

서울시립대학교 도시과학연구원
도시과학논총 제28권 2002년 12월
The Journal of Urban Sciences
The University of Seoul
Vol. 28, No. 1, December 2002.

철근콘크리트 복합구조 형식건물의 적정지진 해석에 관한 연구

박 정 현 · 권 기 혁

A Study on the Optimal Seismic Analysis of
R/C Shear Wall System Supported by R/C Framed System

Park, Chung Hyeon · Kwon, Ki Hyuk

ABSTRACT

The hybrid structures which have abrupt change of stiffness or mass in the vertical direction have some problems to apply the regulation on the earthquake-resistant design and analysis. But most of engineers have analyzed these hybrid structures by equivalent static analysis separating structure into two body because of limits of analysis program and convenience.

The purpose of this study is to propose elasto-plastic analysis model of hybrid structure. A typical model based on investigation is selected and the upper shear wall is substituted by truss model for inelastic analysis. By this process, effective modulus of elasticity is calculated. The inelastic behavior can be expected by static push-over analysis and time history analysis.

Key Words : Hybrid Structure, Earthquake-Resistant Design Code, Elasto-Plastic Analysis Model, Equivalent Static Analysis, Effective Modulus of Elasticity, Truss Model

1 서 론

1. 연구의 배경과 목적

한정된 대지를 효율적으로 사용하고 도심의 교통난과 주거환경을 개선하기 위한 방안으로 주상복합과 같은 복합용도의 건축물이 증가하고 있다.

대부분의 복합건물이 상부는 주거용으로 사용되어 주로 휨거동에 의해 횡력을 저항하는 철근콘크리트 전단벽식구조를 적용하고, 하부는 개방공간이 필요한 상업시설이나 주차장 등으로 사용되어 전단거동에 의해 횡력을 저항하는 철근콘크리트 골조구조를 적용하는 것이 보편적이다.

복합구조물은 상부의 전단벽과 하부의 골조를 연결하는 전이층에서 강성 및 질량이 인접한 층에 비해 크게 차이가 나는 수직 비정형성을 갖게 된다.

실무에서 복합구조물을 구조해석하는 경우 주거부분인 상부 전단벽 구조체가 전이층에 완전 고정된 것으로 가정하여 지진하중 등에 대해 1차 구조해석을 수행하고, 그 결과로 계산된 반력을 하부 골조에 하중으로 작용하도록 함으로써 하부골조에 대해 2차 구조해석을 별도로 수행한다.

그러나 상·하부 시스템을 별개로 분리하여 해석하거나 등가정적 해석만 하는 경우 그 결과의 신뢰성은 매우 낮다.

본 연구에서는 콘크리트 복합구조물의 전형적인 지진해석 모델을 설정하고, 지진하중이 작용하여 비탄성거동을 보이는 복합구조물의 탄소성해석을 수행하기 위하여 상부 전단벽을 탄소성해석이 가능

한 부재로 치환함으로써 복합구조물의 적정탄소성 모델화 방안을 제시하여 구조실무자가 복합구조물을 계획함에 있어 고려해야 할 사항을 제공하고자 한다.

2. 연구의 범위와 방법

비선형해석 프로그램으로 DRAIN 2DX를 사용하였으며 벽요소의 치환을 통하여 벽체의 탄소성해석과 휨변형을 고려하였다.

작용하는 모든 하중에 대하여 벽식으로 저항하는 전단벽 구조물은 휨거동이 지배적이기 때문에 복합구조물을 해석할 때 상부전단벽의 휨거동을 고려해야 하는데, DRAIN 2DX에서는 전단벽의 휨거동을 고려할 수 없다. 따라서 탄소성 해석과 회전자유도를 고려하기 위하여 전단벽을 트러스부재 모델로 치환하여 소성힌지 보-기둥요소로 모델화했다.

탄성해석 프로그램을 이용한 등가정적 해석과 비선형해석 프로그램을 이용한 등가정적 해석을 비교함으로써 탄성역에서의 치환에 대한 검증을 실시하며, 이 과정에서 거동과 강성의 수정에 필요한 유효탄성계수를 산정하였다.

상부전단벽을 탄소성 해석이 가능한 부재로 치환한 복합구조물의 탄소성 해석모델에 대하여 정적으로 탄소성해석을 수행하며, 실제의 지진동을 입력한 시간이력 해석을 수행하여 최대변위응답과 소성힌지 발생여부를 검토하였고, 기존의 진동대실험과 비교함으로써 탄소성 해석모델의 신뢰성을 검토하였다.

