

부재응력분포계수와 부재간 응력 상관성
Response Force Distribution Factors of Members and
Mutuality of Response Forces between Members

김치경* 이시은** 홍건호***
Kim, Chee Kyeong Lee, Si Eun Hong, Geon Ho

ABSTRACT

This paper presents the response force distribution factor(RDF) and its application to recalculation of member forces in case of partial changes of structures. Using RDF, the mutuality of response forces between members can be estimated. The reanalysis technique recalculates directly any displacement or member force under consideration in real time without a full reanalysis in spite of local changes in member stiffness or connectivity using RDF. It is expected that RDF and the reanalysis technique can be used to develop efficient analysis techniques for tall buildings.

1. 서 문

구조물은 적게는 하나의 부재로부터 많게는 수만개의 부재들로 구성되어 구조물이 작용하는 외력에 대하여 저항하게 된다. 이 때 외력은 각 부재에 응력을 발생시키게 되고 이러한 응력은 부재와 부재 사이에 전달되어 궁극적으로 지점에 전달된다. 이 과정에서 힘의 흐름은 하중경로(load path)를 따라 흐르게 되고, 이러한 하중경로는 구조물의 형상과 하중 상태에 따라 하나일 수도 있고, 다수일 수도 있다. 이러한 하중 경로의 수에 따라 정정 구조물과 부정정구조물을 구분할 수도 있으며, 하중경로가 하나인 구조물이 정정구조물, 다수인 구조물이 부정정구조물이라 정의할 수 있다.

한편 부재와 부재 사이의 상관관계는 크게 직렬연결과 병렬연결로 구분할 수 있는 바, 하중 경로 상에서 동일 경로에 있는 부재들은 직렬 관계에 있으며, 서로 다른 경로 상에 있는 부재는 병렬 관계라 할 수 있는데, 직렬 관계에 있는 두 부재의 응력은 상호 비례 관계에 있고 병렬 관계에 있는 두 부재의 응력은 상호 반비례 관계에 있게 된다. 즉 전자의 경우, 어떤 이유에서 한 부재의 응력이 증가하면 다른 부재의 응력도 증가하게 되고, 후자의 경우에는 한 부재의 응력이 증가할 때 타 부재의 응력은 감소하게 된다. 그러나 복잡하게 얽혀 있는 실제 구조물에서는 하중경로들이 서로 엉켜있기에 부재 사이에도 직렬 관계와 병렬 관계가 혼합되어 있고, 그러므로 한 부재의 응력 변화가 타 부재에 미치는 영향을 정량적으로 판단하기 어려운 형편이다.

구조설계 시 여러가지 이유로 부재의 강성을 변경하게 되고 그에 따른 응력 변화가 발생한다. 또한 한 부재의

* 선문대학교 건축학과 교수
** 백석대학 교수
*** 호서대학교 건축공학과 교수

응력 변화는 여타 부재의 영향을 미쳐 응력 재분배가 발생하게 되고, 경우에 따라서는 이러한 영향이 바람직하지 않은 방향으로 발생하곤 한다. 그러므로 부재 응력간 상관 관계를 정량적으로 파악할 수 있다면 구조설계, 최적화 설계 등의 작업 시 유용한 정보로 활용됨이 기대된다.

본 논문에서는 한 부재의 응력이 변화될 때, 그 변화가 타 부재에 미치는 영향을 평가하는 기법을 제안한다. 또한 이를 이용하여 부분적인 구조물 변경에 의하여 구조 재해석이 요구될 때 부분적인 해석만으로 응력 재분배를 평가할 수 있는 재해석 기법을 제안한다.

