

내진설계를 위한 지진 입력하중 조정 방법 Method of the Calibration of Earthquake Ground Motions for Seismic Design

공도환*
Kong. Do-hwan

한상환**
Han. Sang-whan

이리형***
Lee. Li-hyung

Abstract

In the current seismic design codes design earthquake is usually defined as the earthquake with the 90 percent probability of not being exceeded in the life time of a structure which is assumed as 50 years equivalent to the earthquake with 475 year recurrence period. However the life time of tall or very tall building structures may be much longer than 50 years. The current seismic design code requires the modal analysis or dynamic time history analysis for the buildings with the height exceeding a certain height limit. The objective of this study is to collect the earthquake ground motion(EQGM) which can be used for dynamic time history analysis for tall buildings. For this purpose linear elastic design response spectrum (LEDRS) in the code is scaled to account for the recurrence period of the design earthquake. The earthquake ground motions which has been recorded are calibrated to fit the scaled LEDRS. The set of calibrated EQGM can be treated as design EQGM for the design of tall building with longer lifetime than ordinary building.

1. 서론

1.1. 연구의 배경

내진설계를 위한 수평력산정 방법 중 가장 널리 사용되고 있는 것이 지진하중을 등가의 수평하중으로 산정하여 계산하는 등가정적 해석법(Equivalent Static Lateral Force Analysis)이다. 우리 기준(내진설계지침서 작성에 관한 연구, 1987.12)에서는 “지진력을 정적인 횡력으로 평가하는 등가정적해석법을 적용하여 내진구조설계를 하는 건축물은 밀면전단력, 층지진하중, 층전단력, 수평비틀림모멘트, 전도모멘트에 저항할 수 있도록 설계하여야 하며, 기타 층간변위와 건물분리 등을 검토하여 필요한 조치를 하여야 한다”고 기술하고 있다. 그러나 이 방법은 비정형성이 심한 건물에는 사용하기가 어려우며, 또한 UBC 및 ATC14에 의하면 높이 72m를 초과하는 건물은 고차진동 모드에 의한 영향이 커지므로 등가정적 해석법의 사용범위를 제한하고 있다. 그래서 이렇게 등가정적해석법의 사용이 제한되는 건물에 대해서는 동적해석이 적용되어야 한다. 이는 건물의 동적특성이 1차 진동모드가 주된 기여를 하는 저층의 정형구조물과는 달리 1차 진동모드 이외의 진동모드들도 기여하는 바가 크게 될 수 있기 때문이다. 동적해석법은 해석방법에 따라 응답스펙트럼 해석(Response Spectrum Analysis)과 실제 지진기록을 이용한 시간이력해석(Time History Analysis)으로 구분된다.

* 한양대학교 석사과정

** 정회원, 한양대학교 건축공학과 전임강사, 공학박사

*** 한양대학교 건축공학과 교수, 공학박사

특히, 건물이 비정형으로 복잡하거나 고층건물과 같이 중요성이 큰 건물들은 시간이력해석법을 사용하여 안전성을 평가해야하는 경우가 있다. 그러나 국내에서는 지진기록의 선정 및 크기의 조정에 대하여 적합한 기준을 제시하지 못하고있는 상황이다.

설계 지진은 일반적으로 재현주기 475년에 해당하는 50년에 지진 발생확률 10%의 지진으로 정의된다. 이런 정의 뒤에는 건물의 수명이 50년이라는 가정이 있다. 규준에서 제시하고 있는 일반화된 선형탄성 설계 응답스펙트럼(LEDRS: Linear Elastic Design Response Spectrum)은 재현주기 475년의 지진에 의한 것으로서 설계 지진을 조정하기 위한 기준으로 사용하게 된다. 그러나 고층, 초고층 건물의 경우는 50년 보다 훨씬 더 긴 수명을 갖게 되므로 이를 적절히 고려하여 응답스펙트럼의 크기를 조정하여야 한다. 본 연구에서는 고층건물의 LEDRS는 건물의 수명에 따라 조정하며, 조정된 LEDRS에 알맞은 지진기록을 선정하는 방법을 제시하게 될 것이다.

