

< 논 문 >

다중전달함수합성법을 이용한 구조물의 동특성 해석

Structural Dynamic Analysis using Multi-FRF Synthesis Method

정 재 훈* · 지 태 한** · 박 영 필***

Jae-Hoon Jung, Tae-Han Jee and Young-Pil Park

(1997년 9월 19일 접수 ; 1998년 1월 10일 심사완료)

Key Words : Experimental Modal Analysis(실험모드해석), Finite Element Analysis(유한요소해석), Substructure Synthesis Method(부분구조합성법), Multi-FRF Synthesis Method(다중전달함수합성법)

ABSTRACT

A great deal of effort has been invested in upgrading the performance and the efficiency of dynamic analysis of mechanical structures. Using experimental modal analysis(EMA) or finite element analysis(FEA) data of mechanical structures, the performance and efficiency can be effectively evaluated. In order to analyze complex structures such as automobiles and aircrafts, for the sake of computing efficiency, the dynamic substructuring techniques that allow to predict the dynamic behavior of a structure are widely used. Through linking a modal model obtained from EMA and an analytical model obtained from FEA, the best conditioned structures can be proposed. In this study, a new algorithm of substructure synthesis method, Multi-FRF synthesis method, is proposed to analyze a structure composed of many substructures.

1. 서 론

현대사회에 와서는 과거 어느때 보다도 대량생산과 대량소비가 이루어지고 있다. 이러한 대량생산/소비문화는 기계의 발달 없이는 불가능하다. 이와 같이 기계에 대한 의존도가 높아짐에 따라 기계의 성능 및 효율을 높여려는 노력이 꾸준히 진행되어 왔다. 이러한 기계의 성능 및 효율은 내구성, 안전성, 정밀성 및 환경영향 등에서 고르게 평가되어야 하며, 이 중에서도 기계의 작동이나 주변의 외란에 의한 기계구조물의 진동문제가 중요하게 대두되어

이에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

기계구조물의 진동은 인간이 기계를 만들면서부터 제기되어 온 문제로서, 기계구조물의 안정성, 정밀성 및 작업자의 쾌적성, 환경에 미치는 영향 등의 관점에서 꾸준히 연구되어 온 분야이다. 또한, 진동은 소음의 주발생원으로, 최근에 강조되고 있는 환경영향 등의 측면에서 그 중요성이 나날이 증가하고 있으며, 계측기 및 컴퓨터의 발달과 더불어 실험과 이론해석을 통해 얻을 수 있는 진동분석데이터가 진동문제해결 및 정확한 성능평가에 유효하게 이용되고 있다.

진동분석은 크게 실험모드해석과 유한요소해석의 두 가지 방법으로 나누어지며, 두 가지 방법을 혼합하여 적용하는 것도 가능하다.

실험모드해석은 진동실험에 의해 얻은 진동파형이나 전달함수를 기초로 하여, 그 안에 혼합되어 있는

* 정회원, 연세대학교 대학원 기계공학과
** 정회원, (주)현대자동차
*** 정회원, 연세대학교 공과대학 기계공학과

측정중의 잡음이나 데이터 처리과정 중의 오차등 목적이외의 정보를 배제하고 물리적으로 의미 있는 정보만을 추출하여 기계구조물의 모드특성(고유진동수, 모드감쇠비, 고유모드, 잉여강성 등)을 구할 수 있다.

유한요소해석은 해석대상 구조물을 몇 개의 요소로 나누어 해석하는 방법으로 70년대 이후 컴퓨터의 급격한 발달에 힘입어 강력한 진동해석 도구가 되었다. 하지만, 이를 이용하여 자동차·비행기 등과 같은 대형구조물을 상세히 해석하려면, 수십만 개의 해석 자유도가 요구되므로, 컴퓨터용량이나 시간절약의 측면에서 부분구조합성법 등이 발달하게 되었다. 이것은 하나의 구조물(전체)을 여러 개의 부분구조(분계)로 나누어, 각각 유한요소해석이나 실험모드해석으로 해석하여 합치는 방법으로 근래에 들어 대형·복합 구조물을 대상으로 하여 많은 연구가 진행되고 있다.