2. 부재 응력분포계수

2.1. 부재 응력분포계수의 정의

유연성행렬의 요소 F_{ij} 는 j 번째 자유도에 단위하중을 가할 때 i 번째 자유도에 발생하는 변위이고, m 번째 부재 강성행렬의 요소 $K_{ij}^{(m)}$ 는 j 번째 자유도에 단위변위가 발생할 때 i 번째 부재 자유도에 발생하는 부재력이다. 그러므로 식 1에서 보는 바와 같이 m 번째 부재 강성행렬 $K^{(m)}$ 과 구조물 유연성행렬 F 의 곱은 구조물 내 j 번째 자유도에 단위하중이 작용할 때 i 번째 부재 자유도에 발생하는 응력 $R_{ij}^{(m)}$ 을 요소로 갖는, 부재 자유도수 NE개의 행과 구조물 자유도수 N개의 열을 갖는 행렬로 주어진다. :

$$R^{(m)} = K^{(m)}F = [NE \times N] \quad (1)$$

본 연구에서는 식 1로 계산되는 계수 $R_{ij}^{(m)}$ 을 구조물 내 j 번째 자유도에 대한 부재 내 i 번째 자유도에 대응하는 응력분포계수 (RDF : Reponse force Distribution Factor)라 정의하고, 이들 계수로 구성되는 행렬 $R^{(m)}$ 을 부재 m의 응력분포계수행렬 이라 명명하였다.

본 연구에서 부재의 응력분포계수는 부재간 응력 재분배 관계를 계산하기 위하여 사용되었다. 즉 어떤 이유에서든 구조물 내 한 부재 또는 여러 부재의 부재력에 변화가 있고 그 변화량이 계산되었을 때, 계산된 부재력 변화에 따른 여타 부재의 부재력 변화를 재계산하는데 응력분포계수가 사용되었다.

이와 같이 부재의 응력분포계수는 부재간 상관관계등 각 부재의 고유한 특성을 내포하고 있어 구조물의 거동 및 응력 분포 특성을 여러 모로 분석하는데 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

2.2. 부재응력상관계수

식 (1)로 계산되는 특정 부재의 응력분포계수행렬의 열 중에서 해당 부재가 연결된 부재 자유도(이하 연결자유도라 함)에 해당하는 열들만으로 행렬을 재구성하여 R_{aa}^c 라 하고, 해당 부재를 제외한 여타 구조물에서 연결자유도에 단위하중이 작용할 때 여타 구조물의 연결자유도에 발생하는 응력의 합, 즉 응력분포계수행렬을 R_{aa}^r 라 하면 식 2가 성립한다.

$$\begin{aligned} R_{aa}^c + R_{aa}^r &= I \\ R_{aa}^r &= I - R_{aa}^c \end{aligned} \quad (2)$$

식 2에서 정의된 부재 응력분포계수행렬을 이용하여 부재 응력간 상관성을 계산할 수 있다. 부재 응력간 상관성은 특정 자유도에 작용하는 외력에 대하여 형성되는 하중경로와 연결된다. 즉 특정 자유도에 작용하는 외력에 의해 구조물을 구성하는 각 부재의 응력에 의하여 지점으로 진단되고, 이 때 하나 또는 다수의 하중경로가 생성될 수 있으므로, 같은 경로에 있는 부재간에는 응력 사이에 비례 관계가 형성되고 다른 경로에 있는 부재 간에는 반비례 관계가 형성된다.

본 연구에서는 특정 자유도에 작용하는 외력에 의해 한 부재에 발생하는 응력이 여타 부재의 응력에 어떠한 영향을 주는 지를 정량화함으로써 부재 응력간 상관 관계를 정량하고자 한다. 본 연구에서 제안하는 부재 응력간 상관 관계 정량화 기법은 다음과 같은 절차로 구성된다.

