

면진용 고강도 콘크리트 구의 활열강도 특성에 관한 연구 A Study on the Split Strength Characteristics of High Strength Concrete Sphere for Seismic Isolation

김동백^{a,*}, 김인배^{a,1}, 김명곤^{a,2}, 박봉관^{a,3}

Dong-Baek Kim^{a,*}, In-Bae Kim^{a,1}, Myung Gon Kim^{a,2}, Bong-Gwan Park^{a,3}

^a Dep. of Civil, Safety & Environment Eng., Hankyong National University, 327, Jungang-Ro, An Seong, Kyeong Ki, 17579, Korea

ABSTRACT

Purpose: Nowadays, it is the trend that seismic isolation method and combined method are used for seismic retrofitting, if concrete sphere foundation(CSF) system is applied to mid and low rise RC structure for the seismic isolation, the characteristics of concrete sphere, etc split tensile strength will be need.

Method: The various experiments are carried out to know the split strength of high strength concrete sphere(60Mpa) and the ratio of split strength of concrete sphere to standard cylinder specimen, the size effect of concrete sphere with diameter.

Results: It was purposed that the split strength of concrete sphere with diameter 150mm will be lower than that of cylinder specimen but, the average value is 4.39 Mpa and the ratio is higher than that of cylinder specimens, each 3.8% and 13.7%, the reason of this result is thought that the internal stress action of spot load and line load are different.

Conclusion: There is a standard method for split tensile strength of cylinder type specimen, but there are few studies for the tensile split of concrete sphere. And therefore, in this study, theoretical and experimental details of concrete sphere will be served for the concrete sphere foundation or other sequent studies.

KEYWORDS

Seismic isolation,
Seismic
performance,
Mid and low rise
-RC structure
Concrete sphere -
foundation (CSF),
Split strength,
Spot load,
Line load

연구목적: 최근에는 지진에 대한 안정성을 위해 면진 또는 면진과 내진을 병용하는 추세로 가고 있는데, 신축할 중·저층 RC 구조물에 콘크리트 구 기초(CSF)를 설치하는 형태의 시스템을 사용할 때 기초로 사용할 콘크리트 구의 활열특성을 파악하고자 한다.

연구방법: 압축강도 60Mpa인 고강도 콘크리트 구의 활열강도를 알기 위하여 다양한 실험을 수행하고, 표준 실린더 공시체의 활열강도에 대한 구 공시체의 활열강도 비 및 구의 직경변화에 따른 치수효과 등을 실험적으로 구하고자 한다.

연구결과: 150mm 구 공시체의 활열강도는 150mm×150mm, 150mm×300mm의 원주형 공시체보다 작을 것으로 예상했으나, 실험결과는 각각 3.8%, 13.7% 큰 4.39Mpa로 나타났는데 이는 구 공시체의 점하중과 원주형 공시체의 선하중에 대한 내력작용이 다르기 때문이라 판단된다.

결론: 원주형 공시체에 대한 활열 인장강도는 많은 연구가 진행되어 표준화된 방법이 있으나, 구 공시체의 활열강도에 대한 연구는 보고된 바가 거의 전무하여 본 연구에서는 직경 50mm~150mm의 활열강도 특성을 파악하고, 그 방법을 확립하여 콘크리트 구의 활열강도 및 관련 연구에 대한 기본 자료를 제공하고자 한다.

면진,
내진 성능,
중·저층 RC 구조물,
콘크리트 구 기초
-(CSF)
활열강도,
점하중,
선하중

© 2018 Society of Disaster Information All rights reserved

* Corresponding author. Tel. 82-10-2355-5143. Email. dbkim@hknu.ac.kr

1 Tel. 82-10-4633-1628. Email. immgum@hknu.ac.kr

2 Tel. 82-10-5350-3054. Email. kmg3054@hanmail.net

3 Tel. 82-10-4357-6883. Email. bonggwan@hanmail.net

1976-2208 © 2018 Society of Disaster Information All rights reserved.

