

〈논 문〉

MSC/NASTRAN 및 PCL을 이용한 구조물 내의 진동 파워 흐름 해석 기법

A Technique for Calculations of Power Flow in Structures Using MSC/NASTRAN and PCL

홍진숙[†]

Hong Chin-Suk

(2001년 4월 21일 접수 : 2001년 7월 31일 심사완료)

Key Words : Power Flow(파워 흐름), PCL(PATRAN Command Language), Vibration Intensity, Mechanical Intensity(진동에너지 강도), Structure-borne Noise(구조전달소음), FEM(유한요소법), PPFEM(파워 흐름 유한요소법)

ABSTRACT

The identification of power flow in dynamically loaded structures is essential in the analysis of structure-borne noise. However, there are no general purpose tools to estimate power flow. To make matters worse, it is very difficult to measure it. The power flow can be formulated in terms of balance forces(ELFORCE) at each element and velocities at the associated nodes obtained with MSC/NASTRAN. In this paper, the procedure which is consist of the computations of the balance forces of all elements and the velocities at all nodes using MSC/NASTRAN, the calculations of the power flow at each element using PCL(PATRAN Command Language) and the preparation of post-processes is set up.

1. 서론

구조전달소음(structure-borne noise)은 동적하중을 받는 구조물을 통해 전달되는 진동에너지의 형태이다. 이 에너지는 주위의 음향 매질로 전달되어 방사소음(radiated noise)화 된다. 항공기의 경우 엔진의 진동에 의해 동체를 따라 전달된 구조전달 소음이 객실로 전달되어 승객의 안락도에 영향을 미친다. 건축물이나 선박의 경우도 마찬가지이고, 특히 함정의 경우는 선체 외부로 방사되는 소음은 군사적으로 탐지 피탐지

측면에서 매우 중요한 의미를 가진다. 소음의 예측 및 감소 설계를 위해 수행되는 구조물의 동적 해석은 주파수 또는 시간별 변위, 속도 및 가속도 그리고 응력 등 대단히 많은 자료를 제공한다. 하지만 소음의 전달특성과 감소설계의 성능을 가장 적절히 표시할 수 있는 방법은 파워 흐름(power flow)을 아는 것이다. 소음의 발생원(source)을 파악할 수 있고 구조물의 임의 위치에서 에너지의 크기와 흐름의 방향을 파악하여 주된 에너지 경로(path)를 알 수 있으므로 효과적인 감소설계가 가능해진다. 또한 적용된 감소대책의 적절성 파악과 성능을 정량화 할 수도 있다.

파워 흐름은 구조물 내의 에너지 크기 분포를 나타내며 이를 각 위치별로 단위 면적당 크기와 방향으로 나타낸 것이 진동에너지 강도(vibrational intensity, mechanical intensity)이다. 에너지 흐름이 존재하기

[†] 책임저자, 정회원, 국방과학연구소
E-mail : cshong@add.re.kr
Tel : (055) 540-6152, Fax : (055) 542-3737

위해서는 에너지 공급원 또는 발생원과 소멸기구가 존재해야 한다.

구조물 내의 파워 흐름을 해석하는 방법은 실측을 기반으로 하는 실험적 방법, 통계적 에너지 방법, 유한요소법 및 열전도 방정식의 상사를 이용하는 파워 흐름 유한요소법 등 주로 4종류의 방법으로 구분되어진다. 이들 방법 중 실험적 방법은 일반적으로 흔히 사용하는 방법이라 할 수 있다. 한 지점에 여러 개의 센서를 설치하여 그 지점의 파워흐름을 계측하는 방법으로서 각 센서의 위상특성과 센서 부착에 의한 강성 및 관성의 변화에 의한 오차를 고려해야 하며 측정된 신호를 적절히 처리하여 정도를 높히도록 노력해야 한다.⁽¹⁾ 이 방법은 음향강도(acoustic intensity) 측정시 두 개 또는 4개의 청음기를 이용하는 것과 같은 개념이다.^(2, 3)

통계적 에너지 방법은 고주파 영역의 에너지 흐름을 해석하기 위한 수치적인 방법으로서 대형구조물을 여러 부 구조물(sub-system)로 나누어 각 부 구조물에 대한 모드밀도(modal density)를 추정하여 관심주파수 대역에서의 모드 수를 구하고 또 각 부 구조물의 내부손실계수(internal loss factor)와 부 구조물간의 결합 상태에서 발생하는 연성손실계수(coupling loss factor)로부터 에너지 감쇠를 고려하여 구조물의 에너지 분포, 파워 흐름 및 파워 소실(power dissipation)을 해석한다. 통계적 에너지 방법은 고주파 대역에서 구조물의 평균응답을 구하는데는 효과적이거나 각 부 구조물에서 공간적 에너지 분포는 구할 수 없다.⁽²⁾

최근 들어 에너지 방정식과 열전달 방정식의 상사(analogy)를 이용하여 에너지방정식의 유한요소화가 가능해졌다.^(4, 5) 이 방법을 파워흐름 유한요소법(PFFEM)이라 하며 이 방법을 이용하면 구조물을 통한 에너지 전파 경로를 자세히 규명할 수 있다. 그런데 이 방법은 유한요소법을 도입하고 있으므로 관심주파수 대역에서 구조물 내의 에너지 흐름의 거동을 정확히 표현할 수 있는 요소 수가 요구된다. 따라서 계산 가능 주파수에 한계가 존재하게 되며 일반적으로 파워흐름 유한요소법의 계산가능 주파수는 유한요소법의 계산가능 주파수 보다 높고 통계적 에너지 기법의 계산 가능 주파수 대역 보다 낮은 중주파수 대역이다. 그러나 파워흐름 유한요소법은 아직 범용화 되지 않아 공학 분야에서 적용하는데 어려움이 많다.⁽⁶⁾