부분구조합성법(Substructure Synthesis Method)은 하나의 구조물을 여러개의 부분구조물로 나누어 해석한 후 합성하는 방법으로, 전달함수합성법, 모드합성법, 특성행렬합성법 등이 대표적이며, 주된 연구분야이다(長松등⁽¹⁾). 이 중, 전달함수합성법은 Klosterman⁽²⁾이 최초의 빌딩블럭법을 제안한 이래 이의 응용에 관한 연구가 활발히 이루어졌으며(長松등⁽³⁾, Bregant등⁽⁴⁾) 전달함수합성법에 실험데이터를 적용하는 경우에 대한 연구(Otte등⁽⁵⁾, Leuridan등⁽⁶⁾) 및 실제차량에의 적용에 대한 연구(Ochsner등⁽⁷⁾)가 수행되었다. 하지만 현재까지 진행되어온 연구는 분계가 2개인 경우를 기초로 하여 수행되어 왔으며 3개 이상의 분계가 한 결합부에 결합되는 경우와 같은 분계가 3개 이상인 계에 대하여 연구된 바는 없다.

따라서 본 연구에서는 각 분계를 순차적으로 결합시키는 계산과정을 통해 3개 이상의 분계가 한 결합부에 결합되는 경우를 해결하여 분계의 개수에 상관없는 알고리즘(다중전달함수합성법)을 제안하였다.

2. 이 론

2.1 단일전달함수합성법⁽¹⁾

Fig. 1과 같이 2개의 분계가 강결합된 경우를 생각하자. 분계 A와 분계 B는 결합자유도 n 인 영역 S로 결합되어 있다. 또 주파수 ω 에서 임의의 점 i 와 점 j 사이의 전달함수(컴플라이언스)를 $G_{ij}(\omega)$ 로 표현하자.

점 j 를 가진력 F_j 로 가진할 때 점 i 의 응답변위

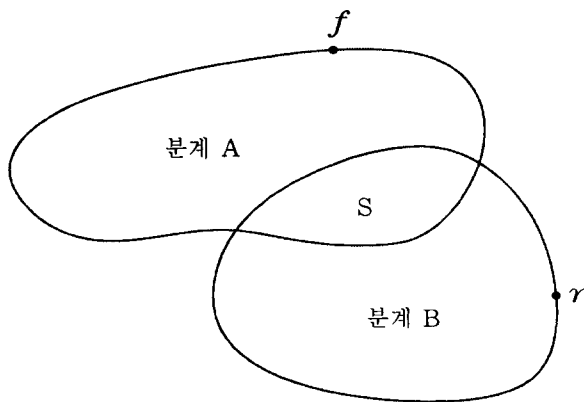


Fig. 1 Structure composed of 2 substructures (rigid interface)

X_i 는 전달함수를 이용하여 나타내면 다음과 같다.

$$X_i = G_{ij} F_j \tag{1}$$

선형계인 경우, 중첩의 원리가 성립하므로 점 j 를 가진력 F_j , 점 k 를 가진력 F_k 로 가진했을 때 점 i 의 응답은 다음과 같다.

$$X_i = G_{ij} F_j + G_{ik} F_k \tag{2}$$

먼저 Fig. 1의 구조물중 분계 A만을 분리하여 생각하자. 점 f 에 가진력 F_f 이 작용되고, 분계 B로부터 결합부 S의 자유도에 내력으로 작용되는 힘(미지력) R_i ($i = 1, \dots, n$)가 작용된다면 결합영역 S의 변위 X_i^A ($i = 1, \dots, n$)는

$$\begin{Bmatrix} X_1^A \\ X_2^A \\ \vdots \\ X_n^A \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} G_{11}^A & & & sym. \\ G_{21}^A & G_{22}^A & & \\ \vdots & \vdots & \ddots & \\ G_{n1}^A & G_{n2}^A & \cdots & G_{nn}^A \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} R_1 \\ R_2 \\ \vdots \\ R_n \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} G_{1f}^A \\ G_{2f}^A \\ \vdots \\ G_{nf}^A \end{Bmatrix} F_f \tag{3}$$

