

# KBC 내진설계기준을 위한 지반분류와 지반계수에 대한 연구

## Study on the Site Classification and Site Coefficients for the Seismic Design Regulations of KBC

김용석<sup>1)</sup>

Kim, Yong-Seok

**국문 요약** >> IBC와 KBC의 지반분류는 ft-kips 단위체계를 기본으로 하고, 지반종류를 단일 지반특성값이 아닌 지반특성값 범위로 규정하여 지반종류에 따른 전단파속도와 지반계수들 간의 불명확한 관계 때문에 지반계수의 선형보간이 쉽지 않다. 또한, KBC의 지반분류에서 각 지반종류에 대한 지반특성값 범위가 너무 넓어서 구조기술자들이 다양한 지반의 실제적인 지반계수를 추정하는데 어려움을 겪고 있다. 이 연구에서는 SI 단위체계를 고려한 새로운 지반분류체계를 KBC 등 차세대 내진설계기준을 위해 제안하였고, 제안된 새로운 지반분류에 따라 지반계수들의 선형보간 가능성을 검토하기 위해  $F_a$ ,  $F_v$  지반계수들의 비교에 관한 연구를 수행하였다. 연구결과에 의하면, SI 단위체계와 얇게 묻힌기초 밑 30m 지반의 지반특성을 고려한 새로 제안한 지반분류체계를 이용하는 것이 지반계수의 선형보간을 위해서 보다 합리적이고, 설계스펙트럼 가속도계수의 선형보간도 각 지반을 대표하는 전단파속도에 따라 지반계수를 규정함으로써 보다 합리적으로 수행할 수 있다. 연구결과에 따라 KBC 내진설계기준을 위한 새로운 지반분류체계와 선형보간이 가능한 설계스펙트럼 가속도계수를 제안하였다.

**주요어** 지반분류, KBC, 선형보간, 지반계수, 얇게 묻힌기초, 내진설계기준

**ABSTRACT** >> Site classification of IBC and KBC is based on the ft-kips unit system and is not friendly for the linear interpolation of the site coefficients due to the implicit relationship between a site class and site coefficients, defining a site class by the range of the soil properties, not by a single soil property. Also, the site class definition of KBC has too wide range of soil properties for each soil class, making the structural engineers difficult to estimate the site coefficients for the diverse soil layers. In this study, a new site classification in SI unit system was proposed for the seismic design codes of KBC etc., and the comparison of the site coefficients of  $F_a$  and  $F_v$  was also performed to investigate the possibility of the linear interpolation of the site coefficients with the proposed new site classification. According to the study results, it was more reasonable for the linear interpolation of the site coefficients to utilize the proposed new site classification considered the SI unit system and the soil characteristics of the 30m soil layer beneath the shallow embedded foundation, and the linear interpolation of the acceleration coefficients for the design spectrum can be performed more reasonably defining the site coefficients for the representative shear wave velocities of each site class. With the study results, a new site classification, and the linear interpolation permitted acceleration coefficients for the design spectrum were proposed for the modification of the seismic design regulations of KBC.

**Key words** site classification, KBC, linear interpolation, site coefficient, shallow embedded foundation, seismic design regulations

### 1. 서론

구조물의 내진설계에서 구조물-지반 상호작용이 중요하다는 것은 잘 알려져 있고, 지반조건을 고려한 구조물의 지

진해석은 구조물의 지진응답을 합리적으로 예측하기 위해서 필수적인 것이다. IBC(International Building Code)<sup>(1)</sup>와 KBC(Korean Building Code)<sup>(2)</sup>에서는 1994년 NEHRP(National Earthquake Hazards Reduction Program)<sup>(3)</sup>에서 제시한 표 1에 나타난 것과 같은 지반분류체계를 채택하여 내진설계에 사용하고 있으나 실무적인 측면에서 지진해석을 위한 지반분류가 세분화되어 있지 못하고, 지반분류를 위한 지반특성 판정에서도 실무자의 주관적 판단에 따라 큰

