한국공작기계학회 '98년도 춘계학술대회 논문집 pp. 214~219

ㄷ자형 개방형 단면보에 의해 보강된 등방성 평판의 음압레벨에 관한 연구

김택현(조선대학교 기계공학부), 박상기(조선대학교 대학원)

A Study on Sound Pressure Level from Isotropic Plates Stiffened by Opened Beams of ㄷ-Type

Taek-Hyun Kim, Sang-Gee Park

Abstract

The determination of sound pressure radiated from periodic plate structures is fundamental in the estimation of noise levels in aircraft fuselages and ship hull structures. As a robust approach to this problem, here a very general and comprehensive analytical model for predicting the sound radiated by a vibrating plate stiffened by periodically spaced orthogonal symmetric beams subjected to a sinusoidally time varying point load is developed. The plate is assumed to be infinite in extent, and the beams are considered to exert both line force and moment reactions on it. Structural damping is included in both plate and beam materials. From this theoretical model, the sound pressure levels on axis in a semi-infinite fluid (water) bounded by the plate with the variation in the loactions of an external time harmonic point force on the plate can be calculated efficiently using three numerical tools such as the Gauss-Jordan method, the LU decomposition method and the IMSL numerical package.

1. 서 론

일반적으로 항공기나 선박에 사용되는 판구조물은 일정한 간격의 보에 의해 보강된 주기 구조물의 형태를 취하고 있다. 이러한 주기 구조물은 종속적인 압력 변동이나 동적인 힘에 의한 진동을 하게 된다. 예를 들어 비행기 동체에 붙은 날개(wing)에 의해 생긴 힘은 결국 날개에 대한 자중이므로 정적인 집중하중으로 모델링 할 수 있지만 동체 주위의 불규칙한 음압변화와 엔진 작동의 불평형 요인으로 인한 진동은 광범위한 주파수 형태로 나타나며, 결국 구조물 부재의 피로현상 및 객실 내 소음의 요인이 되기도 한다. 진동에 관한 연구는 기원전부터 오늘에 이르기까지 많은 과학자에 의해 수행되어 왔다.

본 연구에서는 실제 구조물에 흔히 사용되고 있는 ㄷ자형 개방형 단면보에 의해 보강된 평판의 음향방사에 대한 알고리즘을 개발해서 제시된 문제에 적용함으로써 이에 대한 응답특성을 고찰하려고 한다. 해석과정에서는 단위격자 사이의 판요소 즉, 한 개의 배이(bay)에 대한 음향방사 거동을 먼저 해석한 다음, 전체 판구조물에 대한 연성해를 구하면 편리하다. 평판을 지지하고 있는 보의 간격은 0.2m, 0.3m, 0.4m의 세 가지를 임의로 선택하였으며, 보와 평판의 재질은 알루미늄으로서 물 속에 놓여있다. 그리고 배이 하중점을 x축과 y축 방향으로 대각선과 역대각선 방향으로 이동시키면서 주파수 100 ~ 10,000Hz에 대한 음압레벨(sound pressure level, SPL)의 특성을 파악하려고 한다.

2. 판과 보의 운동방정식

2.1 평판의 운동방정식

Fig.1과 같이 평판에 직교 좌표계를 설정하고 Kirchhoff의 가정을 따르면 다음과 같은 운동방정식으로 쓸 수 있다.

$$D\nabla^4 w + m_p \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} = P_z(x, y, t) \tag{1}$$

윗 식에서 $P_z(x,y,t)$는 평판의 단위면적당 측면하중이고, 식 중에서 전단변형과 회전관성의 영향은 무시한다. 판의 횡변위 $w(x,y,t)$와 측면하중$P_z(x,y,t)$를 조화함수로 나타내면 다음과 같다.

$$w(x, y, t) = w(x, y)\exp(i\omega t)$$

$$P_z(x, y, t) = P_e(x, y)\exp(i\omega t)$$

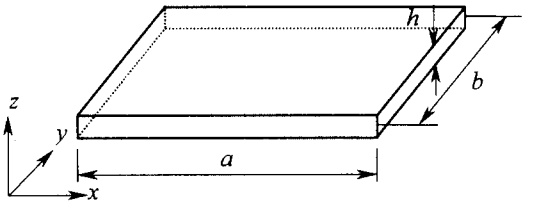


Fig.1 Coordinate system for the rectangular plate

위의 관계를 식(1)에 대입하면 다음과 같다.