본 논문에서는 파워흐름 유한요소법을 이용하지 않고 공학분야에서 구조해석용으로 널리 이용되고 있는 유한요소법(FEM)을 이용하여 얻은 구조 응답으로부터 파워흐름을 계산하는 기법을 제시한다. 이 방법 파워흐름 유한요소법이 아니라 일반 구조해석 유한요소법에서 얻은 결과를 후 처리하여 파워흐름을 계산하는 방법으로서 저주파 대역에서 유용하며 중 주파수대역까지도 실용적으로 사용이 가능하다. 또한 구조해석용 범용패키지와 전/후처리 프로그램(pre-post processor)의 발전으로 모델링 및 수정이 쉬워졌고 정교한 구조해석이 가능하며 해석결과의 분석이 용이해졌다. 현재까지 발표된 MSC/NASTRAN, IDEAS 및 ABQUS등과 같은 구조해석 프로그램은 파워흐름 결과를 제공하지 않는다. 그러나 이들은 구조물의 굽힘파(flexural wave), 인장파(logintudinal wave) 및 비틀림파(torsional wave) 등에 의한 각종 형태의 파워흐름을 계산하는데 필요한 요소 및 절점에서의 결과를 제공하고 있다.^(7, 8)

본 논문에서는 구조물에서의 입력 파워 및 출력파워와 보 요소 및 셀 요소에 대하여 각종 거동에 의해 표현되는 파워 흐름을 제시하고 범용 구조해석 프로그램인 MSC/NASTRAN과 PCL(PATRAN Command Language)을 이용한 파워 흐름을 계산하는 기법을 제시하였다. 또한 개발된 일련의 과정을 통하여 단순 평판에 대한 계산을 수행하여 계산 정도를 확인하였고, 육면체 구조물, 원통형 셀 및 2D solid모델을 예제로 선정하여 각각에 대한 계산 결과를 제시하였다.

2. 이론적 배경

구조물 내의 파워 흐름은 일반적으로 Fig. 1과 같은 전형적인 양상을 보인다. 스프링과 댐퍼로 지지된 구조물에 동적 하중이 가해지면 에너지 흐름이 가진 점에서 시작하여 구조물을 통해 지지점으로 전달된다. 그림에서 보이듯이 화살표 방향으로 여러 가지 경로를 통하여 다양한 기여도를 갖고 전달될 수 있다. Fig. 1은 1점의 에너지원과 1점의 소멸점으로 구성되어 있으나 각각이 여러 점에서 발생할 수도 있다.

다양한 경계조건과 하중상태를 받는 구조물의 거동은 범용 구조해석 프로그램인 MSC/NASTRAN을 이용하면 정교한 응답을 얻을 수 있다. 이 때 얻은 정상상태의 응답을 이용하여 파워 흐름을 계산 할 수 있다.

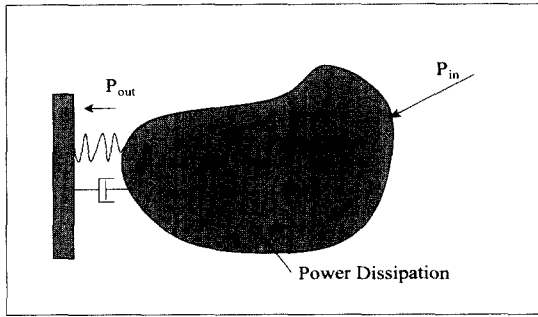


Fig. 1 Schematic diagram of power flow in structures

2.1 요소내의 파워 흐름⁽⁶⁾

파워 흐름이란 가해지는 힘과 그 힘의 방향으로 속도의 동 위상 성분을 곱한 시간 평균값(time averaged)으로 정의된다. 어떤 복소수에 다른 공액복소수를 곱하여 실수부를 택하면 동 위상의 성분을 얻게 되므로, 주파수 응답해석을 통해 얻은 어떤 방향의 힘과 같은 방향의 속도에 의한 파워 흐름은 식 (1)과 같이 주어진다.

$$P = \text{Real} [F v^*] \quad (1)$$

여기서 F 는 힘이고 v^* 는 속도의 공액 복소수이다. 진동에너지 강도는 단위 면적당 파워흐름으로 정의되며 이는 음향매질 내의 압력과 동 위상의 속도성분의 곱인 음향강도와 유사한 개념이다.

Fig. 2는 보 요소와 MSC/NASTRAN의 요소력(ELFORCE) 표시법을 보이고 있다. Fig. 2에서 plane 1은 수직면(xy면), plane 2는 수평면(xz면)을 표시한다. 보는 1차원 요소이므로 에너지 흐름이 한 방향으로만 존재한다. 그 방향은 보 요소의 길이 방향이므로 국부좌표계의 x 방향이다. 식 (1)의 개념을 적용하여 보 요소에 대한 파워 흐름을 구하면 식 (2)와 같이 얻어진다.

$$P_x = \text{Real} [-(F_x v_x^* + V_1 v_y^* + V_2 v_z^* + T \dot{\theta}_x - M_2 \dot{\theta}_y + M_1 \dot{\theta}_z)] \quad (2)$$

여기서

F_x = Axial force,

V_1 = Shear force in y direction,

V_2 = Shear force in z direction,

T = Torsional moment about x,

M_2 = Bending moment about y,

M_1 = Bending moment about z,

v_i = Translational velocities in direction i, and

$\dot{\theta}_i$ = Rotational velocities about axis i, 이고

위첨자 . 과 *는 시간에 대한 미분과 공액복소수 (complex conjugate)를 각각 나타낸다. 식 (2)에서 (-)부호는 요소의 힘과 변위의 방향 표시법 때문에 생겼으며 이것은 다음에 설명할 쉘 요소의 경우도 마찬가지이다. 또 M_2 항의 (-)부호는 Fig. 2에서 보는 바와 같이 M_2 와 $\dot{\theta}_y$ 가 반대 방향인 MSC/NASTRAN의 요소력 표시법에서 기인한 것이다. 진동에너지 강도는 단위 면적당 파워 흐름이며 보 요소의 경우 보의 길이 방향으로 전달되므로 식 (2)의 결과에 보의 단면적을 나눈 결과가 된다.

