

## NYCDOT2008 기준을 이용한 국내 지반의 지반분류방법 결정

### Determination of Site Classification Method in the Korean Peninsula Based On NYCDOT2008(2008 New York City DOT Seismic Design Guidelines )

강호덕<sup>1)</sup>, Ho-deok, Kang, 김기상<sup>2)</sup>, Ki-sang, Kim, 선창국<sup>3)</sup>, Chang-kuk, Sun, 김명모<sup>4)</sup>, Myung-mo, Kim

<sup>1)</sup> 롯데건설(주) 기술연구원, 연구원 Researcher, Research & Development Institute, LOTTE Engineering & Construction

<sup>2)</sup> 대한민국 해군, 소령 Republic of Korea NAVY, Major

<sup>3)</sup> 한국지질자원 연구원 지질연구센터, 선임연구원 Senior Researcher, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources

<sup>4)</sup> 서울대학교 공과대학 건설환경공학부 교수, Professor, Dept. of Civil & Environmental Engineering, Seoul National University

**SYNOPSIS :** In the current Korean seismic design guide, the site classification and the corresponding site coefficients were determined based on the UBC-1997 (Uniform Building Code). In order to develop the current site classification system, it is important to compare the local site conditions in Korea to other countries which have similar seismic design guides. In the eastern United States, New York City(40degrees 45minutes north latitude, 73degrees 59minutes west longitude) suggested that current design guidelines are unsuitable to shallow bedrock depth sites. So the 3-parameter methods are performed for new criteria in New York City. In this study, site response analyses were performed at 181 study sites using one-dimensional equivalent linear to evaluate the site-specific earthquake ground motions at inland areas in the Korean peninsula and reclassify the results according to similar ground motions using the 3-parameter methods. It is effective that multi-parameter methods for Korean site characteristics in comparison with single parameter method.

**Keywords :** NYCDOT2008, site classification, 3-parameter, Design response spectra, Vs30

## 1. 서론

현재 우리나라의 지반분류체계 및 설계응답스펙트럼 등의 내진설계기준은 건설교통부에서 제정한 내진설계기준(II)(1997)으로서 미국의 기준을 그대로 준용하고 있다. 이는 미국 서부해안 지역의 특성을 반영하여 산정한 기준이기 때문에, 국내 지반 특성과 비교하여 기반암 깊이가 매우 깊고, 암반의 강성 또한 작게 나타나는 것과 같이 그 특성들에서 차이를 보이는 지역의 기준을 사용하는 데에는 문제점이 있기 때문에 현행 우리나라 기준은 정립될 필요성이 있다. 현행 연구된 국내의 지반분류 방법은 Vs30, 고유주기 및 기반암 깊이 등을 이용하는 다양한 요소가 고려된 방법들이 제시되고 있으나, 국내 특성을 정확히 반영하는 기준으로서의 통일된 방안 제시가 필요하며, 이를 근간으로 하는 국내의 지반특성에 적합한 지반분류 방법 개선 및 설계응답스펙트럼 또한 하나의 기준으로 정립될 필요성이 있다. 따라서, 본 연구에서는 국내 내륙 지역 181개에 대한 지반응답해석 결과를 바탕으로 지반분류 방법 및 설계응답스펙트럼을 작성하여 그 결과들을 현행 기준, 시험결과 자료 그리고 새로운 매개변수 방법을 이용한 지반분류를 수행하여 비교해 보았다.

## 2. NYCDOT2008에서 제시한 지반분류방법

국내 지반분류체계를 개선하기 위한 방법으로서, 국내의 지반조건과 유사한 국외지역의 내진설계기준과 비교해 볼 필요성이 있다. 최근 제시된 미동부 뉴욕(북위 40°45', 서경 73°59')에서의 기준(NYCDOT2008 Seismic Design Guideline)을 보면, 기존에 제시되어 있는 Vs30값을 이용한 지반분류 방법이 미국 내에서도 미국 서부와 동부 지역의 지반 특성이 다름에도 불구하고 미국 서부해안 지역의 기준을 그대로 이용하여 지반분류 방법을 적용하기 때문에(현행 UBC 1997과 동일) 기반암 깊이가 얇은 지역에 적합하지 않음을 제시하였고, 그에 따라 미국동부 지역 지반특성에 적합한 지반분류 방법인 3-매개변수 방법의 요소들을 이용한 지반분류 방법을 제안하였다.