$$D\nabla^4 w(x,y) - m_p\omega^2 w(x,y) = P_e(x,y) \qquad (2)$$

2.2 보의 운동방정식

사용된 보는 Fig.2(a)와 Fig.3(a)과 같이 굽힘진동과 x축에 대한 비틀림진동을 한다. 또한 Fig.2(b)와 Fig.3(b)와 같이 선 힘 $F(x,t)$와 $H(x,t)$를 받으며, 이 힘은 점S를 통과하는 것으로 가정한다. 점S에 대한 선 모멘트는 $M(x,t)$이고, 단위 길이당으로 측정된다. 점O는 전단 중심이고, 점S는 점O 아래 단면상의 한 점이며, 점C는 도심이다. Fig.2(c)와 Fig.3(c)는 보의 회전변위와 병진변위를 나타낸 것이다. 이 경우에 대한 굽힘과 비틀림 운동방정식을 유도하기로 한다. z축과 y축방향에 대한 점S의 변위는 각각 $w(x,y,t)$와 $v(x,y,t)$이고, 미소한 변위라고 가정하면 $v \cong 0$이다. z축과 y축방향에 대한 전단중심 O의 변위는 각각 $w_0(x,y,t)$와 $v_0(x,y,t)$이고, 도심의 변위는 $w_c(x,y,t)$와 $v_c(x,y,t)$이다. 기하학적인 미소 회전변위는 $\phi(x,y,t)$이며, 미소하므로 다음과

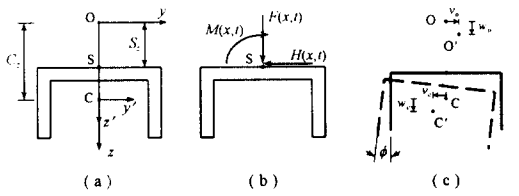


Fig.2 Cross sections of the symmetric beam

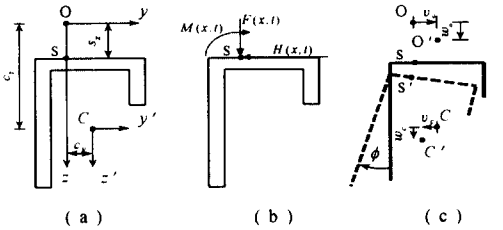


Fig.3 Cross sections of the unsymmetric beam

같다.

$$w_c = w\ ,\quad v_c = -(C_z - S_z)\phi$$

$$v_0 = S_z\phi\ ,\quad w_0 \cong w \qquad (3)$$

점O에 대한 보의 비틀림 운동방정식은 다음의 식(4)와 같다.

$$EC_{w_s}\frac{\partial^4\phi}{\partial x^4} - GJ\frac{\partial^2\phi}{\partial x^2} = -I_c\frac{\partial^2\phi}{\partial t^2} + HS_z + m_bC_z\frac{\partial^2 v_c}{\partial t^2} + M \qquad (4)$$

식(4)에서 관성력은 도심C를 통과하므로, 좌변의 2차와 4차항은 점O에 대한 관성모멘트항이다. 또한 y축과 z축에 대한 굽힘 운동방정식은 각각 다음과 같다.

$$EI_{y'}\frac{\partial^4 w_0}{\partial x^4} + EI_{y'z}\frac{\partial^4 v_0}{\partial x^4} = -m_b\frac{\partial^2 w_c}{\partial t^2} + F \qquad (5)$$

$$EI_{z'}\frac{\partial^4 v_0}{\partial x^4} + EI_{y'z}\frac{\partial^4 w_0}{\partial x^4} = -m_b\frac{\partial^2 v_c}{\partial t^2} - H \qquad (6)$$

식(6)을 식(4)에 대입하면 선 힘 $H(x,t)$는 소거된다. 식(3)을 고려하면, 식(4)와 식(5)는 다음과 같이 변형된다.

