2515 ที่จังหวัดกรุงเทพฯ สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต จากภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2536 เข้าศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2537