

저층 철근콘크리트 건축물의 제진 구조 설계

Design of a Low-rise RC Building with Damping System

이 은 진* · 현 창 국** · 최 기 선*** · 유 영 찬****

Lee, Eun-Jin · Hyoun, Chang-Kook · Choi, Ki-Sun · You, Young-Chan

요 약

본 논문에서는 국내에서 아직 기준이 마련되지 않은 제진설계에 대한 접근을 소개하였다. ASCE 7-05 기준에 근거하여 국내 5층 규모의 철근콘크리트 신축 건물에 제진 설계를 수행하였다. 우리나라의 현행 기준을 만족하면서 효과적인 제진 시스템 설계를 위한 방법을 소개한다. ASCE 7-05 기준에서는 제진 구조물 해석 시 부재력이 공칭강도의 1.5배를 초과하지 않은 경우 경계비선형 해석을 허용하고 있다. 이 때의 제진 설계 프로세스는 기존의 중력하중 및 등가정적하중의 75%에 의한 단면을 가정하여 부재설계를 실시하고, 선형 시간이력 해석을 통해 제진장치 및 가새를 설계한다. 이후 우리나라 실정에 맞도록 보정된 인공 지진과를 입력하여 경계비선형 해석을 실시하고, 밀면 전단력 및 층간변위 등의 만족여부를 검토한다. 이 때 목표성능을 완전탄성설계 또는 유사탄성설계로 정하여 목표성능을 만족하는지도 검토하여야 한다. 본 논문에 적용한 신축 건물은 유사탄성 설계를 위해 경계비선형 해석을 실시하였고, 가장 효과적인 제진 설계를 위해 댐퍼의 종류, 설치방법, 개수, 변위 증폭비 등을 변수로 한 case study를 진행하였다. 해석 결과 목표성능을 만족하는 범위 내에서 가장 효과적인 제진 설계는 점성댐퍼, 이층 토글형태, 증폭비 2.0, 총 8개의 댐퍼를 설치하는 것으로 나타났다.

keywords : 제진설계, 철근콘크리트구조, 경계비선형 해석, 유사탄성설계

1. 서 론

전세계적으로 증가되고 있는 빈번한 지진피해 보고 및 한반도의 지진위험도 증가로 인하여 국토해양부에는 건축물의 내진설계를 지속적으로 강화하고 있으며, 이에 수반하여 국내에서도 더 높은 수준의 지진 안전성 확보를 위한 방안의 하나로서 면진·제진 설계법에 대한 관심이 높아지고 있다. 특히 국내에서는 교과부 그린스쿨 사업의 일환으로 진행 중인 학교 건축물에 대한 내진보강사업에 제진장치/시스템에 의한 제진보강 공법이 2009년부터 국내에 본격적으로 적용되고 있다.

그러나 아직 국내에서는 제진구조에 대한 설계기준이 마련되어 있지 않아 실무 엔지니어링에 혼선을 주고 있는 실정이다. 이에 따라 본 논문에서는 미국의 ASCE 7-05에서 규정하고 있는 제진구조물의 해석/설계 기준에 따른 저층 RC구조물의 설계 예를 소개하고자 한다. 제진 설계를 경계비선형 해석으로 하고자 할 경우 부재력이 공칭강도의 1.5배 이하가 되어야 하므로, 먼저 신축 건물의 목표성능을 공칭강도의 1.5배 이하가 되

* 정희원 · (주)동양구조이엔알 기술연구소장 eunjin00@empal.com

** 정희원 · (주)동양구조이엔알 대표이사 ckhyoun@hanmail.net

*** 한국건설기술연구원 수석연구원 ck-suny@kict.re.kr

**** 한국건설기술연구원 연구위원 ycyou@kict.re.kr

는 수준으로 정하고 이를 유사탄성설계라 한다. 제진설계를 위한 첫 번째 단계는 중력하중 및 지진하중의 75%에 의한 단면을 가정하고 부재를 설계한다. 이후 선형 시간이력 해석을 통해 입력되는 지진파의 신뢰성을 확인함과 동시에 댐퍼 및 가새의 단면적, 각도 등을 결정한다. 제진장치가 포함된 제진 시스템에 대해 경계비선형 해석을 실시하여 유사탄성설계 범위 내에 속하는지 검토하고, 이에 따른 허용층간변위, 밀면전단력 등의 결과값을 확인한다.

2. 대상건축물 개요

대상 건축물은 지상 5층 규모의 제진구조물로서 지진력저항시스템과 제진시스템(댐퍼+가새+골조)으로 구분하여 볼 수 있다. 재료의 강도는 콘크리트 24MPa, 철근 400MPa(SD400), 강재 235MPa(SN400)이고, 지진하중은 지역계수 0.22, 지반종류는 S_D , 반응수정계수 5, 변위증폭계수 4.5를 적용하였다.