$$EC_{w_s}\frac{\partial^4\phi}{\partial x^4} - GJ\frac{\partial^2\phi}{\partial x^2} - \rho I_S\omega^2\phi + EI_{y'z}S_z\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} = M \qquad (7)$$

$$EI_{y'}\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} - m_b\omega^2 w + EI_{y'z}S_z\frac{\partial^4\phi}{\partial x^4} - m_b\omega^2 S_y\phi = F \qquad (8)$$

여기서, $\phi(x,t) = \phi(x)\exp(i\omega t)$이고, 점S에서의 비틀림상수는 $C_{w_s} = C_w + S_z^2 I_z$이며, 점S에 대한 대칭인 경우의 극관성모멘트는 $I_s = I_c + A(S_z)^2$이며, 비대칭인 경우의 극관성 모멘트는 $I_s = I_c A[C_y^2 + (c_z - s_z)^2]$이다. 따라서 식(7)과 식(8)은 Fig.2와 같은 ㄷ자형 개방형 단면보에 대한 연성 운동방정식이 된다.

3. 해 석

3.1 해석모델과 하중조건

Fig.4는 등간격 ㄷ자형 개방형 단면보에 지지된 판구조물의 일부분을 그린 것이다. 보와 보사이의 x축과 y축방향으로 거리는 각각 a와 b이다. 또한 평판은 x축과 y축방향으로 무한히 펼쳐져 있다고 가정한다.

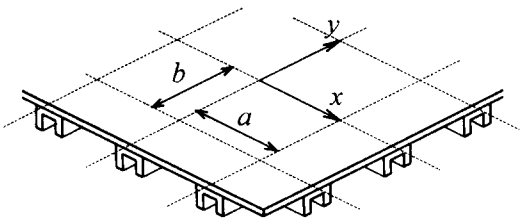


Fig.4 The structure of the isotropic plate stiffened by the rectangular grid network

보의 재질은 알루미늄으로서 등간격으로 배열하였고, 그 위에 알루미늄판을 부착하였다. 여기서, 평판의 강성, 단위면적당 질량 및 감쇠계수는 각각 D=2326.0N/m, m_p=39.1kg/m^2 그리고 η=0.02이다. 보의 밀도, Young계수, 횡탄성계수 그리고 감쇠계수는 각각 7700.0kg/m^3, 1.95×10^{11}N/m^2, 8.1×10^{10}N/m^2 그리고 0.02이다. 매체는 물로서 밀도는 1000.0kg/m^{3}이고, 수중에서 소리의 속도는 1500.0m/s 이다. 보와 보사이의 간격은 x와 y방향으로 0.2 즉, L_x=L_y=0.2m이고, 주기적인 간격을 갖는다. 이와 같은 판 구조물은 표면위에 대류하는 평면파 하중을 받게 된다. 따라서 이때 작용된 평면파 하중은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$P(x,y,t)=P_0\exp[i(\omega t-\alpha_0 x-\beta_0 y)] \tag{9}$$

여기서, α_0와 β_0는 x, y축 방향의 대류파수(convection wave number)이다. 식(9)는 일반적인 조화 현상을 중첩시킨 식으로서 매우 유용하다. 그리고 방사하중은 공기와 같이 매질의 밀도가 낮을 경우, 큰 오차가 없으므로 무시할 수 있다. 그러나 물 속에서 금속판이 진동하는 경우처럼 유체의 밀도가 구조물의 운동에 영향을 줄 정도로 크게 되면 구조물의 탄성력이나 관성력과 함께 더 이상 무시할 수 없다.

