

◎ 論 文

비균질 탄성 기초위에 놓여있는 직사각형 평판의 고유 진동수⁺

황 주 익* · 김 용 철** · 이 택 순**
(1989년 4월 8일 접수)

Natural Frequency of a Rectangular Plate on Non-homogeneous Elastic Foundations

Ju I. Hwang*, Yong C. Kim** and Taik S. Lee**

Key Words : Natural Frequency(고유 진동수), Winkler Foundation(원클러 형태), Non-Homogeneous Foundation(비균질 형태), Trial Functions(시도함수), Rotational Spring(회전 스프링), Ritz Method(리츠 방법), Galerkin Method(갤러킨 방법)

Abstract

The natural frequencies of a rectangular plate on non-homogeneous elastic foundations were obtained by using the Ritz method and Galerkin method. The results of both methods using the different type of trial functions were also compared. Furthermore, the effects of the variation of boundary conditions, the stiffness of the foundation spring, the dimension ratio of the plate were investigated. As a result, the Galerkin method can be used to obtain the accurate solution and can be effectively used to design the foundation bed.

1. 서 론

기계 구조물에 발생하는 진동은 성능의 약화, 소음의 발생, 진동의 전달 등 주위환경에 나쁜 영향을 미치게 되며, 또한 구조물 요소의 피로 파괴 요인이 된다.

구조물의 구성 요소로서 보 및 평판은 많이 이용되고 있으며, 교량이나 선박, 항공기, 우주산업 등 거의 모든 구조물에서 사용되고 있다. 따라서 구조물의 안정성을 검토하기 위하여 평판에 대한

정확한 동역학적 해석이 요구되고 있다.

최근에는 해양구조물 또는 고속회전, 왕복운동을 하는 터빈 발전기 등의 구조물에서 발생하는 진동을 기계나 주위의 구조물에 전달되는 것을 방지하기 위하여 평판의 지지부에 탄성 기초를 설치하여 진동을 감소하는 방법이 시도되고 있으며 탄성 기초의 영향에 대한 정확한 해석을 통하여 효과적인 탄성 기초를 설계할 수 있다.

평판에 대한 일반적인 연구는 많은 학자에 의하여 연구되어 왔다.¹⁾ 초기의 탄성기초에 대한 연구는 1923년 Westergard가 탄성기초위의 원판에 대

+ 1988년도 한국해양공학회 추계학술대회 발표(1988년 12월)

* 영남대 대학원

** 정회원, 영남대 정밀기계공학과

하여 연구하였고, 1926년 Schleicher가 Bessel 함수를 사용하여 탄성 기초위의 평판에 대하여 연구하였다.²⁾

최근의 연구 동향은 1984년 P.A.A. Laura^{3),4)} 등은 비균질 탄성 기초위의 원판에 회전 스프링이 달린 경우와 다각형판의 경계조건이 단순지지일 경우와 고정된 경우에 대하여 시도함수로 다항식을 사용하고 Ritz방법을 이용하여 고유 진동수를 구하였으며, 1985년 비균질 탄성 기초위의 직사각형 평판에 회전 스프링이 달린 경우에 대한 고유 진동수를 구하였다. 그리고 J.G.M. Kertens⁵⁾ 등은 Modal constraint 방법을 사용하여 P.A.A. Laura⁴⁾ 등이 구한값을 경계 조건이 단순지지일 경우와 고정된 경우에 대하여 서로 비교하였다.

1987년 M. Salari⁶⁾ 등은 원판의 경계조건이 자유일 경우에 대하여 자유진동에 대하여 연구하였으며, S.M. Sargand⁷⁾는 Vlasov의 탄성기초 모델을 적용하여 탄성기초위의 원판의 자유진동에 대하여 연구하였다.

본 논문에서는 Winkler형태의 모델을 탄성기초로 하여 탄성기초의 강성(stiffness)이 비균질한 경우에 대하여 이중 삼각함수와 Ritz 방법을 사용한 Galerkin 방법과 다항식을 시도함수로 사용한 Galerkin 방법을 서로 비교하였다. 또한 경계조건 변화, 회전 스프링의 강성변화, 탄성기초의 강성변화, 평판의 크기 비 변화에 따른 영향에 대하여 연구하였다.

