

격간벽 구조의 취약도 해석

Fragility Analysis of Staggered Wall Structures

백 동 걸* 권 광 호** 김 진 구†
Beak, Donggirl Kwon, Kwangho Kim, Jinkoo

요 지

지진취약도 곡선은 구조물의 피해를 지반가속도에 따른 확률로 나타낸 것으로, 이를 이용하여 구조물의 지진에 대한 손상확률을 추정할 수 있다. 본 연구에서는 6층, 12층 중복도형 격간벽 구조 시스템에 대한 취약도 곡선을 산출하기 위해 22쌍의 지반가속도를 이용하여 증분동적해석(Incremental dynamic analysis)을 수행하고, 다양한 지진강도에 대한 파괴확률을 구하였다. 정형의 격간벽 구조의 해석결과와 1층의 격간벽을 기둥으로 대체한 구조물, 중앙 복도에 기둥이 추가된 구조물의 해석결과를 비교하였다. 취약도 해석결과에 따르면 동일한 수준의 지진하중에 대하여 중앙 복도에 기둥을 추가한 모델이 가장 높은 내진 안전성을 갖는 것으로 나타났다.

핵심용어 : 취약도 해석, 격간벽 구조, 증분동적 해석

Abstract

Fragility curves show the probability of a system reaching a limit state as a function of some measure of seismic intensity. To obtain fragility curves of six and twelve story staggered wall structures with middle corridor, incremental dynamic analyses were carried out using twenty two pairs of earthquake records, and their failure probabilities for various intensity of seismic load were investigated. The performances of staggered wall structures with added columns along the central corridor and the structures with their first story walls replaced by columns were compared with those of the regular staggered wall structures. Based on the analysis results it was concluded that staggered wall structures with central columns have the largest safety margin for the same level of seismic load.

Keywords : fragility analysis, staggered wall structures, incremental dynamic analyses

1. 서 론

우리나라의 공동주택은 1970년대를 기점으로 기하급수적으로 증가하여 2002년을 기준으로 전체 주택의 45.6%인 524만호를 차지할 만큼 대표적인 주택 유형으로 자리 잡았다. 하지만 국내 공동주택의 평균주택수명은 20년으로 평균 50년인 선진국에 비해 매우 짧기 때문에 구조물의 수명을 늘릴 수 있고 사용자의 다양한 변화 요구에 적절히 대응할 수 있는 리모델링의 필요성이 대두되고 있다. 국토해양부에서는 리모델링이 용이한 구조물에 대해 추가적인 용적률을 허용하고, 주택성능등급인정제도를 시행하여 정책적으로 공간구성

의 가변성이 향상된 공동주택을 장려하고 있다(2006). 이러한 관점에서 격간벽 구조 시스템(Staggered Wall System)은 벽을 격층으로 설치함으로써 재료비를 절감하고 가변성을 확보할 수 있는 장점이 있다. 격간벽 구조는 60년대 말 미국에서 제안된 구조 시스템으로, 전단벽이 한 층 걸러 설치됨으로써 공간사용의 효율성을 높일 수 있는 장점이 있다(Fintel 1968). 하지만 횡력에 저항하는 전단벽이 불연속적으로 설치되어 지진에 대한 안전성 검토가 필요하다. Kim and Jun(2011)은 벽식 아파트의 일부 전단벽을 격간벽으로 변경한 구조물의 내진성능을 분석하였다.

본 연구에서는 중앙 복도가 설치된 격간벽 구조 시스템의

† 교신저자, 정회원 · 성균관대학교 건설환경시스템공학과 정교수
Tel: 031-290-7653 ; Fax: 031-290-7570
E-mail: jkim12@skku.edu

* 성균관대학교 초고층대교량학과 석사과정

** 성균관대학교 건설환경시스템공학과

• 이 논문에 대한 토론을 2012년 12월 31일까지 본 학회에 보내주시면 2013년 2월호에 그 결과를 게재하겠습니다.

취약도 해석(Fragility Analysis)을 수행하였다. 이를 위하여 6층, 12층의 판상형 격간벽 구조 시스템을 설계하고, 비선형 정적해석을 수행하여 붕괴메커니즘을 분석하였다. 손상도 기준을 Slight, Moderate, Extensive, Complete로 정의하고 22쌍의 지반가속도를 이용한 증분동적 해석(IDA: Incremental Dynamic Analysis)을 수행하여 주어진 지진하중 수준에 대한 각 손상도 기준의 도달확률을 구하였다. 해석결과를 바탕으로 다양한 격간벽 시스템의 내진성능 및 내진 안전성을 평가하였다.

2. 격간벽 구조 시스템

2.1 격간벽 구조 시스템의 일반사항

격간벽 구조 시스템은 스테이지 트러스 시스템을 철근 콘크리트 벽식구조에 적용시킨 방식으로 그림 1과 같이 세대간의 벽을 격층으로 설치하여 2세대를 하나의 장스팬으로 구현하는 시스템으로 건축 계획적인 측면에서 효율적인 공간구성을 가능하게 한다. 구성된 2세대의 내부 칸막이벽은 공장생산 건식벽체로 대체하여 내부 칸막이벽의 가변성을 확보하기 때문에 사용자의 다양한 요구에 부합할 수 있을 뿐만 아니라 건물 수명의 연장 및 건식공법의 사용으로 노동 집약적인 건설 방식에서 탈피하여 건설환경 변화에 적극적으로 대응할 수 있게 한다. 또한 벽체량의 감소로 건설원가 절감 및 골조 공사기간을 단축한다.