3.2 정식화

3.2.1 판 구조물의 운동방정식

평판의 운동방정식을 세우기 위하여 평판의 x=ma인 곳에서 발생되는 선 힘 $F_m(y)$과 선 모멘트 $M_m(y)$을 나타내면 다음과 같다.

$$F_m(y)=F_0(y)\exp(-i\alpha_0 am) \tag{10}$$

$$M_m(y)=M_0(y)\exp(-i\alpha_0 am) \tag{11}$$

여기서, $F_0(y)$와 $M_0(y)$는 x=0인 선 힘과 선 모멘트이고, 다음과 같은 공간조화급수의 형태로 표현된다.

$$F_0(y)=\sum_s F_s\exp[-i(\beta_0+2\pi s/b)y] \tag{12}$$

$$M_0(y)=\sum_s M_s\exp[-i(\beta_0+2\pi s/b)y] \tag{13}$$

또한, y=nb인 선 힘과 선 모멘트는 다음과 같다.

$$G_n(x)=G_0(x)\exp(-i\beta_0 nb) \tag{14}$$

$$N_n(x)=N_0(x)\exp(-i\beta_0 nb) \tag{15}$$

그리고,

$$G_0(x)=\sum_r G_r\exp[-i(\alpha_0+2\pi r/a)x] \tag{16}$$

$$N_0(x)=\sum_r N_r\exp[-i(\alpha_0+2\pi r/a)x] \tag{17}$$

따라서 판구조물의 운동방정식은 다음의 식(18)과 같이 쓸 수 있다.

$$\begin{aligned}[D\nabla^4-m_p\omega^2]w=&P_0\exp[-i\alpha_0 x-i\beta_0 y]-P_f\\&-\sum_m F_m(y)\,\delta(x-ma)+\sum_m M_m(y)\frac{d[\delta(x-ma)]}{dx}\\&-\sum_n G_n(x)\,\delta(y-nb)+\sum_n N_n(x)\frac{d[\delta(y-nb)]}{dy}\end{aligned} \tag{18}$$

x=0인 곳의 변환식은 다음과 같다 여기서, w와 ϕ는 각각 변위와 기울기를 나타낸다.

$$\begin{aligned}&K_R(\beta)\overline{\phi}(0,\beta)+K_{TR}(\beta)\overline{w}*(0,\beta)\\&\quad=2\pi\sum_s M_s\delta(\beta-\beta_{0s})\end{aligned} \tag{19}$$

$$\begin{aligned}&K_T(\beta)\overline{w}*(0,\beta)+K_{TR}(\beta)\overline{\phi}(0,\beta)\\&\quad=2\pi\sum_s F_s\delta(\beta-\beta_{0s})\end{aligned} \tag{20}$$

여기서,

$$K_T(\beta)=(EI_{y'})_y\beta^4-(m_b)_y\omega^2 \tag{21a}$$

$$K_R(\beta)=(EC_{ws})_y\beta^4+(GJ)_y\beta^2-(\rho_b I_s)_y\omega^2 \tag{21b}$$

$$K_{TR}(\beta)=(EI_{y'z'}S_z)_y\beta^4 \tag{21c}$$

식(21a), (21b)와 (21c)는 보의 병진운동, 회전운동 및 이들의 연성운동에 대한 각각의 동적강성이다. 윗 식(19)와 식(20)에 대입한 후 정리하면 다음의 식(22)와 식(23)으로 된다.

$$\begin{aligned}&\left[\frac{1}{K_{Ts}}+\frac{1}{a}\sum_m S_{ms}-\frac{i}{a}R_{Ts}\sum_m \alpha_{0m}S_{ms}\right]F_s\\&\quad+\left[\frac{1}{b}\sum_j G_j S_{js}-\frac{i}{b}R_{Ts}\sum_j \alpha_{0j}G_j S_{js}\right]\\&\quad+\left[\frac{i}{a}\sum_m \alpha_{0m}S_{ms}+\frac{1}{a}R_{Ts}\sum_m(\alpha_{0m}^2)S_{ms}\right]M_s\\&\quad+\left[\frac{i}{b}\sum_j \beta_{0s}N_j S_{js}+\frac{1}{b}\sum_j \beta_{0s}\alpha_{0j}N_j S_{js}\right]R_{Ts}\\&\quad=P_0 S_{00}\delta_{0s}-i\alpha_0 P_0 S_{00}R_{Ts}\delta_{0s}\end{aligned} \tag{22}$$

$$\left[-\frac{i}{a}\sum_m \alpha_{om}S_{ms}+\frac{1}{a}R_{Rs}\sum_m S_{ms}\right]F_s$$

