

## 단순지지된 철근콘크리트 슬래브의 간편한 해석방법

한봉구<sup>1)\*</sup> · 임희수<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> 서울산업대학교 구조공학과  
(2001년 12월 20일 원고접수, 2002년 4월 24일 심사완료)

### Simple Method of Analysis of Simply Supported Reinforced Concrete Slab

Bong-Koo Han<sup>1)\*</sup> and Hee-Soo Lim<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Dept. of Structural Engineering, Seoul National University of Technology, Seoul, 139-743, Korea  
(Received December 20, 2001, Accepted April 24, 2002)

#### ABSTRACT

The results of analysis of simply supported reinforced concrete slab by special orthotropic plate theory have been reported. This method, however, may be too difficult for some practising engineers. In this paper, the result of analysis of such a plate by means of the beam theory with unit width is reported. By using the "correction factor", the accurate solution for the plate can be obtained by the beam theory. The plate aspect ratio considered is from 1 : 1 to 1 : 6

**Keywords:** beam theory, correction factor, aspect ratio, specially orthotropic plate

#### 1. 서 론

일반적으로 철근콘크리트 슬래브를 3차원 복합재료로 해석하여야 정확한 해석이 가능하지만 설계자들에게는 많은 어려움이 있다. 그러나 건물과 교량의 슬래브를 1방향 보로 해석하면 문제는 쉬워진다. 슬래브는 철근과 콘크리트라는 서로 다른 강성을 지닌 재료로 이루어진 복합적층판으로 고려될 수 있다. 그 중 복철근으로 배근한 슬래브는 각각의 층이 대칭으로 구성되어  $[0^\circ, 90^\circ, 0^\circ]$  형태의 특별직교 이방성 판과 동일하게 거동한다<sup>1-10)</sup>. 본 연구에서는 복합재료 이론에 의하여 강성을 구한 후 보이론을 사용하여 단순지지된 철근콘크리트 슬래브를 단위폭을 가진 보로 해석하여 처짐을 구하였다. 단순지지된 판에 있어서 비교적 정확한 처짐값을 주는 Navier Solution 에 의하여 구한 처짐값과 비교하여 그 차이 값을 수정계수로 만들었다. 이러한 수정계수는 단순지지된 콘크리트 슬래브의 형상비에 따라 처짐을 계산하여 설계시 실무자들이 쉽고도 정확한 값을 구하는데 사용할 수 있도록 도표와 그림으로 나타내었다.

#### 2. 기본 이론

#### 2.1 복합재료 적층판의 강성 계산

일반적인 구조부재의 강성(stiffnesses)은 다음과 같이 식 (1) 로 나타낼 수 있다<sup>1)</sup>.

$$\begin{aligned} A_{ij} &= \sum_{k=1}^n (\bar{Q}_{ij})_k (h_k - h_{k-1}) \\ B_{ij} &= \frac{1}{2} \sum_{k=1}^n (\bar{Q}_{ij})_k (h_k^2 - h_{k-1}^2) \\ D_{ij} &= \frac{1}{3} \sum_{k=1}^n (\bar{Q}_{ij})_k (h_k^3 - h_{k-1}^3) \end{aligned} \quad (1)$$

여기서,  $A_{ij}$  : 인장강성,  $B_{ij}$  : 휨-인장 연계강성,  $D_{ij}$  : 휨강성(EI)을 나타낸다. 위의 강성 항 중에서 특별직교 이방성 판의 경우는  $B_{ij}=0$ ,  $( )_{16}$ ,  $( )_{26}$ 항이 0 이 되므로 오직 휨강성의 항인  $D_{11}$ ,  $D_{22}$ ,  $D_{12}=D_{21}$ , 그리고  $D_{66}$  만이 존재하게 된다. 식 (1)에서 변환된 축소 강성계수는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \bar{Q}_{11} &= Q_{11}m^4 + 2(Q_{12} + 2Q_{66})m^2n^2 + Q_{22}n^4 \\ \bar{Q}_{12} &= (Q_{11} + Q_{22} - 4Q_{66})m^2n^2 + Q_{12}(m^4 + n^4) = Q_{21} \\ \bar{Q}_{22} &= Q_{11}n^4 + 2(Q_{12} + 2Q_{66})m^2n^2 + Q_{22}m^4 \\ \bar{Q}_{66} &= (Q_{11} + Q_{22} - 2Q_{12})m^2n^2 + Q_{66}(m^2 - n^2)^2 \end{aligned} \quad (2)$$

\* Corresponding author  
Tel : 02-970-6577 Fax : 02-975-6002  
E-mail : bkhan@snut.ac.kr

m 과 n 은 배향각이고 특별직교형인 경우 다음과 같다.

$$m = \cos 0^\circ = 1 \text{ and } n = \cos 90^\circ = 0,$$

$$\bar{Q}_{11} = Q_{11}, \bar{Q}_{12} = Q_{12}, \bar{Q}_{22} = Q_{22}, \text{ and } \bar{Q}_{66} = Q_{66}$$

식 (2)의 축소된 강성계수는 식 (3)과 같이 정의된다.

$$\nu_{12}/E_1 = \nu_{21}/E_2,$$

$$Q_{11} = \frac{E_1}{1 - \nu_{12}\nu_{21}}$$

$$Q_{12} = \frac{\nu_{12}E_2}{1 - \nu_{12}\nu_{21}} = \frac{\nu_{21}E_1}{1 - \nu_{12}\nu_{21}} \quad (3)$$

$$Q_{22} = \frac{E_2}{1 - \nu_{12}\nu_{21}}$$

$$Q_{66} = G_{12}$$

여기서  $E_1$  : 1축 방향 탄성계수,  $E_2$  : 2축 방향 탄성계수,  $G$  : 전단탄성계수,  $\nu$  : 포아슨비이다.

$$E_1 = E_m V_m + E_f V_f, \quad E_2 = \frac{E_f E_m}{E_f V_m + E_m V_f}$$

$$G_{12} = \frac{G_f G_m}{G_f V_m + G_m V_f}, \quad \nu_{12} = \nu_m V_m + \nu_f V_f$$

여기서, 첨자 m : matrix, 첨자 f : fiber 이다.

슬래브는 종방향 철근이 배근된 층(lamina), 횡방향 철근이 배근된 층(lamina), 콘크리트 피복두께 및 중간층(isotropic lamina)의 적층판(laminate)으로 고려하고 각 층은 lamina, 슬래브는 laminate로 취급하고 혼합법칙(rule of mixtures)을 적용하여 Lamina의 재료상수를 계산한다.

