

# 설계부재력에 대한 지진하중의 방향 및 직교성 영향

## Directional and Orthogonal Effects of Seismic Loads on Design Member Forces

이 한 선\*                      고 동 우\*\*                      정 성 옥\*\*\*  
Lee, Han-Seon                      Ko, Dong-Woo                      Jeong, Seong-Wook

### 국문요약

최근 우리나라에서는 건축적 또는 사회적 요구로 비정형 고층 RC 건물이 급증하고 있으나, 이와 같은 건물을 내진설계하는데 요구되는 지진의 방향성과 직교성을 적용하기 위한 구체적인 방법이 제시되어 있지 않아 설계자들이 설계하는데 어려움이 있다. 따라서, 본 논문에서는 우리나라에서 실제 건설된 비정형고층 RC건물을 스펙트럼해석법과 시간이력해석법에 따라 SAP2000을 사용하여 동적해석을 수행한 후, 하부골조 기둥의 설계력을 비교함으로써 주축의 설정과 지진의 방향성을 고려하는 것이 설계력에 미치는 영향, 그리고 방향성과 직교성을 모두 만족시킬 수 있는 방법에 대해 연구하였다. 연구결과 내린 결론은 다음과 같다. 1) 지진에 직각방향 전단력이 발생하지 않는 방향을 주축으로 정의하여 설계부재력을 구하면, 동적밀면전단력 보정계수가 감소하기 때문에 X, Y축을 주축으로 정하여 설계부재력 구하였을 때보다 설계부재력이 15%정도 작은 값을 보여주었다. 2) 100/30법에 따라 방향성을 고려하여 구한 설계부재력은 2방향 시간이력해석결과로부터 구한 최대설계부재력보다 큰 값을 보여주어 100/30법에 따라 직교성을 고려하는 방법은 타당한 것으로 나타났으나, 시간이력해석결과에서 부재력을 나타내는 벡터( $P$ ,  $M_x$ , and  $M_y$ ) 중 많은 부분이 100/30법에 따라 예측한 설계부재력의 영역을 벗어났다.

**주요어** : 비정형성, 건물의 주축, 지진의 방향성, 지진의 직교성

### ABSTRACT

Many RC building structures of multiple uses constructed in Korea have the irregularities of torsion and soft story at bottom stories simultaneously. Seismic design codes generally require dynamic analysis and to take into account the effect of earthquake excitations in the orthogonal direction using the approximate methods of 100/30 and SRSS for this type of building structures. And all buildings should be designed to be safe in any direction of earthquake input. But, most of designers have difficulty in considering the orthogonal and directional effect of earthquake. The objective of the study stated herein is to verify 1) the effect of the choice of the reference axes on the seismic design member forces by comparing the analytical results on member forces using the principal axes suggested by Wilson and the global axes generally adopted in design office, 2) the validity of the 100/30 and SRSS methods by comparing the member forces obtained through linear elastic time history analysis with those obtained through using response spectrum analysis and 100/30 (or SRSS) methods. Based on the observations on the analytical results, it is concluded as follows: 1) The values of member forces by principal axes can be about 15% smaller than those by the global axes in the example structure. 2) Though the values of member forces given by time history analysis are generally within the peak values predicted by 100/30 and SRSS methods, many member force vectors ( $P$ ,  $M_x$ , and  $M_y$ ) by time history analysis were located outside the boundaries predicted by the approximate method such as the 100/30 method.

**Key words** : irregularity, principle axis of building, direction of earthquake, orthogonal effect of earthquake

## 1. 서 론

근래들어 복합용도 건물의 증가와 건축적 요구에 의해 건물은 획일화된 형태에서 벗어나 다양한 형태를 띠고 있다. 이 경우 건물은 비정형성을 띠게 되어 강한 지진 시 예상치 못한 거동에 의해 파괴에 이를 수 있다. 이와 같은 불의의 사고에 대비하기 위해 각국의 내진기준에서는 비정형 건물에 대해 방향성의 고려, 비틀림증폭계수의 적용, 불연속 벽을 지지하는 기둥에 대한 특별하중조합과 상세 등을 통해 특별한 주의를 요구하고 있다.

실제 지진은 여러 방향에서 동시에 작용하지만, 해석에서는 직교하는 두 방향 지진에 대해 각각 부재력을 구하는데, 이때 직각방향으로 작용하는 지진파의 크기가 어떻게 고려되어야 하는가에 대한 이해는 부족한 실정이다.

또한, 모든 방향의 지진에 저항하도록 설계하기 위해 각각의 부재에 대해 가장 위험한 지진 방향을 찾는 것은 입력각도를 바꿔가면서 시간이력해석을 수행하면 가능하겠지만, 그에 따른 수고와 노력을 생각하면 비현실적이다.<sup>(1)</sup>

지진에 가장 위험한 방향을 찾기 위해 Wilson<sup>(2)</sup>과 Lopez<sup>(3)</sup> 등은 CQC(Complete Quadratic Combination)법을 응용하여 확장시킨 CQC3법에 따라 건물의 가장 위험한 축을 찾는 방법을 제시한 바 있으나, 현재 상용프로그램에는 적용되지 않아 실무자들은 사용할 수 없다.

기준에 따르면, 건물은 모든 가능한 방향으로부터 오는 지진에 똑같이 저항할 수 있을 때, 내진설계가 합리적으로 된 것으로 본다. 미국의 경우 UBC 97<sup>(4)</sup>까지 적용되던 주축의 개념이 IBC 2000<sup>(5)</sup>에서는 삭제되고, 직교하는 두 방향에 대해 별도로 해석을 수행하거나<sup>(6)</sup> 두 직교방향 지진에 대한 해석결과를 100/30 또는 SRSS법에 따라 조합하여 설계하면, 모든 방향에서 오는 지진에 대해 저항할

\* 정회원 · 고려대학교 건축공학과, 교수(대표저자 : hslee@korea.ac.kr)

\*\* 학생회원 · 고려대학교 건축공학과, 박사과정

\*\*\* 고려대학교 건축공학과 석사과정

본 논문에 대한 토의를 2005년 8월 31일까지 학회로 보내 주시면 그 결과를 게재하겠습니다.  
(논문접수일 : 2005. 3. 21 / 심사종료일 : 2005. 5. 18)

수 있는 것으로 간주한다.