$$+\left[-\frac{i}{b}\sum_j \alpha_{0j}G_jS_{js}+\frac{1}{b}R_{Rs}\sum_j G_jS_{js}\right]$$

$$+\left[\frac{1}{K_{Rs}}+\frac{1}{a}\sum_m(\alpha_{0m})^2S_{ms}+\frac{i}{a}R_{Rs}\sum_m \alpha_{0m}S_{ms}\right]M_s$$

$$+\left[\frac{1}{b}\sum_j \beta_{0s}\alpha_{0j}N_jS_{js}+\frac{i}{b}R_{Rs}\sum_j \beta_{0s}N_jS_{js}\right]$$

$$=-i\alpha_0P_0S_{00}\delta_{0s}+P_0S_{00}R_{Rs}\delta_{0s} \qquad (23)$$

식(22)와 식(23)에서 $s=0,\pm1,\pm2\cdots$이고,

$K_{Ts}=K_T(\beta_{0s})$, $K_{Rs}=K_R(\beta_{0s})$, $K_{TRs}=K_{TR}(\beta_{0s})$,

$R_{Ts}=K_{TRs}/K_{Ts}$, $R_{Rs}=K_{TRs}/K_{Rs}$ 이다.

y=0인 지점을 선택하여 보의 동적강성을 정의하면 다음과 같다.

$$Q_T(\alpha)=(EI_{y'})_x\alpha^4-(m_b)_x\omega^2 \qquad (24a)$$

$$Q_R(\alpha)=(EC_{ws})_x\alpha^4+(GJ)_x\alpha^2-(\rho_bI_s)_x\omega^2 \qquad (24b)$$

$$Q_{TR}(\alpha)=(EI_{y'z'}S_z)_x\alpha^4 \qquad (24c)$$

식(24a)~식(24c)의 관계를 식(19)와 식(20)에 대입하면 다음의 두 식이 얻어진다.

$$\left[\frac{1}{a}\sum_s F_sS_{ms}-\frac{i}{a}J_{Tm}\sum_s \beta_{0s}F_sS_{ms}\right]$$

$$+\left[\frac{1}{Q_{Tm}}+\frac{1}{b}\sum_s S_{ms}-\frac{i}{b}J_{Tm}\sum_s \beta_{0s}S_{ms}\right]G_m$$

$$+\left[\frac{i}{a}\sum_s \alpha_{0m}M_sS_{ms}+\frac{1}{a}J_{Tm}\sum_s \alpha_{0m}\beta_{0s}M_sS_{ms}\right]$$

$$+\left[\frac{i}{b}\sum_s \beta_{0s}S_{ms}+\frac{1}{b}J_{Tm}\sum_s(\beta_{0s})^2S_{ms}\right]N_m$$

$$=P_0S_{00}\delta_{0m}-i\beta_0J_{Tm}S_{00}\delta_{0m} \qquad (25)$$

또한,

$$\left[-\frac{i}{a}\sum_s \beta_{0s}S_{ms}F_s+\frac{1}{a}J_{Rm}\sum_s F_sS_{ms}\right]$$

$$+\left[-\frac{i}{b}\sum_s \beta_{0s}S_{ms}+\frac{1}{b}J_{Rm}\sum_s S_{ms}\right]G_m$$

$$+\left[\frac{1}{a}\sum_s \alpha_{0m}\beta_{0s}M_sS_{ms}+\frac{i}{a}J_{Rm}\sum_s \alpha_{0m}M_sS_{ms}\right]$$

$$+\left[\frac{1}{Q_{Tm}}+\frac{1}{b}\sum_s(\beta_{0s})^2S_{ms}+\frac{i}{b}J_{Rm}\sum_s \beta_{0s}S_{ms}\right]N_m$$

$$=-i\beta_0P_0S_{00}\delta_{0m}+P_0S_{00}J_{Rm}\delta_{0m} \qquad (26)$$

식(25)와 식(26)에서 $m=0,\pm1,\pm2\cdots$이고

$Q_{Tm}=Q_T(\alpha_{0m})$, $Q_{Rm}=Q_R(\alpha_{0m})$

$Q_{TRm}=Q_{TR}(\alpha_{0m})$,

$J_{Tm}=Q_{TRm}/Q_{Tm}$, $J_{Rm}=Q_{TRm}/Q_{Rm}$ 이다.

