기존 철근콘크리트 건물과 내진보강요소의 접합부 충진을 위한 뿔칠형 섬유보강 시멘트 복합체(SHCC)의 개발

Development of Sprayable Strain-Hardening Cement Composite(SHCC) for Joint between Existing R/C Building and Seismic Retrofit Elements

김 성 호*	윤 길 호**	김 용 철***
Kim, Sung-Ho	Youn, Gil-Ho	Kim, Yong-Cheol
김 재 환****	윤 현 도*****	
Kim, Jae-Hwan	Yun, Hyun-Do	

Abstract

The goals of this study are to develop a sprayable strain-hardening cement composite (SHCC) and to investigate the potential of the sprayable SHCC for packing the joint between existing R/C building and seismic retrofit elements. This paper provides the procedure for the development of a sprayable SHCC, test results of fresh properties required to a sprayable SHCC, and mock-up test results of developed sprayable SHCC. Control mixture of polyvinyl alcohol (PVA) fiber-reinforced SHCC (PVA-SHCC) was predetermined based on available research results. The pumpability and sprayability of the SHCC mixture were depended on the fluid property of fresh SHCC mixture. In this study, the effects of admixtures such as AE agent and fly ash on the rheological and rebound properties of control SHCC mixture were investigated to determine a sprayable SHCC mixture. Flow values and air content during shotcreting procedure of sprayable SHCC were also evaluated. The results show that flow or flowability and amount of air of three SHCC mixtures decreased almost linearly according to shotcreting procedure from mixer to nozzle. And the pumpability and sprayability of mixture with AE agent and low amounts of fly ash were superior to the those of SHCC. Mock-up test result show that developed sprayable SHCC indicates much improved workability and shotcrete construction period than conventional method(nonshrinkage mortar).

키워드 : 변형경화형 시멘트 복합체, 뿔칠형 SHCC, 내진보강, 접합부

Keywords : Strain-hardening cement-composites(SHCC), Sprayable SHCC, Seismic retrofit, Joint

1. 서론

* 정회원, 충남대 건축공학과 석사과정

** 정회원, 계룡건설(주) 건축본부장, 충남대 박사수료

*** 정회원, ㈜동양구조엔지니어링대표, 공학박사, 건축구조기술사

**** 정회원, 정회원, (주)AMS 엔지니어링 대표이사, 공학박사

***** 정회원, 충남대 건축공학과 교수, 공학박사, 건축구조기술사
교신저자 (wiseroad@cnu.ac.kr)

본 연구는 2012년 교육과학기술부와 한국연구재단의 지역혁신
인력양성사업(NRF-2012-0351)으로 수행된 연구결과의 일부이고,
이 연구에 참여한 일부 연구자는 2단계 BK21 사업의 지원비를 받
았으며 연구에 자문을 준 (주)트라이포드의 길배수 외 8명에게 감
사드립니다.

1.1 연구의 배경

최근 일본 동북부에서 발생한 대규모 지진 등 세계각지
에서 규모 6.0이상의 강진이 빈번하게 발생하고 있으며 그
에 의한 피해가 보고되고 있다. 기상청에서 발표한 자료에
의하면 국내에서도 규모 3이상의 지진이 연평균 8회 이상
발생하고 있으며, 지진발생회수도 연평균 27회로 매년 증
가적인 추세를 보이고 있다.¹⁾ 지진발생 빈도가 높아짐에
따라 국내에서도 지진피해가 발생할 가능성이 대두되고

1) 기상청에서는 1980년 이후부터 지진발생회수가 75%이상 증가
하였으며, 지진 발생에 따른 인명 및 재산피해에 대한 위험성
에 대하여 권고하고 있다.

있으며, 이에 따른 내진대책의 필요성이 요구된다.