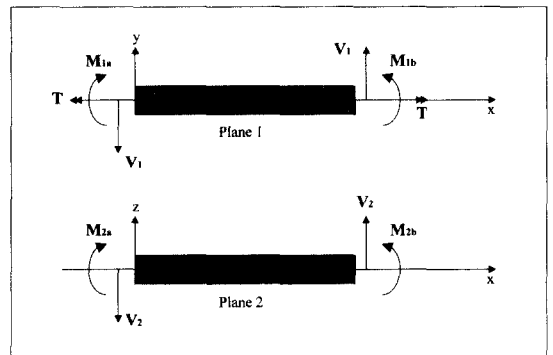


Fig. 2 Forces and moments in beam elements of MSC/NASTRAN

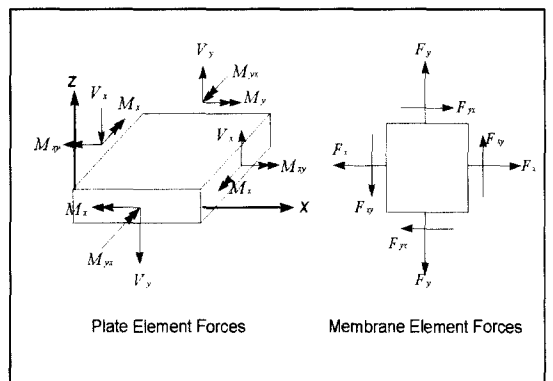


Fig. 3 Forces and moments in shell elements of MSC/NASTRAN

Fig. 3은 셀 요소와 MSC/NASTRAN의 요소력 (ELFORCE) 표시법을 보이고 있다. 셀 요소는 2차원 요소이므로 2차원 파워 흐름이 구해지며 식 (1)의 개념을 적용하여 각 방향의 파워 흐름을 구하면 식 (3)이 된다.

$$\begin{aligned}
 P_x &= \text{Real} [-(V_x v_z^* - M_x \dot{\theta}_y^* + M_{xy} \dot{\theta}_x^* \\
 &\quad + F_x v_x^* + F_{xy} v_y^*), \\
 P_y &= \text{Real} [-(V_y v_z^* + M_y \dot{\theta}_x^* - M_{yx} \dot{\theta}_y^* \\
 &\quad + F_y v_y^* + F_{yx} v_x^*), \quad (3)
 \end{aligned}$$

여기서,

- V_x, V_y = Transverse shear forces,
- M_x, M_y = Bending moments,
- M_{xy}, M_{yx} = Twisting moment about x and y ,
- F_x, F_y = Membrane forces,
- F_{xy}, F_{yx} = Membrane shear forces,
- v_i = Local translational velocities in direction i , and
- $\dot{\theta}_i$ = Local rotational velocities about axis i 이고,

식 (3)에서 M_x 와 M_{yx} 항의 (-)부호는 보 요소의 경우와 마찬가지로 MSC/NASTRAN의 요소력 표시법으로 인하여 M_x 와 M_{yx} 가 θ_y 및 θ_x 와 서로 반대 방향이기 때문이다. MSC/NASTRAN에서 셀 요소의 모든 요소력은 단위 폭당의 힘으로 제공된다. 그러므로 식 (3)은 단위 폭당의 파워 흐름이고 따라서 진동 에너지 강도는 요소의 두께로 나누어 얻을 수 있다.

2.2 입력파워와 출력파워

구조물에 입력되는 파워는 가진력과 가진력이 가해지는 절점 속도의 공액 복소수를 곱하여 얻을 수 있다. 가진력의 개수가 많을 경우 전체 입력파워는 식 (4)와 같이 표현된다.

$$P_{in} = \text{Real} \left[\sum_{i=1}^n F_i v_i^* \right], \quad (4)$$

여기서 i 는 가진점이고 n 은 가진력의 개수이다.

입력 파워를 하중이 아닌 변위, 속도 또는 가속도로 가할 경우는 식 (4)와 같이 구할 수 없으며 본 논문에서는 향후 과제로 남겨 두었다.

출력파워는 구조물을 통해 지지점에 도달하여 연결 시스템으로 전달되는 파워를 말하며 외부 구조물이 스프링과 댐퍼 등으로 모델링되고 한 쪽 끝이 구속되어 있다면 구속력과 연결점의 속도로 표시된다. 연결점이 여러 점일 경우 출력파워는 식 (5)와 같이 표현된다.

$$P_{out} = \text{Real} \left[\sum_{j=1}^n F_j v_j^* \right], \quad (5)$$

여기서 j 는 연결점을 표시하고 n 은 연결점의 개수를 말한다.

2.3 감쇠와 파워소실

파워는 재료의 감쇠 및 각종 능동 수동 장치 또는 음향으로의 방사 등에 의해 소실된다. 구조물 내에 아무런 파워소실 기구가 없다면 파워 흐름도 없다. 이는 식 (2)와 (3)에서 힘과 속도는 항상 90° 위상차를 보여 동 위상의 성분이 없기 때문이다.

3. MSC/NASTRAN 및 PCL을 이용한 파워 흐름 계산

3.1 MSC/NASTRAN을 이용한 절점속도 및 요소력 계산

식 (2)와 (3)에서 보인 보 요소와 셀 요소의 파워 흐름을 계산하기 위해 먼저 Fig. 4에서 보인 바와 같이 MSC/NASTRAN의 주파수 응답해석(SOL 108, SOL 111)을 수행하여 각 절점의 속도와 요소력을 구한다. 이들 MSC/NASTRAN의 해석 결과는 MSC/PATRAN에서 후처리가 가능한 화일(예: OUTPUT2(jobname.op2))로 출력되어야 한다. 이를 PATRAN으로 읽어들여(analysis/read output2) PATRAN 데이터베이스에 추가한다. 이 때 각 절점의 속도성분과 요소력은 PATRAN에서 읽을 때 그 성분과 위치를 선택하여 읽도록 되어 있다. 기본 설정치가 계산에 필요한 성분이나 위치와 다를 수 있기 때문에 반드시 확인해야 한다. 각 절점의 속도성분은 회전성분(각속도)까지 데이터베이스에 포함되어야 하고 요소력은 요소의 중심에서의 결과가 포함되도록 설정해야 한다.