## 2.2 단순지지된 철근콘크리트 슬래브의 고전적 보 이론에 의한 해석 모델링

고전적 이론으로 단순지지된 철근콘크리트 슬래브를 해석하기 위하여 Fig. 1, Fig. 2와 같은 단순지지된 비등방성 슬래브를 Fig. 3과 같은 단순보로 취급하여 해석할 수 있다.

Fig. 3에서,

$$\frac{d^4 y}{dx^4} = \frac{q}{EI} \text{ 이며 단위폭인 경우 } EI = D_{11} \text{ 이므로}$$

$$D_{11} \frac{d^3 y}{dx^3} = qx + C_1$$

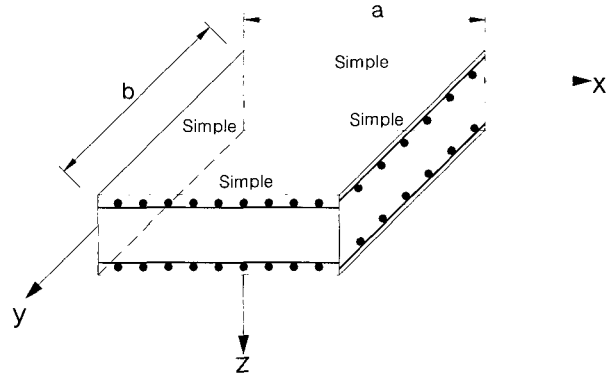


Fig. 1 Simply supported RC slab

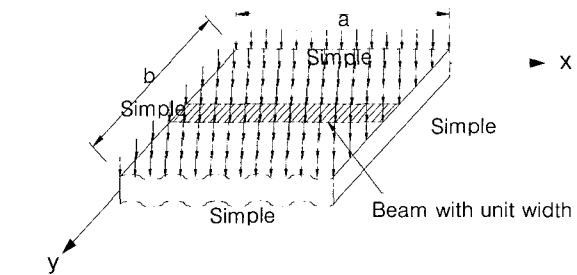


Fig. 2 Beam with unit width of the simply supported reinforced concrete slab

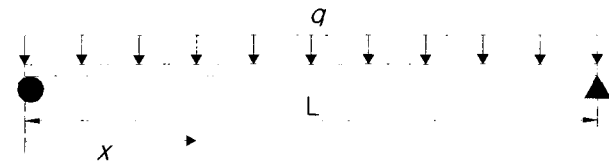


Fig. 3 Free body diagram of the beam with unit width

$$D_{11} \frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{1}{2} qx^2 + C_1 x + C_2$$

$$D_{11} \frac{dy}{dx} = \frac{1}{6} qx^3 + \frac{1}{2} C_1 x + C_2 x + C_3$$

$$D_{11} y = \frac{1}{24} qx^4 + \frac{1}{6} C_1 x^3 + \frac{1}{2} C_2 x^2 + C_3 x + C_4$$

1) 초기 경계 조건  $x=0, M=0$

$$\therefore C_2 = 0$$

2) 초기 경계 조건  $x=l, M=0$

$$\frac{1}{2} q l^2 + C_1 l = 0$$

$$\therefore C_1 = -\frac{1}{2} q l$$

3) 초기 경계 조건  $x=0, y=0$

$$\therefore C_4 = 0$$

4) 초기 경계 조건  $x=l, y=0$

$$\frac{1}{24} q l^4 + \frac{1}{6} C_1 l^3 + C_3 l = 0$$

$$\frac{1}{24} q l^4 - \frac{1}{12} q l^4 + C_3 l = 0$$

$$\therefore C_3 = \frac{1}{12} q l^3 - \frac{1}{24} q l^3 = \frac{1}{24} q l^3$$

$C_1, C_2, C_3, C_4$ 을 대입하면

$$D_{11}y = \frac{1}{24} q x^4 - \frac{1}{12} q l x^3 + \frac{1}{24} q l^3 x$$

그러므로  $y$  는 다음 식 (4)와 같다.

$$\therefore y = \frac{q l^4}{24 D_{11}} \left[ \left( \frac{x}{l} \right)^4 - 2 \left( \frac{x}{l} \right)^3 + \left( \frac{x}{l} \right) \right] \quad (4)$$

### 2.3 특별직교이방성 복합재료 적층판의 지배방정식

표면에 전단응력이 존재하지 않고 열이나 습도의 영향을 무시한 경우의 복합적층판의 휨거동에 대한 지배방정식은 다음의 식으로 나타낼 수 있다<sup>11,12)</sup>.

$$\frac{\partial^2 M_x}{\partial x^2} + 2 \frac{\partial^2 M_{xy}}{\partial x \partial y} + \frac{\partial^2 M_y}{\partial y^2} = -q(x, y) \quad (5)$$

특별직교이방성 적층판의 경우  $B_{ij} = 0, A_{16} = A_{26} = D_{16} = D_{26} = 0$ 이 되므로 이에 대한 구성방정식은 식 (5), 식 (6)~식 (8)과 같다.

$$M_x = D_{11}x_x + D_{12}x_y \quad (6)$$

$$M_y = D_{12}x_x + D_{22}x_y \quad (7)$$

$$M_{xy} = 2D_{66}x_{xy} \quad (8)$$

여기서,  $x_x = -\frac{\partial^2 w}{\partial x^2}, x_y = -\frac{\partial^2 w}{\partial y^2}, x_{xy} = -\frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y}$ 이며 곡률로 정의된다. 횡방향 전단변형률이 무시될 경우 식 (6)~식 (8)은 각각 다음 식 (9)~식 (11)과 같다.

$$M_x = -D_{11} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} - D_{12} \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \quad (9)$$

$$M_y = -D_{12} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} - D_{22} \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \quad (10)$$

$$M_{xy} = -2D_{66} \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \quad (11)$$

식 (9)~식 (11)를 식 (5)에 대입하면 최종적으로 다음 식 (12)를 얻을 수 있다.

$$D_{11} \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2(D_{12} + 2D_{66}) \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + D_{22} \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = q(x, y) \quad (12)$$

식 (12)에서  $D_1 = D_{11}, D_2 = D_{22}$  그리고  $D_3 = (D_{12} + 2D_{66})$ 로 정의하면 다음 식 (13)과 같이 간단히 나타낼 수 있다.

$$D_1 \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2D_3 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + D_2 \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = q(x, y) \quad (13)$$

### 2.4 단순지지된 복합재료 적층판의 처짐

판의 네 변에 대한 경계조건이 단순지지인 경우 Navier의 해석 방법이 매우 효과적으로 적용될 수 있다.<sup>1)</sup> 즉, 경계조건을 만족시키는 횡처짐,  $w(x, y)$ 와 재하된 횡하중  $q(x, y)$ 는 다음 식 (14)와 식 (15) 같이 Fourier 급수로 나타낼 수 있다.

