

마찰진자형 면진받침의 설계 및 해석절차 보완에 관한 연구

김현욱^{1*}, 주광호¹, 노상훈¹, 송종걸²
¹한국수력원자력 중앙연구원, ²강원대학교 토목공학과

A Study on Complement of the Design and Analysis Procedures of Friction Pendulum System

Hyun-Uk Kim^{1*}, Kwang-Ho Joo¹, Sang-Hoon Noh¹ and Jong-Keol Song²

¹Central Research Institute of KHNP

²Department of Civil Engineering, Kangwon National University

요약 마찰진자형 면진받침은 마찰면의 곡률반경과 중력에 의해 생성되는 고유 복원력과 마찰에 의한 감쇠력을 갖는다는 장점이 있지만, 마찰계수의 속도, 상재압 및 온도 등에 대한 의존성으로 거동에 대한 예측이 쉽지 않다. 본 연구에서는 각 기준에서 제시된 마찰진자형 받침의 설계 및 해석절차를 분석하여 추가적인 검토가 필요한 사항들에 대해 평가해 보았으며, 추가로 동일한 동특성을 갖는 납-고무 면진받침 시스템을 이용한 해석결과와 마찰진자형 면진받침 시스템의 해석결과를 비교하여 마찰진자형 면진받침이 갖는 상대적인 거동 특성을 비교 분석해 보았다.

Abstract Although friction pendulum system has various advantages it is difficult to estimate the behavior because of velocity, bearing pressure, and temperature dependent characteristics of coefficient of friction. This research focuses on evaluating the conservatism of each method used and the effects of bearing pressure on the behavior of the system by conducting comprehensive examination on design and analytic procedure of friction pendulum system, as is proposed in standard, code and literature. In addition, this study provides comparative analysis on general behavior characteristics of friction pendulum system by comparing the result with that of the analysis on lead rubber bearing which possesses the same dynamic properties.

Key Words : Coefficient of Friction, Friction Pendulum System, Nonlinear Analysis, Seismic Isolation

1. 서론

면진받침은 시스템의 고유주기를 장주기화하여 구조물의 가속도 응답을 저감시키는 장점이 있지만 동시에 큰 상대변위를 발생시키므로 에너지 소산에 의한 변위 제어 즉, 일부 제진기능을 포함하는 납-고무 면진받침(LRB, Lead Rubber Bearing) 혹은 마찰진자형 면진받침(FPS, Friction Pendulum System)이 교량, 병원 및 학교건물 등에 많이 이용되어져 왔다[1].

마찰진자형 면진받침은 마찰면의 곡률반경과 중력에 의해 생성되는 고유 복원력과 마찰에 의한 감쇠력을 갖

는다는 장점이 있지만, 마찰계수의 속도, 상재압 및 온도 등에 대한 의존성으로 거동 예측이 쉽지 않다는 단점이 있다. FEMA274[2] 및 Naeim and Kelly[3]의 저서에는 이러한 마찰진자형 면진받침의 특성에 대한 부분이 비교적 상세히 나타나 있으며, Naeim[4]의 저서에는 납-고무 면진받침에 대한 설계절차 및 비선형 해석 파라미터 산정 관련 내용과 마찰진자형 면진받침의 설계절차 및 선형 파라미터 산정관련 내용이 기술되어 있다. 본 연구에서는 기존 설계기준 및 해석절차를 분석하여 추가적인 검토가 필요한 두 항목 1) 선형 및 비선형 해석 적용시 응답의 보수성 확인, 2) 응답에 대한 상재압 영향을 평가해 보았

본 연구는 2011년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지기술연구원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구과제(NO2011151010010B)임.