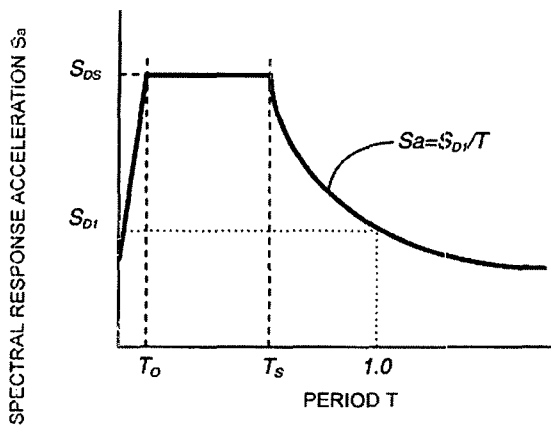
<sup>1)</sup> 정희원·목포대학교 건축공학과 교수  
(대표저자: yskim@mokpo.ac.kr)

본 논문에 대한 토의를 2007년 4월 30일까지 학회로 보내 주시면 그 결과를 게재하겠습니다.

(논문접수일 : 2005. 12. 8 / 심사종료일 : 2006. 10. 26)

〈표 1〉 IBC 지반분류

Site Class	Soil Profile Description	Average Soil Properties for Top 30.48m		
		Shear Wave Velocity (m/sec)	SPT N-value (blows/foot)	Soil Undrained Shear Strength (kPa)
A	Hard Rock	> 1500	N/A	N/A
B	Rock	760 - 1500		
C	Very Dense Soil and Soft Rock	360 - 760	> 50	> 100
D	Stiff Soil Profile	180 - 360	15 - 50	50 - 100
E	Soft Soil Profile	< 180	< 15	< 50
F	Soils Requiring Site-specific Evaluation			



2400 Years EQ. Max. Ground Motion for Site B

Max. Considered EQ. Spec. Resp. Acc. (5% Damping, Site B)

:  $S_s, S_1$

Max. Considered EQ. Spectral Resp. Acc.

:  $S_{MS} = F_a \cdot S_s$

:  $S_{M1} = F_v \cdot S_1$

Design Spectral Response Acceleration

:  $S_{DS} = 2/3 S_{MS} = 2/3 F_a \cdot S_s$

:  $S_{D1} = 2/3 S_{M1} = 2/3 F_v \cdot S_1$

〈그림 1〉 설계응답스펙트럼<sup>(1)</sup>

차이가 발생하고 있다. 또, IBC와 KBC 기준에서 지반을 상부 100ft(30.48m) 지반의 지반특성값 평균에 따라 분류하도록 규정하고 있는데, 지표면에 놓인 얇은기초의 경우에는 이 규정이 적합하지만 문힌기초(둥가원형기초 반경의 1/10이상 문힌기초)의 경우에는 부적합한 것으로 나타났다.<sup>(4)</sup> 그리고, 지반분류를 위한 전단파속도가 600, 1200, 2500, 5000ft/sec 등 ft 단위체계에서 개발된 것을 180, 360, 760, 1500m/sec 등 SI 단위체계로 변환하여 사용함으로써 지반종류를 규정한 지반특성치 경계값들이 10진법에 익숙한 SI 단위체계 사용자들에게는 좀 낯설게 보인다.

또, 내진설계기준에서 입력지진수준에 따른 지반계수의 선형보간은 허용하고 있으나, 지반특성값 차이에 따른 지반계수의 선형보간은 허용하지 않아 지진해석에 대한 합리성이 결여되어 있다. 또, 내진설계기준에서 각 지반종류 별로 하나의 대표적인 지반계수를 제시하고 있지만, 각 지반을 대표하는 지반특성값은 제시하지 않고 지반종류 별로 지반특성값 범위를 계단식으로 규정하여 지반계수의 선형보간이 어렵게 되어 있다. 한편, 지반특성값에 따른 지반계수의 선형보간이 허용되지 않고, 상부 30m 지반층의 하부에 지반특성값 차이가 큰 단단한 지반이 존재하는 경우에는 지반특성치 평균값이 커져 지반분류 경계값을 약간 만 넘겨도

지반종류가 달라지고 지반계수가 크게 달라져 상당한 과소설계가 되는 문제점이 발생한다.

