

NASTRAN을 이용한 構造物의 動的 解析

朴 潤 植

<韓國科學技術院 機械電子研究部>

1. 序 論

最近들어서 構造物 解析 分野만큼 革新的인 變化 및 發展이 이룩되어진 分野도 드물다. 그것은 大型 電子計算機의 도입으로 超大型 매트릭스 計算이 可能하여 졌으며 航空機 船舶 기타 大型 構造物에 대한 正確하고 經濟的인 構造物 解析을 遂行할 수 있게 되었기 때문이다.

構造物 設計를 하는 단계에서 構造物에 대한 強度 計算은 必須的이며 대부분의 境遇에는 靜荷重에 대한 構造物의 變形 應力 分布등을 보는 靜的 解析(static analysis)만으로도 設計에 充分한 資料를 얻을 수 있다. 그러나 回轉機械로 부터 荷重을 받는 構造物, 橋梁등에서와 같이 時間에 따른 荷重 變化를 받는 構造物, 狂風, 爆發등에 의한 荷重을 받는 構造物 등을 設計하기 위하여서는 構造物에 대한 靜的 解析(static analysis) 이외에 構造物의 動的 解析이 必須的이다. 보다 正確하고 信賴性 있는 構造物의 動的 特性을 說明하기 위하여서는 原型(prototype)에 대한 實驗이 遂行되어야 하겠으나 大型 構造物의 경우에는 現實의으로 原型에 대한 實驗은 不可能하며 次善策으로 FEM을 이용한 電算解析이 開發되어졌고 普遍化되어지고 있다. FEM에 의한 構造物 電算解析 技法은 이미 20여년 전부터 美國등 先進國에서는 研究되어졌고 普遍化되어 그동안의 많은 試行錯誤를 거쳐 現在에는 學

界, 研究界뿐 아니라 產業界에서도 構造物 電算解析의 效用性에 대한 認識이 增大되어가고 있다. 특히 航空業界, 造船, 自動車 業界에서는 상당히 뿌리 깊게 사용되어지고 있다. 이같이 점차로 構造物의 電算解析 方法의 效用性이 認定되고 產業界에서의 要求가 增大됨에 따라 많은 종류의 一般 構造解析用 電算 프로그램(general purpose finite element computer program)이 開發 販賣되어지고 있다. 常用되어지고 있는 大型 電算 프로그램을 보면 ANSYS, MARS, NASTRAN, SAP, STARDYNE, STRUDAL...등을 열거할 수 있다.

韓國科學技術院 機械工學 研究部에서는 이와 같은 FEM을 이용한 構造物 解析技法의 國內 普及을 目的으로 1979年 NASTRAN 레벨(level) 15.5를 도입하였으며 이미 보유하고 있던 SAP와 並行 使用하여 그동안 트럭프레임(frame)의 構造解析, 動力發電機 塔의 靜的, 動的 解析, 自動車 車體의 靜的 解析을 遂行하였으며 계속 事業으로 自動車 車體의 動的 解析을 遂行中에 있다.

2. NASTRAN

NASTRAN(Nasa Structural Analysis Computer Program)은 美 航空 宇宙局에서 開發된 構造 解析用 電算 프로그램으로서 여러가지 荷重 條件을 받는 다양한 構造物에 應用이 可能하고

◆ 解 說

또 다른 電算 프로그램과 並行하여 使用되어 질 수 있게 組織되어진 一般化된 電算 프로그램이다. 첫번째 version 인 레벨에서 부터 프로그램을 계속 보완 改善하여 레벨 15, 15.5, 16, 17, 17.5 등이 使用되어지고 있으며 現 韓國科學技術院 保有 version 은 레벨 15.5 로서 그 使用 範圍 및 能力은 다음과 같다.

- 1) Static Analysis
- 2) Buckling Analysis
- 3) Vibration Analysis
- 4) Transient Response
- 5) Random Response
- 6) Frequency Response
- 7) Piecewise Linear Analysis
- 8) Complex Eigen Solutions
- 9) Hydroelastic Analysis
- 10) Acoustic Analysis
- 11) Thermal Bending Analysis

- 12) Dummy Element Feature
- 13) Heat Transfer Package

3. NASTRAN 을 利用한 構造物의 動的 解析

보편적으로 凡用 構造 解析用 電算 프로그램 들은 1) Transient Analysis 2) Frequency Response Analysis 3) Random Response Analysis 4) Complex Eigenvalue Analysis 등의 動的 解析 能力을 갖고 있다. 한편 NASTRAN 의 構造物 動的 解析 範圍는 그림 1 에 나타나 있으며 그림 1 에 보여진 바와 같이 NASTRAN 의 構造物 動的 解析을 위한 方法은 다음과 같이 7 가지로 나누어 질 수 있다.