1.2. 연구 내용 및 목적

본 연구에서는 고층 건물의 수명이나 건물의 중요도, 지진의 재현주기, 지반조건 등을 고려하여 설계응답스펙트럼을 구한다. 그런 후에 암반이나 매우 단단한 지반에서 기록된 지진운동의 응답스펙트럼을 구하여, 지역계수에 맞도록 크기를 조정한다. 지진의 조정은 최대지반가속도(PGA; Peak Ground Acceleration), 최대지반속도(PGV; Peak Ground Velocity), 유효지반가속도(EPA; Effective Peak Acceleration), 유효지반속도(EPV; Effective Peak Velocity)같은 실제 지진 운동의 값에 따라 조정한다. 그리고 조정한 지진기록의 응답스펙트럼을 설계응답스펙트럼과 비교하여 잘 일치하는 지진기록을 선택한다. 이런 과정을 통하여 고층건물의 모드 해석이나 비선형 응답 해석에서 사용되어질 수 있는 지진 기록이 얻어진다. 그리고 지진 크기 조정과정을 분석하여 설계 응답스펙트럼에 가깝게 조정되는 지진의 경향 및 특성을 찾고자 한다.

2. 지진 재현주기를 고려한 응답스펙트럼 (ATC14)

NEHRP나 우리규준에 의한 설계응답스펙트럼은 건물의 수명을 50년으로 가정하여 제시된 응답스펙트럼이므로 고층건물의 긴 수명 등을 고려하기 위해서 응답스펙트럼의 크기가 조정되어야 한다. 그래서 본 연구에서는 설계응답스펙트럼으로 건물의 수명이나 지진의 재현주기에 맞는 LEDRS를 구하는 방법이 ATC14의 방법을 사용하였고, 그 절차를 [그림 1]에 도시하였다. 이 방법의 중요한 부분은 다음에 설명이 된다.

1) 지역의 지진도 결정

현재의 내진규준에서는 주어진 지역의 지진도는 일반적으로 EPA나 EPV로서 표현이 되어 있다. 이런 값들은 규준에 있는 지진구역도에서 쉽게 알 수 있다. EPA와 EPV의 정의는 NEHRP commentary(1994)에 다음과 같이 설명되어 있다.

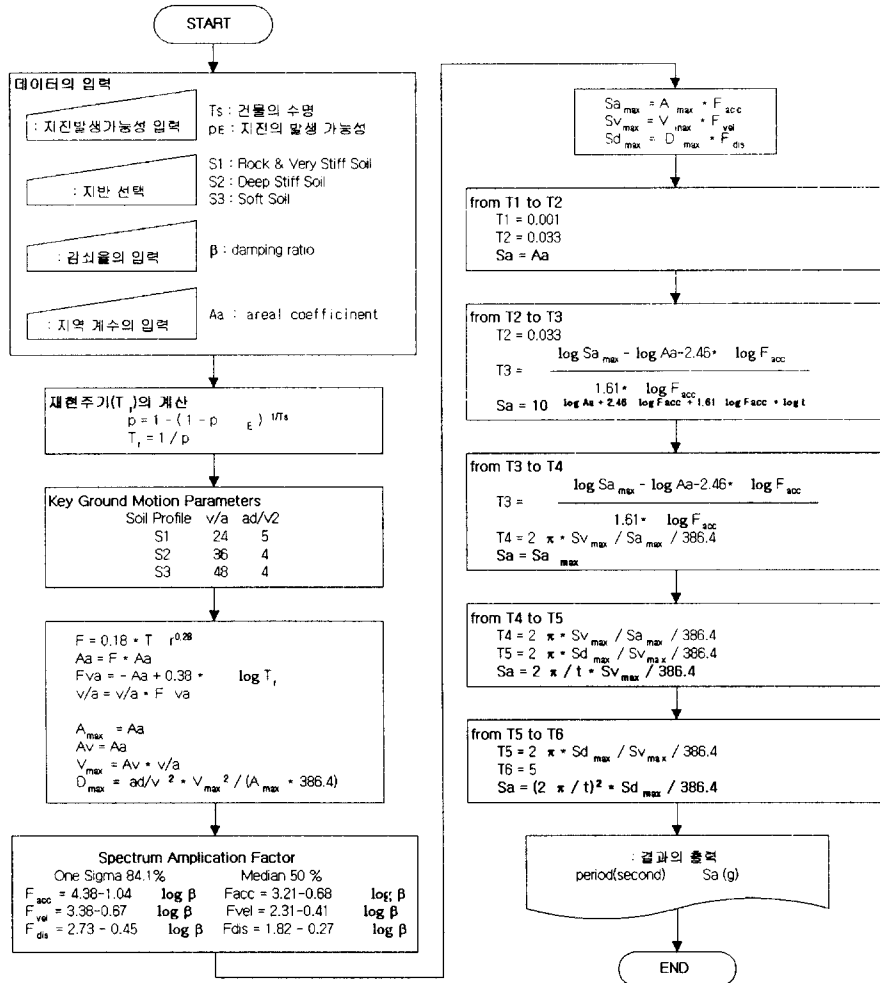
일반적인 지진의 지반 운동에 대하여 탄성 응답스펙트럼을 조정하기 위한 팩터로서 EPA와 EPV를 고려하는 것이 가장 일반적이다. EPA는 0.1초와 0.5초 주기에서 스펙트럼 축과 비례적이며, EPV는 약 1초 전후의 주기에서 스펙트럼 축과 비례한다. 적절한 주기 구간 내에서 5%의 감쇠율을 가진 SLERS (Smoothed Linear Elastic Response Spectrum)의 값과 EPA와 EPV값의 비는 2.5가된다. 즉 이들 EPA, EPV값과 최대 스펙트럼 값과 관계는 다음과 같다.