### 2.1 3-매개변수를 이용하여 지반분류 방법 구성(NYCDOT 2008)

분류 1) 기반암 깊이(H)- 2그룹

- 30m 이상 또는 이하 지반으로 분류

분류 2) 토층 평균 전단파속도 ( $V_{s,soil}$ ) - 3그룹 :  $S_C, S_D, S_E$

- 만약  $H \leq 30m$  일 경우,  $V_{s,soil}$  을 사용한다.
- 그렇지 않으면, 30m 까지의 전단파속도  $V_{s,30}$  을 사용한다

분류 3) 암반 상부 6m까지의 평균 전단파속도 ( $V_{s,rock}$ ) - 2그룹

- $H \leq 30m$  대해서만 결정
- VHR & Rock Class A : 1500m/s 이상  
Rock Class B : 760m/s~1500m/s

## 3. 국내 해석대상 지반의 적용

### 3.1 3-매개변수의 방법

NYCDOT2008 에서 제시한 3-매개변수를 이용한 지반분류 방법은 국내 지반조건과 유사하게 미 동부 지역이 기반암 깊이가 얇은 지역이 많이 존재하기 때문에 그 방법을 적용하는 것은 큰 의미가 있다고 할 수 있다. 또한 국내의 이러한 기준 연구는 특정 매개 변수를 이용하여 지반분류방법을 제안하기 보다는 복합적인 매개변수(기반암 깊이와 전단파속도 혹은 고유주기와 전단파속도)를 이용한 지반분류 방법이 국내 지반 특성을 반영할 수 있는 효과적인 방법이 될 수 있다(김동수 등, 2008).

따라서, 본 연구에서는 3-매개변수를 이용하여 구성된 지반분류방법을 국내 181개 지역을 대상으로 지반응답해석을 수행하고 각각의 지반 분류에 대한 증폭계수를 재 산정하여 설계응답스펙트럼을 작성하였다. 해석의 신뢰성을 높이기 위해 전단파 속도 시험이 수행된 지역만을 선정하여 결과에 반영하였고, 물성값 또한 실제 실험을 통한 값을 적용하고, 그렇지 못한 경우에는 국내 지반을 대상으로 수행된 경험 값들을 이용하여 해석에 반영하였다.

2.1 절에서 제시한 매개변수들을 보면, 첫째로(분류1) 지반 기반암 깊이 30m를 기준으로 2개의 그룹으로 나누고 둘째로(분류2), 첫 번째 분류에 따라 30m이상의 지반에서는 토층 깊이 30m까지의 전단파속도( $V_{s30}$ )를 사용하고, 30m이하 지반에서는 기반암이 나타난 지점에서 토층에서의 전단파속도 ( $V_{s,soil}$ )를 사용하도록 제안하고 있다. 이는 기반암 깊이가 30m가 되지 않은 지반이 존재하면  $V_{s30}$ 을 쉽게 구하기 어렵고, 암반의 강성까지 포함하여 전단파속도 값을 산정해야 하기 때문에 토층에서의 전단파속도를 사용해야 하는 것으로 판단할 수 있다. 세 번째(분류3)로 30m이하 지반에서는 기반암이 30m이내에 존재하여 암반의 강성에 따라 전단파속도가 달라질 수 있으므로, 30m이하 지반에서는 암반층(기반암층)이 나타나기 시작한 지점에서 상부 6m 까지의 전단파속도를 산정하여 그 값에 따라 Rock A와 Rock

B의 2개 그룹으로 나누고 있다.

### 3.2 국내 해석대상지반 분석

본 연구에서는 국내 181개 자료를 이용하여 지반응답해석 결과를 도출하고 3-매개변수 방법을 이용하여 지반분류를 수행하였다. 암반층을 포함하는 지반분류방법(분류3)에서는 암반이 나타나는 위치에 대한 정확한 시추주상도가 필요하고, 또한 시추주상도 누락 및 항타 간격 부정확 등으로 인해 암반층이 나타나기 시작한 시점부터 암반층 6m의 전단파속도를 산정하기 위한 정확한 값들을 적용 하는데 다소 어려움이 발생할 수 있어, 위에서 제시한 3-매개변수 방법 중 분류1, 2를 고려한 방법, 분류1, 2, 3을 동시에 고려한 방법으로 두 가지 경우로 나누어 해석을 수행하였다.