$$w(x, y) = \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} w_{mn} \sin\left(\frac{m\pi x}{a}\right) \sin\left(\frac{n\pi y}{b}\right) \quad (14)$$

$$q(x, y) = \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} q_{mn} \sin\left(\frac{m\pi x}{a}\right) \sin\left(\frac{n\pi y}{b}\right) \quad (15)$$

그러므로 식 (14)와 식 (15)를 식 (13)에 대입하면 주어진  $m, n$ 에 대하여 다음 식 (16)을 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} & \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} w_{mn} \pi^4 \left( D_1 \left( \frac{m}{a} \right)^4 + 2D_3 \left( \frac{m}{a} \right)^2 \left( \frac{n}{b} \right)^2 \right. \\ & \left. + D_2 \left( \frac{n}{b} \right)^4 \right) \times \sin\left(\frac{m\pi x}{a}\right) \sin\left(\frac{n\pi y}{b}\right) \\ & = \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} q_{mn} \sin\left(\frac{m\pi x}{a}\right) \sin\left(\frac{n\pi y}{b}\right) \end{aligned} \quad (16)$$

식 (16)에서 양변의 각 항을 비교하여 정리하면 다음 식 (17)을 얻을 수 있다.

$$w_{mn} = \frac{\left( \frac{q_{mn}}{\pi^4} \right)}{D_1 \left( \frac{m}{a} \right)^4 + 2D_3 \left( \frac{m}{a} \right)^2 \left( \frac{n}{b} \right)^2 + D_2 \left( \frac{n}{b} \right)^4} \quad (17)$$

식 (17)의 우변에 있는 하중의 진폭  $q_{mn}$ 은 Fourier 급수로 전개하여 다음 식을 얻는다.

$$q_{mn} = \frac{4}{ab} \int_0^a \int_0^b q(x, y) \sin\left(\frac{m\pi x}{a}\right) \sin\left(\frac{n\pi y}{b}\right) dy dx \quad (18)$$

그러므로  $m, n$ 에 대한  $q_{mn}$ 은 주어진 하중  $q(x, y)$

에 대하여 식 (18)을 적분하면 구할 수 있다. 단순지지된 특별 직교 복합적층판의 임의 점에서 횡차짐은 식 (14)와 식 (17)을 이용하여 계산할 수 있다.

본 연구에서는 두 가지의 하중조건, 등분포하중과 집중하중에 대하여 실제로 적용하여 보았다.

첫째로 하중  $q(x, y)$ 가 전단면에 걸쳐 등분포하중  $q_0$ 로 재하되는 경우를 고려하면 다음 식 (19)를 얻을 수 있다.

$$q_{mn} = \frac{4}{ab} \int_0^a \int_0^b q_0 \sin\left(\frac{m\pi x}{a}\right) \sin\left(\frac{n\pi y}{b}\right) dy dx = \frac{16q_0}{\pi^2 mn} \quad (19)$$

그러므로 식 (14)에 식 (19)를 대입하면 등분포하중  $q_0$ 가 전단면에 재하된 경우의 처짐  $w(x, y)$ 는 다음 식 (20)이 된다.

$$w(x, y) = \frac{16q_0}{\pi^6} \sum_{m=1,3,5,\dots}^{\infty} \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \frac{1}{mn} \times \sin\left(\frac{m\pi x}{a}\right) \sin\left(\frac{n\pi y}{b}\right) / DEN \quad (20)$$

여기서,  $DEN = D_1(m/a)^4 + 2D_3(m/a)^2(n/b)^2 + D_2(n/b)^4$ 이다.

### 3. 수치해석

본 연구에서 고려한 단순지지된 철근콘크리트 슬래브는 Fig. 4와 같은 단면을 사용하였으며, 철근콘크리트 슬래브의 특성값은 다음과 같다.

- 콘크리트 설계기준강도:  $f_{ck} = 240 \text{ kgf/cm}^2 = 20.5942926 \text{ MPa}$
- 주철근: 단위폭 당 9-D32( $A_s = 71.48 \text{ cm}^2$ ) 등간격으로 배치
- 배력철근: 단위폭 당 7-D25( $A_s = 35.47 \text{ cm}^2$ ) 등간격으로 배치
- 상부철근 피복두께: 3 cm
- 하부철근 피복두께: 3 cm
- 콘크리트 탄성계수:  $E_c = 15,000 \sqrt{f_{ck}} = 217370 \text{ kgf/cm}^2 = 21.317118 \text{ GPa}$
- 철근의 포아손비:  $\nu_s = 0.3$
- 콘크리트의 포아손비:  $\nu_{12} = \nu_{21} = 0.18$

혼합법칙을 적용하여 2.1절에 기술된 복합적층판의 강성에 의하여 슬래브의 휨강성을 구하면 Table 1에 나타낸 바와 같다.

수치해석에 사용된 경계조건은 4변 단순지지된 경우(SS)를 고려하였다.

Fig. 5와 같이 요소는 0.3 m 간격으로 형상비 (b/a) : 1 일 경우는 10×10 분할하였으며, 철근콘크리트 슬래브판

의 크기는 3 m×3 m를 형상비 1로 보고 형상비가 6인 경우까지 고려하였다. 여기서 a는 슬래브 길이, b는 폭이다.

Mesh size를  $\Delta$ 라 할 때 차분 오차범위는  $\Delta^2$ 이므로 이러한 경우  $\Delta$ 가 1/10이므로 오차범위는 0.01 ( $\Delta^2$ )이다.

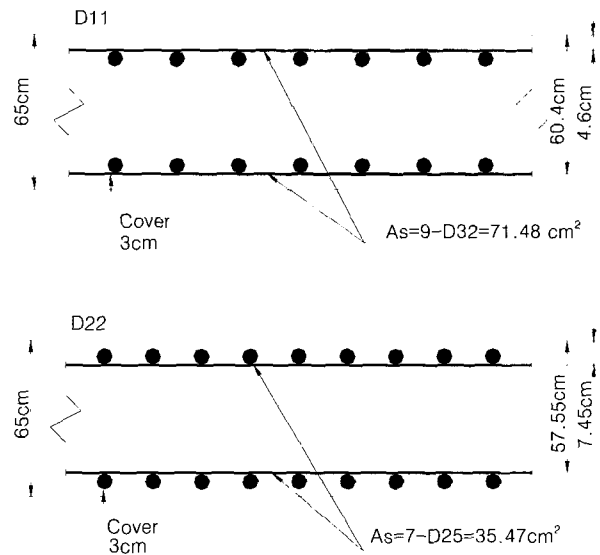


Fig. 4 Cross section of RC slab

Table 1 Bending stiffnesses of RC slab

Bending stiffnesses (N · m)	
$D_{11}$	714,448,636.2
$D_{12}$	101,928,384.9
$D_{22}$	610,017,203.3
$D_{66}$	221,837,601.4