- 1) 기준 자유도(부재 응력간 상관 관계 산정의 대상이 되는 하중이 작용하는 자유도를 의미함)에 작용하는 단위 하중에 의한 기준 부재(여타 부재와의 응력 상관성을 구하고자 하는 중심 부재를 의미함)의 응력 Δf^c 를 구한다. 기준 자유도를 k 번째 자유도라 하고, 기준 부재를 m 번째 부재라 하면, Δf^c 는 식 1의 k 번째 열벡터이다.
- 2) 기준 부재에 Δf^c 의 응력이 발생하였다는 것은 작용/반작용 법칙에 의해 기준 부재를 제외한 여타 구조물에 연결자유도를 통하여 $-\Delta f^c$ 의 힘이 기준 부재로 인하여 작용하였다는 것을 의미한다.
- 3) 2)항에서 기술된 기준 부재 응력이 여타 부재에 미친 영향은, 연결자유도를 통하여 여타 구조물에 $-\Delta f^c$ 의 힘이 작용할 때 각 부재에 발생하는 응력을 계산함으로써 평가할 수 있다. 연결자유도에 $-\Delta f^c$ 의 힘이 작용되도록 하기 위한 연결자유도 절점 하중을 Δr_a 라 하면, 이는 식 2에서 구한 여타 구조물의 연결자유도에 대한 응력분포 계수행렬 R_{aa}'' 를 이용하여 식 3이 성립하고, 식 4에 의하여 Δr_a 를 계산할 수 있다.

$$R_{aa}'' \Delta r_a = -\Delta f^c \quad (3)$$

$$\Delta r_a = R_{aa}''^{-1}(-\Delta f^c) \quad (4)$$

- 4) 식 4에 의하여 여타 구조물의 연결자유도에 $-\Delta f^c$ 를 유발하는 연결자유도 하중 Δr_a 가 계산되면 기준 부재의 응력에 의하여 i 번째 여타 부재에 발생하는 응력 $\Delta f^{(i)}$ 는 식 5에 의하여 계산된다. 여기에서 $R^{(i)}$ 는 식 1에 의하여 계산된 부재 응력분포계수행렬이고, μ 는 상관성을 평가하고자 하는 여타 부재의 갯수이다.

$$\Delta f^{(i)} = R^{(i)} \Delta r_a, \quad i=1, \dots, \mu \quad (5)$$

- 5) 식 5에 의하여 계산된 m 번째 기준 부재 응력에 의한 i 번째 여타 부재의 응력은 식 6에 의하여 기준 하중에 의한 여타 부재의 응력에 대한 비 ζ^{im} 로 평가될 수 있다. 여기에서 $R_k^{(i)}$ 는 i 번째 여타 부재의 응력분포계수행렬 중 k 번째 열벡터로서 k 번째 기준 자유도에 단위 하중이 작용할 때 i 번째 여타 부재에 발생하는 응력을 의미한다.

$$\zeta^{im} = \Delta f^{(i)} / R_k^{(i)} \quad (6)$$

본 연구에서는 ζ^{im} 를 i 번째 부재의 m 번째 부재에 대한 부재응력상관계수라 정의하였으며, 동일 외력에 대하

여 i 번째 부재에 생기는 응력과, m 번째 기준 부재의 응력에 의해 i 번째 부재에 생기는 응력의 비이다.

3. 응력분포계수를 이용한 재해석 기법

구조해석이 완료된 후 부분적으로 강성을 변경하여 재해석해야 할 경우, 전체 구조물은 강성이 변하지 않는 강성고정부분과 부재 강성이 변한 강성변경부분으로 구분 가능하며, 이 두 부분 구조는 공유자유도에서 연결된다. 그러므로 전체 구조물의 강성행렬은 강성고정부분과 강성변경부분의 강성행렬을 직접 합하여 구성할 수 있다. 이 때 강성고정부분의 강성행렬은 공유자유도만 잔류시키고 나머지 자유도는 소거한 부구조물로 만들 수 있다. 전체 강성행렬은 식 7에 보는 바와 같이 강성변경부분 강성행렬 K^c 와 강성고정부분 강성행렬 K^u 로 구분할 수 있다. 식 7에서 M_c 는 강성 변경 부재수이고, M_u 는 강성 고정 부재수이다.