2 모델의 설정과 치환

1. 해석모델의 설정과 가정

복합구조물의 전형적인 모델을 설정하기 위하여 국내 설계사무소와 건설회사를 통하여 계획단계, 현재 시공 중이거나 준공된 건물을 포함해 40여 건의 실무사례에 대한 설계도서 등의 자료¹를 분석하여, 지상17층 규모의 복합구조물을 설정하였다.

상부 15개층은 철근콘크리트 전단벽 구조로 구성된 주거부분이며, 하부 2개층은 상업(업무)부분으로 철근콘크리트 보-기둥 골조구조로 구성하였다.

대상건물은 서울특별시의 도시계획지구에 건설되는 것으로 가정하였으며, 지반조건은 암반지구, 지역계수 0.11(지역구역), 중요도계수 1.5(특, 도시계획구역), 반응수정계수 3.0(상부 전단벽 구조 : 3.0, 하부 골조 구조 : 5.0)을 적용했다.

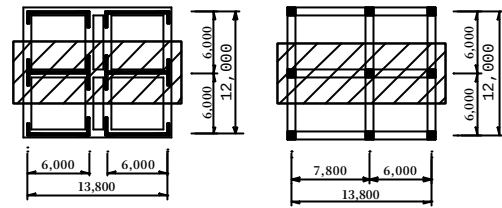
본 논문에서는 ATC40을 근거로 기둥에 대해 $0.7E_cI_g$, 보에 대해 $0.5E_cI_g$, 전단강성에 대해 $0.4E_cA_g$ 의 유효강성을 적용했다.

2. 전단벽의 탄소성 모델화

전단벽의 탄소성해석과 휨변형을 고려하기 위하여 전단벽을 트러스부재로 치환하였다.

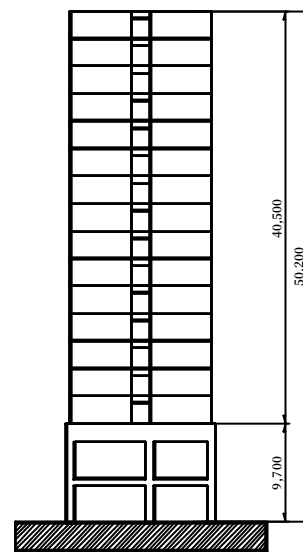
트러스부재 치환법은 벽체의 상·하부에

무한강성을 갖는 보가 접합되고, 벽체양



상부평면도(3F-17F)

하부평면도(1F-2F)



입면도

<그림1> 해석모델의 평면 및 입면도

부재명	단면()	배근
하부기둥	80 × 80	16 - D25
2층보	40 × 70	3 - D25(상부), 5 - D25(하부)
전이보	80 × 180	10 - D25(상부), 10 - D25(하부)
전단벽	TH = 20	
연결보	40 × 70	2 - D25(상부), 2 - D25(하부)
슬래브	TH = 13.5	

<표 1> 부재 리스트

단에 위치해 축력과 휨모멘트를 부담하는 2개의 기둥요소와 전단력을 부담하는 브레이스 요소로 모델화하는 방법으로, 전단벽 상·하의 보는 강제로 생각하여 다른 보보다 단면적, 단면2차모멘트를 100

¹ 박근석 외, 2001, “1/12 축소 철근콘크리트 주상 복합건물의 진동대실험”, 대한건축학회 추계학술발표대회논문집 제21권 2호, 201-204쪽

배 정도 큰 값으로 하였다.

$$A_B = \frac{G}{E} \frac{t(\sqrt{h^2 + l^2})^3}{2Ahl}$$

$$A_c = \frac{tl}{6}$$

여기서 A_B : 브레이스 단면적

A_c : 기둥 단면적

E : 탄성계수

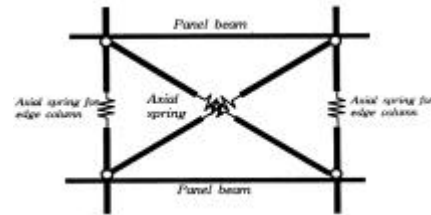
G : 전단 탄성계수

h : 전단벽 높이

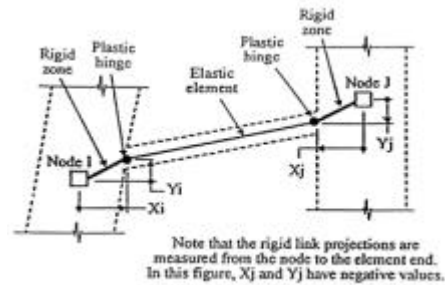
l_w : 전단벽 길이

A : 형상계수 ($A = 1.0$)