*Corresponding Author : Hyun-Uk Kim(Central Research Institute of KHNP)

Tel: +82-42-870-5823 email: gomzee@khnp.co.kr

Received December 18, 2013

Revised January 8, 2014

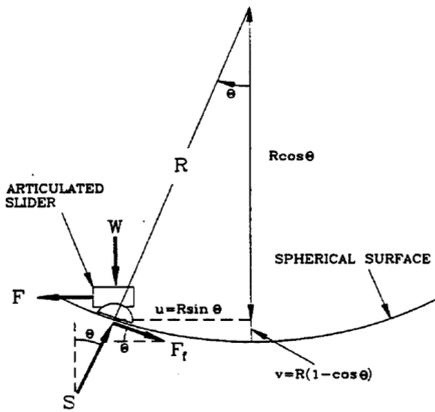
Accepted January 9, 2014

으며, 추가적으로 동일한 동특성을 갖는 납-고무 면진받침 시스템을 이용한 해석결과와 마찰진자형 면진받침 시스템의 해석결과를 비교하여 마찰진자형 면진받침이 갖는 상대적인 거동 특성을 비교 분석해 보았다.

2. 본론

2.1 마찰진자형 받침의 특성

마찰진자형 받침의 힘-변위 관계는 Fig. 1의 자유물체 도로부터 힘의 평형조건에 의해 구할 수 있다. 이때, 통상적인 수평변위 수용범위(곡률반경의 20 % 이하)와 곡률에 의한 충분히 작은 θ 값 그리고 마찰력의 방향성을 고려하면 식(1)과 같이 힘-변위관계를 정의할 수 있다[5,6]. 여기서, W 는 상부자중, R 은 곡률반경, u 는 수평변위 및 μ 는 마찰면의 마찰계수를 의미한다.



[Fig. 1] Free Body Diagram of FPS[6]

$$F = \frac{W}{R \cos \theta} u + \frac{\mu W}{\cos \theta} \approx \frac{W}{R} u + \mu W \operatorname{sgn}(\dot{u}) \quad (1)$$

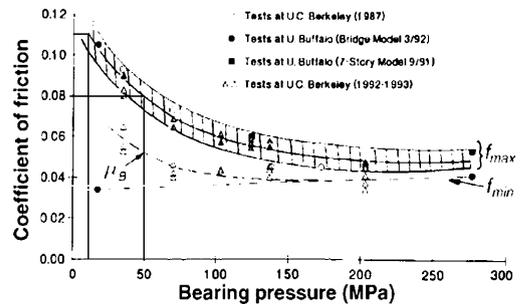
$$T = 2\pi \sqrt{\frac{W}{Kg}} = 2\pi \sqrt{\frac{R}{g}} \quad (2)$$

식(1)에서 $\frac{W}{R}u$ 항은 진자운동에 대한 복원력 즉, 수평강성을 의미하며 $\mu W \operatorname{sgn}(\dot{u})$ 항은 방향성을 고려한 마찰력의 기여도를 의미한다. 마찰진자형 받침의 상부구조물이 강체라고 가정하면 고유주기(T)는 식(1)의 첫 항에 제시된 수평강성을 이용하여 식(2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$F = \mu W = \mu m g \quad (3)$$

고전적인 마찰이론 즉, Coulomb 마찰이론에 의하면 식 (3)에 나타난 마찰계수(μ)는 운동속도 및 상재압과는 무관한 것으로 정의되나, 이는 실제 현상과 다르다. 여기서, μ 는 마찰계수, W 는 접촉면의 수직하중을 의미한다. 실제 마찰진자형 받침의 마찰계수는 운동속도 및 상재압 뿐만이 아니라 수직하중 유지시간, 온도 및 시편 크기 등에 영향을 받는 것으로 알려져 있다[7]. 마찰력은 크게 정지마찰계수(μ_B 또는 μ_S)에 의한 정지마찰력과 운동마찰계수에 의한 운동마찰력으로 분류되며 미소변형을 시작하기 위해 극복해야 하는 정지 마찰력은 일반적으로 운동마찰력보다 크다.

