

## 초고층 빌딩의 입상관 내진시스템 적용 사례

### A Case on Application of the Seismic System for the Riser Pipe in High-rise Building.

윤대진\* · 최재성† · 김창열\* · 김권영\*

Dae-jin Yun, Jae-sung Choi, Chang-yeol Kim and Gwon-young Kim

#### 1. 서 론

최근에 발표한 기상청의 지진 발생 현황자료에 따르면 발생지진 및 유감지진의 빈도가 매년 증가하고 있으며 2014년에는 예년의 지진발생 연평균 횟수의 약 2배 더 많은 지진이 관측된 것으로 나타났다. 이러한 이유로 인해 한반도도 더 이상 지진 안전지대가 아니라는 인식이 늘어나고 있으며, 이에 따라 국내에서도 지진피해 방지에 대한 관심은 날로 증가하고 있다.

하지만 국내 내진설계는 건축 등의 구조물에 대해서만 관심이 집중되어 있고, 구조물에 설치되는 기계, 전기설비 등의 비구조요소는 관심대상에서 상대적으로 제외되어 있었다. 그러나 최근에 초고층 빌딩에 대한 설계가 국내·외적으로 활발하게 이루어지면서 강풍 및 지진 등과 같은 자연재해에 대한 문제가 인식되었고, 일반적인 건물과는 다른 동적거동(풍하중에 의한 변위 및 지진에 따른 층별 상대변위)으로 인해 초고층 빌딩에 내 비구조요소에 대한 내진설계의 필요성이 대두되고 있다.

특히, 초고층 빌딩에 설치되는 입상관(이하 입상관)은 일반적인 건물에 설치되는 입상관에 비해 상대적으로 입상관의 관경이 크고 길이가 길어 입상관의 자중(물 무게 포함)이 크다. 따라서 지진 시, 건물의 흔들림에 의해 입상관에 작용하는 관성력, 즉 지진하중이 크기 때문에 내진제품의 적용은 반드시 필요하다.

하지만 국내 내진설계 기준인 건축구조기준(KBC

2009)에는 설계 지진력에 대한 산정 방법만을 제시하고 있을 뿐 입상관 등 설비에 대한 구체적인 내진설계 방법은 미비한 실정이다.

이에 본 연구에서는 ASHRAE, SMACNA, FEMA, NEHRP 등의 국외 내진기준 및 가이드를 참조하여 내진설계하고 진행하였으며, 당사 내진제품의 안전성 및 적용 가능성을 확인하기 위하여 입상관에 적용할 것으로 예상되는 최대 설계 지진하중에 대한 제품 부재의 작용응력 및 변형량 검토하였다. 최종적으로는 위치별 설계 지진력에 대한 최적화 설계를 수행하여 내진제품을 선정하였다.

또한 현장 용접조건으로 가정, 용접이음에 대한 강도 검토하여 제품 설치 시 용접방법 및 최소 용접목 두께를 제안하고자 하였다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 검토 범위

###### 2.1.1 부재강도 및 내진성능 검토

(1) 입상관 자중에 대한 입상관 및 입상관 러그(이하 러그)의 작용응력 및 변형량 검토

(2) 입상관 및 러그(lug) 부재의 허용응력 대비 최대 사용하중 검토

(3) 앵커방진기 스태퍼의 최대 허용인장하중 검토

(4) 층응답스펙트럼에 대한 내진 스프링 마운트의 작용응력 및 변형량 검토

(5) 설계 지진력에 대한 입상관 내진 클램프의 작용응력 및 변형량 검토

###### 2.1.2 용접부 이음강도 검토

입상관의 관경 크기에 따라 적용하는 러그의 모델별로 용접부의 이음강도를 검토하였다.

† 교신저자; 정회원, 유노빅스이엔씨(주) 기술연구소  
E-mail : unslab@nate.com

Tel : (02)556-8466, Fax : (02)556-8460

\* 유노빅스이엔씨(주) 기술연구소

\*\* 유노빅스이엔씨(주)

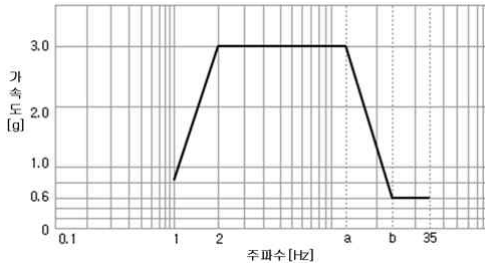


Fig. 1 Floor response spectra

## 2.2 검토 조건

### 2.2.1 부재의 허용응력

내진제품의 부재는 구조강인 SS400( $\sigma_y = 235$  MPa)을 사용하였으며, 부재의 허용응력은 식(1), (2)와 같이 허용응력설계법에 의한 강구조설계기준(2003)에 준하여 산정하였다.

$$\sigma_t = \sigma_y / 1.5 \quad (1)$$

$$\sigma_s = \sigma_t / \sqrt{3} \quad (2)$$

여기서,  $\sigma_t$ 는 부재의 허용인장응력,  $\sigma_y$ 는 부재의 항복응력,  $\sigma_s$ 는 부재의 허용전단응력을 의미한다. 따라서, 부재의 허용응력은 156.7 MPa(인장), 90.5 MPa(전단)로 산정하였다.