따라서, 본 논문에서는 우리나라에 실존하는 고층 비정형 건물의 기둥에 대해 현재 실무에서 적용하는 방법에 따라 주축을 정하고, SRSS법과 100/30법으로 지진의 직교성을 고려하여 얻은 설계부재력과 시간이력해석을 수행한 후 얻은 부재력을 비교함으로써 지진의 방향성 및 직교성 고려방법의 신뢰성과 현행 설계법의 문제점을 제시하고자 한다.

## 2. 지진의 직교성과 방향성

### 2.1 지진의 직교성

지진력이 건물에 작용할 경우 지진의 방향을 그림 1과 같이 진앙과 건물이 이루는 축 ( $EQ_P$ )과 그 축에 직각인 축 ( $EQ_T$ )을 설정할 수 있다. 또한, 건물설계 시 기준이 되는 축을 각각 X축과 Y축이라 하고 그때 각 방향 지진파를  $EQ_X$ 와  $EQ_Y$ 로 정한다. 이때  $\theta = 0$ 이면  $EQ_X$ 와  $EQ_Y$ 는 서로 연관 되지 않고(uncorrelated),  $\theta \neq 0$ 이면  $EQ_X$ 와  $EQ_Y$ 는 연관되어(correlated) 나타난다는 사실이 대체로 인정되고 있는데<sup>(3)</sup>, 이와 같이 지진의 직각방향으로도 지반운동이 작용하는 것을 지진의 직교성이라 한다. 따라서, 내진설계 시 직각방향 지진력을 고려하기 위한 방법이 필요하다.

이 때 직각방향 지진력의 크기를 결정하는 방법과 관련하여 Newmark<sup>(7)</sup>는 지진방향과 직각방향 지진의 크기를 Housner의 속도스펙트럼법에 따라 정량화한 후, 지진방향 지진의 크기( $S_1$ )와 직각방향지진의 크기( $S_2$ )의 비를 통계적으로 구하였다. 그 결과  $S_2 / S_1$ 의 기대값은 대부분 0.9 ~ 0.95에 속하여 직각방향으로도 지진방향에 상응하는 크기의 지진력이 가해짐을 알 수 있다.

만약 두 직교하는 방향에서 작용하는 지진에 대한 부재의 반응을  $\vec{R}_1 + \alpha \vec{R}_2$ 와 같이 나타낸다면,  $\alpha = 0.336$ 일 때 안전측과 불안전측으로 5.5%의 오류를 가진다. 그러나,  $\alpha = 0.336$  대신에  $\alpha = 0.3$ 을 사용할 경우 이 오류는 안전측으로 4.4%, 불안전측으로 8.1%를 나타내지만 실무적으로 보통 이 방법이 100/30법으로 지칭되어 사용되고 있다.<sup>(8)</sup>

### 2.2 지진의 방향성

복잡한 형태를 가진 건물의 경우 개개의 부재가 최대 부재력을 보여주는 지진의 방향을 결정하는 것은 어렵다. 부재의 가장 위험한 지진 방향을 찾기 위해 입력각도를 바꿔가면서 시간이력해석을 수행하면 가능하겠지만, 그에 따른 수고와 노력을 생각하면 그 방법은 비현실적이다. 그림 1에서 보듯이 지진은 진앙으로부터 건물로 연결된 하나의 축을 갖고 움직인다고 가정하는 것이 적절한 것으

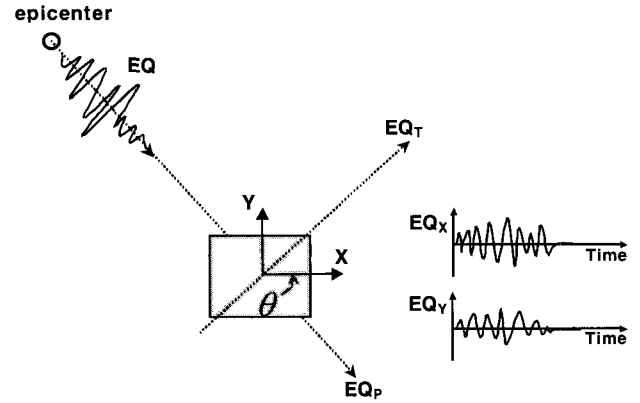


그림 1 지진의 방향과 건물의 축

로 알려져 있다. 그러나, 대부분의 건물의 경우 지리적인 (geographical) 측면에서 이 방향을 추정할 수 없다.

건물을 설계할 때 부재축과 일치하도록 해석축(그림 1의 X, Y축)을 결정하는 것이 일반적으로 받아들여지고 있으나, 건물의 평면형태가 복잡할 경우 해석축을 결정하는 것은 쉽지 않다. 건물의 해석축을 설계자 임의로 정할 경우 동적밀면전단력이 각각 다르게 산출되어 결과적으로 설계도 달라진다. 그럼에도 불구하고 UBC 97<sup>(5)</sup>에서는 '주축'이라는 용어를 사용하고 있으나 명확한 정의를 내리지 않고 있는 반면, IBC 2000<sup>(4)</sup>에서는 '주축'이라는 용어를 사용하지 않고 '2개의 직교방향'으로만 언급하고 있다.

해석축의 설정과 관련하여 Wilson은 1차모드의 밀면전단력 방향을 주축으로 정하는 방법<sup>(2)</sup>을 제안하였으나, 이는 정형인 건물에서 적용가능한 방법이고, 과도한 비틀림을 받는 건물에서는 적용될 수 없다. Wilson과 Lopez는 지진의 방향성을 고려하는 방법으로 CQC법을 확장시킨 CQC3법을 제안하였다.<sup>(2),(3)</sup> CQC3법은 그림 1과 같이 두 직교하는 지진에 의해 건물내 임의의 부재의 반응(변위, 응력, 부재력)과 모드간 상관계수, 감쇠률, 그리고, n차 모드의 고유진동 각속도를 이용하여 한번의 해석만으로도 임의의 부재가 최대반응을 보여주는 지진입력 각도와 그때의 부재력을 구할 수 있는 방법이다.