$$EPA = \frac{S_{a \max}}{2.5} \dots\dots\dots (1)$$

$$EPV = \frac{S_{v \max}}{2.5} \dots\dots\dots (2)$$

2) 최대 지반 운동 계수의 결정

지진구역도에서 EPA값을 선택한 후에 최대 가속도(a_{\max}), 최대 속도(v_{\max}), 최대 변위(d_{\max})의 최대 지반 운동 계수를 결정해야 한다. 최대 가속도 a_{\max} 는 EPA와 비슷한 값인데, 본 연구



[그림 1] 지진 재현주기에 따른 응답스펙트럼 작성방법

에서는 EPA와 같은 값으로 가정한다. Newmark & Hall(1982)의 통계적 연구의 결과에 의하여 v/a 와 ad/v^2 는 지진의 종류에 상관없이 비슷한 지반 조건에서 상수 값을 가진다. <표 1>에 v/a 와 ad/v^2 의 값이 정리되어 있다. <표 1>에 있는 값들을 이용하여 최대 속도(v_{max})와 최대 변위(d_{max})값을 얻을 수 있다.

3) 최대 스펙트럼 값의 결정

최대 스펙트럼 가속도, 속도, 변위는 a_{max} , v_{max} , d_{max} 의 지반 운동 계수와 <표 2>에 표시된 증폭계수를 곱함으로써 얻을 수 있다. <표 2>의 값들도 역시 Newmark & Hall(1982)의 통계적 연구의 결과에 의하여 얻어진 것들이다.

$$S_{a \max} = a_{\max} \times a_a \dots\dots\dots 3)$$

<표 1> 지반 운동 계수 a , v , d 의 관계

Soil Type	v/a (cm/sec/g)	ad/v^2
1 Rock and Very Stiff Soil	61.0	5
2 Deep Stiff Soil	91.5	4
3 Soft Soil	122.0	4

$$S_{v \max} = v_{\max} \times \alpha_v \dots\dots\dots 4)$$

$$S_{d \max} = d_{\max} \times \alpha_d \dots\dots\dots 5)$$

여기서, α_a , α_v , α_d 는 각각 지반 운동의 가속도, 속도, 변위에 대한 증폭계수이다.

4) 다른 재현주기에 대한 응답 스펙트럼 값의 결정

스펙트럼 가속도와 재현주기간의 통계학적 연구에 의해 다음의 관계식이 얻을 수 있다. (ATC, 1987)

$$F_a = 0.18 T^{0.28} \dots\dots\dots (6)$$

또한 v/a 와 재현주기 사이의 관계도 다음 식으로 표현될 수 있다. (ATC14, 1987):

$$F_{v/a} = -0.02 + 0.38 \log T \dots\dots\dots (7)$$

여기서 F_a 와 $F_{v/a}$ 는 지진도(Seismic Map)의 가속도치와 다른 재현주기 T 에 대한 v/a 값의 조정계수이다. 또한 재현주기 T 는 다음의 간단한 식을 통해 얻을 수 있다.

$$(1-P)^{T_s} = (1-P_E) \dots\dots\dots (8)$$

$$P = 1 - (1-P_E)^{1/T_s} \dots\dots\dots (9)$$

$$T = 1/P \dots\dots\dots (10)$$

여기서 P 는 지진의 연간 발생 가능성이며, T_s 는 건물의 수명, P_E 는 초과 가능성이다.