2. 해석방법

2.1 Ritz 방법과 삼각함수의 이용

Fig.1과 같은 시스템에 대한 범함수는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned}
 J[W] &= U_b + U_f + T_{max} \\
 &= \frac{1}{2} D \int_0^b \int_0^a \left(\frac{\partial^2 W}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 W}{\partial y^2} \right) dx dy \\
 &+ \frac{1}{2} D \int_0^b \int_0^a K_2 W^2 dx dy \\
 &+ \int_{b/2-\bar{V}}^{b/2+\bar{V}} \int_{a/2-\bar{U}}^{a/2+\bar{U}} (K_1 - K_2) W^2 dx dy \\
 &- \frac{1}{2} \rho h \omega^2 \int_0^b \int_0^a W^2 dx dy \dots\dots (1)
 \end{aligned}$$

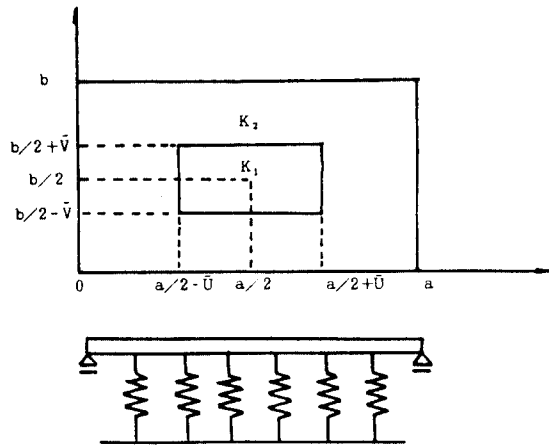


Fig.1 Rectangular plate on non-homogeneous foundation (simple support)

- 여기서 U_b : 순수 굽힘에 의한 평판의 포텐셜 에너지
- U_f : 탄성 기초에 의한 포텐셜 에너지
- T_{max} : 평판의 최대 운동 에너지
- K_1, K_2 : 탄성 기초의 강성계수(stiffness)

처짐(deflection)에 대한 근사해를 경계조건이 단순지지(simple support)인 경우에 대하여 다음과 같이 가정하면

$$W \approx W_a = C_{11} \sin\left(\frac{\pi x}{a}\right) \sin\left(\frac{\pi y}{b}\right) \dots\dots (2)$$

Ritz 방법에서는 범함수가 다음과 같은 조건을 만족하여야 한다.

$$\frac{\partial J[W_a]}{\partial C_{11}} = 0 \dots\dots\dots (3)$$

(3)식에 따라 정리하여 기본주파수 방정식(frequency equation)을 구할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 \omega_{11} \sqrt{\rho h / D} a^2 &= \{ \pi^4 (1 + \lambda^2)^2 + 16 K_2 + 16 \\
 &(K_1 - K_2) \times [U + V + (U/\pi) \times \sin \\
 &(\pi \times V) + (V/\pi) \times \sin(\pi \times U) + (1/\pi^2) \\
 &\times (\sin(\pi \times V) \times \sin(\pi \times U))]^{1/2} \dots (4)
 \end{aligned}$$

위의 식에서 무차원화계수는 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 \lambda &= a/b \\
 K_1 &= K_1 a / 16D, K_2 = K_2 a / 16D, \\
 U &= 2\bar{U}/a, V = 2\bar{V}/b
 \end{aligned}$$

이 식을 이용하여 계산한 수치의 결과는 부록의 Table 1에 수록되어 있다.

2.2 Galerkin 방법과 다항식 함수의 이용

Fig. 2와 같은 시스템에 대한 운동방정식은 다음과 같다.

$$D\nabla^4 W(x, y, t) + \rho h \partial w(x, y, t) / \partial t^2 + K(x, y) W(x, y, t) \dots\dots\dots (5)$$

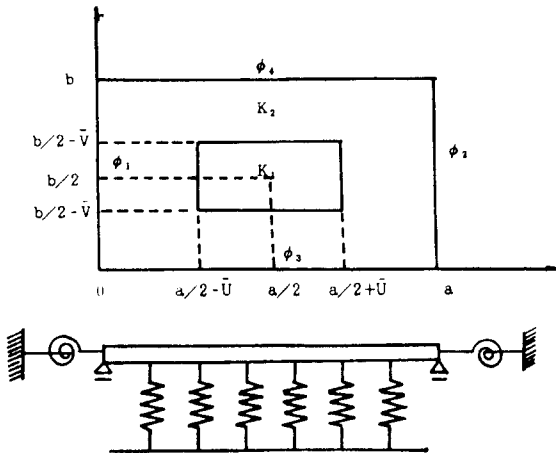


Fig. 2 Rectangular plate on non-homogeneous foundation with rotational springs

처짐(deflection)을 근사치로 나타내면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$W(x, y, t) = (W(x, y) \exp(i\omega t)) \dots\dots\dots (6)$$

