연구논문집 제 7 권 제 1 호 p.51~54. 1976

고층건축물에 대한 실용적 구조해석법

이 동 근

건축학과

〈요 약〉

현재 널리 사용되고 있는 일반적인 구조해석법은 실제 시공순서를 고려하지 않고 개발된 방법이다. 그러나 고층건축물에 대해서 일반적인 구조해석법을 사용해서 계산하게되면 모순점이 드러난다. 이러한 문제를 해결하기 위한 한가지 방법을 제시해 본다.

A Practical Method of Structural Analysis for High-rise Buildings.

Lee Dong Gun

Dept. of Architecture

〈**Abstract**〉

There are some problems in the conventional theoretic methods of Structural analysis when they are applied to the high-rise buildings. Because such methods are not based on the practical construction processes.

In this paper, we propose a practical method of structural analysis for high-rise buildigns.

Ⅰ. 필산에 의한 구조해석법과 컴퓨터에 의한 Matrix 해석법의 차이점

컴퓨터가 실용화되기 이전에 건축물의 구조해석을 위해 이미 개발된 대표적인 방법으로는 Slope-Deflection Method와 Moment Distribution Method가 있다. 이 두가지 방법은 모두 현재에도 널리 쓰이고 있는 방법이긴 하나 그 사용에 많은 제약이 따른다. 예로써 전자는 횡력을 받는 구조물을 해석할 때에는 대단히 편리하지만 구조물의 형태가 격자형이 아닌 경우에는 해석이 복잡해지며 후자는 횡력을 받는 구조물의 해석을 할 경우에 복잡해지게 되는 것이다. 또 두가지 모두가 간산을 위하여 개발된 방법인 만큼 계산의 편의를 도모하기 위해 중요한 몇가지의 미지수만을 남겨두고 나머지는 무시하고 계산을 하기 때문에 복잡하거나 규모가 큰 구조물을 해석한 결과에 상당히 큰 오차가 생길수도 있다.

컴퓨터가 등장해서 구조물의 해석에 쓰이기 시작한 후에는 Matrix를 이용한 해석법이 많이 개발이 되었고 그중에서도 Direct Stiffness Method가 가장 많이 쓰이고 있다. 이 방법에서는 Slope-Deflection Method나 Moment Distribution Method 같은 필산법에 의한 계산과정에서 무시했던 부재의 길이의 변화까지 고려에 넣어서 계산을 하게되므로 구조물의 부정정 차수가 높은 대규모 건축물의 해석에는 상당히 정밀한 계산을 할 수 있게 하고 있으며 구조물의 형태에 관계없이 계산이 가능하다는 대단히 중요한 장점도 가지고 있다.

Ⅱ. 일반적 Matrix 구조해석이론의 실제 시공과정에 대한 모순점

일반적인 Matrix 구조해석법에서 가정하고 있는 한가지 중요한 사실은 구조물의 자중이 구조체가 완전히 시공이 되고 난 후에 적재하중과 함께 동시에 작용된다는 것이다. 예를들면 그림 1-A와 같은 구조물은 구조체가 시공되는 도중에는 전혀 자중이 작용하지 않고 있다가 구조체가 시공이 끝난 후에 그림 1 B와 같이 자중과 적재하중이 동시에 작용한다고 가정하는 것이다. 이러한 가정으로 인하여 다음과 같은 문제가 발생하게 된다.