$$K = K^c + K^u$$

$$K^c = \sum_{i=1}^{M_c} K^{(i)}; \quad K^u = \sum_{i=1}^{M_u} K^{(i)} \quad (7)$$

식 7을 재정리하면 식 8과 같다.

$$KF = (K^c + K^u)F$$

$$= K^c F + K^u F$$

$$= I \quad (8)$$

식 9를 $K^u F$ 에 대하여 정리하면 식 10과 같다...

$$K^u F = I - R^c \quad (10)$$

식 11의 양변에서 잔류자유도에 대응하는 요소들만으로 다시 등식을 구성하면 식 11과 같다.

$$K_{aa}^u F_{aa} = I_{aa} - R_{aa}^c \quad (11)$$

식 11로부터 K_{aa}^u 는 다음 식 12로 계산된다.

$$K_{aa}^u = (I_{aa} - R_{aa}^c) F_{aa}^{-1} \quad (12)$$

전체 구조물의 강성행렬은 강성변경부재들의 강성행렬과 식 12로 계산된 강성고정부분 부구조물의 강성행렬을 조합하여 구성할 수 있으며, 잔류자유도에 대응하는 구조물의 변위벡터, 하중벡터. 강성행렬을 각각 u_a, r_a, K_{aa} 라 하면 식 13으로 표현된다.

$$K_{aa} u_a = r_a$$

$$K_{aa} = (K_{aa}^c + K_{aa}^u)$$

$$= \left(\sum_{i=1}^{M_c} K_{aa}^{(i)} + K_{aa}^u \right) \quad (13)$$

이미 해석이 수행되었다면 잔류자유도 변위벡터 u_a 는 해석 결과로 주어진 변위벡터 u

$$r \quad r_a \text{ 는 식 13을 이용하여 계산할 수 있다.}$$

강성변경부재들의 새로운 강성행렬을 $\tilde{K}^{(i)}$ 라 하고, 이들의 합으로 구성되는 강성변경부분의 강성행렬을 \tilde{K}^c

$$\tilde{u}_a$$

$\tilde{f}^{(i)}$ 는 식 16으로 계산된다.

$$(\tilde{K}^c + K_{aa}^u) \tilde{u}_a = \left(\sum_{i=1}^{M_c} \tilde{K}^{(i)} + K_{aa}^u \right) \tilde{u}_a = r_a \quad (14)$$

$$\tilde{u}_a = \left(\sum_{i=1}^{Mc} \tilde{K}^{(i)} + K_{aa}^u \right)^{-1} r_a \quad (15)$$

$$\tilde{f}^{(i)} = \tilde{K}^{(i)} \tilde{u}_a, \quad i=1, \dots, Mc \quad (16)$$

식 16에 의해 강성 변경 부재의 새로운 부재력이 계산되면, 2장에서 기술한 부재간 응력 상관관계에 의하여 여타 부재의 부재력을 계산할 수 있다.

4. 구현과 실험

본 연구에서는 이상의 절차에 따라 부재간 응력상관계수를 산정하고, 부분적 강성 변화 시 재해석 수행을 위한 프로그램을 개발하였다. 이 프로그램을 이용하여 그림 1에 주어진 예제 건물을 대상으로 부재간 응력상관계수를 계산하였다. 프로그램은 MatLAB을 이용하여 작성하였으며, 본 장에서는 응력분포계수와 응력상관계수 산정 과정에서 계산된 본 연구에서 제안한 주요 수치들을 제시하고 그 의미에 대하여 고찰한다.