현재 우리나라의 실무에서는 1) 가력방향을 변화시키며 모드해석을 수행한 후 직각방향 밀면전단반력이 나타나지 않는 방향을 주축으로 보는 경우와, 2) 배치된 전단벽 또는 기둥의 주된 방향을 주축으로 가정하는 경우, 두 가지 중 하나를 사용하고 있다.

## 3. 비정형건물의 해석과 설계 관련기준

### 3.1 해석방법

기준에서는 지진동을 받는 건물의 힘과 변형을 구하기 위한 해석법으로 등가정적해석법과 동적해석법을 제시하고 있으며, 동적해석법은 다시 응답스펙트럼 해석법, 선형 시간이력 해석법, 비선형 시간이력 해석법을 사용할 수 있다.

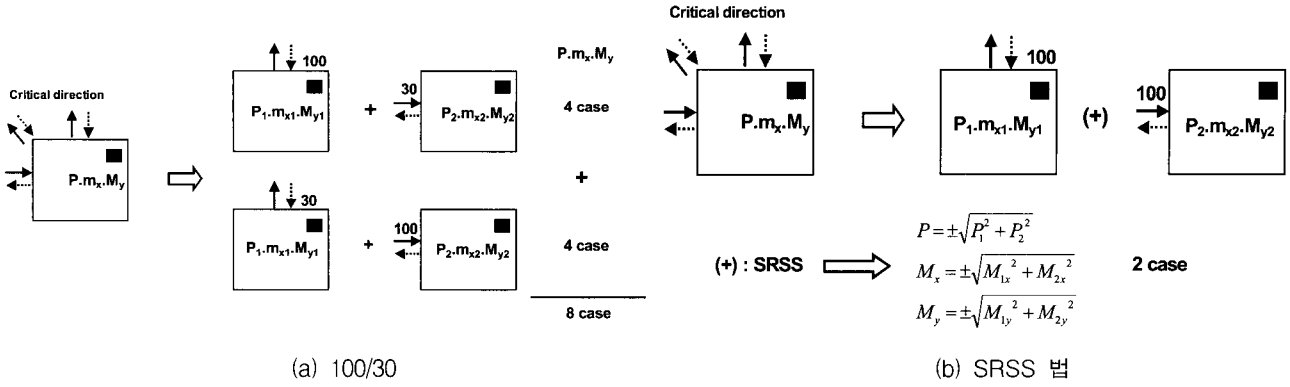


그림 2 지진의 방향성 고려방법

표 1 건물의 해석방법

건물 높이	AIK 2000 <sup>6)</sup>	KBC 2005
모든 건물		· 내진설계범주 D이면서 비틀림 비정형, 면외 어긋남, 강성 비정형, 강도 불연속, 횡력저항 수직저항요소의 비정형에 해당하는 건물
20m 이상	비정형 건물	· 내진설계범주 C이면서 비정형 구조물 · 내진설계범주 D이면서 중량 비정형 또는 기하학적 비정형인 건물
70m 이상	정형건물	· 내진설계범주 C이상 이면서 정형구조물

등가정적해석법의 경우 건물이 평면상으로 비정형을 이루어 두개의 직교방향의 횡운동과 비틀림운동이 연관되어 있을 때 정확성이 떨어지는 단점이 있기 때문에, 기준에서는 동적해석을 수행해야 하는 건물을 규정하고 있다. 최근 개정된 우리나라의 기준 (KBC 2005)<sup>9)</sup>은 반드시 동적해석을 수행하여야 하는 대상을 표 1과 같이 정하고 있다. AIK 2000의 경우 건물의 높이와 비정형성 유무에 따라 동적해석대상건물을 정하고 있는 반면, KBC 2005의 경우 건물의 높이 뿐만 아니라, 비정형성의 종류, 내진설계범주에 따라 동적해석대상 건물을 상세하게 제시하고 있다. 통상 기준에서는 응답스펙트럼해석법에 대해 비교적 상세하게 언급하고 있으나, 시간이력해석법의 경우, AIK 2000에서는 시간이력해석방법에 대해 구체적인 언급이 없다가 KBC 2005에서 시간이력해석을 수행하기 위한 지진파와 설계값을 취하는 구체적인 방법을 제시하고 있다. KBC 2005는 최소한 3개 이상의 계측된 지진기록을 바탕으로 구성된 지반진동시간이력 성분을 이용하여 시간이력해석을 수행하도록 하고 있으며, 이때, 지반가속도 시간이력은 각방향 지진파의 주기 0.2T초부터 1.5T초 사이 스펙트럼을 SRSS한 평균값이 예상최대지진의 2/3의 5%감쇠스펙트럼의 1.4배 이상이 되도록 조정되어야 한다. 여기서, T는 건물의 고유주기이다. 3개의 시간이력해석을 수행할 경우 최대값을, 7개 이상의 시간이력해석을 수행할 경우 평균값을 설계부재력으로 취한다. 단, 비정형 건물일 경우 밀면전단력은 등가정적해석 시 적용한 고유주기를 1.2배하여 다시 구한 밀면전단력보다 작아서는 안된다.

