

# RC 건물에서 주축의 설정이 설계지진력에 미치는 영향

## Effect of Reference Axis of RC Buildings on Seismic Design Member Forces

이 한 선\* 고 동 우\*\*

Lee, Han Seon, Ko Dong Woo

### ABSTRACT

The structure should be designed to be safe to any direction of earthquake input. However, the reference axes whereby the structure is analyzed and designed against earthquake may influence the design member forces. This study is concerned with the effect of the choice of the reference axes on the seismic design member forces. The analytical results on member forces using the principal axes suggested by Wilson and the global axes generally adopted in design offices show that the values of member forces by the principal axes be about 15% smaller than those by the global axes in the example structure.

### 1. 서론

지진하중을 받는 구조물을 해석하거나 설계할 때 부재별로 가장 큰 하중효과가 발생하는 방향에 대해 부재를 설계하여야 한다.<sup>1)2)</sup> 그러나, 건물의 형태가 비정형일 때 이 방향을 정하는 것은 매우 어렵다. 현행 기준에서는 이에 대하여 직교하는 두 방향에 대해 해석을 별도로 수행하거나,<sup>3)</sup> 두 직교방향 지진에 대한 해석결과를 100/30 또는 SRSS법에 따라 조합하여 설계하면, 모든 방향에서 오는 지진에 대해 저항할 수 있는 것으로 간주한다.<sup>1)2)</sup> 지진에 가장 위험한 방향을 찾기 위해 Wilson 교수<sup>4)</sup>와 Lopez 교수<sup>5)</sup> 등은 CQC법을 응용하여 확장시킨 CQC3법에 따라 건물의 가장 위험한 축을 찾는 방법을 제시하였으나, CQC3법은 아직 연구가 진행중인 방법으로서 현재 실무에서 사용하는 상용프로그램에서는 적용할 수 없다. 본 논문에서는 우리나라에 실존하는 건물에 대해 실무에서 사용하는 방법에 따라 주축을 정하는 방법으로 해석을 수행한 후 설계부재력을 구함으로써 주축설정이 설계부재력에 미치는 영향에 대해 연구하였다.

### 2. 주축의 정의와 결정

지진의 방향에 대하여 UBC 97,<sup>1)</sup> IBC 2000<sup>2)</sup>에서는 각 부재력에 가장 큰 하중효과가 발생하는 방향을 지진의 방향으로 적용하여 해석을 수행하도록 하고 있다. 그러나, 이와 같이 각 부재의 설계부재력을 구하기 위해서는 모든 방향으로 해석을 수행한 후 각 부재별로 가장 큰 하중효과를 보여주는 각도에 대해 설계해야 하는데, 이는 시간, 노력이 지나치게 많이 들어 현실적이지 못하다. 따라서, 기준에서는 두 직각방향으로 지진력을 작용시켜 설계하면 이

\* 고려대학교 건축공학과 교수, 정회원,

\*\* 고려대학교 건축공학과 박사과정, 정회원

표 1 지진의 방향성 적용기준

기준	UBC 97 <sup>1)</sup>	AIK 2000 <sup>3)</sup>	IBC 2000 <sup>2)</sup>
규정	지진구역 2, 3, 4인 건물 중 1. 비평행시스템 비정형 2. 두 주축에 대해 동시에 비틀림 비정형 3. 2개 또는 그 이상의 횡력저항시스템이 만나는 부분의 기둥	해당규정 없음	내진설계범주 C: 비평행 시스템 내진설계범주 D: 모든 건물

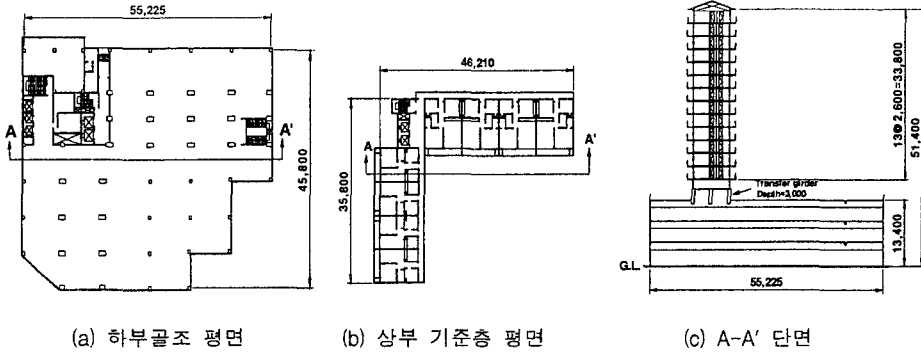


그림 1 대상구조물의 개요 (단위 : mm)

를 만족하는 것으로 간주한다. 단, 표 1에서 제시하는 건물 또는 부재에 대해서는 부재력을 구할 때 두 직각방향에 대한 해석결과에 100/30법 또는 SRSS법을 적용하여 부재력을 구한다.