정지마찰력은 실제로 존재하는 개념이지만, 운동 마찰력이 지진시 유발되는 속도 조건하에서 훨씬 크므로 정지 마찰력이 면진 구조물의 거동에 큰 영향을 끼치지 않는 것으로 알려져 있다[7]. 운동마찰계수는 또한 운동 직후의 느린 속도에서의 저속 마찰계수(f_{min})와 일정 속도 이상으로 증가후 수렴하는 고속 마찰계수(f_{max})로 분류될 수 있는데 일반적으로 후자의 경우가 훨씬 크다[7]. FEMA274[2]에는 마찰 진자형 받침의 재료로 이용되는 PTFE 복합체와 Stainless Steel간의 마찰계수가 Fig. 2에 서와 같이 상재압 별로 제시되어 있다.



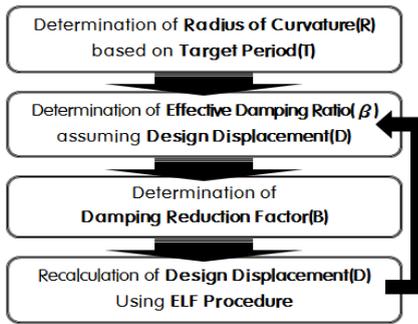
[Fig. 2] Coefficient of Friction at Fast & Low Velocities[2]

2.2 마찰진자형 받침의 설계

본 연구에서는 일반적인 지진 운동속도를 고려하여 고속 마찰계수(f_{max})를 이용한 속도 비의존성 이중선형 모델 파라미터를 정의하고 이를 이용한 비선형 시간이력해석을 수행하여 그 결과를 분석해 보았다. 먼저, 이중선형 모델의 근간이 되는 유효강성(K_{eff})은 식(4)에 의해 산정 가능하며 유효감쇠비(β_{eff})의 경우, FEMA274[2] 및

AASHTO 기준[8]에서는 식(6)과 같이 정의되나 Naeim[4]의 저서에는 식(5)와 같이 상이한 형태로 정의된다. 그러나 1사이클당 소산되는 에너지로 정의되는 $\sum E_D$ 는 기하학적 형상에 따라 μWD 의 4배로 산정될 수 있으며, 이를 고려하여 식(6)을 정리하면 식(5)와 동일한 형태가 된다는 것을 알 수 있다.

면진받침의 설계절차는 일반적으로 동일하다. 우선, 목표주기에 부합하는 곡률반경(R)을 식(2)를 통해 구하고 일정한(즉, 속도 비의존성) 마찰계수(μ)를 가정하여 식(5) 혹은 식(6)에 의해 유효감쇠비를 산정하게 되는데, 본 연구에서는 마찰계수를 지진시 유발되는 속도조건과 일반적인 상재압 조건(50 MPa 이내)에서의 고속 마찰계수 범위(0.08~0.11)를 고려하였고 평균값 0.095를 기준으로 설정하였다. 선형해석을 위한 감쇠계수는 4개의 FPS를 고려하여 식(7)과 같이 산정하였다. 여기서, C 는 감쇠계수, w 는 각진동수, m 은 질량을 각각 의미한다.



[Fig. 3] Design Procedure of FPS

$$K_{eff} = \frac{F}{D} = \frac{W}{R} + \frac{\mu W}{D} \quad (4)$$

$$\beta_{eff} = \frac{2}{\pi} \frac{\mu}{\mu + D/R} \quad (5)$$

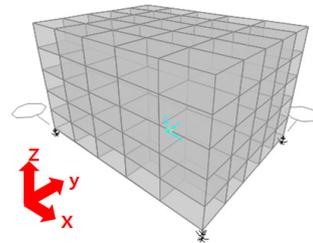
$$\beta_{eff} = \frac{1}{2\pi} \left[\frac{\sum E_D}{K_{eff} D^2} \right] \quad (6)$$

$$4C = 2\beta_{eff} \omega m = 2\beta_{eff} \sqrt{\frac{K_{eff} W}{g}} \quad (7)$$

다음으로 비선형해석에 이용되는 이중선형 모델은 반복계산을 통해 구하게 되는데 우선, 설계변위(D)를 임의의 초기값으로 가정한 다음 Fig. 3의 설계절차에 따라 유효감쇠비, 감쇠계수 등을 산정하였고 ASCE 7-10[9]의 ELF 절차로 계산되는 변위와 초기 가정 변위를 비교하여

그 차이가 충분히 작을 때를 수렴치로 보고 최종 산정된 모든 파라미터를 해석에 이용하였다. 1차강성(K_u)은 W/R 로 정의되는 2차 강성(K_d)과의 비율 100배[2,3]를 적용하여 산정하였다.