특히 중국 쓰촨성 지진에서 약 700여 채의 학교건물이 붕괴되었으며 국외 지진발생에 따른 결과 보고서에 따르면 강진이 발생할 경우, 내진설계가 부족한 학교건물의 경우 인명피해가 크게 발생된 것이 보고되고 있다.²⁾³⁾ 이에 따라 국내에서도 학교 건물의 내진성능평가와 내진 보강에 관한 논의와 연구가 진행되고 있는 실정이다. 우리나라는 1980년대에 급격한 경제성장으로 인하여 많은 수의 학교건물이 이 시기에 지어졌다. 그러나 내진규준은 1988년에 제정되어 적용되었기 때문에 1988년 이전에 지어진 학교건물은 내진성능을 보장할 수 없는 실정이다. 교육과학기술부에서 실시한 ‘학교시설 내진보강 우선도 전수조사’에 따르면, 지진이 발생할 경우 국내 학교 시설물의 50% 이상이 대규모피해를 받을 것으로 보고되고 있다.⁴⁾ 따라서 기존 학교 시설물의 안정성 확보를 위한 내진 보강이 시급한 실정이다.

1.2 기존구조물의 내진보강 공법

<그림 1> 및 <그림 2>에 나타난 바와 같이 소요 내진성능이 충족되지 않는 철근콘크리트 학교건물의 내진보강공법은 끼움벽(Infill wall), 가새(Brace) 및 제진장치(Damper) 등 내진보강 요소를 설치하여 내진 성능을 부여하는 방법이 주로 활용되고 있다.⁶⁾⁷⁾ 이러한 내진보강 방법은 골조에 앵커볼트를 설치하고 접합부에 거푸집을 설치한 후 무수축 모르터(Nonshrinkage mortar)를 주입하여 기존 골조와 보강 부재를 접합하여 시공되고 있다. 그러나 무수축 모르터를 사용하게 되면 <그림 3>와 같이 거푸집작업이 필수적이며, 상부에서 하부로 모르터를 채워가며 타설을 실시하게 되는데 주입구 부분의 막음이 어렵다. 또한 거푸집에 의하여 시각적으로 확인이 불가능하므로 접합면의 타설이

그림 1. 철골가새를 활용한 내진보강

그림 2. 제진장치(Damper)를 활용한 내진보강

그림 3. 골조접합부의 무수축 모르터 주입

- 2) 국립방재연구소, “2001년 인도 구라자트주 카치지진 현장조사 보고서”, 2002
- 3) 日本建築學會, “1995年兵庫縣南部地震災害調査速報”
- 4) 교육과학기술부, “학교시설 내진보강 우선도 전수조사 학교별 현황”, 교육과학기술부, 2009
- 5) 김성호, 이영오, 김희중, 윤현도, 강섬유와 폴리에틸렌섬유를 함께 혼입한 SHCC의 물결합재비와 팽창재 치환유무에 따른 역학적 특성, 한국콘크리트학회, 24권, 3호, 2012
- 6) 박태원, 박현수, 최혁준, 정관, 비내진 상재를 가지는 기존 RC 프레임구조의 브레이싱을 이용한 내진성능 보강효과, 대한건축학회 학술발표대회 논문집, 제25권, 제1호, p.p.497~500, 2005.10
- 7) 윤현도, 김선우, 이갑원, 최창식, 이해연, 고인성 시멘트 복합체를 활용한 끼움벽으로 보강된 비내진 상재 철근콘크리트 골조의 내진성능, 대한건축학회 논문집, 제22권, 제5호, p.p.31~38, 2006

그림 4. 타설용 변형경화형 시멘트 복합체의 인장거동특성⁵⁾

용이하지 않고 타설 과정 중의 유실양이 많은 문제점이 제기되었다.⁸⁾ 또한 지진하중 특성상 반복하중이 작용하므로 골조와 내진보강요소 사이에 연성능력이 부족한 무수축 모르터를 활용한 접합부의 성능을 신뢰할 수 없을 것으로 판단된다.⁹⁾