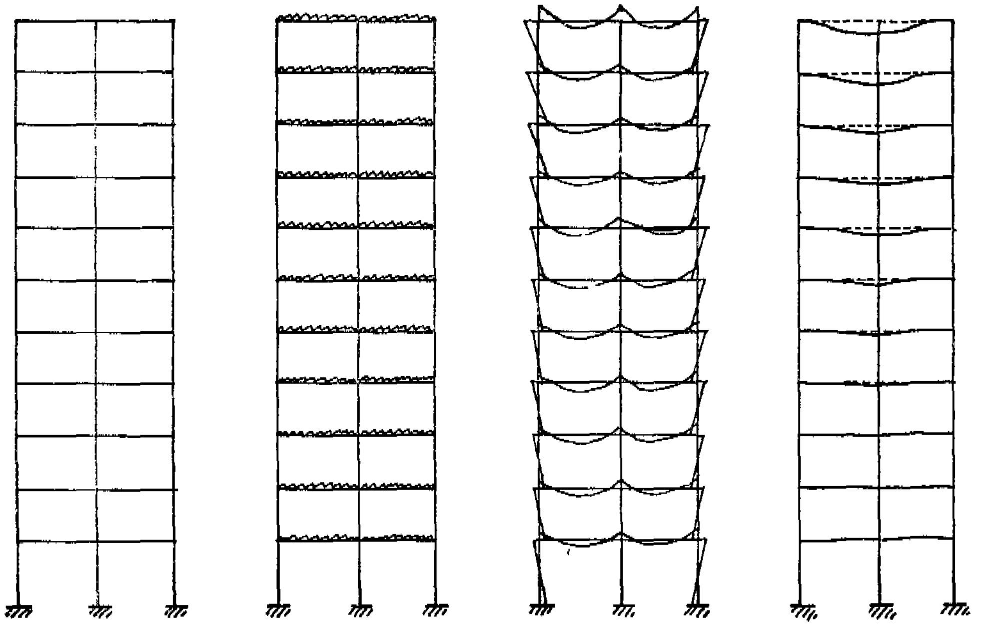


그림 1-a　　그림 1-b　　그림 1-c　　그림 1-d

<그림 1>

그림 1 A에 보이신 바와 같은 일반적인 구조물에 대하여 생각해 보기로 하자. 건물의 외부에 면한 기둥은 건물의 내부에 있는 기둥에 비해서 대단히 큰 Bending Moment를 받게된다. (그림 1-C) 이러한 외부기둥은 압축력 이외에도 Bending Moment에 대해서 견디기 위하여 여분의 단면적을 필요로 하게된다. 실제의 경우에 건물의 외부 기둥은 내부 기둥에 비해 거의 절반정도 밖에 되지 않는 압축하중을 받지만 같은 크기의 단면적을 가지도록 설계가 되는 수가 많다. 따라서 외부 기둥의 단면에 작용하는 평균압축응력(σ_a)은 내부 기둥의 그것에 비해 거의 절반밖에 되지않는 것이다.

일반적인 구조해석법에 의해서 n층의 구조물을 설계할 때 외부기둥과 내부기둥의 길이변화를 간단히 계산해 보면 다음과 같다.

$$\Delta l_1 = \frac{\sigma_{a1} \times n \times h}{E_s} = \frac{0.7\mathrm{t/cm^2} \times n \times 350\mathrm{cm}}{2.1 \times 10^3 \mathrm{t/cm^2}} = 0.1167 \times n\,\mathrm{cm}$$

$$\Delta l_2 = \frac{\sigma_{a2} \times n \times h}{E_s} = \frac{1.4\mathrm{t/cm^2} \times n \times 350\mathrm{cm}}{2.1 \times 10^3 \mathrm{t/cm^2}} = 0.233 \times n\,\mathrm{cm}$$

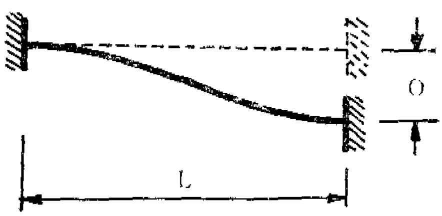
Δl_1 : 외부기둥 전체길이에 대한 길이변화
Δl_2 : 내부기둥 전체길이에 대한 길이변화
σ_{a1} : 외부기둥에 작용하는 평균압축 응력
σ_{a2} : 내부기둥에 작용하는 평균압축응력
n : 건물의 층수
h : 건물의 층고

이 식은 외부기둥과 내부기둥에 대한 평균 압축응력이 각각 0.7 t/cm²와 1.4t/cm²이 되는 철골 구조물에 대한 계산인데 그 차이를 Δ라 하면