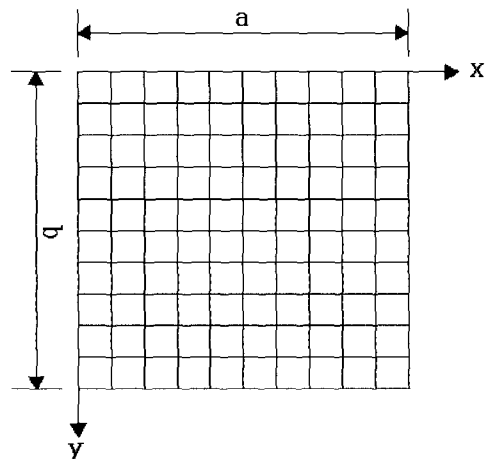


Fig. 5 Mesh size [(a or b)/10]

수직방향하중조건: 자중( $0.65 \text{ m} \times 2.5 \text{ tonf/m}^3 = 1.625 \text{ tonf/m}^2$ ) 전체하중:  $1.625 + 1.250 = 2.875 \text{ kgf/m}^2 \approx 28,200 \text{ N/m}^2$ 을 적용하여 처짐 해석을 수행하였다.

본 연구에서는 형상비를 x 방향 1에 대하여 y 방향을 1~6 까지 변화시켜 가면서 처짐값을 계산하였다.

처짐의 해석을 보이론에 의하여 수행하고 navier solution에 의하여 계산된 처짐값과 비교하여 수정계수를 산출하였다.

#### 4. 해석 결과 및 고찰

먼저 단순지지된 철근콘크리트 슬래브의 자중과 등분포 수직하중을 고려하고, 단위폭을 가진 보의 처짐을 해석하였다. 그 후 자료의 처짐값 분석을 위해 navier solution의 차분법방정식을 프로그램화하여 처짐값을 구한 후 수정계수를 산출하였다. 형상비를 1~6까지 변화시켜 각각의 경우에 맞추어 수정계수를 산출하였다.

본 연구에서는 단순지지된 슬래브에 대하여 등분포 하중이 작용할 경우 고전적 보이론에 의한 경우와 navier solution에 의한 경우를 비교 분석하였다.

##### 4.1 단순지지된 철근콘크리트 슬래브의 고전적 보이론에 의한 처짐 계산

단순지지된 철근콘크리트 슬래브를 단위폭을 가진 단순보로 보고 L = 3m일 경우 단순보의 처짐 공식인 식 (4)를 사용하여 지점간 거리를 0.3m씩 분할한 점에서 각각의 처짐값을 구한 결과 Table 2와 같으며 처짐 형상은 Fig. 6에 나타내었다.

##### 4.2 단순지지된 철근콘크리트 슬래브의 navier solution에 의한 처짐 계산

navier solution에 의한 처짐값을 구하기 위해서 Fig. 7과 같은 흐름도로 프로그래밍하여 처짐값을 구하였다.

##### 4.3 결과 분석 및 고찰

일반 보이론에 의한 처짐값과 navier solution에 의한 처짐값을 비교하여 (navier solution에 의한 처짐값)을 (일반 보이론에 의한 처짐값)으로 나눈 값을 수정계수로 정리하여 표로 제시하였으므로 각각의 위치에서 보이론에 의하여 처짐값을 구한 후에 그 위치의 수정계수를 곱해주면 그 위치에서 실제 처짐을 구할 수 있도록 하였다.

Table 3 ~ 8은 형상비가 1 : 1 ~ 1 : 6까지 변화할 때의 수정계수이다. Table 3 ~ 8에서 알 수 있듯이 x축을 단순보의 경간이라 보면 y값 변화에 대한 위치별 처짐 오차는 거의 같은 값이므로 같은 위치에서의 수정계수는 평균값을 사용하여도 큰 문제가 없음을 알 수 있다.

Fig. 8 ~ 13은 평균 수정계수를 나타내는 것으로써 x축에 대한 지간을 가지고 있는 한 개의 보를 y축 거리만

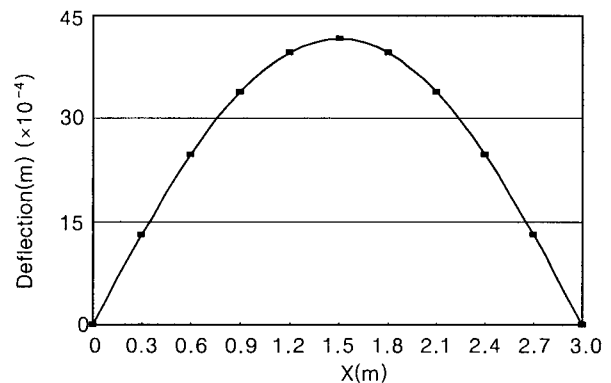


Fig. 6 Deflection shape of simply supported beam by beam theory

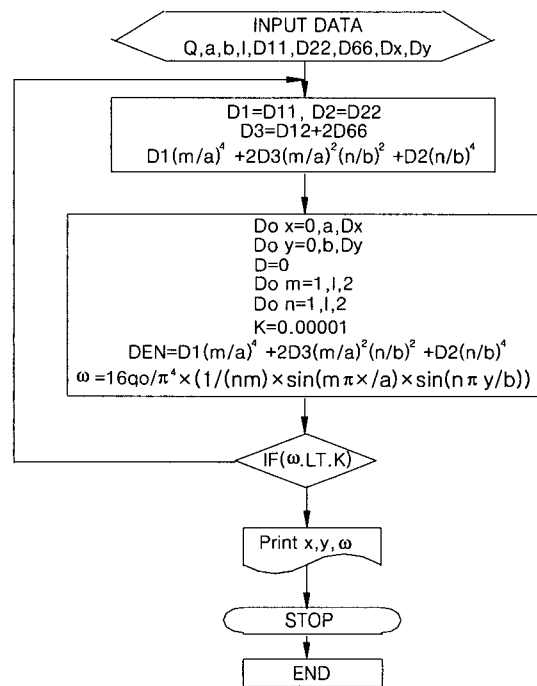


Fig. 7 Navier solution program flow chart

Table 2 Deflection of simply supported beam with unit width by beam theory (m)

x(m)	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5
Deflection	1.3068E-05	2.4725E-05	3.3850E-05	3.9645E-05	4.1630E-05
x(m)	1.8	2.1	2.4	2.7	
Deflection	3.9645E-05	3.3850E-05	2.4725E-05	1.3068E-05	