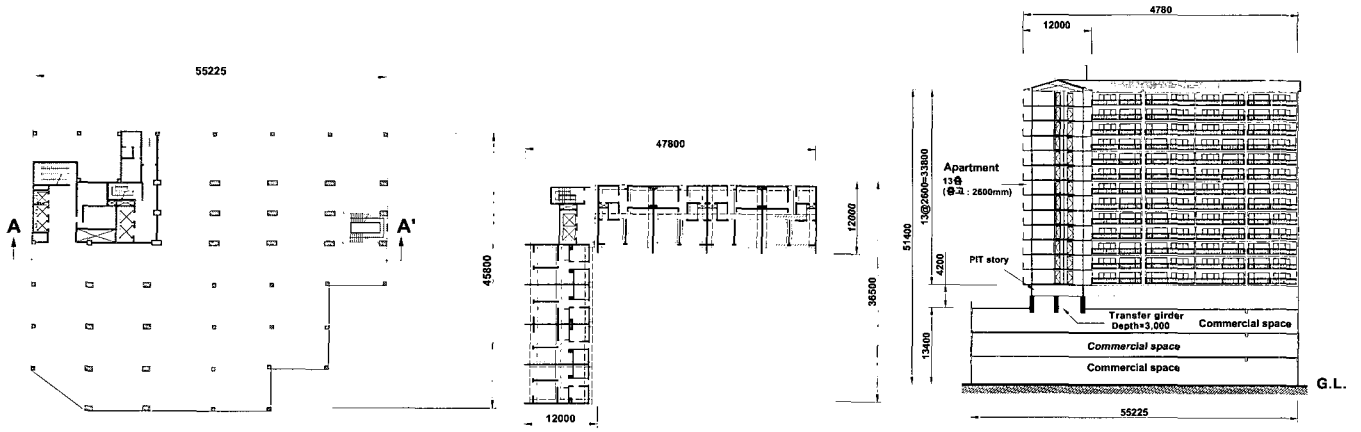
### 3.2 직교성과 방향성 관련 기준

지진의 방향성과 관련하여 AIK 2000은 직교하는 두방향의 지진에 대해 별도로 저항할 수 있으면 모든 방향으로부터 오는 지진에 저항할 수 있는 것으로 간주하여, 지진의 방향성에 대한 별도의 규정을 두지 않고 있다. 그러나, KBC 2005에서는 내진설계범주 C이상이면 비평행 시스템이거나, 내진설계범주 D이상인 모든 건물에 대해서는 두 직교방향의 지진을 100/30법과 SRSS법에 따라 조합하여 설계하도록 하고 있다. 그림 2에서 보듯이 100/30법은 한 방향 지진력으로 인한 부재력(100%)과 그 수직방향으로 지진력이 작용했을 때 나온 부재력의 30%를 더한 값을 설계력으로 결정하는 방법이고, SRSS법은 가력방향 지진력에 의한 부재력과 직교방향 지진에 의한 부재력을 SRSS방법으로 합하여 구하는 것이다. 설계부재력을 산정하기 위해 100/30법은 8개의 하중조합이 필요한 반면, SRSS법은 2개의 하중조합이면 가능하다.

## 4. 예제건물의 해석

### 4.1 예제건물의 개요

대상건물은 그림 3에서 보듯이 지상 1층 ~ 지상 3층은 상가로서 보-기둥 골조로 이루어져 있고, 지상 4층 ~ 17층은 아파트 용도로서 벽식구조로 이루어져 상부와 하부의 강성차이가 극심하고, 상부벽식 부분의 평면은 L형을 이루어 강한 비틀림거동이 예상된다. 표 2는 KBC 2005에 따라 대상건물의 비정형성 평가를 수행한 내용으로서 수직 비정형에서는 강성 비정형, 질량 비정형, 기하학적 비정형, 면내 불연속, 강도 불연속에 해당하고, 수평비정형에서는 비틀림 비정형, 요철형 평면, 면외 어긋남에 해당하여 대부분 비정형에 해당한다. 이 건물을 설계할 때, AIK 2000에 따를 경우 동적해석을 수행하면 모든 조건이 충족된다. 그러나, KBC 2005에 따를 경우 지반등급은  $S_D$ 에 속하기 때문에 단주기 설계응답스펙트럼 가속도 ( $S_{DS}$ )는 0.527g, 1초주기 설계응답스펙트럼 가속도 ( $S_{D1}$ )는 0.336g로서  $0.5g \leq S_{DS}$ 이고, 내진중요도 등급이 II이므로 내진설계범주 D에 속한다. 따라서, KBC 2005에 따라



(a) 하부골조 평면

(b) 상부 기준층 평면

(c) A-A' 단면

그림 3 대상구조물의 개요 (단위 : mm)

표 2 대상건물의 비정형성 평가

구분		판정
수직 비정형	강성 비정형	해당함. ( $\frac{k_3}{k_4} = 0.35 < 0.7$ )
	질량 비정형	해당함. ( $\frac{W_3}{W_4} = 5.08 > 1.5$ )
	기하학적 비정형	해당함.
	면내 불연속	해당함.
	강도 불연속	해당함.
수평 비정형	비틀림 비정형	해당함. ( $\frac{\delta_{max}}{\delta_{avg}} = 1.76 > 1.2$ )
	요철형 평면	해당함.
	격막 불연속	해당없음.
	면외 어긋남	해당함.
	비평행 시스템	해당없음.

설계할 경우 지진의 방향성, 비틀림 증폭계수, 특별하중조합 등을 고려하여야 한다.

#### 4.2 예제건물의 해석

SAP 2000<sup>(10)</sup>을 사용하여 대상건물에 대한 해석을 수행하였다. 대상건물의 경우 동적해석대상이기 때문에 동적

밀면전단력 보정계수를 적용하기 위한 정적밀면전단력을 아래의 식 (1)과 같이 구하였다. 이때 중요도계수( $I_E$ )는 1.5, 반응수정계수( $R$ )은 내력벽시스템의 철근콘크리트 전단벽의 4.5와 철근콘크리트 중간모멘트저항시스템의 5.5 중 작은 값인 4.5를 적용하였고, 고유주기는 기타구조의 고유주기 산정식으로부터 식 (2)와 같이 구하였다.

$$V_s = \frac{S_D}{(R/I_E)1.2T} = \frac{0.336}{(4.5/1.5) \times 1.2 \times 0.941} \times 193,243\text{kN}$$

