

# 부순모래 사용에 따른 원전 구조물용 콘크리트의 기초적 특성

## Fundamental Characteristics of Concrete for Nuclear Power Plant Using Crushed Sand

박성학<sup>1</sup> · 김경환<sup>1</sup> · 최병걸<sup>2</sup> · 최연왕<sup>2\*</sup>Sung-Hak Park<sup>1</sup> · Kyung-Hwan Kim<sup>1</sup> · Byung-Keol Choi<sup>2</sup> · Yun-Wang Choi<sup>2\*</sup>

(Received May 31, 2017 / Revised June 24, 2017 / Accepted June 26, 2017)

This study, as a research for using crushed sand as a fine aggregate of concrete for nuclear structures, we improved the performance of impact crusher in the existing crushed sand production process and adjusted grain size to conform to ASTM C 33. The shape and grain size characteristics of a crushed sand were examined and concrete was prepared according to the substitution ratio of the sand to investigate the properties of fresh concrete and hardened concrete. The experimental results show that most of the concrete characteristics are equivalent to those of concrete using only heavy sand. However, when the substitution rate of steel sand exceeds 50%, the amount of air, compressive strength and tensile strength are somewhat reduced.

**키워드** : 원전 구조물용 콘크리트, 부순모래, 부순모래 치환률, 부순모래 콘크리트

**Keywords** : Nuclear power plant structure concrete, Crushed sand, Crushed sand ratio, Crushed sand concrete

### 1. 서론

2011년 3월 11일 일본 동북부 지방을 강타한 규모 9.0의 대지진 및 쓰나미로 인하여 발생한 후쿠시마 원전 사고는 엄청난 피해를 남겨 최근 전 세계적으로 원전 구조물의 안전성에 대한 관심이 증가되고 있는 실정이다(Hong et al, 2011). 한편 국내의 경우, 가정에 서의 냉·난방기 사용 및 산업 발전에 의한 전기 설비 증대 등으로 인하여 전력 수요가 급증하고 있지만 늘어난 수요를 충족하지 못함에 따라 예비 전력 확보를 위한 절전 운동과 더불어 수명이 완료된 원전의 사용 연장 및 새로운 원자력 발전소 건설을 계획 중에 있다(MOTIE 2014).

이러한 상황에서 부득이 원자력 발전소를 건설하여야 한다면 보다 적극적으로 안전성을 확보하고 유지관리 및 점검을 철저히 하여야 할 것이다. 특히 콘크리트의 경우 시공 후 보수 및 보강이 어렵기 때문에 시공 전 안전성 확보에 대한 검증 및 검토가 충분히 이루어져야 한다.

콘크리트는 경제성 및 내구성이 우수하여 건설재료로서 강재와 더불어 사회기반시설 건설에 있어서 널리 사용되고 있다. 이러한 콘크리트는 시멘트, 골재, 물 및 기타 첨가제로 이루어진 복합재료로써 그 구성재료 중 골재가 차지하는 비율은 70~80% 정도로 골재의 품질이 콘크리트의 특성에 미치는 영향은 매우 중요하다.

한편 1990년대부터 대두된 골재 부족 현상으로 인하여 원자력 발전소 건설에서는 엄격한 품질관리를 통하여 원전 구조물용 콘크리트에 사용되는 골재 중 굵은골재의 경우, 이미 양질의 강자갈에서 부순골재로 대체 사용되고 있으며, 잔골재의 경우, 현재까지 양질의 강모래를 사용하고 있지만 강모래 부족현상이 최근 심각한 상황에 직면함에 따라 대체 잔골재에 대한 개발이 요구되고 있는 실정이다(KICT et al, 2005).

원전 구조물용 콘크리트에 사용할 수 있는 기존의 대표적인 대체 잔골재 중 하나인 바닷모래는 다량의 염분과 조개껍질을 함유하고 있어 세척을 적절히 실시하지 않고 사용할 경우, 철근부식을 유발하거나 콘크리트의 품질이 저하되는 등의 문제가 있어 원전

\* Corresponding author E-mail: crete77@semyung.ac.kr

<sup>1</sup>(주)에이치비티 기술연구소 (Research Institute, H.B.T Co.,Ltd., Chungcheongbuk-do 27327, Korea)

<sup>2</sup>세명대학교 토목공학과 (Department of Civil Engineering, Semyung University, Chungcheongbuk-do 27136, Korea)

구조물용 콘크리트에 사용은 적합하지 않은 것으로 보고되고 있다 (Lee et al, 1996). 또한 다른 하나인 부순모래는 부순돌 생산 시 발생하는 8mm 이하의 석분인 산업부산물을 효율적으로 활용한 인공모래로써 불순물이 없고 매장량이 풍부하며 대량생산이 가능하여 골재수급이 원활한 장점이 있지만, 입형 및 입도가 좋지 않은 단점이 있어 그 품질을 일정하게만 할 수 있다면 원전 구조물용 콘크리트의 대체 잔골재로써 부순모래의 활용이 가장 현실적이고 장기적이며 우선적인 대책으로 보고되고 있다(Lee et al, 2003).