Table 3 Correction factor ( $\alpha$ ) of aspect ration 1 : 1

Y \ X	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4	2.7
0.3	0.1253	0.1231	0.1213	0.1201	0.1197	0.1201	0.1213	0.1231	0.1253
0.6	0.2325	0.2294	0.2266	0.2248	0.2241	0.2248	0.2266	0.2294	0.2325
0.9	0.3129	0.3096	0.3065	0.3043	0.3036	0.3043	0.3065	0.3096	0.3129
1.2	0.3623	0.3591	0.3559	0.3537	0.3529	0.3537	0.3559	0.3591	0.3623
1.5	0.3790	0.3758	0.3726	0.3704	0.3696	0.3704	0.3726	0.3758	0.3790

Table 4 Correction factor ( $\alpha$ ) of aspect ration 1 : 2

Y \ X	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4	2.7
0.3	0.1703	0.1684	0.1668	0.1658	0.1655	0.1658	0.1668	0.1684	0.1703
0.6	0.3254	0.3229	0.3206	0.3191	0.3185	0.3191	0.3206	0.3229	0.3254
0.9	0.4594	0.4569	0.4546	0.4530	0.4524	0.4530	0.4546	0.4569	0.4594
1.2	0.5710	0.5688	0.5668	0.5653	0.5648	0.5653	0.5668	0.5688	0.5710
1.5	0.6608	0.6590	0.6573	0.6561	0.6556	0.6561	0.6573	0.6590	0.6608
1.8	0.7307	0.7292	0.7278	0.7268	0.7264	0.7268	0.7278	0.7292	0.7307
2.1	0.7824	0.7812	0.7801	0.7792	0.7790	0.7792	0.7801	0.7812	0.7824
2.4	0.8179	0.8169	0.8159	0.8153	0.8150	0.8153	0.8159	0.8169	0.8179
2.7	0.8386	0.8377	0.8369	0.8363	0.8360	0.8363	0.8369	0.8377	0.8386
3.0	0.8454	0.8445	0.8437	0.8431	0.8429	0.8431	0.8437	0.8445	0.8454

Table 5 Correction factor ( $\alpha$ ) of aspect ration 1 : 3

Y \ X	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4	2.7
0.3	0.1718	0.1700	0.1685	0.1675	0.1672	0.1675	0.1685	0.1700	0.1718
0.6	0.3295	0.3269	0.3246	0.3231	0.3225	0.3231	0.3246	0.3269	0.3295
0.9	0.4659	0.4634	0.4611	0.4595	0.4590	0.4595	0.4611	0.4634	0.4659
1.2	0.5805	0.5785	0.5765	0.5751	0.5746	0.5751	0.5765	0.5785	0.5805
1.5	0.6751	0.6734	0.6717	0.6705	0.6701	0.6705	0.6717	0.6734	0.6751
1.8	0.7512	0.7498	0.7485	0.7475	0.7472	0.7475	0.7485	0.7498	0.7512
2.1	0.8110	0.8101	0.8091	0.8084	0.8081	0.8084	0.8091	0.8101	0.8110
2.4	0.8578	0.8571	0.8563	0.8558	0.8556	0.8558	0.8563	0.8571	0.8578
2.7	0.8938	0.8933	0.8927	0.8923	0.8921	0.8923	0.8927	0.8933	0.8938
3.0	0.9208	0.9204	0.9200	0.9196	0.9195	0.9196	0.9200	0.9204	0.9208
3.3	0.9405	0.9402	0.9399	0.9397	0.9396	0.9397	0.9399	0.9402	0.9405
3.6	0.9547	0.9544	0.9542	0.9540	0.9540	0.9540	0.9542	0.9544	0.9547
3.9	0.9641	0.9639	0.9637	0.9636	0.9635	0.9636	0.9637	0.9639	0.9641
4.2	0.9694	0.9692	0.9691	0.9689	0.9689	0.9689	0.9691	0.9692	0.9694
4.5	0.9710	0.9709	0.9708	0.9706	0.9706	0.9706	0.9708	0.9709	0.9710

크 떨어진 위치에서는 어떤 점에서든지 하나의 값을 곱하여 대략적인 치짐을 알 수 있도록 하였다.

Table 3 ~ 8 에서 알 수 있듯이 y 값 변화에 대하여 단순보 지간이라 할 수 있는 x 축의 치짐오차는 지점에서부터 중앙까지 거의 같은 값이므로 y 축으로 같은 위치에서의 수정계수는 평균값을 사용하여도 큰 문제가 없음을 알 수 있다.

Fig. 8 ~ 13 에서 알 수 있듯이 형상비가 1 : 3 이상되면 형상비가 증가할수록 평균 수정계수는 거의 유사하며 중앙에서는 평균 수정계수가 거의 1에 수렴한다. 그러므로 중앙에서는 보이론으로 치짐값을 계산하여도 별문제없음을 알 수 있다. 위에 나타난 평균 수정계수를 사용하면 보이론에서 구한 치짐값으로 단순지지된 철근콘크리트 보의 전체적인 치짐을 손쉽게 구할 수 있다.

Table 6 Correction factor ( $\alpha$ ) of aspect ration 1 : 4

Y \ X	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4	2.7
0.3	0.1711	0.1695	0.1681	0.1671	0.1668	0.1671	0.1681	0.1695	0.1711
0.6	0.3293	0.3268	0.3245	0.3230	0.3224	0.3230	0.3245	0.3268	0.3293
0.9	0.4665	0.4640	0.4615	0.4599	0.4593	0.4599	0.4615	0.4640	0.4665
1.2	0.5809	0.5788	0.5768	0.5754	0.5748	0.5754	0.5768	0.5788	0.5809
1.5	0.6747	0.6732	0.6716	0.6704	0.6700	0.6704	0.6716	0.6732	0.6747
1.8	0.7510	0.7497	0.7484	0.7475	0.7472	0.7475	0.7484	0.7497	0.7510
2.1	0.8118	0.8108	0.8097	0.8090	0.8087	0.8090	0.8097	0.8108	0.8118
2.4	0.8591	0.8582	0.8574	0.8569	0.8567	0.8569	0.8574	0.8582	0.8591
2.7	0.8950	0.8945	0.8939	0.8935	0.8934	0.8935	0.8939	0.8945	0.8950
3.0	0.9225	0.9221	0.9218	0.9215	0.9214	0.9215	0.9218	0.9221	0.9225
3.3	0.9436	0.9433	0.9430	0.9428	0.9427	0.9428	0.9430	0.9433	0.9436
3.6	0.9596	0.9593	0.9591	0.9589	0.9588	0.9589	0.9591	0.9593	0.9596
3.9	0.9712	0.9710	0.9708	0.9706	0.9706	0.9706	0.9708	0.9710	0.9712
4.2	0.9793	0.9792	0.9791	0.9790	0.9790	0.9790	0.9791	0.9792	0.9793
4.5	0.9852	0.9852	0.9851	0.9851	0.9851	0.9851	0.9851	0.9852	0.9852
4.8	0.9897	0.9896	0.9896	0.9896	0.9896	0.9896	0.9896	0.9896	0.9897
5.1	0.9929	0.9928	0.9928	0.9927	0.9927	0.9927	0.9928	0.9928	0.9929
5.4	0.9948	0.9948	0.9947	0.9947	0.9947	0.9947	0.9947	0.9948	0.9948
5.7	0.9956	0.9956	0.9956	0.9956	0.9956	0.9956	0.9956	0.9956	0.9956
6.0	0.9958	0.9958	0.9959	0.9959	0.9959	0.9959	0.9959	0.9958	0.9958

