

고차모드 영향을 반영한 푸쉬오버 해석 횡력 분배계수

Lateral Load Distribution Factor for Pushover Analysis

including Higher Mode Effects

김 건 우*

Kim, Geon-Woo

송 진 규**

Song, Jin-Gyu

이 철 호***

Lee, Cheol-Ho

Abstract

A procedure for determining the lateral load pattern for pushover analysis which includes higher mode effects is presented in this study. It is well-known that the details of future earthquakes at particular site is almost impossible to predict accurately and that the code-design spectra try to represent at least the average nature of probable future earthquakes. Thus the code-design spectrum is directly used as the input earthquakes in this paper when incorporating higher mode effects in the pushover analysis so that the efforts for selecting input motions and constructing response spectrum needed in some existing method could be avoided. A case study based on the time history analysis of a irregular steel moment frame showed that the procedure proposed in this study generally outperforms various pushover analysis procedures of ATC-40 and FEMA 273. However, the proposed procedure tended to be conservative as compared with the time history analysis method.

요 지

미래의 지진을 예측하는 것은 거의 불가능하지만 코드에서는 설계스펙트럼을 이용하여 미래 지진의 최소한의 일반적인 현상을 나타내고자 노력하고 있다. 기존의 고차모드의 영향을 반영하기 위한 방법은 조건이 맞는 지진을 선택하고 응답스펙트럼을 산정해야 하는 단점을 지니고 있다. 따라서 본 논문에서는 이러한 단점을 보완하고자 코드의 설계응답스펙트럼을 이용하여 바로 고차모드의 영향을 반영한 횡력 분배형태를 결정하는 방법을 제시하고 있다. 본 논문에서는 비정형적인 철골모멘트 골조를 이용하여 ATC-40, FEMA 273 그리고 본 논문에서 제안한 방법을 시간이력해석결과와 비교하여 우수성을 검증하였다. 하지만 제안한 방법은 시간이력해석결과에 비해 다소 보수적인 결과를 나타내었다.

Keywords : Pushover Analysis, Higher Mode Effects, Lateral Load Distribution Factor

핵심 용어 : 푸쉬오버해석, 고차모드효과, 횡하중분배계수

* 정회원, 전남대학교 박사과정

** 정회원, 전남대학교 건축학부 부교수

*** 정회원, 서울대학교 건축학부 부교수

E-mail : jgsong@chonnam.ac.kr 062-530-1640

• 본 논문에 대한 토의를 2006년 6월 30일까지 학회로 보내주시면 2006년 9월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 필요성

구조물의 보유 내진성능을 확인하기 위한 이상적 방안은, 적절히 선정된 다수 개의 지진가속도를 입력으로 하여 비선형 동적시간이력해석을 수행하는 것이다. 그러나 이 방법은 실행에 따르는 여러 가지 어려움(입력 지진선정, 입력 지진의 불확실성, 막대한 계산노력 등)으로 인해 실용성이 떨어진다. 대안으로 널리 사용되는 것이 소위 푸쉬오버 해석(pushover analysis)이다. 즉 지진하중 작용시의 관성력 분포를 모사하는 횡력 프로필(통상 기본진동 모드의 관성력 프로필)을 정적으로 가력하여 근사적으로 동적응답을 추정하는 실용적인 방법이다. 그러나 고차모드의 영향이 중요한 비정형구조물이나 고층구조물에 대하여 통상의 푸쉬오버 해석법을 적용하면 예측치가 큰 오차를 나타낼 수 있다. 이러한 이유로 고차모드의 영향이 반영된 푸쉬오버 해석 방법이 몇 가지 제시된 바가 있다. 고차모드의 영향이 반영된 푸쉬오버 해석법에는, ① 모드별로 해석을 수행한 후에 그 결과(층간 변위비, 층 지진하중, 소성 분포 등)를 조합하는 방법^{(1),(2)}, ② 횡력 분배계수를 산정할 때 고차모드를 반영하여 푸쉬오버 해석을 수행하는 방법^{(3),(4)}이 있다.