그러나 기존의 부순모래는 원자력 발전소 건설에 적용되는 골재 규격 ASTM C 33에서 요구하는 입도를 만족시키기에는 부족한 실정이다. 또한 콘크리트의 워카빌리티에 영향을 미치는 입형이 좋지 않아 현재까지 원전 구조물용 콘크리트에 사용되지 않고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 원전 구조물용 콘크리트의 잔골재로 부순모래를 사용하기 위하여 기존의 부순모래 생산공정에서 임팩트 크러셔(Impact crusher)의 성능(회전수)을 높여 입형을 개선하고 ASTM C 33에 적합하도록 입도를 조정된 부순모래의 입형 및 입도 특성을 검토하였으며, 강모래에 대한 치환률에 따라 콘크리트를 제조하여 콘크리트 배합 특성, 굳지 않은 콘크리트 특성 및 경화한 콘크리트 특성을 검토하였다. 이를 통하여 향후 원전 구조물용 콘크리트에 부순모래를 사용할 경우 기초자료로써 활용하고자 한다.

## 2. 실험 개요

### 2.1 사용 재료

#### 2.1.1 결합재

본 연구에서는 결합재로 국내 T사의 보통 포틀랜드 시멘트(이하 OPC로 약함)를 사용하였으며, 하동화력발전소에서 생산된 플라이애시(이하 FA로 약함)를 사용하였다. Table 1은 본 연구에서 사용된 결합재의 화학성분 및 물리적 특성을 나타낸 것이다.

Table 1. Chemical compositions and physical properties of binder

Type	SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	CaO(%)	Na <sub>2</sub> O(%)	K <sub>2</sub> O(%)	MgO(%)	SO <sub>3</sub> (%)	L.O.I	Density(g/cm <sup>3</sup> )	Specific surface area(cm <sup>2</sup> /g)
OPC	21.26	5.66	3.36	61.31	-	-	4.47	2.58	1.03	3.15	3,230
FA	58.20	26.28	7.43	6.51	0.80	-	1.10	0.32	4.24	2.20	3,550

Table 2. Physical properties of aggregate

Type	Gmax(mm)	Density(g/cm <sup>3</sup> )	Absorption(%)	F.M.	Organic impurities	Unit mass(kg/m <sup>3</sup> )	Solid volume(%)
RS	-	2.57	1.75	2.89	OK	-	58
M-CS	-	2.64	1.29	2.91	OK	-	57
G	25	2.66	0.78	5.98	OK	1587.6	-

#### 2.1.2 골재

골재는 잔골재로 낙동강산 강모래(이하 RS로 약함) 및 기존의 부순모래 생산공정에서 임팩트크러셔의 회전력을 높여 모서리의 요철 부위를 제거하여 입형을 개선하고, 진동스크린 및 세척스크린 설비를 추가함과 동시에 입도변동에 따라 ASTM C 33에 적합하도록 쉽게 체를 교체할 수 있는 추가 설비를 통하여 입도를 조정된 국내 Y사의 부순모래(이하 M-CS로 약함)를 사용하였다. 또한 굵은골재로 G-max 25mm의 화강암질 부순골재(이하 G로 약함)를 사용하였다. Table 2는 본 연구에서 사용된 골재의 물리적 특성을 나타낸 것이다.

#### 2.1.3 화학 혼화제

화학 혼화제는 감수제로 국내 H사의 감수제(이하 WRA로 약함) 및 고성능감수제(이하 HWRA로 약함)를 사용하였으며, 공기연행제로 국내 H사의 양질의 공기연행제(이하 AE로 약함)를 사용하였다.

## 2.2 실험 계획

### 2.2.1 단위

국내에서 사용되는 표준 단위계는 SI단위계이지만, 국내의 경우 원자력 콘크리트에 관한 설계기준, 품질규격 및 시공매뉴얼이 미흡하기 때문에 본 연구에서는 미국 기준 및 규격(ACI code 및 ASTM)을 적용하였으며, 단위계는 야드파운드법을 적용하였다.

### 2.2.2 원전 구조물용 콘크리트 선정

원전 구조물용 콘크리트의 잔골재로 M-CS 사용에 따른 기초적 특성을 평가하기 위하여 먼저, 원전 구조물용 콘크리트는 원자력 콘크리트 시공기술규격서(CP-C2)의 D-3 Type으로 선정하였으며, 그 규격은 다음과 같다.

- ① 설계기준강도: 5,000psi(약 35MPa)
- ② 일반슬럼프 콘크리트:  $4 \pm 0.75$ inch(약  $100 \pm 20$ mm)
- ③ 고슬럼프 콘크리트:  $6 \pm 0.75$ inch(약  $150 \pm 20$ mm)  
 슬럼프 및 공기량 경시변화  
 슬럼프: 90분 후 초기 값  $\pm 2$ inch(약  $\pm 50$ mm)  
 공기량: 90분 후 초기 값  $\pm 1.5\%$
- ④ 콘크리트 공기량 : 3~6%

### 2.2.3 배합설계

배합설계는 ACI 211.1-91 방법으로 D-3 Type 규격에 만족하는 배합을 실시하였으며, RS를 100% 사용한 배합과 RS에 대하여 M-CS를 40%, 50%, 60%, 70%, 80% 및 100%로 치환한 배합을 실시하였다. 또한, 일반슬럼프 콘크리트(이하 DO로 약함) 제조에는 WRA를 사용하였으며, 고슬럼프 콘크리트(이하 DH로 약함) 제조에는 HWRA를 사용하였다. Table 3은 본 연구에서 사용된 콘크리트 배합을 나타낸 것이다.