그리고, 현 내진설계기준의 또 다른 문제점으로는 그림 1에 나타난 지진응답스펙트럼을 작성할 때 필요한 지반계수  $F_a$ 와  $F_v$ 는 동일한 지반에 대해서 구해져야 하기 때문에  $F_a$ 와  $F_v$ 를 규정한 지반 특성값이 같아야 하는데, 기준에 제시된 지반계수에 따른 지반의 전단파속도를 표 2의 비교란에 나타난 1994년 Borchardt가 제시한 식으로 역산해 보면 표 2에 나타난 것처럼 지반 B를 제외한 모든 지반에서  $F_a$ 와  $F_v$ 를 규정한 전단파속도가 상당한 차이를 보이고 있어서 설계응답스펙트럼의 신뢰도가 크게 떨어지는 것으로 나타났다.<sup>(5)</sup>

## 2. 지반분류 체계에 대한 제안

표 1에 제시된 IBC 지반분류는 앞에서 언급한 것처럼 지표면에 놓인 기초를 대상으로 ft 단위체계에서 마련되었기 때문에 SI 단위체계에서는 지진계수의 선형보간이 용이하지 않다. 지난 수십 년 동안의 연구결과들에 의하면 대부분의 기초가 암반까지의 깊이가 유한한 지반에 얇게 묻혀 있기 때문에 지반특성을 기초의 묻힘을 고려하지 않고 지표면에서 30m 깊이까지 지반을 기준으로 산정하는 것보다는 기초

〈표 2〉  $F_a$ ,  $F_v$  지반계수에 따른 전단파속도  $V_s$

입력지진수준	지반종류	A	B	C	D	E	비고 <sup>(7)</sup>
0.10	$F_a$	0.8	1.0	1.2	1.6	2.5	$F_a=(1050/V_s)^{0.35}$
	$V_s$ (m/sec)	1986	1050	624	274	77	
	$F_v$	0.8	1.0	1.7	2.4	3.5	$F_v=(1050/V_s)^{0.65}$
	$V_s$ (m/sec)	1480	1050	464	273	153	
0.20	$F_a$	0.8	1.0	1.2	1.4	1.7	$F_a=(1050/V_s)^{0.25}$
	$V_s$ (m/sec)	2563	1050	506	273	126	
	$F_v$	0.8	1.0	1.6	2.0	3.2	$F_v=(1050/V_s)^{0.6}$
	$V_s$ (m/sec)	1523	1050	480	331	151	
0.30	$F_a$	0.8	1.0	1.1	1.2	1.2	$F_a=(1050/V_s)^{0.1}$
	$V_s$ (m/sec)	9779	1050	405	170	170	
	$F_v$	0.8	1.0	1.5	1.8	2.8	$F_v=(1050/V_s)^{0.53}$
	$V_s$ (m/sec)	1600	1050	489	346	150	
0.40	$F_a$	0.8	1.0	1.0	1.1	0.9	$F_a=(1050/V_s)^{-0.05}$
	$V_s$ (m/sec)	12	1050	1050	7064	128	
	$F_v$	0.8	1.0	1.4	1.6	2.4	$F_v=(1050/V_s)^{0.45}$
	$V_s$ (m/sec)	1724	1050	497	369	150	

〈표 3〉 IBC를 위해 제안한 지반분류

Site Class	Soil Profile Description	Average Soil Properties for 30m beneath Shallow Embedded Foundation			
		Shear Wave Velocity (m/sec)	SPT N-value (blows/30cm)	Soil Undrained Shear Strength (KPa)	
A	Hard Rock	> 1600	N/A	N/A	
B	Rock	800 - 1600			
C	Very Dense Soil and Soft Rock	400 - 800	> 50	> 100	
D	Stiff Soil Profile	200 - 400	10 - 50	50 - 100	
E	Soft Soil Profile	< 200	< 10	< 50	
F	Soils Requiring Site-specific Evaluation				