두 방법 모두 과거의 지진 사용에 의한 불확실성과 함께 조건이 맞는 지진파를 선택하여야 하는 단점을 내포하고 있다. 또한 첫 번째 방법은 복잡한 비선형 해석을 원하는 모드의 수만큼 수행하여야 하고, 중첩의 원리가 성립하지 않는 비선형응답에 SRSS 또는 CQC를 적용하는 이론상의 결함이 있다. 그리고 두 번째 방법 또한 고차모드 영향의 반영을 위해 지진의 응답스펙트럼을 얻어내야 하는 다소 복잡한 과정을 거쳐서 횡력 분배계수를 산정하여 푸쉬오버 해석을 수행한다. 두 가지 방법은 모두 나름의 단점을 가지고 있지만, 모드별 결과를 조합하는 방법에 비해 고차모드의 영향이 반영된 횡력 분배계수를 사용하는 후자의 방법이 복잡한 비선형 해석을 한 번만 수행해도 되는 상대적 장점을 지니고 있다. 따라서 본 논문에서는 후자의 개선방안을 제시하고자 하였다. 제안한 방안을

ATC-40⁽⁵⁾과 FEMA 273⁽⁴⁾의 푸쉬오버 해석결과 및 시간이력해석결과와 비교하여 타당성을 검증하였다.

1.2 기존의 횡력 분배방법

ATC-40과 FEMA 273에서는 Table 1과 같은 횡력 분배방법을 제시하고 있다. 본 논문에서는 편의상 ATC-40과 FEMA 273에서 제시하는 방법을 나열한 순서에 따라 ATC 1, 2 그리고 FEMA 1, 2, 3으로 표기하였다.

Table 1 ATC 40과 FEMA 273의 횡력 분배방법

관련근거	횡력배분의 근거	층 지진하중
ATC 40	Story height (ATC 1)	$f_x = \frac{w_x h_x}{\sum w_x h_x}$
	1st mode shape (ATC 2)	$f_x = \frac{w_x \phi_x}{\sum w_x \phi_x}$
FEMA 273	Uniform pattern (FEMA 1)	$f_x = \frac{w_x}{\sum w_x}$
	Load distribution factor(FEMA 2)	$f_x = \frac{w_x h_x^{k_1}}{\sum w_x h_x^{k_1}}$
	SRSS (FEMA 3)	$f_{jn} = \Gamma_n^2 m_j \phi_{jn} A_n^3$

- 1) $k = T \leq 0.5$ 일 때, 1.0
 $= 2.0 < T$ 일 때, 2.0
 $= 0.5 < T \leq 2.0$ 일 때, 직선보간법을 사용.
- 2) $\Gamma_n = \frac{L_n}{M_n}$, $M_n = \sum_{j=0}^N m_j (\phi_{jn})^2$, $L_n = \sum_{j=0}^N m_j \phi_{jn}$
- 3) A_n : n번째 탄성단자유도계의 pseudo-acceleration

2. 횡력 분배계수 제안

기존의 고차모드의 영향을 반영한 방법 중 첫 번째 방법은 복잡한 비선형 해석을 여러번 수행해야 한다. 따라서 정확도의 측면에서는 첫 번째 방법보다 우수하다고 판단할 수는 없으나 고차모드의 영향을 반영할 수 있으며 실용적인 측면에서 우수하다고 사료되는 횡력 분배계수를 산정 시 고차모드의 영향을 반영한 FEMA 3(SRSS방법)의 단점을 보완하여 코드에서 제시하고 있는 설계응답 스펙트럼을 사용하여 횡력 분배계수를 구하는 방법을 제시하였다.

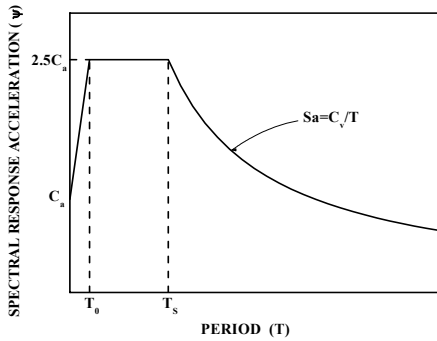


Fig. 1 UBC 97의 설계응답 스펙트럼

횡력 분배방법의 산정 절차는 다음과 같다.