<http://dx.doi.org/10.15683/kosdi.2018.12.31.466>

ARTICLE HISTORY

Received Nov. 26, 2018

Revised Nov. 30, 2018

Accepted Dec. 26, 2018

1. 서론

최근 국내에서 발생한 지진의 사례로 볼 때 규모 6.0정도의 지진은 언제든지 발생할 수 있다는 것을 알 수 있으며, 내진성능이 없는 기존의 중·저층 RC 구조물이나 새로 신축할 구조물에 내진성능을 향상시키는 것은 필수적이라 할 수 있다. 2015년에서 2017년 사이에 발생한 경주, 울산, 포항의 피해도 주로 내진성능이 없는 중·저층 RC 구조물에 집중되었으며, 이에 따라 2018년부터 신축되는 2층 이상의 모든 구조물에는 내진설계를 의무화하고 있다. 지금까지 연구된 구조물의 내진성능 향상방법은 구조물의 강도와 연성을 키우는 방법이 주를 이루고 있으나(Wu. B., Zhang et al., 2005), 최근에는 구조물에 작용하는 지진력(수평력)을 직접 감소시키는 면진 및 제진의 개념을 도입하는 연구 경향이 있다. 본 연구에서는 신축할 중·저층 RC 구조물에 고강도의 콘크리트 구 기초와(Concrete Sphere Foundation, CSF) 임의의 댐퍼를 설치하는 형태의 시스템을 고안하여 제진 또는 면진능력을 부여하고자 할 때(Fig. 1.), 구조물의 하중을 모두 지지하는 콘크리트 구의 활열강도 및 역학적 특성을 파악하고 관련된 연구에 대한 역학적 근거를 제공하고자 한다.

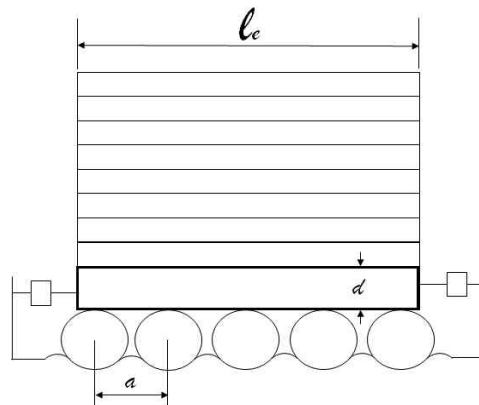


Fig. 1. Basic Concept of CSF

2. 콘크리트 구 기초(CSF)의 기본개념

콘크리트 바닥 기초 위에 콘크리트 구가 놓이고 상부에 구조물의 하부 기초 슬래브가 축조된다고 할 때, 콘크리트 구 위 상부 슬래브 기초의 길이를 l_e , 기초의 유효높이를 d , 구의 중심간 거리를 a 라 하면, 구의 중심간 거리 a 는 하중을 받는 철근콘크리트 보의 전단지간(Shear Span)에 해당한다(Fig. 1) (Gu Mi Seo Gwan, Hyeong Seol Book Company, 2015). 콘크리트 구 위 상부 슬래브 기초가 파괴될 때는 깊은 보(Deep Beam) 형태의 전단 압축파괴 또는 전단파괴를 일으켜야 하므로, 이 기초가 전단 압축파괴 또는 전단파괴를 유발할 조건은 $a/d \leq 1.5$ 즉, $a \leq 1.5d$ 의 조건을 만족해야 하며, 기초에 필요한 콘크리트 구의 개수는 $N \geq \frac{l_e}{1.5d}$ 를 만족하면 된다. 구조물의 자중 과 활하중을 조합한 총 설계하중을 P_d 라하고, 콘크리트 구 1개의 활열강도를 f_t , 구 1개의 활열 단면적을 A_t 라 하면 콘크리트 구 1개가 지지할 수 있는 하중(P_{t1})은 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$P_{t1} = A_t \times f_t \quad (1)$$

N개의 콘크리트 구가 지지할 수 있는 하중(P_{tn})은

$$P_{tn} = N \times A_t \times f_t \quad (2)$$

따라서 $P_d < P_{tn}$ 가 되도록 콘크리트 구의 개수를 조정하면 면진용 고강도 콘크리트 구 기초 (CSF)는 이론상 완성된다.