본 연구에서 선형 및 이중선형 면진받침 해석 파라미터는 Fig. 4에서와 같이 980 kN 증량의 가상의 직육면체 콘크리트 구조물이 총 4개의 FPS에 의해 지지되는 조건을 고려하여 산정하였다.



[Fig. 4] Analysis Model Supported by FPS

목표 고유주기는 진자운동을 기준으로 3 sec, 유효강성을 기준으로 2 sec가 되는데, 식(2)와 식(4)를 통하여 확인할 수 있듯이 진자운동에 의한 고유주기 산정시에는 마찰이 배제되기 때문에 이러한 차이가 발생된다. 구조물의 고유주기와 주요 모드분석을 위한 모드해석시 마찰이 고려된 유효강성이 이용되므로 고유주기는 진자운동에 의해서만 정의될 것이 아니라 마찰의 영향을 포함하여 식(4)에 의해 산정하는 것이 바람직할 것으로 판단된다. Table.1은 본 연구에서 기준이 되는 면진받침 특성으로 마찰계수 0.095 및 유효감쇠비 산정관련 식(5)를 이용하여 산정된 면진받침 1개에 대한 입력 파라미터이다.

[Table 1] Input Parameters for the Bi-linear Model ($T = 2 \text{ sec}$, $\mu = 0.095$)

T=2 sec	$\beta=34 \%$	Remark
K_{eff} (kN/m)	235	
C (kN*sec/m)	26	
D_y (mm)	2	
$F_y \approx Q_u$ (kN)	23	
K_d (kN/m)	109	
K_u (kN/m)	10,966	
K_v (kN/m)	∞	

2.3 동적해석 조건

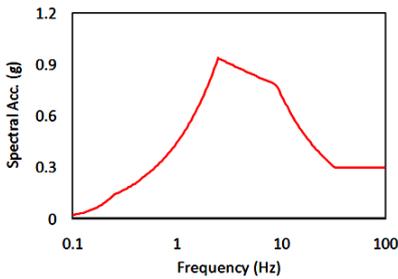
2.3.1 가진조건

동적해석에는 상용프로그램 SAP2000을 이용하였다.

해석에 이용된 면진시스템의 모드해석결과, 1, 2차 모드는 각각 y방향 및 x방향 병진으로 나타났다. 본 연구에서는 다방향 입력지진동의 상호작용을 배제하고 관심 변수에 의한 영향만을 고찰하기 위해 질량 참여율이 가장 높은 y방향 가진에 의해서만 해석을 수행하였다.

2.3.2 입력운동

동적해석에 이용된 입력운동은 ASCE 4[10] M6.5~7.0 강진지속시간을 이용한 복합형 포락함수[11]와 US NRC RG 1.60[12] 설계응답 스펙트럼에 부합하는 ZPA(Zero Period Acceleration) 0.3 g의 가속도 시간이력으로 발생 가능한 오차를 고려하여 총 5개를 생성하였다. 또한 장주기 성분의 발현이 충분하도록 총 지속시간은 28.8 sec로 하였고, 3.5 ms의 시간간격을 고려하여 고진동수 영역의 파형까지 충분히 포함될 수 있도록 하였다.