- ① 건물의 고유치 해석을 통해 모드별 질량 참여율이 95% 이상이 되는 진동모드까지의 주기(T) 및 형상함수(ϕ)를 결정한다.
- ② n 차 모드에 대한 각 층별 지진하중을 식 (1)에 의해 결정한다.

$$f_{jm} = \Gamma_n m_j \phi_{jm} \phi_n \quad (1)$$

ϕ_n : UBC 97 설계응답 스펙트럼에 의한 가속도

$$T_s = C_v / 2.5 C_a, \quad T_0 = 0.2 T_s$$

$$\text{단, } 0 \leq T < T_0 \quad \phi = 1.5 \frac{C_a}{T_0} T + C_a$$

$$T_0 \leq T < T_s \quad \phi = 2.5 C_a$$

$$T_s < T \quad \phi = \frac{C_v}{T}$$

- ③ 식 (1)에서 얻어진 층별 지진하중을 이용하여 층 전단력을 산정한다.
- ④ 각 모드별 층 전단력을 SRSS로 조합한다.
- ⑤ 조합된 층 전단력을 다시 층별 지진하중으로 분리한다.
- ⑥ 각 층별 지진하중의 최고치를 1로 표준화하여 횡력 분배계수를 결정한다.

3. 검증

3.1 검증 방법

본 논문에서는 코드 스펙트럼 중 UBC 97⁽⁶⁾에서 제시하고 있는 $C_a = C_v = 0.15$ 인 설계응답 스펙트럼을 사용하여 횡력 분배계수를 산정하여 푸쉬오버 해석을 수행하고 이 결과를 시간이력 해석 결과 및 기존의 횡력 분배방법에 의한 푸쉬오버 해석결과와 비교하였다. 검증을 위하여 Bertero⁽⁷⁾가 제안한 지진의 재현주기에 따른 층간변위비(Interstory Drift Index, IDI)를 지표로 정의하고 각 수행단계별 층간변위비가 발생할 때의 밀면전단력을 확인하면 Table 4와 같다.

검증은 다음과 같은 순서에 의해 진행하였다.

1. 제안한 방법에 의해 횡력 분배계수를 산정하고 푸쉬오버 해석을 수행한다.
2. 각 성능 단계별 층간변위비가 발생하는 점에서의 밀면전단력을 확인한다.
3. 제안한 방법에 의한 해석결과 각 성능 단계에서의 밀면전단력을 확인하고 각 지진의 시간이력해석결과 최대 밀면전단력이 이와 같아지도록 지진의 크기를 조정하여 시간이력해석을 반복 수행한다.
4. 시간이력해석결과 각 층에서의 최대 층간변위비를 각 지진별로 도출하여 그 값의 평균을 산정하고 그 크기와 최대 층간변위비의 발생 위치를 각 성능단계에서 횡력 분배방법에 따른 푸쉬오버 해석결과와 비교한다. 그리고 붕괴방지 단계에서 시간이력해석의 소성 크기를 산출하여 평균을 산정하고 이 값을 푸쉬오버 해석결과와 함께 비교한다.