격간벽을 중심으로 양층의 슬래브는 H형 단면의 깊은 보를 형성하여 구조적인 안정성을 확보하며, 격간벽의 양 단부에 설치된 기둥은 축력과 휨모멘트에 저항하게 된다. 기둥에 비해 격간벽의 강성이 매우 크기 때문에 휨변형은 주로 기둥에서 발생한다. 격간벽이 설치되지 않은 방향으로는 모멘트 저항 골조(Moment Resisting Frame)와 같이 거동한다.

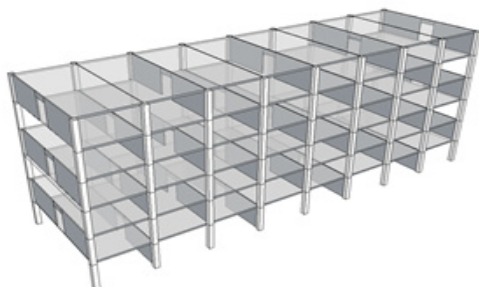


그림 1 격간벽 구조 시스템

2.2 예제 구조물 설계

본 연구의 대상 구조물은 단방향으로는 통행 공간을 위해

표 1 KBC-2009에 따른 지진하중 변수

지역계수(S)	0.22
지반종류	S_b
F_a	1.00
F_b	1.00
S_{Ds}	0.3667g
S_{D1}	0.14667g
중요도계수(I_E)	1.2
반응수정계수(R)	3.0
내진설계범주	C

표 2 KBC-2009에 따른 풍하중 변수

노풍도	B
설계기본풍속	30m/sec
중요도계수	1.0
가스트계수	2.2

중앙 복도가 설치된 격간벽 구조 시스템이고, 장방향으로는 모멘트 저항 골조로 구성된 모델이다. 층수는 6층 12층으로 나누어 설계하였으며, 세 가지 유형의 중복도 격간벽 시스템의 내진성능을 비교하기 위해 벽을 단순 격층으로 배치한 Type 1, 1층에 전단벽 대신 기둥을 설치한 Type 2, 중복도 양쪽에 연속된 기둥을 추가로 설치한 Type 3 등 세 가지 모델을 설계하였다. 대상 구조물의 설계는 건축구조설계기준과 콘크리트 구조설계기준을 바탕으로 MIDAS GENW와 MIDAS SDS를 이용하여 수행하였다. 사용된 콘크리트의 강도는 27 MPa이며 철근은 SD400을 사용하였다. ASCE/SEI 41-06 (2007)에 따라 재료의 초과강도를 고려하여 콘크리트의 압축강도는 1.5배, 철근의 항복강도는 1.25배를 사용하였고 슬래브는 강막(Rigid Diaphragm)으로 가정하였다. 설계하중은 KBC(2009)를 적용하였고 고정하중은 7kN/m², 활하중은 2kN/m²을 적용하였다. 지진하중과 풍하중 산정에 사용된 설계계수를 표 1과 표 2에 나타내었다.

격간벽 구조 시스템은 지진력 저항 시스템으로 내진설계기준에 분류되어 있지 않으므로 기타 구조로 간주하여 반응수정계(R)수는 3.0으로 가정하였다. 복도를 따라 격간벽 사이에 위치한 인방보는 모든 모델에서 200×600mm이며, 그림 2와 같이 두 개의 탄성 보 요소와 강도저감을 고려한 양단의 Moment Hinge, 중앙의 Shear Hinge로 모델링되었다. Moment Hinge는 ASCE/SEI 41-06에 따라 정의하였고, Shear Hinge는 Englekirk(2003)가 제안한 식을 따라 정

