

<論 文>

彈性支持를 받는 四角多孔板의 荷重分布係數에 관한 研究

任 貞 植* · 李 永 臣**

(1989년 3월 23일 접수)

A Study on the Load Distribution Factor in the Perforated Square Plate with Elastic Support at Four Corners

Jeong-Sik Yim and Young-Shin Lee

Key Words : Perforated Plate(多孔板), Load Distribution Factor(荷重分布係數), Equivalent Elastic Constant(等價彈性係數), Orthotropic Plate(直交異方性板), Elastic Energy(彈性能에너지), Auxiliary Plate(假想板), Ligament Width(小幅帶)

Abstract

The load distribution factor in the perforated square plate under concentrated load acting at arbitrary points through elastic media are calculated. For the calculation the perforated plate was converted into an orthotropic plate using the method suggested by J.B. Mahoney. In the process of the calculation the angle support at each corners was equivalent to a point support having equivalent stiffness. The deflections for the calculation of the load distribution factor were obtained using auxiliary plate extended in both directions of the plate and compared with the results from ANSYS calculations. After showing the validity of the current method, the calculation of the load distribution factor was performed. The result showed that the load distribution factor at the periphery of the plate is larger than that of in the central locations. This load distribution factor could be used for re-distribution of the applied load in more accurate analysis of the plate as well as it can be used in the analysis of the elastic media as the load factor.

————— 기 호 설 명 —————	
A, B	: 多孔의 피치
C_{ij}	: 彈性係數
C_1, C_2	: 상수
D_1, D_2, D_3, D_4	: 直交異方性 板의 剛性係數
D^*	: 直交異方性 板의 剛性係數
H	: 平均小幅帶
H'	: 最小小幅帶
I_x, I_y	: 관성모멘트
M	: 十字形要素에 작용하는 모멘트
M'	: 等價直交異方性 板에 작용하는 모멘트

P	: 板에 작용하는 集中荷重
R	: 多孔半徑
S_{eq}	: 等價剛性係數
t	: 板의 두께
V	: 彈性能에너지
W	: 板의 처짐
ν	: 프와송 比

1. 序 論

多孔板은 일정한 配列의 구멍이 뚫려 있는 판으로서 열교환기나 유체와 관련된 부품 또는 중량을 고려해야 하는 구조물에서 자주 사용되고 있다. 한

*정회원, 韓國에너지研究所 核燃料機械設計室
**정회원, 忠南大學校 工科大学 機械設計工學科

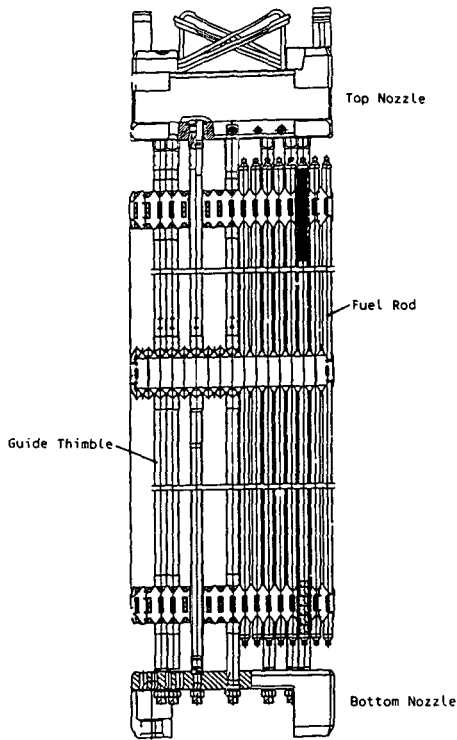


Fig. 1 Fuel assembly for pressurized water reactor

예로서 증기발생기와 같은 열교환기에서는 管板 (tube sheet)으로서 多孔板이 사용되고 있으며 核燃料集合體의 상·하부 노즐에서는 원자로 냉각재 유동을 위하여 규칙 또는 불규칙 四角多孔板이 사용되고 있다. 이와 같은 多孔板의 해석은 이론적 해석 또는 실험적인 방법과 최근에는 컴퓨터를 이용한 유한요소법이 많이 사용되고 있다.