의 문함을 고려하여 기초 밑에서 30m까지 지반을 고려하는 것이 보다 합리적이다. 또, 깊게 묻힌 기초에 대해서는 새로운 기준이 마련되어야 하겠지만 깊게 묻힌 기초의 경우 근 입깊이, 암반깊이, 기초크기, 기초강성, 지반다짐상태 등 많은 변수들이 있기 때문에 통일된 기준안을 마련하는 데는 상당한 제약이 있다. 따라서 구조물 별로 구조물-지반 상호 작용 등을 고려한 지진해석에 의한 문제해결이 필요하지만, 현 기준에 의한 내진설계에서는 기초문함을 무시하고 기초 밑 30m 지반을 기준으로 내진설계를 수행하는 것이 문함을 고려해서 지진해석을 수행하는 것보다 과도하게 안전 측의 내진설계가 가능하기 때문에 실무적으로 큰 문제는 없는 것으로 평가된다.

한편, 지반을 분류하는 전단파속도 경계값들도 SI 단위체계의 10진법에 기초하여 180, 360, 760, 1500m/sec를 200, 400, 800, 1600m/sec로 변경하는 것이 지반 특성값에 따른 지반계수의 선형보간을 편리하게 할 수 있다. 따라서 현재 사용되고 있는 표 1에 나타난 IBC 지반분류 체계는 표 3처럼 수정하는 것이 합리적일 것으로 판단되었다. 또, 지반 D

와 지반 E의 경계에서 N-값도 1977년 Imai가 제시한 N-값과 전단파속도  $V_s$ 의 관계식 식 (1)을 이용해서 15를 10으로 수정하였다.<sup>(6)</sup>

$$V_s = 91N^{0.337} \tag{1}$$

### 3. 지반계수의 선형보간에 대한 검토

지반계수의 선형보간 가능성 여부를 검토하기 위해 지반 종류 별 전단파속도( $V_s$ ) 경계값에서 지반계수를 지반분류 작성 시 기본이 되었던 이론과 실측 자료를 근거로 Borchardt가 제시한 식 (2)를 이용하여 먼저 구하고,<sup>(7)</sup> 기준에 정의된 지반계수와 그 지반계수에 해당되는 전단파속도를 추론하여 각 지반의 경계값 전단파속도에서 지반계수를 선형보간법으로 구하였다.

$$\begin{aligned} F_a &= (1050/V_s)^\alpha \\ F_v &= (1050/V_s)^\beta \end{aligned} \tag{2}$$

여기서, 입력지진수준이 0.1g, 0.2g, 0.3g와 0.4g일 때  $\alpha$ 는 각각 0.35, 0.25, 0.1, -0.05이고,  $\beta$ 는 0.65, 0.6, 0.53, 0.45이다.

표 4, 5에 나타난 것처럼 식 (2)와 선형보간에 의한 두 결과를 비교해 보면, 입력지진가속도수준에 관계없이 전반적으로 식 (2)로 구한 지반계수와 선형보간으로 구한 지반계수의 오차가 10%이내이고, 선형보간법으로 구한 지반계수가 식으로 정확하게 구한 지반계수보다 크고, 실무적 관점에서 안전 측에 있기 때문에 지반계수의 선형보간은 가능한 것으로 판단되었다.

그러나, 입력지진수준이 0.4g인 경우에는 지반계수  $F_a$ 에 따른 전단파속도가 합리적이지 못한 값으로 평가되어 지반계수의 선형보간이 불가능한 것으로 판단되었으며, 강진에 대한 IBC 기준의 명확한 규명이 필요한 것으로 판단되었다.

#### 4. 제안한 지반분류에 따른 지반계수 검증

IBC 지반계수  $F_a$ 와  $F_v$ 의 선형보간 가능성에 대한 검토에서 지반계수의 선형보간이 가능한 것으로 판명되어, 수정 제안된 지반분류에 따른 지반계수의 선형보간을 용이하게 하고 보간값의 정확도를 높이기 위해 B, C, D, E 지반의 전단파속도 영역을 표 6에 나타난 것처럼 한 단계씩 추가하여 2단계로 세분화하였다. 또, 지반계수 산정을 위한 기준지반 B의 대표 전단파속도를 1050m/sec에서 1000m/sec로 수정하기 위해 지반종류에 따라 규정된 전단파속도에서 IBC2003에서 사용한 식 (2)에 의한 지반계수  $F_a$ 와  $F_v$ 를 표 6과 7에