$G/E = 1/2.3$



<그림 2> 트리스부재 치환모델



<그림 3> Element Geometry

DRAIN 2DX는 골조는 소성힌지 보-기둥 요소(Plastic hinge beam-Column Element, Type 02)로 해석하고, 브레이스는 비탄성 트리스 요소(Inelastic Truss Bar Element, Type 01)로 해석하고, 소성힌지 보-기둥요소는 탄성보(elastic beam), 탄성보의 양단에 발생하는 두 개의 소성힌지(plastic hinge), 강역(rigid end zone)으로 구성된다. 탄성변형은 양단부의 소성힌지 사이의 보 부재로 표현하며, 소성변형은 보의 양단부의 소성힌지에서 발생하며, 강역(rigid zone)을 고려함으로써 접합부 특성을 설정하였다.

슬라브는 면내에 무한강성을 가진 강막(rigid diaphragm)으로 가정하였다.

3. 전단벽 치환모델의 검증

복합구조물에 지진하중이 작용하면 하부골조에 연성층이 형성되며, 상부구조물은 큰 횡하중이 아닌 경우 탄성거동을

할 것으로 예측된다. 따라서 범용탄성 해석프로그램과 비교함으로써 전단벽 치환모델의 신뢰성을 검토하였다.

기둥과 브레이스의 탄성계수로 콘크리트의 탄성계수를 입력하여 해석한 결과를 <그림 4>에 나타냈으며, DRAIN 2DX를 사용하여 구한 최상층변위는 MIDAS GENW를 사용하여 해석한 최상층변위의 약 1.3배를 나타냈다. 층간변위²도 DRAIN 2DX를 이용한 해석이 MIDAS GENW를 이용한 해석보다 큰 결과를 보이며, 상부의 차이가 하부보다 크다.

이는 모든 기둥강성의 합에 대한 모든 보강성의 합에 대한 비를 상대강성비³라

² 층간변위각 $\Phi_x = R \frac{\Delta x}{h_{sx}} = R \frac{(d_x - d_{x-1})}{h_{sx}}$

³ 이범식 외, 2001, “전단벽과 연결보의 상대강성비에 따른 병렬전단벽의 거동평가”, 대한건축학회는 문집 제17권 2호, 21-27쪽

고 했을 때, 전단벽을 탄소성해석모델로 치환하는 경우 전단벽 상·하부의 보를 강체로 가정하기 때문에 상대강성비가 실제보다 증가하여 휨거동보다는 전단거동을 하기 때문이다.

따라서 기둥과 브레이스에 다양한 값을 적용하여 MIDAS GENW과 DRAIN 2DX로 등가정적해석한 결과를 비교하는 과정을 반복함으로써 전단벽을 탄소성해석모델로 치환하여 전단벽과 동일한 거동을 실현하는데 필요한 유효탄성계수를 산정하였다. 그 결과 본 연구의 설계단면을 갖는 전단벽의 경우 기둥은 $1.7E_c$, 브레이스는 E_c 를 유효탄성계수로 적용하면 <그림 5>와 같이 치환모델로 전단벽과 유사한 휨거동을 유도할 수 있음을 확인했다.

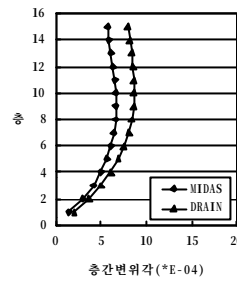
3 탄소성 해석

1. 정적탄소성 해석

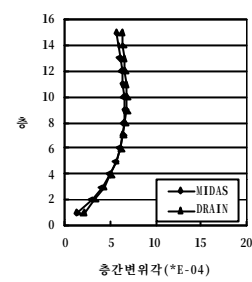
1) 전단벽의 정적탄소성 해석

비선형 해석프로그램인 DRAIN 2DX를 사용하여 pushover analysis 방법으로 복합구조물의 탄소성 해석을 수행하였다.

횡하중의 증분은 각 층의 강성변화가 급격히 일어나지 않도록 증분량을 조절하며, 기초는 1층 주각부에서 완전 고정된 것으로 보았다. 하중은 고정하중만을 고려하여 층질량으로 입력하였으며, 횡력은 등가정적 해석으로 구한 하중을 증분 가력하여 최초 소성힌지가 발생한 부재의 연성비 2.0까지 가력하였고, 탄소성 복원력 모델은 Bi-linear 이력모델로



<그림 4> 동일강성 적용



<그림 5> 유효강성 적용

항복 후 강성은 초기강성의 1%로 하였다.

전단벽에 대하여 정적탄소성 해석으로 부재내력을 검토한 결과 수평하중의 증분에 따라 1층 외부기둥에서 최초로 소성힌지가 발생하여 전이층과 상부 6개층으로 확산되었다.