### 2.2.2 용접부의 허용응력

입상관과 러그의 용접부는 필렛 용접이음으로 접합된다. 필렛 용접이음의 이음강도는 부재강도에 대한 필렛용접의 이음강도의 비(이음효율)로 나타낸다. 이음효율은 기계설계편람(2009)에 따라 현장용접에 대한 안전율을 감안하여 산정하였다.(식 (3), (4) 참조)

$$\eta = k_1 \times k_2 \quad (3)$$

$$\sigma_w = \sigma_y \times \eta \quad (4)$$

여기서,  $\eta$ 는 용접부의 이음효율,  $k_1$ 은 이음의 형상계수(필렛이음 : 0.6),  $k_2$ 는 용접계수(아래보기 현장용접 : 0.8),  $\sigma_w$ 는 용접부의 허용응력을 의미한다. 따라서, 용접부의 허용응력은 112.8 MPa(인장 및 전단)로 산정하였다.

## 2.3 검토 방법

### 2.3.1 부재강도 검토

입상관에 작용하는 하중에 대한 제품 부재의 강도를 예측하기 위하여 본 연구에서는 3D 모델링을 수

행하고 상용 수치해석 프로그램인 ANSYS를 사용하여 부재에 대한 강도해석을 수행하였다.

### 2.3.2 용접부 이음강도 검토

입상관과 러그 용접부에 대한 이음강도는 인장과 전단을 받는 복합필렛용접에 대한 설계식을 이용하여 계산하였다.

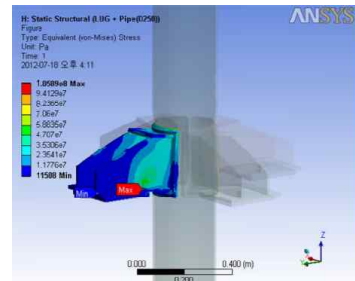
## 2.4 검토 내용 및 결과

### 2.4.1 입상관 및 입상관 러그(lug)

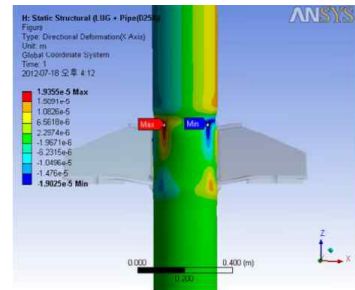
입상관 앵커부에 사용되는 러그는 높은 지지하중을 받기 때문에 부재에 대한 강도와 입상관과 러그의 용접부에 대한 이음강도를 확인하여야 한다.

수치해석 결과, 입상관 및 러그의 처짐량, 러그에 의한 입상관의 좌굴 변화량 및 최대 사용하중을 확인하였다. 이 자료는 입상관에 대한 내진 시스템 선정시 참조자료로 활용하였다.

Fig. 2는 입상관 및 러그에 대한 해석 결과 예시를 나타낸다.



(a) Applied stress for lug



(b) Buckling displacement of riser pipe by load

Fig. 2 The results of structural analysis for riser pipe & lug members (example)

### 2.4.2 입상관 앵커 방진기

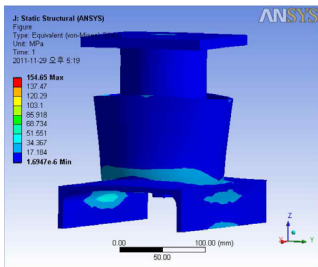
입상관 앵커 방진기는 입상관의 축방향 팽창 또는

펌프 가동 시, 유체의 유동압력에 의한 인장하중에 의해 제품이 파손되는 것을 방지할 수 있도록 하부 스탑퍼(stopper)가 내장되어 있다. 이에 스탑퍼가 견딜 수 있는 최대 인장하중을 하중해석을 통해 검토하여 방진기 선정시 관련자료를 활용하였다. Fig. 3 는 앵커 방진기에 대한 해석결과를 나타낸다.

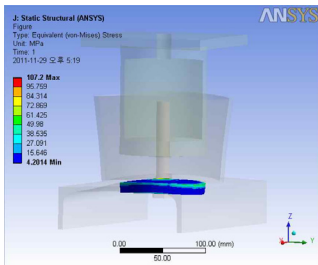
### 2.4.3 내진 스프링 마운트

입상관에 사용하는 내진 스프링 마운트는 실질적인 입상관 하중의 지지 및 건물 구조체로 전달되는 유체에 의한 진동을 효과적으로 방지할 수 있을 뿐만 아니라 지진 시, 발생할 수 있는 수평하중에 의해 스프링이 이동 및 진도 되지 않도록 제한기능이 가지고 있어야 한다. 이를 위해 내진 스프링 마운트의 하우징은 지진하중에 의해 파손되어서는 안된다.