(6)식을 (5)식에 대입하면

$$D\nabla^4 W(x, y) - \{\rho h \omega^2 - K(x, y)\} \times W(x, y) = 0 \dots\dots\dots (7)$$

으로 표현된다.

평판의 테두리에 회전 스프링이 달린 경우의 경계조건은 다음과 같다.

$$W(0, y) = W(a, y) = W(x, 0) = W(x, b) = 0$$

$$\frac{\partial W}{\partial x} \Big|_{x=0} = \phi_1 D \left(\frac{\partial^2 W}{\partial x^2} + \nu \frac{\partial^2 W}{\partial y^2} \right) \Big|_{x=0}$$

$$\frac{\partial W}{\partial x} \Big|_{x=a} = -\phi_2 D \left(\frac{\partial^2 W}{\partial x^2} + \nu \frac{\partial^2 W}{\partial y^2} \right) \Big|_{x=a}$$

$$\frac{\partial W}{\partial x} \Big|_{y=0} = \phi_3 D \left(\frac{\partial^2 W}{\partial x^2} + \nu \frac{\partial^2 W}{\partial y^2} \right) \Big|_{y=0}$$

$$\frac{\partial W}{\partial x} \Big|_{y=b} = -\phi_4 D \left(\frac{\partial^2 W}{\partial x^2} + \nu \frac{\partial^2 W}{\partial y^2} \right) \Big|_{y=b} \dots\dots\dots (8)$$

여기서 ϕ_i ($i=1, 2, 3, 4$)는 회전 스프링의 휨(flexibility)계수이다.

다항식 함수를 처짐에 대한 근사해로 가정함으로서 위의 시스템에 대한 경계조건을 계수 α_i, β_i 의 값에 의해 만족하도록 하였다. 이때의 근사해는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$W \approx W_a = A_{11} (\alpha_1 x + \alpha_2 x^2 + \alpha_3 x^3 + \alpha_4 x^4) \times (\beta_1 y + \beta_2 y^2 + \beta_3 y^3 + \beta_4 y^4) \dots\dots\dots (9)$$

위의 식은 경계조건을 만족하여야 하므로 (9)식을 (8)식에 대입하면 계수는 다음과 같이 얻어진다.

$$\alpha_1 = a \quad \alpha_2 \phi_1 = a \quad \alpha_1$$

$$\alpha_2 = \alpha_2$$

$$\alpha_3 = -\frac{\alpha_2}{a} \frac{3\phi_1 + 5\phi_2 + 6\phi_1\phi_2 + 2}{1 + 3\phi_2} = \frac{1}{a} \alpha_3$$

$$\alpha_4 = -\frac{\alpha_2}{a^2} \frac{2\phi_2 + 2\phi_1 + 3\phi_1\phi_2 + 1}{1 + 3\phi_2} = \frac{1}{a^2} \alpha_4$$

$$\beta_1 = b \quad \beta_2 \phi_3 = b \quad \beta_1$$

$$\beta_2 = \beta_2$$

$$\beta_3 = -\frac{\beta_2}{b} \frac{3\phi_3 + 5\phi_4 + 6\phi_3\phi_4 + 2}{1 + 3\phi_4} = \frac{1}{b} \beta_3$$

$$\beta_4 = -\frac{\beta_2}{b^2} \frac{2\phi_4 + 2\phi_3 + 3\phi_3\phi_4 + 1}{1 + 3\phi_4} = \frac{1}{b^2} \beta_4$$

$$\text{여기서 } \phi'_1 = 2\phi_1 D/a \quad \phi'_2 = 2\phi_2 d/a \\ \phi'_3 = 2\phi_3 D/b \quad \phi'_4 = 2\phi_4 d/b$$

Galerkin 방법에서 오차함수는 시도함수에 대하여 다음과 같은 조건을 만족하여야 한다.