## 2.3 실험 방법

### 2.3.1 개선된 부순골재의 입형 및 입도 분석

본 연구에서는 RS, 기존의 부순모래(이하 O-CS로 약함) 및 M-CS의 입형을 비교 분석하기 위하여 최대 2,400배율까지 확대 관찰이 가능한 국내 S사의 영상 현미경(Video Microscope)

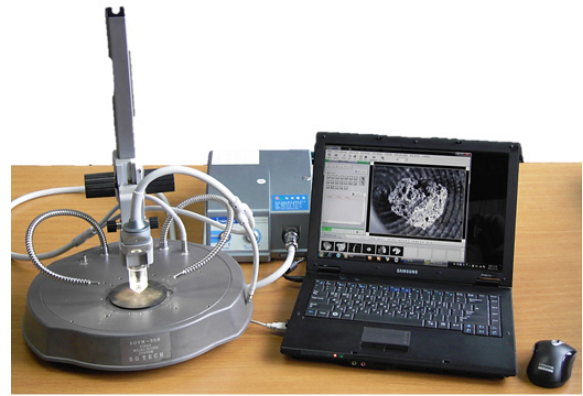


Fig. 1. Video microscope

EGVM 35B를 이용하였으며, 각각의 잔골재를 입자 크기별로 분류하여 50~300배율로 확대하여 평가하였다. Fig. 1은 본 연구에서 사용된 영상 현미경 및 시험 전경을 나타낸 것이다.

또한 RS, O-CS 및 M-CS의 입도를 비교 분석하기 위하여 ASTM C 136에 준하여 체가름 한 다음 ASTM C 33에서 규정하는 입도 범위를 참고하여 평가하였다.

### 2.3.2 콘크리트 배합 특성 분석

M-CS의 치환률에 따른 배합 특성을 분석하기 위하여 배합표상의 잔골재율, 단위수량, 감수제 사용량 및 공기연행제 사용량 변동에 대하여 비교 분석하였다.

Table 3. Mixture proportions of concrete

Type	W/B(%)	S/a(%)	Unit weight(lb/yd <sup>3</sup> )								
			W	Binder		RS	M-CS	G	WRA	HWRA	AE
				OPC	FA						
DO-00	40	42.1	299	598	150	1169		1609	4.49	-	0.37
DO-40		42.1	304	608	152	693	475		4.56	-	0.42
DO-50		42.1	304	608	152	577	593		4.56	-	0.42
DO-60		42.2	304	608	152	462	712		4.56	-	0.46
DO-70		42.2	304	608	152	346	831		4.56	-	0.49
DO-80		42.3	304	608	152	231	949		4.56	-	0.49
DO-100		42.4	304	608	152		1186		4.56	-	0.53
DH-00		40	47.1	240	480	120	1434			1609	-
DH-40	47.2		244	488	122	853	584	-	6.71		0.15
DH-50	47.3		244	488	122	711	731	-	6.71		0.15
DH-60	47.3		244	488	122	569	877	-	6.71		0.18
DH-70	47.4		244	488	122	427	1023	-	6.71		0.21
DH-80	47.5		244	488	122	284	1169	-	6.71		0.21
DH-100	47.6		244	488	122		1461	-	6.71		0.24

### 2.3.3 굵지 않은 콘크리트 특성 시험

굵지 않은 콘크리트 특성으로 슬럼프는 ASTM C 143 시험방법에 준하여 평가하였으며, 공기량은 ASTM C 231 시험방법에 준하여 평가하였다. 또한 D-3 Type의 규격에 따라 DH 배합의 경우, 30분 간격으로 90분까지 슬럼프 및 공기량의 경시변화를 평가하였다.

### 2.3.4 경화한 콘크리트 특성 시험

경화한 콘크리트 특성으로 압축강도는 ASTM C 31 시험방법에 준하여 시험체를 제작 및 양생한 다음 ASTM C 39 시험방법에 준하여 재령 7일, 28일 및 91일 압축강도를 평가하였으며, 인장강도는 ASTM C 496 시험방법에 준하여 재령 91일 쪼갬인장강도를 평가하였다.

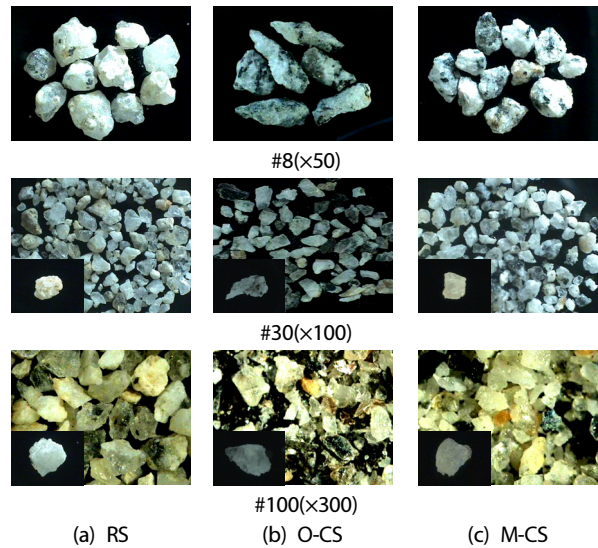


Fig. 2. Particle shape of fine aggregates

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 개선된 부순골재의 입형 및 입도

#### 3.1.1 입형

Fig. 2는 RS, O-CS 및 M-CS를 체가름 하여 #8, #30 및 #100 체에 남는 대표시료의 입형을 영상 현미경을 통하여 확대하여 비교 관찰한 결과를 나타낸 것이다. Fig. 2의 결과, RS의 경우 입형이 구형이며 각 체에 남아있는 시료는 동등한 수준의 입경을 갖는 것으로 나타났으며, O-CS의 경우 입형이 모가진 넓은 삼각형 모양의 편형한 형태이며 각 체에 남아있는 시료간의 입경은 편차가 있는 것으로 나타났다.