[Fig. 5] RG 1.60 Spectrum anchored at 0.3 g

2.4 동적해석 결과

2.4.1 선형 및 비선형해석 결과의 비교

선형 및 비선형해석의 비교를 위한 면진받침 특성은 Table 1과 같이 기준 마찰계수 0.095를 적용하여 산정하였다. 결과값은 면진받침 요소(비선형 링크 요소)와 상부 구조물이 연결되는 절점에서 산정하였는데, Table 2 에서와 같이 가속도 응답의 경우는 선형해석 결과가 비선형해석에 비해 최소 1.1배에서 최대 1.3배까지 큰 것으로 나타났고, 변위응답의 경우 최소 2.0배에서 최대 2.4배 큰 것으로 나타났다.

본 연구에서는 선형 동특성을 이용한 해석결과가 모든 경우에서 보수적인 것으로 나타났으나 이는 면진받침 특성 설계시 유효강성의 기준이 되는 기준(설계) 변위와 실제 발생하는 변위간의 대소관계에 따라 달라질 수 있는 부분이라 사료된다. 본 연구에서 고려된 FPS의 경우, 예비설계 단계에서 설계변위 산정시 마찰이 배제된 진자운동의 긴 주기가 고려되어 설계변위가 실제 발생 변위에 비해 지나치게 과대평가 되어 모든 경우에 있어 선형해

석 결과가 보수적으로 나타난 것이라 판단된다.

[Table 2] Displacement and Acceleration Responses of Linear and Nonlinear Analyses($\mu = 0.095$)

	Displ. (mm)		Acc. (g)		Remark
	Linear(①)	Nonlinear(②)	Linear(③)	Nonlinear(④)	
Case.1	130.0	63.9	0.140	0.122	* ①/② : 2.0~2.4
Case.2	131.5	55.8	0.148	0.120	
Case.3	135.0	63.4	0.160	0.123	* ③/④ : 1.1~1.3
Case.4	135.9	67.9	0.156	0.126	
Case.5	136.7	66.9	0.158	0.125	

2.4.2 상재압의 영향

마찰진자형 면진받침이 적용되는 일반적인 상재하중 조건에서 상재압은 약 50 MPa 이하로 이때의 고속마찰계수는 0.08~0.11 범위에 있다. 유효강성에 의한 고유주기 2 sec 및 마찰계수 상하한치(0.08, 0.11)를 고려한 면진받침의 이중선형 모델은 아래의 Table 3과 같다. 해석에 이용된 지진파는 선형 및 비선형해석 비교시와 마찬가지로 각 고유주기 경우별 5개의 지진파를 사용하였다.

[Table 3] Input Parameters for the Bi-linear Model (T=2 sec)

	$\mu = 0.08$ (⑤)	$\mu = 0.11$ (⑥)
β (%)	29	38
K_{eff} (kN/m)	235	
D_y (mm)	2	3
$F_y \approx Q_i$ (kN)	20	27
K_d (kN/m)	126	95
K_u (kN/m)	12,589	9,519
K_v (kN/m)	∞	

일반적인 상재압 범위(10~50 MPa)의 고속 마찰계수 0.08-0.11을 적용한 해석결과, 상재압 증가시 마찰계수 감소(⑥→⑤)로 인하여 변위는 1.7배 증가하였으나, 가속도는 오히려 0.87배 감소하였다.

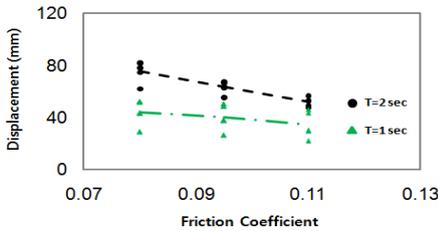
상재압 변화에 따른 영향을 추가적으로 검토해보기 위해 다른 고유주기 조건 1 sec에 대한 면진받침 해석 파라미터를 Table 4와 같이 마찰계수 0.08, 0.095 및 0.11 조건으로 산정하였다. 고유주기 1 sec에 대한 해석결과, 마찰계수 감소에 따라 변위는 1.5배 증가하여 그 경향성이 고유주기 2 sec에 대한 해석결과와 동일하였으나, 가속도에 있어서도 1.1배 증가하여 고유주기 2 sec에 대한 해석결과와는 상이한 경향을 보였다.