〈표 4〉 지반분류 경계전단파속도에서  $F_a$  지반계수 보간

입력지진수준		지반종류									비고 <sup>(7)</sup>
		A			B			C		D	
0.10	$V_s$ (m/sec)	1986	1500	1050	760	624	360	274	180	77	$F_a=(1050/V_s)^{0.35}$
	식 (2)	0.8	0.883	1.0	1.120	1.2	1.454	1.6	1.854	2.5	
	선형보간	-	0.904	-	1.136	-	1.502	-	2.029	-	
	error (%)	-	2.4	-	1.5	-	3.3	-	9.4	-	
0.20	$V_s$ (m/sec)	2563	1500	1050	760	506	360	273	180	126	$F_a=(1050/V_s)^{0.25}$
	식 (2)	0.8	0.915	1.0	1.084	1.2	1.307	1.4	1.554	1.7	
	선형보간	-	0.941	-	1.107	-	1.325	-	1.590	-	
	error (%)	-	2.8	-	2.1	-	1.4	-	2.3	-	
0.30	$V_s$ (m/sec)	9779	1500	1050	760	405	360	-	180	170	$F_a=(1050/V_s)^{0.10}$
	식 (2)	0.8	0.965	1.0	1.033	1.1	1.113	-	1.193	1.2	
	선형보간	-	0.990	-	1.045	-	1.119	-	1.196	-	
	error (%)	-	2.6	-	1.2	-	1.7	-	0.3	-	
0.40	$V_s$ (m/sec)	12	1500	1050	760	1050	360	7064	180	128	$F_a=(1050/V_s)^{0.05}$
	식 (2)	0.8	1.018	1.0	0.984	1.0	0.948	1.1	0.916	0.9	
	선형보간	Not Available									
	error (%)	Not Available									

〈표 5〉 지반분류 경계전단파속도에서  $F_v$  지반계수 보간

입력지진수준		지반종류									비고 <sup>(7)</sup>
		B			C			D		E	
0.10	$V_s$ (m/sec)	1500	1480	1050	760	464	360	273	180	153	$F_v=(1050/V_s)^{0.65}$
	식 (2)	0.793	0.8	1.0	1.234	1.7	2.005	2.4	3.147	3.5	
	선형보간	-	0.802	-	1.346	-	2.081	-	3.253	-	
	error (%)	-	0.3	-	9.1	-	3.8	-	3.4	-	
0.20	$V_s$ (m/sec)	1523	1500	1050	760	480	360	331	180	151	$F_v=(1050/V_s)^{0.6}$
	식 (2)	0.8	0.807	1.0	1.214	1.6	1.901	2.0	2.881	3.2	
	선형보간	-	0.810	-	1.305	-	1.922	-	3.007	-	
	error (%)	-	0.4	-	7.5	-	1.1	-	4.4	-	
0.30	$V_s$ (m/sec)	1600	1500	1050	760	489	360	346	180	150	$F_v=(1050/V_s)^{0.53}$
	식 (2)	0.8	0.828	1.0	1.187	1.4	1.764	1.8	2.546	2.8	
	선형보간	-	0.836	-	1.207	-	1.763	-	2.647	-	
	error (%)	-	1.0	-	1.7	-	0.0	-	4.0	-	
0.40	$V_s$ (m/sec)	1724	1500	1050	760	497	369	360	180	150	$F_v=(1050/V_s)^{0.45}$
	식 (2)	0.8	0.852	1.0	1.157	1.4	1.6	1.619	2.211	2.4	
	선형보간	-	0.866	-	1.210	-	-	1.633	2.290	-	
	error (%)	-	1.7	-	4.6	-	-	0.9	3.6	-	