또한 M-CS의 경우, 입형은 구형에 가깝지만 삼각형 또는 사각형의 모가진 형태들도 포함 되어 있는 것으로 나타났으며, 각 체에 남아있는 시료는 동등한 수준의 입경을 갖는 것으로 나타났다. 이러한 결과를 통하여 M-CS는 O-CS 보다 입형이 좋으며, RS와 유사한 수준으로 입형이 개선된 것으로 판단된다.

#### 3.1.2 입도

Fig. 3은 RS, O-CS 및 M-CS를 체가름 하여 입도곡선으로 비교 분석한 결과를 나타낸 것이다. Fig. 3의 결과, RS의 경우 ASTM C 33에서 규정하는 입도 범위를 만족하는 것으로 나타났으며, O-CS의 경우 만족하지 못하는 것으로 나타났다.

또한 M-CS의 경우, ASTM C 33에서 규정하는 입도 범위를 만족하는 것으로 나타났다. 이러한 결과를 통하여 M-CS는 O-CS

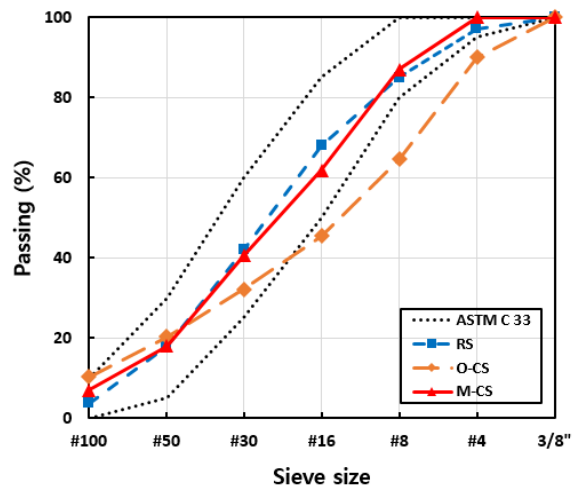


Fig. 3. Grading curve of fine aggregates

보다 입도가 좋으며, RS와 유사한 수준으로 입도가 개선된 것으로 판단된다.

### 3.2 콘크리트 배합 특성

#### 3.2.1 잔골재율

Fig. 4는 DO 및 DH 배합의 M-CS 치환에 따른 잔골재율비교 분석하여 나타낸 것이다. Fig. 4의 결과, DO 및 DH 배합 모두 M-CS 치환에 따라 잔골재율이 다소 증가되는 것으로 나타났으며, M-CS 100% 치환시 DO 배합은 약 0.3%, DH 배합은 약 0.5% 잔골재율이 증가되는 것으로 나타났다.

이러한 결과는 RS 및 M-CS의 밀도 차이에 의한 것으로 그 차이가 미소하여 M-CS 치환에 따라 잔골재율이 콘크리트 물성에 미치는 영향은 미미할 것으로 판단된다.

### 3.2.2 단위수량

Fig. 5는 DO 및 DH 배합의 M-CS 치환에 따른 단위수량을 비교 분석하여 나타낸 것이다. Fig. 5의 결과, WRA를 사용한 DO 배합의 경우 단위수량은 299~304lb/yd<sup>3</sup>으로 나타났으며, HWRA를 사용한 DH 배합의 경우, 단위수량은 240~ 244lb/yd<sup>3</sup>로 나타났다. 목표 슬럼프를 만족하기 위하여 DO 및 DH 배합 모두 M-CS 치환에 따라 치환률에 관계없이 단위수량은 약 5lb/yd<sup>3</sup> 정도 증가되는 것으로 나타났다.

DH 배합이 DO 배합 보다 단위수량이 55~60lb/yd<sup>3</sup> 감소된 원인은 HWRA 사용에 따른 약 20%의 단위수량 감소 효과에 의한 것으로 판단된다.

### 3.2.3 감수제 사용량

Fig. 6은 DO 및 DH 배합의 M-CS 치환에 따른 감수제 사용량을 비교 분석하여 나타낸 것이다. Fig. 6의 결과, 목표 슬럼프를 만족하기 위하여 WRA를 사용한 DO 배합의 경우 감수제 사용량은 B×0.6%(4.49~4.56lb/yd<sup>3</sup>)으로 나타났으며, HWRA를 사용한 DH 배합의 경우 감수제 사용량은 B×1.1%(6.60~6.71lb/yd<sup>3</sup>)로 나타났다.

이러한 결과를 통하여 감수제 사용량을 고정하고 단위수량 약 5lb/yd<sup>3</sup> 정도의 변동으로 목표 슬럼프를 만족할 수 있었기 때문에 M-CS 치환에 따라 콘크리트 유동성에 미치는 영향은 크지 않은 것으로 판단된다.

### 3.2.4 공기연행제 사용량

Fig. 7은 DO 및 DH 배합의 M-CS 치환에 따른 AE제 사용량을 비교 분석하여 나타낸 것이다. Fig. 7의 결과, 목표 공기량을 만족하기 위하여 DO 및 DH 배합 모두 M-CS 치환률 증가에 따라 AE제 사용량은 증가되는 것으로 나타났으며, DO-100의 경우 DO-00 보다 약 42%, DH-100의 경우 DH-00 보다 약 103% 증가되는 것으로 나타났다.