고유주기 1 sec 및 2 sec의 해석결과를 종합할 때, 상재압 증가에 따른 마찰계수 감소의 영향은 고유주기와

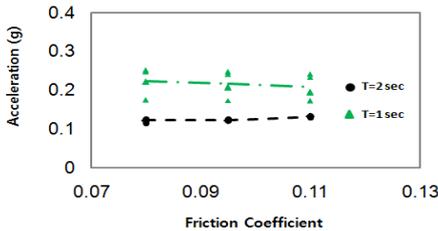
관계없이 변위 응답에 대해서는 뚜렷한 증가 추이를 보였으나, 가속도 응답에 있어서는 고유주기별로 상반되는 경향을 보이며 증감 추이 또한 명확하지 않으므로 가속도 응답에 대한 상재압의 영향은 미미한 것으로 판단된다.

[Table 4] Input Parameters for the Bi-linear Model (T=1 sec)

	$\mu = 0.08$	$\mu = 0.095$	$\mu = 0.11$
β (%)	14	17	20
K_{eff} (kN/m)	996		
D_y (mm)	0.3	0.3	0.4
$F_y \approx Q_d$ (kN)	20	23	27
K_d (kN/m)	779	733	685
K_u (kN/m)	77,982	73,347	68,539
K_v (kN/m)	∞		



(a) Friction Coefficient-Displacement Relationship



(b) Friction Coefficient-Acceleration Relationship

[Fig. 6] Comparison of Responses between Different Natural Periods of Seismic Isolation

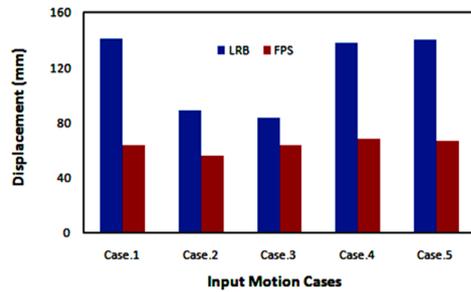
2.4.3 납-고무 면진받침과의 거동 비교

Table 1의 특성을 갖는 마찰진자형 받침과 동일한 동특성(즉, 고유주기 2 sec와 유효감쇠비 34 %)을 갖는 납-고무 면진받침을 ASCE 7[9], Naem[4] 및 김현욱[13]의 문헌에 제시된 절차에 따라 설계하여 동일한 가진 조건에서의 거동 차이를 비교 분석해 보았다. 설계절차는 크게 등가 수평하중법에 의한 예비설계와 동적해석에 의한 검증 및 상세설계의 두 단계로 나눌 수 있는데, 본 연구에서는 등가 수평하중법에 의한 면진받침 예비설계를 수행하여 Table 5와 같은 특성을 산정하였다.

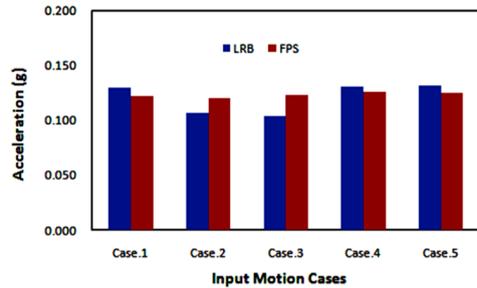
[Table 5] Input Parameters for the Bi-linear Model

T=2 sec	$\beta=34$ %	Remark
K_{eff} (kN/m)	235	
D_y (mm)	16	
F_y (kN)	18	
K_d (kN/m)	109	
K_u (kN/m)	1,093	
K_v (kN/m)	228,793	

고유주기 2 sec, 유효감쇠비 34 % 조건에 대한 납-고무 면진시스템 및 마찰진자형 면진시스템의 동적해석 결과, 변위응답의 경우는 LRB의 경우가 모든 입력운동 조건에서 보수적인 것으로 나타났으나, 가속도 응답의 경우 상호간의 대소 관계가 불분명했다.