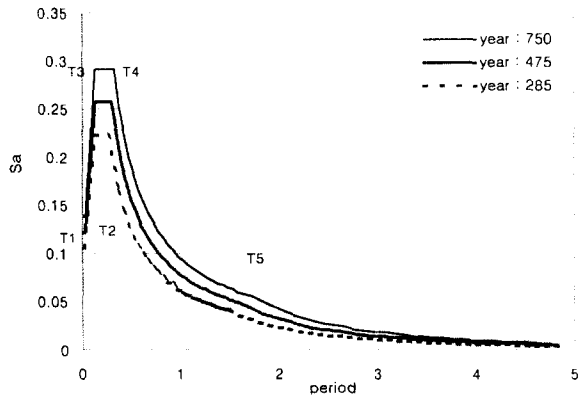
ATC14에 의한 지반조건 S_1 , 지역계수 0.12g, 감쇠율 5%의 응답스펙트럼을 재현주기 285년, 475년, 750년에 대하여 [그림 2]에 나타내었다.

[그림 2]에서 주기 $T_1(100\text{Hz})$ 와 $T_2(33\text{Hz})$ 사이의 구간은 $S_a = Aa$ 인 구간이며, 주기 $T_3(8\text{Hz})$ 과 주기 T_4 사이의 구간은 $S_a = S_{a \max}$ 인 구간이다. 여기서 주기 T_4 는 일정한 최대 응답 가속도($S_{a \max}$)와 일정한 최대응답속도($S_{v \max}$)가 서로 교차하는 지점에서 결정되며, 또 주기 T_5 는 최대응답속도($S_{v \max}$)와 최대응답변위($S_{d \max}$)가 서로 교차하는 지점에서 결정되고, 주기 T_4 와 주기 T_5 사이의 구간은 $S_v = S_{v \max}$ 가 되는 구간이다. 그리고 주기 T_5 를 넘는 구간은 $S_d = S_{d \max}$ 가 되는 구간이며, 주기 T_4 와 주기 T_5 는 주어진 변수에 따라 다르게 계산되는 값이다.

<표 2 > 스펙트럼 값의 증폭 계수 (Newmark & Hall, 1982)

	Median (50 %)	One Sigma (84.1 %)
α_a	3.21 - 0.68 ln ξ	4.38 - 1.04 ln ξ
α_v	2.31 - 0.41 ln ξ	3.38 - 0.67 ln ξ
α_d	1.82 - 0.27 ln ξ	2.73 - 0.45 ln ξ

ξ : damping in percentile



[그림 2] ATC14에 의한 응답스펙트럼 (Site 1, 0.12g, 5% 감쇠)

3. 지진 운동의 조정

3.1 지진운동의 조정 및 선정

본 연구에서는 주어진 건물의 수명이나 설계 지진의 재현주기에 해당하는 LEDRS에 맞추기 위해, 암반이나 매우 단단한 지반(Site 1)에서 기록된 지진 기록들이 조정되었다. 지진 기록의 조정은 EPA, EPV, PGA, PGV의 실제 지진의 계수에 의해 크기를 조정하는 방법을 사용하였다. 그리고 국내 규준의 근간인 NEHRP의 응답스펙트럼과 비교하여 조정된 지진을 선정하였다.

본 연구에 사용된 실제 지진 기록은 USDC¹⁾와 USGS DDS-7²⁾의 CD-ROM에서 얻은 171개의 지진기록을 사용하였다. USGS로부터의 지진기록은 BAP³⁾이라는 프로그램으로 지진기록의 오차를 수정하였고, 대부분인 USDC CD-ROM으로부터 지진기록을 지반조건별로 분류하고 찾아내기 위해 SMCAT라는 프로그램을 사용하였다. SMCAT에서 지반 조건은 UBC 1988에 명시된 대로 S₁, S₂, S₃, S₄의 네 가지로 분류하였고, 본 연구에서는 암반이나 매우 단단한 지반으로 분류된 S₁ 지반만을 고려하였다. 그리고 USDC로부터의 지진기록은 오차가 수정된 것들만을 사용하였으며, 우리 나라의 지역계수 0.12g를 고려하여 지진의 크기를 조정하였다.