〈표 6〉 IBC 지반계수와 제안한 지반분류에 의한 지반계수  $F_a$  비교

지진계수	지반종류	A		B		C		D		E		비 고
		$V_s$ (m/sec)	2200	1600	1000	800	600	400	300	200	100	
0.10	IBC2003	0.772	0.863	1.017	1.1	1.216	1.402	1.55	1.787	2.277	$F_a=(1050/V_s)^{0.35}$	
	수정식 $F_a$	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.4	1.6	1.8	2.3	$F_a=(1000/V_s)^{0.36}$	
	error (%)	3.6	4.3	-1.7	0	-1.3	-0.1	3.2	0.7	1.0		
0.20	IBC2003	0.831	0.9	1.012	1.07	1.15	1.273	1.368	1.514	1.8	$F_a=(1050/V_s)^{0.25}$	
	수정식 $F_a$	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.8	$F_a=(1000/V_s)^{0.26}$	
	error (%)	-3.7	0	-1.2	2.8	4.3	2.1	2.3	-0.9	0		
0.30	IBC2003	0.929	0.959	1.005	1.028	1.058	1.101	1.133	1.180	1.265	$F_a=(1050/V_s)^{0.10}$	
	수정식 $F_a$	0.9	0.9	1.0	1.0	1.1	1.1	1.1	1.2	1.3	$F_a=(1000/V_s)^{0.11}$	
	error (%)	-3.1	-6.2	-0.5	-2.7	4.0	-0.1	-2.9	1.7	2.8		
0.40	IBC2003	1.038	1.021	0.998	0.986	0.972	0.953	0.939	0.92	0.889	$F_a=(1050/V_s)^{-0.05}$	
	수정식 $F_a$	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.9	0.9	0.9	$F_a=(1000/V_s)^{-0.04}$	
	error (%)	-3.7	-2.1	0.2	1.4	2.9	4.9	4.2	2.2	1.2		

〈표 7〉 IBC 지반계수와 제안한 지반분류에 의한 지반계수  $F_v$  비교

지진계수	지반종류	A		B		C		D		E		비 고
		$V_s$ (m/sec)	2200	1600	1000	800	600	400	300	200	100	
0.10	IBC2003	0.618	0.76	1.032	1.193	1.439	1.873	2.258	2.938	4.61	$F_v=(1050/V_s)^{0.65}$	
	수정식 $F_v$	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.8	2.2	3.0	4.6	$F_v=(1000/V_s)^{0.66}$	
	error (%)	-2.9	5.3	-3.1	0.5	-2.7	-3.9	-2.6	2.1	0.2		
0.20	IBC2003	0.642	0.777	1.03	1.177	1.399	1.784	2.121	2.705	4.099	$F_v=(1050/V_s)^{0.6}$	
	수정식 $F_v$	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.8	2.1	2.7	4.1	$F_v=(1000/V_s)^{0.62}$	
	error (%)	-6.5	3.0	-2.9	2.0	0.1	0.9	-1.0	-0.2	0		
0.30	IBC2003	0.676	0.80	1.026	1.155	1.345	1.668	1.942	2.408	3.477	$F_v=(1050/V_s)^{0.53}$	
	수정식 $F_v$	0.7	0.8	1.0	1.2	1.3	1.7	1.9	2.4	3.5	$F_v=(1000/V_s)^{0.54}$	
	error (%)	3.6	0	-2.5	3.9	-3.3	1.9	-2.2	-0.3	0.7		
0.40	IBC2003	0.717	0.827	1.022	1.313	1.286	1.544	1.757	2.109	2.881	$F_v=(1050/V_s)^{0.45}$	
	수정식 $F_v$	0.7	0.8	1.0	1.3	1.3	1.5	1.8	2.1	2.9	$F_v=(1000/V_s)^{0.46}$	
	error (%)	-2.4	-3.3	-2.2	-1.0	1.1	-2.8	2.4	-0.4	0.7		

나타난 것처럼 먼저 산정하고, 산정한 지반계수들이 다음 식 (3)에 가장 적합하도록  $\alpha$ ,  $\beta$  값을 최적화하였는데, 입력지진 수준이 0.1g, 0.2g, 0.3g와 0.4g일 때  $\alpha$ 는 각각 0.36, 0.26, 0.11, -0.04이고,  $\beta$ 는 0.66, 0.62, 0.54, 0.46으로 나타났다.