현재 우리나라의 실무에서는 가력방향을 변화시키며 모드해석을 수행한 후 직각방향 반력이 나타나지 않는 방향을 주축으로 보는 경우와 배치된 전단벽 또는 기둥의 주된 방향을 주축으로 가정하는 경우 두 가지중 하나를 사용하고 있다. 본 연구에서는 실무에서 사용하는 두 가지 방법으로 스펙트럼해석을 수행하여 그 결과를 비교하였다.

### 3. 예제건물의 해석

건물의 주축 설정이 설계부재력에 미치는 영향을 평가하기 위해 그림 1과 같은 한 기둥 비정형 건물을 대상건물로 선정 후 SAP 2000<sup>6)</sup>을 사용하여 해석을 수행하였다. 대상 건물의 지상 1층 ~ 3층은 상가로서 보-기둥 골조의 형식을 이루고 있고, 지상 4층 ~ 17층은 아파트로서 벽식구조를 이루어 상부와 하부의 강성 및 강도의 차이가 극심하고, 수평적으로는 2축 비대칭의 형태를 띠고 있다. 건물의 등가정적지진하중은 UBC 97에 따라 식 (1)과 같이 구하였다. 이때 중요도계수  $I = 1.25$ , 반응수정계수는 내력벽시스템의 철근콘크리트 전단벽의 4.5와 철근콘크리트 특수모멘트저항시스템의 8.5 중 작은 값인 4.5를 적용하였고, 고유주기는 기타구조의 고유주기 산정식으로부터 식 (2)와 같이 구하였다.

$$V_s = \frac{C_v I}{RT} W = \frac{0.16 \times 1.25}{4.5 \times 0.9368} \times 193,243 kN = 0.0474 \times 193,243 kN = 9,168 kN \quad (1)$$

$$T = 0.0488 (h_n)^{3/4} = 0.0488 (51.4 m)^{3/4} = 0.937 초 \quad (2)$$

그림 2는 스펙트럼 해석 시 사용된 스펙트럼과 고유치 해석결과 나타난 모드별 고유주기를 보여주고 있다. 1차모드의 고유주기는 0.952초로서 정적해석에서 구한 고유주기 0.937초와 거의 비슷하다.

그림 3은 스펙트럼의 가력각도를 10도씩 변화시키면서 스펙트럼 해석을 수행하여 구한 결과를 보여준다. 그림 3

(a)는 가력방향 밀면전단력과 직각방향 밀면전단력으로서 스펙트럼 각도가 50도와 150도일 때 직각방향 밀면전단력이 가장 작은 값을 보여주었다. 따라서, 50도를 주축으로 140도를 종축으로 정하였다. 그림 3 (b)는 스펙트럼해석결과로부터 얻은 밀면전단력과 정적밀면전단력을 일치시키기 위해 가력방향 밀면전단력(F(P))과 정적밀면전단력 (Vs)의 비로 구한 동적 밀면전단력 보정계수(Modification Factor)를 스펙트럼 각도별로 보여준다. 보정계수는 0도(X축)와 90도(Y축)일 때 각각 0.308과 0.437이고, 50도(주축)와 140도(종축)일 때 각각 0.369와 0.246으로 90도일 때 가장 큰 값을 보여주었다.

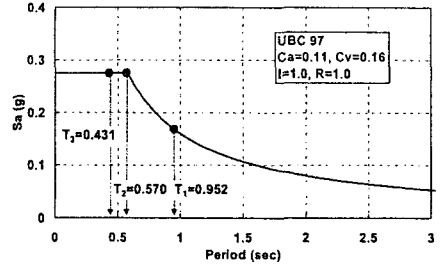
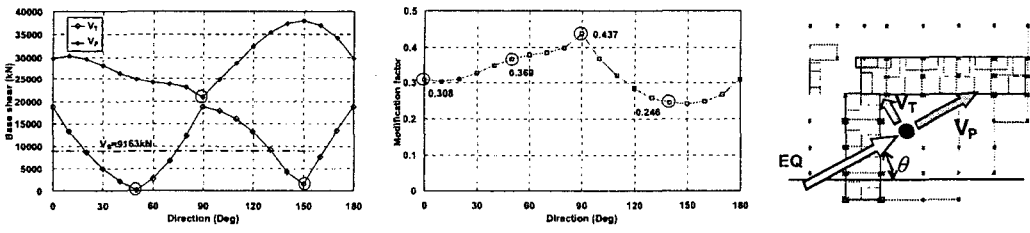