3. 연구내용 및 방법

본 연구의 내용과 방법은 중·저층 RC 구조물을 신축할 때, 하부기초와 구조물의 하부 사이에 콘크리트 구를 넣은 형태의 기초(CSF)를 만들어서 수평력을 소산시키고, 구조물의 양단에 댐퍼를 설치하여 수평력 또는 지진력을 점차로 소산시키는 시스템을 구축하며, 이때 기초에 사용할 콘크리트 구의 역학적 특성과 할열강도를 실험적으로 구하고자 함이다. 고강도 콘크리트 구의 할열강도를 알기 위하여 표준 실린더 공시체의 압축강도에 대한 구 공시체의 할열강도 및 표준 할열강도와의 비교 및 구의 직경변화에 따른 치수효과 등을 실험적으로 구하고자 한다. 콘크리트의 강도는 고강도인 60Mpa으로 설계하였으며, 28일 강도 및 할열강도 측정용 150mm×300mm의 표준 공시체 10개, 구의 최대 실험직경과 같은 실린더 공시체의 할열강도 측정용 150mm×150mm 공시체 10개를 제작하며, 구 공시체는 직경을 50mm, 75mm, 90mm, 100mm, 125mm, 150mm로 하고 각 공시체의 개수는 10개씩 총 60개를 제작한다. 150mm×300mm 공시체의 압축강도 및 할열강도, 150mm×150mm 공시체의 압축강도 및 할열강도, 구공시체의 직경별 할열강도를 측정하여 그 결과를 검토하고 구 공시체의 치수효과를 파악한 후 그 결과를 콘크리트 구 기초(CSF)의 제작 시 적용하고자 한다.

4. 콘크리트 구의 할열강도 측정방법

원주형 콘크리트 공시체에 대한 할열강도는 이론적으로 표준화되어 교재에 수록된 방법으로 구할 수 있으나(Dong Myeong Sa, 2018), 구형 콘크리트 공시체의 할열강도에 대한 연구결과는 발표된 바가 거의 없는 실정이다. 그러나 원주형 콘크리트 공시체에 대한 할열강도의 계산방법과 유사하게 생각하면 구 공시체의 할열단면적(A_t)은 $\pi D^2/4$ 로 계산할 수 있으나, 원주형 공시체는 선하중이고, 구형 공시체는 점하중이므로 내력의 작용이 다를 것으로 판단되어 식(3), (4), (5)와 같은 방법을 제안하고자 한다. 공시체의 길이(l)는 직경(D)와 같으므로, 공시체의 단면적(A_c) 및 짙은색 부분의 면적(A_d)은 계산하면 다음과 같다.

$$A_c = \pi D \times D = \pi D^2, \quad A_d = D^2 - \frac{\pi D^2}{4} \tag{3}$$

원주형 공시체의 할열강도 계산과 동일한 개념으로 생각하면(Fig. 2.), 실제 하중을 받는 구 공시체의 할열 단면적(A_t)은 다음과 같이 계산식을 제안할 수 있다.

$$A_t = A_c - A_d = \pi D^2 - (D^2 - \frac{\pi D^2}{4}) = D^2(\frac{5}{4}\pi - 1) \tag{4}$$

그러므로 구형 공시체의 할열강도(f_t)는 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$\therefore f_t = \frac{2P}{D^2(\frac{5}{4}\pi - 1)} \tag{5}$$