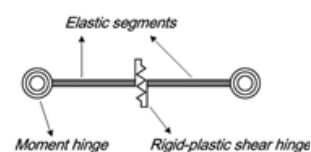


그림 2 인방보 요소

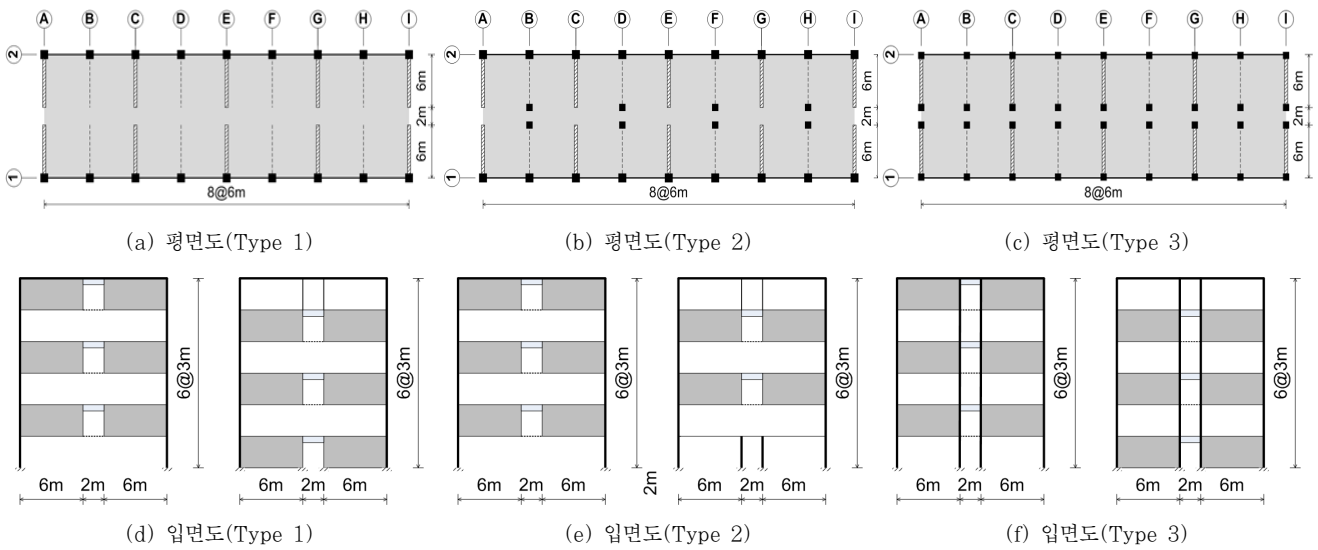


그림 3 해석 모델의 구조평면도 및 입면도(6층 예제건물)

표 3 각 모델의 1차 고유주기

		고유 주기(sec)
Type 1	6F	0.293
	12F	0.406
Type 2	6F	0.214
	12F	0.661
Type 3	6F	0.217
	12F	0.543

의 하였다. 그림 3은 세 가지 격간벽 예제 구조물의 평면과 입면 모습이다.

건물의 고유주기는 구조물의 동적 거동을 파악할 때 중요한 변수로 작용하게 된다. 본 연구에서는 해석 모델의 주기 산정 및 비선형 해석을 위해 Perform 3D 프로그램을 사용하였다. 표 3은 격간벽이 설치된 구조물의 단변방향 1차 모드 고유주기를 보여주고 있다.

3. 비선형 정적 해석

3.1 붕괴 메커니즘 분석

격간벽 구조 시스템의 비선형 거동을 파악하기 위해 단변 방향 1차모드 형상에 비례하여 횡하중을 산정, 점진적으로 증가하며 비선형 정적해석을 수행하였고, 그 결과를 바탕으로 격간벽 구조 시스템의 붕괴 메커니즘을 분석하였다.

소성힌지 분포를 보면 Type 1과 Type 2는 격간벽 사이 인방보에서 먼저 소성힌지가 발생한 후 양단부 기둥 상하부에서 소성힌지가 발생하였으며, 두 개 이상의 인접층 안방보에 과도한 소성변형이 발생할 경우 구조물의 내력이 급감하

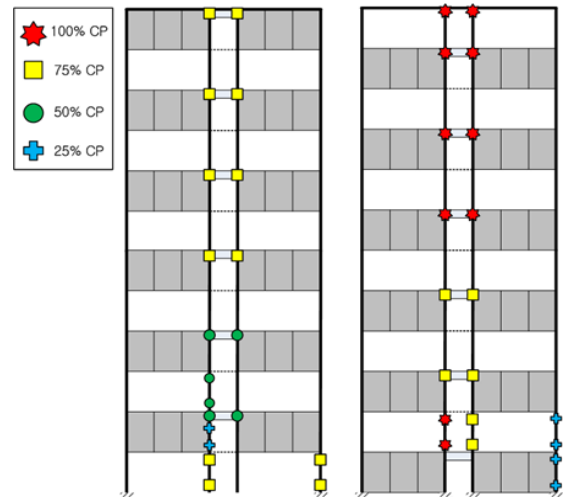


그림 4 소성힌지 분포(Type 3)

었다.

복도 양쪽으로 기둥이 추가된 Type 3의 경우 격간벽 사이 인방보에서 소성힌지가 먼저 발생한 후 기둥 상하부에서 소성힌지가 발생하고, 인방보에 발생하는 소성힌지가 상부 층까지 확산되어 구조물의 강도와 연성이 증가하는 것으로 나타났다(그림 4).

3.2 손상도 기준

본 연구에서는 미국 HAZUS(1995)에서 전반적인 피해상황을 평가하기에 적합하도록 제시한 Slight, Moderate, Extensive, Complete의 4단계 손상상태를 적용하였다. 콘크리트 구조물을 중심으로 4단계 손상도의 특징을 살펴보면 Slight는 일부 부재에 미세균열이 발생한 상태, Moderate

는 전반적으로 균열이 발생하고 일부 부재가 항복하는 상태, Extensive는 일부부재가 극한상태에 도달한 상태, Complete는 구조물이 붕괴하거나 붕괴 직전인 상태를 나타낸다. 본 연구에서는 Park 등(1987)과 Barbat 등(2008)의 연구를 바탕으로 위 4단계의 손상도 기준을 정의하였다(표 4). 구조 해석을 통해 얻어진 건축물의 하중-변위 관계 그래프를 바탕으로 Slight Damage는 하중-변위 관계 그래프를 이선형화했을 때의 항복점의 70%수준에 대응하는 지점의 층간 변위비로 하며, Moderate Damage는 항복점에 해당하는 층간 변위비로 정의하였다. Complete Damage는 최대강도의 80% 수준으로 강도가 저하되는 점의 층간 변위비를 기준으로 하였고, Extensive Damage는 Moderate와 Complete 수준의 손상도 기준을 1:3으로 분할하는 점의 층간 변위비로