3. 구조 해석

본 건축물의 제진시스템은 댐퍼와 가새 및 골조구조로 구성되며, 댐퍼는 강재댐퍼와 점성댐퍼를 모두 적용하여 검토하였다. 구조해석을 위한 비선형 물성치는 댐퍼의 실험결과에 따라 최대하중 및 이력특성이 유사하도록 입력하였다. 해석이 적용된 비선형 물성치는 표 1 및 표 2와 같다.

표 1 강재댐퍼의 비선형 물성치

Hysteretic system	
Stiffness	7.35 tonf/mm
Yield strength	15 tonf
Post yield stiffness ratio	0.03
Hysteretic parameter(b)	0.5

표 2 점성댐퍼의 비선형 물성치

Viscoelastic damper	
Damping	7.5 tonf
Reference velocity	1 mm/sec
Damping exponent	0.2
Bracing stiffness	35 tonf/mm

댐퍼는 설치 방법에 따라 증폭비 효과가 다르기 때문에, 본 연구에서는 가새의 형태에 따라 대각가새형, 층간토글형, 이층토글형으로 구분하였다. 대각가새형은 횡변위의 0.7배 증폭효과를 가지며, 층간토글형 및 이층토글형은 토글 배치각에 따라 약 3.0배까지의 증폭효과를 가질 수 있다.

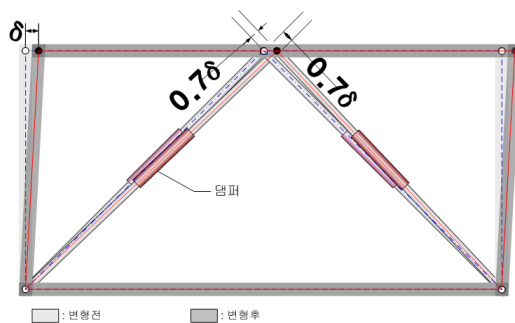


그림 1 대각가새형

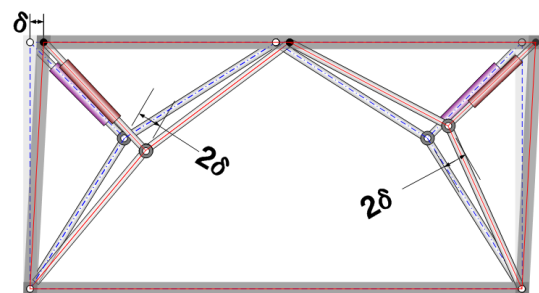


그림 2 층간토글 및 이층토글형

4. 대상 건축물의 변수별 응답분석

본 건축물의 목표 성능을 달성하기 위한 제진장치를 선정하기 위해 대각가새형, 층간토글형, 이층토글형에 대해 댐퍼의 종류, 댐퍼 개수 및 시스템에 따른 영향을 검토하였다.

4.1 댐퍼 종류에 따른 성능비교

강재 댐퍼는 작은 변위에서의 파단에 의해 최대변위가 제한되므로 변위 증폭형인 층간 토글형이나 이층 토글형에 적용하지 않고, 대각 가새형에만 댐퍼종류를 다르게 하여 해석 결과를 비교하였다. 증폭비 1.0배 이하의 제진시스템에서는 댐퍼의 최대변위가 28mm로 댐퍼종류별 감쇠성능 차이가 5%이내로 나타났다.

4.2 댐퍼 소요개수에 따른 성능비교

대각가새형은 증폭비가 약 0.7배로서 증폭비를 조절할 수 없는 시스템이다. 따라서 댐퍼 종류를 강재댐퍼와 점성댐퍼로 구분하여 적용하였다. 제진시스템은 댐퍼개수에 따른 성능을 비교하고, 목표성능에 도달하기 위한 댐퍼개수를 산정하기 위해 1, 2, 4, 8, 10 Unit(4EA/1Unit)를 설치하였다. 대체로 댐퍼개수가 증가하면 밀면전단력이나 층간변위가 감소되는 경향을 보이나, 시스템 및 증폭비별로 비례적 증가가 아닌 최적의 효율을 갖는 댐퍼 개수로 수렴하는 것을 알 수 있었다. 층간토글형 제진시스템의 증폭비 2.0배인 경우 4 Unit를 적용하였을 때가 가장 효율이 좋았으며, 이층토글형 증폭비 3.0배인 경우 3 Unit를 사용할 때 가장 큰 감소비율을 보였다.