Malkin⁽¹⁾은 三角配列 管板에서 多孔을 等價 六角形化한 후 多孔사이를 等價보로 환산하는 방법에 대해 기술하였으며, Mahoney와 Salerno^(2,3)는 四角配列 多孔圓板의 굽힘문제를 취급하면서 多孔板을 等價剛性係數를 가지는 直交異方性板으로 변환하는 이론적 방법을 제시하였다. 또한 O'Donnell^(4,5)은 三角配列 및 四角配列 多孔圓板에 대한 應力 및 有效彈性係數에 대해 고찰한 바 있다. 최근에는 컴퓨터의 발달과 함께 유한요소법을 사용하여 복잡한 형상을 갖는 多孔板의 해석이 많이 수행되고 있는데, 이중 Jones⁽⁶⁾는 삼각配列 多孔板의 탄소성 문제를 유한요소법을 사용하여 해석하였으며 가압경수로형 核燃料集合體의 하부노즐과 같은 四角多孔板에 대해서는 프랑스의 核燃料製造會社인

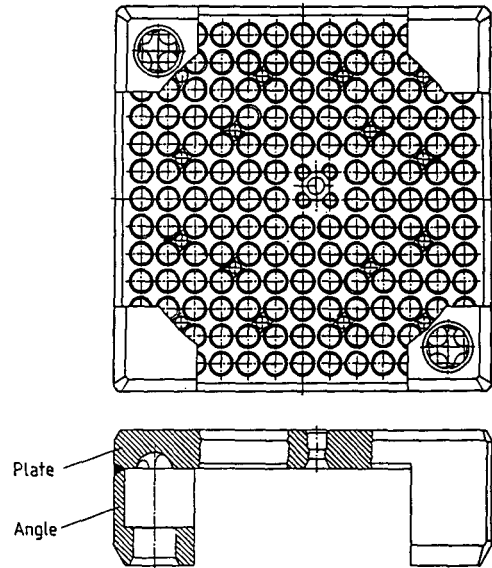


Fig. 2 Bottom nozzle for fuel assembly

FRGEMA⁽⁷⁾에 의해 빔요소를 이용하여 유한요소법으로 해석된 바 있다.

Fig. 1은 加壓輕水爐型 核燃料集合體로서 상·하부 노즐사이의 안내관(guide thimble)에 의해 연결되어 골격체를 이루고 있고, 하부 노즐은 Fig. 2와 같이 네 모서리에서 앵글(angle)로 지지되는 多孔四角板으로 이루어져 있으므로 안내관을 통하여 하부노즐로 전달되는 하중은 하부노즐 네 모서리의 앵글지지의 반력과 평형을 이루고 있다. 이와 같은 핵연료집합체 하부노즐에 대하여는 참고문헌 (8)에서 유한요소법을 사용하여 앵글지지 하단의 접촉점들을 고정하고 안내관 주변 절점에 설계하중을 안내관 갯수로 나누어 균등분포시켜 계산한 바 있으나 이 계산에는 판의 위치에 따른 처짐영향과 안내관의 彈性效果가 배제되어 있다. 본 연구에서는 이들 무시된 영향을 고려하여 荷重作用點에서의 荷重分布係數를 구하여, 이 荷重分布係數에 의해 위치에 따라 실제와 가까운 荷重을 가하므로써 보다 엄밀한 판의 해석을 할 수 있도록 제시하였다.

2. 理論的 背景

2.1 四角多孔板의 直交異方性化

(1) 多孔板 要素의 等價十字形 要素化

多孔平板의 解析은 Fig. 3과 같은 多孔板을 Fig.

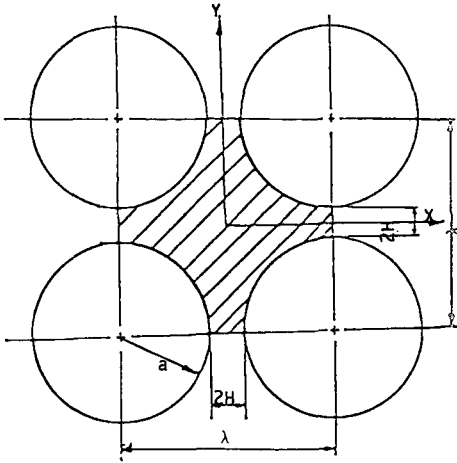


Fig. 3 Perforated plate element

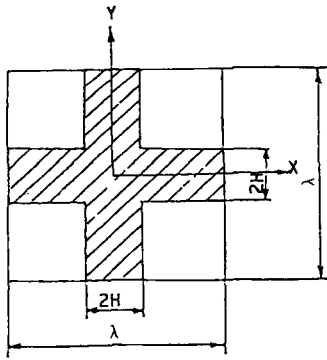


Fig. 4 Equivalent crucial element

4와 같은 等價十字形 要素로 변환한 다음 이 十字形 要素의 탄성에너지를 等價直交異方性 板의 탄성 에너지와 비교하여 等價彈性係數를 구한 후, 直交異方性 平板 이론을 적용하여 해석할 수 있다. Fig. 3은 x, y 방향 피치가 일정한 다공판 요소를 보이고 있으며 최소소폭대 H' 를 갖는 이 요소의 빗금친 요소는 다음 식에 의해 평균소폭대 H 를 갖는 Fig. 4의 등가십자형 요소로 변환시킬 수 있다⁽³⁾.