표 4 각 모델별 층간 변위비 기반 손상기준

		Slight	Moderate	Extensive	Complete
Type 1	6F	0.00073	0.00178	0.00246	0.00449
	12F	0.00095	0.00178	0.00251	0.00471
Type 2	6F	0.00101	0.00165	0.00233	0.00436
	12F	0.00092	0.00217	0.00295	0.00529
Type 3	6F	0.00105	0.00227	0.00342	0.00688
	12F	0.00187	0.00333	0.00424	0.00699

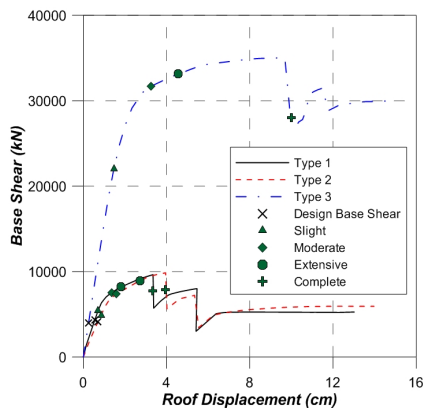


그림 5 6층 예제 구조물의 하중-변위 관계

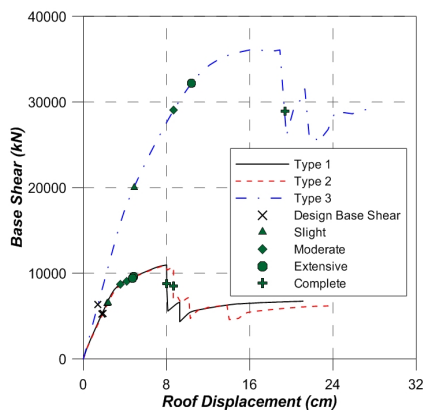


그림 6 12층 예제 구조물의 하중-변위 관계

정의하였다. 표 4는 해석모델의 각 손상도 기준에 해당하는 층간 변위비를 나타낸다. 그림 5 및 그림 6은 6층 및 12층 해석모델의 비선형 정적해석 결과를 나타낸다. Type 1 및 Type 2 모델은 유사한 거동을 보이는 것을 알 수 있고, 복도 양쪽에 기둥이 추가된 Type 3 모델은 강도 및 변형능력이 크게 증가하는 것을 알 수 있다.

4. 취약도 해석

4.1 지진 취약도 해석

일정한 강도의 지진이 발생할 경우, 지진에 대하여 구조물에 손상이 발생할 확률을 나타내는 지진 취약도 함수는 구조물의 내진 성능을 평가하기 위하여 사용된다. 그림 7은 이러한 지진 취약도의 개념을 보여주고 있다. 일정 지진강도에 해당하는 많은 수의 지진 데이터를 이용하여 비선형 동적해석을 수행함으로써 손상확률을 구하고, 다시 지진강도를 증가시켜 비선형 동적해석을 수행하는 방법을 반복 적용함으로써 구하고자 하는 지진강도 범위 내에서 지진 취약도 함수를 결정할 수 있다. 취약도 해석을 통해 구조물이 일정 지진에 의해 피해상태가 일정 수준을 넘는 확률을 결정할 수 있어 정량적으로 내진성능을 평가할 수 있다.

지진 취약도는 일정 지진강도에 대한 구조물의 손상확률을

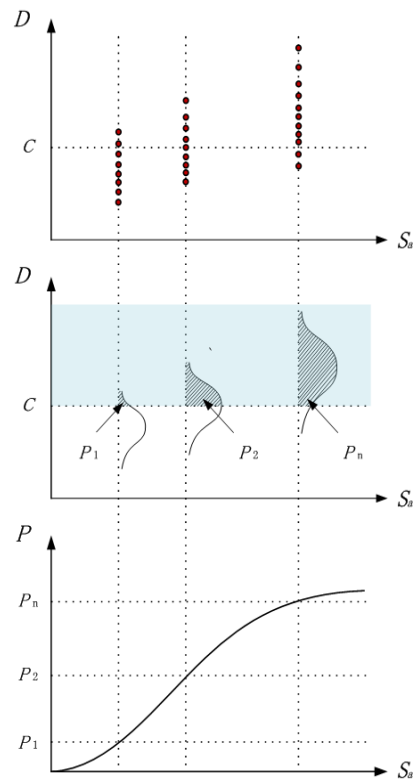


그림 7 Sa를 이용한 지진 취약도 해석의 개념

표 5 해석모델 등급에 따른 $\beta_C(\beta_{TOR})$

Quality of Test Data	Quality of Design Requirement			
	Superior	Good	Fair	Poor
Superior	0.475	0.500	0.575	0.675
Good	0.500	0.525	0.600	0.700
Fair	0.575	0.600	0.675	0.750
Poor	0.675	0.700	0.750	0.825