0.12g에 대하여 지진의 크기를 조정하기 위해서는, EPA에 대하여 조정을 하는 경우, $S_{a\max}/2.5 = EPA(0.12g)$ 가 되도록 조정하며, PGA에 대하여 조정을 하는 경우, 지진가속도기록의 최대치, 즉 PGA를 0.12g로 조정을 한 후 응답스펙트럼을 구하며, EPV와 PGV에 대하여 조정을 하는 경우 <표 3>에 있는 수치에 맞도록 조정하였다. <표 3>에 표시되지 않은 Aa값은 직선보간에 의하여 EPV값을 구하였다. 즉 $A_a = 0.12g$ 이면 EPV는 9.12 cm/sec가 된다.

<표 3> EPA와 Aa와의 관계

Effective Peak Velocity (cm/sec)	Velocity-Related Acceleration Coefficient (Aa)
30.5	0.4
15.2	0.2
7.6	0.1
3.8	0.5

<표 3>은 EPV에 의한 지진구역도를 만들기 위해 통계적으로 연구되어진 것으로 EPV와 Aa사이의 관계를 나타낸다. (Newmark & Hall(1982))

재현주기 475년의 응답스펙트럼과 네 가지 방법으로 조정된 지진기록 응답스펙트럼의 평균치를 [그림 3]에서 [그림 6]에 나타내었다. [그림 3]과 [그림 4]에서는 <표 5>에 있는 지진 14개의 응답스펙트럼을 비교한 것이다. 그림에 나타나 있듯이 PGA에 의한 결과가 좀더 설계응답스펙트럼에 잘 일치하는 것으로 나타났다. 그리고 [그림 5]와 [그림 6]에서는 <표 6>에 있는 지진 14개의 응답스펙트럼을 비교한 것으로 PGV에 의한 결과가 장주기 구간에서 설계응답스펙트럼에 더 잘 일치하는 것으로 나타났다. PGA에 의한 응답스펙트럼의 평균은 거의 전구간에서 설계응답스펙트럼에 일치하며, PGV에 의한 결과는 0.5초 이상의 장주기 구간에서 설계응답스펙트럼과 일치하는 것으로 나타났다. 그래서 다음 3.2절에서는 PGA와 PGV에 의해 조정된 지진기록의 결과만으로 그 경향을 분석하고자 한다.

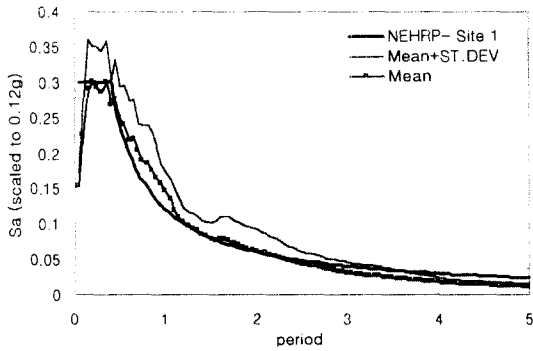
3.2 선정된 지진기록의 ad/v^2 와 v/a 값에 대한 분석

PGA와 PGV에 대해 각각 조정된 모든 지진기록의 응답스펙트럼의 최대값과 ad/v^2 의 관계, 그리고 설계응답스펙트럼과 잘 일치하는 것으로 선정된 지진기록의 응답스펙트럼의 최대 값과 ad/v^2 의 관계를 [그림 5]와 [그림 6]에 나타내었으며, v/a 에 대해서는 [그림 7]과 [그림 8]에 나타내었다. 그리고 그림에서 전체 지진기록과 선정된 지진기록의 ad/v^2 , v/a 에 대한 분포를 <표 1>의 기존연구의 결과와 비교하여 <표 4>에 나타내었다.

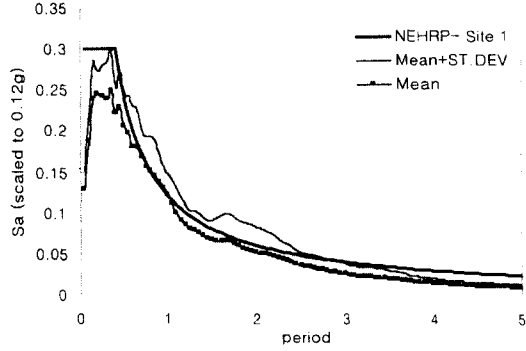
[그림 5]~[그림 8]과 <표 4>에 나타나 있듯이, ad/v^2 에 대해서는 PGV로 조정된 지진기록의 값들이 좁은 범위로 모여 있으며, v/a 에 대해서는 PGA로 조정된 지진기록들의 값들이 좁은 범위로 모여 있다. 그리고 선정된 지진기록의 ad/v^2 와 v/a 값들이 기존의 연구에 의한 값들과는 다른 값들을 가지는 데, 지진기록의 응답스펙트럼이 설계응답스펙트럼을 만족하며 약간의 안전율을 가지기 위해서 ad/v^2 값은 기존 연구에 의한 5보다는 작은 값을 가져야 하며, v/a 값은 기존 연구에