平均小幅帶 H 는

$$H = 2 \cdot \frac{\int_0^R da}{\int_0^R da/x} \quad (1)$$

이다.

여기서

$$x = A/2 - R \cdot [1 - (a/R)^2]^{1/2} \quad (1.a)$$

$$\sin \phi = a/R \quad (1.b)$$

$$\tan \phi = (a/R) \cdot [1 - (a/R)^2]^{1/2} \quad (1.c)$$

$$da = R \cdot \cos \phi \cdot d\phi \quad (1.d)$$

이므로

$$x = A/2 - R \cdot [1 - (a/R)^2]^{1/2} = A/2 - R \cdot \cos \phi \quad (2)$$

따라서 식 (1)에서

$$\begin{aligned} 2R/H &= \int_0^{\pi/2} \frac{\cos \phi}{[(A/2R) - \cos \phi]} d\phi \\ &= \frac{2}{[1 - (2R/A)^2]^{1/2} \tan^{-1} \frac{[1 - (2R/A)^2]^{1/2}}{[1 - (2R/A)]}} \end{aligned} \quad (3)$$

이다.

(2) 直交異方性 平板의 彈性에너지

직교이방성 평판의 응력-변형을 관계식은 다음과 같다.

$$\sigma_x = C_{11}\epsilon_x + C_{12}\epsilon_y \quad (4.a)$$

$$\sigma_y = C_{21}\epsilon_x + C_{22}\epsilon_y \quad (4.b)$$

$$\tau_{xy} = C_{44}\gamma_{xy} \quad (4.c)$$

모멘트 관계식은

$$M_x = -(t^3/12) (C_{11}W_{xx} + C_{12}W_{yy}) \quad (5.a)$$

$$M_y = -(t^3/12) (C_{21}W_{xx} + C_{22}W_{yy}) \quad (5.b)$$

$$M_{xy} = (t^3/6) C_{44}W_{xy} \quad (5.c)$$

이며 양변이 $A \times B$ 인 直交異方性 平板 要素의 탄성에너지는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} dV &= -(1/2) [M_x W_{xx} + M_y W_{yy} \\ &\quad - (M_{xy} W_{xy} + M_{yx} W_{yx})] dx dy \quad (6.a) \\ &= -(t^3/24) [C_{11}W^2_{xx} + 2C_{12}W_{xx}W_{yy} \\ &\quad + C_{22}W^2_{yy} + 4C_{44}W^2_{xy}] dx dy \quad (6.b) \end{aligned}$$

따라서

$$V = (t^3/24) \cdot (A \cdot B) \cdot [C_{11}W^2_{xx} + 2C_{12}W_{xx}W_{yy} + C_{22}W^2_{yy} + 4C_{44}W^2_{xy}] \quad (7)$$

(3) 十字形 要素의 等價圓形板化

平均小幅帶 H 를 갖는 Fig. 4의 十字形 要素를 等價圓形板 要素로 변환시키는 것은 十字形 要素와 等價圓形板 要素의 모멘트 관계식으로부터 각각의 탄성энер지를 구한 후 등치시키므로서 얻을 수 있다. 여기서 十字形 要素의 탄성에너지는 중앙부 평판 요소와 돌출부의 탄성에너지의 합으로 표시된다. 十字形 要素 중앙부의 탄성에너지는 이 요소를 等方性 板으로 보고 다음의 모멘트 관계식으로부터 구할 수 있다.

$$M_x = B \cdot M'_x / H = -D \cdot B (W_{xx} + \nu W_{yy}) / H \quad (8.a)$$

$$M_y = A \cdot M_y' / H = -D \cdot A (W_{yy} + \nu W_{xx}) / H \quad (8.b)$$

$$M_{xy} = B \cdot M_{xy}' / H = D \cdot B (1 - \nu) \cdot W_{xy} / H \quad (8.c)$$

$$M_{yx} = A \cdot M_{yx}' / H = D \cdot A (1 - \nu) \cdot W_{yx} / H \quad (8.d)$$

중앙부 요소의 탄성에너지는

$$dV_1 = (D/2) \cdot [(B/H) W^2_{xx} + \nu(B/H + A/H) W_{xx}W_{yy} + (A/H) W^2_{yy} + (1-\nu)(B/H + A/H) W^2_{xy}] dx dy \quad (9)$$