#### 3.2.1 기반암 깊이에 따른 전단파속도 적용

첫번째 방법으로 3-매개변수 방법 중 분류1, 2 방법, 즉 기반암 깊이 30m 이상, 이하에 따라 2그룹으로 분류한 다음, 기반암깊이 30m 이상 지반에서는 Vs30, 30m 이하 지반에서는 Vs,soil을 이용하여 지반분류를 수행하였다. 표 1에서는 UBC(Uniform Building Code) 기준에 의한 지반분류 방법을 기반암 깊이, Vs30 및 고유주기의 최대, 최소 및 평균값들을 정리하였고, 표 2에서는 본 연구에서의 결과 값을 산정하였다.

표 1. UBC 기준에서의 지반분류 결과(Vs30)

		S <sub>B</sub> 지반			S <sub>C</sub> 지반			S <sub>D</sub> 지반			S <sub>E</sub> 지반		
		최소	최대	평균	최소	최대	평균	최소	최대	평균	최소	최대	평균
기반암깊이 (m)		1.50	18.00	7.25	5.30	50.0	18.2	15.0	51.0	29.96	19.0	47.7	35.2
Vs30(m/sec)		760.92	1288.5	965.95	369.6	746.4	526.5	184.4	359.2	292.5	147.9	179.0	167.1
주기 (sec)	본 연구	0.021	0.118	0.067	0.067	0.440	0.198	0.261	0.853	0.435	0.662	0.990	0.800
	미국 서부	-			0.30 - 0.80	0.50	0.40 - 1.90	1.20	-				

표 2. 본 연구(분류1,2)에서의 지반분류 결과

		S <sub>C</sub> 지반			S <sub>D</sub> 지반			S <sub>E</sub> 지반		
		최소	최대	평균	최소	최대	평균	최소	최대	평균
기반암깊이 (m)		3.40	50.00	18.29	1.50	51.00	21.08	18.50	47.70	31.56
Vs(m/sec)		365.55	743.42	449.80	181.16	358.52	282.98	97.34	172.32	149.35
주기 (sec)	본 연구	0.03	0.44	0.17	0.02	0.85	0.30	0.53	0.99	0.75
	미국 서부	0.30 - 0.80		0.50	0.40 - 1.90	1.20	-			

두 방법에 대한 결과를 비교해 보면, 기존의 Vs30을 이용한 UBC 방법에서는 기반암깊이가 얇은 지반(즉, 기반암깊이 30m이하 지반)에서 30m까지의 전단파속도를 산정할 때, 기반암층에서의 전단파속도 값까지 포함하여 산정하면서 전단파속도를 다소 크게 평가하고 있음을 알 수 있다. 그러나 새롭게 적용한 방법에서는 기반암깊이가 30m이하로 나타난 지반에서 전단파속도는 토층에서의 값(Vs,soil)으로 산정됨으로써 평균값들이 작게 평가됨을 알 수 있다. 이 결과로부터 기존의 S<sub>B</sub>지반으로 분류되었던 지반들이 S<sub>C</sub>, S<sub>D</sub> 및 S<sub>E</sub>지반으로 구간 이동 되어 총 3개의 지반으로 분류됨을 알 수 있었다.

또한, 각각의 분류 결과에 따라 지반응답해석 결과를 이용하여 단주기, 장주기에서의 증폭계수를 채

산정하고 내진설계기준, UBC 방법 그리고 본 연구에서의 방법에 따라 설계응답스펙트럼을 작성하여 그림 1, 2, 3 에서 비교하였다.

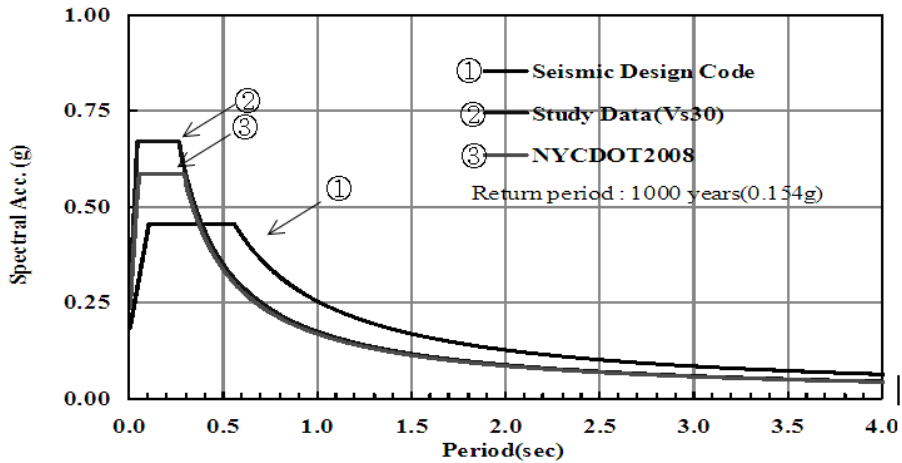


그림 1. 지반분류 C 에서의 설계응답스펙트럼 비교(1000년 재현주기)

