

## 비구조요소의 내진설계를 위한 등가정적 층응답 분석

## Evaluation of Equivalent Static Floor Acceleration for Seismic Design of Non-Structural Elements

전 수 찬<sup>1)</sup> · 이 철 호<sup>2)\*</sup> · 이 승 호<sup>3)</sup> · 김 성 용<sup>4)</sup>  
*Jun, Su Chan · Lee, Cheol Ho · Lee, Seung Ho · Kim, Sung Yong*

**ABSTRACT** : Seismic design of nonstructural elements has recently become one of the major topics in earthquake engineering due to widespread and increasing damage reported in recent earthquakes. In general, the equivalent static method is the most popular method in seismic design of nonstructural elements due to its simplicity. However, the design equations based on the equivalent static approach fails to consider several key influential parameters. In this study, the equivalent static method was critically evaluated in order to seek the possibility of its improvements. Especially, the effects of structural parameters including the fundamental period, higher modes, nonlinearity and torsion on the response of floor acceleration were evaluated using fundamental structural dynamics and 3-dimensional analytical models. Evaluation based on up-to-date database of instrumented buildings was also conducted to clarify the limitations of the current design equations.

## 1. 서 론

최근 국내외적으로 보고되는 막대한 비구조요소의 지진피해는 건축물의 내진설계 분야에서 구조요소뿐만 아니라 비구조요소의 중요성을 부각시켰고 이에 따른 비구조요소 내진설계에 대한 관심과 수요를 증대시켰다. 경주 및 포항지진의 피해사례에서 볼 수 있듯이 비구조요소는 구조물에는 손상이 없을 정도의 강도에서도 큰 피해가 발생한다. 이는 비구조요소가 내진성능을 고려하지 않고 설계된 원인도 있지만 비구조요소는 구조물에 의해 증폭된 층응답가속도의 영향을 받기 때문이다. 따라서 본 연구에서는 구조물의 동특성이 층응답가속도에 미치는 영향을 이론적, 해석적 그리고 실제측자료를 토대로 분석하여 현행 구조기준에 제시되어있는 등가정적설계법의 문제점 및 개선방안을 제시하고자 하였다.

## 2. 선행연구 및 현행기준

비구조요소의 설계지진력을 산정하기 위해서는 구조물이 층응답가속도에 미치는 영향, 구조물과 비구조요소의 상호 작용에 의한 영향을 고려해야 한다. 하지만 구조물과 비구조요소간의 동특성(질량, 강성, 감쇠비)에 상당한 차이가 존재하기 때문에 두 요소의 모델링을 통한 직접적인 해석은 비효율적일 뿐만 아니라 부정확한 결과를 나타내는 문제점이 존재한다. 따라서 이를 해결하기 위한 근사층응답스펙트럼법 및 불규칙구조진동론에 기반한 해

석법 등이 제시되었으나 해석법의 복잡성으로 인해 국내외 현행 구조기준에서는 상대적으로 간단한 등가정적설계법 및 동적해석법을 제시하고 있다.

KDS 41에 의한 비구조요소 설계지진력은 다음과 같이 결정될 수 있다.

$$0.3S_{DS} < \frac{0.4S_{DS}a_p}{R_p} \left(1 + 2\frac{z}{h}\right) < 1.6S_{DS} \quad (\text{등가정적해석법})$$

$$0.3S_{DS} < \frac{a_p a_x A_x}{R_p} < 1.6S_{DS} \quad (\text{동적해석법})$$

여기서,  $S_{DS}$ 는 단주기 설계스펙트럼 가속도,  $a_p$ 는 증폭계수,  $I_p$ 는 중요도계수,  $R_p$ 는 비구조요소의 반응수정계수,  $z$ 는 구조물의 밀면으로부터 비구조요소가 부착된 높이,  $h$ 는 구조물의 총 높이,  $a_x$ 는 동적해석을 통해 산정한 층별 최대층응답가속도,  $A_x$ 는 비틀림 증폭계수 이다.

## 3. 등가정적 및 동적설계법 분석

본 연구에서는 우선적으로 간단한 구조 동역학에 기반한 최대 절대층응답가속도에 대한 식을 유도하여 현재 등가정적해석법에 누락되어있는 주요 인자들을 분석하였다. 분석결과 구조물의 층응답가속도의 크기는 구조물의 주기에 의해 결정되는 스펙트럼가속도( $S_a$ ), 층응답가속도의 분포는 구조물의 모드형상에 영향을 받기 때문에 현재 설계식에서 가정되는 층응답가속도의 크기  $0.4S_{DS}$ 와 층응답가속도의 선형분포는 구조물의 동특성에 따라 상당한 오차가 발생할 것임을 확인할 수 있다. 식의 유도과정은 원고의 제한으로 인해 생략하였다.

## 3.1 구조해석에 의한 등가정적설계법 분석

\* 교신저자(Corresponding Author, ceholee@snu.ac.kr)

1) 서울대학교 건축학과 박사과정

2) 서울대학교 건축학과 교수, 공학박사

3) 서울대학교 건축학과 석사과정

4) 창원대학교 건축공학과 조교수, 공학박사

본 연구에서는 세 개의 철골모멘트골조 (Gupta, 1994)와 통신국 사로 활용되고 있는 두 개의 실건물 모델에 대한 해석을 수행하여 구조물의 동특성이 층응답가속도에 미치는 영향을 분석하였다.

해석결과 이론적 분석에서 예상되었듯이 1차모드가 지배적인 저층건물을 제외한 중고층 구조물의 경우 현행 등가정적해석법에 의한 설계하중이 상당히 보수적임을 확인할 수 있다. 또한, 비선형시간이력 해석결과 구조물의 비선형거동이 커질수록 층응답가속도가 감소하는 경향을 확인할 수 있다.