로 표현된다. 여기서 전달함수 G_{ij}^A 의 위첨자는 그 분계만의 전달함수 값을 의미한다. 분계 B도 분계 A와 같이 취급한다. 단, 분계 B는 응답변위를 측정하고자 하는 점 r 이 존재하고, 외력(가진력)은 직접 작용하지 않는다고 한다. 분계 A와 마찬가지로 결합부 S의 변위 X_i^B ($i = 1, \dots, n$)는

$$\begin{Bmatrix} X_1^B \\ X_2^B \\ \vdots \\ X_n^B \end{Bmatrix} = - \begin{bmatrix} G_{11}^B & & & sym. \\ G_{21}^B & G_{22}^B & & \\ \vdots & \vdots & \ddots & \\ G_{n1}^B & G_{n2}^B & \cdots & G_{nn}^B \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} R_1 \\ R_2 \\ \vdots \\ R_n \end{Bmatrix} \tag{4}$$

로 나타낼 수 있고, 측정점 r 의 변위는

$$X_r^B = - [G_{r1}^B \ G_{r2}^B \ \dots \ G_{rn}^B] \begin{Bmatrix} R_1 \\ R_2 \\ \vdots \\ R_n \end{Bmatrix} \quad (5)$$

로 표현된다.

강결합인 경우, 분계 A의 결합부 S의 변위와 분계 B의 결합부 S의 변위는 같으므로 다음과 같이 놓을 수 있다.

$$\begin{Bmatrix} X_1^A \\ X_2^A \\ \vdots \\ X_n^A \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} X_1^B \\ X_2^B \\ \vdots \\ X_n^B \end{Bmatrix} \quad (6)$$

식 (6)에 식 (3)과 식 (4)를 대입하여 미지벡터인 내력벡터 $[R_1 \ R_2 \ \dots \ R_n]^T$ 의 항을 좌변으로 정리하면 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{bmatrix} G_{11}^A + G_{11}^B & & & \text{sym.} \\ G_{21}^A + G_{21}^B & G_{22}^A + G_{22}^B & & \\ \vdots & \vdots & \ddots & \\ G_{n1}^A + G_{n1}^B & G_{n2}^A + G_{n2}^B & \dots & G_{nn}^A + G_{nn}^B \end{bmatrix} \times \begin{Bmatrix} R_1 \\ R_2 \\ \vdots \\ R_n \end{Bmatrix} = - \begin{Bmatrix} G_{1f}^A \\ G_{2f}^A \\ \vdots \\ G_{nf}^A \end{Bmatrix} F_f \quad (7)$$

여기에 내외력비 $T_i = R_i/F_f$ 를 도입하면 식 (7)은 다음이 된다.

$$\begin{Bmatrix} T_1 \\ T_2 \\ \vdots \\ T_n \end{Bmatrix} = - \begin{bmatrix} G_{11}^A + G_{11}^B & & & \text{sym.} \\ G_{21}^A + G_{21}^B & G_{22}^A + G_{22}^B & & \\ \vdots & \vdots & \ddots & \\ G_{n1}^A + G_{n1}^B & G_{n2}^A + G_{n2}^B & \dots & G_{nn}^A + G_{nn}^B \end{bmatrix}^{-1} \begin{Bmatrix} G_{1f}^A \\ G_{2f}^A \\ \vdots \\ G_{nf}^A \end{Bmatrix} \quad (8)$$

이 식에 따라서 내외력비 벡터를 구하면 식 (3)이나 식 (4)에서 결합영역S의 변위를 구할 수 있다. 또 분계 B의 측정점 r의 응답은 다음 식으로 구할 수 있다.

$$X_r^B = - [G_{r1}^B \ G_{r2}^B \ \dots \ G_{rn}^B] \begin{Bmatrix} T_1 \\ T_2 \\ \vdots \\ T_n \end{Bmatrix} F_f \quad (9)$$

탄성결합인 경우, 결합부가 Fig. 2와 같이 연성되지 않고 병렬로 연결되어 있다면 다음과 같이 결합 자유도 i에서 힘-변위관계를 나타낼 수 있다.