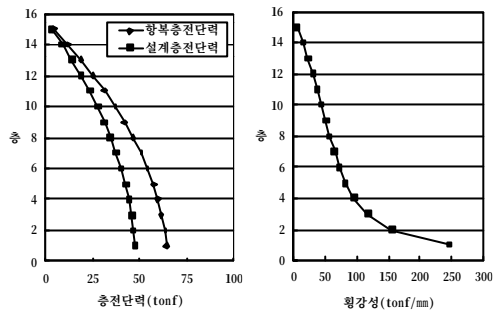
소성힌지 발생시의 층전단력을 등가정적 해석에 의한 설계층전단력과 비교한 결과, 구조물의 항복층전단력은 <그림 6>과 같이 설계층전단력보다 약 1.35배 높은 것으로 나타났다.

따라서 본 해석에서 사용한 부재단면을 갖는 전단벽 구조물의 경우 설계층전단력과 항복층전단력을 비교하였을 경우 정적수평 하중에 대한 저항내력이 충분히 높은 것으로 판단된다.

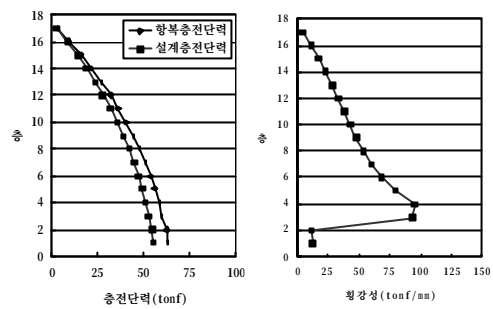
그러나 등가정적지진하중은 동적하중을 정적하중으로 변환시킨 하중으로, 실제 지진동이 입력되는 경우 지진하중이 설계하중을 초과하는 경우가 발생할 수 있기 때문에 지진동의 동적효과를 고려하여 안전율을 확보하여 지진하중을 산정할 필요가 있다.

2) 복합구조물의 정적탄소성 해석

해석조건은 전단벽과 동일하며 하부골조가 상부전단벽보다 횡강성이 작은 점



〈그림 6〉 전단벽의 정적탄소성해석



〈그림 7〉 복합구조물의 정적탄소성해석

을 고려하여 하부골조의 탄성계수는 E_c , 상부치환부재는 유효탄성계수를 적용했다. <그림 7>과 같이 복합구조물에 대한 정적탄소성해석을 통하여 최초로 부재가 항복했을 때의 층전단력은 설계층전단력보다 약 1.14배 큰 것으로 나타났다. 따라서 본 해석에서 사용한 부재단면을 갖는 복합구조물의 경우 정적수평 하중에 대한 저항내력이 설계기준의 저항내력과 거의 동일하였다. 그러나 지진동의 동적효과를 고려하여 안전율을 확보하여 지진하중을 산정할 필요가 있다.

수평하중의 증분에 따라 1층 기둥이 최초로 항복하였으며 하중이 증가함에 따라 전이층과 상부 5개층 기둥으로 항복이 확산되며, 설계하중의 약 1.36배의 지진하중에서 1층 보가 항복하였다.

UBC 규정을 적용하여 정적탄소성 해석의 결과로 얻어진 강성과 층간변위각을 검토한 결과 전이층에서 연성층이 발생하는 것으로 나타났다. 그러나 기초를 1층 주각부에서 완전 고정된 것으로 보았기 때문에 전이층보다 1층의 기둥이 먼저 항복하였다.

2. 지진응답 해석

1) 해석상의 가정 및 입력지진동

복합건물의 진동모델로 각 층에 질량이 집중되어 있다고 가정하는 질점질량계(lumped mass) 진동모델을 이용하였고, 1, 2차 고유주기에 대하여 감쇠정수 5%를 사용하여 Rayleigh 감쇠를 적용하였다.

시간증분은 0.02초, 총 해석시간은 20초로 조건은 정적탄소성 해석과 동일하다. 입력지진동으로 El-Centro NS, Taft EW, Kobe NS를 사용했다.

과거의 지진기록에서 얻어진 지진동파형은 각 지진동의 강도가 일정하지 않기 때문에 입력 지진동의 강도를 일정하게 표준화하여 입력해야 한다. 본 논문에서는 절대가속도를 동일하게 하여 각 지진동 파형의 강도가 일정하도록 하는 방법을 이용하여 최대지반 가속도를 0.11g, 0.16g, 0.22g, 0.32g로 표준화하여 시간이력해석을 수행하였다.