- 1) Normal Modal Analysis
- 2) Direct Complex Eigenvalue Analysis
- 3) Direct Frequency and Random Response

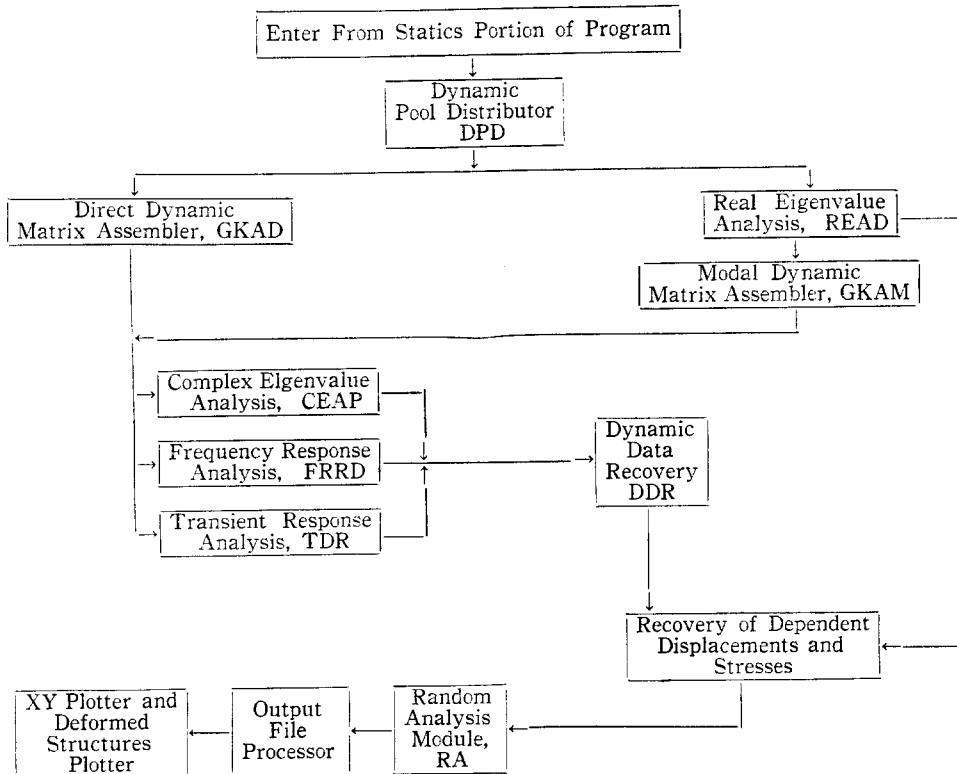


그림 1 Simplified flow diagram for dynamic analysis.

Analysis

- 4) Direct Transient Response Analysis
- 5) Modal Complex Eigenvalue Analysis
- 6) Modal Frequency and Random Response Analysis
- 7) Modal Transient Response Analysis

NASTRAN을 이용한 구조물 동적 해석(dynamic analysis)을 하는데 있어서 modal method와 direct method를 병행 사용하고 있다. 그 이유는 해석할 구조물의 하중 조건의 특성에 따라서 정확도와 효율을 최대로 얻을 수 있는 방법을 선택할 수 있기 때문이다. 일반적으로剛性 매트릭스의 bandwidth가 크고 몇개의 모드(mode)만으로도 크게 정확도를 잃지 않고 구조물의 동적 특성을 표시할 수 있는 경우에는 modal method가 유리하며 반대로剛性 매트릭스의 bandwidth가 작고 많은 수의 mode shape를 조합하여 동적 특성을 구하여야 하는 경우에는 direct method가 유리하다. 그러나 dynamic coupling이 없는 경우에는 동적 특성을 설명하기 위하여 많은 수의 mode shape이 필요할 지라도 modal method가 효과적이다. modal method, direct method 그리고 eigen-value extraction 등에 대한 자세한 설명을 하기 전에 NASTRAN의 구조와 특성을 간단히 소개하면 다음과 같다.