3.2 예제건물 및 입력지진

제안된 방법의 검증을 위해 SAC project에 의해 설계된 철골조 9층 건물⁽¹¹⁾에 Fig. 3과 같이 수직 비정형성을 위해 SAC 9층 빌딩의 좌우 3층 위로 1경간을 제거하여 사용하였다. 그 상세는 Table 2와 같고 Fig. 2는 예제건물의 평면과 단면이다. 그림에서 보는 바와 같이 점선으로 표시되어있는 부분이 모멘트 골조이고 나머지 부분은 전단 접합으로 이루어져 있다. 예제건물의 시간이력 및 푸쉬오버 해석은 3차원 비탄성 해석 프로그램인 CANNY(version C02)⁽⁸⁾를 사용하여 예제건물의 정보에 따라 모델링하고 구조물을 비탄성 해석을 수행하였다. 각 부재의 소성 후 변형 경화

"moment frame"

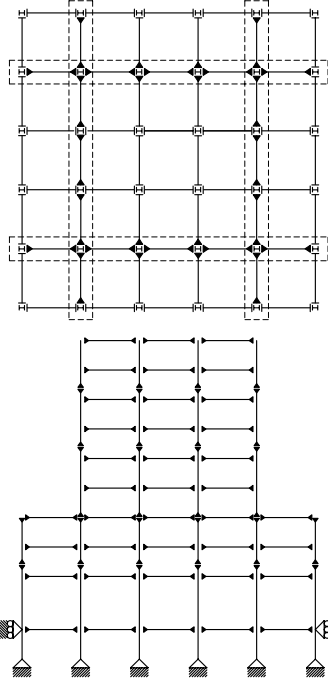


Fig. 2 예제건물 구조평면도 및 입면도

율은 2%로 가정한 bilinear 모델을 사용하였다.

시간이력해석을 위한 지진의 선택에 있어서는 우선 본 논문에서 예제로 사용된 UBC 97의 설계응답 스펙트럼과 유사한 특성을 가진 지진의 선택을 그 특성을 파악하였다.

UBC 97의 설계응답 스펙트럼의 C_a 값이 1.0g가 되도록 스케일링을 하여 스펙트럼의 각 주기에 따른 S_a 값을 구하고 다음 식 (2)를 사용하여 응답 스펙트

Table 2 예제건물 정보일반

보	지상~2층	W36×160	기둥	지하~1층	W14×500
	3층~6층	W36×135		재료강도	2층~3층
재료강도 (248 MPa)	7층	W30×99	(345 MPa)	4층~5층	W14×370
	8층	W27×84		6층~7층	W14×283
	9층	W24×68		8층~9층	W14×257
Mass (N)	1층	9.90×10^6	층고 /경간 (mm)	지하층	3.65×10^3
	2층~3층	9.69×10^6		지상층	5.49×10^3
	4층~8층	3.49×10^6		1층~8층	3.96×10^3
	9층	3.77×10^6		경간	9.15×10^3

- 기둥의 단면은 이음부에서 변화하며 \blacklozenge 로 표시하고, 1, 3, 5, 그리고 7층에서 1.83×10^3 mm위에 위치한다.

럼의 속도 성분을 도출한다.

$$S_v = \frac{S_a}{\omega} = S_a \times \frac{T}{2\pi} \quad (2)$$

이 데이터를 5% 감쇠비에 대해 가속도의 증폭계수인 2.12와 속도의 증폭계수인 1.65 (Newmark & Hall, 1982)⁽⁹⁾로 각각 나누면 UBC 97의 설계응답 스펙트럼의 v_{max}/a 의 값은 31.57((in./sec)/g)이 된다. 따라서 각 지진의 v_{max}/a 의 값이 UBC 97의 설계응답 스펙트럼의 특성과 크게 차이를 나타낸다고 사료되는 지진을 제외한 다음, Table 3과 같은 12개의 지진데이터를 선택하여 시간이력 해석을 수행하였다.