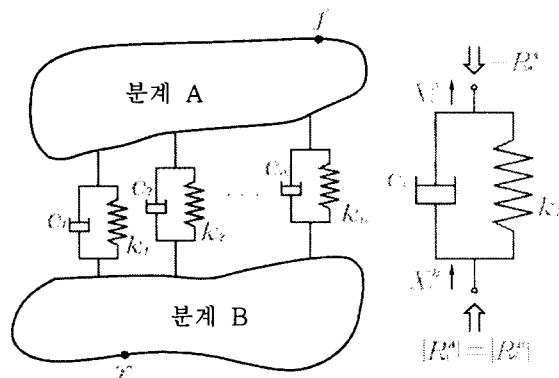


Fig. 2 Structure composed of 2 substructures (elastic interface)

$$(k_i + j\omega c_i)(X_i^B - X_i^A) = R_i^A = -R_i^B = R_i \quad (i=1, 2, \dots, n) \quad (10)$$

결합자유도 1 ~ n에 대해 식 (10)을 하나의 식으로 정리하면

$$\begin{bmatrix} \frac{1}{k_1 + j\omega c_1} & & & 0 \\ & \frac{1}{k_2 + j\omega c_2} & & \\ & & \ddots & \\ 0 & & & \frac{1}{k_n + j\omega c_n} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} R_1 \\ R_2 \\ \vdots \\ R_n \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} X_1^B \\ X_2^B \\ \vdots \\ X_n^B \end{Bmatrix} - \begin{Bmatrix} X_1^A \\ X_2^A \\ \vdots \\ X_n^A \end{Bmatrix} \quad (11)$$

이 된다. 이 식에 식 (3)과 식 (4)를 대입하면,

$$\begin{bmatrix} \frac{1}{k_1 + j\omega c_1} & & & 0 \\ & \frac{1}{k_2 + j\omega c_2} & & \\ & & \ddots & \\ 0 & & & \frac{1}{k_n + j\omega c_n} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} G_{11}^A & & & \text{sym.} \\ G_{21}^A & G_{22}^A & & \\ \vdots & \vdots & \ddots & \\ G_{n1}^A & G_{n2}^A & \dots & G_{nn}^A \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} G_{11}^B & & & \text{sym.} \\ G_{21}^B & G_{22}^B & & \\ \vdots & \vdots & \ddots & \\ G_{n1}^B & G_{n2}^B & \dots & G_{nn}^B \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} T_1 \\ T_2 \\ \vdots \\ T_n \end{Bmatrix} = - \begin{Bmatrix} G_{1f}^A \\ G_{2f}^A \\ \vdots \\ G_{nf}^A \end{Bmatrix} \quad (12)$$

이 된다. 이 식을 풀어 내외력비 $T_i (i=1, 2, \dots, n)$ 를 구하면, 그 이후에 각 점의 응답을 구하는 계산 순서는 강결합의 경우와 같다. 또 결합부 자유도 간

에 연성되어 있는 경우는 식 (11)의 계수행렬이 대각행렬이 되지 않고 다소 복잡해지지만 계산순서는 앞과 같다.

그러나 이와 같은 경우에도 탄성결합부를 하나의 분계로 보고, 이 분계와 나머지 A, B분계가 각각 강결합하고 있다고 하여 다음 절에서 제안한 다중전달함수합성법을 이용하여 분계가 3개인 계로 분석할 수 있다.

2.2 다중전달함수합성법

2.1절에서 보인 단일전달함수합성법은 2분계끼리의 결합에는 비교적 용이하게 적용할 수 있으나, 한 결합부에 다수의 분계가 동시에 결합하거나, 한 분계에 다수의 결합부가 존재하는 경우에는 해석이 곤란하다. 그러한 경우를 위하여 여러 개의 분계와 결합부가 존재하는 계를 체계적이며 효과적으로 해석할 수 있는 다중전달함수합성법을 제안하였다. 다중전달함수합성법의 해석순서는 여러 개의 분계 중 우선 외력이 가해지는 분계로 부터 순차적으로 2분계씩 결합하여 합성한 후 최종적으로 응답을 구하고자 하는 분계와 합성하는 것이다.

Fig. 3과 같이 여러 구조물과 다중으로 결합하고 있는 A, B 두분계를 생각하자. Fig. 4는 각 분계를 떼어내어 힘-변위관계를 표시한 것으로 우선 A, B 두분계를 합성한다. 여기서 a_1, b_1 은 해석하고자 하는 두분계끼리만 결합하는 영역이고, a_2, b_2 는 A, B 두분계와 함께 다른 분계도 결합하는 영역이고, a_3, b_3 는 각 분계가 다른 분계와만 결합하는 영역이다.