1) United States Department of Commerce(1996)
 2) U. S. Geological Survey Digital Data Series)
 3) Basic Strong-Motion Accelerogram Processing Software

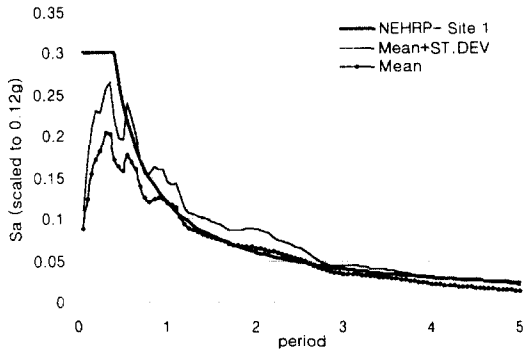
의한 61(cm/sec/g)보다 더 큰 값을 가져야 한다. 이런 관계들로부터 짧은 주기의 설계응답스펙트럼을 만족하는 지진기록을 찾기 위해 PGA로 조정하는 경우 v/a 값을 고려하여 지진기록을 1차적으로 선정하며, 긴주기 구간의 설계응답스펙트럼을 만족하는 지진기록을 찾기 위해 PGV로 조정하는 경우 ad/v^2 값을 고려하여 지진기록을 1차적으로 선택하는 것이 타당한 것으로 평가되었다.



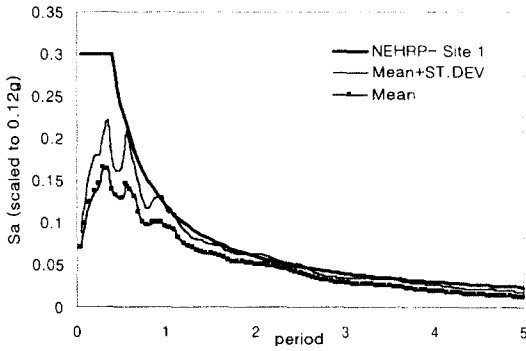
[그림 3] PGA에 의해 조정·선정된 지진기록의 평균과 NEHRP응답스펙트럼의 비교



[그림 4] EPA에 의해 조정·선정된 지진기록의 평균과 NEHRP응답스펙트럼의 비교



[그림 5] PGV에 의해 조정·선정된 지진기록의 평균과 NEHRP응답스펙트럼의 비교



[그림 6] EPV에 의해 조정·선정된 지진기록의 평균과 NEHRP응답스펙트럼의 비교

<표 4> 지진기록의 응답스펙트럼 최대값의 ad/v^2 , v/a 에 대한 분포 비교

	모든 지진기록의 분포값	선정된 지진기록의 분포값		New Mark & Hall (cm/sec/g)
		PGA로 조정한 지진기록의 분포값	PGV로 조정한 지진기록의 분포값	
ad/v^2	0.599~12.934	1.58~5.02	2.05~3.71	5
v/a	9.97~206.47	73.63~113.53	76.52~187.96	61

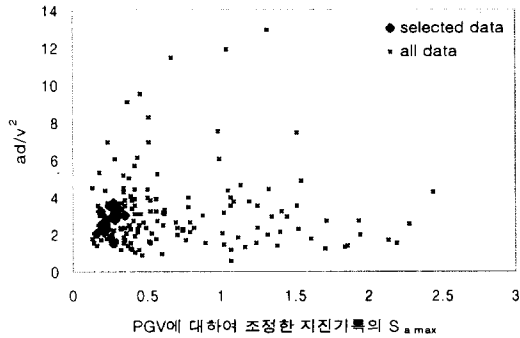
4. 결론

본 연구에서는 기반조건 1에 해당하는 실제 지진기록 171개를 주어진 건물의 수명이나 설계지진의 재현주기에 해당하는 LEDRS에 맞도록 유효 최대 가속도(EPA), 유효 최대 속도(EPV), 최대 지반 가속도(PGA), 최대 지반 속도(PGV)에 대하여 조정하였다. 설계응답스펙트럼으로는 지진 재현주기를 고려한 ATC14의 방법을 고려하였고, 선정된 지진기록을 비교하기 위해 NEHRP의 설계