최대지반가속도는 지역계수와 중요도계수를 고려하여 선정한 것으로, 우리나라 기준의 지역계수를 고려한 0.11g와 해석모델의 중요도계수 1.5를 적용한

0.16g, 그리고 각각의 2배의 가속도에 대해 해석했다.

2) 시간이력 해석

지진동을 입력하여 시간이력 해석을 수행하여 <그림 9~12>에 층변위와 층간변위각을 나타냈고, 검토 결과 하부 골조에서 변위가 집중되었으며 1층 골조에서 연성층이 발생하였다.

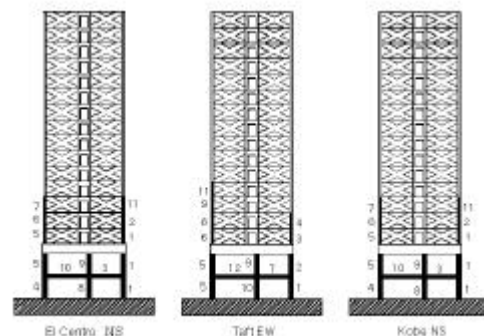
각 지진동의 특성에 따라 차이가 발생하였는데, Taft 지진파와 Kobe 지진파가 El Centro 지진파보다 응답이 크며, 지진가속도가 증가함에 따라 변위응답의 증가폭도 크게 나타났다.

El Centro 지진파는 단주기파로 고유주기가 짧은 건물이나 암반지반에 큰 피해를 주며, Taft 지진파나 Kobe 지진파는 장주기파로 고유주기가 길거나 연약한 지반에 큰 피해를 입힌다. 따라서 같은 지반조건에 지진하중이 가해지는 경우 고유주기가 긴 고층구조물과 소성힌지와 균열로 고유주기가 증가하는 구조물은 El Centro 지진파에 비해 Kobe 지진파나 Taft 지진파와 같은 장주기성분의 지진파에서 더 큰 변위응답을 보이며, 지진가속도가 증가함에 따라 변위가 크게 증가한다.

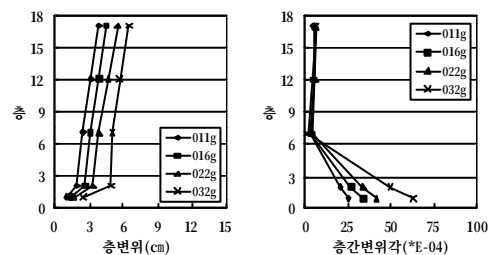
복합구조물의 정적탄소성 해석을 수행하였을 때 설계기준의 정적항하중에서 항복하지 않았으나, 설계기준의 지진동인 0.11g의 지진가속도에 대하여 지진응답해석을 수행한 결과 세 종류의 지진파에서 모두 하부골조와 일부 상부기둥에서 소성힌지가 발생하였다. 따라서 상부와 하부를 일체로 모델링하여 소성역으로

확장해서 해석해야 할 것으로 판단되며, 등가정적 해석만 하는 경우 동적효과를 고려하여 충분한 안전율을 확보하도록 설계지진하중을 산정해야 한다.

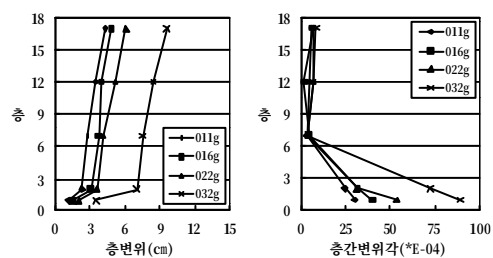
최대지반 가속도를 0.11g로 표준화한 각 지진파에 대한 시간이력해석을 수행하여 소성힌지 발생순서를 <그림 8>에 숫자로 표시하였고, 0.11g에 대하여 횡강성을 평가하여 <그림 13~15>에 나타냈다..