전달함수로 표현한 힘과 변위의 관계는 식 (2)와 같으므로, Fig. 4에서 분계A의 결합부 변위를 나타내면 다음과 같다.

$$\begin{Bmatrix} X_{a1} \\ X_{a2} \\ X_{a3} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} G_{a1a1} & G_{a1a2} & G_{a1a3} & G_{a1af} \\ G_{a2a1} & G_{a2a2} & G_{a2a3} & G_{a2af} \\ G_{a3a1} & G_{a3a2} & G_{a3a3} & G_{a3af} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} R_{a1} \\ R_{a2} \\ R_{a3} \\ F \end{Bmatrix} \quad (13)$$

두 분계가 강결합된 경우, 각 분계의 결합영역에서의 변위는

$$\begin{aligned} X_{a1} &= X_{b1} = X_{ab1} \\ X_{a2} &= X_{b2} = X_{ab2} \end{aligned} \quad (14)$$

이 되고, 대응되는 내력사이에는 다음 관계식이 성립한다.

$$\begin{aligned} R_{a1} + R_{b1} &= 0 \\ R_{a2} + R_{b2} &= R_{ab2} \end{aligned} \quad (15)$$

여기서 R_{ab2} 는 A, B분계의 내력의 합으로 분계 II와의 내력이다. 또 R_{a1} 을 R_1 , R_{b2} 를 $-R_2$ 로 나타내면 다음의 관계식이 성립한다.

$$\begin{aligned} R_{a1} &= R_1, \quad R_{b1} = -R_1 \\ R_{b2} &= -R_2, \quad R_{a2} = R_{ab2} + R_2 \end{aligned} \quad (16)$$

이를 식 (13)에 대입하고 정리하면 다음과 같다.

$$\begin{Bmatrix} X_{ab1} \\ X_{ab2} \\ X_{a3} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} G_{a1a1} & G_{a1a2} \\ G_{a2a1} & G_{a2a2} \\ G_{a3a1} & G_{a3a2} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} R_1 \\ R_2 \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} G_{a1a2} & G_{a1a3} & G_{a1af} \\ G_{a2a2} & G_{a2a3} & G_{a2af} \\ G_{a3a2} & G_{a3a3} & G_{a3af} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} R_{ab2} \\ R_{a3} \\ F \end{Bmatrix} \quad (17)$$

식 (13)과 같은 방법으로 분계B의 결합부 변위를 나타내면

$$\begin{Bmatrix} X_{b1} \\ X_{b2} \\ X_{b3} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} G_{b1b1} & G_{b1b2} & G_{b1b3} \\ G_{b2b1} & G_{b2b2} & G_{b2b3} \\ G_{b3b1} & G_{b3b2} & G_{b3b3} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} R_{b1} \\ R_{b2} \\ R_{b3} \end{Bmatrix} \quad (18)$$

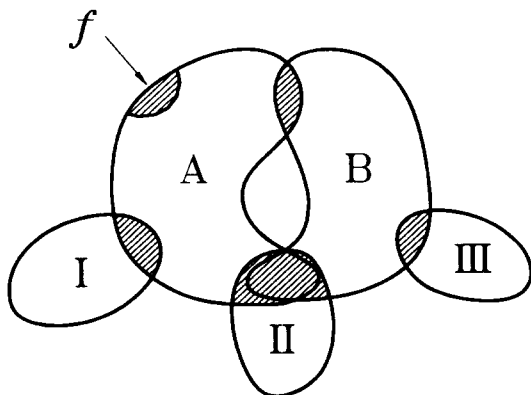


Fig. 3 Complex structure composed of many substructures

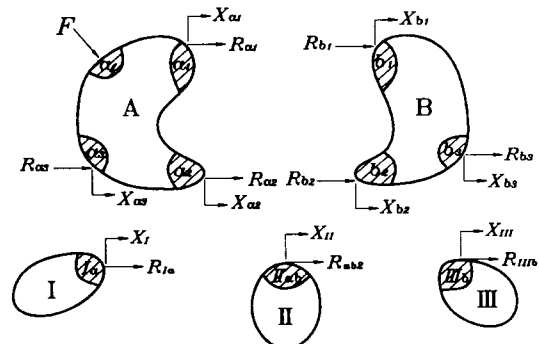


Fig. 4 Force and displacement of complex structure

와 같고, 내력항으로 정리하면 다음과 같다.