$$\int_0^b \int_0^a \{D \Delta^4 W_a - \rho h \omega^2 W_a + K(x, y) W_a\} W_a dx dy = 0 \dots\dots\dots (10)$$

(10)식으로부터 주파수 특성 방정식을 구하기까지는 복잡한 계산이 요구되나 본 논문에서 구한 최종식 형태는 다음과 같다.

$$\omega_{11} \sqrt{\rho h / D} a^2 = \{ \{ 24 \alpha_1 P_2 (\beta_1 Q_3 + \beta_2 Q_4 + \beta_3 Q_5 + \beta_4 Q_6) + 8 \lambda^2 (\alpha_2 P_2 + 3 \alpha_3 P_3 +$$

$$6 \alpha_1 P_4) (\beta_2 Q_2 + 3 \beta_3 Q_3 + 6 \beta_4 P_4) + 24 \lambda$$

$$^4 \beta_4 Q_2 (\alpha_1 P_3 + \alpha_2 P_4 + \alpha_3 P_5 + \alpha_4 P_6) +$$

$$(K_1 - K_2)/64 [(8/3) \beta_1' (3V + V^3) + 8$$

$$\beta_1 \beta_2 (V + V^3) + 2/5 (2 \beta_1 \beta_3 + \beta_2) \times (5$$

$$V + 10V^3 + V^5) + 2/3 (\beta_1 \beta_4 + \beta_2 \beta_3)$$

$$(3V + 10V^3 + 3V^5) + 2/14 (2 \beta_2 \beta_4 + \beta$$

$$\frac{3}{5}) (7V + 35V^3 + 21V^5 + V^7) + 1/2 \beta_3$$

$$\beta_4 (V + 7V^3 + 7V^5 + V^7) + 1/162 \beta_4'$$

$$(9V + 84V^3 + 126V^5 + 72V^7 + V^9)] \times$$

$$[(8/3) \alpha_1' (3U + U^3) + 8 \alpha_1 \alpha_2 (U + U^3)$$

$$+ 2/5 (2 \alpha_1 \alpha_3 + \alpha_2) (5U + 10U^3 + U^5)$$

$$+ 2/3 (\alpha_1 \alpha_4 + \alpha_2 \alpha_3) (3U + 10U^3 + 3$$

$$U^5) + 2/14 (2 \alpha_2 \alpha_4 + \alpha_3') (7U + 35$$

$$U^3 + 21U^5 + U^7) + 1/2 \alpha_3 \alpha_4 (U + 7U^3$$

$$+ 7U^5 + U^7) + 1/162 \alpha_4' (9U + 84U^3$$

$$+ 126U^5 + 72U^7 + U^9)] \div [(\alpha_1 P_3 + \alpha_2$$

$$P_4 + \alpha_3 P_6 + \alpha P_6) \times (\beta_1 Q_3 + \beta_2 Q_4 + \beta_3$$

$$Q_5 + \beta_4 Q_6)] + 16 K_2]^{1/2} \dots \dots \dots (11)$$

여기서 계수는 다음과 같다.

$$\lambda = a/b$$

$$K_1 = K_1 a/16D, K_2 = K_2 a/16D$$

$$U = 2\bar{U}/a, V = 2\bar{V}/b$$

$$P_2 = \frac{\alpha_1}{2} + \frac{\alpha_2}{3} + \frac{\alpha_3}{4} + \frac{\alpha_4}{5} \quad Q_2 = \frac{\beta_1}{2} + \frac{\beta_2}{3} + \frac{\beta_3}{4} + \frac{\beta_4}{5}$$

$$P_3 = \frac{\alpha_1}{3} + \frac{\alpha_2}{4} + \frac{\alpha_3}{5} + \frac{\alpha_4}{6} \quad Q_3 = \frac{\beta_1}{3} + \frac{\beta_2}{4} + \frac{\beta_3}{5} + \frac{\beta_4}{6}$$

$$P_4 = \frac{\alpha_1}{4} + \frac{\alpha_2}{5} + \frac{\alpha_3}{6} + \frac{\alpha_4}{7} \quad Q_4 = \frac{\beta_1}{4} + \frac{\beta_2}{5} + \frac{\beta_3}{6} + \frac{\beta_4}{7}$$

$$P_5 = \frac{\alpha_1}{5} + \frac{\alpha_2}{6} + \frac{\alpha_3}{7} + \frac{\alpha_4}{8} \quad Q_5 = \frac{\beta_1}{5} + \frac{\beta_2}{6} + \frac{\beta_3}{7} + \frac{\beta_4}{8}$$

$$P_6 = \frac{\alpha_1}{6} + \frac{\alpha_2}{7} + \frac{\alpha_3}{8} + \frac{\alpha_4}{9} \quad Q_6 = \frac{\beta_1}{6} + \frac{\beta_2}{7} + \frac{\beta_3}{8} + \frac{\beta_4}{9}$$