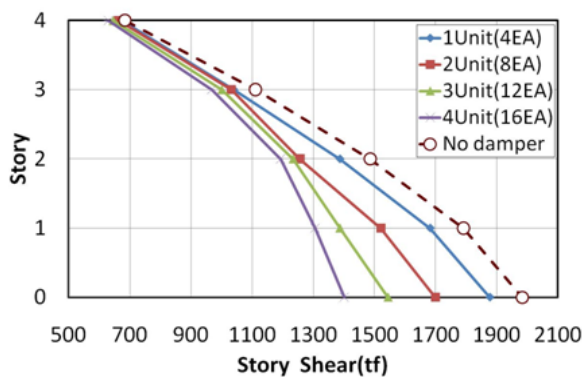


그림 3 댐퍼개수에 따른 밀면전단력 비교
(층간토글형 증폭비 2.0)

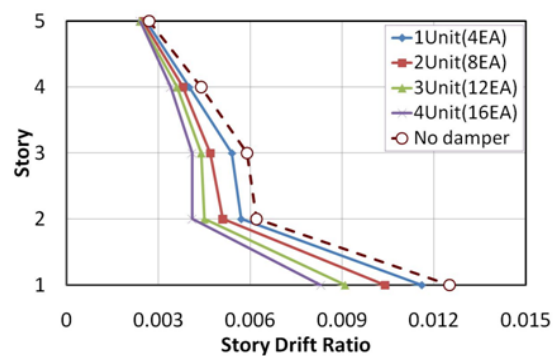


그림 4 댐퍼개수에 따른 층간변위각 비교
(층간토글형 증폭비2.0)

4.3 제진 시스템에 따른 성능비교

동일 성능을 발휘하기 위한 시스템의 성능을 보면 대각 가새형 < 층간토글형 < 이층 토글형의 순으로 감쇠효과가 우수함을 알 수 있다. 각 제진시스템 별로 목표성능을 만족하기 위한 소요 제진장치의 개수를 분석하면 그림 5와 같다. 목표성능은 지진력저항시스템이 탄성영역에 머물도록 하는 완전탄성설계와 부재력이 공칭강도를 1.5배 이내로 초과하는 유사탄성설계로 나누어 정의하였다.

본 대상 구조물의 제진설계에 있어서 완전탄성설계인 경우는 설계밀면전단력인 1075.2 tf 이하, 유사탄성설계인 경우 설계밀면전단력의 1.5배인 1612.5 tf 이하이다. 그림 5에서와 같이 유사탄성설계를 목표로 할 경우 이층토글이 가장 적은 댐퍼개수를 필요로 함을 알 수 있다.

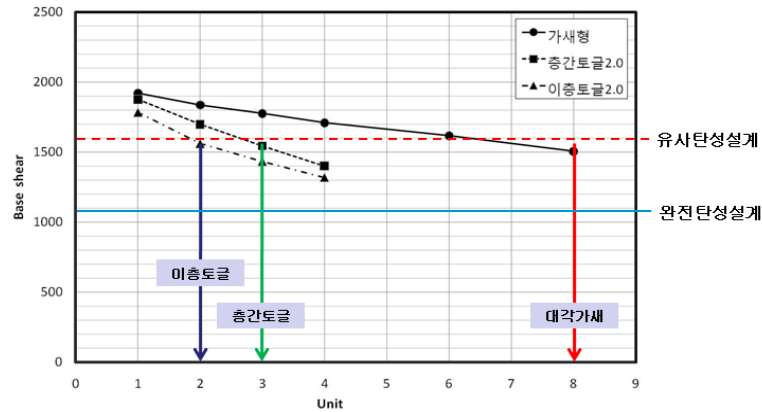


그림 5 제진 시스템에 따른 성능 비교

5. 결 론

대상 건축물의 제진설계에 있어서 목표성능은 유사 탄성설계의 범위로 하였으며, 이를 만족하기 위한 제진시스템별 댐퍼 소요개수를 산정하여 설계에 이를 반영하였다. 표 3에서 보는 바와 같이 제진시스템별 증폭비에 비례하여 댐퍼 소요개수는 감소함을 알 수 있고, 이층토글형은 기존 대각 가새형 제진시스템에 비하여 댐퍼 소요개수를 1/6로 감소할 수 있다.

표 3 제진시스템별 소요 댐퍼 수

제진 시스템	댐퍼종류	증폭비	유사탄성설계		
			X방향	Y방향	총댐퍼개수
대각가새형	강제	0.7	8unit(32개)	4unit(16개)	48
	점성	0.7	8unit(32개)	4unit(16개)	48
중간토글형	점성	0.7	8unit(32개)	4unit(16개)	48
	점성	1.0	6unit(24개)	4unit(16개)	40
	점성	2.0	3unit(12개)	3unit(12개)	24
	점성	3.0	3unit(12개)	3unit(12개)	24
이층토글형	점성	1.0	4unit(8개)	4unit(8개)	16
	점성	2.0	2unit(4개)	2unit(4개)	8
	점성	3.0	2unit(4개)	2unit(4개)	8

감사의 글

이 원고는 국토해양부가 주관하고 한국건설교통기술평가원이 시행하는 2007년 첨단도시개발사업(과제 번호:07도시재생B04)의 연구비 지원에 의해 수행된 것으로서, 이에 깊은 감사를 감사드립니다.

참고문헌

대한건축학회(2009), “건축구조설계기준(Korean Building code-Structural)”, pp.337-394

FEMA 450, NEHRP recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings and Other Structures., 2003

ASCE 7-05, Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures., 2006

마이다스아이티, MIDAS/Genw Analysis and Design, MIDAS IT.