(a) Comparison of Displacement Responses



(b) Comparison of Acceleration Responses

[Fig. 7] Comparison of Responses between LRB & FPS

목표 동특성에 있어 설계변위와는 독립적으로 비선형 해석 파라미터가 산정되는 FPS와는 달리 LRB는 Q_d 와 K_d 가 설계변위에 따라 좌우됨을 고려할 때, 비록 본 연구에서는 FPS의 변위가 상대적으로 큰 것으로 나타났지만 변위 대소관계는 설계변위에 의한 Q_d 와 K_d 변화에 따라 달라질 수 있으므로 LRB와 FPS의 비교에 앞서 LRB의 최적 설계변위 산정에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

3. 결론

본 연구에서는 각 기준에서 제시된 마찰진자형 받침의 설계 및 해석절차를 분석하여 검토 및 보완이 필요한 사항들을 고찰해 보았으며 주요 결론을 요약하면 다음과 같다.

- 1) 마찰진자형 받침의 고유주기는 마찰을 제외한 순수 진자운동에 의한 주기로 정의되나 이는 모드해석 결과 산정되는 1차모드 고유주기와 차이를 보인다. 따라서, 면진받침의 고유주기는 마찰을 포함하는 식(4)의 유효강성에 의해 정의되는 것이 바람직할 것으로 판단된다.
- 2) FPS의 경우, 선형해석 결과는 면진받침 특성 설계 시 유효강성 산정의 기준이 되는 설계변위와 실제 발생 변위간의 대소 관계에 따라 달라질 수 있다. 특히 예비설계 단계에서 설계변위 산정시 진자운동의 긴 주기가 고려되므로 대부분의 경우 비선형해석에 비해 보수적인 응답을 보일 수 있다.
- 3) 상재압 증가로 인한 마찰계수 감소가 면진구조 응답에 끼치는 영향을 분석해본 결과, 고유주기와 관계없이 변위 응답에 대해서는 뚜렷한 증가효과를 보였으나, 가속도 응답에 있어서는 그 영향이 미미한 것으로 나타났다.
- 4) 동일한 동특성(고유주기, 유효 감쇠비)을 갖는 LRB와 FPS의 응답 비교결과, 변위는 LRB가 더 크게 산정되었으나 가속도는 뚜렷한 경향을 보이지 않았다. 비선형해석 파라미터 결정이 설계변위와 무관한 FPS와는 달리 LRB는 Q_d 와 K_d 가 설계변위에 따라 좌우 된다. 비록 본 연구에서는 FPS의 변위가 상대적으로 큰 것으로 나타났지만 변위 대소관계는 설계변위에 따라 달라질 수 있으므로 동일 조건 LRB와 FPS의 비교에 앞서 최적의 설계변위 산정에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

References

- [1] Jinkoo Kim, Seismic Isolation and Control of Building Structure, pp. 85-89, Architecture Institute of Korea, v.48 n.8, Aug, 2004
- [2] Federal Emergency Management Agency, NEHRP Commentary on the Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings(FEMA 274) Ch. 9. Seismic Isolation and Energy Dissipation, 9-1~9-60, Oct, 1997
- [3] Farzad Naeim, James M. Kelly, Design of Seismic

Isolated Structures, pp. 1-117, John Wiley & Sons, 1999.

DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/9780470172742>

- [4] Ronald L. Mayes, Fazard Naeim, The Seismic Design Handbook 2nd Edition Ch.14 Design of Structures with Seismic Isolation, pp. 725-755, Kluwer Academic Publishers, 2001
- [5] Daekon Kim, Woobyum Kim, Yongpyo Suh, Deasik Moon, Jongyup Kim, "Seismic Performance Evaluation for MCR of Nuclear Power Plant Isolated by FPS", Proceedings of EESK Conference, Earthquake Engineering Society of Korea, 453-460, 2003
- [6] Kyungjin Lee, Kapsun Kim, Yongpyo Suh, "Dynamic Property Evaluation of Friction Pendulum Isolation Bearing", Proceedings of EESK Conference, Earthquake Engineering Society of Korea, 465-472, 2003
- [7] Constantinou, M. C., Whittaker, A. S., Kalpakidis, Y., Fenz, D. M., Warn, G. P., Performance of Seismic Isolation Hardware under Service and Seismic Loading, MCEER-07-0012, Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research, State Univ. of New York, Buffalo, NY., 2007
- [8] American Association of State Highway and Transportation Officials, Guide Specification for Seismic Isolation Design, AASHTO, Washington, D.C., 2010
- [9] American Society of Civil Engineers, ASCE 7-10; Minimum Design Loads for Buildings and other Structures, ASCE, Reston, 2010
- [10] American Society of Civil Engineers, ASCE 4-98; Seismic Analysis of Safety-Related Nuclear Structures and Commentary, ASCE, 1999
DOI: <http://dx.doi.org/10.1061/9780784404331>
- [11] Hyunuk Kim, Kwangho Joo, Sanghoon Noh, Changgyun Jung, "Behavior Analysis of a Seismically Isolated NPP Structure by Varying Seismic Input Generation Method and Strong Ground Motion Duration" Journal of the Earthquake Engineering Society of Korea, 29-36, v.17(4), July, 2013
DOI: <http://dx.doi.org/10.5000/EESK.2013.17.4.187>
- [12] US NRC, Regulatory Guide 1.60 - Design Response Spectra for Seismic Design of Nuclear Power Plants, 1973
- [13] Hyunuk Kim, "Evaluation of the Applicability of Existing Design Formula for Seismic Isolation to Nuclear Power Plants", Journal of the Earthquake Engineering Society of Korea, v.16(6), Dec, 2012
DOI: <http://dx.doi.org/10.5000/EESK.2012.16.6.029>

김 현 옥(Hyun-Uk Kim)

[정회원]



- 2008년 2월 : 서울대학교 공과대학원 건설환경공학부 (지반공학 석사)
- 2010년 5월 : 유신코퍼레이션 지반공학부 사원
- 2010년 5월 ~ 현재 : 한국수력원자력 중앙연구원 연구원

<관심분야>

토목 내진, 면진 및 지반공학

송 종 걸(Jong-Keol Song)

[정회원]



- 1997년 2월 : 한국과학기술원 공과대학 토목공학과(구조공학박사)
- 2002년 2월 : 삼성물산 건설부문 기술연구소 선임연구원
- 2002년 3월 ~ 현재 : 강원대학교 토목공학과 교수
- 2009년 4월 ~ 현재 : 한국지진공학회 이사

<관심분야>

토목 내진, 면진 및 구조공학

주 광 호(Kwang-Ho Joo)

[정회원]



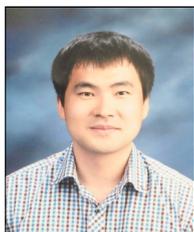
- 1988년 2월 : 부산대학교 공과대학원 토목공학과 (구조공학석사)
- 1996년 3월 : 한국전력공사 전력연구원 선임연구원
- 2002년 1월 : 한국수력원자력 중앙연구원 선임연구원
- 2012년 3월 ~ 현재 : 한국수력원자력 중앙연구원 책임연구원

<관심분야>

토목 내진, 면진 및 구조공학

노 상 훈(Sang-Hoon Noh)

[정회원]



- 2002년 2월 : 한국과학기술원 공과대학 건설 및 환경공학과(구조공학석사)
- 2005년 10월 : 한국도로공사 현장감독
- 2010년 1월 : 한국수력원자력 중앙연구원 연구원
- 2010년 1월 ~ 현재 : 한국수력원자력 중앙연구원 선임연구원

<관심분야>

토목 내진, 면진 및 구조공학