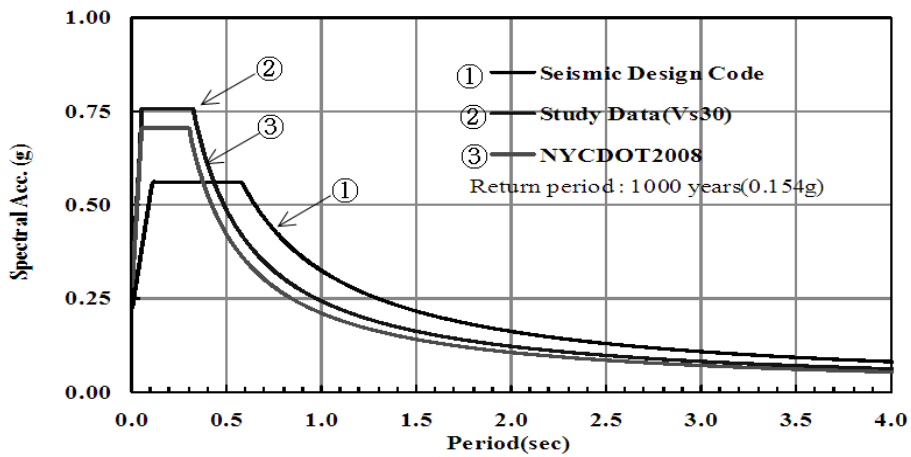


그림 2. 지반분류 D 에서의 설계응답스펙트럼 비교(1000년 재현주기)

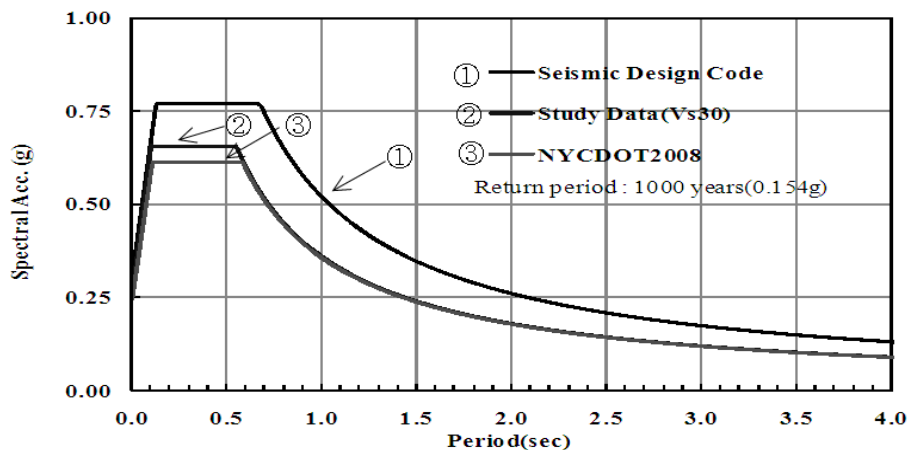


그림 3. 지반분류 E 에서의 설계응답스펙트럼 비교(1000년 재현주기)

설계응답스펙트럼 산정 결과, 내진설계기준에서 제시한 방법은 단주기 영역에서 증폭이 크고 그 주기 또한 넓게 나타나는 국내지반특성을 제대로 반영하지 못하고 있음을 확인 할 수 있었고, UBC 방법으로 산정한 결과 값들은 단주기 영역에서 증폭이 크게 발생하여 저층 구조물에 대한 과대 설계를 할 수 있다는 문제점이 발생하였다. 마지막으로 매개변수를 이용한 방법에서는 국내 지반특성에 맞는 지반분류를 해 줌으로써 과대하게 증폭되는 단주기 구간에서 개선점을 보여주고 있음을 확인할 수 있다.

### 3.2.2 암반 상부 6m 까지의 전단파속도를 이용한 지반분류방법

본 연구 방법에서는 3-매개변수 방법에서 제시한 지반분류방법을 모두 적용하여 지반응답해석 결과에 따른 설계응답스펙트럼을 작성하였다. 3.1.1절에서 수행한 방법을 적용하다보면 기반암깊이에만 의존하여 지반분류를 수행하게 되고, 실제로 암반강성이 미치는 정도를 판단할 수 없기 때문에, 매개변수를 추가하여 수행결과를 분석해 필요성이 있다.