윗식을 이용하여 앞서말한 Ritz 방법, 기존에 발표된 결과 및 Galerkin 방법에 대한 수치결과는 부록의 Table 1, Table 2, Table 3, Table 4에 실려 있다.

3. 수치 계산결과 및 고찰

평판의 테두리에 구속이 없는 단순 지지평판의 경우 근사해를 이중 삼각함수와 Ritz 방법을 사용하므로써 쉽게 기본 주파수를 추정할 수 있으나,

구속조건이 복잡한 경우 삼각함수를 시도함수로 한 경우에는 경계조건을 모두 만족시킬 수 없다. 그러나 다항식 함수를 이용하면 회전 스프링의 계수변화에 따른 경계조건의 변화를 만족시킬 수 있고 이때 사용한 Galerkin 방법은 에너지에 대한 범함수를 구하지 않고 운동 방정식으로 부터 직접 해를 구할 수 있는 장점이 있다. 그리고 기존의 연구결과와 수치비교를 통하여도 정확도가 높은 것을 발견하였다.

그리고 지금까지의 논문들은 테두리의 조건이 대칭인 경우에만 연구되었으나 본 논문은 비대칭인 경우에도 결과를 쉽게 산출할 수 있으며 또한 윗식을 이용하여 스프링이 균일하게 분포하지 않고 특정 위치에만 놓여있을 경우 (discrete spring) 에도 델타 함수를 이용하여 쉽게 고유 진동수를 추정할 수 있다.

평판이 단순지지 되어있고 탄성 기초가 비균질하게 지지되어 있는 경우에 대하여 고유 진동수가 Table 1에 수록되어 있다. 여기서 I은 다항식을 이용한 Ritz 방법을 나타내고, II는 삼각함수를 이용한 Ritz방법을, III은 다항식을 이용한 Galerkin 방법을 나타낸다. 양 테두리에 회전 스프링이 없는 경우, 세가지 방법 모두다 거의 정확한 고유 진동수를 구할 수 있으며 다항식을 이용한 방법이 좀더 근사해를 구할 수 있음을 알 수 있다.

부록의 Table 2나 Table 3에 수록되어 있는 것과 같이 평판의 테두리가 고정(clamped)되어 있는 경우에도 다항식을 이용한 Ritz 방법이나 Galerkin 방법 모두 거의 같은 해를 구할 수 있음을 보여주고 있다. 삼각함수를 시도함수로 한 방법은 비교하지 않았으나 구속 조건이 많은 경우 비록 간단히 추정할 수 있는 장점도 있으나 정확도가 떨어지는 것을 발견할 수 있다.

부록의 Table 4는 평판이 비균질 탄성 기초위에 있으며 경계조건이 한면에서는 고정되어 있고 나머지 세면에서는 단순지지가 된 경우(비대칭 경계조건)에 대하여 무차원화된 고유 진동수를 나타내고 있다. 이 경우에는 비교할 자료가 없어서 본 논문에서 사용한 방법에 대한 결과만 수록하고 있다. Table 4에서 보는 바와 같이 평판의 경계가 모두 고정되어 있는 경우보다 고유 진동수가 낮은 값을 나타내고 탄성 기초의 범위가 증가함에 따라 고유 진동수가 증가함을 알 수 있다. 또한 K_1 값이 K_2 값보다 작은 경우 V, \bar{V} 의 값이 증가함에 따라

고유 진동수는 감소하나 K_1 의 값이 K_2 값보다 큰 경우에는 범위가 증가함에 따라 고유 진동수의 값도 증가함을 알 수 있다. 따라서 탄성 기초를 설치할 때 중앙부에 설치되는 탄성기초의 강성계수가 저차 고유 진동수에 미치는 영향이 큰 것을 알 수 있다.