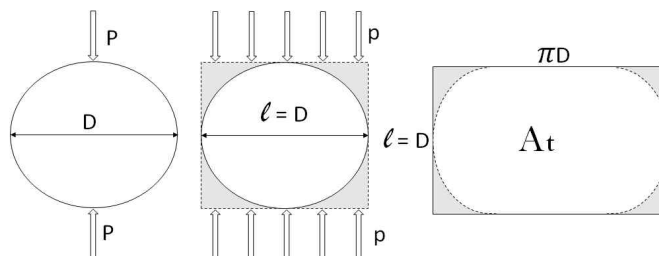


Fig. 2. Split Tensile Strength of Sphere Specimen

5. 시험체의 제작

5.1 배합설계

시멘트는 1종 보통 포틀랜드 시멘트, 잔골재는 조립률 2.68의 해사를 사용하였으며, 굵은 골재는 최대치수 20mm의 쇄석을 사용하였다. 잔골재는 염분제거를 위해 1년 이상 야적한 것을 다시 세척 하였으며, 굵은 골재는 쇄석의 표면에 존재하는 미분말을 제거하기 위해 세척을 하였다. 잔골재 및 굵은 골재는 세척 후 표면건조 포화상태를 유지하도록 건조한 후 보관하였다. 사용한 혼화재료는 고성능 AE 감수제는 폴리카보산 계의 Non-AE타입을, AE제는 음이온 계면활성제, 플라이 애쉬는 화력발전소에서 채취한 것을 사용했다. 배합은 보통 포틀랜드 시멘트(OPC)를 사용하여 고강도인 압축강도 60Mpa를 기준으로 설계하였으며, W/B가 35%이므로 워커빌리티 확보를 위해 감수제는 결합재(시멘트 등)의 1%를 혼합했다(Table 1.).

Table 1 Mix. Table for 60Mpa of f28

design Strength (Mpa)	Slump Flow (mm)	W/C (%)	S/a (%)	Ingredients (kg)				Admixture(g)	
				W	C	S	G	Water reducing agent	fly ash
60	600	35	46.2	165	470	809	942	470	4,700

5.2 시편의 제작

굳지 않은 콘크리트의 물성을 평가하기 위하여 공기량, 슬럼프 및 슬럼프 플로우시험을 각각 실시하였다. 목표 공기량은 $1.5 \pm 0.5\%$ 로 설정하고 혼화제를 사용하여 공기량을 제어하였으며, 공기량은 KS의 굳지 않은 콘크리트의 압력법에 의한 공기 함유량 시험방법에 의하여 측정하였다. 목표 슬럼프 플로우는 W/C를 35%로 하여 $600 \pm 80\text{mm}$ 로 설정하였으며, 혼화제는 시험배합을 하여 투입량을 조절하였다. 슬럼프 플로우 값의 측정은 무너진 비빈 콘크리트의 최대 지름과 직교하 두 지점의 지름을 측정하여 평균값으로 하였다(KS F 2423, 2015). 각 종류별 공시체의 제작은 다음과 같이 진행하였다. 28일 강도를 측정하기 위한 $150\text{mm} \times 300\text{mm}$, $150\text{mm} \times 150\text{mm}$ 의 표준공시체는 각 10개씩 총 20, 할열 인장강도 측정을 위한 공시체는 $150\text{mm} \times 300\text{mm}$, $150\text{mm} \times 150\text{mm}$ 로 각 10개씩 총 20개를 제작하여 콘크리트의 강도시험용 공시체 양생방법인 KS F2403에 따라 20°C의 수조에서 수중양생을 실시하였으며, 구 공시체도 직경 50mm, 75mm, 90mm, 100mm, 125mm, 150mm의 6종류에 대하여 각각 10개씩 60개를 제작하여 20°C의 수조에서 수중 양생을 실시하였는데, 제작한 각 시험체를 종류별로 정리하면 (Table 2.)와 같다.