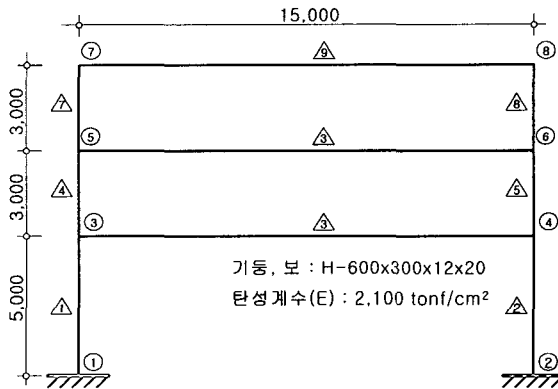


그림 1. 부재응력상관계수 산정 대상 건물

그림 1의 대상 건물은 3층 골조 구조물로서 기둥과 보로는 모두 H-600×300×12×20 형강이 사용되었다. 기준 부재는 4번 기둥이고, 기준 자유도로는 8번 절점 X 변위가 선택되었다. 연결자유도는 4번 기둥이 연결된 3번 및 5번 절점의 6개 자유도이고, 부재 응력상관계수를 구하는 기준 자유도는 8번 절점의 X 변위이다.

기준 부재인 4번 기둥에 대하여 식 1에 의해 계산되는 부재 응력분포계수행렬 중 5, 6, 7, 8번 절점 자유도 단위 하중에 대한 부분은 표 1과 같으며, 기준 자유도인 8-X 자유도에 대한 값은 굵게 표기되어있다..

표 1. 4번 기둥 기준 부재의 응력분포계수행렬 $R^{(4)}$ 의 일부

DOF DOF	5-X	5-Y	5-Z	6-X	6-Y	6-Z	7-X	7-Y	7-Z	8-X	8-Y	8-Z
8-X	-0.59E-01	-2.13E-03	-7.59E-02	-3.57E-01	3.01E-03	7.82E-02	-4.93E-01	-2.22E-03	-1.93E-02	-5.30E-01	3.11E-03	2.09E-02
3-Y	-1.75E-01	-9.78E-01	9.13E-02	-1.76E-01	-2.36E-02	9.11E-02	-5.81E-01	-9.73E-01	1.11E-01	-5.81E-01	-2.86E-02	1.11E-01
3-Z	1.00E+00	9.52E-02	-1.33E-01	6.23E-01	-1.03E-01	-1.44E-01	1.24E+00	1.16E-01	-1.42E-02	1.16E+00	-1.24E-01	-9.99E-02
5-X	6.59E-01	2.13E-03	7.59E-02	3.57E-01	-3.01E-03	-7.82E-02	4.93E-01	2.22E-03	1.93E-02	5.30E-01	-3.11E-03	-2.09E-02
6-Y	1.75E-01	9.78E-01	-9.13E-02	1.76E-01	2.36E-02	-9.11E-02	5.81E-01	9.73E-01	-1.11E-01	5.81E-01	2.86E-02	-1.11E-01
6-Z	9.75E-01	-8.88E-02	3.61E-01	4.47E-01	9.42E-02	-9.08E-02	2.38E-01	-1.09E-01	7.22E-02	4.27E-01	1.14E-01	3.72E-02

표 2. 여타 구조물의 응력분포계수행렬 $R_{\alpha\alpha}^n$

DOF	3-X	3-Y	3-R	5-X	5-Y	5-R
3-X	9.27E-01	1.77E-03	5.29E-02	6.59E-01	2.13E-03	7.59E-02
3-Y	1.92E-02	9.97E-01	-1.25E-02	1.75E-01	9.78E-01	-9.13E-02
3-R	2.59E-01	-1.59E-02	7.94E-01	-1.00E+00	-9.52E-02	1.33E-01
5-X	7.28E-02	-1.77E-03	-5.29E-02	3.41E-01	-2.13E-03	-7.59E-02
5-Y	-1.92E-02	2.68E-03	1.25E-02	-1.75E-01	2.22E-02	9.13E-02
5-R	-4.09E-02	1.06E-02	4.71E-02	-9.75E-01	8.88E-02	6.39E-01