$$= 0.0992 \times 193,243\text{kN} = 19,167\text{kN} \quad (1)$$

$$T = 0.049(h_n)^{3/4} = 0.049 \times 51.4^{3/4} = 0.941\text{초} \quad (2)$$

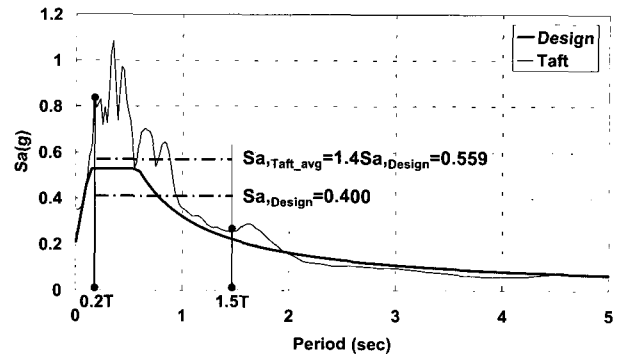
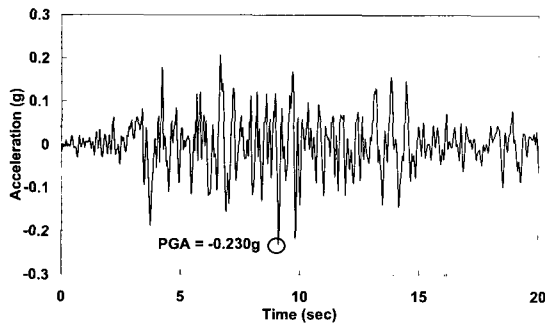
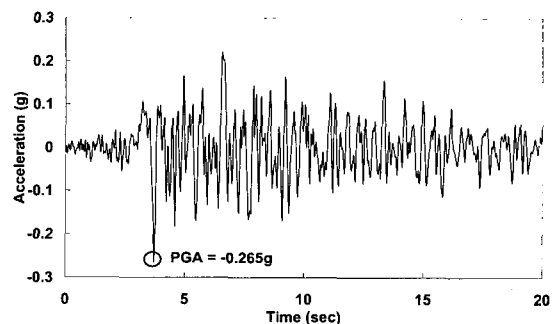


그림 4 설계스펙트럼



(a) TaftN21E (EPA=0.11g)



(b) TaftS69E (EPA=0.12g)

그림 5 시간이력해석 지진파

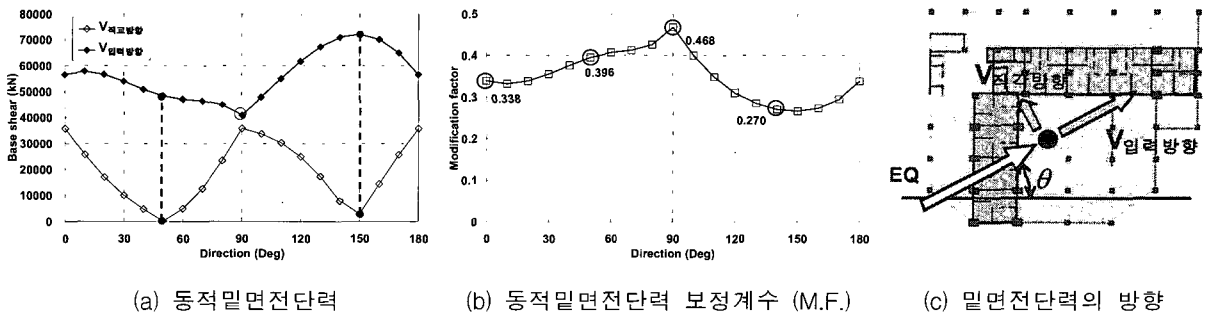


그림 6 지진방향의 변화에 따른 동적밀면전단력, 보정계수의 변화

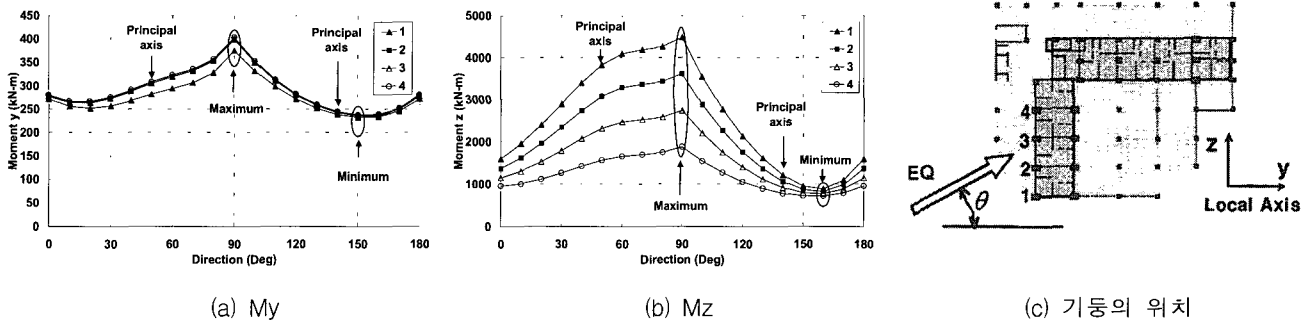


그림 7 지진 방향의 변화에 따른 1층 기둥의 모멘트 비교 (보정계수 적용)

그림 4는 각방향 지진파의 응답스펙트럼을 SRSS조합한 스펙트럼과 설계스펙트럼을 비교한 것이다. 0.2T와 1.5T사이의 설계스펙트럼 평균값(0.4g)의 1.4배는 0.559g이기 때문에, 0.2T와 1.5T사이에서 각방향 지진파의 스펙트럼이 0.559g이상이 되도록 증폭시켰으며, 이 지진파로 해석을 수행하였다. 그림 5는 이와 같이 가속도 크기를 조정된 입력지진파를 보여준다.

### 4.3 주축의 결정

그림 6은 대상건물에 대해 지진의 입력 각도를 10도씩 변화시키면서 스펙트럼 해석을 수행하였을 때, 두 직각방향 동적밀면전단력과 동적밀면전단력 보정계수의 변화이다. 그림 6(a)는 지진의 입력각도에 따른 입력방향 밀면전단력과 직각방향 밀면전단력의 변화로서 지진방향의 직각방향으로 외력이 없음에도 불구하고 지진방향의 직각방향으로 발생하는 밀면전단력은, 지진입력각도가 90도일 때 가력방향 밀면전단력의 85%까지 이르렀다.

입력지진방향의 각도가 50도와 150도일 때 직각방향 밀면전단력이 가장 작은 값을 보여주었기 때문에, 50도를 주축(1축)으로 140도를 종축(2축)으로 정하였다. 그림 6(b)는 스펙트럼해석결과로부터 얻은 밀면전단력이 고유주기를 1.2배하여 구한 정적밀면전단력, 19,167kN,보다 작지 않도록 하기 위해 가력방향 밀면전단력( $V_{\text{입력방향}}$ )과 정적밀면전단력( $V_s$ )의 비로 구한 동적 밀면전단력 보정계수(Modification Factor)를 스펙트럼 각도별로 보여준다. 보정계수는 0도(X축)와 90도(Y축)일 때 각각 0.338과 0.468이고, 50도(주축)와 140도(종축)일 때 각각 0.396과 0.270으로 90도일 때 가장 큰 값을 보여주었다.