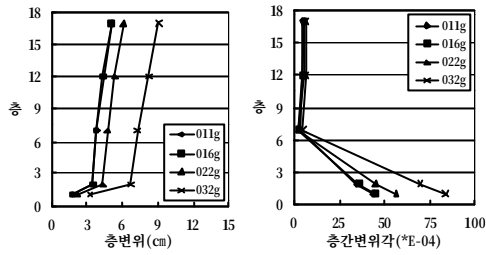
<그림 8> 시간이력해석 소성힌지 발생도



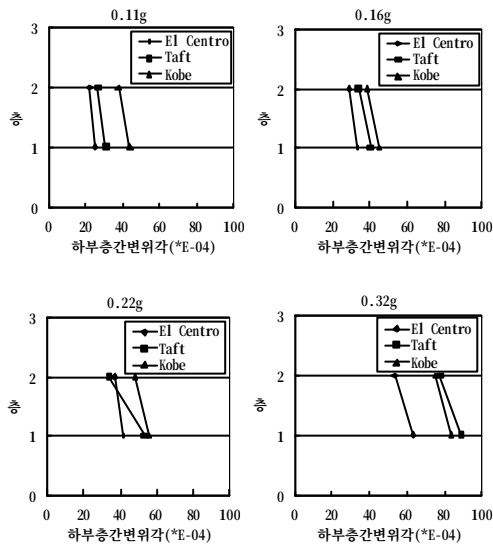
<그림 9> El Centro NS



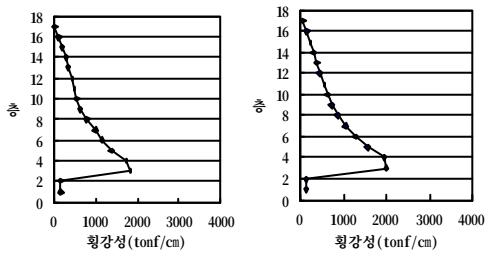
<그림 10> Taft EW



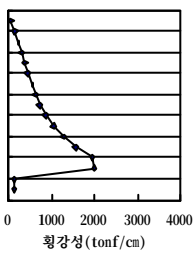
<그림 11> Kobe NS



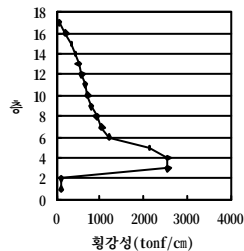
<그림 12> 하부층간변위각



<그림 13> El Centro NS



<그림 14> Taft EW



<그림 15> Kobe NS

3. 탄소성 해석모델의 검증

복합구조물의 탄소성 해석모델로 시간 이력해석을 수행하여 기존의 실험⁴과 비교함으로써 탄소성 해석모델의 신뢰성을 검토하였다.

1) 시간이력해석 및 비교

해석조건은 동일하며, 입력 지진파는 Taft N21E로 최대지반 가속도를 0.055g, 0.11g, 0.15g, 0.20g, 0.30g, 0.40g로 규준화하여 입력하였다. 기존의 진동대실험은 최대지반 가속도를 0.11g, 0.30g, 0.40g, 0.60g, 0.80g로 규준화하였으며, 실험실의 여건에 의해 상부 부가질량을 1/2만 고려했다. 따라서 본 해석에서는 상사성의 원리⁵를 적용해 최대지반 가속도를 1/2로 감소시켜 입력했다. 실험과 동일하게 1층, 전이층, 8층, 13층, 지붕층에 대하여 해석하여, <그림 16~18>에 층변위와 층간변위각을 나타냈다.

0.40g의 최대지반 가속도에 대한 실험에서 측정된 상부 변위는 탄소성해석을 통하여 구한 변위보다 약 1.7배 크며, 최대지반가속도 0.20g부터 실험과 해석의 상부전단벽의 층간변위각 오차가 급격히 증가하였다. 복합구조물 상부의 변형은 하부골조의 전단변형과 전도모멘트에 의해 전이층이 회전함으로써 발생하는 변위의 합으로 볼 수 있는데, 0.20g 이후 상부의 변위가 급격히 증가하는 것

⁴ 박근석 외, 2001, 앞의 논문

⁵ 홍성진 외, 1991, "지진을 받는 1/2 축소 2층 철근콘크리트라멘구조물의 동적거동에 관한 연구()", 대한건축학회논문집 제7권 3호, 307-317쪽

은 전이층의 전도모멘트에 대한 강성이 급격히 감소하여 전이층의 회전변위각이 증가하기 때문이다.

실험에서 0.15g와 0.30g를 제외한 모든 지진가속도에서 1층의 층간변위각이 전이층보다 크고, 0.20g 이후 건물은 비선형거동을 보인다.

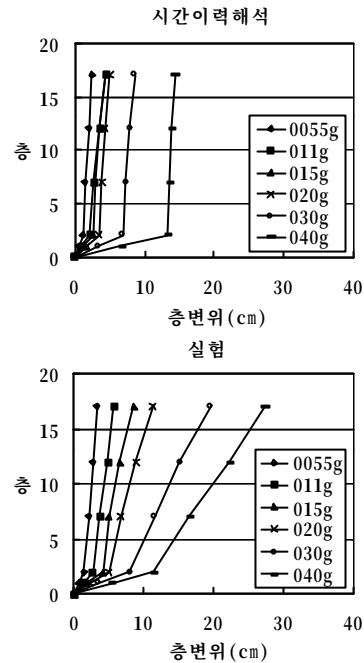
탄소성 해석에서는 1층의 층간변위각이 전이층의 층간변위각보다 크며, 하부 골조의 층간변위각이 실험에서보다 작으나 0.30g 이후 크게 증가하여 0.40g의 가속도에서는 실험보다 층간변위각이 커진다.