표 3. 절점 하중 Δ_r

DOF	3-X	3-Y	3-R	5-X	5-Y	5-R
Axial	-3.96E-01	1.16E+01	-8.74E-C1	3.96E-01	-1.16E+01	2.06E+00
Shear	2.14E-01	3.45E-01	-3.33E-C1	-2.14E-01	-3.45E-01	-2.46E-01
Moment	5.10E-03	5.05E-01	-2.06E-C1	-5.10E-03	-5.05E-01	1.28E-01
Sum	-1.77E-01	1.24E+01	-1.41E+C0	1.77E-01	-1.24E+01	1.95E+00

표 4. 기준 부재(4번 기둥) 응력에 의한 각 부재 유발 응력 $\Delta f^{(i)}$

Member		1	2	3	4	5	6	7	8	9
I-X	Axial	-1.20E-01	1.20E-01	-1.20E-01	-	0	-7.85E-02	7.85E-02	-7.85E-02	7.85E-02
	Shear	-1.95E-03	1.95E-03	-2.29E-02	-	-2.09E-02	1.91E-02	1.85E-03	-1.85E-03	1.85E-03
	Moment	-1.74E-02	1.74E-02	-1.74E-02	-	0	-6.56E-03	6.56E-03	-6.56E-03	6.56E-03
	Sum	-1.39E-01	1.39E-01	-1.60E-01	-	-2.09E-02	-6.60E-02	8.69E-02	-8.69E-02	8.69E-02
I-Y	Axial	1.82E-02	-1.82E-02	-9.30E-02	-	-1.11E-01	8.98E-02	2.14E-02	-2.14E-02	2.14E-02
	Shear	-6.35E-03	6.35E-03	-6.35E-03	-	0	0	0	0	0
	Moment	5.14E-03	-5.14E-03	5.14E-03	-	0	0	0	0	0
	Sum	1.70E-02	-1.70E-02	-9.42E-02	-	-1.11E-01	8.98E-02	2.14E-02	-2.14E-02	2.14E-02
I-R	Axial	1.43E-01	2.16E-03	-2.17E-01	-	8.90E-01	2.20E-01	-2.20E-01	3.91E-01	9.45E-02
	Shear	-3.08E-03	1.50E-02	-8.94E-03	-	6.27E-02	3.69E-03	-3.69E-03	3.69E-03	3.69E-03
	Moment	-4.85E-03	-1.67E-02	4.30E-02	-	3.72E-02	-1.17E-02	-2.55E-02	2.55E-02	7.29E-04
	Sum	1.35E-01	4.44E-04	-1.83E-01	-	9.90E-01	2.12E-01	-2.49E-01	4.20E-01	9.89E-02
J-X	Axial	1.20E-01	-1.20E-01	1.20E-01	-	0	7.85E-02	-7.85E-02	7.85E-02	-7.85E-02
	Shear	1.95E-03	-1.95E-03	2.29E-02	-	2.09E-02	-1.91E-02	-1.85E-03	1.85E-03	-1.85E-03
	Moment	1.74E-02	-1.74E-02	1.74E-02	-	0	6.56E-03	-6.56E-03	6.56E-03	-6.56E-03
	Sum	1.39E-01	-1.39E-01	1.60E-01	-	2.09E-02	6.60E-02	-8.69E-02	8.69E-02	-8.69E-02
J-Y	Axial	-1.82E-02	1.82E-02	9.30E-02	-	1.11E-01	-8.98E-02	-2.14E-02	2.14E-02	-2.14E-02
	Shear	6.35E-03	-6.35E-03	6.35E-03	-	0	0	0	0	0
	Moment	-5.14E-03	5.14E-03	-5.14E-03	-	0	0	0	0	0
	Sum	-1.70E-02	1.70E-02	9.42E-02	-	1.11E-01	-8.98E-02	-2.14E-02	2.14E-02	-2.14E-02
J-R	Axial	2.17E-01	-3.63E-01	-5.27E-01	-	-8.90E-01	4.99E-01	-9.45E-02	-7.70E-02	7.70E-02
	Shear	8.94E-03	-2.09E-02	-4.19E-02	-	0	-3.69E-03	3.69E-03	-3.69E-03	3.69E-03
	Moment	5.69E-02	-3.53E-02	-1.84E-03	-	-3.72E-02	1.17E-02	-7.29E-04	7.29E-04	-7.29E-04
	Sum	2.83E-01	-4.19E-01	-5.71E-01	-	-9.27E-01	5.07E-01	-9.89E-02	-7.26E-02	7.26E-02