## 5. 설계부재력 비교

### 5.1 스펙트럼해석결과

그림 7은 보정계수를 적용하여 구한 지진방향의 각도별 대상건물 1층 기둥들의 모멘트 값의 변화이다. 밀면전단력으로부터 구한 주축과 종축은 각각 50도와 140도였지만, 1층 기둥들이 가장 큰  $M_y$ 와  $M_z$ 를 보여주는 각도는 90도이고, 가장 작은  $M_y$ 와  $M_z$ 를 보여주는 각도는 각각 150도와 160도를 보여주어 건물의 주축과 부재의 가장 위험한 각도는 다를 수 있음을 알 수 있다.

그림 8은 X, Y축으로 스펙트럼해석을 수행하여 구한 1층 기둥의 설계부재력과 주, 종축에 대해 스펙트럼해석을 수행하여 구한 기둥의 설계부재력을 비교하고 있다. 이때 지진의 직교성과 방향성은 100/30법을 적용하였다. 주축을 찾아서 스펙트럼을 수행하여 구한 설계부재력은 X, Y축으로 스펙트럼해석을 수행하여 구한 설계부재력보다 축력은 5%,  $M_y$ 는 17%,  $M_z$ 는 15% 작은 값을 보여주었으며, 부재력을 영역으로 나타낼 경우, 영역의 폭은 다소 증가하였다. 스펙트럼해석 결과 지진에 직각방향 전단력이 최소인 방향을 건물의 설계축으로 정할 경우, 임의의 축을 설계축으로 정하였을 때보다 동적밀면전단력과 동적밀면전단력 보정계수가 작아지기 때문에 설계부재력은 X, Y축을 적용하였을 때보다 작게 된다.

그림 9는 스펙트럼해석에 의해 설계부재력을 구할 때, 지진의 방향성 고려여부에 따른 기둥 1의 설계부재력의 차이를 비교하였다. 실선은 방향성을 적용하지 않은 설계부재력의 영역이고, 파선은 100/30법에 따라 지진의 방향성을 적용한 설계부재력의 영역을 의미하며, 점선은

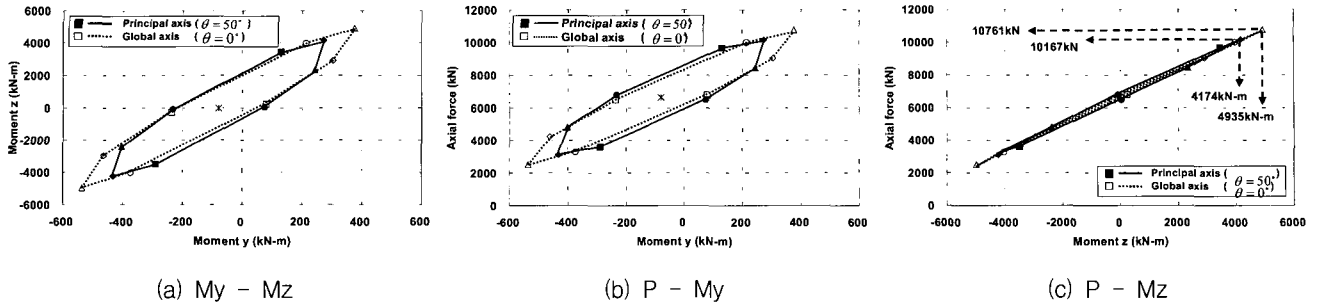


그림 8 주축설정에 따른 설계부재력의 변화 (보정계수 적용)

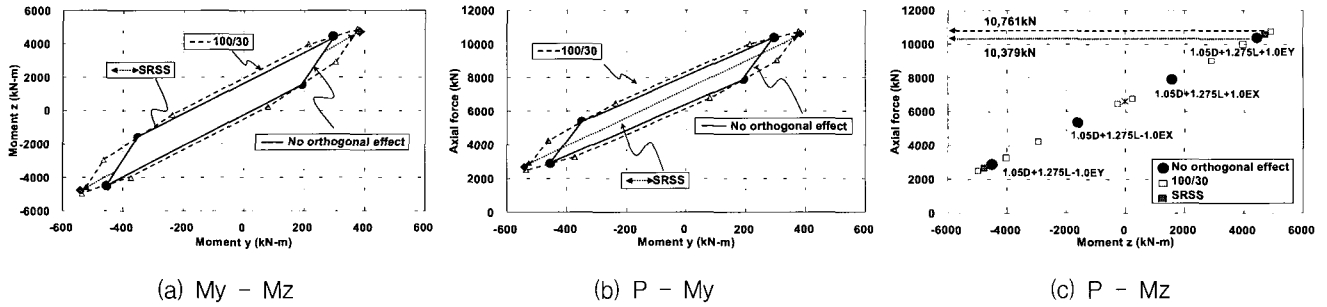


그림 9 지진의 방향성을 고려했을 때 기둥 1의 설계부재력의 차이 (X, Y 축 스펙트럼해석)

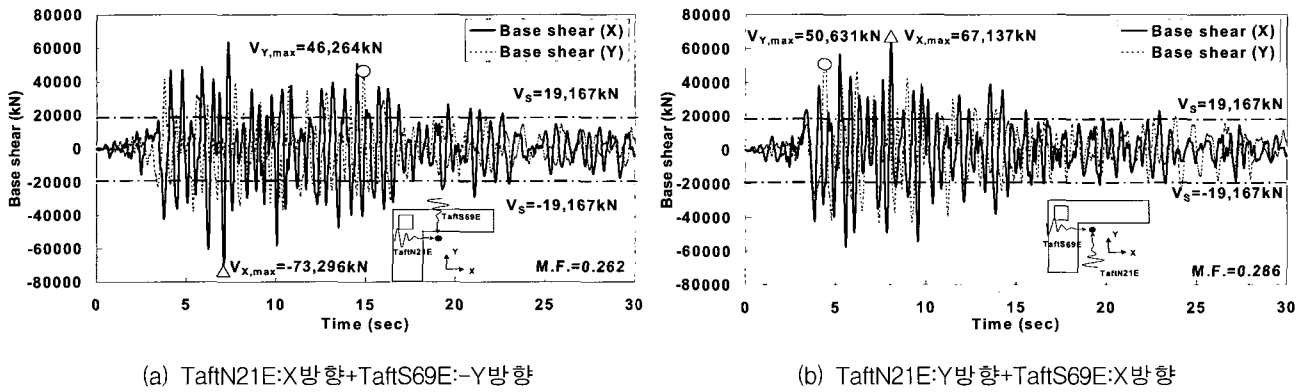


그림 10 밀면전단력 시간이력 (X, Y 축 방향)