이에 하우징 부재에 대한 모달 해석 및 응답스펙트럼 해석을 수행하여 하우징 부재에 대한 부재강도를 확인하였다.(Fig. 4 참조) 이때 층응답스펙트럼은 “전과연구조 공고 제2009-3”에 명시된 층응답스펙트럼(Fig. 1 참조)을 사용하며, 해석은 X, Y, Z 방향에 대해 개별적으로 진행하였다.



(a) Applied stress for housing of seismic anchor



(b) Applied stress for stopper of seismic anchor

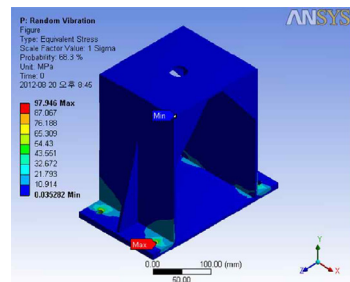
**Fig. 3** The results of structural analysis for members of seismic anchor (example)

수치해석 결과, 방향별 최대 작용응력은 136.3 MPa로 나타나 허용응력(156.7 MPa) 약 87% 수준

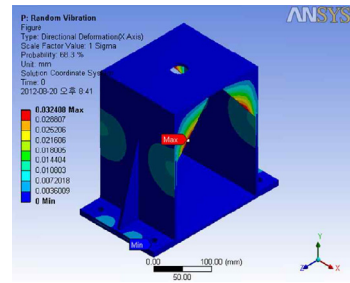
으로 안전하게 설계되었음을 확인하였다.

### 2.4.4 입상관 내진 클램프

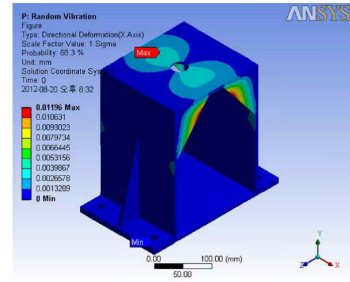
입상관의 가이드 및 스프링 방진에 사용되는 클램프는 지진 시에 발생할 수 있는 수평하중에 의해 파손되어서는 안된다. 따라서 클램프가 수평하중에 대해 안전성을 확인하여 위하여 클램프 부재에 대한 강도해석을 수행하였다. 해석 결과, 입상관에 작용하는 하중(물에 의한 하중 포함)이 수평방향으로 작용하였을 때 클램프가 충분히 견딜 수 있는 것으로 나타났다.(Fig. 5 참조)



(a) The results of PSD analysis(x-axis)

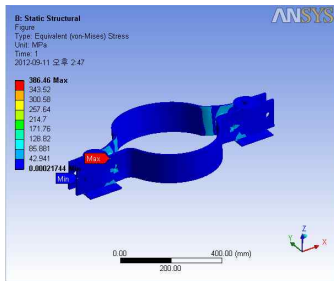


(b) The results of PSD analysis(y-axis)

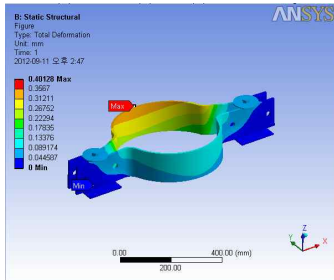


(c) The results of PSD analysis(z-axis)

**Fig. 4** The results of modal & PSD analysis for housing of seismic spring mount (example)



(a) Applied stress for seismic clamp



(b) Deformation

**Fig. 5** The results of structural analysis for seismic clamp (example)

### 3. 결 론

본 연구는 신축 중인 OO 초고층 빌딩의 입상관에 대한 내진설계를 수행함에 있어, 적용되는 내진제품들에 대한 안전성 및 적절성을 검토하고자 하였다.

이를 위해 수치해석적 방법을 이용하여 입상관의 자중 및 지진하중에 대한 내진제품들의 작용응력 및 변형량을 검토하였으며 검토 결과, 내진제품의 적용 가능성을 확인할 수 있었다.

또한, 내진제품의 모델별 최대 사용하중을 확인하여 실시설계 시, 제품 선정을 위한 참조자료로 활용하였으며, 입상관에 리그 설치 시 용접방법 및 용접부에 대한 최소 용접 목 두께를 제안하였다.

본 연구에서 수행한 입상관 내진시스템 검토 및 설계는 국내 최초의 수행된 만큼 향후 초고층 빌딩의 입상관 내진설계에 대한 기초자료로 활용될 것으로 기대한다.