따라서, 3-매개변수 방법에서 암반이 나타나기 시작한 시점부터 상부 6m까지의 전단파속도 값을 이용하여 Rock A와 Rock B로 분류한 다음, 그에 따른 지반분류를 수행하였다. 그러나, 위의 방법으로 지반분류를 하게 되면, 암반 6m에서의 전단파속도가 Rock A, Rock B그룹에 속하지 않는 지반이 존재하거나, 제시된 3-매개변수 방법에서 알 수 있듯이 30m이하 지반에서만 해석을 수행하기 때문에 30m 이상 지반이 존재할 수 있게 된다.

이에 따라, 30m이하 지반에서 암반 6m에서의 전단파속도를 산정했을 때, Rock A, Rock B 분류에 속하지 않은 지반은 Any Type 로 재분류하여 따로 설계응답스펙트럼을 작성하였다(그림 4)

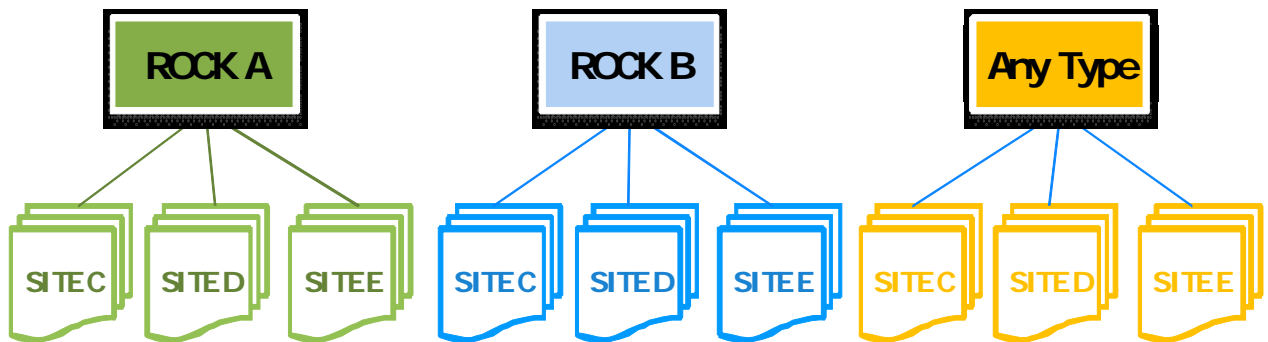
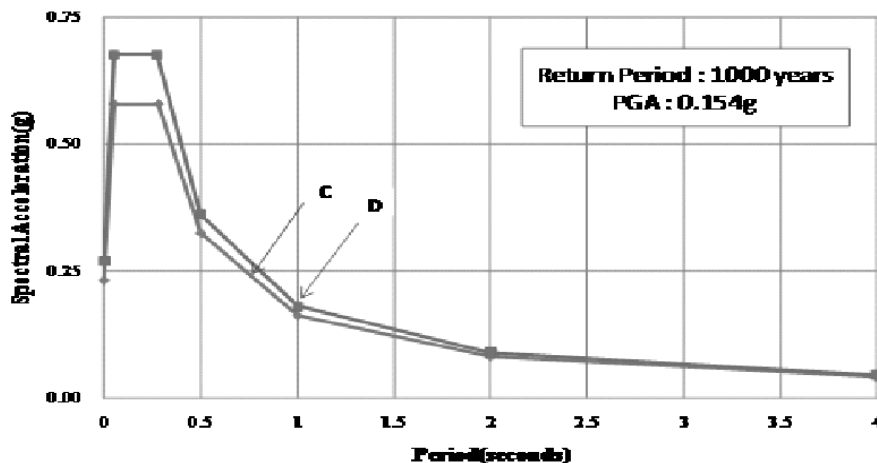
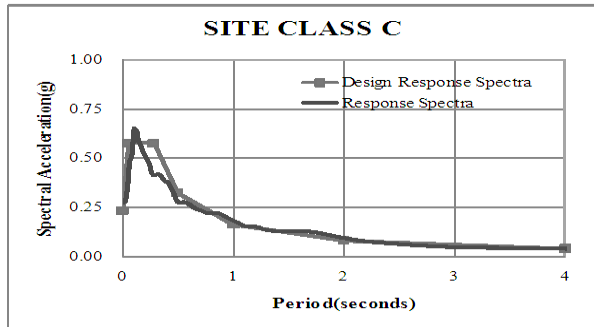