조건부 함수로 표현되는데, 본 논문에서는 Cornell 등(2002)이 제안한 다음 식을 이용하여 지진 취약도를 구하였다.

$$P[D \geq C] = \Phi(\ln[D/\hat{C}]/\beta_C) \tag{1}$$

D 는 구조물에 요구되는 스펙트럼 가속도를 나타내고, C 는 구조물의 보유 능력을 나타낸다. \hat{C} 는 44개의 지진 기록을 이용해 강도를 점차 증가시키면서 증분동적 해석을 수행하고 절반(22개)의 지진이 해당 손상도 기준에 도달했을 때의 스펙트럼 가속도이다. 데이터에 대한 불확실성을 나타내는 β_C 는 FEMA P695(2009)에 제시되어 있는 β_{TOR} 값을 사용하였다. 해석 모델의 등급은 Good, 실험 데이터 등급은 Fair, 설계 요구조건 등급은 Good을 적용하여 FEMA P695 Table 7-2(a~d)에 따라 불확실성을 나타내는 $\beta_C(\beta_{TOR})$ 값은 0.6으로 모든 해석 모델에 동일하게 적용하였다(표 5).

4.2 지진 데이터 및 Scaling

본 논문에서는 구조물의 고유주기 특성이 반영된 스펙트럼 가속도(Spectral Acceleration, Sa)를 이용하여 취약도 해석을 수행하였다. 구조물의 비선형 동적해석은 FEMA P695에 제시된 방법에 따라 단층지역에서 10km이상 떨어진 Far-field 지진 데이터 22쌍, 44개(PEER NGA Database, 2006)를 사용하여 해석하였다(표 6). 각각의 지진 데이터는

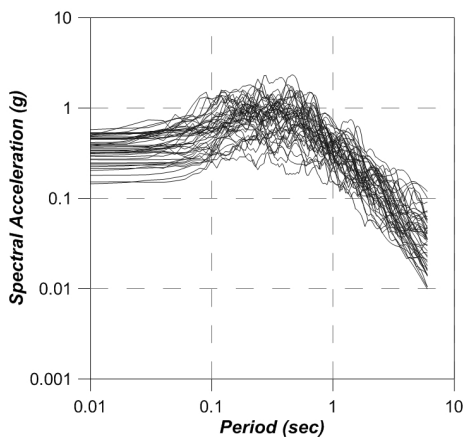


그림 8 지진 데이터의 응답스펙트럼

표 6 해석에 사용된 지진 데이터

No	Name	PGA(g)	PGV(cm/s)
1	Northridge	0.52	63
2	Northridge	0.48	45
3	Duzce, Turkey	0.82	62
4	Hector Mine	0.34	42
5	Imperial Valley	0.35	33
6	Imperial Valley	0.38	42
7	Kobe, Japan	0.51	37
8	Kobe, Japan	0.24	38
9	Kocaeli, Turkey	0.36	59
10	Kocaeli, Turkey	0.22	40
11	Landers	0.24	52
12	Landers	0.42	42
13	Loma Prieta	0.53	35
14	Loma Prieta	0.56	45
15	Manjil, Iran	0.51	54
16	Superstition Hills	0.36	46
17	Superstition Hills	0.45	36
18	Cape Mendocino	0.55	44
19	Chi-Chi, Taiwan	0.44	115
20	Chi-Chi, Taiwan	0.51	39
21	San Fernando	0.21	19
22	Friuli, Italy	0.35	31

규모, 지반 조건, 진원지와의 거리 등이 다르므로, 취약도 곡선(Fragility Curve)을 구하기 위해 해당 건물의 주기에 맞추어 스케일링하고, 스펙트럼 가속도의 크기를 점차 증가시켜 구조물의 응답을 산출하였다. 그림 8은 본 연구에 사용된 44개의 지진 데이터의 응답스펙트럼을 나타낸다.

4.3 증분동적 해석

증분동적 해석은 구조물의 탄성 단계에서부터 항복, 붕괴에 이르기까지 지반 가속도의 크기를 증가시켜 구조물의 거동을 파악하는 방법이다. 시간이력해석을 수행한 지진의 수만큼 IDA 곡선이 그려지게 된다. 그리고 통계적인 방법을 통해 IDA 곡선들로부터 구조물 응답의 발생 확률을 구하고 내진성능을 평가하게 된다. 본 연구에서는 44개의 지진데이터를 0.1g부터 0.2g 단위로 점차 증가시키면서 증분 동적해석을 수행하였다. 그림 9는 각 해석모델의 IDA 곡선을 나타내며, 증분동적 해석에 의해 손상기준에 따른 \hat{C} 값을 표 7에 정리하였다. 층수가 높아지면 P-Delta 효과가 크게 발생하기 때문에 구조물이 더 낮은 가속도에서 붕괴되는 것으로 나타났다. IDA 해석결과, Complete 단계에 해당하는 층간 변위비에 도달할 때의 지반 가속도의 Median 값(\hat{C})은 12층 모델에 비해 6층 모델이 1.4~2.1배 높게 나타났다. 1층에 격간벽이 존재하는 Type 1이 기둥만으로 구성된 Type 2에