Table 2. Types of Specimen

Kinds of Specimen	Cylinder Specimen		Sphere Specimen	
	Dimension(mm)	Numbers	Dimension(mm)	Numbers
Strength of 28 days(f28)	150×300	10		
	150×150	10		
	150×300	10		
	150×150	10		
Tensile Strength			50	10
			75	10
			90	10
			100	10
			125	10
			150	10
Total Numbers		40		60

6. 강도측정 시험

모든 공시체는 20±3℃의 수조에서 표준 수중양생을 실시하였고, 압축강도 및 활열강도는 KS F의 시험방법에 따라 수행하였으며(KS F 2405, 2010), 이때의 강도는 각각 다음 식(6), (7), (8)과 같이 계산한다(Fig. 3).

$$f_c = \frac{P}{A_c} = \frac{P}{\frac{\pi D^2}{4}} \tag{6}$$

$$f_t = \frac{2P}{A_t} = \frac{2P}{\pi D l} \tag{7}$$

$$f_t = \frac{2p}{A_t} = \frac{2P}{D^2 \left(\frac{5}{4} \pi - 1 \right)} \tag{8}$$



(a) Cylinder Specimen (b) Crack Propagation (c) Sphere Specimens (d) Crack Propagation
 Fig. 3. Split Test and Crack Propagation of Specimens

7. 실험결과의 분석 및 고찰

2종류의 원주형 공시체의 28일 강도, 활열강도를 측정된 결과, 150mm × 150mm 공시체의 강도는 150mm × 300mm 공시체보다 약 15.6% 크게 나타났으며, 이는 28일 강도가 40Mpa 이하인 경우의 약 6.8%(1/13)에 비해 다소 높게 나타났다. 활열강도는 28일 강도가 60Mpa 정도일 때 약 7.7%인 4.20Mpa라고 발표되었으나(Y. G. Jin, 2002, D. B. Kim, Kim et al, 2017), 평균 6.3%인 3.86Mpa로 약간 낮게 나타났는데, 이러한 실험결과는 고강도 콘크리트의 크기효과에 기인한다고 판단되며(Yang Seo Gak, 2014) 이를 정리하면 (Table 3.)와 같다.

Table 3. Strength of Two Type Cylinder Specimens

class specimen	Max. Axial Load (N)		f28 Mpa		Max. Tensile Load (N)		Split Area, At (mm2)		Split Stegth, ft (Mpa)	
	150×150	150×300	150×150	150×300	150×150	150×300	150×150	150×300	150×150	150×300
1	1,301,726	1,001,463	73.7	56.6	149,778	274,122	70,650	141,300	4.24	3.88
2	1,198,342	1,311,382	67.8	74.2	171,045	243,119	70,650	141,300	4.84	3.44
3	1,232,842	956,893	69.8	54.1	149,018	298,849	70,650	141,300	4.21	4.22
4	1,211,169	1,132,465	68.5	64.4	121,426	250,361	70,650	141,300	3.43	3.54
5	1,308,791	1,029,723	74.0	58.2	161,213	278,361	70,650	141,300	4.56	3.94
6	1,224,974	1,007,916	69.3	57.0	110,371	265,776	70,650	141,300	3.12	3.76
7	1,008,673	1,016,243	57.1	57.5	183,886	283,306	70,650	141,300	5.21	4.01
8	1,007,172	933,334	57.0	52.8	122,308	280,334	70,650	141,300	3.46	3.96
9	1,255,803	1,063,282	71.0	60.1	161,975	286,132	70,650	141,300	4.58	4.04
10	1,200,677	887,392	67.9	50.2	164,916	270,412	70,650	141,300	4.66	3.82
Average	1,195,017	1,034,009	67.61	58.51	149,594	273,077	70,650	141,300	4.23	3.86