식(22)와 식(23), 식(25)와 식(26)은 계수 F_s, M_s, G_m, N_m을 구할 수 있는 무한 선형 연립방정식(infinite linear simultaneous equations)이다. 이들 식은 주어진 조건에서 $s=\pm$k, $m=\pm$k번째에서 잘려지고 미지의 계수와 같은 4(2k+1)개의 식으로 정리된다. k는 오차가 작도록 충분히 크게 잡고, 일단 계수값이 계산되면 방사압력이 구해진다.

3.2.2 판 구조물의 변환응답

보강재에 고정된 등방성평판의 변위를 나타내면 다음과 같다.

$$w(x,y)=\sum_m\sum_n w_{mn}\exp[-i\alpha_{0m}x-i\beta_{0n}y] \qquad (27)$$

여기서, 조화변위계수 w_{mn}은 다음과 같다.

$$w_{mn}=\left(\frac{1}{ab}\right)\int_0^a\int_0^b w(x,y)$$

$$\exp[i\alpha_{0m}x+i\beta_{0n}y]dxdy \qquad (28)$$

결국, 판의 변위는 다음과 같이 정리된다.

$$w(x,y)=P_0T_{00}-\frac{1}{a}\sum_m\sum_n T_{mn}F_n-\frac{1}{b}\sum_r\sum_t T_{rt}G_r$$

$$-\frac{i}{a}\sum_m\sum_n \alpha_{0m}T_{mn}M_n-\frac{i}{b}\sum_r\sum_t \beta_{0t}T_{rt}N_r \qquad (29)$$

여기서, $T_{mn}=S_{mn}\exp[-i(\alpha_{0m}x+\beta_{0n}y)]$ 이다.

또한 식(28)을 식(29)에 대입하면 모든 지수의 항은 소거되고, 변위계수와 힘과 모멘트계수 사이의 올바른 관계가 주어지면 적분은 쉽게 행해진다.

$$w_{mn}=P_0S_{00}\delta_{0m}\delta_{0n}$$

$$-S_{mn}\left[\frac{F_n}{a}+i\alpha_{0n}\frac{M_n}{a}+\frac{G_m}{b}+i\beta_{0m}\frac{N_m}{b}\right] \qquad (30)$$

식(27)과 식(28)을 역순으로 대입해서 정리하면 결국, 판 구조물의 변환변위식이 얻어진다.

$$\overline{w}(\alpha,\beta)=4\pi^2\sum_m\sum_n w_{mn}(\alpha_0,\beta_0)$$

$$\delta(\alpha-\alpha_{0m})\delta(\beta-\beta_{0n}) \qquad (31)$$

여기서, $w_{mn}(\alpha_0,\beta_0)$는 식(30)에서 구할 수 있고, w_{mn}은 α_0와 β_0에 의존하며 식(31)을 다시 쓰면 다음과 같다.

$$\overline{w}(\alpha,\beta)=4\pi^2\sum_m\sum_n u_{mn}$$

$$\delta(\alpha-\alpha_{0m})\delta(\beta-\beta_{0n})P_0(\alpha_0,\beta_0) \qquad (32)$$

여기서, U_{mn}은 식(22)와 식(23), 식(25)와 식(26)에서 $P_0=1$인 경우, 즉 단위진폭에 상응하는 변위 조화계수이다.

3.2.3 원거리장(far field)의 방사압력

일반적으로 원거리장의 방사압력은 고정위상법(stationary-phase method)에 의해 다음과 같이 표현된다.

$$P(R,\theta,\phi) = -\frac{\rho_f \omega^2}{2\pi R} e^{-ikR} \overline{w}(\alpha',\beta') \qquad (33)$$

여기서, α' 와 β' 은 x, y축 방향의 변환대류파수로서 즉, $\alpha' = k\sin\theta\cos\phi$, $\beta' = k\sin\phi\sin\theta$ 이다.