따라서

$$V_1 = (D/2) \cdot H^2 \cdot [(B/H) W^2_{xx} + \nu(B/H + A/H) W_{xx}W_{yy} + (A/H) W^2_{yy} + (1-\nu)(B/H + A/H) W^2_{xy}] \quad (10)$$

十字形 요소의 돌출부에 대한 탄성에너지 V_2 는 돌출부와 固形板 요소의 모멘트 관계식으로부터 구하며 이것은 다음과 같다.

$$V_2 = (H/2) \cdot \int_{\frac{A}{2}-R}^{\frac{A}{2}} (M_x' W_{xx} + M_{xy}' W_{xy}) dx + (H/2) \cdot \int_{\frac{B}{2}-R}^{\frac{B}{2}} (M_y' W_{yy} + M_{yx}' W_{yx}) dy \quad (11.a)$$

또는

$$V_2 = (1/2) \cdot [E I_y \cdot R \cdot H \cdot W^2_{xx} / B + E I_x \cdot R \cdot H \cdot W^2_{yy} / A + \{G C_1 R \cdot H / B + G C_2 R \cdot H / A\} W^2_{xy}] \quad (11.b)$$

여기서 $C_1, C_2 = (t^3/3) \cdot H \cdot [1 - 0.63(H/t)]$ 이다. 따라서 十字形 요소의 탄성에너지는

$$V = V_1 + V_2 = (E t^3 / 24) \cdot \{ [B \cdot H / (1 - \nu^2) + R \cdot H^2 / B] W^2_{xx} + \{A \cdot H / (1 - \nu^2) + R \cdot H^2 / A\} W^2_{yy} + \nu / (1 - \nu) \{B \cdot H + A \cdot H\} W_{xx}W_{yy} + 1 / (1 + \nu) \{B \cdot H + A \cdot H + 6 C_1 R \cdot H / (t^3 \cdot B) + 6 C_2 R \cdot H / (t^3 \cdot A)\} W^2_{xy} \} \quad (12)$$

(7)과 (12)로부터

$$C_{11} = [E / (A \cdot B)] [B \cdot H / (1 - \nu^2) + R \cdot H^2 / B] \quad (13.a)$$

$$C_{21} = C_{12} = \nu [E / (2A \cdot B)] [(B \cdot H + A \cdot H) / (1 - \nu^2)] \quad (13.b)$$

$$C_{22} = E \cdot [A \cdot H / (1 - \nu^2) + R \cdot H^2 / A] (A \cdot B) \quad (13.c)$$

$$C_{44} = E \cdot [B \cdot H + A \cdot H + \{6 C_1 R \cdot H\} / (t^3 \cdot$$

$$B) + \{6 C_2 R \cdot H\} / (t^3 \cdot A)] / \{4A \cdot B (1 + \nu)\} \quad (13.d)$$

(4) 等價剛性係數

直交異方性 平板의 지배방정식은 다음과 같다⁽⁹⁾.

$$D_1 W_{xxxx} + 2(D_2 + D_4) W_{xxyy} + D_3 W_{yyyy} = q(x, y) \quad (14)$$

여기서 D_1, D_2, D_3, D_4 는 剛性係數로서,

$$D_1 = (t^3/12) \cdot C_{11},$$

$$D_2 = (t^3/12) \cdot C_{12},$$

$$D_3 = (t^3/12) \cdot C_{22},$$

$$D_4 = (t^3/6) \cdot C_{44}$$

이며, 식 (13)으로부터 이들은 다음과 같다.

$$D_1 = [E t^3 / (12 \cdot A \cdot B)] \cdot [A \cdot H / (1 - \nu^2) + R \cdot H^2 / B] \quad (15.a)$$

$$D_2 = [\nu E t^3 / (24 \cdot A \cdot B)] \cdot \{ [B \cdot H + A \cdot H] / (1 - \nu^2) \} \quad (15.b)$$

$$D_3 = [E t^3 / (12 \cdot A \cdot B)] \cdot [A \cdot H / (1 - \nu^2) + R \cdot H^2 / A] \quad (15.c)$$

$$D_4 = [E t^3 / \{24 \cdot A \cdot B \cdot (1 + \nu)\}] \cdot [B \cdot H + A \cdot H + \{6 C_1 \cdot R \cdot H\} / (t^3 \cdot B) + \{6 C_2 \cdot R \cdot H\} / (t^3 \cdot A)] \quad (15.d)$$

2.2 彈性支持點의 等價彈性係數

四角 多孔板의 네 구석에 위치한 彈性支持 (angle supports)는 단순화하여 네 구석의 각 점에서 등가 탄성계수를 가지는 일점지지를 받는다고 가정하여 다음과 같은 等價剛性係數를 구할 수 있다.

$$Seq = E \cdot A / L \quad (16)$$

여기서 E 는 彈性係數, A 는 彈性支持면적, L 은 지지길이이다.