3.2 PCL을 이용한 파워 흐름 계산

PCL은 모델링 및 후처리의 자동화, 전/후 처리기의 환경 변경 및 사용자 메뉴 작성등 여러 가지 용도

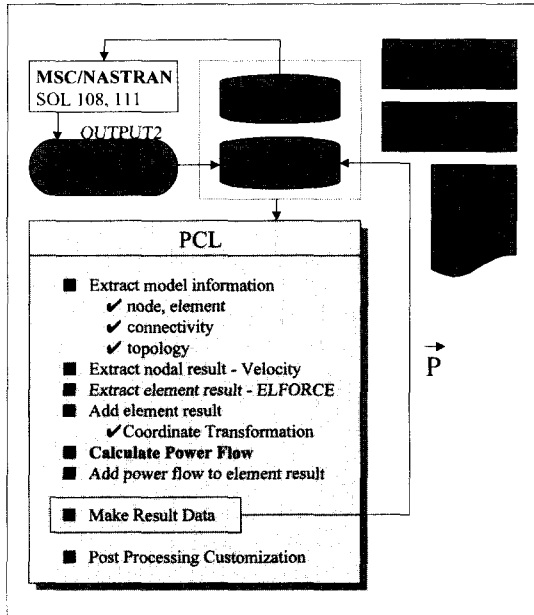


Fig. 4 Schematic flow chart for calculating power flow using MSC/NASTRAN and PCL

로 활용할 수 있다. 본 연구에서는 Fig. 4에서 보인 바와 같이 데이터베이스에 포함된 MSC/NASTRAN의 해석결과(절점속도와 요소력)를 참조하여 파워흐름을 계산하고 후처리를 위한 준비를 하도록 PCL을 이용하였다.

식 (2)와 (3)의 요소력은 요소좌표계(element coordinate)에 대한 값으로 얻어지고 절점속도는 해석좌표계(analysis coordinate) 또는 기본좌표계(basic coordinate)에 대하여 얻어진다. 따라서 식 (2)와 (3)의 계산시 좌표변환이 요구된다. 또 요소력은 해당 요소의 중앙점 값이고 속도는 그 요소의 연관 절점에서의 값이다. 이와 같이 서로 다른 좌표계로 표현된 서로 다른 절점의 값을 이용하여 파워 흐름을 계산하는 데는 좌표변환과 관련된 문제점이 있다. 이 문제점을 해결하기 위해 파워 흐름은 요소에 분포되는 평균값을 계산한다. 각 연관절점의 속도를 요소의 속도로 간주하여 요소의 중앙점에 대한 결과로 전환하면서 요소좌표계로 변환한 후 식 (6)에서와 같이 각각의 연관 절점에 해당되는 속도와 요소력에 의한 파워를 식 (2) 또는 (3)을 적용하여 구하고 이들의 합의 평균값을 요소의 중앙점에서의 요소좌표계에 대한 파워흐름으로 하였다.

$$P_i = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N P_i^{(j)} \quad (6)$$

여기서, P_i 는 요소의 전체 파워 흐름을 나타내고, N 은 연결된 절점의 수, 하첨자 i 는 요소좌표계에서의 각 방향을 나타내며 (j)는 연결 절점을 표시하고 $P_i^{(j)}$ 는 i 방향의 j 절점 속도 성분에 의한 파워흐름으로서 식 (2)와 (3)에 의해 구해진다. 단, 식 (2)와 (3)에서의 첨자 x 및 y 는 요소좌표계의 성분을 나타낸다.

3.3 PCL을 이용한 후처리 준비

3.2절에서 설명한 바와 같이 각 요소의 요소좌표계에 대한 파워 흐름을 해석좌표계(analysis coordinate) 또는 기본좌표계(basic coordinate)에 대한 값으로 변환하고 이 값을 데이터베이스의 해당 result case에 포함된 result data를 생성한다.

후처리 모듈에서 flinge plot을 통해 파워의 분포를 파악하고 maker/vector plot을 통해 진동에너지 강도를 볼 수 있다.

4. 해석예

4.1 단순 평판 모델

단순 평판 모델의 경계조건과 하중 상태를 Fig. 5에서 보이고 있다. 단순평판은 1 m×2 m 크기와 1 mm 두께를 가지며 Young's Modulus(E)는 2.1E+11 N/m², 밀도는 7800 kg/m³ 그리고 파워 흐름이 존재하도록 구조물의 재료 감쇠를 1 %로 하였다. Fig. 5에서 보인 바와 같이 가진력은 평판에 수직한 방향으로 단위하중을 가하였다.

이 단순 평판 모델은 3장에서 설명한 PCL을 이용한 파워 흐름 방법을 사용하지 않더라도 각 요소의 파워 흐름을 쉽게 계산할 수 있다. 그것은 요소좌표계와 기본좌표계가 일치되도록 모델링하는 것이 가능하기 때문이다. 따라서 이 모델은 PCL로 구성된 파워 흐름 계산 코드의 검증에 사용할 수 있었다. 좌표변환이 필요없으므로 Table 1에서 예시한 바와 같은 MSC/NASTRAN에서 구한 요소력과 해당되는 각 절점 속도를 식 (3)에 대입하여 구한 것을 합한 후 절점 수로 나누어 평균하여 요소의 파워흐름으로 계산한다. Table 1의 경우는 요소 1번 및 연결 절점(1, 12, 13, 2)의 속도를 보이고 있으며 이를 이용하여 구

Table 1 A result of element forces and moments calculated using MSC/NASTRAN

FREQUENCY = 5.000000E+01								
COMPLEX VELOCITY VECTOR (REAL/IMAGINARY)								
POINT ID.	TYPE		T1	T2	T3	R1	R2	R3
0	1	G	.0	.0	.0	.0	.0	.0
			.0	.0	.0	.0	.0	.0
0	2	G	.0	.0	.0	.0	.0	.0
			.0	.0	.0	.0	.0	.0
(중략)								
0	12	G	.0	.0	1.566679E-05	-7.598070E-05	-2.916227E-04	.0
			.0	.0	2.017951E-04	-7.234850E-04	-3.721473E-03	.0
0	13	G	.0	.0	7.182007E-06	-9.339161E-05	-1.321621E-04	.0
			.0	.0	1.159699E-04	-9.894995E-04	-2.105430E-03	.0
(중략)								
COMPLEX FORCES IN QUADRILATERAL ELEMENTS (QUAD4) (REAL/IMAGINARY)								
(중략)								
ELEMENT								
- MEMBRANE FORCES -								
ID			FX	FY	FX			
0	1		.0	.0	.0			
			.0	.0	.0			
- BENDING MOMENTS -								
						MX	MY	MX
						2.173082E-01	5.158497E-02	-4.527367E-02
						-1.582509E-02	-3.824863E-03	4.472017E-03
- TRANSVERSE SHEAR FORCES -								
							QX	QY
							1.187773E+00	-7.914154E-03
							-7.460950E-02	7.268774E-04
(중략)								