$$\Delta = \Delta l_2 - \Delta l_1 = 0.1167 \times n\,\mathrm{cm}$$

가 된다. 그러나 실제의 경우에는 실제 하중의 50%정도가 되는 자중을 제외한 나머지에 대한 기둥길이의 변화만 고려하면 된다. 왜냐하면 어떤 층은 시공할 때에는 그 바로 아래층까지의 기둥이 자중에 의해 길이의 변화가 생긴후에 그 층의 기둥과 보를 시공하게 되기 때문이다. 따라서 실제로 계산결과에 반영되어야 할 기둥의 길이변화 Δl_1와 Δl_2는 각각 $0.058 \times n$cm와 $0.1167 \times n$cm가 되고 그 차이 Δ'는 $0.058 \times n$cm가 된다. 그런데 $0.058 \times n$cm의 길이변화는 실제로는 일어나지 않는 것임에도 불구하고 일반적인 해석법에 의한 계산결과에는 포함이 되어 있는 것이다. 이 오차는 층수에 비례하므로 5층이하의 건물에서는 별 문제가 되지 않으나 층수가 많아지게 되면 심각한 문제가 된다. 예로써 50층정도의 건물의 경우에는 3cm 정도의 오차가 생기게 되는 것이다. (그림 1-D 참고) 이러한 계산과정의 오차가 구조물에 미치는 영향을 검토해 보면 다음과 같다. 그림1 D에서 최상층의 보를 따로 분리해서 그리면 그림 2와 같이 된다.

H 400×150/12.5의 형강으로 된 길이 9m의 보에 대해서 생각해 보기로하면 처짐 Δ가 3cm인 경우에 보의 양단에 생기는 Bending Moment는



<그림 2>

$$M = \frac{6EI\Delta}{l^2} = \frac{6 \times 2.1 \times 10^3 \times 3.17 \times 10^4 \times 3}{900^2}$$

$$= 1.44 \times 10^3 (\mathrm{t \cdot cm})$$

가 된다. 이것은 $H-400 \times 150 \times 12.5$가 견딜 수 있는 최대 Bending Moment인 $2.623 \times 10^3 \mathrm{t \cdot cm}$에 비하면 50% 정도가 된다. 이것은 일반적인 해석법에 의해 50층 정도의 고층건물을 설계할 때 최상층의 보에 생기는 Bending Moment에는 50%정도의 오차가 생길 수 있다는 것을 의미하는 것으로써 실제로 대단히 심각한 문제이다. 이러한 문제는 다음에 제시되는 방법으로 계산을 하면 그 오차를 대부분 줄일 수 있게된다.

Ⅲ. 실용적 구조해석법

위에서 지적한 문제점을 해결하기 위해서는 해석과정을 시공과정에 준해서 수행하면 될 것이므로 다음과 같은 방법을 사용하면 될것이다.

1층의 시공이 끝이나면 1층의 기둥은 층바닥의 자중을 받게 되고 2층의 시공이 끝이 나면 2층의 기둥은 2층 바닥의 자중을 받고 1층 기둥은 2층과 3층의 바닥의 자중을 받게된다. 같은 방법으로 반복되다가 맨 윗층의 시공이 끝나게 되는 2층의 기둥은 윗층부분의 자중을 받게된다. 그리고 맨 윗층의 보는 윗부분의 자중에 의한 Bending Moment가 발생되고 그 크기는 보의 길이나 [illegible] 하중상

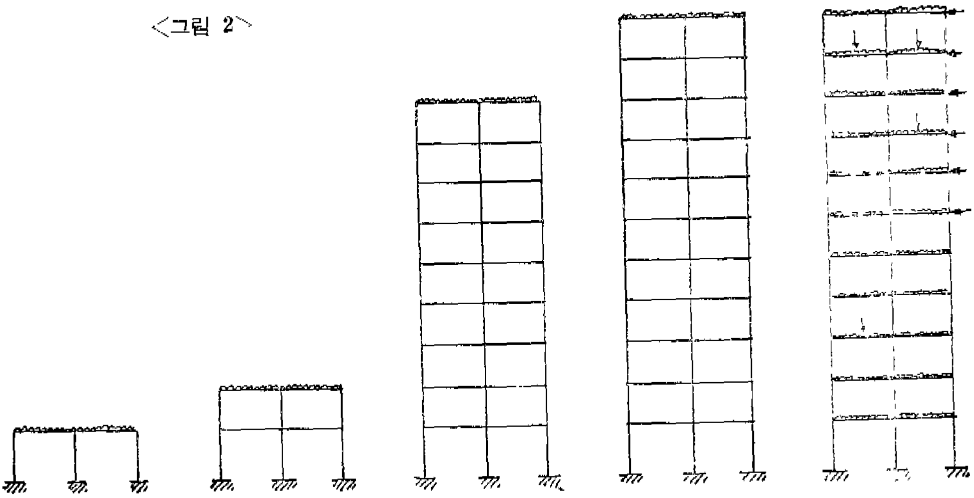


그림 3-a 그림 3-b 그림 3-c 그림 3-d 그림 3-e

<그림 3>

내에만 반제되고 건물의 층수에는 아무런 관계가 없게 되는 것이다. 이렇게해서 실제 구조체의 시공이 끝나게되면 적재하중이 건물 각층에서 동시에 작용하게 된다.