그림 4. 암반상부 6m 전단파속도( $V_{s,6}$ )을 이용한 지반분류방법

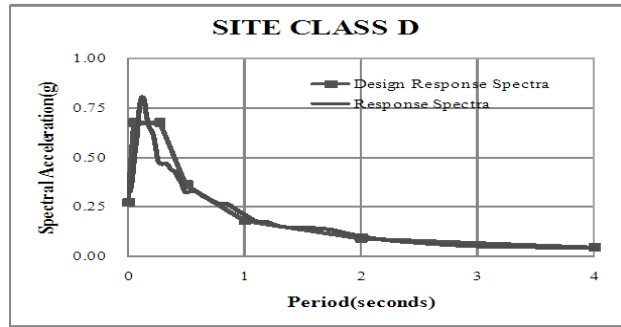
또한 30m 이상 지반에서도 추가적으로 암반 6m 에서의 전단파속도를 산정하여 전단파속도 값에 따른 분류를 시도하였다. 그러나 30m 이상 지반에서는 기반암 깊이가 깊어 시주조사를 중단하여 그 값을 판단할 수 없거나, 대부분 암반의 강성이 크게 나타나지 않아서 그 값을 이용하여 지반을 분류하는 데에는 다소 어려움이 있기 때문에, 본 연구에서는 NYCDOT2008에서 제시한 방법대로 30m 이하 지반에서만 분류를 수행하였다.



(a) 설계응답스펙트럼 산정



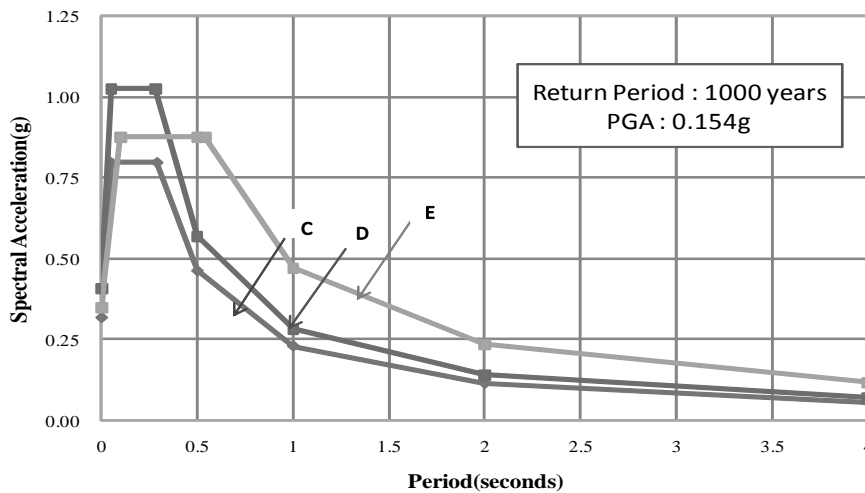
(b) 지반분류 C



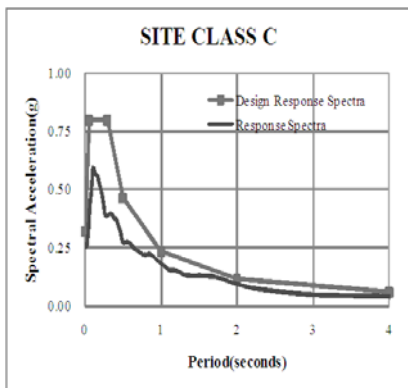
(c) 지반분류 D

그림 5. Rock A 분류에서의 설계응답스펙트럼(1000년 재현주기)

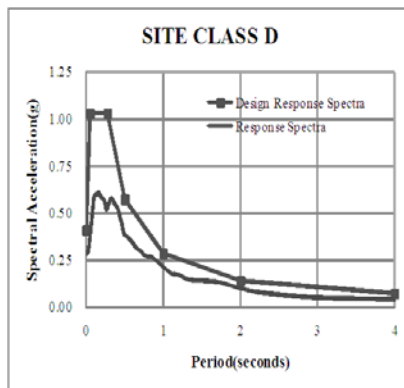
그림 5에서는 Rock A( $V_{s6} \geq 1500\text{m/s}$ )에서의 설계응답스펙트럼을 작성하여 Rock A분류구간에 속해 있는 지반분류 C와 지반분류 D에서의 응답스펙트럼의 평균값들을 함께 나타내었다. 그 결과 기존의 방법들은 해석 결과에 의한 응답스펙트럼 값이 설계응답스펙트럼 보다 더 크게 증폭되어 나타났다. 그러나 본 연구에서 나타난 값을 보면 평균 응답스펙트럼 값이 설계응답스펙트럼 값의 안쪽에 위치함으로써 기존의 방법보다 개선됨을 보였다.



