

## 폐유리를 잔골재로 사용한 차폐체움재의 내구성 개선을 위한 혼화재료의 성능평가

황병일<sup>1</sup>, 김효정<sup>1</sup>, 송용순<sup>2</sup>, 이성태<sup>3\*</sup>

### Performance Evaluation of Admixture for Durability Improvement of Shielding Materials Used Waste Glass as Fine Aggregate

Byoung-Il Hwang<sup>1</sup>, Hyo-Jung Kim<sup>1</sup>, Yong-Soon Song<sup>2</sup>, Seong-Tae Yi<sup>3\*</sup>

**Abstract:** Compared to the development and manufacturing technology of electronic goods, the development of waste glass recycling technology is relatively insufficient, leading to the acceleration of waste of resources and environmental pollution. Although waste glass recycling technology is being actively developed overseas, waste glass recycling technology is insufficient in Korea, leading to the illegal dumping or burial of waste glass. Waste glass has been confirmed to have pozzolan reaction potential when having hydration reaction with cement. Waste glass is also reported to be effective in reducing bleeding and inhibiting the development of hydration heat by improving the physical properties of concrete and the rheology properties of fresh concrete. Therefore, this paper analyzed the strength characteristics and the effect of alkalic-silica reaction on the expansion of shielding concrete that used waste glass as fine aggregate. Where, suitable admixture materials were used as a measure to suppress the expansion.

**Keywords:** Waste glass, Shielding materials, Durability, Admixture materials

## 1. 서 론

인류문명의 발전과 더불어 성장된 전자산업은 다양한 전자제품을 양산하고 있으며, 산업기술의 발전으로 인해 전자제품의 교체 주기가 가속화되면서 폐유리(waste glass, WG)의 발생량이 함께 증가하고 있다. 그러나 전자제품의 개발과 생산기술에 비교하여 폐유리의 재활용을 위한 기술개발은 상대적으로 미흡하여 자원낭비와 환경오염을 가속화시키고 있다. 폐유리를 재활용하는 방법으로 국외의 경우는 알코올음료, 청량음료 등의 병류는 대부분 공병으로 회수하여 세정한 후 재이용하는 병회수방식이 정착되어 있고 깨진 병, 약품병 등은 파쇄 및 용융시켜 재사용하거나 도로포장재, 벽돌 및 블록의 원료, 유리식기류 및 조명에서의 유리 등으로 재활용하고 있다. 국내의 경우, 폐유리 병은 수집 1차 가공된 후 대부분이 신병 제조공장에서 원료로 재활용되고 있으나 사용량이 저조하고, 선진국에 비교해서 폐유리의 활용기술이 전반적으로 미흡한 실정이다. 그러므로 폐유리를 이용한 다양한 용도 제품의 실용화를 위한 기술개발이 절실히 요구되고 있다.

폐유리를 재활용하는 기존의 연구결과에서는 폐유리를 시멘트나 골재의 대체 재료로서 사용하거나 시멘트의 알칼리 성분과 유리의 실리카 성분이 혼합되어 발생하는 알칼리-실리카반응(alkali-silica reaction, ASR)에 대한 연구 및 콘크리트 혼화재료로서의 유리분말을 사용하는 연구(Seo et al., 2002)가 진행된 바 있다. 또한 Kim(2009)의 연구결과에 따르면 시멘트와의 수화반응시 포졸란 반응가능성이 있는 것으로 확인되어 경화 콘크리트의 물리적 성질을 향상시키고 굳지 않은 콘크리트의 레올로지 특성을 개선하여 블리딩의 저감, 수화열 발생의 억제 등에 효과적인 것으로 보고되고 있다. 또한, 포졸란 반응에 의해 내부 조직이 치밀해져 투수성이 낮아지므로 유해물질이 외부로부터 침입하는 것을 막아주어 내구성 향상에도 기여할 것으로 보고된 바 있다.

한편 원자력발전소의 구조물은 차폐 성능의 확보가 요구되나, 현재 차폐콘크리트의 이 성능은 콘크리트의 부재 두께로 결정하고 있으며, 부재의 두께를 감소시키기 위해 단위질량이 높은 중량콘크리트(2.5~4.0ton/m<sup>3</sup>)를 사용하고 있다(KCI, 2016). 중량콘크리트에 사용되는 골재에는 밀도가 3.0 g/cm<sup>3</sup> 이상인 자철석, 중정석 등이 있으나 국내 생산이 어려운 실정으로 전량 수입에 의존하고 있다(Choi et al., 2015). 또한 중량 골재의 수급이 불안정해지면서 차폐콘크리트에 일반 골재를 대체하여 사용하는 실정이다(Lee and Lim, 2012).

따라서 이 논문에서는 폐유리를 잔골재로 사용한 차폐용 체움재의 강도, 및 건조수축, 알칼리-실리카반응에 고로슬래

<sup>1</sup>정회원, (주)제이엔티아이엔씨 기술연구소 연구원

<sup>2</sup>정회원, (주)제이엔티아이엔씨 기술연구소 기술이사

<sup>3</sup>정회원, 인하공업전문대학 토목환경과 교수

\*Corresponding author: yist@inhac.ac.kr

Professor, Department of Civil and Environmental Engineering, Inha Technical College, Incheon, South Korea

•본 논문에 대한 토의를 2019년 3월 1일까지 학회로 보내주시면 2019년 5월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

그 미분말 및 플라이애시, 수축저감제, 팽창제 혼화재료가 미치는 영향을 파악하고 이 폐유리를 경제적이며 환경 친화적인 차폐용 채움재로서 활용하기 위한 기초 자료를 제시하고자 한다.