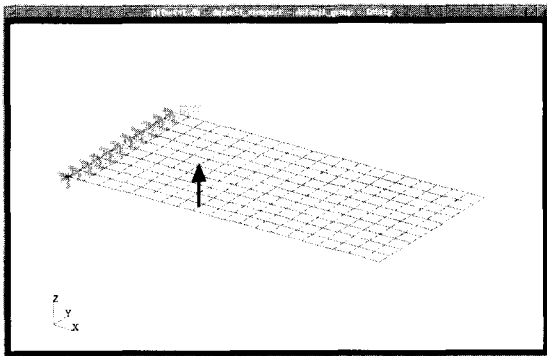


Fig. 5 Clamped plate model

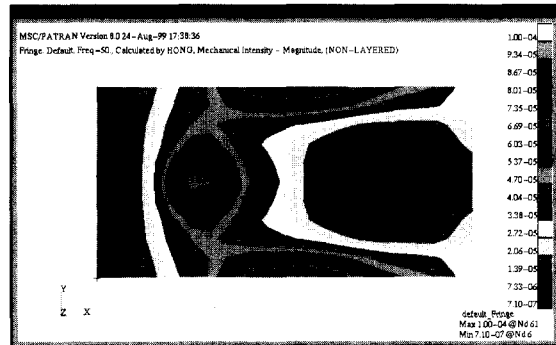


Fig. 6 Vibrational energy distribution

한 파워 흐름은 x 방향으로 $-8.297864E-5$ 과 y 방향으로 $-1.1184182E-4$ 으로 이 값을 PCL로 구한 값과 비교하여 정확히 일치하였으며 이로부터 프로그램을 검증할 수 있었다.

Fig. 6는 평판 내의 에너지 분포를 보여주고 있다. Fig. 5에서 가진점에 해당되는 요소에서 높은 에너지가 분포되고 구조물의 경계면에서 반사현상이 뚜렷이 보이며 반사파와의 간섭현상도 관찰된다. Fig. 7은 진동에너지 강도를 나타낸 그림으로 파워 흐름 특성을 좀더 정확히 파악할 수 있게 한다. 화살표는 진동에너지의 전파방향을 나타내며 색깔은 크기를 표시하고 있다.

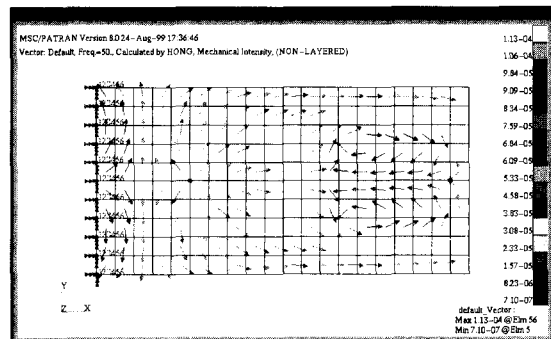


Fig. 7 Vibrational intensity map

4.2 육면체 공동(cavity)모델

육면체 공동모델은 앞 절의 단순 평판 모델과 달리 요소좌표계와 기본좌표계를 일치시키기가 매우 어렵다. 이 경우에는 두 좌표계가 일치하는 한 면에 대하여 같은 과정을 수행해보고 다른 다섯 면의 파워 흐름은 물리적으로 타당한 양상을 보이는지를 보았다.

육면체 공동모델의 구속이 없는 자유상태이며 하중 상태와 요소분할 상태를 Fig. 8에서 보이고 있다. 모델의 크기는 1 m×1 m×1 m이고 1 mm 두께를 가지며 Young's Modulus(E)는 2.1E+11 N/m², 밀도는 7800 kg/m³ 그리고 파워 흐름이 존재하도록 구조물의 재료 감쇠를 1 %로 하였다. Fig. 8에서 보인 바와

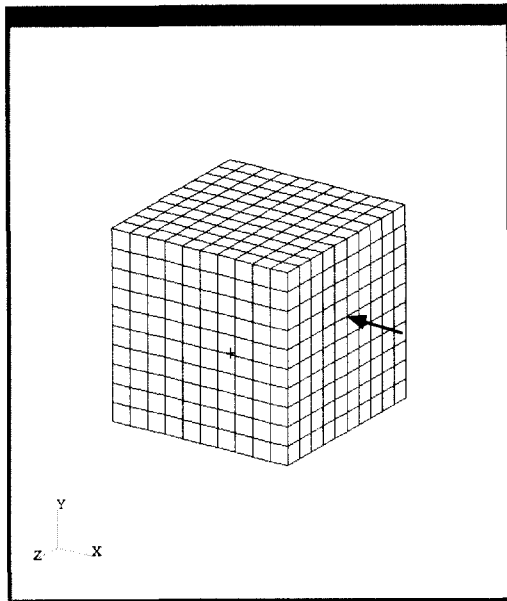
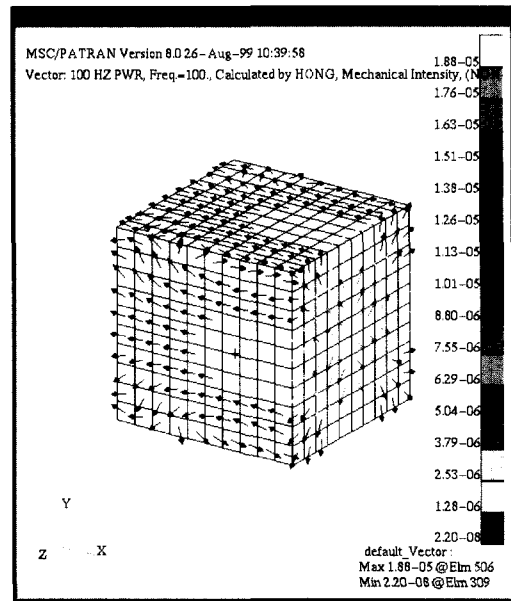