$$\begin{Bmatrix} X_{ab1} \\ X_{ab2} \\ X_{b3} \end{Bmatrix} = - \begin{bmatrix} G_{b1b1} & G_{b1b2} \\ G_{b2b1} & G_{b2b2} \\ G_{b3b1} & G_{b3b2} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} R_1 \\ R_2 \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} G_{b1b3} \\ G_{b2b3} \\ G_{b3b3} \end{bmatrix} \{R_{b3}\} \quad (19)$$

식 (17)와 식 (19)의 상반부 두 식은 같은 결합부 식을 나타내므로 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} G_{a1a1} & G_{a1a2} \\ G_{a2a1} & G_{a2a2} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} R_1 \\ R_2 \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} G_{a1a2} & G_{a1a3} & G_{a1af} \\ G_{a2a2} & G_{a2a3} & G_{a2af} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} R_{ab2} \\ R_{a3} \\ F \end{Bmatrix} = - \begin{bmatrix} G_{b1b1} & G_{b1b2} \\ G_{b2b1} & G_{b2b2} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} R_1 \\ R_2 \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} G_{b1b3} \\ G_{b2b3} \end{bmatrix} \{R_{b3}\} \quad (20)$$

이를 내력 R_1, R_2 에 대해 정리하면 다음과 같다.

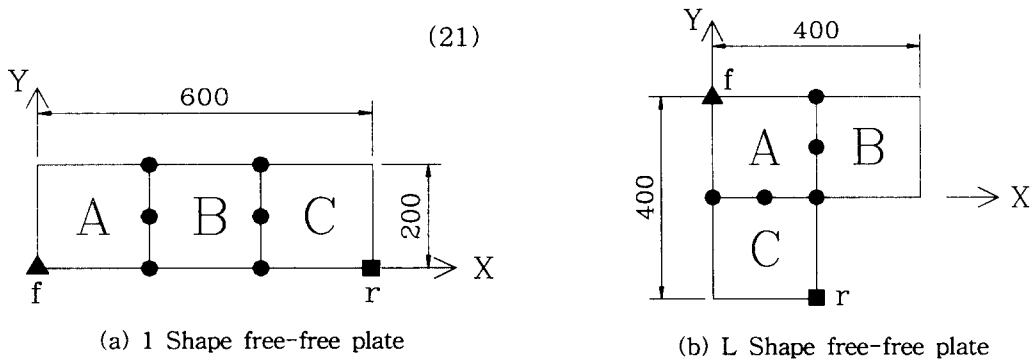
$$\begin{Bmatrix} R_1 \\ R_2 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} G_{a1a1} + G_{b1b1} & G_{a1a2} + G_{b1b2} \\ G_{a2a1} + G_{b2b1} & G_{a2a2} + G_{b2b2} \end{bmatrix}^{-1} \times \begin{bmatrix} -G_{a1a2} & -G_{a1a3} & G_{b1b3} & -G_{a1af} \\ -G_{a2a2} & -G_{a2a3} & G_{b2b3} & -G_{a2af} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} R_{ab2} \\ R_{a3} \\ R_{b3} \\ F \end{Bmatrix} \quad (21)$$

식 (17)의 하반부 2식과 식 (19)의 3번째 식을 정리하면 다음과 같다.

$$\begin{Bmatrix} X_{ab2} \\ X_{a3} \\ X_{b3} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} G_{a2a1} & G_{a2a2} \\ G_{a3a1} & G_{a3a2} \\ -G_{b3b1} & -G_{b3b2} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} R_1 \\ R_2 \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} G_{a2a2} & G_{a2a3} & 0 & G_{a2af} \\ G_{a3a2} & G_{a3a3} & 0 & G_{a3af} \\ 0 & 0 & G_{b3b3} & 0 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} R_{ab2} \\ R_{a3} \\ R_{b3} \\ F \end{Bmatrix} \quad (22)$$