NASTRAN은 입력데이터를 쉽게 준비, 입력으로 넣을 수 있고 사용자가 원하는 방법으로 수행할 수 있으며 또 수행 중 프로그램 수정 등을 위한 직접 개입이 간편하게 이루어 지게 하기 위하여 구조가 모듈(module)화 되어 있다. input/output은 gino(generalized input/output)를 사용하여 data block을 조절하며 I/O의 기본 단위는 word length가 변하는 logical record이다. 또한 NASTRAN은 계산 도중에 필요한 모든 core memory를 사용할 수 있도록 open core program으로 되어 있으며 각 모듈은 다른 모듈에 관계없이 독립적으로 사용될 수 있도록 별도의 overlay structure로 이루어져 있으므로 계산中には module code와 utility subroutine만이 core를 사용하는 장점이 있다.

NASTRAN에서 사용되고 있는 구조물 동적 해석(dynamic analysis) 방법에 대하여 간단히 설명하면 다음과 같다.

1) Modal Method

이 방법은 크고 복잡한 구조물의 해석에 주로 사용되어 지며 구조물의 선형 동적 특성을 나타내는 연립 미분 방정식의 변위항을 normal mode로 바꾸어 줄으로써 독립 미분 방정식으로 유도하여 해석하는 방법이다. 구조물의 진동시 각 고유 mode는 정적 평형의 한 점을 기준으로 볼 때 조화 운동을 이룬다. 이 때 구조물의 각 변위의 형태를 normal mode shape이라 하며 그 진동수를 normal mode frequency라 한다. 각각의 normal mode shape와 normal mode frequency에 해당하는 generalized mass, stiffness 그리고 damping coefficient를 구할 수 있으며 구하여진 generalized mass로부터 modal kinetic energy를 그리고 generalized stiffness로부터 modal strain energy를 계산할 수 있으며 이렇게 얻어진 값들은 구조물 설계 변경시(system modification) 변경 전후의 구조물 동적 특성 설명에 이용되어 질 수 있다.

Modal method는 normal mode analysis를 통하여 얻고자 하는 몇 개의 mode(mode shape, frequency)를 구한 후 각각의 mode를 하나의 generalized modal coordinate로 사용하여 다음의 강제 진동 해석(forced vibration analysis)에 사용될 수 있다. 이렇게 하므로써 컴퓨터 계산 시간을 줄일 수 있는 장점이 있다.

2) Direct Method

구조물의 동적 해석(dynamic analysis)을 direct method로 수행하는 데에는 정적 해석(static analysis)의 경우와는 달리 엄청난 컴퓨터 계산 시간을 필요로 한다. 그러므로 문제 크기를 줄이기 위하여 direct method에서는 gyran reduction을 사용하고 있다. Damping 효과가 없는 간단한 진동 문제를 예로 들면 다음과 같다.

$$-\omega^2 \begin{bmatrix} M_{11} & M_{12} \\ M_{21} & M_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta_1 \\ \Delta_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} K_{11} & K_{12} \\ K_{21} & K_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta_1 \\ \Delta_2 \end{bmatrix} = 0 \quad (1)$$

ω : 고유 각속도

◆ 解 說

M_{ij} : Mass matrix

K_{ij} : Stiffness matrix

Δ_1 : 解析하고자 하는 d.o.f.

Δ_2 : 除去하고자 하는 d.o.f.

$$-\omega^2[M_{11}\Delta_1 + M_{12}\Delta_2] + [K_{11}\Delta_1 + K_{12}\Delta_2] = 0 \quad (2)$$

$$-\omega^2[M_{21}\Delta_1 + M_{22}\Delta_2] + [K_{21}\Delta_1 + K_{22}\Delta_2] = 0 \quad (3)$$

식 (3)식으로 부터

$$\Delta_2 = -[-\omega^2 M_{22} + K_{22}]^{-1} [-\omega^2 M_{21} + K_{21}] \Delta_1 \quad (4)$$

Transformation matrix 를 다음과 같이 假定하여

$$T = \begin{bmatrix} I \\ \dots \\ -K_{22}^{-1}K_{21} \end{bmatrix}$$

실제 문제에 適用하면

$$M\dot{\Delta} + C\dot{\Delta} + K\Delta = P \quad (5)$$

문제 크기가 減少된 運動方程式이 된다.

$$\bar{M}\dot{\Delta}_1 + \bar{C}\dot{\Delta}_1 + \bar{K}\Delta_1 = \bar{P} \quad (6)$$

여기서 $\bar{M} = T^T M T$

$$\bar{C} = T^T C T$$

$$\bar{K} = T^T K T$$

$$\bar{P} = T^T P T$$

이 方法은 計算時間이 줄어드는 長點이 있으나 식(1)에서 M_{22} , M_{21} 이 M_{11} 에 비해 작은 값이 되어야만 實際값에 近接한다. 그러므로 除去할 d.o.f는 우선 mass matrix 를 計算하여 그 크기를 보고 선택하여야 한다. 一般的으로 남겨

지야 하는 d.o.f는 質量的 값이 큰 곳, 解析하고자 하는 mode에서 振幅이 큰 곳등이며 전체의 d.o.f 중 남겨지는 d.o.f는 10% 以下인 것이 보통이다.