$x = x_0$, $y = y_0$인 곳에 작용한 점조화하중은,

$$\overline{F}(\alpha,\beta) = F_0 \exp(-i\alpha x_0 - i\beta y_0)$$

원거리장 방사압력을 데시벨 값으로 나타내기 위해서는 기준압력이 필요하다. 기준압력은 고정되지 않는 평판이 고주파의 점근음압(asymptotic sound pressure)을 받는 경우로서, 판의 변환변위는 다음과 같다.

$$\overline{w_r}(\alpha,\beta) = \frac{F_0}{\left[D(\alpha^2+\beta^2)^2 - m_p\omega^2 - \frac{i\rho_f\omega^2}{(k^2-\alpha^2-\beta^2)^{1/2}}\right]}$$

θ =0인 축 위의 방사압력은 다음과 같다.

$$P_r(R,0,0) = -\frac{\rho_f\omega^2}{2\pi R} e^{-ikR} \frac{F_0}{\left(-m_p\omega^2 - \frac{i\rho_f\omega^2}{k}\right)}$$

$k = \omega/c$이고, $\omega \to \infty$일때

$$P_r(R,0,0) = +\rho_f F_0 \frac{e^{-ikR}}{2\pi R m_p}$$

따라서 축 위의 방사압력은 식(33)에서 $\alpha' = \beta' = 0$으로 놓음으로써 구해지고, 음압레벨(Sound Pressure Level, SPL)은 다음과 같은 상용대수비로 표현된다.

$$SPL = 20\log_{10}\left|\left[\frac{P(R,0,0)}{P_r(R,0,0)}\right]\right|$$

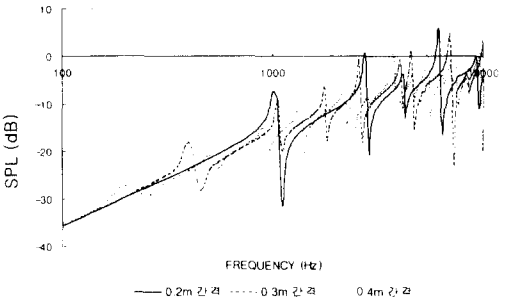
따라서 $x = x_0$, $y = y_0$인 곳에 점하중이 작용하므로 윗 식은 다음의 식으로 정리된다.

$$SPL = 20\log_{10}\left|-m_p\omega^2\sum_m\sum_n u_{mn} \exp\left[-i\left(\frac{2\pi x_0}{a} + \frac{2\pi y_0}{b}\right)\right]\right| \qquad (34)$$

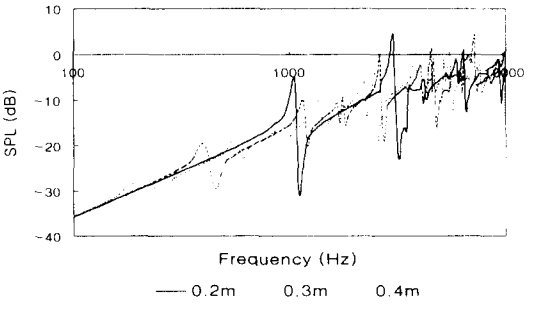
4. 결과 및 고찰

Fig.5는 판구조물에 하중점이 (0,0)인 경우, 보의 간격이 넓어질수록 음압레벨의 첫 번째 피크는 낮은 주파수에서 발생하지만 피크의 크기는 작아지는 경향을 보였으며, 음압레벨이 빈번하게 변동함을 알 수 있었다.

Fig.6~Fig.8은 점조화 하중을 대각선 방향으로 이동하면서 배이의 거리 변화에 따른 주파수함수와 음압레벨의 관계를 나타낸 것이다. 이때 대각선 방향과 역대각선 방향으로 이동했을 경우 두 가지 음향거동이 같게 나타난 것은 x축과 y축의 보강재 형상이 같고, 등 간격(L_x=L_y)으로 배열된 주기구조이기 때문이라고 생각한다. 이들 그림에서 배이의 간격과 하중점의 이동선을 한정시켜놓고 알고자하는 주파수에서 거리와 음압레벨의 관계를 조사할 수 있고, 배이의 위치에 따라 주파수와 음압레벨의 관계를 조사할 수 있어서 매우 편리하게 파악할 수 있다.