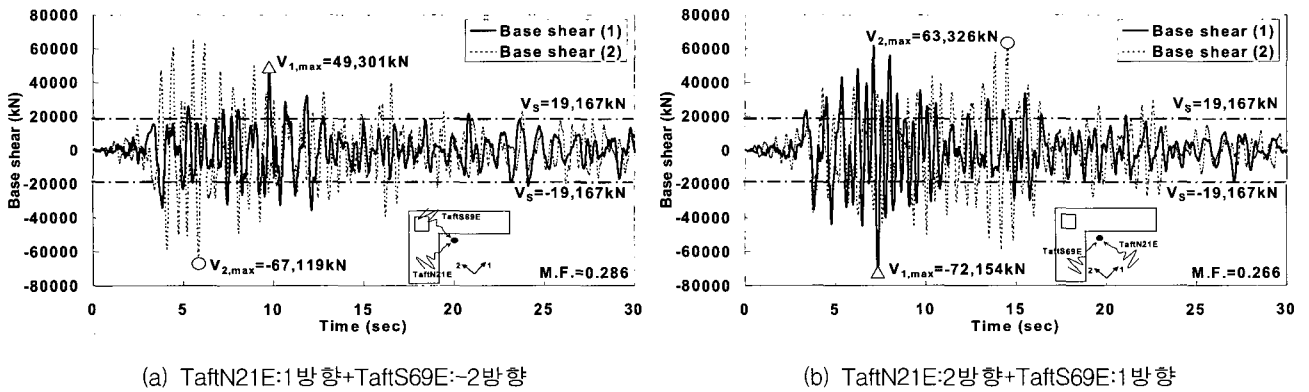


그림 11 밀면전단력 시간이력 (1, 2축 방향)

SRSS법에 따라 지진의 방향성을 적용한 설계부재력의 영역이다. SRSS법에 따라 방향성을 적용한 설계부재력은 100/30법에 의한 부재력의 최대점과 거의 일치하였다. 요소 각 방향 모멘트의 크기를 기준으로 설계부재력의 차이를 구하면, 지진의 방향성을 고려할 경우 기둥의 축력은 10,379kN에서 10,761kN으로 2%,  $M_y$ 는 -454kN-m에서 -536kN-m로 15%,  $M_z$ 는 -4,499kN-m에서 -4,977

kN-m로 11% 증가하였다.

## 5.2 대상건물의 시간이력해석 결과

그림 5의 TaftN21E와 TaftS69E를 이용하여 대상구조물에 대한 시간이력해석을 수행하였다. 그림 10과 그림 11은 각각 X, Y축과 1, 2축으로 시간이력해석을 수행하

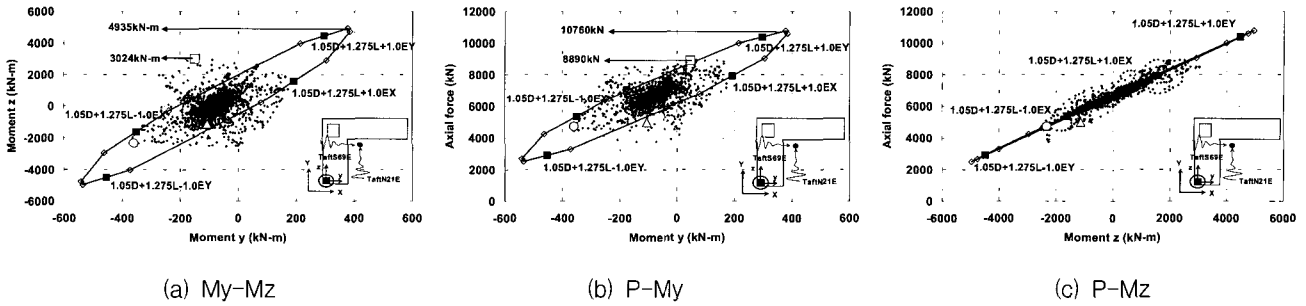


그림 12 스펙트럼해석결과와 시간이력해석결과 비교 (TaftN21E:Y방향+TaftS69E:X방향)

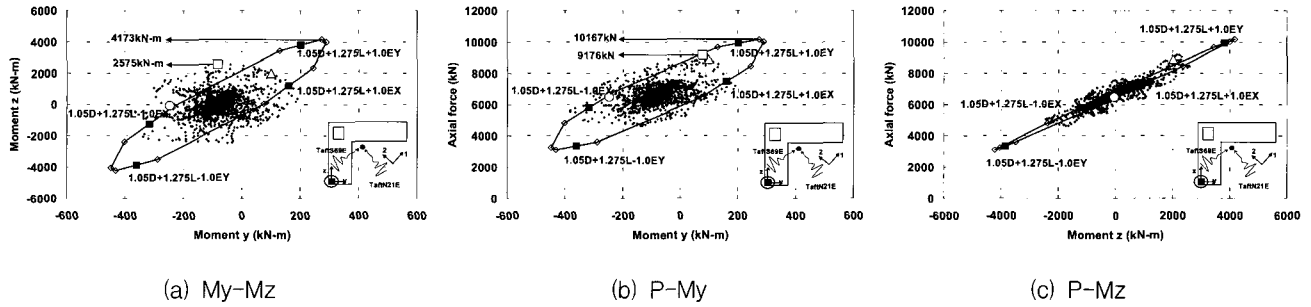


그림 13 스펙트럼해석결과와 시간이력해석결과 비교 (TaftN21E:2방향+TaftS69E:1방향)

였을 때 밀면전단력의 시간이력인데, 두 직교방향 밀면전단력의 주기와 최대값을 보여주는 시점은 다른 모습을 보여주었다. 이로부터 스펙트럼해석결과 나타난 밀면전단력은 각 방향의 최대값을 의미할 뿐 동시에 작용하는 것은 아니기 때문에, 동적밀면전단력을 구할 때, 가력방향에 직각방향 힘은 고려대상에서 제외되어야 함을 알 수 있다. X방향과 1방향으로 최대밀면전단력을 보여주는 시점을 삼각형, Y방향과 2방향으로 최대밀면전단력을 보여주는 시점을 원형으로 표시하였다.