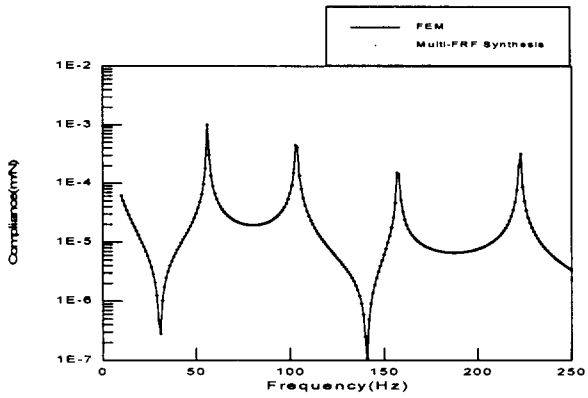
이 식에 식 (21)을 대입하면 최종합성식을 얻을 수 있다.

$$\begin{Bmatrix} X_{ab2} \\ X_{a3} \\ X_{b3} \end{Bmatrix} = \left(\begin{bmatrix} G_{a2a1} & G_{a2a2} \\ G_{a3a1} & G_{a3a2} \\ -G_{b3b1} & -G_{b3b2} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} G_{a1a1} + G_{b1b1} & G_{a1a2} + G_{b1b2} \\ G_{a2a1} + G_{b2b1} & G_{a2a2} + G_{b2b2} \end{bmatrix}^{-1} \times \begin{bmatrix} -G_{a1a2} & -G_{a1a3} & G_{b1b3} & -G_{a1af} \\ -G_{a2a2} & -G_{a2a3} & G_{b2b3} & -G_{a2af} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} G_{a2a2} & G_{a2a3} & 0 & G_{a2af} \\ G_{a3a2} & G_{a3a3} & 0 & G_{a3af} \\ 0 & 0 & G_{b3b3} & 0 \end{bmatrix} \right) \begin{Bmatrix} R_{ab2} \\ R_{a3} \\ R_{b3} \\ F \end{Bmatrix} \quad (23)$$

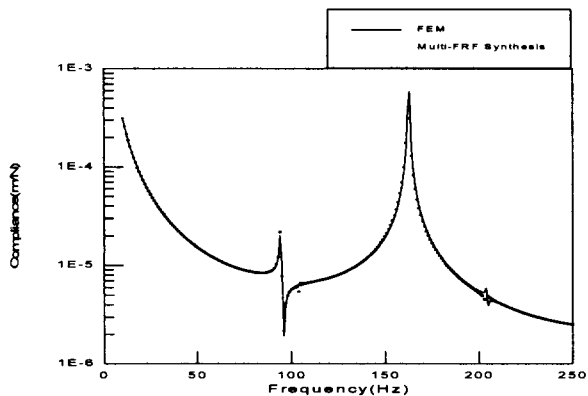


(c) Fixed-free plate composed of many substructures

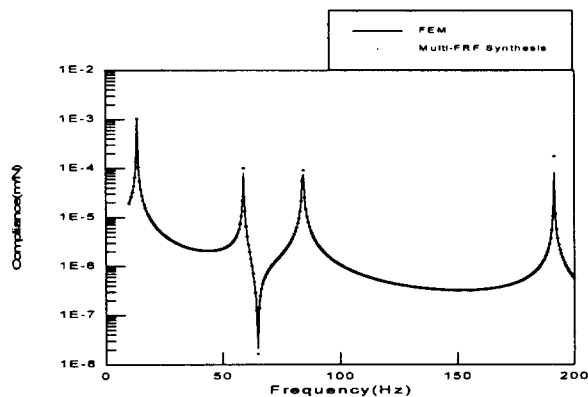
Fig. 5 Structures for simulation



(a) 1 Shape free-free plate



(b) L Shape free-free plate



(c) Fixed-free plate

Fig. 6 Frequency response functions using multi-FRF synthesis method

이와 같이 하여 A, B 두 분계를 결합한다. 합성된 분계와 다른 분계와의 결합은 앞의 과정을 반복하여 구하고, 마지막으로 가진영역을 포함하는 분계와 응답영역을 포함하는 두 분계로 합성한 후, 합성된 두 분계의 결합은 2.1절의 단일전달함수합성법의 과정을 따르면 최종적으로 구하고자 하는 전계의 전달함

수를 구할 수 있다.