Table 7 Correction factor ( $\alpha$ ) of aspect ration 1 : 5

Y \ X	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4	2.7
0.3	0.1699	0.1685	0.1672	0.1664	0.1661	0.1664	0.1672	0.1685	0.1699
0.6	0.3283	0.3259	0.3238	0.3223	0.3218	0.3223	0.3238	0.3259	0.3283
0.9	0.4668	0.4642	0.4617	0.4600	0.4595	0.4600	0.4617	0.4642	0.4668
1.2	0.5821	0.5798	0.5776	0.5761	0.5756	0.5761	0.5776	0.5798	0.5821
1.5	0.6755	0.6738	0.6721	0.6709	0.6705	0.6709	0.6721	0.6738	0.6755
1.8	0.7505	0.7493	0.7481	0.7472	0.7469	0.7472	0.7481	0.7493	0.7505
2.1	0.8106	0.8097	0.8088	0.8082	0.8080	0.8082	0.8088	0.8097	0.8106
2.4	0.8585	0.8577	0.8570	0.8565	0.8563	0.8565	0.8570	0.8577	0.8585
2.7	0.8956	0.8950	0.8943	0.8939	0.8937	0.8939	0.8943	0.8950	0.8956
3.0	0.9235	0.9230	0.9225	0.9221	0.9220	0.9221	0.9225	0.9230	0.9235
3.3	0.9438	0.9435	0.9432	0.9430	0.9429	0.9430	0.9432	0.9435	0.9438
3.6	0.9588	0.9587	0.9585	0.9584	0.9584	0.9584	0.9585	0.9587	0.9588
3.9	0.9703	0.9702	0.9701	0.9701	0.9700	0.9701	0.9701	0.9702	0.9703
4.2	0.9793	0.9792	0.9791	0.9790	0.9790	0.9790	0.9791	0.9792	0.9793
4.5	0.9860	0.9859	0.9857	0.9856	0.9856	0.9856	0.9857	0.9859	0.9860
4.8	0.9906	0.9904	0.9903	0.9903	0.9902	0.9903	0.9903	0.9904	0.9906
5.1	0.9934	0.9933	0.9933	0.9932	0.9932	0.9932	0.9933	0.9933	0.9934
5.4	0.9951	0.9951	0.9951	0.9951	0.9951	0.9951	0.9951	0.9951	0.9951
5.7	0.9965	0.9965	0.9966	0.9966	0.9966	0.9966	0.9966	0.9965	0.9965
6.0	0.9979	0.9979	0.9979	0.9979	0.9979	0.9979	0.9979	0.9979	0.9979
6.3	0.9991	0.9991	0.9990	0.9990	0.9990	0.9990	0.9990	0.9991	0.9991
6.6	0.9998	0.9997	0.9997	0.9996	0.9996	0.9996	0.9997	0.9997	0.9998
6.9	0.9998	0.9998	0.9998	0.9997	0.9997	0.9997	0.9998	0.9998	0.9998
7.2	0.9995	0.9995	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9995	0.9995
7.5	0.9993	0.9994	0.9994	0.9995	0.9995	0.9995	0.9994	0.9994	0.9993

Table 8 Correction factor ( $\alpha$ ) of aspect ratio 1 : 6

Y \ X	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4	2.7
0.3	0.1684	0.1671	0.1660	0.1652	0.1650	0.1652	0.1660	0.1671	0.1684
0.6	0.3264	0.3242	0.3222	0.3209	0.3204	0.3209	0.3222	0.3242	0.3264
0.9	0.4660	0.4635	0.4611	0.4595	0.4589	0.4595	0.4611	0.4635	0.4660
1.2	0.5831	0.5807	0.5784	0.5768	0.5763	0.5768	0.5784	0.5807	0.5831
1.5	0.6775	0.6755	0.6736	0.6723	0.6719	0.6723	0.6736	0.6755	0.6775
1.8	0.7518	0.7505	0.7492	0.7482	0.7479	0.7482	0.7492	0.7505	0.7518
2.1	0.8104	0.8095	0.8087	0.8080	0.8078	0.8080	0.8087	0.8095	0.8104
2.4	0.8568	0.8563	0.8557	0.8553	0.8551	0.8553	0.8557	0.8563	0.8568
2.7	0.8939	0.8934	0.8929	0.8926	0.8925	0.8926	0.8929	0.8934	0.8939
3.0	0.9230	0.9225	0.9221	0.9217	0.9216	0.9217	0.9221	0.9225	0.9230
3.3	0.9449	0.9445	0.9441	0.9438	0.9437	0.9438	0.9441	0.9445	0.9449
3.6	0.9606	0.9603	0.9599	0.9597	0.9596	0.9597	0.9599	0.9603	0.9606
3.9	0.9714	0.9712	0.9710	0.9709	0.9708	0.9709	0.9710	0.9712	0.9714
4.2	0.9788	0.9788	0.9787	0.9787	0.9787	0.9787	0.9787	0.9788	0.9788
4.5	0.9844	0.9845	0.9845	0.9845	0.9845	0.9845	0.9845	0.9845	0.9844
4.8	0.9891	0.9891	0.9891	0.9892	0.9892	0.9892	0.9891	0.9891	0.9891
5.1	0.9931	0.9930	0.9930	0.9930	0.9930	0.9930	0.9930	0.9930	0.9931
5.4	0.9961	0.9960	0.9959	0.9959	0.9959	0.9959	0.9959	0.9960	0.9961
5.7	0.9980	0.9979	0.9977	0.9977	0.9977	0.9977	0.9977	0.9979	0.9980
6.0	0.9986	0.9986	0.9985	0.9985	0.9985	0.9985	0.9985	0.9986	0.9986
6.3	0.9986	0.9986	0.9986	0.9986	0.9986	0.9986	0.9986	0.9986	0.9986
6.6	0.9985	0.9985	0.9986	0.9986	0.9987	0.9986	0.9986	0.9985	0.9985
6.9	0.9987	0.9988	0.9989	0.9989	0.9989	0.9989	0.9989	0.9988	0.9987
7.2	0.9994	0.9995	0.9995	0.9995	0.9995	0.9995	0.9995	0.9995	0.9994
7.5	1.0003	1.0003	1.0002	1.0002	1.0002	1.0002	1.0002	1.0003	1.0003
7.8	1.0009	1.0008	1.0007	1.0007	1.0006	1.0007	1.0007	1.0008	1.0009
8.1	1.0008	1.0007	1.0006	1.0006	1.0006	1.0006	1.0006	1.0007	1.0008
8.4	1.0002	1.0002	1.0002	1.0002	1.0002	1.0002	1.0002	1.0002	1.0002
8.7	0.9995	0.9996	0.9996	0.9997	0.9997	0.9997	0.9996	0.9996	0.9995
9.0	0.9992	0.9993	0.9994	0.9994	0.9995	0.9994	0.9994	0.9993	0.9992