이러한 원인은 M-CS의 입형 및 입도가 RS와 유사한 수준으로 개선되었다고 하더라도 입형이 대부분이 구형인 RS 보다는 삼각형 또는 사각형의 모가진 형태들을 포함하고 있기 때문에 요철에 의하여 콘크리트 혼합시 발현되는 공기의 파포량이 많아 나타난

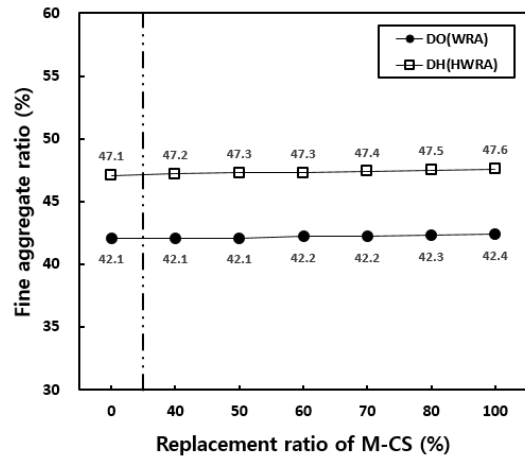


Fig. 4. Fine aggregate ratio according to replacement of M-CS

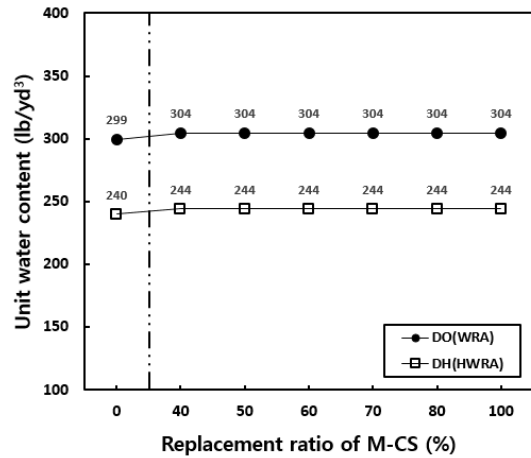


Fig. 5. Unit water content according to replacement of M-CS

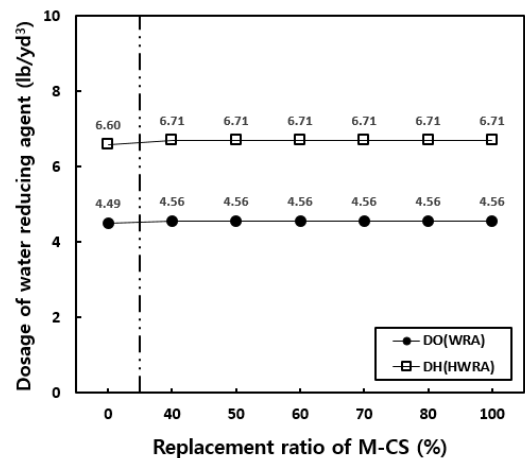


Fig. 6. Dosage of water reducing agent according to replacement of M-CS

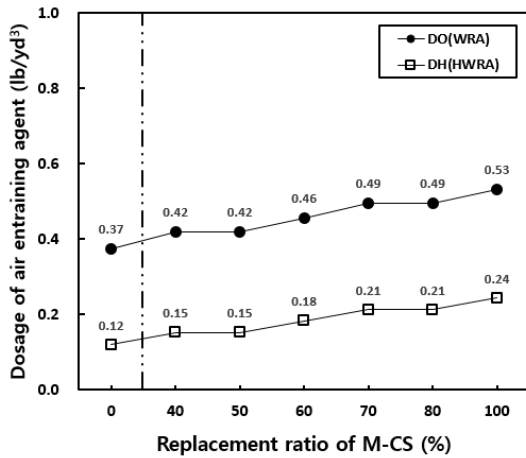


Fig. 7. Dosage of air entraining agent according to replacement of M-CS

결과로 판단되며, DH 배합이 DO 배합보다 AE제 사용량이 증가된 원인은 단위수량이 낮아 콘크리트 혼합력이 낮기 때문에 공기연행성이 감소하여 나타난 결과로 판단된다.

이러한 결과를 통하여 M-CS 치환을 증가에 따라 공기연행성은 RS만을 사용하는 배합과 비교하여 다소 감소하고, 이에 따라 AE제 사용량은 다소 증가될 것으로 판단된다.

### 3.3 굳지 않은 콘크리트의 특성

#### 3.3.1 슬럼프 및 공기량

Fig. 8은 DO 및 DH 배합의 M-CS 치환에 따른 슬럼프 시험 결과를 비교 분석하여 나타난 것이다. Fig. 8의 결과, DO 및 DH 배합 모두 M-CS 치환에 따라 치환률에 관계없이 모든 배합에서 목표 슬럼프 범위를 만족하는 것으로 나타났으며, DH 배합의 경우 M-CS 치환을 증가에 따라 슬럼프 값이 다소 증가되는 것으로 나타났지만, 그 차이는 미미하여 큰 영향은 없는 것으로 판단된다.

Fig. 9는 DO 및 DH 배합의 M-CS 치환에 따른 공기량 시험 결과를 비교 분석하여 나타난 것이다. Fig. 9의 결과, DO 및 DH 배합 모두 M-CS 치환에 따라 치환률에 관계없이 모든 배합에서 목표 공기량 범위를 만족하는 것으로 나타났으며, 불규칙적이긴 하지만 다소 증가되는 것으로 나타났다. 불규칙적인 공기량의 변동은 입형의 불균일성에 기인한 것으로 판단된다.

이러한 결과를 통하여 M-CS를 사용할 경우, 콘크리트 유동성에 미치는 영향은 크지 않을 것으로 판단되지만, 콘크리트 공기량에 변화에 주의하여야 할 것으로 판단된다.