$$\begin{aligned}
 F_a &= (1000/V_s)^\alpha \\
 F_v &= (1000/V_s)^\beta
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

IBC2003에서 사용한 식 (2)로 구한 지반계수  $F_a$ 와  $F_v$ 를 수정 제안한 식 (3)에 의해 구한 지반계수  $F_a$ 와  $F_v$ 와 비교한 결과, 표 6과 7에 나타난 것처럼 그 오차 범위가  $F_a$ 는 -6.2%에서 4.9%까지,  $F_v$ 는 -6.5%에서 5.3%까지로 나타나 수정 제안된 전단파속도에 따른 지반분류와 지반계수 산정식으로 기존 지반분류와 지반계수 산정식과 매우 근사한 결과를 얻을 수 있다는 것이 검증되었다.

### 5. 제안한 지반분류에 의한 KBC기준을 위한 제안

표 3에 나타난 새로 제안한 IBC 지반분류 체계와 지반계수 산정식 식 (3)을 KBC기준에 적용하기 위해 새로운 지반분류와 KBC 입력지진수준에 따른 가속도계수를 산정하였다. KBC를 위한 지반분류 체계는 IBC 지반분류에 근거하여 표 8에 나타난 것처럼 등가원형기초 반경의 1/10이하로 얇게 묻힌 기초 및 30m 지반특성 평균값에 따라 지반종류를 결정하도록 수정하고, 표준관입시험(SPT) N-값에 의한 지반분류 경계값도 약간 수정하였다.

새로 제안한 지반분류 체계에 따라 가속도계수  $F_a$ 와  $F_v$ 를 KBC기준에 새로 제안하기 위해 현재 500년 재현주기로 되어 있는 입력지진수준을 1000년 재현주기 지진수준인 0.09g와 0.15g로 수정하고, 식 (3)에 나타난 지수들도 선형

〈표 8〉 KBC를 위해 제안한 지반분류

지반종류	지반종류의 호칭	얕게 묻힌기초 및 30m에 대한 평균 지반특성		
		전단파속도 (m/sec)	표준관입시험 N값 (타격횟수/30cm)	비배수전단강도 (kPa)
A	경암지반	2200	-	-
B	보통암지반	1600	-	-
		1000	-	-
C	연암지반 또는 매우 조밀한 토사지반	800	-	-
		600	-	-
D	단단한 토사지반	400	50	100
		300	30	75
E	연약한 토사지반	200	10	50
		100	0	0

〈표 9〉 제안한 지반분류에 의한 KBC를 위한  $F_a$  지반계수

지반종류		A	B			C		D		E		비 고
전단파속도(m/sec)		2200	1600	1000	800	600	400	300	200	100		
입력지진	0.09	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.4	1.6	1.8	2.3	$F_a=(1000/V_s)^{0.36}$	
수준계수	0.15	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.4	1.5	1.7	2.1	$F_a=(1000/V_s)^{0.31}$	

〈표 10〉 제안한 지반분류에 의한 KBC를 위한  $F_v$  지반계수

지반종류		A	B			C		D		E		비 고
전단파속도(m/sec)		2200	1600	1000	800	600	400	300	200	100		
입력지진	0.09	0.6	0.7	1.0	1.2	1.4	1.8	2.2	2.9	4.6	$F_v=(1000/V_s)^{0.66}$	
수준계수	0.15	0.6	0.7	1.0	1.2	1.4	1.8	2.2	2.8	4.4	$F_v=(1000/V_s)^{0.64}$	

〈표 11〉 KBC2005 및 제안한 설계스펙트럼 가속도계수 비교

(a) KBC2005 설계스펙트럼 가속도계수

지반종류	단주기 가속도계수		주기1초 가속도계수	
	지진지역		지진지역	
	1	2	1	2
SA	2.0	1.8	0.8	0.7
SB	2.5	2.5	1.0	1.0
SC	3.0	3.0	1.6	1.6
SD	3.6	4.0	2.3	2.3
SE	5.0	6.0	3.4	3.4