1.3 연구 목적

가새나 끼움벽등 내진 보강 요소에 관한 연구는 활발히 진행되고 있는 반면 기존골조와 내진보강요소의 구조성능 및 시공성능 향상에 관한 연구는 부족한 실정이다. 무수축 모르터와 SHCC를 변수로 한 선행 연구¹⁰⁾에 의하면 접합부에 의하면, SHCC를 활용한 접합부에서 최대강도는 약 15% 이상 증가하였으며, 최대강도에서의 변위 또한 30%이상 증가하여 우수한 접합부 성능을 나타내었다. 따라서 본 연구에서는 무수축 모르터를 활용하여 접합부를 충진함에 따라 발생하는 시공상의 문제점인 접합부 거푸집 제작과 무수축 모르터 유실문제를 개선하고자 뿔칠공법(Shotcrete)을 적용하여 이와 같은 문제점을 해결하고자 하였다. 또한 무수축 모르터의 낮은 연성능력으로 인한 구조적 결함을 연성과 인성이 우수한 변형경화형 시멘트 복합체(Strain-Hardening Cement Composites, SHCC)로 대체하여 뿔칠형 SHCC(Sprayable SHCC)를 개발하는 것을 본 연구의 목적으로 하였다. <그림 4>는 타설용 SHCC의 인장거동특성이다. 그림에서 나타난 것과 같이 일반 모르터와는 달리 초기 균열 이후 균열이 분산되며 인장응력이 증가되는 변형 경화 구간을 거쳐 연성적 거동을 보이는 특징을 나타낸다.

2. 뿔칠형 SHCC의 개발

2.1 SHCC의 뿔칠 단계별 성능평가

뿔칠 성능평가는 뿔칠과정에 따라 역학적 성능이 변할 것으로 판단하여 <그림 5>와 같이 총 3단계에 걸쳐 계획하였다. 진동믹서를 통한 배합 후 단계를 I 단계로 하였으며 진동호퍼(Vibration hopper)와 스퀴즈식 펌프(Squeeze

(a) I 단계 : 진동믹서 후

(b) II 단계 : 압송펌프 후

(c) III 단계 : 뿔칠 후

그림 5. 본 연구에서 설정한 뿔칠 단계

type pump)를 거쳐 압송펌프 후 단계를 II 단계로 설정하였다. 그리고 에어펌프(Air pump)에 의한 분사 후 특성을 III 단계로 설정하여 각 뿔칠단계에 따른 성능평가를 실시하였다.

2.2 SHCC의 배합 및 제조방법

<그림 6>은 뿔칠형 SHCC를 개발하기 위한 배합선택 플로우차트이다. 본 연구에서는 뿔칠형 SHCC의 성능을 평가하기 위하여 배합상의 변수는 3가지로 설정하였으며 각 배합의 설계기준강도는 50MPa로 설정하였다.

SHCC-A 배합은 구조부재로 활용되는 일반 SHCC의 배합과 유사한 배합으로서, 플라이애시의 혼입율을 높여 유동성을 확보한 배합으로 설정하였다. SHCC-B 배합은 SHCC-A 배합에 비하여 플라이애시의 양을 줄여 유동성은 낮지만 점성을 확보한 배합이며, SHCC-C 배합은

- 8) 윤길호, 김성호, 김용철, 윤현도, 현장타설 끼움전단벽 및 철골가새를 활용한 기존학교 건물의 내진보강, 한국교육시설학회, 제 19권, 제4호, p.p.21~28, 2012
- 9) 전에스터, 윤현도, 이영오, 김선우, 류승현, 시멘트복합체 종류에 따른 접합부의 거동 및 산정식 평가, 한국콘크리트학회, 2010 봄 학술대회 논문집, Vol.22, No.1.
- 10) 전에스터, 윤현도, 김선우, 최기선, 유영찬, 김궁환, 변형경화형 시멘트 복합체 (SHCC)를 사용한 접합부의 전단거동특성, 대한건축학회 학술발표대회 구조계, 제29권, 제1호, p.p 455~458, 2009