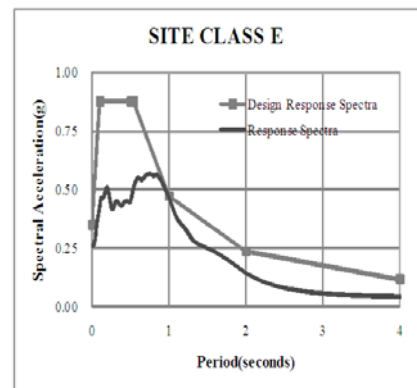
(a) 설계응답스펙트럼



(b) 지반분류 C



(c) 지반분류 D

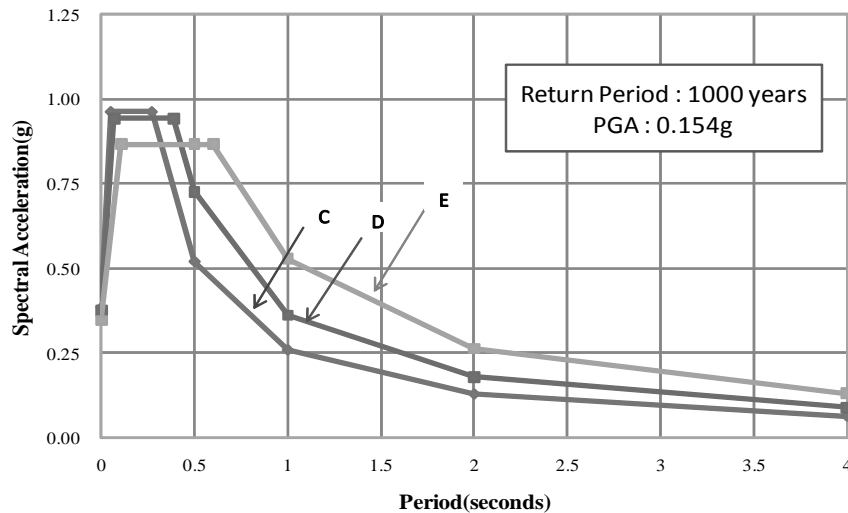


(d) 지반분류 E

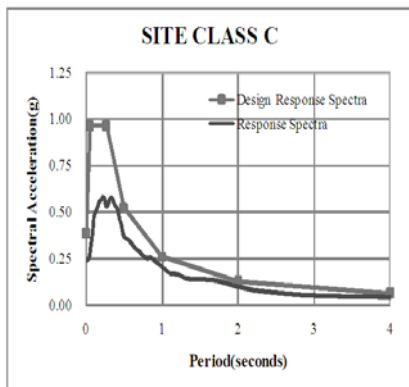
그림 6. Rock B 분류에서의 설계응답스펙트럼(1000년 재현주기)

그림 6 에서도 Rock A 의 방법과 마찬가지로 Rock B 분류에 대하여 설계응답스펙트럼을 작성하고 평균 응답스펙트럼을 적용시켜 보았다. 그 결과 위와 같이 지반분류 C, D 및 E 에서 모두 개선된 결과로 나타남을 볼 수 있었다.

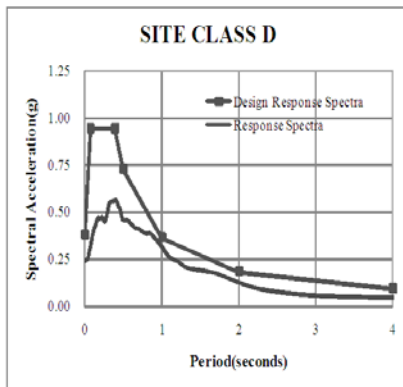
마지막으로, 위에서 언급한 바와 같이 암반 상부 6m 값으로 Rock A, Rock B 로 분류 하였을 경우 두 분류 구간에 속하지 않는 지반, 즉 암반에서의 전단파속도가 760m/s 이하의 값들이 나타나는 경우가 존재할 수 있다. 따라서 이러한 지반들을 Any Type구간으로 분류하여 기반암 깊이가 30m이하 지반일 경우에 대하여 설계응답스펙트럼을 작성하여 그림 7에 나타내었다.