0.055g의 가속도에서는 1층 짧은 경간의 외부기둥이 항복하여 전이층의 짧은 경간 외부기둥까지 항복한다. 0.40g의 가속도에서는 하부골조와 짧은 경간의 상부 8개층 외부기둥, 긴 경간의 상부 6개층 외부기둥이 항복하였다.

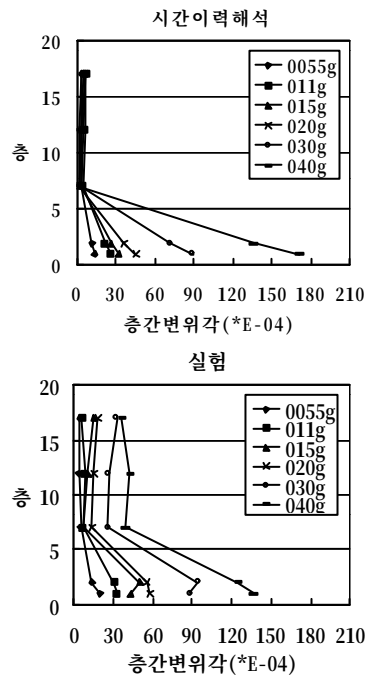
실험의 경우 0.20g에서 최초로 소성흔지가 발생하였으나, 시간이력해석에서는 0.055g에서 소성흔지가 발생하였다. 실제 복합구조물에 지진하중이 작용하는 경우, 우리나라 설계기준에서 요구하는 지진하중보다 매우 작은 값에서 항복할 가능성이 높기 때문에 등가정적 해석시 동적효과를 고려한 안전율을 확보하기 위해서 설계지진하중에 대한 현행 기준을 검토할 필요가 있는 것으로 판단된다.

기존의 진동대실험과 비교함으로써 복합구조물의 탄소성 해석모델을 검토한 결과 소성흔지의 발생시기, 하부골조의 소성거동패턴, 전도모멘트에 대한 전이층의 저항내력 등 실험과 몇 가지 오차가 있었다.

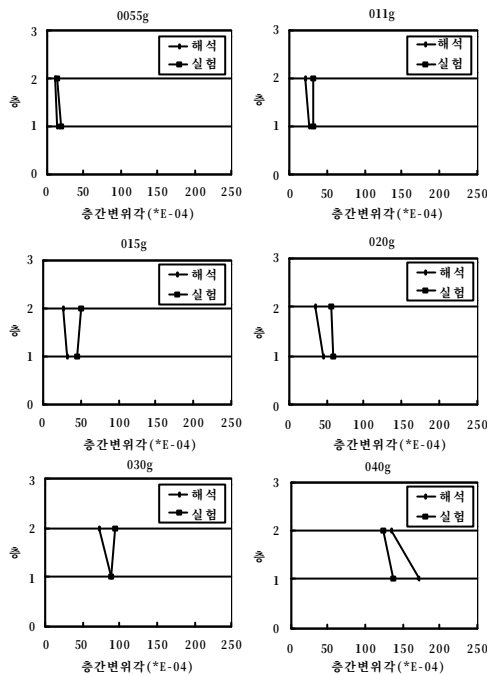
그러나 진동대실험은 실험체 연성비가 높게 설정되었다는 점, 해석과 실험이 서로 다른 차원에서 행해졌으며, 축소실험인 점, 동일한 실험체에 지진동이 반복가력되었다는 점을 고려해야 한다.



<그림 16> 층변위



<그림 17> 층간변위각



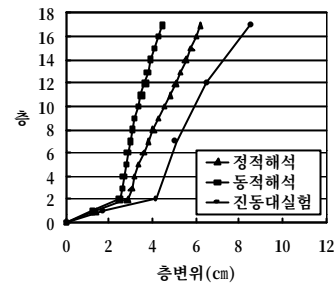
<그림 18> 하부층간변위각(실험과 해석비교)

2) 정적해석과 동적해석의 비교

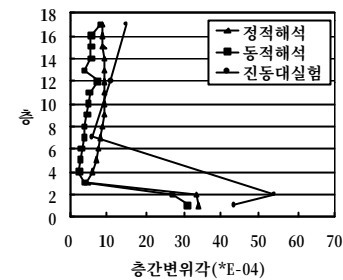
등가정적 해석과 중요도계수를 고려하여 최대지반 가속도를 0.15g로 표준화한 Taft N21E에 대한 시간이력해석, 동일한 지진파를 입력한 진동대실험을 비교하였다.