원주형 공시체는 선하중이고 구공시체는 점하중이며, 구 공시체의 활열 단면적(A_t)은 원주형 공시체의 약 46.6%이므로 최대하중이 원주형 공시체에 비해 매우 낮으리라 예상했으나, 직경 150mm 구 공시체의 최대하중은 150mm×150mm 원주형 공시체의 약 96.5%이며, 150mm×300mm 공시체의 52.9%로 나타났다. 또한, 콘크리트 구 공시체의 활열 단면적(A_t) 및 활열강도(f_t)는 식(5), 식(8)에 의해 계산했으며 직경 별로 계산하여 본 결과, 직경 150mm 구 공시체의 활열강도는 150mm×150mm, 150mm×300mm 원주형 공시체의 활열강도에 비하여 오히려 약간 증가한 평균 4.39Mpa로 나타났으며, 크기효과(Size Effect)는 최대 9.6%로 KS 기준에 의해 측정된 값으로 환산한 경우보다 크게 나타났다 (Table 3, Table 4). 이러한 구 공시체의 최대 활열하중, 활열강도와 크기효과를 정리하면 (Table 4.)와 같이 나타낼 수 있다.

Table 4. Split Strength and Size effect of Sphere Specimens

Times Dia (mm)	Max. Load(N)										average			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Max.Load (N)	At (mm2)	ft (Mpa)	size effect
50	17577	14498	18249	15161	17322	19305	18582	18034	18381	18761	17,587	7,313	4.81	1.096
75	40958	41025	33163	40815	37989	43116	40343	38747	30814	44612	39,158	16,453	4.76	1.084
90	54258	50615	60341	55289	49737	45988	61514	55338	56128	53356	54,256	23,693	4.58	1.043
100	59834	58761	71323	67151	69690	70817	64048	68993	67275	69022	66,691	29,250	4.56	1.039
125	99731	92874	89920	121225	80236	98125	103989	122735	113522	96812	101,917	45,703	4.46	1.016
150	154691	151338	100914	98923	162335	154226	161347	152393	164027	144392	144,459	65,813	4.39	1.000

8. 구조물에 적용한 해석 예제

(Fig. 4)와 같이 길이 30m, 폭 15m의 기초위에 층간 고 3m의 3층 구조물을 예제로 선택하고, 기둥의 제원은 50cm×50cm, Girder의 제원은 30cm×45cm, 각 층 슬래브의 두께는 35cm, 상부 기초 슬래브의 두께는 45cm로 한다. 콘크리트의 단위 중량(W_c)은 배합표로부터 계산하면 약 2,400kg/m³이며 활하중은 자중의 80% 가정한다. 식(1), (2)를 이용하여 구의 직경 별 콘크리트 소요 콘크리트 구의 개수를 계산하고 그 결과를 콘크리트 구 기초(CSF)에 적용하고 정리하면 (Table 5.)와 같다. 구의 개수가 적으면 구의 개수가 지나치게 많이 필요하며, 구의 직경이 크게 되면 소요되는 구의 개수는 적으나 전단지간(shear span)이 기준을 만족하지 않아 결국은 구의 수요가 늘어나게 됨에 따라 과다설계가 된다. 결과를 종합적으로 살펴볼 때, 예제 구조물의 경우는 직경이 90~100mm 정도의 구가 적합하다고 판단되지만, 콘크리트 구의 직경선택에 대한 결과의 예측은 구조물의 규모에 따라 바뀔 수 있다.

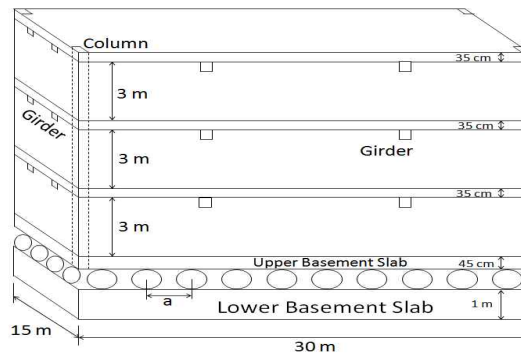


Fig. 4. Dimensions of Exercise Structure

Table 5. Applied Results of CSF to Structure

Diameter (mm)	Times	Load of Structure (kN)	Max. Supporting Load of Sphere (kN)	Shear Span(mm)		Numbers of Sphere	
				Calculated Value	Amended Value	Calculated Value	Amended Value
50		2,728	2,731	114	114	264	264
75		2,728	2,747	244	244	124	124
90		2,728	2,755	345	345	88	88
100		2,728	2,741	422	422	72	72
125		2,728	2,763	653	650	47	47
150		2,728	3,918	910	650	33	47