표 1. SHCC의 배합조건

배합	W/B (%)	fck (MPa)	섬유 혼입률 (%)	단위중량 (kg/m ³)									
				시멘트	배합수	FA	SF	팽창재	탄산칼슘	분말 혼화제	유동화제	AE제	PVA 섬유
SHCC-A	38.9	50	2.2	393	354	393	79	47	658	2.68	2.68	-	29
SHCC-B	38.3	50		453	347	312	75	45	618	4.83	4.93	-	29
SHCC-C	39.2	50		453	347	312	75	45	618	4.98	4.83	0.15	29

※ FA : 플라이애시, SF : 실리카폼

그림 6. 뿔칠형 SHCC 배합 선정 흐름도

SHCC-B 배합과 유사하지만 유동성을 확보하고자 AE제를 혼입한 배합이다. 각 배합에 따른 배합조건은 <표 1>에 표현하였다.

SHCC의 보강섬유로는 섬유 분산성능과 인장강도가 우수하고 비교적 가격이 저렴한 PVA(Polyvinyl alcohol) 섬유를 사용하였다. 섬유의 역학적 특성과 섬유의 형상은 <표 2> 및 <그림 7>와 같다.

3. 굳지 않은 SHCC의 성능평가방법

3.1 점도시험

KS 규준에 시멘트 모르타르의 점성시험방법이 명확히 명시되지 않아 회전점도계를 이용한 아스팔트의 점도 시험 방법인 KS F 2092를 이용하여 시멘트 모르타르의 점도를 측정하였다.¹¹⁾ 점도시험은 전동기에 의해 원통형 스

그림 7. PVA 섬유의 형상

그림 8. 회전 점도계의 원리

그림 9. 플로우 테이블 시험

그림 10. 공기량 측정기 형상

핀들(Spindle)을 회전시켜 스핀들이 일정한 회전속도(20 rpm)를 유지하는데 필요한 점성 토크(Torque)를 측정하여 점도를 측정하는 시험방법이다.

3.2 흐름시험

재료의 유동성을 평가하기 위하여 KS L 5111 기준에 의하여 무타격 및 타격 흐름시험(Flow test)을 실시하였다. 플로우 테이블의 형상은 <그림 9>와 같다.

3.3 공기량 및 단위중량

섬유 혼입 여부와 뿔칠단계에 따른 공기량 및 단위중량을 평가하기 위하여 KS L 3136 기준에 의해 공기량을 측정하였으며, 공기량 측정기의 형상은 <그림 10>과 같다.

3.4 뿔칠성능

콘크리트표준 시방서에 명시된 바와 같이 뿔칠형 SHCC

표 2. 섬유의 특성

섬유	단위중량 (kg/m ³)	길이 (mm)	직경 (μm)	형상비	인장강도 (MPa)	탄성계수 (GPa)
PVA	1,300	12	39	307	1,600	40

11) 한국공업표준협회, KS 표준안, 한국공업표준협회

의 설계기준강도는 21 MPa 이상으로 설정하였으며, 재령 28일 부착강도는 1.0 MPa 이상 성능이 나타나는 것으로 결정하였다.¹²⁾ 뿔칠 성능을 평가하기 위하여 본 연구에서 설정한 III단계의 뿔칠성능평가를 통하여 각 배합에 대한 뿔칠 두께와 뿔칠 후 미장성능을 평가하였다.

4. 성능평가결과 및 분석

4.1 페이스트(Paste) 특성

1) 흐름성능

섬유가 혼입되어 있지 않은 페이스트(Paste)의 무타격 흐름 시험 결과는 <표 3>과 같다. 배합과정에서 예상한 것과 같이 SHCC-A는 약 272mm로 높은 유동성을 가진 반면에 SHCC-B와 SHCC-C 배합은 104~105mm로 유동성이 상당히 낮은 경향을 나타내었다.