Fig. 8 Cavity model



(a) Front view

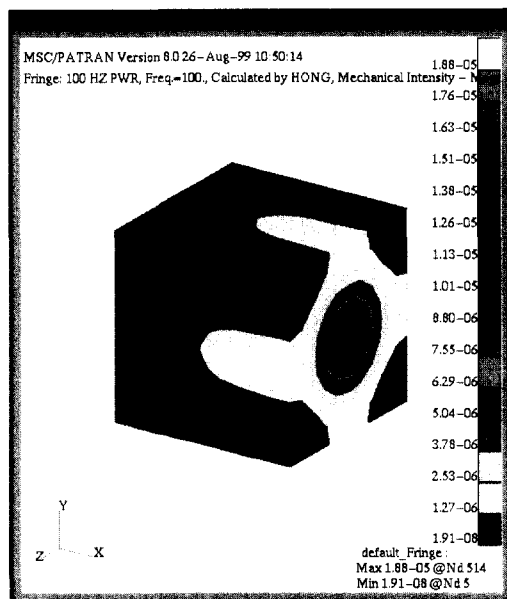
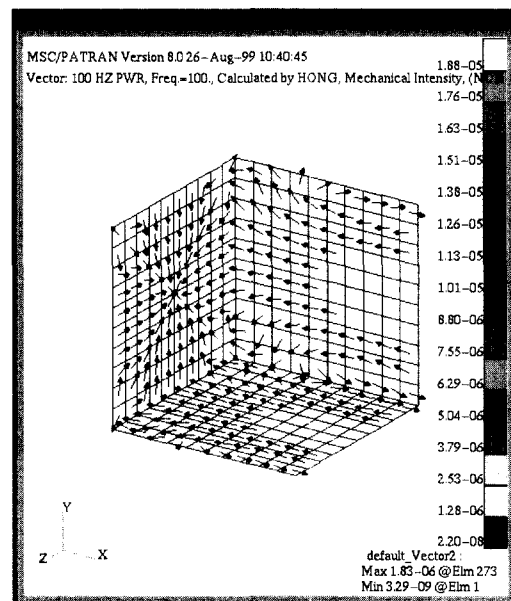


Fig. 9 Vibrational energy distribution



(b) Rear view

Fig. 10 Vibration intensity map

같이 가진력은 한 면의 중앙에 수직인 방향으로 단위 하중을 가하였다.

Fig. 9와 10은 구조물 내의 에너지 분포와 진동 에너지 강도를 각각 보이고 있다. 앞 절에서 수행한 방법으로 xy 면에 있는 한 요소에 대하여 파워 흐름을 계산한 결과가 PCL로 계산한 결과와 잘 일치하였으며 다른 면에서의 파워 흐름도 Fig. 9와 10에서 보는 바와 같이 흐름의 대칭성과 에너지 발생원과 소멸의 표현등 물리적 현상이 합당한 결과를 보였다.

4.3 원통형 셸 모델

원통형 셸 모델은 단순 평판 모델이나 육면체 공동 모델과 달리 요소좌표계와 기본좌표계를 일치시키기 어려울 뿐만 아니라 절점의 결과가 제 2의 좌표계로 표시될 수도 있는 예이다. Fig. 11에서 보인 바와 같이 기본좌표계(COORD 0)와 국부좌표계(원통형, COORD 1)가 정의되어 있고 초기 MSC/NASTRAN 해석시 절점속도가 원통형 좌표계에 대한 값으로 데이터베이스에 정의된다. 이 경우에서 PCL을 이용한 파워 흐름의 계산이 정확히 수행되는

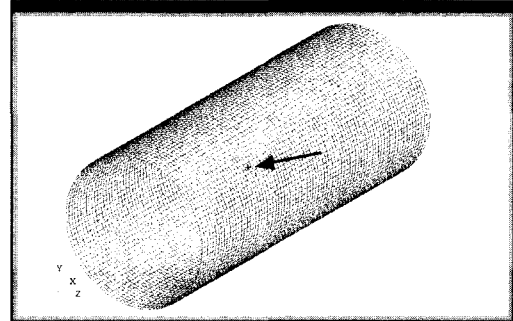
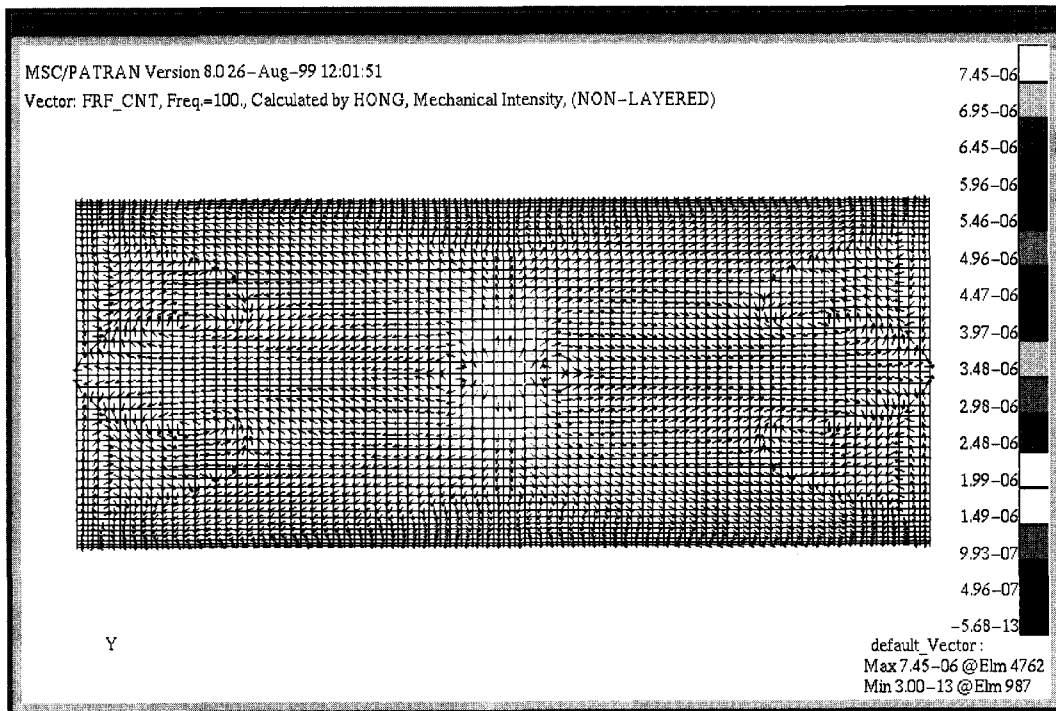