9. 결론

본 연구에서 중·저층의 RC 구조물의 제진 또는 면진을 위한 고강도 콘크리트 구 기초(CSF)에 이용할 콘크리트 구의 활열강도 특성에 대한 연구 및 저층 구조물에 적용한 예를 통해 파악한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 구 공시체의 활열 단면적을 예측할 수 있는 이론적 수식을 제안하고 이를 근거로 활열강도를 계산하였다.
- (2) 150mm 구 공시체의 활열강도는 150mm×150mm, 150mm×300mm의 원주형 공시체 보다 작을 것으로 예상했으나, 실험결과는 각각 3.8%, 13.7% 큰 4.39Mpa로 나타났는데 이는 구 공시체의 접하중과 원주형 공시체의 선하중에 대한 내력작용이 다르기 때문이라 판단된다.
- (2) 150mm×150mm 원주형 공시체에 대한 구 공시체의 활열 단면적은 93.1%이고, 최대 활열 파괴하중은 약 12.1%이며, 150mm×300mm 원주형 공시체에 대한 구 공시체의 활열 단면적은 46.6%이고, 최대 활열 파괴하중은 약 14%이다. 또한, 활열 단면적이 작으면 활열강도가 증가하는 경향이 있다.
- (3) 고강도 콘크리트의 구 공시체의 활열강도에는 KS기준 보다는 큰 size effect가 존재한다.
- (4) 예제의 경우에 한해서 살펴보면, 저층 RC 구조물의 CSF에 적용한 고강도 콘크리트 구의 직경은 90mm~100mm가 적당한 것으로 나타났다.
- (5) 규모가 큰 구조물의 CSF에 고강도 콘크리트 구를 적용하기 위해서는 직경이 150mm이상인 콘크리트 구의 활열 특성 및 볼의 개수, 전단 시간 등에 대한 추가적인 연구가 필요하다고 사료된다.

감사의 글

이 논문은 2018년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업 (No. 2018R1D1A1B07047803)이며 이에 감사드립니다.

References

- [1] Wu. B., Zhang, J. Williamns, and OU. J. " Hysteretic Behaviour of Improved Pall-typed Frictional Dampers", Engineering Structures 27, pp.1258~1267, 2005
- [2] Dong Myeong Sa, "Reinforced Concrete", pp. 147~149, 2018
- [3] Gu Mi Seo Gwan, "Materials of Civil Engineering", pp. 119~121, 2015
- [4] Hyeong Seol Book Company, "Materials of Civil Engineering", pp. 451~458, 2015
- [5] KS F 2403, "Moulding Method for Test Specimen of Concrete Strength", 2010
- [6] KS F 2405, "Testing Method for Compressive Strength of Concrete", 2010

- [7] KS F 2423, "Testing Method for Tensile Strength of Concrete", 2010
- [8] Y. G. Jin, "An Experimental Study on the Relationship between the Compressive Strength of High Strength Concrete and High Strength Concrete", Journal of Architectural Institute of Korea, Vol.2 No.2, pp. 129~134, 2002
- [9] D. B. Kim, Kim Myung Gon, Song Dae Geom , "An Experimental Study on the Size and Length Effect of High Strength Concrete Specimens", Journal of the Korean Society of Disaster Information, pp. 366~375, 2017
- [10] Yang Seo Gak, "Reinforced Concrete", pp. 366~375, 2014