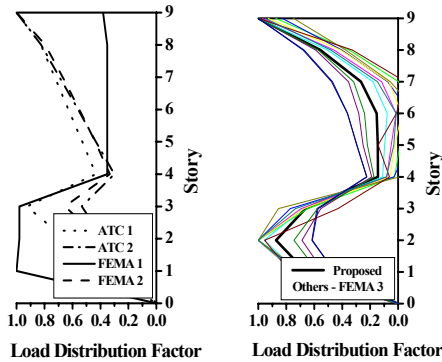
3.3 횡력 분배계수 산정 및 푸쉬오버

우선 푸쉬오버 해석을 수행하기 위한 각 방법의

Table 3 비교 지진 데이터

발생 년도	발생위치	PGA(g)	v/a (in./sec)/g	발생 년도	발생위치	PGA(g)	v/a (in./sec)/g
1979	Bonds Corner El Centro	0.778	22.65	1971	San Fernando 8244 Orion Blve.	-0.255	45.89
1979	Coyote Lake	0.429	44.88	1971	San Fernando Pacoima Dam	-0.117	38.21
1940	El Centro Site	0.357	48.10	1971	San Fernando	0.315	23.82
1952	Hollywood Storage P.E	0.059	39.59	1994	Northridge, St. Monica, City Hall	-0.882	18.18
1979	James RD. El Centro	-0.595	30.78	1952	Taft Lincoln School	-0.156	39.45
1995	Kobe, Japan	0.599	49.04	1999	Duzce, Turkey	0.356	29.92

한 횡력 분배계수를 산정하면 Fig. 3과 같다.



(a) 고차모드 영향 미포함 (b) 고차모드 영향 포함

Fig. 3 예제건물의 횡력 분배계수

Fig. 3의 (a)는 고차모드의 영향이 반영되지 않은 횡력 분배방법인 ATC 1, 2 그리고 FEMA 1, 2에 의한 횡력 분배계수이다. 그리고 Fig. 3의 (b)는 고차모드의 영향이 반영된 방법인 FEMA 3과 본 논문에서 제안한 방법에 의한 횡력 분배계수이다.

Fig. 4에서 보는 바와 같이 고차모드의 영향이 반영되지 않은 방법 중에서 ATC 1은 비교적 고차모드의 영향이 반영된 방법과 비슷한 반면 FEMA 1은 중량이 큰 부분에 하중이 집중되고 ATC 2와 FEMA 2는 중량이 큰 부분의 계수가 다른 방법에 비해 다소 낮게 평가되어 있다. 그리고 제안한 방법은 FEMA 3에 의한 계수의 평균정도의 값을 나타내고 있다.

산정된 횡력 분배계수에 따라 푸쉬오버 해석을 수행한 후에 시간이력해석 및 ATC-40과 FEMA 273에서 제시한 방법과 비교를 위하여 Table 4와 같은 각 성능단계에서의 밀면전단력을 확인하였다. 본 논문에서 제안한 방법에 의한 예제건물의 성능곡선은 Fig. 4와 같다.

Table 4 성능단계별 IDI와 밀면전단력

수행단계 (재현주기)	IDI(%)	밀면전단력(N)
즉시거주 (72년)	0.6	1.09×10^7
인명안전 (475년)	1.5	1.32×10^7
붕괴방지 (970년)	2.0	1.38×10^7