2.3 彈性支持點의 反力

등가탄성계수를 가지고 지지되는 支持點의 반력은 等價영향계수 (flexibility influence coefficient)와 적합조건 (compatibility condition)에 의해 다음 식으로 구할 수 있다⁽¹⁰⁾.

$$[A_{ij}] \{F_j\} = \{W_j\} \quad (17)$$

여기서

$$A_{ij} = a_{ij} + 1/K \cdot \delta_{ij} \quad (17.a)$$

이고 a_{ij} 는 等價영향계수, K 는 彈性支持의 等價剛性係數, F_j 는 j 지지점의 반력, W_j 는 單位荷重에 의한 j 지지점의 변위, δ_{ij} 는 kronecker delta이다.

2.4 作用荷重 및 反力에 의한 처짐

直交異方性 四角平板의 지배방정식 (14)를 다시쓰면

$$D_1 W_{xxxx} + D^* W_{xyxy} + D_3 W_{yyyy} = q(x, y) \quad (18)$$

여기서 $D^* = 2(D_2 + D_4)$ 이다.

直交異方性 四角平板이 단순지지되어 있을 때 (18)의 해는 Navier 방법에 의해 double series로 나타내면 다음과 같다⁽¹¹⁾.

$$W(x, y) = \sum_m \sum_n \frac{(4P)}{(A \cdot B)} \frac{[\sin(m\pi x/A) \cdot \sin(n\pi y/B)]}{[D_1(m\pi/A)^4 + D^*(m\pi/B)^2 \cdot (n\pi/A)^2 + D_3(n\pi/B)^4]} \quad (19)$$

2.5 荷重分布係數

荷重 作用點에서의 荷重分布係數는 안내관의 탄성과 기하학적 적합조건에 의해 支持點의 반력을 구할 때와 같은 방법으로 식 (17)을 이용하여 구할 수 있다.

2.6 解析 節次

荷重作用點의 荷重分布係數를 구하기 위한 절차는 먼저 荷重作用點의 처짐을 구해야 할 필요가 있다. 이를 위해 多孔板을 식 (15)의 剛性係數를 가지는 直交異方性 板으로 변환하였으며, 요구되는 판의 처짐을 용이하게 구하기 위해서 해석 대상판을 좌·우로 확장한 假想板(Fig. 5)을 고려하였고, Fig. 2의 彈性支持物인 앵글支持는 식 (16)으로부터 等價 彈性係數를 가지는 一點支持로 단순화하였다. 이로부터 荷重에 의한 一點支持에서의 反력을 식 (17)로

부터 멀리 떨어진 외곽부위에서는 ANSYS 코드의 처짐결과보다 상대적으로 다소 큰 값을 보이고 있는데 이것은 ANSYS 코드가 네 모서리에서 앵글 지지를 받고 있는 조건으로 계산하는데 비해 본 중첩법에 의한 해는 이 앵글지지를 等價剛性係數를 가지는 一點支持로 단순화하여 계산함으로써 지지점에 가까운 부위에서 ANSYS 코드보다 더 많은 처짐을 나타내는 것으로 보인다. 한편 荷重分布係수부터 구할 수 있고 가상판 임의점의 처짐은 作用荷重과 반력에 의한 처짐을 각각 계산하고 중첩하여 구할 수 있으며, 가상판으로부터 구한 처짐계산 결과의 타당성 검토는 앵글지지가 부착된 실제판에, 안내관의 탄성을 무시하고 각 안내관 위치에 균등 분포된 하중을 안내관 주변의 절점에 작용시켜 구한 ANSYS 코드 처짐계산 결과⁽⁸⁾와 비교하여 가상판을 이용한 처짐계산의 타당성을 검토하였다.

다음으로 각개 작용하중에 의한 단순화된 네 모서리의 지지점의 총반력을 荷重으로 간주하여 荷重이 작용하는 彈性體의 각 위치에서의 반력의 비를 구하면 이것이 구하고자 하는 荷重分布係數가 된다. 이때 荷重作用點의 처짐계산을 위한 가정으로는 Fig. 5와 같이 가상판은 네 면에서 단순지지되어 있으며 作用荷重은 點荷重으로 集中荷重이 가해지고 多孔板은 균일한 流路구멍으로 이루어져 있고 荷重이 작용되는 彈性體는 판의 동일평면상에 있다고 가정하였다.