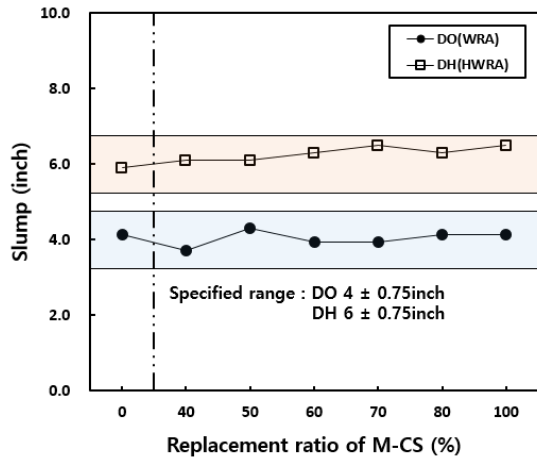


Fig. 8. Slump according to replacement of M-CS

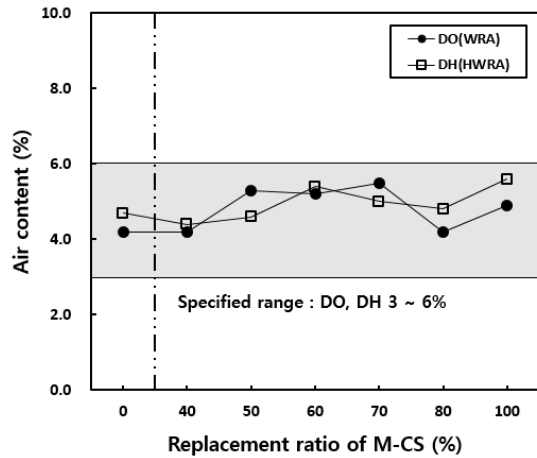


Fig. 9. Air content according to replacement of M-CS

#### 3.3.2 경시변화

Fig. 10은 DH 배합의 M-CS 치환에 따른 슬럼프 경시변화 시험 결과, Fig. 11은 공기량 경시변화 시험 결과를 비교 분석하여 나타난 것이다.

Fig. 10의 결과, M-CS 치환에 따라 치환률에 관계없이 모든 배합에서 슬럼프경시변화는 30분 경과 후 믹싱 직후 슬럼프 값과 비교하여 급격하게 감소하였으며, 60분 경과 후 다소 감소하였지만, 90분 경과후 목표 슬럼프 경시변화 ±2inch 이내의 값으로 나타났다.

Fig. 11의 결과, M-CS 치환에 따라 치환률에 관계없이 모든 배합에서 공기량 경시변화는 30분 경과 후 믹싱 직후 공기량 값과 비교하여 급격하게 감소하였으며, 60분 경과 후 다소 감소하였지만, 90분 경과 후 목표 공기량 경시변화 ±1.5% 이내의 값으로 나타났다.

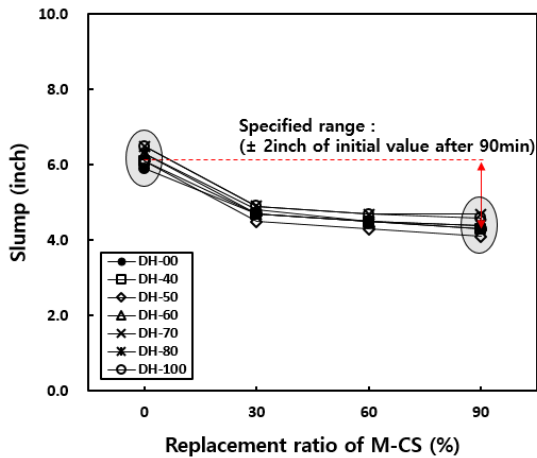


Fig. 10. Slump according to elapsed time of DH(HWRA)

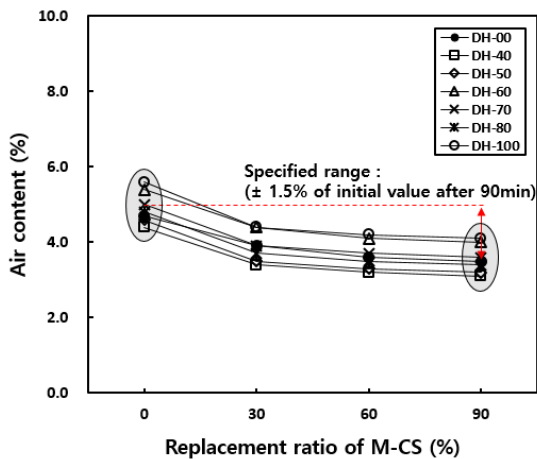


Fig. 11. Air content according to elapsed time of DH(HWRA)

타났다.

이러한 결과를 통하여 M-CS 치환에 따라 콘크리트 슬럼프 및 공기량 경시변화에 미치는 영향은 크지 않은 것으로 판단되며, RS만을 사용하는 콘크리트와 동등한 수준인 것으로 판단된다.