실험에 의한 변위가 가장 크고, 동적해석에 의한 변위가 가장 작은 것으로 나타났다. 실험과 정적해석에서는 부재가 탄성영역을 유지하며, 동적해석에서는 소성힌지가 발생하였다. 실험은 연성비가 높게 설정되었으며 축소실험이기 때문에, 같은 조건을 적용한 정적해석과 동적해석의 결과를 분석한 결과는 다음과 같다.

동적해석에 의한 층변위가 정적해석에 의한 층변위보다 작으나, 설계지진하중과 동일한 크기의 지진동이 작용할 때



<그림 19> 층변위



<그림 20> 층간변위각

소성힌지가 발생하였다. 따라서 복합구조물처럼 비정형성을 지닌 건물은 허용층간 변위와 함께 동적해석으로 부재의 항복여부를 확인하여 안전성을 검토해야 하며, 정적해석만 하는 경우 동적효과를 고려한 안전율을 적용하여 설계지진하중을 산정해야 할 것으로 판단된다.

4 결론

본 연구에서는 복합구조물의 상부전단벽을 등가 강성의 트러스부재 모델로 치환함으로써 복합구조물의 탄소성 해석과 휨변형을 고려할 수 있는 탄소성 해석모델을 제시하였으며, 탄소성 해석을 통하여 다음의 결론을 얻었다.

1. 본 연구에서 설정한 복합구조물의 상부 전단벽을 탄소성해석이 가능한 트러스부재모델로 치환하여 탄성영역 내에

서 정적해석을 수행하여 유효탄성계수 $1.7E_c$ 를 적용함으로써 복합구조물에 대한 탄소성해석을 수행할 수 있었다.

2. 복합구조물에 대한 정적탄소성해석을 수행하여 항복충전단력과 설계기준의 충전단력을 비교한 결과, 본 연구에서 사용한 부재단면을 갖는 복합구조물의 정적하중에 대한 저항내력은 설계기준과 거의 일치하였다.

3. 본 연구에서 설정한 복합구조물에 설계기준과 동일한 크기의 지진동을 입력하여 시간이력해석을 수행한 결과, 복합구조물은 등가정적해석만 하는 경우 부재내력에 대한 신뢰성이 낮기 때문에 동적해석을 수행하여 부재 내력을 검토해야 할 것으로 나타났다.

4. 복합구조물을 대상으로 정적해석과 동적해석을 수행하여 변위와 부재내력을 검토한 결과, 복합구조물의 안전성을 검토할 때 변위와 부재내력을 함께 고려해야 할 것으로 판단된다.

5. 향후 다양한 유형의 모델에 대한 검증을 실시해야 하며, 상부벽량의 증감과 하부골조층에 상부전단벽이 연장되는 유형에 대한 탄소성응답과 소성힌지에 대한 심층연구가 필요하다.

<참 고 문 헌>

1. 강호근, 박성수, 1999, “고층 벽식구조 시스템의 탄소성 내진성능 검토”, 대한건축학회논문집, 제15권 1호, 53-62쪽
2. 대한건축학회, 2000, “건축물 하중 기준 및 해설”

3. 문태섭 외, 1999, “매트릭스 구조해석”, 기문당, 213-216쪽
4. 박근석 외, 2001, “1/12 축소 철근콘크리트 주상복합건물의 진동대실험”, 대한건축학회 추계학술발표대회논문집 제21권 2호, 201-204쪽
5. 이범식 외, 2001, “전단벽과 연결보의 상대강성비에 따른 병렬전단벽의 거동평가”, 대한건축학회논문집 제17권 2호, 21-27쪽
6. 전대한, 2000, “철근콘크리트 벽식구조물에서 전단벽의 탄소성 해석용 모델화방법의 검토”, 콘크리트학술발표회 논문집, 제12권 2호, 291-296쪽
7. 홍성진 외, 1991, “지진을 받는 1/2 축소 2층 철근콘크리트라멘구조물의 동적거동에 관한 연구()”, 대한건축학회논문집 제7권 3호, 307-317쪽
8. 한국콘크리트학회, 2000, “콘크리트 구조설계기준·해설”
9. International Conference of Building Officials, 1997, UNIF - ORM BUILDING CODE(UBC-97)
10. Prakash V., Powell G.H., and Campbell S.D., "DRAIN-2DX", Version 1.10(1993), Structural Engineering, Mechanics and Materials, Dept. of Civil Engineering, Univ. of California, Berkeley, Report No. UCB/SEMM-93/17