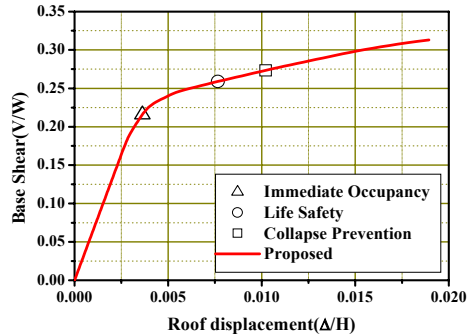


Fig. 4 성능 단계별 IDI 발생위치

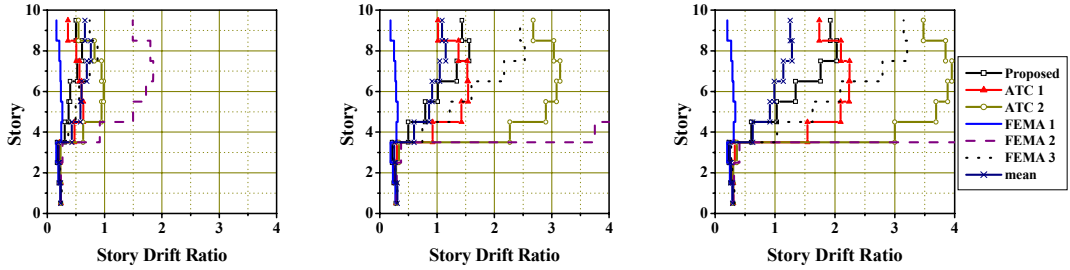
4. 해석결과 비교

4.1 성능단계별 층간변위비 비교

제안한 방법에 의한 즉시거주 단계를 나타낸 밀면전단력 1.09×10^7 N일 때의 각 방법에 따른 층간변위비의 결과는 Table 5와 같다. Fig. 5 (a)에서 보는 바와 같이 아직 낮은 밀면전단력이므로 큰 변위가 발생하지 않아 각 방법에 따른 결과의 큰 차이를 나타내지 않으나 시간이력해석, FEMA 3 그리고 제안한 방법은 같은 층에서 최대층간변위비가 발생하였다. 하지만 나머지 방법에 의한 결과는 이보다 더 낮은 층에서 발생하였다. 최대층간변위비의 발생 위치와 전체적인 층간변위비의 분포 형상은 제안한 방법이 시간이력해석에 비해 약간 작지만 가장 유사하게 나타났다.

Table 5 즉시거주 단계의 층간 변위비

층수	시간이력	ATC 1	ATC 2	FEMA 1	FEMA 2	FEMA 3	제안치
9	0.657	0.361	0.547	0.159	1.490	0.741	0.499
8	0.759	0.507	0.823	0.210	1.797	0.878	0.608
7	0.690	0.561	0.947	0.229	1.847	0.742	0.522
6	0.599	0.597	0.984	0.240	1.723	0.558	0.400
5	0.579	0.629	0.947	0.265	1.496	0.495	0.373
4	0.429	0.475	0.625	0.244	0.917	0.367	0.304
3	0.195	0.217	0.232	0.158	0.267	0.190	0.173
2	0.210	0.225	0.229	0.194	0.238	0.223	0.203
1	0.234	0.238	0.238	0.230	0.239	0.254	0.232



(a) 즉시거주 단계

(b) 인명안전 단계

(c) 붕괴방지 단계

Fig. 5 성능단계별 층간변위비 결과

Table 6 인명안전 단계의 층간 변위비

층수	시간이력	ATC 1	ATC 2	FEMA 1	FEMA 2	FEMA 3	제한치
9	1.087	1.017	2.675	0.189	4.745	2.449	1.434
8	1.151	1.373	3.036	0.251	5.075	2.528	1.560
7	1.047	1.528	3.146	0.273	5.081	2.168	1.344
6	0.913	1.542	3.085	0.286	4.870	1.600	1.013
5	0.862	1.425	2.897	0.315	4.588	1.221	0.793
4	0.599	0.921	2.270	0.291	3.750	0.744	0.497
3	0.254	0.301	0.335	0.189	0.372	0.249	0.216
2	0.275	0.277	0.286	0.231	0.297	0.272	0.247
1	0.307	0.287	0.289	0.274	0.291	0.308	0.281

Table 7 붕괴방지 단계의 층간 변위비

층수	시간이력	ATC 1	ATC 2	FEMA 1	FEMA 2	FEMA 3	제한치
9	1.253	1.740	3.478	0.202	5.729	3.146	1.924
8	1.283	2.101	3.848	0.267	6.070	3.207	2.030
7	1.138	2.244	3.952	0.290	6.072	2.795	1.760
6	0.987	2.236	3.882	0.304	5.814	2.089	1.343
5	0.914	2.095	3.689	0.336	5.511	1.628	1.030
4	0.628	1.543	2.999	0.310	4.594	1.034	0.603
3	0.247	0.330	0.363	0.201	0.408	0.268	0.231
2	0.264	0.294	0.303	0.246	0.316	0.287	0.260
1	0.292	0.302	0.303	0.291	0.306	0.322	0.295