3. 數值例 및 考察

荷重作用點의 荷重分布係數를 구하기 전에, 전술한 중첩법의 타당성을 보이기 위해 case 1으로는 14×14, case 2로는 17×17형 加壓輕水爐用 核燃料 集合體의 하부노즐을 택하여 처짐계산을 수행한 후 이 처짐계산 결과와 기존의 ANSYS 코드⁽¹²⁾의 처짐계산결과를 비교·검토하였다. Fig. 6과 Fig. 7은 본 중첩법에 의한 처짐계산 결과와 ANSYS 코드의 처짐계산 결과로서 ①은 판의 중앙을 따른 X축상의 처짐 변화를 나타내고 ②는 판의 대각선을 따른 처짐변화를 보여주고 있다.

Fig. 6과 Fig. 7에서 판의 기하학적 대칭성 및 荷重의 대칭성으로부터 중첩에 의한 처짐계산 결과는 판의 중앙을 중심으로 대칭성을 보이고 있으며, 특히 판의 중앙부위에서 ANSYS 코드의 처짐 계산 결과와 잘 일치함을 보이고 있다. 판의 중앙부위로

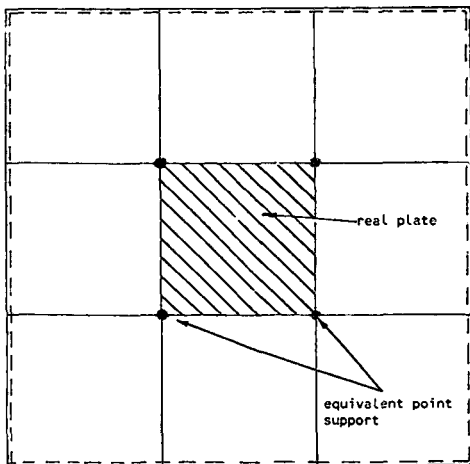


Fig. 5 Auxiliary plate extended the length of the real plate

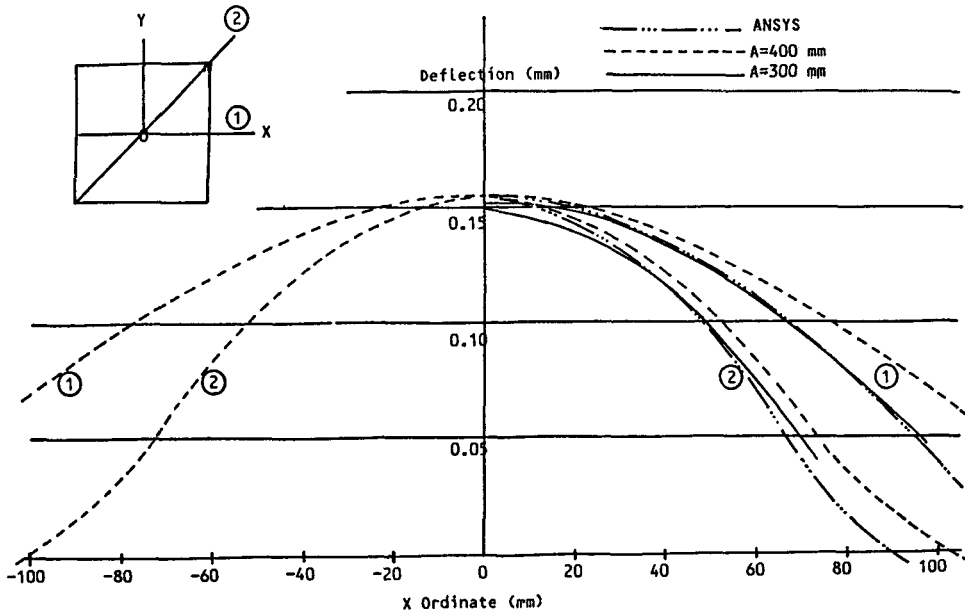


Fig. 6 Comparison of the calculated deflection with the ANSYS results for case 1

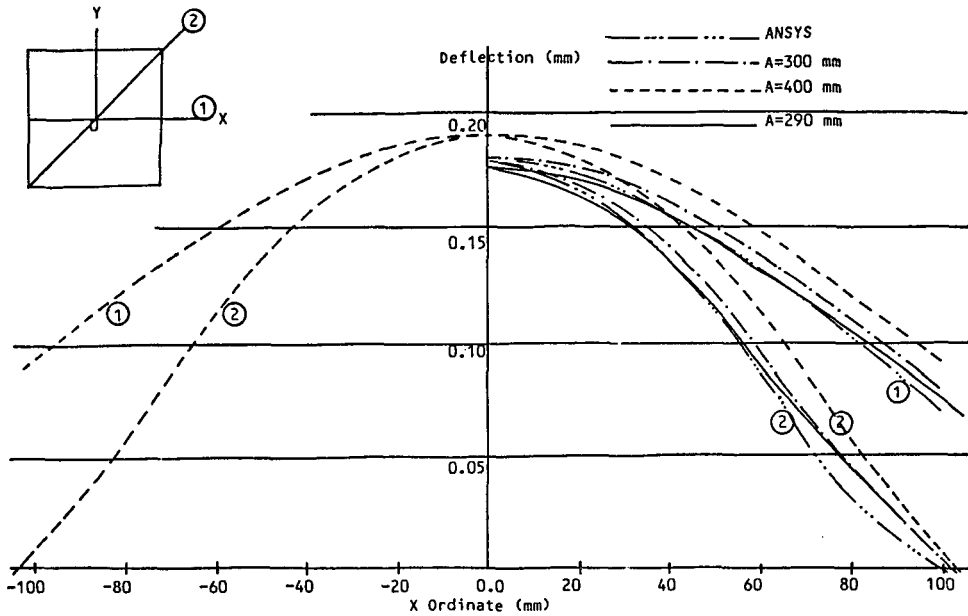


Fig. 7 Comparison of the calculated deflection with the ANSYS results for case 2

Table 1 Load distribution factors at loading points for case 1

Node No.	X (mm)	Y (mm)	LDF 1*	LDF 2*	LDF 3*
1	-63.54	-63.54	1.02046	1.04357	1.08345
2	63.54	-63.54	1.02046	1.04357	1.08345
3	63.54	63.54	1.02046	1.04357	1.08345
4	-63.54	63.54	1.02046	1.04357	1.08345
5	-35.30	-35.30	1.00000	1.00000	1.00000
6	35.30	-35.30	1.00000	1.00000	1.00000
7	35.30	35.30	1.00000	1.00000	1.00000
8	-35.30	35.30	1.00000	1.00000	1.00000
9	-21.18	-63.54	1.00706	1.01651	1.02876
10	21.18	-63.54	1.00706	1.01651	1.02876