표 3. 페이스트의 무타격 흐름시험 결과

배합	흐름시험 결과 (mm)	무타격 흐름시험 결과
SHCC-A	272
	272	
SHCC-B	105
	104	
SHCC-C	104
	104	

표 4. 페이스트의 공기량 및 단위중량 시험결과

종류	공기량 (%)	단위중량 (g/cm ³)
SHCC-A	4.5	221.09
SHCC-B	4.4	223.85
SHCC-C	7.5	203.82

표 5. 페이스트의 점도 특성

종류	온도(℃)	계수	CPS
SHCC-A	24	23	4,600
SHCC-B	26	42	8,400
SHCC-C	25	45	9,000

12) 콘크리트표준시방서, 한국콘크리트학회, 제21장 숏크리트

2) 공기량 및 단위중량

페이스트의 공기량과 단위중량 측정결과 SHCC-A와 SHCC-B는 공기량 4.5%, 단위중량 220g/cm³로 차이가 크지 않은 경향을 나타내었으며, SHCC-C 배합은 공기량 7.5% 및 단위중량 203g/cm³로 다른 배합에 비하여 공기량이 높은 경향을 나타내었는데 이는 AE제 혼입에 따른 영향으로 판단된다.

3) 점도 특성

점도는 온도를 25℃±1℃로 동일하게 하여 시험을 수행하였다. 점도계수와 CPS는 큰 값일수록 점도가 높음을 의미하는데, <표 5>에 나타난 바와 같이 본 연구에서 고려된 배합은 A배합의 점도계수가 약 23으로 가장 낮은 경향을 나타냈으며 B와 C배합은 점도계수가 42 및 45로 평가되어 C배합에서 가장 높은 점도계수를 나타냈다.

4.2 SHCC 특성

1) 흐름성능

페이스트 시험결과와 같은 경향으로 SHCC-A의 흐름시험 값이 본 시험에서 고려된 배합 중 가장 높은 경향을 나타냈으며 SHCC-B, SHCC-C 배합 순으로 흐름시험 값이 점성계수가 높은 배합일수록 낮아지는 경향이 나타났다. 또한 단계별 흐름성능을 평가한 결과 각 배합에서 뿔칠 단계가 I 단계에서 III단계로 진행됨에 따라 흐름 값이 약 14~17mm 가량 선형적으로 감소하는 경향이 나타났다. 이는 뿔칠 과정 중 진동효과 등에 의하여 공기량이 감소되는 현상 등에 기인한 것으로 판단된다.

2) 공기량 및 단위중량

단계가 진행됨에 따라 배합에 따른 차이가 다소 있었으나, 대체적으로 각 배합의 공기량이 감소되는 경향이 나타났다. 이는 앞서 언급한 것과 같이 진동 효과 등에 의해 유해 공기포가 제거되어 공기량이 감소하는 경향이 나타난 것으로 사료된다.

3) 뿔칠성능

III단계에서 실시한 뿔칠성능평가결과를 <그림 11>에 나타내었다. <그림 11>에 나타난 바와 같이 SHCC-A 배합은 유동성이 높아 노즐을 통한 분사가 원활하였으나, 분사 후 점성이 낮아 90% 이상이 탈락되는 등 뿔칠성능이 확보되지 않았다. 유동성과 섬유분산성능이 좋아 일반 구조부재 등에 이용하기에 우수한 성능을 나타낼 것으로 판

(a) SHCC-A

(b) SHCC-B

(c) SHCC-C

그림 11. 뿔칠형 SHCC의 뿔칠성능 평가

(a) 무수축 모르터의 주입과정

(b) 무수축 모르터 접합부의 양생과정

(c) 뿔칠형 SHCC의 타설과정

(d) 뿔칠형 SHCC 접합부의 양생과정

그림 12. Mock-up 테스트 결과

표 6. SHCC의 타격 흐름시험 결과

종류	단계	흐름시험 결과 (mm)		타격 흐름시험 결과
		타격전	타격후	
SHCC-A	I	128.5	188.6
		125.0	186.2	
	II	118.3	178.3
		115.2	176.0	
	III	115.6	175.6
		120.0	163.2	
SHCC-B	I	103.3	170.7
		105.2	171.3	
	II	100.7	164.7
		103.9	156.9	
	III	102.8	156.6
		103.6	144.6	
SHCC-C	I	101.0	165.9
		103.7	151.7	
	II	104.0	156.0
		104.0	145.0	
	III	103.5	148.0
		102.0	153.0	