표 5. 기준 부재(4번 기둥)에 대한 부재응력상관계수 $\zeta^{im} = \Delta f^{(i)} / R_{\alpha}^{(i)}$

Member		1	2	3	4	5	6	7	8	9
I-X	Axial	3.78E+01	3.78E+01	4.99E+00	-	0	1.19E+00	9.03E-01	9.03E-01	9.03E-01
	Shear	6.14E-01	6.14E-01	9.49E-01	-	1.00E+00	-2.89E-01	2.12E-02	2.12E-02	2.12E-02
	Moment	5.46E+00	5.46E+00	7.21E-01	-	0	9.94E-02	7.55E-02	7.55E-02	7.55E-02
	Sum	4.39E+01	4.39E+01	6.66E+00	-	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00
I-Y	Axial	1.57E-01	1.57E-01	-2.16E+01	-	1.00E+00	5.13E+00	2.29E-01	2.29E-01	2.29E-01
	Shear	-5.50E-02	-5.50E-02	-1.48E+00	-	0	0	0	0	0
	Moment	4.45E-02	4.45E-02	1.20E+00	-	0	0	0	0	0
	Sum	1.47E-01	1.47E-01	-2.19E+01	-	1.00E+00	5.13E+00	2.29E-01	2.29E-01	2.29E-01
I-R	Axial	-2.60E+00	-1.05E-01	-6.15E+00	-	-8.67E+01	2.46E+00	1.74E+00	-3.16E+00	4.27E-01
	Shear	5.59E-02	-7.28E-01	-2.54E-01	-	-6.11E+00	4.14E-02	2.92E-02	-2.98E-02	1.67E-02
	Moment	8.80E-02	8.11E-01	1.22E+00	-	-3.82E+00	-1.31E-01	2.02E-01	-2.06E-01	3.29E-03
	Sum	-2.46E+00	-2.15E-02	-5.19E+00	-	-9.64E+01	2.37E+00	1.97E+00	-3.39E+00	4.47E-01
J-X	Axial	3.78E+01	3.78E+01	4.99E+00	-	0	1.19E+00	9.03E-01	9.03E-01	9.03E-01
	Shear	6.14E-01	6.14E-01	9.49E-01	-	1.00E+00	-2.89E-01	2.12E-02	2.12E-02	2.12E-02
	Moment	5.46E+00	5.46E+00	7.21E-01	-	0	9.94E-02	7.55E-02	7.55E-02	7.55E-02
	Sum	4.39E+01	4.39E+01	6.66E+00	-	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00
J-Y	Axial	1.57E-01	1.57E-01	-2.16E+01	-	1.00E+00	5.13E+00	2.29E-01	2.29E-01	2.29E-01
	Shear	-5.50E-02	-5.50E-02	-1.48E+00	-	0	0	0	0	0
	Moment	4.45E-02	4.45E-02	1.20E+00	-	0	0	0	0	0
	Sum	1.47E-01	1.47E-01	-2.19E+01	-	1.00E+00	5.13E+00	2.29E-01	2.29E-01	2.29E-01
J-R	Axial	3.36E+00	-3.27E+01	6.34E+02	-	-1.22E+01	9.80E+00	4.27E-01	-1.63E-01	1.46E-01
	Shear	1.38E-01	-1.88E+00	5.04E+01	-	0	-7.25E-02	1.67E-02	7.83E-03	-5.98E-03
	Moment	8.80E-01	-3.18E+00	2.22E+00	-	-5.09E-01	2.29E-01	3.29E-03	1.55E-03	-1.38E-03
	Sum	4.37E+00	-3.77E+01	6.87E+02	-	-1.27E+01	9.96E+00	4.47E-01	-1.54E-01	1.37E-01

식 2에 제시된 기준 부재를 제외한 여타 구조물의 연결자유도에 대한 응력분포계수행렬 R_{α}^* 를 구하면 표 2와 같다. R_{α}^* 와 식 4를 이용하여 여타 구조물에 표 1 8-X 열에 주어진 하중이 작용하도록 하는 절점하중 Δr_{α} 를 구하면 표 3과 같다.