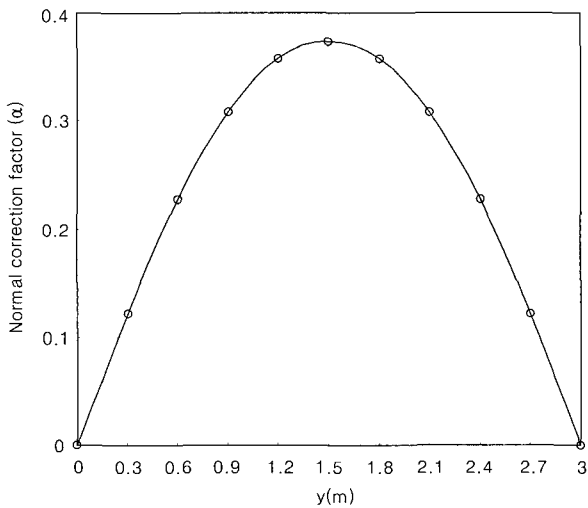


Fig. 8 Normal correction factor ( $\alpha$ ) of aspect ratio 1 : 1

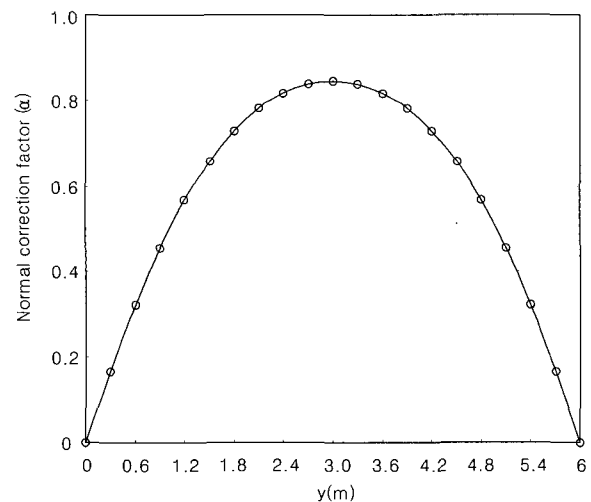


Fig. 9 Normal correction factor ( $\alpha$ ) of aspect ratio 1 : 2



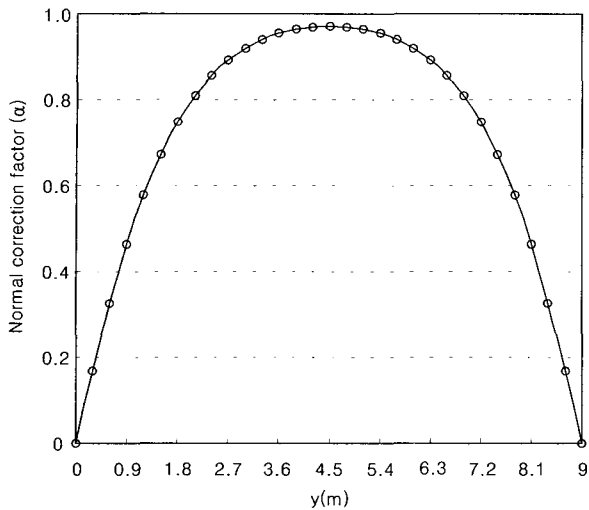


Fig. 10 Normal correction factor ( $\alpha$ ) of aspect ratio 1 : 3

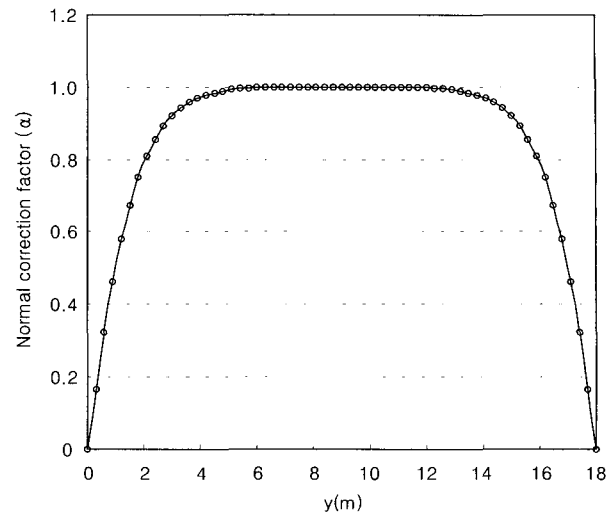


Fig. 13 Normal correction factor ( $\alpha$ ) of aspect ratio 1 : 6

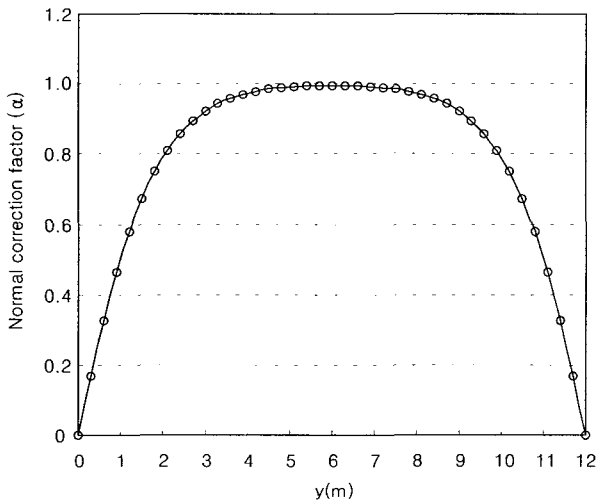


Fig. 11 Normal correction factor ( $\alpha$ ) of aspect ratio 1 : 1

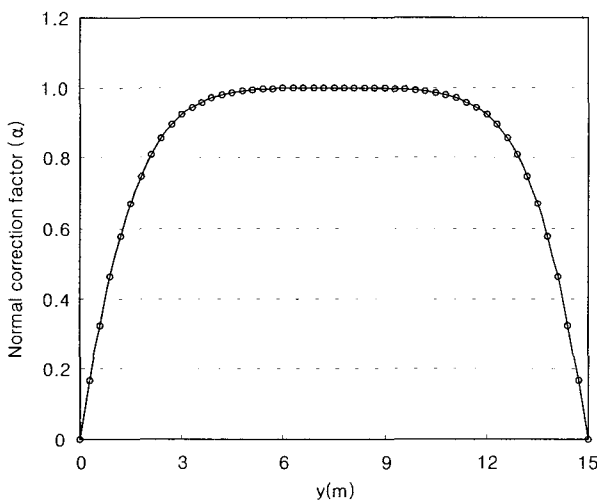


Fig. 12 Normal correction factor ( $\alpha$ ) of aspect ratio 1 : 5

## 5. 결 론

본 연구에서는 철근콘크리트 슬래브를 고전적인 보이론에 의해서도 정확한 해석을 할 수 있도록 수정계수를 구하고 이의 사용성을 제시하고자 하였다. 경계조건은 단순 지지된 경우를 택하고 단위폭을 가진 보에 대해 고려하였으며, 고전적인 보이론에 의하여 처짐을 구하고, navier solution에 의해 처짐을 구하여 고찰·비교하여 수정계수를 제시하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 본 연구에서는 단순지지된 철근콘크리트 슬래브를 복합적층판 이론을 응용하여 해석하는 새로운 방법을 제시하였다.

2) 고전적인 보이론에 의한 해석결과와 navier solution에 의한 해석결과를 비교하여 각각의 형상비별 수정계수를 제시하였다.

3) 형상비가 커질수록 수정계수는 거의 일정하였으며, 중앙에서는 일반 보이론으로 처짐을 구하여도 문제가 없음을 입증할 수 있었다.

4) 본 연구에서는 복합적층판 이론으로 navier solution에 의한 해석결과를 이용하여 수정계수를 구하였으며 이를 실무에서 간편하게 사용할 수 있도록 제시하였다.

## 감사의 글

본 연구는 서울산업대학교 학술연구비 지원에 의하여 연구되었으며 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

1. Kim, D. H., "Composite Structure for Civil and

- Architectural Engineering*," E & FN Spon, 1st Ed., London, 1995.
2. Ashton, J. E., "Anisotropic Plate Analysis-Boundary Condition," *Journal of Composite Materials*. pp.162~171, April, 1970.
  3. Whitney, J. M. and Leissa, A. W., "Analysis of a Simply Supported Laminated Anisotropic Rectangular Plate," *Journal of AIAA*, Vol. 8, No. 1 1970, pp.28~33.
  4. Han, B. K. and Kim, D. H., "The Effect of Neglecting the Longitudinal Moment Terms in Analyzing [90,0,90]<sub>r</sub> Type Laminates with Increasing Aspect Ratio," *Journal of KSSC*, Vol. 13 ,No. 1, 2001, pp.53~60.