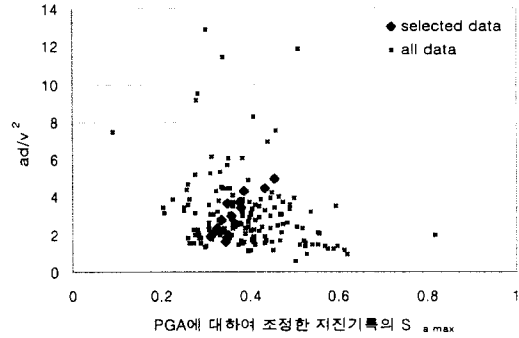
응답스펙트럼을 고려하였다.

1) 전체적으로 모든 주기 구간에서 설계응답스펙트럼과 잘 맞는 PGA에 의해 조정된 14개의 지진기록을 선택하였으며, 장주기 구간($\geq 0.5\text{sec}$)에서 설계응답스펙트럼과 잘 맞는 PGV에 의해 조정된 14개의 지진기록을 선택하였다. 이들 지진기록들은 건물의 모드해석이나, 비탄성 동적 해석 시에 지진입력하중으로 사용될 수 있을 것으로 생각된다. 일부 구간에서 NEHRP의 응답스펙트럼과 약간의 차이를 보이지만, 이것은 더 많은 지진기록 중에서 적당한 것을 선택하는 것으로 해결이 될 수 있을 것으로 판단된다. 그리고 실제 모델링된 건물에 조정된 지진기록을 적용시키는 경우, 건물의 고유주기에 해당하는 설계응답스펙트럼의 가속도 값과 유사한 값을 가지는 지진기록을 선정하는 것이 중요하다.

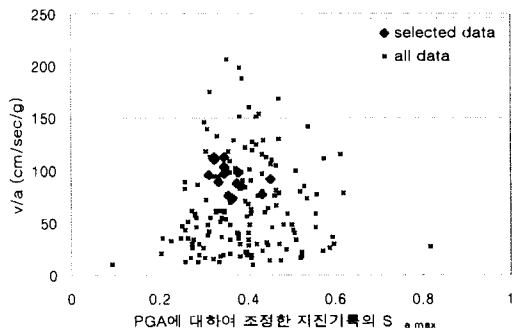
2) PGA와 PGV에 대하여 조정되어 구하여진 $S_{a\max}$ 값을 ad/v^2 와 v/a 값과 비교하여 본 결과, 짧은 주기구간에 대하여 PGA로 설계응답스펙트럼에 맞도록 조정하는 지진기록은 1차적으로 v/a 값이 100cm/sec/g 전후의 것을 선택하며, 긴 주기구간에 대하여 PGV로 조정하는 지진기록은 ad/v^2 값이 3~4정도의 값을 갖는 지진을 1차적으로 선택함으로써 지진기록조정 및 선정의 시간을 상당히 줄일 수 있을 것으로 보인다.



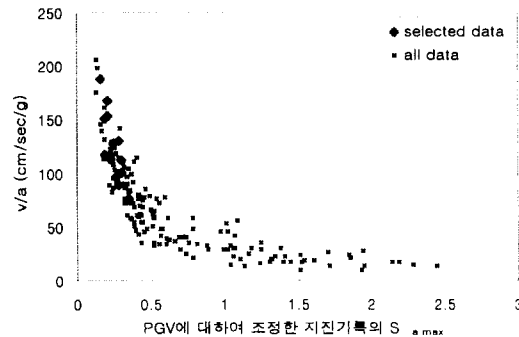
[그림 7] PGV로 조정된 지진기록의 ad/v^2 에 대한 $S_{a\max}$ 값



[그림 8] PGA로 조정된 지진기록의 ad/v^2 에 대한 $S_{a\max}$ 값



[그림 9] PGA로 조정된 지진기록의 v/a 에 대한 $S_{a\max}$ 값



[그림 10] PGV로 조정된 지진기록의 v/a 에 대한 $S_{a\max}$ 값

본 연구는 현대건설 기술연구소와 한국과학재단 지정 초대형 구조시스템 연구센터의 지원하에 수행되었으며 이에 감사드립니다.