11	21.18	63.54	1.00706	1.01651	1.02876
12	-21.18	63.54	1.00706	1.01651	1.02876
13	-63.54	21.16	1.00706	1.01651	1.02876
14	-63.54	-21.16	1.00706	1.01651	1.02876
15	63.54	21.16	1.00706	1.01651	1.02876
16	63.54	-21.16	1.00706	1.01651	1.02876

* LDF : Load distribution factor

- 1) LDF 1 : Guide thimble stiffness 562.92N/mm
- 2) LDF 2 : Guide thimble stiffness 1125.84N/mm
- 3) LDF 3 : Guide thimble stiffness 2251.68N/mm

數를 구해야 하는 위치에서는 假想板 길이가 case 1과 case 2에서 300mm 및 290mm 일 경우 ANSYS 코드의 처짐계산 결과에 보다 잘 일치하므로 荷重分布係數를 구하기 위한 假想板의 길이는 이 값을 사용하였다. 이와 같은 처짐계산 결과로부터 위치에 따른 荷重作用點의 荷重分布係數는 Table 1 및 Table 2와 같다. 이 계산 결과는 荷重分布係數가 외곽에 위치할수록, 또한 荷重이 작용되는 彈性體의 탄성계수가 클수록 큰 값을 보이고 있음을 알 수 있다.

4. 結 論

네 모서리에서 불연속 彈性支持를 받고 있는 四角 多孔평판이 彈性體를 통해 集中荷重을 받고 있을 경우 荷重에 의한 판의 처짐 및 彈性體의 彈性效果를 고려하여 荷重作用點에 나타나는 荷重分布係數를 구하였다. 이를 위하여 먼저 多孔板을 直交

異方性 板으로 변환하였으며 판을 지지하는 불연속 彈性支持는 등가 탄성계수를 가지는 일점지지로 단순화하였고, 판의 처짐은 해석대상판을 좌·우로 연장한 假想板을 사용하여 作用荷重과 반력에 의한 처짐을 중첩하여 구하였다. 계산된 판의 처짐결과를 ANSYS 코드의 처짐계산결과와 비교하여 반력을 이용한 중첩법의 타당성을 보인 후, 이 처짐 해를 이용하여 각 荷重點에 나타나는 荷重分布係數를 구하였다. 이들 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 荷重分布係數는 처짐이 큰 중앙부위보다 외곽에 위치한 부위에서, 또한 荷重이 작용하는 彈性體의 탄성계수가 클수록 큰 값을 보인다.
- (2) 彈性支持를 받는 多孔板이 彈性體를 통하여 荷重이 작용할 때 多孔板의 보다 엄밀한 해석을 위하여는 作用荷重을 荷重分布係數로 재배치할 필요가 있다.
- (3) 여기서 구한 荷重分布係數는 안내판과 같은 彈性體의 설계해석시 荷重係數로 이용될 수 있다.