  5. Han, B. K. and Kim D. H., "Analysis of steel Bridges by means of Specially Orthotropic Plate Theory," *Journal of KSSC*, Vol 13 , No. 1, 2001, pp.61~69.
  6. Kim, D. H., Han, B.K., Lee, J. H., and Hong, C. W., "Simple Methods of Vibration Analysis of Three Span Continuous Reinforced Concrete Bridge with Elastic Intermediate Supports," *Proceeding of the Advances in Structural Engineering and Mechanics*, Seoul, Vol. 2, 1999, pp.1279~1284.
  7. Han, B. K. and Kim, J. W. "Analysis of Flexural Vibration of Rhombic Plates with Combinations Clamped and Free Boundary Conditions Including the Effect of Corner Stress Singularities," *Journal of the Earthquake Engineering Society of Korea*, Vol. 3 , No.1, 1999, pp.9~20.
  8. Kim, D. H., "Simple Method of Analysis for Preliminary Design of Certain Composite Laminated Primary Structures for Civil Construction II," *Journal of Materials Processing Technology*, 55, Elsevier, London, 1993.
  9. Kim, D. H., Won, C. M., and Lee, J. H. "Analysis of Post-tensioned Bridge by Specially Orthotropic Laminate Theory(I)-Reinforced Concrete Slab Bridge," *Proceedings of the Korea Society of Composite Materials*, 2001, pp.135~139.
  10. Kim, D. H., "The Effect of Neglecting the Longitudinal Moment Term on the Natural Frequency of Laminated Plates with Increasing Aspect Ratio," *Proceedings of the Korea Society of Civil Engineering (1)*, 1998, pp.59~62,
  11. Tsai, S. W., "Composite Design," Think Composites, , 4th Ed., Dayton, 1988.
  12. Vinson, J. R. and Sierakowski, R. L., "The Behavior of Structures Composed of Composite Materials," Martinus Nijhoff, Dordrecht, 1987.

## 요 약

단순지지된 철근콘크리트 슬래브의 경우 특별직교이방성 판이론에 의한 해석결과가 발표되었는데, 이 방법은 일반 기술자들에게는 너무 어려워서 현장에서 기술자들이 실무적으로 접근하기에는 많은 어려움이 있다. 본 연구에서는 일반 현장의 실무 기술자들이 사용할 수 있는 보이론을 사용하여 단순지지된 철근콘크리트 슬래브를 단위폭을 가진 보로 해석이 가능하도록 수정계수를 만들어서 실무에 적용할 때의 사용 가능한 자료를 만들고자 하였다. 본 연구에서의 경계조건은 단순지지된 형태의 판을 중심부에서 단위폭을 가진 보로 보고 보이론을 적용, 해석하여 구한 처짐의 수정계수를 제시함으로써 고전적 보이론으로 구한 값과 각각의 위치에서 나온 계수를 곱하여 각 위치에서의 처짐을 구할 수 있다. 본 연구에서는 1 : 1 ~ 1 : 6 까지 형상비를 변화 시켜가며 해석을 수행하였다.

**핵심용어** : 보이론, 수정계수, 형상비, 특별직교이방성 판