Fig. 11 Cylindrical shell model

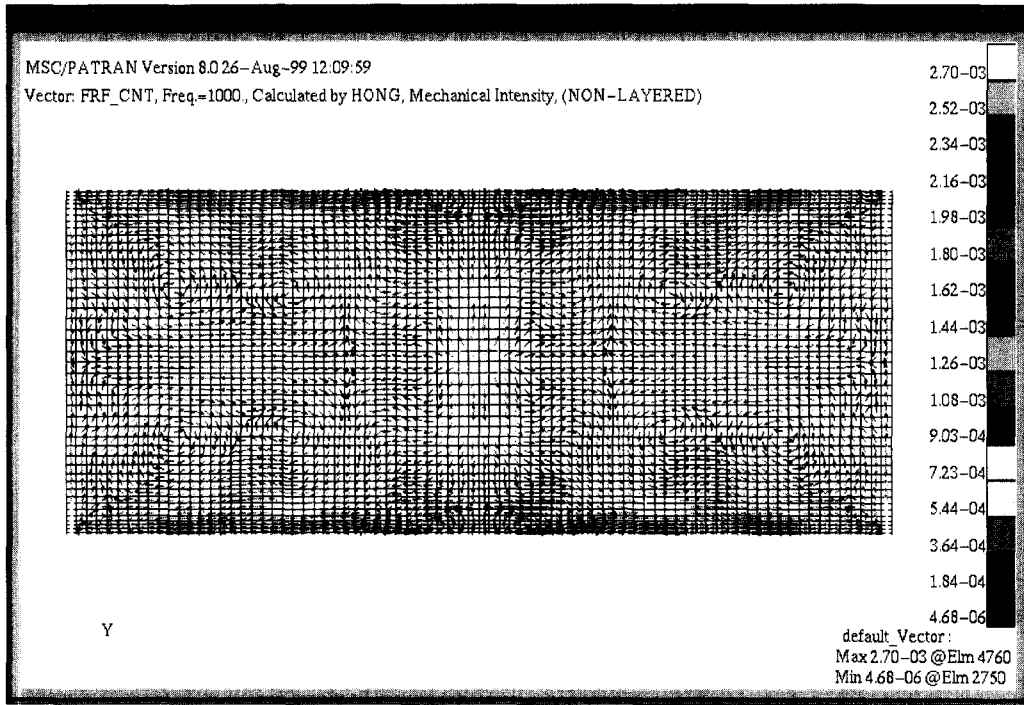
지 보였다. Fig. 12에는 PCL을 이용한 파워 흐름 해석 결과로서 (a)는 100 Hz, (b)는 500 Hz에 대한 결과이다.

4.4 2차원 SOLID 모델

본 절의 2차원 SOLID 모델은 구조물 내부의 에너지 흐름을 파악하고 진동 차단재(decoupler)를 적용한 감소 설계의 예이다. Fig. 13과 같이 알루미늄과 폴리우레탄으로 두 개의 층(layer)으로 이루어진 구조물은 소나(sonar)의 전형적인 구조물의 한 형태이



(a) 100 Hz



(b) 500 Hz

Fig. 12 Vibrational intensity map

Table 2 Mechanical properties of the 2D solid model

	재료	Young's Modulus(GPa)	밀도 (kg/m ³)	포아송비
음향센서 지지부	알루미늄	70.3	2700	0.345
음향원도우	폴리우레탄	2.38	1008	0.4
진동차단재	진공 (vacuum)	-	-	-

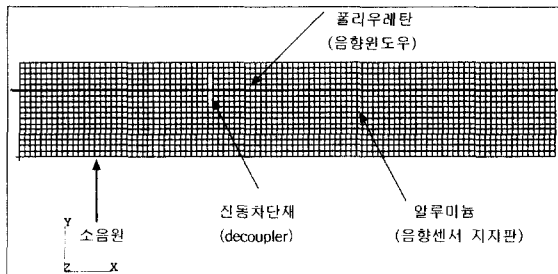
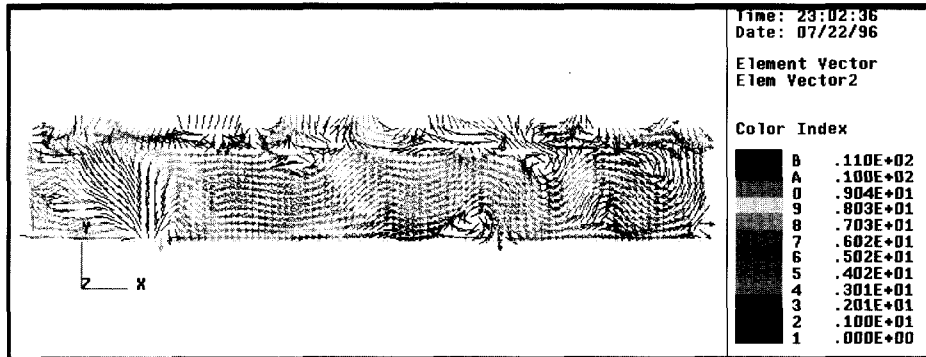