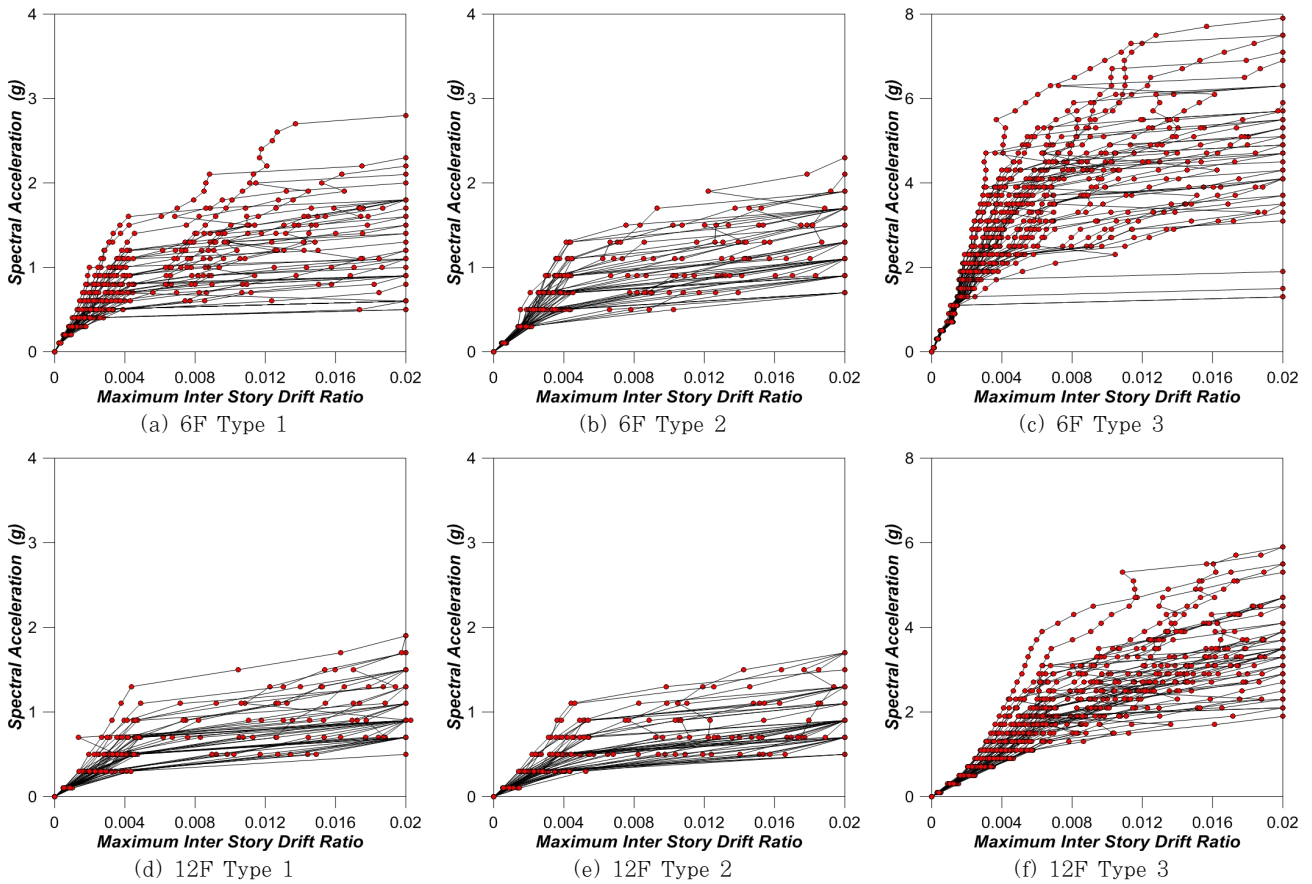


그림 9 해석모델의 IDA 곡선

표 7 증분 동적해석에 의한 모델별 \hat{C}

층수	Type	\hat{C}
6F	1	0.98
	2	0.74
	3	4.02
12F	1	0.72
	2	0.55
	3	1.93

비해 1.3배 높은 \hat{C} 값을 보였고, 중앙복도에 기둥을 추가한 Type 3의 경우 Type 1과 Type 2에 비해 2.5~5.4배 높은 \hat{C} 값을 보였다.

4.4 지진 취약도

본 절에서는 앞서 하중-변위 곡선으로 구한 손상도 기준과 증분동적 해석을 통해 구해진 \hat{C} 값과 불확실성을 나타내는 β_C 를 통해 격간벽 구조 시스템의 지진 취약도 곡선을 작성하였다(그림 10). 그림 9에서 가장 안정적인 거동을 보여준 Type 3의 경우 6층 구조물에 Moderate Damage가 발생할 확률이 50%일 때 S_a 는 1.82g로 조사되었다. 반면에 Type

1과 Type 2의 경우 S_a 가 1.82g에 도달할 때 Moderate 손상이 발생할 확률은 각각 98.7%와 99.9%에 도달하는 것으로 나타났다. 또한 Complete Damage와 같은 심각한 손상이 발생할 확률은 Type 3모델의 경우 4.02g에서 50%의 확률을 갖는 것으로 조사되었지만, Type 1과 Type 2의 경우 각각 0.98g와 0.71g에서 Complete 손상이 발생할 확률이 50%인 것으로 나타났다.