그림 2 설계스펙트럼

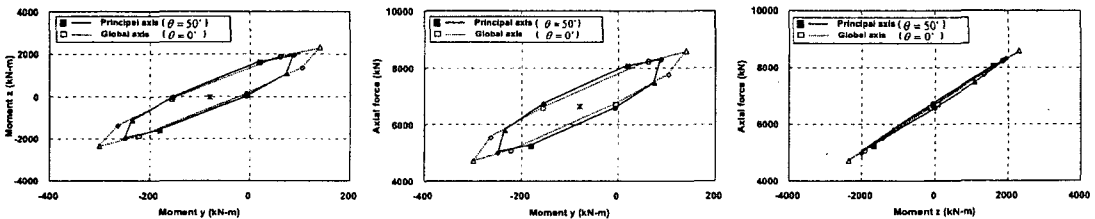
그림 4는 X,Y축으로 스펙트럼해석을 수행하여 구한 1층 기둥의 설계부재력과 주,종축에 대해 스펙트럼해석을 수행하여 구한 기둥의 설계부재력을 비교하고 있다. 설계부재력을 구할 때 하중조합은 1.2D+0.5L+1.0E의 하중조합을 적용하였으며, 이때 지진하중 효과는 그림 3 (b)와 같이 구한 보정계수를 적용한 값이다. 또한, 지진의 직교성과 방향성을 고려하기 위한 방법으로 100/30법을 적용하였다. 주축을 찾아서 스펙트럼을 수행하여 구한 설계부재력은 X,Y축으로 스펙트럼해석을 수행하여 구한 설계부재력보다 축력은 3%, My는 17%, Mz는 15% 작은 값을 보여주었다.

그림 5는 보정계수를 적용했을 때 지진방향의 각도별 대상건물 1층 기둥들의 모멘트 값의 변화를 보여준다. 밀면전단력으로부터 구한 주축과 종축은 각각 50도와 140도였지만, 1층 기둥들이 가장 큰 My와 Mz를 보여주는 각도는 90도이고, 가장 작은 My와 Mz를 보여주는 각도는 각각 150도와 160도를 보여주어 건물의 주축과 부재의 가장 위험한 각도는 다를 수 있음을 알 수 있다.



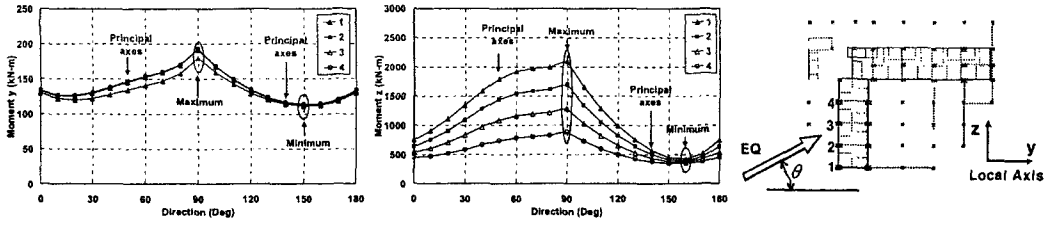
(a) 동적밀면전단력 (b) 동적밀면전단력 보정계수 (M.F.) (c) 밀면전단력의 방향

그림 3 지진방향의 변화에 따른 동적밀면전단력, 보정계수의 변화



(a) My - Mz (b) P - My (c) P - Mz

그림 4 주축설정에 따른 설계부재력의 변화 (보정계수 적용)



(a) My (b) Mz (c) 기둥의 위치  
그림 5 지진 방향의 변화에 따른 1층 기둥의 모멘트 비교 (보정계수 적용)

#### 4. 결론

이상의 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 대상건물에 대한 해석결과를 바탕으로 볼 때, 현재 실무에서 많이 사용하는 방법으로 주축을 찾아 스펙트럼해석을 수행하여 설계부재력을 구하면, 부재축을 주축으로 정하여 해석을 수행하였을때보다 설계부재력이 15%정도 감소하였다.
- 2) 대상건물에 대한 해석결과 밀면전단력으로부터 구한 주축과 종축은 각각 50도와 140도였지만, 1층 기둥들이 가장 큰 My와 Mz를 보여주는 각도는 90도이고, 가장 작은 My와 Mz를 보여주는 각도는 각각 150도와 160도를 보여주어 건물의 주축과 부재의 가장 위험한 각도는 다를 수 있음을 알 수 있다.

#### 감사의 글

이 논문은 2002년도 선도연구자 지원과제(KRF-2002-041-D00539)로서 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었으며, 이 지원에 감사드린다.

#### 참고문헌

1. International Council of Building Officials (ICBO), "Uniform Building Code," ICBO, 1997
2. International Code Council (ICC), "International Building Code," ICC, 2000
3. 대한건축학회, "건축물 하중기준 및 해설," 대한건축학회, 2000
4. E.L. Wilson, "Three-Dimensional Static and Dynamic Analysis of Structures," Computer and Structures, Inc., Berkeley, CA, 2002
5. O.A. Lopez and R. Torres, "The Critical Angle of Seismic Incidence and the Maximum Structural Response," Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 26, 1997, pp. 881-894.
6. Computer and Structures, Inc. (CSI), "SAP 2000 Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures," Computer and Structures, Inc., Berkeley, CA, 2002