3) Eigen-value Extraction

그림 1에 보여진 바와 같이 NASTRAN에서는 real eigen-value analysis와 complex eigen-value analysis가 각각 다른 module로 있다. Real eigen-value analysis module은 symmetric mass, stiffness matrix를 갖는 構造物의 解析에 使用되며 기타 減衰 振動시스템(damped vibration system), 構造物의 安定性 解析, 構造物의 周圍 流體流動과의 coupling問題, 피이드백을 갖는 콘트롤시스템問題 등에서는 complex eigen-value analysis module이 使用되어지고 있다. 一般的으로 eigen value를 구하는 方法으로는 transformation method와 tracking method가 쓰이고 있다. Transformation method는 매트릭스를 diagonal, tridiagonal 등 特別한 形態로 바꾼 후에 eigen value를 구하며 반면에 tracking method에서는 iterative procedure를 통하여 한번에 하나씩 eigen value를 구한다, NASTRAN에서는 transformation method를 따르는 tridiagonal method와 tracking method에 속하는 determinant method와 inverse power method with shifts 등 3가지의 eigenvalue extraction 方法이 使用되어지고 있으며 각각의 相互比較는 표 1에 있다.

一般的으로 tridiagonal method는 matrix의

표 1 Comparison of methods of eigenvalue extraction.

Characteristic	Method		
	Tridiagonal method	Inverse power method with shifts	Determinant method
Most general form of matrix	[A - pI]	[Mp ² + Bp + K]	[A(p)]
Restrictions on matrix character	A real, sym., constant	M, B, and K constant	None
Obtains eigenvalues in order	All at once	Nearest to shift point	(Usually) nearest to starting points
Takes advantage of band width	No	Yes	Yes
Number of calculations, order of	0(n ³)	0(nb ² E)	0(nb ² E)

Notes: n=number of equations, b=semiband width, E=number of eigenvalues extracted.

形態의 制約때문에 real eigenvalue analysis 경우에만 使用되어 질 수 있으며 나머지 2가지의 tracking method는 real뿐만 아니라 complex eigen-value analysis에도 使用될 수 있다. 표 1에서 보여진 바와 같이 bandwidth가 적고 또 구하여질 根(root)의 수가 많지 않은 경우에는 tracking method가 有利하며 band width가 相對적으로 큰 경우에는 tridiggonal method가 더욱 效果적이다.

4. 結 論

以上에서 簡單히 紹介한 바와 같이 NASTRAN

은 모든 構造物 특히 大型 構造物의 靜的 解析 (static analysis)뿐 아니라 動的 解析, 構造物과 周邊 流體 流動과의 關係, seismic analysis, acoustic analysis 등 廣範圍하게 使用되어 질 수 있는 電算 프로그램이다. KAIST에서는 NASTRAN을 보다 效果的으로 活用하기 위하여 pre-processor, postprocess의 開發에 努力하고 있으며 특히 NASTRAN 解析의 結果를 可視化하기 위하여 computer graphics를 위한 電算 프로그램인 MOVIE-BYU를 NASTRAN과 連結시켜 使用하려 試圖하고 있다.

大韓機械學會誌 投稿案内

本學會 82年度 第2回 編輯委員會(82.5.7)의 決議에 의하여 앞으로 本學會誌는 可能한 限 모두 國·漢文만을 使用하기로 하였습니다.

技術用語는 大韓機械學會編 機械用語集을 基準하며, 불가피한 경우에는 한글로 음(音) 표시를 하고 괄호안에 原語를 쓰기로 하였습니다. 投稿者의 많은 協調를 바랍니다.

投稿內容은 論說, 展望, 解說, 講座, 資料, 紹介, 座談會記錄, 紀行文, 見學 및 參觀記, 體談驗, 隨筆, 國內外뉴스, 會員의 소리, 其他 등의 機械工學 및 工業에 관한 內容으로 되어 있습니다. 會員여러분의 많은 投稿를 바랍니다. (採擇된 原稿는 所定の 原稿料를 드립니다)