절점 하중 Δr_{α} 가 작용할 때 여타 부재에 발생하는 부재력, 즉 기준 하중에 의하여 기준 부재에 발생하는 부재력으로 인해 여타 부재에 발생하는 부재력을 식 5에 의하여 계산한 결과가 표 4이고, 이를 기준 자유도에 작용하는 단위하중에 의하여 각 부재에 발생하는 응력으로 나눈 부재응력상관계수는 표 5와 같다..

5. 결론

본 연구에서는 특정 자유도에 단위 하중이 작용할 때 각 부재에 발생하는 응력을 나타내는 부재 응력분포계수와 한 부재의 응력과 여타 부재의 응력간의 상관관계를 나타내는 부재응력상관계수를 제안하였다. 이는 부재 응력간 상관관계를 정량화함으로써 외력에 대한 힘의 흐름을 파악하고, 구조물의 해석이나 설계 시 그 효율성을 높이고자 하는 목적으로 수행되었다.

부재 응력분포계수는 부재의 강성행렬과 구조물 유연성행렬의 곱으로 계산되고, 부재응력상관계수는 한 부재에 발생하는 응력에 의하여 여타 부재에 발생하는 응력을 계산하는 방법으로 평가하였다.

부재 응력분포계수는, 구조물에 부분적인 변경이 있을 때 해당 부재의 부재력을 계산하고, 부재간의 응력 상관관계를 이용하여 여타 부재의 응력을 계산함으로써 전체 구조물을 재해석하지 않고도 응력 재분배를 계산할 수 있는 기법 개발에 활용되었다.

본 논문에서 제시한 각종 계수와 기법들은 부분적으로 변경이 있는 구조물을 실시간 응답 수준으로 재해석할 수 있게 함으로써, 향후 비선형해석 기법 개발, 최적 설계 기법 개발 등 대규모 구조물의 해석과 설계에 폭넓게 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행 한 2003년도 건설핵심기술연구개발사업(03산학연C103A1040001-03A0204-00110)에 의한 것임

참고 문헌

1. 박효선, 서지현, "부재력 특성을 고려한 설계변수를 사용한 고층건물 변위조절설계법 개발," 한국전산구조공학회 논문집, 제17권 제2호, 2004, pp.215~222
2. 서지현, 박효선, "횡하중과 연직하중을 받는 고층건물의 변위설계를 위한 재분배기법 개발," 한국전산구조공학회 논문집, 제17권 제1호, 2004, pp.49~58
3. Bathe, K.J., Finite Element Procedures, Prentice-Hall Inc., New Jersey, 1996, pp.717~718
4. Chan, C.M., "Automatic Optimal Design of Tall Steel Building Frameworks," Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol.121, No.5, pp.838~847
5. Charney, F.A., "The Use of Displacement Participation Factors in the Optimization of Drift Controlled Buildings," Proceedings of 2nd Conference on Tall Buildings in Seismic Regions, 55th Regional Conference,

Los Angeles, 1991

6. Leon, S.J., *Linear Algebra with Applications*, Macmillan Publishing Co., New York, 1980

7. Miller, G.R. "Localized Tensor-Based Solvers for Interactive Finite Element Applications Using C++ and Java", *Computers & Structures*, Vol.81, 2003, pp.423~437

8. Rucki M.D., Miller G.R., "An Adaptable Finite Element Modeling Kernel," *Computers & Structures*, Vol.63, No.3, 1998, pp.399~409