그림 10은 X, Y축으로 시간이력해석을 수행했을 때 밀면전단력의 시간이력으로 최대 밀면전단력은 73,296kN과 67,137kN으로 양방향으로 거의 비슷한 수준을 보여주었다. 설계부재력은 시간이력해석에 의한 밀면전단력이 정적해석에 의한 밀면전단력보다 크지 않도록 X방향과 Y방향에 대해 각각 0.262와 0.286의 보정계수를 적용하였다. 그림 11은 1, 2축에 대해 시간이력해석을 수행하였을 때 밀면전단력의 시간이력이다. 각 방향 해석에 대한 최대 밀면전단력은 각각 -67,119kN과 -72,154kN이며 설계부재력을 구하기 위한 보정계수는 1축과 2축에 대해 각각 0.286과 0.266이다.

그림 12와 그림 13은 스펙트럼해석과 시간이력해석결과 구한 기둥의 설계부재력을 비교하고 있다. 스펙트럼해석결과 가운데 속이 찬 기호는 방향성을 고려하지 않았을 때 설계부재력이고, 속이 빈 기호는 100/30법으로 지진의 방향성을 고려하여 구한 설계부재력이다. 시간이력해석 결과 중 그림 10과 11에서 각 방향으로 최대밀면전단력이 발생했을 때 부재력을 삼각형과 원형으로 표시하였는데, 이들 위치가 가장 위험한 위치에 놓이지 않아 밀면

전단력이 최대일 때와 부재력이 위험한 시점이 항상 일치하는 것은 아님을 알 수 있다. 그림 12는 X, Y축에 대해 해석을 수행하였을 때 설계부재력을 비교한 것이고, 그림 13은 1, 2축을 따라 시간이력해석을 수행하였을 때 설계부재력을 비교한 것이다. 그림 12에서와 같이 X, Y축으로 해석을 수행하였을 경우, 시간이력해석을 수행하여 구한 부재력은 스펙트럼해석을 통해 구한 부재력보다 축력과 모멘트 각각 38% 17% 작은 값을 보여주었으며, 그림 13과 같이 1, 2축으로 해석을 수행하였을 경우 시간이력해석을 수행하여 구한 축력과 모멘트는 스펙트럼해석을 통해 구하였을 때보다 각각 38%, 10% 작은 값을 보여주었다. 이상과 같이 시간이력해석을 수행할 경우 스펙트럼해석을 통해 예측한 최대 설계부재력을 초과하지는 않았지만, 부재력을 나타내는 벡터( $P, M_y, M_z$ )의 상당량은 스펙트럼해석결과 예측한 영역을 벗어났다. 따라서, 스펙트럼해석을 수행한 후 기준에서 정하는 방법에 따라 방향성을 고려하더라도 설계부재력은 시간이력해석 결과 보여주는 최대 부재력을 충분히 포함하였다.

## 6. 결 론

이상의 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 지진의 방향성을 고려하는 방법으로 기준에서는 100/30법과 SRSS법을 제시하고 있는데, SRSS법은 100/30법의 의한 부재력의 최대점과 거의 일치하였으며, 100/30법에 따라 지진의 직교성을 고려할 경우 기둥의  $P$ 는 2%,  $M_z$ 는 11% 증가하였다.

- 2) 스펙트럼해석을 수행하였을 때, 입력각도의 직각방향으로 밀면전단력이 발생하지 않는 축을 주축으로 정의하여 설계부재력을 구할 경우, 그렇지 않고 X, Y축으로 스펙트럼해석을 수행하여 구한 설계부재력보다 축력은 5%, 모멘트는 15% 작은 값을 보여주었으나, 부재력을 벡터( $P, M_y, M_z$ )로 나타낼 경우 영역의 폭은 다소 증가하였다.
- 3) 스펙트럼해석을 통해 지진의 직교성을 고려하여 구한 부재력과 2방향 시간이력해석으로부터 구한 부재력을 비교하면, 시간이력해석으로부터 구한 부재력이 스펙트럼해석에서 100/30법에 따라 구한 부재력보다 축력은 38%, 모멘트는 10%정도 감소하였으며, 이는 주축을 어떻게 결정하는가에 상관없이 거의 동일한 비율을 보여주었다. 그리고 시간이력해석을 수행할 경우, 스펙트럼해석으로부터 예측한 최대 값을 넘어서지는 않았지만, 부재력을 나타내는데 벡터( $P, M_y, M_z$ )의 데이터 분포는 스펙트럼해석결과 예측한 영역을 벗어났다.

### 감사의 글

이 논문은 2002년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었습니다. 이에 감사드립니다. (KRF-2002-042-D00539)

### 참고 문헌

1. E.L., Wilson and I., Suharwardy, "A Clarification of the Orthogonal Effects in a Three-Dimensional Seismic Analysis," *Earthquake Spectra*, Vol. 11, No. 4,

- 1995, pp. 659-666.
2. E.L., Wilson, "Three-Dimensional Static and Dynamic Analysis of Structures," *Computer and Structures, Inc.*, Berkeley, CA, 2002.
3. 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.
4. International Council of Building Officials (ICBO), *Uniform Building Code*, ICBO, 1997.
5. International Code Council (ICC), *International Building Code*, ICC, 2000.
6. 대한건축학회, 건축물 하중기준 및 해설, 대한건축학회, 2000.
7. N.M., Newmark and E., Rosenblueth, *Fundamentals of Earthquake Engineering*, Prentice-Hall, New Jersey, 1971.
8. E., Rosenblueth and H., Contreras, "Approximate Design for Multicomponent Earthquake," *Journal of the Engineering Mechanics Division*, ASCE, 1977.
9. 대한건축학회, 건축구조설계기준(Korean Building Code - Structural), 대한건축학회, 2005.
10. Computer and Structures, Inc. (CSI), *SAP 2000 Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures*, Computer and Structures, Inc., Berkeley, CA, 2000.