표 7. SHCC의 공기량 및 단위중량 시험결과

종류	단계	공기량 (%)	단위중량 (g/cm ³)
SHCC-A	I	8.2	215.3
	II	8.2	217.1
	III	6.4	218.1
SHCC-B	I	5.8	221.6
	II	3.3	224.1
	III	4.6	227.1
SHCC-C	I	10.4	209.8
	II	8.7	207.0
	III	7.4	216.1

단되는 SHCC-A 배합은 뿔칠용으로는 적합하지 않은 것으로 평가되었다.

SHCC-B 배합은 높은 점성으로 인한 시멘트 매트릭스간의 뭉침 현상으로 연속적인 뿔칠 성능이 다소 낮은 경향을 보였으며, 뿔칠 후 약 30mm까지 안정적으로 뿔칠 성능이 확보되었지만 30mm 이상으로 뿔칠을 지속 했을 경우 자중에 의해 탈락 되는 경향이 나타났다.

반면에 AE제가 포함되어있는 SHCC-C는 200mm 두께까지 안정적인 뿔칠성능을 가져 본 연구에서 고려된 배합중 가장 높은 뿔칠성능을 가진 것으로 평가되었다. 또한 뿔칠 후 성형성도 다른 배합에 비해 우수한 경향을 보여 뿔칠용 SHCC로서 가장 우수한 성능을 가진 것으로 평가되었다.

4) 압축 실험결과

뿔칠단계에 따라 각 배합별로 3개의 압축공시체를 제작하였으며, 재령 28일 후 KS F 2405에 준하여 1,000kN 용량의 UTM으로 가력 하였다. 시험결과는 표 8에 나타난 바와 같이 각 배합의 실험체는 일반적인 구조물의 강도를 크게 상회하는 55MPa 이상의 압축강도를 나타내어, 접합부 충전재로서 적합한 것으로 판단되었다.

표 8. 평균 압축실험 결과

배합	뿔칠단계	f _{cu} (MPa)
SHCC A	I	57.33
	II	59.69
	III	60.87
SHCC B	I	56.24
	II	58.31
	III	72.94
SHCC C	I	58.57
	II	53.87

5. Mock-up 테스트

무수축 모르터와 뿔칠형 SHCC의 접합부 시공성능을 평가하고자 실제 구조물의 1/3 크기의 철근콘크리트 골조를 제작하였다. 골조와 내진보강 부재의 접합부에 무수축 모르터를 주입하여 시공한 결과 접합부 거푸집 작업의 난이도가 상당히 어려웠으며, 모르터 주입구 부분을 막는 작업상의 불편함이 있었다. 또한 이러한 과정 중 모르터의 손실량과 작업소요시간이 많은 경향이 나타났다. 반면 본 연구에서 적절한 뿔칠형 SHCC 배합으로 평가된 SHCC-C 배합을 활

표 9. Mock-up 테스트 결과

종류		무수축 모르터	뿔칠형 SHCC
시공 시간	거푸집 설치	4시간	-
	타설	30분	1시간
	탈형	30분	30분
	계	5시간	1시간 30분
난이도	거푸집 설치	상	-
	타설	상	중
	마감	-	하

용하여 접합부의 시공을 한 결과 거푸집 없이 원활하게 뿔칠이 되었으며, 이에 따라 시공성과 작업소요시간이 크게 줄어들어 우수한 시공성을 나타냈다.