### 3.4 경화한 콘크리트의 특성

#### 3.4.1 압축강도

Figs. 12 및 13은 DO 및 DH 배합의 M-CS 치환에 따른 재령별 압축강도 시험 결과를 비교 분석하여 나타낸 것이다. Figs. 12 및 13의 결과, DO 배합의 경우, 모든 배합에서 재령 28일에 설계기준 강도 5,000psi 이상으로 강도를 발현하는 것으로 나타났으며, 재령 91일에 배합강도를 6,200psi 이상으로 강도를 발현하는 것으로 나타났다. DH 배합의 경우, 모든 배합에서 재령 28일에 설계기준

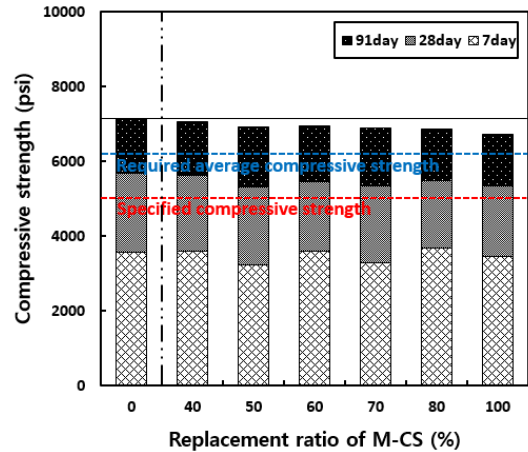


Fig. 12. Compressive strength according to replacement of M-CS(DO)

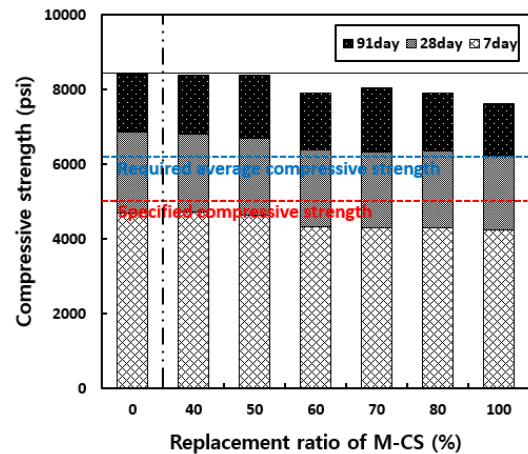


Fig. 13. Compressive strength according to replacement of M-CS(DH)

강도 및 배합강도 이상으로 강도를 발현하는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 동일한 물-시멘트비에서 HWRA를 사용한 DH 배합이 WRA를 사용한 DO 배합보다 시멘트 분산성이 더 높기 때문에 강도발현이 더 잘된 것으로 판단된다.

DO 및 DH 배합 모두 M-CS 치환율 50%까지는 모든 재령에서 압축강도는 RS만을 사용한 배합과 비교하여 오차범위 이내의 동등한 수준으로 강도가 발현되는 것으로 나타났으며, M-CS 치환율 60%부터 증가에 따라 모든 재령에서 압축강도는 다소 감소되는 것으로 나타났다. 또한 DH 배합이 DO 배합 보다 더 크게 감소되는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 M-CS를 생산할 때 임팩트크러셔의 충격으로 인하여 M-CS 내부에 미세한 균열이 존재하게 됨으로써 골재자체의 강도가 RS와 비교하여 낮기 때문에 M-CS 치환율 증가에 따라 압축강도가 감소된 것으로 판단되며, DH 배합이 DO 배합 보다 더 크게 감소되는 원인은 동일 물-시멘트비에서 감수를

에 의한 분체량 감소로 잔골재율이 증가함으로써 M-CS의 단위체 적당 투입량이 많아졌기 때문이라 판단된다.

### 3.4.2 인장강도

Figs. 14 및 15는 DO 및 DH 배합의 M-CS 치환에 따른 재령 91일 쪼갬인장강도 시험 결과를 비교 분석하여 나타낸 것이다. Figs. 14 및 15의 결과, DO 배합의 경우, 쪼갬인장강도는 660~695psi로 나타났으며, 동일 재령의 압축강도와 비교하여 9.3~9.9% 수준의 인장/압축 강도비로 나타났다. DH 배합의 경우, 쪼갬인장강도는 730~810psi로 나타났으며, 동일 재령의 압축강도와

비교하여 9.3~9.6% 수준의 인장/압축 강도비로 나타났다.

DO 및 DH 배합 모두 M-CS 치환을 증가에 따라 쪼갬인장강도가 다소 감소되는 것으로 나타났으며, DH 배합이 DO 배합보다 더 크게 감소되는 것으로 나타났다.

이러한 결과는 압축강도 감소의 결과와 동일한 원인에 기인한 것으로 판단되며, 인장/압축 강도비의 경우, 일반적으로 보고되고 있는 콘크리트의 인장/압축 강도비와 동등한 수준인 것으로 판단 된다.

## 4. 결론

본 연구에서는 원전 구조물용 콘크리트의 잔골재로 부순모래를 사용하기 위하여 기존의 부순모래에서 입도 및 입형을 개선한 부순모래의 입형 및 입도 특성을 검토하였으며, 강모래에 대한 치환률에 따라 콘크리트를 제조하여 콘크리트 배합 특성, 굳지 않은 콘크리트 특성 및 경화한 콘크리트 특성을 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. M-CS의 입형은 RS와 유사한 수준으로 구형에 가깝지만 삼각형 또는 사각형의 모가진 형태들도 포함되어 있는 것으로 나타났다. 입도는 ASTM C 33의 규정하는 입도 범위를 만족하는 것으로 나타났다.
2. 잔골재율은 M-CS 치환에 따라 RS와의 밀도 차이에 의하여 미소하게 증가되는 것으로 나타났다. 또한 목표 슬럼프 범위를 만족하기 위하여 M-CS 치환에 따라 치환률에 관계없이 감수제 사용량 변동 없이 단위수량이 약 5lb/yard<sup>3</sup> 정도 증가되는 것으로 나타났으며, 목표 공기량 범위를 만족하기 위하여 M-CS 치환을 증가에 따라 공기연행제 사용량은 증가되는 것으로 나타났다.
3. 슬럼프 및 공기량은 M-CS 치환에 따라 치환률에 관계없이 목표 슬럼프 및 공기량 범위에 만족하는 것으로 나타났지만, M-CS 치환을 증가에 따라 공기량은 다소 증가되는 것으로 나타났다. 또한 경시변화는 M-CS 치환에 따라 치환률에 관계없이 RS만을 사용한 배합과 동등한 수준으로 나타났다.
4. 압축강도 및 인장강도는 M-CS 치환에 따라 치환률에 관계없이 기준 범위를 만족하고 있지만, M-CS 치환을 60%부터 증가에 따라 다소 감소되는 것으로 나타났다.