12층의 구조물의 경우에도 6층 구조물과 마찬가지로 Type 3 모델이 가장 안정적인 거동을 하는 것으로 나타났으며, S_a 가 0.87g일 때 Moderate 손상이 발생할 확률이 50%인 것으로 조사되었다. Type 1과 Type 2의 경우 S_a 가 0.87g에 도달할 때 Moderate 손상이 발생할 확률은 각각 96.0%와 97.5%인 것으로 나타났다. Type 3의 경우 $S_a=1.93g$ 에서 Complete Damage에 도달할 확률이 50%인 것으로 조사되었지만, Type 1과 Type 2의 경우 각각 0.72g와 0.55g에서 동일한 확률을 나타내는 것으로 조사되었다.

각각의 손상지수의 기울기를 통해 손상이 발생할 확률을 평가한다. 해석모델에 따라 Slight Damage와 Moderate Damage의 경우 기울기에서 큰 차이를 보이지 않았지만,

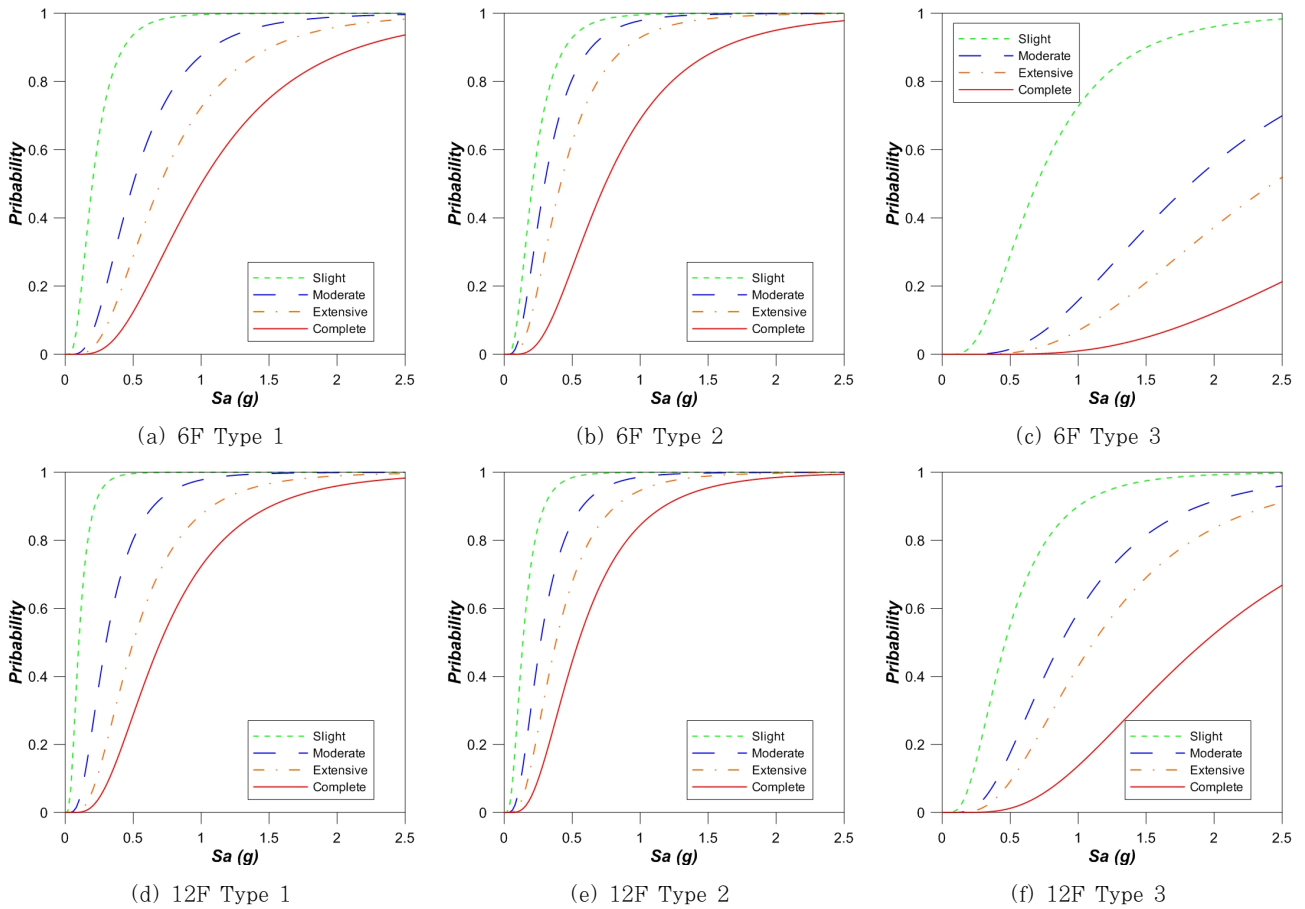


그림 10 취약도 곡선

Extensive Damage와 Complete Damage에서 손상이 발생할 확률은 Type 2>Type 1>Type 3의 순으로 조사되었다. 이를 통해 1층의 격간벽을 기둥으로 대체한 Type 2는 격간벽을 설치한 Type 1에 비해 Extensive와 Complete의 단계에서 높은 위험도를 갖는 것을 알 수 있으며, 1층 격간벽이 존재하며 중앙 복도 양쪽에 기둥을 추가로 설치한 Type 3은 가장 안정적인 내진성능을 보유하고 있는 것으로 조사 되었다.