3. 모의 실험

이제까지 발표된 전달함수합성법은 볼트결합부 등과 같은 부분을 1점결합 등으로 이상화하여 2분계의 단일전달함수합성법을 적용하거나, 다중의 경우는 동강성축소법으로 해석하는 것이 보통이었다⁽³⁾. 따라서 복잡한 형상의 구조물이나 대형의 구조물에는 다중의 방법이 필요하므로 동강성축소법을 적용해야하고, 그러기 위해서는 구조물의 모드실험을 행한 후 이를 해석하여 물성치를 구한 다음 이 물성치를 이용하여 동강성을 구하여야 한다. 그러나 대형·복합구조물은 모드실험이 어려울 뿐만 아니라 그 모달 물성치를 통해 동강성을 구하는 것은 더욱 어려운 일이다. 따라서 이제까지는 실용성이 강한 모드합성법이 더욱 광범위하게 이용되고 연구되어왔다. 하지만 구조물의 모드형상등은 고려하지 않고 단지 고유진동수의 위치나 전달함수의 크기 등에만 관심이 있다면 전달함수합성법이 다른 방법보다 빠르고 유용할 것이다.

실험의 전달함수를 그대로 사용할 수 있는 2.2절의 다중전달함수합성법을 판구조물에 적용하여 모의 실험한 결과를 다음에 나타내었다.

Fig. 5는 다중전달함수합성법을 적용하기 위한 판구조물의 결합부와 가진점(▲), 응답점(■)을 보여준다. 각 구조물의 형상과 치수는 그림과 같고 두께는 4 mm이다. 각각의 판구조물은, (a)의 경우는 세 개 이상의 분계가 결합된 결합점이 없이 연속적으로 결합되어 있으며, (b)의 경우는 한 결합점에서 세 개의 분계가 결합되어 있으며, (c)의 경우는 다수의 결합점에서 세 개 이상의 분계와 결합되어 있다.

각 분계 및 전계의 전달함수는 상용 소프트웨어인 ANSYS로 계산하였다.

전달함수합성법에 의한 결과와 전계의 전달함수를 Fig. 6에 나타내었다.

Fig. 5의 (a)와 (b)의 경우는 A와 B를 합성한 후 이 결과 (A+B)와 C를 합성하였고, (c)의 경우는 A와 B, C와 D를 각각 합성한 후, 이들의 결과를 합성하여 A+B+C+D를 구성하고 최종적으로 E를 합성하였다.

여기서는 일반적인 결과를 제시하기 위해 1~2점결합이 아닌 전자유도 결합(판결합)에 대해 모의실험을 수행하였으며, 이 결과에서 보듯이 다중전달함수합성법이 대형·복합구조물에 유용하게 적용될 수 있음을 알 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 기계구조물의 응용분야에서 늘 접하게 되는 진동문제를 유효하게 해석하는 수단으로서 부분구조합성법 중 전달함수합성법에 대하여 이제까지 해석하기 까다로왔던 대형·복합구조물(한 분계에 다수의 결합부가 존재하거나 한 결합부에 다수의 분계가 결합하는 경우)의 해석수단으로서 다중전달함수합성법을 제안하고, 이에 관한 식을 유도하였다.

그리고, 이 방법에 의한 모의실험 결과로부터 이 방법이 다수의 분계가 결합된 구조물에서의 적용이 타당함을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

- (1) 長松昭男, 大熊政明, 1991, 部分構造合成法, 培風館.
- (2) Klosterman A., 1971, "On the Experimental Determination and Use of Modal Representations of Dynamic Characteristics", Ph.D. thesis, U. of Cincinnati.
- (3) 長松昭男, 大熊政明, 1980, "縮小インピーダンス合成法による強制振動の解析(第1報, 解析方法の説明と基礎的検討)", 日本機械學會論文集(C編), 46卷(407號) pp.703~712.
- (4) Bregant L., Otte D. and Sas P., 1995, "FRF Substructure Synthesis: Evaluation and Validation of Data Reduction Method", Proc. 13th IMAC, pp.1592~1597.
- (5) Otte D. and Grangier H., 1991, "Prediction of the Dynamics of Structural Assemblies using Measured FRF-Data: Some Improved Data Enhancement Techniques", Proc. 9th IMAC, pp.909~918.
- (6) Leuridan J., De Vis D., Grangier H. and Aquilina R., 1988, "Coupling of Structures using Measured FRF's: Some Improved Techniques", Proc. 13th ISMA.
- (7) Ochsner S. D. and Bernhard R. J., 1995, "Application of a Component Mobility Modeling Technique to Automotive Suspension System", Noise Control Eng. J., Vol.43, No.3, pp.73~82.