4. 결 론

본 해석을 통하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 1) 구속조건이 많은 경우 시도함수를 삼각함수로 하여 근사해를 구하는 것보다 다항식 함수를 사용하는 것이 바람직하다.
- 2) Galerkin 방법을 이용함으로써 비균질 탄성 기초위의 직사각형 평판의 고유 진동수를 쉽고 정확하게 추정할 수 있다.
- 3) 본 시스템에서 사용한 방법을 이용하여 탄성기초에 대한 설계를 효과적으로 수행할 수 있다.

참 고 문 헌

- 1) Leissa, A.W., "Vibration of Plates", NASA SP-160, 1969
- 2) Szilard, R., "Theory and Analysis of Plates",

Prentice-Hall, Inc, 1974

- 3) Laura, P.A.A. and R.H. Gutierrez, "Vibration of Plates Elastically Supported on a Non-Homogeneous Foundation", Journal of Sound and Vibration 95(4), 531~536, 1984
- 4) Laura, P.A.A. and R.H. Gutierrez, "Transverse Vibrations of Rectangular Plates on In-Homogeneous Foundations, Part I : Rayleigh-Ritz Method", Journal of Sound and Vibration 101(3), 307~315, 1985
- 5) Horenberg, J.A.G. and J.G.M. Kertense, "Transverse Vibrations of Rectangular Plates on In-Homogeneous Foundations, Part II : Modal Constraint Method", Journal of Sound and Vibration 101(3), 307~315, 1985
- 6) Salari, M. et. al, "Free Vibration of a Solid Circular Plate at Its Edge and Attached to a Winkler Foundation", Journal of Sound and Vibration 118(1), 188~191, 1987
- 7) Sargand, S.M., Z. Sheng and Y.C. Das, "Free Vibration of Circular Footing on Elastic Foundations", Journal of Sound and Vibration 118(1), 141~149, 1987

부 록

Table 1 Fundamental Frequency Coefficients $\omega_{11} \sqrt{\rho h / D} a^2$ for a Rectangular Plate(Simple Support) (I : Ref. (4), II : Eq. (4), III : Eq. (11))

K_1	K_2	$\lambda = 1$			$\lambda = 1.5$			$\lambda = 2.0$		
		I	II	III	I	II	III	I	II	III
		$U = V = 0.2$								
0	20	25.74	25.72	25.74	36.09	36.07	36.09	52.06	52.03	52.06
100	0	25.02	25.09	25.03	35.58	35.62	35.59	51.71	51.72	51.71
20	50	33.45	33.43	33.45	41.93	41.91	41.94	56.27	56.24	56.27
50	50	27.94	27.96	27.94	37.69	37.69	37.69	53.18	53.17	53.19
100	20	29.98	30.02	29.99	39.23	39.25	39.23	54.28	54.29	54.29
		$U = V = 0.4$								
0	20	23.52	23.49	23.52	34.54	34.51	34.54	51.00	50.96	51.00
100	0	34.24	34.35	34.25	42.57	42.65	42.58	56.75	56.79	56.75
20	50	30.90	30.86	30.90	39.93	39.90	39.94	54.79	54.76	54.80
50	20	30.73	30.77	30.74	39.80	39.82	39.81	54.70	54.70	54.71
100	20	36.55	36.63	36.55	44.45	44.51	44.45	58.17	58.20	58.17
		$U = V = 0.6$								
0	20	21.21	21.19	21.22	33.01	32.99	33.02	49.98	49.94	49.98
100	0	41.09	41.15	41.09	48.25	48.30	48.25	61.12	61.15	61.13
20	50	28.29	28.26	28.29	37.95	37.92	37.95	53.36	53.37	53.37
50	20	33.15	33.18	33.16	41.70	41.71	41.71	56.10	56.09	56.10
100	20	41.81	41.87	41.82	48.87	48.91	48.87	61.61	61.63	61.62

Table 2 Fundamental Frequency Coefficients $\omega_{11} \sqrt{\rho h/D} a^2$ for a Rectangular Plate(Clamped) (II : Ref. (4)), III : Eq. (11))