인명안전 단계의 층간변위비의 결과는 Table 6과 같다. 우선 최대층간변위비는 즉시거주 단계와 마찬가지로 시간이력해석, FEMA 3 그리고 제안한 방법이 같은 위치에서 발생하였으나 나머지는 이보다 낮은 층에서 발생하였다. 그리고 크기는 시간이력해석과 ATC 1 그리고 제안한 방법이 가장 근사하였으나 시간이력해석결과는 1.151%로 1.5%보다는 다소 적은 값을 나타내었다. FEMA 1은 0.315%로 즉시거주 단계에 비해 거의 변형이 발생하지 않았으나 반면 ATC 2와 FEMA 2는 이미 과도한 층간변위비가 발생하였다. Fig. 5(b)에서 보는 바와 같이 ATC 1과 FEMA 1은 최대 층간변위비의 발생 위치나 전체적인 층간변위비의 형상이 시간이력해석 결과와는 차이를 나타낸다. FEMA 3는 전체적인 층간 변위비의 형상도 유사하고 최대층간변위비의 발생 위치도 시간이력해석과 동일하나 그 값이 2배 이상의 차이를 나타내었다. 하지만 제

안한 방법은 다른 방법에 비해서 시간이력해석결과와 유사함을 알 수 있다.

붕괴방지 단계의 결과는 Table 7로 ATC 1의 최대 층간변위비의 발생 위치가 7층으로 바뀐 것을 제외하고는 제안한 방법에 의한 인명안전 단계의 결과와 거의 유사한 현상을 나타내었다. 따라서 본 단계에서도 제안한 방법이 다른 방법에 비해서 시간이력해석결과와 가장 유사하게 나타났다. 하지만 인명안전 단계에 비해 그 크기가 조금 더 큰 차이를 나타내었다.

4.2 소성힌지 분포 비교

층간변위비의 비교 결과 ATC 2와 FEMA 2는 시간이력해석과 큰 차이를 나타내어 비교 대상에서 제외하였다. 소성힌지의 분포는 변위가 가장 크게 발생한 붕괴방지 단계에서 비교하였다. 그 결과 층간변위비가