6. 결론

본 연구에서는 학교시설물의 보강재와의 접합부의 성능과 시공성을 높이기 위하여 뿔칠형 SHCC를 개발하였으며, I ~ III 단계에 걸친 뿔칠성능 평가를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) SHCC-A배합의 실험결과, 섬유분산성능과 유동성이 높아 일반 구조부재용으로 활용가능성이 높으나, 점도가 낮아 뿔칠성능이 확보되지 않은 경향을 나타냈다. 추후 다양한 배합의 성능평가를 통한 평가가 이루어져야 하겠으나, 점도계수가 23으로 비교적 낮은 점도를 갖는 배합은 뿔칠성능이 낮을 것으로 판단된다.
- 2) SHCC-B배합의 실험결과, 점도계수가 42로 SHCC-A 배합의 2배에 가까운 점도를 나타내어 뿔칠성능이 우수할 것으로 판단되었으나, III단계의 뿔칠성능 평가 결과 점도가 높아 시멘트 매트릭스간의 뭉침 현상으로 인해 노즐을 통한 발사과정에서 연속적인 발사성능이 다소 낮은 경향을 나타냈다.
- 3) SHCC-C배합의 실험결과, 점도계수가 45로 본 연구에서 고려된 배합 중 가장 높은 경향을 나타내었으며, III단계의 연속적인 뿔칠성능과 뿔칠 후 성형성이 가장 우수한 경향을 나타내었다. 이는 AE제 혼입에 따라 연행공기량이 높아 뿔칠과정에서 노즐을 통한 발사성능이 우수하여 연속적인 뿔칠이 가능하였으며, 높은 점성으로 인한 뿔칠 후 부착성능이 우수한 것으로 평가된다.
- 4) Mock-up 테스트를 통하여 무수축 모르터와 뿔칠형 SHCC의 접합부 시공성능을 평가를 한 결과, 무수축 모르터는 거푸집 작업 등 시공과정이 복잡하였으며

모르터의 유실량이 많은 반면에 뿔칠형 SHCC를 통한 접합부 충전은 우수한 시공성능이 확보되었으며 시공시간이 단축되었다.

참고문헌

1. 기상청, ‘국내 지진발생추이 자료’, 2011
2. 국립방재연구소, “2001년 인도 구라자트주 카치지진 현장 조사 보고서”, 2002
3. 日本建築學會, “1995年兵庫縣南部地震災害調査速報”
4. 교육과학기술부, “학교시설 내진보강 우선도 전수조사 학교별 현황”, 교육과학기술부, 2009
5. 박태원, 박현수, 최혁준, 정란, 비내진 상세를 가지는 기존 RC 프레임구조의 브레이싱을 이용한 내진성능 보강효과, 대한건축학회 학술발표대회 논문집, 제25권, 제1호, pp.497 ~500, 2005
6. 윤현도, 김선우, 이갑원, 최창식, 이해연, 고인성 시멘트 복합체를 활용한 끼움벽으로 보강된 비내진 상세 철근콘크리트 골조의 내진성능, 대한건축학회 논문집, 제22권, 제5호, pp.31~38, 2006
7. 윤길호, 김성호, 김용철, 윤현도, 현장타설 끼움전단벽 및 철골가새를 활용한 기존학교 건물의 내진보강, 한국교육시설학회, 제 19권, 제4호, pp.21~28, 2012
8. 전에스더, 윤현도, 이영오, 김선우, 류승현, 시멘트복합체 종류에 따른 접합부의 거동 및 산정식 평가, 한국콘크리트학회, 2010 봄 학술대회 논문집, Vol.22, No.1.
9. 김성호, 이영오, 김희종, 윤현도, 강섬유와 폴리에틸렌섬유를 함께 혼입한 SHCC의 물결합제비와 팽창제 치환유무에 따른 역학적 특성, 한국콘크리트학회, 24권, 3호, 2012
10. 전에스더, 윤현도, 김선우, 최기선, 유영관, 김공환, 변형경화형 시멘트 복합체 (SHCC)를 사용한 접합부의 전단거동 특성, 대한건축학회 학술발표대회 구조계, 제29권, 제1호, pp.455~458, 2009
11. 한국공업표준협회, KS 표준안, 한국공업표준협회
12. 콘크리트표준시방서, 한국콘크리트학회, 제21장 숏크리트

접수 2012. 6. 8
1차 심사완료 2012. 7. 9
2차 심사완료 2012. 8. 29
게재확정 2012. 9. 21