따라서 구조물의 해석도 이러한 순서에 의해 Superposition의 원리를 이용해서 다음과 같이 처리하면 된다.

1-a : 1차 시공부분에 대한 가중에 관한 응력해석 <그림 3-a>

1-b : 계산 결과의 부재응력을 하중(Member end Action)으로 치환

2-a : 1차 시공부분에 2차 시공부분을 추가

2-b : 1차 시공부분의 하중은 Member End Action을 2차 시공부분의 하중은 자중을 작용시킨 상태에 대한 응력해석 <그림 3-b>

2-c : 계산 결과의 부재응력을 다시 Member End Action으로 치환

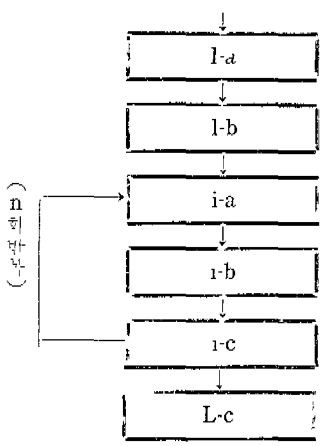
n-a : (n-1)차까지의 시공부분에 대해 n차 시공부분을 추가

n-b : (n-1)차까지의 시공부분에는 Member End Action, n차 시공부분에는 자중이 작용하는 상태에 대한 응력해석 <그림 2-d>

n-c : 계산결과의 부재응력을 다시 Member End Action으로 치환.

L-a : (n-c)의 결과에다 적재하중을 추가하여 최종적으로 응력해석 <그림3-e>

이것을 알기쉽게 도표로 표시하면 도표 1과 같이 된다.



(도표 1)

이렇게 해서 구해진 결과는 Slope-Deflection Method에 의해 계산된 결과와 일반적인 Matrix Method에 의해 구해진 결과의 중간값 정도가 얻어지게 될 것이다.

Ⅳ. 결 론

여기에 소개한 구조해석 방법을 지금 일반적으로 쓰이고 있는 구조해석용 컴퓨터 프로그램에다 도표 1과 같은 계산과정을 삽입하게 되면 쉽게 실용화할 수 있게 된다. 이방법에 대해 한가지 예상할 수 있는 문제점은 응력해석과정이 여러차례 반복되기 때문에 고층 건물의 해석에 계산기 사용시간이 더 많이 필요하게 될 것이라는 점이다. 그러나 반복과정을 자세히 살펴보면 처음에는 아주 간단한 구조물에 대해 해석을 하게 되므로 실제 계산시간은 그리 길어지지 않는다. 또 시공단위를 2층마다 또는 그 이상으로 잡아서 계산시간을 단축시킬 수도 있다. 단계 시공과정을 여러차례로 많이 나눌수록 계산오차가 줄어들게 되지만 실제적으로는 계산시간과 오차의 크기를 동시에 고려해서 알맞게 결정하면 된다. 현재 우리나라에는 50층 정도의 건물이 가장높은 건물로써 시공중에 있지만 앞으로 더 높은 건물들이 많이 설계, 시공되어질 경우에는 여기에 소개한 구조해석방법이 대단히 유익하게 사용될 것으로 믿는다.

참 고 서 적

1. S. J. McMINN, *Matrices for structural Analysis*. SPON LONDON, 1966
2. ZIENKIEWICZ, *The Finite Element Method*, McGraw-Hill. LONDON, 1971
3. TIMOSHENKO. & YOUNG. *Elements of Strength of Materials*, D. Van Nostrand: Princeton, 1962
4. William Weaver Jr. *Computer Programs for Structural Analysis*. D. Van Nostrand Princeton, 1967.