그림 1은 구조물의 비틀림거동이 층응답가속도에 미치는 영향을 분석하기 위하여 수행한 실건물모델에 대한 응답스펙트럼 해석결과이다. 그림 1(a)와 같이 해석 대상 건물은 단주기 저층건물의 경우임에도 등가정적해석법은 구조물의 비틀림에 의한 증폭을 반영하고 있지 않기 때문에 층응답가속도를 과소평가하는 결과를 보여준다. 그림 1(b)와 (c)는 동적해석법에 의해 적용되는 비틀림 증폭계수( $A_v$ )에 대한 영향을 비교한 결과이다. 비정형구조물의 경우 구조물의 강성중심(COR)에서 가장 먼 단부에서 증폭된 영향을 받기 때문에 동적해석에 의한 층가속도값( $a_i$ )에 비틀림증폭계수( $A_v$ )를 적용하는 경우 (b)와 같이 강성중심(COR)에서의 값을 적용하는 것이 합리적인 적용 방법으로 보이며 최대층응답가속도( $a_{i,max}$ )를 사용하는 경우 비틀림에 대한 증폭을 가중시킴으로 지나치게 보수적인 결과를 보여준다.

#### 4. 설계측자료기반 등가정적설계법 분석

본 연구에서는 CESMD (Center for Engineering Strong Motion)의 계측기록을 기반으로 현행 등가정적설계하중을 평가하였다. 그림 2 (a)에서 볼 수 있듯이 현재 경험적으로 제시되어 있는 층가속도의 증폭 및 분포는 최근까지의 계측기록을 포함하여 비교해 보았을 때 상당한 차이가 존재함을 확인할 수 있다. 또한, 그림 2(b)에서 볼 수 있듯이 10층 이상의 구조물의 계측기록의 경우 저층 구조물의 기록대비 감소하는 것을 볼 수 있다. 이는 앞서 분석하였던 이론 및 해석적 결과와 일치하는 것을 알 수 있으며 구조물의 동특성이 층응답가속도에 영향을 미치는 주요 인자임을 확인시켜 준다.

#### 5. 결론

본 연구에서는 비구조요소의 등가정적설계법을 이론 및 해석결과 그리고 설계측자료기반으로 평가하였다. 분석결과 층응답가속도는 구조물의 동특성에 의해 결정되는 것을 확인하였으며 현행 등가정적설계법은 구조물에 대한 변수가 누락되어 중고층 구조물의 경우 보수적인 결과를 나타냄을 확인할 수 있다. 비정형성을 갖는 구조물에 대한 해석결과 동적해석법을 사용하는 경우 해석에서의 최대가속도값을 사용하고 비틀림 증폭계수를 적용하지 않는 것이 합리적임을 확인하였으며 향후 등가정적해석법에 비틀림 증폭에 대한 영향을 반영하여 두 설계식의 일관성을 확보할 필요가

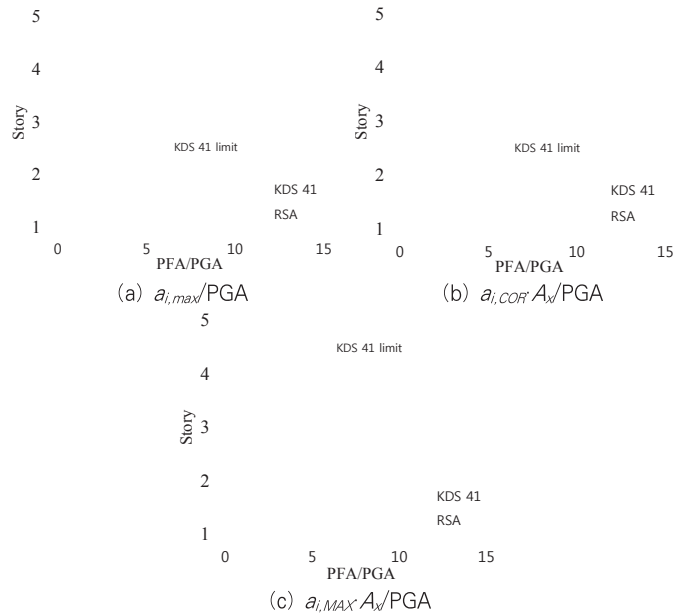
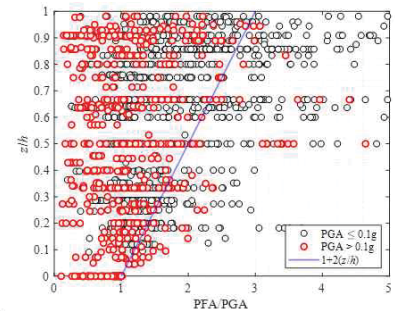
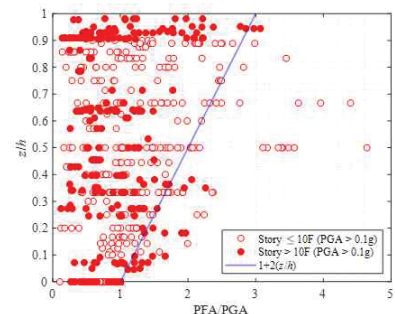


그림 1. 구조물의 비틀림거동이 층응답가속도에 미치는 영향



(a) 계측기록에 의한 층응답가속도 분포



(b) 저층 및 중고층 구조물의 층응답가속도 분포

그림 2. 계측기록에 의한 층응답가속도 분포

가 있음을 확인하였다.

#### 참고문헌

대한건축학회(2019) 건축물 내진설계기준(KDS 41), 대한건축학회.

#### 감사의 글

본 연구는 국토교통부 도시건축 연구개발사업의 연구비지원 (18AUDP-C146352-01)에 의해 수행되었습니다.