(b) 제안한 설계스펙트럼 가속도계수

지반종류	지반특성		단주기 가속도계수		주기1초 가속도계수	
	전단파속도 (m/sec)	SPT N-값	지진지역		지진지역	
			1	2	1	2
A	2200	-	2.0	2.0	0.6	0.6
	1600	-	2.2	2.2	0.7	0.7
B	1000	-	2.5	2.5	1.0	1.0
	800	-	2.7	2.7	1.2	1.2
C	600	-	3.0	3.0	1.4	1.4
	400	50	3.4	3.5	1.8	1.8
D	300	30	3.7	3.9	2.2	2.2
	200	10	4.2	4.5	2.8	2.9
E	100	0	5.1	5.8	4.4	4.6

보간하여 수정하였다. 표 9와 10의 비교란에 나타난 새로 제안한 지반계수 산정식에 따른 입력지진수준별 지반계수  $F_a$ 와  $F_v$  값은 표 9와 표 10에 나타나 있다. 표 11 (a)에는 KBC2005 설계스펙트럼 가속도계수가 나타나 있고, 표 11 (b)에는 KBC를 위해 새로 제안한 지반분류에 따라 구한 설계스펙트럼 가속도계수가 나타나 있는데, 새로 제안한 설계스펙트럼 가속도계수는 지반종류 별 지반계수를 KBC 지진 지역에 따른 가속도계수 표기방식으로  $F_a$  가속도계수는 2.5 배하여 제시하였다.

또, 표 11 (b)에는 지반종류 D와 E의 지반특성을 식 (1)에 의한 표준관입시험에 따른 N-값으로도 제시하였다.

### 6. 결 언

이 논문에서는 KBC 내진설계기준을 위해 새로운 지반분류체계를 제안하고, 새로 제안한 지반분류에 따른 지반계수  $F_a$ 와  $F_v$ 의 선형보간을 위해서 필요한 연구를 수행하였다. 연구결과에 의하면, SI 단위체계를 고려하고 얕게 묻힌기

초를 고려하여 기초 밑 30m 지반의 특성에 따라 분류한 표 8에 제시한 지반분류체계가 지반계수  $F_a$ 와  $F_v$ 의 선형보간을 위해 보다 합리적이고, 표 8과 9에 나타난 것처럼 지반종류 별로 선정된 대표 전단파속도에 따라 지반계수를 규정함으로써 지반계수의 선형보간이 합리적으로 이용될 수 있는 것으로 판단되었다. 또, 연구결과에 따라 차세대 KBC 내진설계기준을 위해 표 8에 나타난 수정된 지반분류체계와 표 11 (b)에 나타난 지반특성값에 따라 선형보간이 가능한 설계스펙트럼 가속도계수를 제안하였다.

한편, 이 후에도 지반계수에 대한 구조물-지반 상호작용을 고려한 수치해석적 연구와 깊게 묻힌기초에 세워진 구조물의 설계스펙트럼 가속도계수에 대한 연구가 필요한 것으로 판단되었다.

### 감사의 글

이 논문은 2004년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음(KRF-2004-041-D00752).

### 참고 문헌

1. International Building Code Council (IBC), *2003 International Building Code (IBC2003)*, 2002, pp. 301-343.
2. 대한건축학회, *건축구조설계기준 (KBC2005)*, 2005, pp. 89-119.
3. BSSC, *NEHRP Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings and Other Structures, Part 2: Commentary (FEMA 303)*, 1997, pp. 362.
4. 김용석, 구조물-지반 상호작용과 지진해석, 한국지진공학회, 구미서관, 2005, pp. 105.
5. Dobry, R. et al., "New Site Coefficients and Site Classification System Used in Recent Building Seismic Code Provisions," *Earthquake Spectra*, Vol. 16, No. 1, Feb. 2000, pp. 41-67.
6. Shamsheer Prakash and Vijay K. Puri, *Foundations for Machines: Analysis and Design*, John Wiley and Sons, 1988, pp. 656.
7. Borcherdt, R.D., "Estimates of site-dependent response spectra for design (methodology and justification)," *Earthquake Spectra*, Vol. 10, 1994, pp. 617-653.