Fig. 13 2D solid model

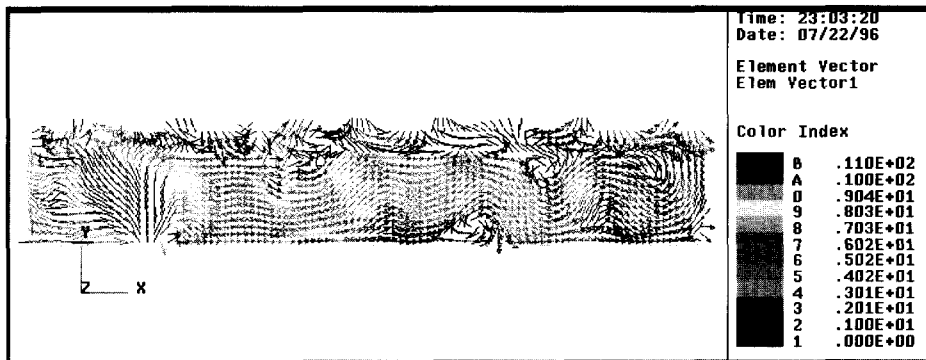
다. 각 부의 재료와 기계적 특성치를 Table 2에서 보인 바와 같다. 이 구조물이 다른 구조물과 연결되어 연결 부위를 통해 구조전달소음이 전달되면 이 소음은 음향센서의 자체소음으로 작용하여 소나의 성능에 악 영향을 미칠 수 있다. 이 소음을 차단할 목적으로 소음원과 음향센서 사이의 소음 전달경로에 진동차단재를 삽입하고 그 성능을 파워 흐름 해석을 통해 검토하였다.

Fig. 14(a)의 결과는 진동차단재가 적용되지 않은 경우로서 입사된 파워의 대부분이 음향센서 지지판을 따라 전파되며 폴리우레탄과 알루미늄의 경계에서 발생하는 임피던스(impedance)차에 의해 입사파가 폴리우레탄으로 잘 전달되지 않음을 알 수 있다. 따라서 음향센서 지지판에 진동차단재를 적용하는 것이 적절할 것이다.

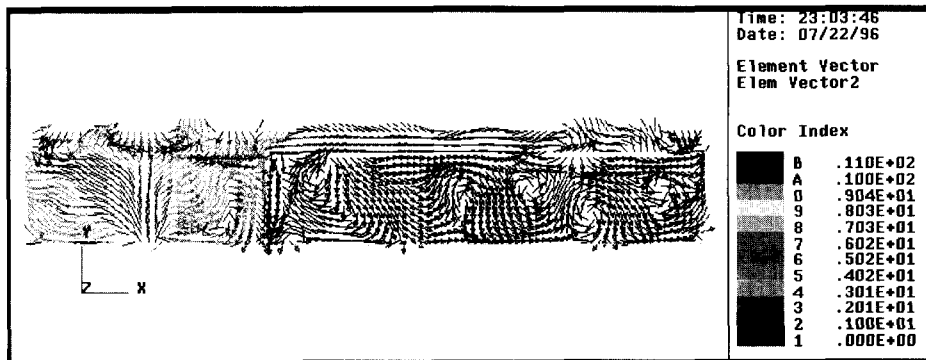
Fig. 14(b)는 진동차단재를 음향센서지지판의 전 단면에 적용할 경우 강도 유지에 문제가 있을 수 있으므로 Fig. 13에서 보인 것과 같이 일부를 차단재로 설치한 경우이다. 그러나 강도 유지는 문제가 없을 수 있으나 Fig. 14(b)의 결과에서 알 수 있듯이 진동에



(a) Without decoupler



(b) With small decoupler



(c) With cross-sectional decoupler

Fig. 14 Effect of the application of decouplers on the power flow

너지의 전파 특성은 차단재가 없는 경우와 거의 같다.

Fig. 14(c)는 진동차단재가 음향센서 지지판의 전단면에 설치한 경우로서 차단성능이 매우 우수함을 알 수 있다. 그러므로 소나의 음향센서에 미치는 구조 전달소음의 악영향을 막기 위한 진동차단재는 음

향센서 지지판의 전단면에 설치되어야 하고 강도 유지의 문제는 다른 보강 방안을 마련해야 한다. 또 보강 부재를 통한 소음 전파가 우려되므로 이에 대한 파워 흐름 해석이 수행되어야 하며 합당한 대책이 요구된다.

5. 결론 및 후기

본 연구에서는 구조물 내의 파워 흐름 해석을 위한 MSC/NASTRAN 및 MSC/PATRAN과 PCL의 활용 기법을 제시하였다. MSC/NASTRAN의 이용으로 구조모델의 요소력 및 절점속도를 정도 높게 얻을 수 있고 전후 처리 프로그램이 제공하는 명령어 집합인 PCL을 도입하여 해석상의 효율을 증대시켰다. PCL을 이용한 파워 흐름 계산에서 요소력 과 절점속도가 정의되는 위치의 상이함으로 인해 가장 큰 난제로 대두된 좌표 변환의 정확도를 검증함과 동시에 파워 흐름 해석 결과의 타당성을 보이기 위해 3종의 예제를 도입하였고 그 결과는 물리적으로 타당한 결과를 보였다. 본 연구에서 제시한 파워 흐름 해석 기법은 구조전달소음 해석 및 감소 설계에 유용할 것으로 보인다.

참고문헌

(1) Cremer, L., Heckl, M., 1973. Structure-Borne

Sound, Springer Verlag.

(2) Lyon, Pichard H., 1975, Statistical Energy Analysis of Dynamical System, MIT Press.

(3) Noiseux, D. U., 1970, "Measurement of Power Flow in Uniform Beams and Plates", JASA, Vol. 47, pp. 238~246.

(4) Nefske D. J. and Sung, S. H., 1989, "Power Flow Finite Element Analysis of Dynamic Systems : Basic Theory and Application to Beams, ASME, Vol. 111, pp. 94~100.

(5) Hong, S. Y. et al., 1990, "Power Flow Models and Analysis of In-Plane Waves in Finite Coupled Thin Plates", JSV, Vol. 244, No. 4, pp. 651~668.

(6) Hambric, S. A., 1990, "Power Flow and Mechanical Intensity Calculations in Structural Finite Element Analysis", ASME, Vol. 112, pp. 542~549.

(7) MSC/NASTRAN Reference Manual, Volume I, II, III, The Macneal-Schwendler Corporation.

(8) MSC/PATRAN User's Manual, Volum 4, The Macneal-Schwendler Corporation.