<표 5> PGA에 의해 조정 · 선택된 지진 기록

No	Name(Station)	Date	Comp.	PGA (cm/sec ²)	PGV (cm/sec)	S _a max for PGA (g)
1	Michoacan aftershock (Cerro de Piedra)	85.9.19	S00E	-13.31	-1.00	0.3652
2	Michoacan, Mexico City (El Suchil)	85.9.21	N90W	81.45	6.36	0.3560
3	Michoacan, Mexico City (La Union)	85.9.21	N90E	-147.06	11.70	0.4317
4	San Fernando (Griffith Park Observatory)	71.2.9	S90W	-167.38	14.55	0.3842
5	Michoacan, Mexico City (Ocotito)	85.9.21	N90E	20.76	-3.72	0.3760
6	Michoacan, Mexico City (Caleta de Campo)	85.9.19	N90E	137.84	-12.64	0.3354
7	Michoacan aftershock (Ocotito)	85.9.21	N90W	-139.89	-13.71	0.3113
8	Mammoth Lakes (Long Valley Dam (Left))	80.5.27	90	342.36	-34.18	0.3475
9	Kern County, CA (Taft Lincoln School Tunnel)	1952	S69E	-174.94	17.63	0.3803
10	Mammoth Lakes (Long Valley Dam (Cnt))	80.5.27	90	-194.95	20.77	0.3460
11	Michoacan, Mexico City (Aeropuerto)	85.9.19	N90W	161.78	18.34	0.3241
12	Loma Prieta (Anderson Dam - Left Abutment)	89.10.18	340	-78.98	8.88	0.3248
13	El Centro	1940	NS	-312.44	-36.06	0.3471
14	Mammoth Lakes (Long Valley Dam (Cnt))	80.5.25	90	-75.45	7.12	0.4535

<표 6> PGV에 의해 조정 · 선택된 지진 기록

No	Name(Station)	Date	Comp.	PGA (cm/sec ²)	PGV (cm/sec)	S _a max for PGV(g)
1	Michoacan, Mexico City (El Suchil)	85.9.21	N90W	81.45	6.36	0.3547
2	Michoacan, Mexico City (Caleta de Campo)	85.9.19	N90E	137.84	-12.64	0.2838
3	Michoacan, Mexico City (Atoyac)	85.9.19	N00E	53.88	5.44	0.2777
4	Michoacan aftershock (Aeropuerto)	85.9.21	S00E	161.72	-16.75	0.3007
5	Loma Prieta (Anderson Dam - Left Abutment)	89.10.18	340	-78.98	8.88	0.2245
6	Alaska Subduction (Kodiak, U.S. Naval Station)	65.12.22	N260E	-37.96	-4.32	0.3025
7	Michoacan, Mexico City (Caleta de Campo)	85.9.19	N00E	138.49	16.70	0.2305
8	New Ireland (Bato Bridge, Papua New Guinea)	83.3.18	Long	-33.05	-4.11	0.1918
9	New Ireland (Bato Bridge, Papua New Guinea)	83.3.18	Tran	-31.63	4.07	0.2478
10	Michoacan, Mexico City (La Villita)	85.9.19	N00E	120.99	16.11	0.2810
11	Alaska Subduction (Kodiak, U.S. Naval Station)	65.9.4	N260E	21.54	3.32	0.1290
12	Michoacan, Mexico City (Aeropuerto)	85.9.19	S00E	101.30	-15.86	0.2093
13	New Ireland (Arawa Town, Papua New Guinea)	83.3.18	Long	-20.99	-3.63	0.2113
14	New Ireland (Arabia Town, Pampa New Guinea)	83.3.18	Bran	-25.61	-4.90	0.1579

참고문헌

1. 대한건축학회 (1987), "내진설계지침서 작성에 관한 연구", 건설부
2. ATC, "ATC14 : Evaluating the Seismic Resistance of existing Building", ATC, 1987
3. N. M. Newmark & W. J. Hall, "Earthquake Spectra and Design", Earthquake Engineering Research Institute, 1982
4. BSSC, "NEHRP Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings", Building Seismic Council, National Hazard Reduction Program Report, Washington, D.C., 1994
5. Aladdin A. Nassar & Helmut Krawinkler, "Seismic Demands for SDOF and MDOF Systems," Stanford/USGS Institute for Research in Earthquake Engineering and Seismology, Report No.95, 1991.6