이상의 결과를 통하여 M-CS를 원전 구조물용 콘크리트의 잔골재로 활용하고자 할 경우에는 대부분의 기초적 특성이 기준 범위를 만족하고 RS와 동등한 수준으로 나타남에 따라 단독 사용도 가능할 것으로 판단되지만, 공기량 및 역학특성을 고려할 때 RS와

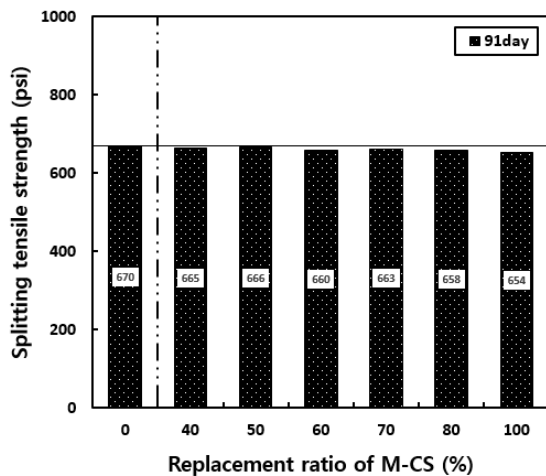


Fig. 14. Splitting tensile strength according to replacement of M-CS(DO)

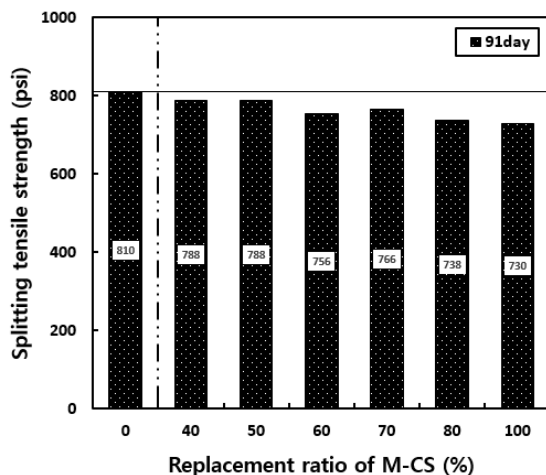


Fig. 15. Splitting tensile strength according to replacement of M-CS(DH)



혼합하여 치환률 50% 이하로 사용하는 것이 콘크리트 품질 확보에 보다 효과적일 것으로 판단된다.

## References

ACI 211.1-91. (2002). Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete, ACI Committee 211.

ASTM C 33. (2016). Standard Specification for Concrete Aggregate, ASTM International.

Hong, S.G., Choi, Y.W., Jang, H.S., Lee, Y.J. (2011). Following Policy Implication and The Major Issues for Nuclear Energy After Fukushima Accident, Science and Technology Policy Institute, 1-223 [in Korean].

KICT(Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology),

KCI(Korea Concrete Institute) (2005). Development of Technology to Improve the Quality of Concrete Using Substitute Aggregates, Construction & Transportation R&D Report, KAIA (Korea Agency for Infrastructure Technology Advancement), MOLIT(Ministry of Land, Infrastructure and Transport), 1-492 [in Korean].

Lee, D.H., Lee, S.B., Choi, J.M., Kim, B.H., Park, C.S., Jun, Y.S., Kim, J.B. (1996). Utilization of the Crush Sand as Fine Aggregate for Concrete, Korea Land & Housing Corporation, [in Korean].

Lee, S.B., Lee, D.H., Ji, N.Y. (2003). Investigation on properties of concrete with crushed sand on site, Journal of the Korea Institute of Building Construction, **3(3)**, 107-112 [in Korean].

MOTIE(Ministry of Trade, Industry and Energy) (2014). 2nd Korea Energy Master Plan, 1-146 [in Korean].

### 부순모래 사용에 따른 원전 구조물용 콘크리트의 기초적 특성

본 연구에서는 원전 구조물용 콘크리트의 잔골재로 부순모래를 사용하기 위한 연구의 일환으로 기존의 부순모래 생산공정에서 임팩트크러셔(Impact crusher)의 성능(회전수)을 높여 입형을 개선하고 ASTM C 33에 적합하도록 입도를 조정된 부순모래의 입형 및 입도 특성을 검토하였으며, 강모래에 대한 치환률에 따라 콘크리트를 제조하여 콘크리트 배합 특성, 굳지 않은 콘크리트 특성 및 경화한 콘크리트 특성을 검토하였다. 실험결과, 대부분의 콘크리트 특성이 강모래만을 사용한 콘크리트와 동등한 수준으로 나타났지만, 강모래에 대한 치환률 50% 이상일 경우, 치환률 증가에 따라 허용 범위 내에서 공기량, 압축강도 및 인장강도는 다소 감소되는 것으로 나타났다.