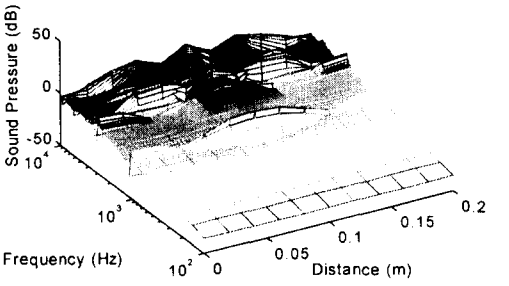


(a) Symmetric Structure

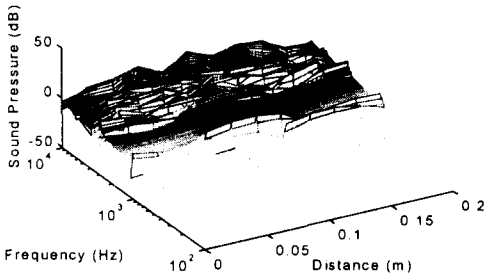


(b) Unsymmetric Structure

Fig.5 SPL vs. Frequency in case of bay spacing 0.2m, 0.3m and 0.4m at the loading point(0,0)



(a) Symmetric Structure



(b) Unsymmetric Structure

Fig.6 SPL vs. Frequency with the variation in the distance along the diagonal line (0.2m)

배이의 한 가운데에 하중이 작용할 때 피크가 가장 높고, 격자의 교차점에서 가장 낮음을 알 수 있었다. 또한 동일조건의 하중이 작용할 경우 최소편향은 격자의 교차점에서 발생함을 알 수 있었다. 그리고 하중점을 배이의 중심으로 이동시킴에 따라 피크값은 점차 증가하였다.

5. 결 론

본 연구에서는 ㄷ자형 개방형 단면보에 의해 보강된 얇은 등방성 평판위에 점조화 하중을 가했을 경우, 음향방사로 인한 음압레벨의 특성을 수치해석한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 본 연구에서는 여러 형태의 해석모델과 하중점의 위치 등을 파라미터로 한 알고리즘을 개발하여, 판구조물의 음향방사에 관한 음압레벨의 거동을 파악할 수 있는 수치해석 프로그램을 개발하였다.
2. 높은 주파수와 배이의 면적이 넓을수록 굴곡이 심한 모우드가 발생하였고, 비대칭 보강재인 경우에는 모우드 형상이 한쪽으로 편향되어 나타났다.

참 고 문 헌

(1) Mead, D. J., "Free Wave Propagation in Periodically Supported by Infinite Beams", J. Sound & Vib., Vol.11, No.2, pp.181～197, 1970.

(2) Rumerman, M. L., "Vibration and Wave Propagation in Ribbed Plates", J. of Acoustics Soc. Am., Vol. 57, No. 2, pp. 370～373, 1974.

(3) Greenspon, J. E.,"Sound Radiation from and Orthotropic Plate Supported by a Double Set of Stiffeners", J. G. Engineering Research Associate, Baltimore, MD, Report No.0-75-1, 1975.

(4) Mace, B. R., "Periodically Stiffened Fluid-Loaded Plates(I)", J. Sound & Vib., Vol. 73, No.4, pp.473～486, 1980.

(5) Mace, B. R., "Sound Radiation form Fluid-Loaded Orthogonally Stiffened Plates," J. Sound & Vib., Vol. 79, No. 3, pp. 439～452, 1981.

(6) Hawwa, M. A. and Nayfeh, A. H., "Acoustic Radiation from Multi-Span Baffled Panels", J. of Applied Mechanics, Trans ASME, Vol.119, pp.80～84, 1997.

(7) Fuller, C. R., "Active Control of Sound Transmission/Radiation from Elastic Plates by Vibration Inputs I", J. Sound & Vib., Vol.136, No.1, pp.1～15, 1990.