FEMA 450(2004)의 Commentary 에서는 약 2500년 재현주기의 지진(Maximum Considered Earthquake ground motion, MCE)에 대해서 붕괴방지(Collapse Prevention) 수준의 내진성능을 요구하고 있다. MCE 수준에서 Complete Damage가 발생할 확률은 6층의 Type 1은 16.69%, Type 2는 29.70%, Type 3은 0.06%로 조사되었다. 12층의 경우 Type 1은 11.43%, Type 2는 16.26%, Type 3은 0.55%로 조사되었다. 중앙 복도에 기둥을 설치한 Type 3이 다른 유형의 모델에 비해 강도와 강성이 크게 증가하는 것으로 나타났고, MCE 수준의 지진 강도에서 가장 안정적인 거동을 보이는 것으로 조사되었다.

8. 결 론

본 연구에서는 중앙에 복도가 설치된 격간벽 구조 시스템을 설계하고 취약도 해석을 통해 각 성능수준에 도달할 확률을 구하고 내진성능을 비교 및 평가하였다. 내진성능의 확률적 평가를 위해 FEMA P695에 따라 불확실성을 고려하여 취약도 해석을 수행하였다. 본 연구의 결과는 다음과 같다.

6층과 12층 해석모델을 비교하였을 때 Slight, Moderate, Extensive, Complete 손상이 발생할 확률은 층수가 높을수록 증가하는 것으로 나타났다. 해석모델에 따라 Slight Damage와 Moderate Damage 성능수준의 경우 발생확률에 큰 차이가 없으나, Extensive Damage와 Complete Damage에 해당하는 손상이 발생할 확률은 1층의 격간벽을 기둥으로 대체한 Type 2 모델이 가장 크게 나타났다. 1층에 격간벽이 존재하며 중앙 복도의 인방보 양쪽에 기둥이 설치된 격간벽 시스템의 경우 인방보에 발생하는 손상이 건물 전체로 분산되어 강도와 연성이 크게 증가하고, 주어진 성능수준에 도달할 때의 지반 가속도의 Median 값이 가장 높게 나타났다.

감사의 글

본 연구는 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국 연구재단(No. 2011-0015734)의 지원을 받아 수행되었습니다.

참 고 문 헌

국토해양부 (2007) 리모델링이 용이한 공동주택 기준, 국토해양부 고시 제2007-456호.

ASCE (2007) Seismic Rehabilitation of Existing Buildings, ASCE Standard ASCE/SEI 41-06, *American Society of Civil Engineers, Reston Virginia.*

ATC (2005) Quantification of Building Seismic Performance Factors, ATC-63, *Applied Technology Council, Redwood City, CA.*

Barbat A.H., Pujades, L.G., Lantada, N. (2008) Seismic Damage Evaluation in Urban Areas Using the Capacity Spectrum Method, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering.*

Cornell, C.A., Jalayer, F., Hamburger, R., Foutch, D. (2002) Probabilistic Basis for 200 SAC Federal Emergency Management Agency Steel Moment Frame Guidelines, *Structure Eng-ASCE 2002.*

Englekirk, R. (2003) Seismic Design of Reinforced and Precast Concrete Building, John Wiley & Sons, Inc.

FEMA (2004) NEHRP Recommended Provisions for seismic Regulations for New Buildings and Other Structures, FEMA 450-1/2003 Edition, Part 2: Commentary, *Federal Emergency Management Agency, Washington D.C., USA.*

FEMA P695 (2009) Quantification of Building Seismic Performance Factors, *Federal Emergency Manage-*

ment Agency, Washington D.C., USA.

Fintel, M. (1968) Staggered Transverse wall Beams for Multistory Concrete Buildings, *ACI Journal.* pp.366~378.

HAZUS-National Institute of Building Sciences (1995) Development of a Standardized Earthquake Loss Estimation Methodology, *Federal Emergency Management Agency, Washington D.C., USA.*

KBC (2009) 건축구조설계기준, 대한건축학회.

Kim, J., Jun, Y. (2011) Seismic Performance Evaluation of Partially Staggered-wall Apartment Buildings, *Magazine of Concrete Research*, 63(12), pp.927~939.

MIDAS Genw (2010) General Structure Design System for Windows, Ver. 7.9.5.

MIDAS SDS (2010) General Structure Design System for Windows, Ver. 3.5.9.

Park, Y.J., Ang, A.H-S, Wen, Y.K. (1987) Response-Based Damaged Assessment of Structures, *Earthquake Engineering.*

Paulay T., Priestley, M.J.N. (1992) Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings.

Perform3D (2006) Nonlinear Analysis and Performance Assessment for 3D Structures-User Guide, *Computers & Structures, INC, Berkeley, CA.*

PEER (2006) PEER NGA Database, Pacific Earthquake Engineering Research Center, *University of California, Berkeley, U.S.A.*

- 논문접수일 2012년 5월 7일
- 논문심사일 2012년 5월 17일
- 게재확정일 2012년 8월 21일