Table 2 Load distribution factors at loading points for case 2

Node No.	X (mm)	Y (mm)	LDF 1*	LDF 2*	LDF 3*
1	-62.87	62.87	1.02958	1.05870	1.12079
2	62.87	-62.87	1.02958	1.05870	1.12079
3	62.87	62.87	1.02958	1.05870	1.12079
4	-62.87	62.87	1.02958	1.05870	1.12079
5	-37.72	-75.44	1.02567	1.05091	1.10460
6	37.72	-75.44	1.02567	1.05091	1.10460
7	75.44	37.72	1.02567	1.05091	1.10460
8	37.72	75.44	1.02567	1.05091	1.10460
9	75.44	-37.72	1.02567	1.05091	1.10460
10	-37.72	75.44	1.02567	1.05091	1.10460
11	-75.44	-37.72	1.02567	1.05091	1.10460
12	-75.44	37.72	1.02567	1.05095	1.10460
13	-75.44	0.00	1.01914	1.03795	1.07805
14	0.00	-75.44	1.01914	1.03746	1.07805
15	75.44	0.00	1.01914	1.03795	1.07805
16	0.00	75.44	1.01914	1.03795	1.07805
17	-37.72	-37.72	1.00690	1.01380	1.02840
18	37.72	-37.72	1.00690	1.01380	1.02840
19	37.72	37.72	1.00690	1.01380	1.02840
20	-37.72	37.72	1.00690	1.01380	1.02840
21	0.00	-37.72	1.00000	1.00000	1.00000
22	37.72	0.00	1.00000	1.00000	1.00000
23	-37.72	0.00	1.00000	1.00000	1.00000
24	0.00	37.72	1.00000	1.00000	1.00000

* LDF : Load distribution factor

- 1) LDF 1 : Guide thimble stiffness 483.80N/mm
- 2) LDF 2 : Guide thimble stiffness 967.60N/mm
- 3) LDF 3 : Guide thimble stiffness 1935.22N/mm

참 고 문 헌

(1) Malkin, I., 1952, "Notes on a Theoretical Bases for Design of Tube Sheets of Triangular Layout", Tran. ASME., Vol. 74, pp. 387~396.

(2) Mahoney, J.B., 1962, "Analysis of Perforated Circular Plate Containing a Rectangular Array of Holes", WRC Bulletin, No. 80.

(3) Mahoney, J.B., L. Salerno, L., 1975, "Stress Analysis of Circular Plate Containing a Rectangular Array of Holes", WRC Bulletin, No. 151.

(4) O'Donnell, W.J., 1962, "Design of Perforated Plates", Tran. ASME. J. of Eng. for Industry, Series B. Vol. 84, No. 3, pp. 307~320.

(5) O'Donnell, W.J., 1970, "Further Theoretical Treatment of Perforated Plate with Square Penetration Pattern", WRC Bulletin, No. 151.

(6) Jones, D.P., 1979, "Elasto-Plastic Analysis of Perforated Plates Containing Triangular Penetration Patterns of 10% Ligament Efficiency", Tran. ASME., J. of Pressure Vessel Tech., Vol. 101, No. 3, pp. 211~221.

(7) FRAGEMA, 1988, "Mechanical Design Report

for 17×17 Assembly”, Sep.

(8) Song, K.N., Kunz, J. 1988, “Fuel Design Report for 14×14 Assembly”, Sep. KAERI.

(9) Timoshenko, S. Woinowsky-Krieger, S. “Theory of Plates and Shells”, McGraw-Hill Book Co., 2nd ed.

(10) Kwee, H.K. 1985, “The Bending of an Orthotropic Membrane Wall Supported at Arbitrary

Points”, Tran. ASME., J. of Pressure Vessel Tech. Vol. 107, pp. 134~141.

(11) Lekhnitskii, S.G. “Anisotropic Plates”, Gordon and Breach Science Publishers.

(12) DeSalvo, G. J., 1983, “ANSYS Engineering Analysis System User's Manual”, Rev. 4. 1.