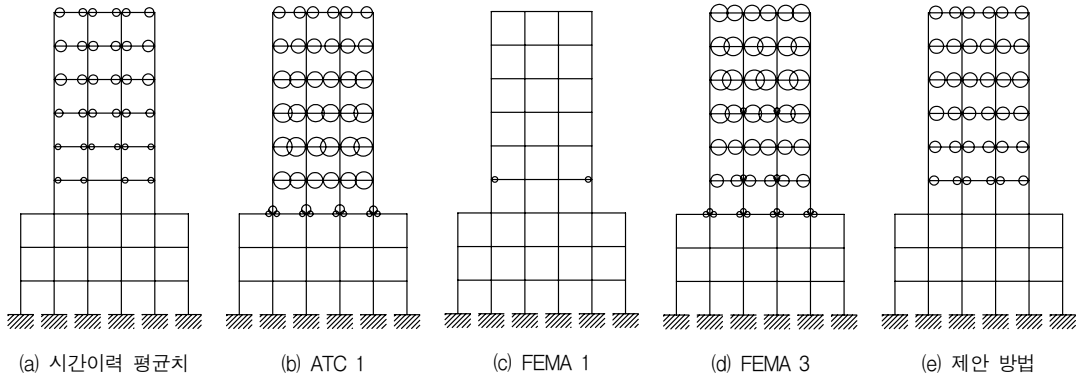


Fig. 6 붕괴방지 단계에서의 예제건물의 소성분포

다른 방법에 비해 매우 적게 나타난 FEMA 1은 소성이 거의 발생하지 않고 나머지 방법은 강성이 작아진 부분에 집중적으로 소성현상이 발생하였다. 소성현상의 분포를 살펴보면 Fig. 6과 같다. 그림에서 보는 바와 같이 같은 층에서 최대 층간변위비를 나타낸 시간이력해석, FEMA 3 그리고 제안한 방법은 7층 보에서 가장 큰 소성을 나타내었으나 ATC 1은 5층 보에서 가장 큰 소성을 나타내었다. 그리고 제안한 방법은 다소 큰 소성을 나타내지만 시간이력해석결과와 마찬가지로 기둥에서는 소성이 발생하지 않았지만 ATC 1과 FEMA 3에서는 일부 기둥에서도 소성이 발생하였음을 알 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 코드에서 제시하고 있는 설계응답스펙트럼을 이용하여 횡력 분배계수를 결정하는 방법을 제시하였다. 설계응답스펙트럼에 부합하는 지진입력을 사용한 시간이력해석 결과를 기준으로 기존의 횡력 분배방법과 본 연구의 방안에 의한 푸쉬오버 해석 결과를 비교하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 지진발생 특유의 큰 불확실성 때문에 장래에 발생할 지진동의 데미지 포텐셜을 정확히 예측하는 것은 거의 불가능함을 여러 지진 관측자료는 잘 보여주고 있다. 본 연구에서는 이런 점을 감안하여 표준지진의 평균특성을 반영하는 코드의 설계응답

스펙트럼을 고차모드 효과를 반영한 푸쉬오버해석에 사용할 것을 제안하였다. 이를 통하여 스펙트럼의 대표성도 어느 정도 확보할 수 있고, 고차모드의 반응을 위하여 입력지진을 선정하여 응답스펙트럼을 다시 계산해야 하는 복잡한 과정을 생략할 수 있다.

- 2) 동일크기의 밀면전단력값으로 조정된 시간이력 해석결과와 비교했을 때 본 연구의 방안은 층간변위비 뿐만 아니라 소성현상의 층별 분포에서도 기존의 방법에 비해 우수함이 확인되었다. 하지만 경우에 따라서는 본 연구의 방안도 시간이력 해석에 비해 매우 보수적인 결과를 나타냈다. 고차모드 효과를 무시할 수 없는 고층건물 및 비정형건물에 대해서도 시간이력해석에 필적하는 정확도를 지닌 푸쉬오버 해석법의 개발을 위한 노력이 계속될 필요가 있다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행한 2005년도 건설핵심기술연구개발사업(C105A1010001-05A0501-00110)에 의한 것으로 연구비 지원에 감사드립니다.

참고문헌

1. 김진우, 송진규, "고차모드 영향이 반영된 Pushover

- 해석을 위한 횡하중 분배계수 제안”, 한국지진공학회 춘계학술발표대회 논문집, Vol. 9, No. 1, 2005년 3월, pp. 236-242.
2. 엄태성, 이혜린, 박홍근, “고차모드의 효과를 고려한 비선형정적 평가 방법”, 한국지진공학회 춘계학술발표대회 논문집, Vol. 9, No. 1, 2005년 3월, pp. 153-160
 3. 이동근, 최원호, 안지희, “건축구조물의 비선형 지진응답 평가를 위한 개선된 지진하중 분배방법”, 한국지진공학회 논문집, 제5권 제2호.
 4. FEMA, “NEHRP Guidelines for the seismic rehabilitation of buildings”, FEMA 273, Federal Emergency Management Agency, Washington D.C, 1997.
 5. Applied Technology Council(1996), Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings Volume 1(ATC-40).
 6. International Conference of Building Officials (1997), Uniform Building Code(UBC 97).
 7. Raul D. Bertero, Vitelmo V. Bertero(2002), Performance-based Seismic engineering: The Need for a Reliable conceptual comprehensive approach.
 8. Kangning Li(2002). CANNY(Version C02) Users' Manual.
 9. Newmark, n. M. and Hall, W. J.(1982), Earthquake Spectra and Design. Earthquake Engineering Research Inst.
 10. Anil K. Chopra(2001). Dynamics of Structures (Theory and Applications to Earthquake Engineering, second edition).
 11. Anil K. Chopra, Rakesh K. Goel(2001), A modal pushover analysis procedure to estimate seismic demands for buildings: theory and preliminary evaluation.
- (접수일자 : 2006년 2월 3일)