		$\lambda = 1$		$\lambda = 1.5$		$\lambda = 2.0$	
K_1	K_2	U = V = 0.2					
		II	III	II	III	II	III
0	20	39.32	39.32	62.87	62.87	99.85	99.83
100	0	40.55	40.55	63.55	63.65	100.34	100.32
20	50	44.62	44.62	66.32	66.31	102.05	102.04
50	20	41.48	41.47	64.25	64.24	100.72	100.70
100	20	43.53	43.52	65.59	65.58	101.58	101.56
K_1	K_2	U = V = 0.4					
0	20	37.54	37.54	61.78	61.77	99.16	99.15
100	0	48.22	48.22	68.80	68.79	103.68	103.66
20	50	42.27	42.27	64.76	64.75	101.04	101.03
50	20	43.87	43.87	65.82	65.81	101.73	101.71
100	20	49.39	49.39	69.62	69.61	104.23	104.21
K_1	K_2	U = V = 0.6					
0	20	36.33	36.33	61.05	61.05	98.71	98.69
100	0	52.66	52.65	71.97	71.97	105.81	105.80
20	50	40.65	40.65	63.72	63.71	100.38	100.36
50	20	45.37	45.37	66.83	66.82	102.38	102.37
100	20	52.89	52.89	72.14	72.14	105.93	105.91

Table 3 Fundamental Frequency Coefficients $\omega_{11} \sqrt{(\rho h/D)} a^2$ for a Rectangular Plate ($\lambda = 1.0$) (I : Ref. (4), II : Eq. (11))

		$\Phi_1 = \Phi_2$ $\Phi_3 = \Phi_4$				
		0.1	1	10	∞	
K_1	K_2	U = V = 0.2				
0	20	37.20	34.15	33.29	33.18	I
		37.20	34.15	33.29	33.18	II
100	0	38.17	34.68	33.68	33.55	I
		38.17	34.68	33.68	33.55	II
20	50	42.79	40.20	39.49	39.39	I
		42.79	40.21	39.49	39.40	II
50	20	39.34	36.26	35.39	35.27	I
		39.34	36.26	35.39	35.28	II
K_1	K_2	U = V = 0.4				
0	20	35.38	32.27	31.40	31.28	I
		35.38	32.27	31.40	31.28	II
100	0	46.01	42.73	41.79	41.67	I
		46.00	42.73	41.79	41.67	II
20	50	40.41	37.81	37.09	37.00	I
		40.41	37.81	37.09	37.00	II
50	20	41.78	38.75	37.89	37.78	I
		41.78	38.75	37.90	37.78	II
K_1	K_2	U = V = 0.6				
0	20	34.05	30.74	29.81	29.68	I
		34.05	30.74	29.81	29.69	II
100	20	50.78	48.03	47.25	47.15	I
		50.78	48.04	47.25	47.15	II
20	50	38.66	35.85	35.07	34.97	I
		38.66	35.85	35.07	34.97	II
50	20	43.40	40.57	39.77	39.67	I
		43.41	40.57	39.77	39.67	II

Table 4 Fundamental Frequency Coefficients $\omega_{11} \sqrt{\rho h / D} a^2$ for a Rectangular Plate

		$\phi_1 = \phi_3 = \phi_4 = \infty \quad \phi_2 = 0$		
		$\lambda = 1$	$\lambda = 1.5$	$\lambda = 2.0$
K_1	K_2	$U = V = 0.2$		
0	20	28.84	38.84	54.48
100	0	28.40	38.51	54.25
20	50	35.87	44.31	58.51
50	20	30.89	40.39	55.60
100	20	32.82	41.88	56.69
K_1	K_2	$U = V = 0.4$		
0	20	26.83	37.37	53.45
100	0	36.94	45.18	59.17
20	50	33.46	42.38	57.06
50	20	33.50	42.41	57.08
100	20	39.04	46.91	60.50
K_1	K_2	$U = V = 0.6$		
0	20	24.86	35.98	52.48
100	0	43.30	50.52	63.34
20	50	31.09	40.54	55.70
50	20	35.71	44.18	58.41
100	20	43.96	51.08	63.79



★會員加入案内★

本學會 入會를 원하시는 분은 學會所定樣式의 入會願과 우편대체 납입료를 이용하셔서 所定의 年會費를 學會 事務局으로 送付하시면 理事會의 議決을 거쳐 定式入會를 通告해 드립니다. 詳細한 것은 電話로 問議하여 주십시오.

韓國海洋工學會

釜山市 沙下區 下端洞 840 東亞大學校 工科大學 內

電話：(051) 205-2325