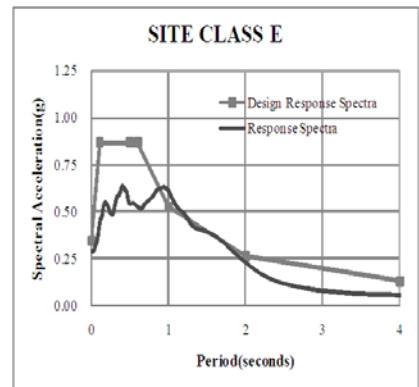
(a) 설계응답스펙트럼



(b) 지반분류 C



(c) 지반분류 D



(d) 지반분류 E

그림 7. Rock B 분류에서의 설계응답스펙트럼(1000년 재현주기)

암반 상부 6m 에서의 전단파속도 값이 760m/s 이하를 나타내는 지반 그룹인 Any Type 구간에서는 지반분류 E 에서 평균 응답스펙트럼이 다소 설계응답스펙트럼에서 벗어나는 범위가 존재하였으나 상당히 개선된 결과로 나타남을 알 수 있었다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 국내 지반 특성에 적합한 지반분류방법을 개선하고자 국내의 지반과 유사한 기반암 깊이가 얇은 NYCDOT2008에서 제시한 미국 동부지역의 지반분류방법을 이용하여 3-매개변수 방법에 의한 해석을 수행하였다.

기존의 방법들은 하나의 매개변수, 즉 기반암깊이, 전단파속도 그리고 고유주기를 각각 이용하여 지반

분류 방법을 제안하였으나, 이는 기반암깊이가 얇은 국내에 적용하는데 한계점이 있다. 따라서 3-매개변수 방법과 같이 여러 매개변수를 이용한 지반분류 방법이 국내 지반 특성을 반영할 수 있는 효과적인 방법이 될 수 있다.

기존의 지반분류방법이 30m 까지의 전단파속도 ( $V_{s30}$ )을 이용하고 있다는 점을 감안하여 볼 때, 기반암 깊이 30m를 기준으로 지반을 2그룹으로 분류한 후, 그에 따라 30m 이상 지반에서는  $V_{s30}$  값, 30m 이하 지반에서는  $V_{s,soil}$  값을 사용하였다. 또한, 30m 이하 지반에서는 암반 강성의 영향을 고려하여 암반층이 나타난 시점에서 상부 6m 까지의 전단파속도( $V_{s,6}$ )을 이용하여 지반분류 후에 다시 전단파속도를 이용한 지반분류를 수행하였다. 연구 결과, 기존의  $V_{s30}$  값만을 사용한 UBC 방법과 3-매개변수를 이용한 방법을 비교하여 평균 응답스펙트럼을 설계응답스펙트럼에 적용시켰을 때 상당한 개선점을 보였다. 따라서 앞으로의 연구는 복합적인 매개변수를 고려하여 지반분류를 수행하는 것이 상당한 의미가 있다고 판단할 수 있다.

그러나, 여러 매개변수를 이용하여 지반분류를 수행하게 되면 그 분류 구간들이 세분화되어 현 기준인 Site A~F 구간과 같이 6개로 나누어진 구간 보다 많은 구간으로 세분화 될 수 있다. 그렇기 때문에, 국내 내진설계 기준을 정립하는 데에는 해석 대상지반의 자료들이 미흡하고, 그 결과들을 정량화 하는데 다소 어려움이 존재할 수 있다. 따라서, 향후 내진설계 기준을 개선하기 위해서 지속적인 연구 및 자료들의 수집은 중요한 과제라 할 수 있다.

## 참고문헌

1. 건설교통부(1997) 내진설계기준연구(II) - “내진설계성능기준과 경제성평가”, 한국지진공학..
2. 선창국, 정충기, 김동수(2005) “국내 내륙의 설계 지반운동 결정을 위한 지반 증폭계수 및 지반분류 체계 제안”, 한국 지반공학회 논문집, 한국 지반공학회, 제 21권, 제 6호, pp. 101-115.
3. 김동수, 이세현, 윤종구(2008) “기반암 깊이와 토층 평균 전단파속도를 이용한 국내 지반분류 방법 및 지반 증폭계수 개선”, 대한토목학회논문집, 대한토목학회, 제 28권, 제 1C호, pp. 63-74.
4. Ruben Gajer, Ricardo Dobry, Walter Silva, Thomas Thomann, Kamal Kishore, Jay Peter, Abdur Razzaq and Sajjan Jain(2008), "2008 New York City DOT Seismic Design Guidelines for Bridges Considering Local Site Conditions"
5. ICBO (1997) 1997 Uniform Building Code, Volume 2-Structural Engineering Design Provisions, International Conference of Building Officials, California.