## 2. 실험계획 및 방법

### 2.1 실험계획

폐유리를 사용한 차폐재의 내구성 개선을 위해 사용한 혼화재료의 성능평가를 검토하기 위한 실험계획과 배합설계를 Table 1에 나타내었다. 차폐용 채움재의 배합은 콘크리트 용적 1m<sup>3</sup>에서 굵은골재를 사용하지 않은 모르타르 배합으로 하였으며, 물-결합재비는 예비실험에서 40~50MPa의 강도를 낼 수 있는 35%로 고정하였으며, 폐유리 사용시 알칼리-실리카 반응 억제 등 차폐재의 내구성 개선을 위해 고로슬래그 미분말을 시멘트에 대한 중량비로 30%를, 그리고 플라이애시는 20%를 대체하였다. 또한, 본 논문에서 사용한 혼화재료 중 글로클즈계 액상 혼화제인 수축저감제는 선행연구에서 도출한 결과를 바탕으로 결합재의 중량비로 1%를 첨가하였으며 CSA계 분말형 혼화제인 팽창제는 결합재의 중량비로 3%와 7%를 잔골재 대체재로 첨가하였다. 실험변수로는 밀도, 재령 3일, 7일, 28일에서의 압축강도 및 건조수축에 따른 길이변화 및 알칼리-실리카반응으로 하였다.

### 2.2 사용재료

#### 2.2.1 결합재

본 연구에서 사용한 결합재의 물리적 특성과 화학적 성분은 Table 2에 나타내었다. 여기서 시멘트는 밀도 3.15 g/cm<sup>3</sup>, 분말도 3,350 cm<sup>2</sup>/g인 보통 포틀랜드 시멘트(OPC)를 사용하였고 고로슬래그(BFS)는 밀도 2.95g/cm<sup>2</sup>, 분말도 6,300cm<sup>2</sup>/g인 국내 Y사의 2종을 사용하였으며 플라이애시(FA)는 밀도 2.20g/cm<sup>3</sup>, 분말도 3,200cm<sup>2</sup>/g인 국내 Y사의 2종을 사용하였다.

#### 2.2.2 폐유리

폐유리는 페 브라운관 후면부에서 발취하였으며 브라운관 제조사에 따라서 중금속 함유량에는 차이가 있었으나, 폐유리를 구성하는 성분에는 큰 차이가 없었다. 폐유리의 물리적 특성과 화학적 성분은 Table 3에 나타낸 바와 같이 조크리셔로 분쇄 후 5mm체를 통과한 폐유리로 밀도 3.0g/cm<sup>3</sup>, 조립률(F.M) 3.23이며 Fig. 1과 같이 KS F 2502(굵은골재 및 잔골재의 체가름 시험방법) 입도분포 곡선내 분포하는 것을 사용하였다.

#### 2.2.3 잔골재

본 논문에서 품질 기준용 일반 잔골재는 KS L 679에서 품질을 규정하고 있는 ISO 표준사를 사용하였다.

#### 2.2.4 혼화재료

본 연구에서는 건조수축의 영향을 줄이기 위해 글로클즈계 액상 혼화제를 수축저감제(SR)로 사용하였다(Table 4). 수축

Table 1 Experimental plan and mix design

Mix type	Content of waste glass (%)	Unit weight (kg/m <sup>3</sup> )						AD (%)		
		Water	Binder			Sand	WG	SR	EX	
			Cement	BFS	FA					
AD <sup>1)</sup> 0%	0	178	509	-	-	1555	-	-	-	
	0		357	152	-	1555	-	-	-	
	0		407	-	102	1555	-	-	-	
	100		509	-	-	-	1830	-	-	
	100		357	152	-	-	1830	-	-	
	100		407	-	102	-	1830	-	-	
SR <sup>2)</sup> 1%	100		509	-	-	-	1830	1	-	
	100		357	152	-	-	1830		-	
	100		407	-	102	-	1830		-	
EX <sup>3)</sup>	3%		100	509	-	-	-	1815	-	3
			100	357	152	-	-	1815		
			100	407	-	102	-	1815		
	7%	100	509	-	-	-	1794	-	7	
		100	357	152	-	-	1794			
		100	407	-	102	-	1794			

<sup>1)</sup> AD : Admixture, <sup>2)</sup> SR : Shrinkage reducing, <sup>3)</sup> EX : Expansive

**Table 2** Physical properties and chemical composition of binder

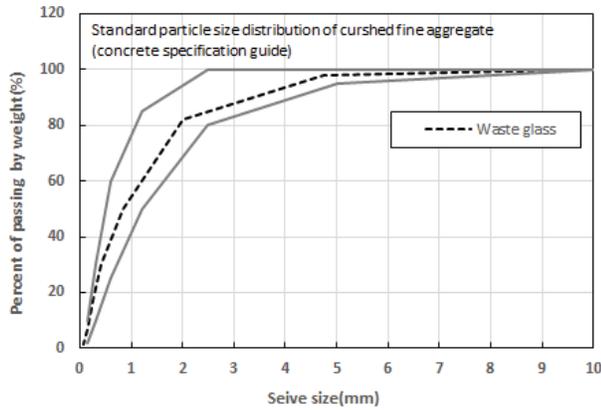
Type of binder	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Fineness (cm <sup>2</sup> /g)	Chemical composition (%)						
			SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	LOI
OPC <sup>1)</sup>	3.15	3,350	21.7	5.7	3.2	63.1	2.8	2.2	1.30
BFS <sup>2)</sup>	2.95	6,300	33.54	15.22	0.51	43.88	2.62	2.54	0.01
FA <sup>3)</sup>	2.20	3,200	51.74	21.47	3.16	1.10	-	-	2.56

<sup>1)</sup> OPC: Ordinary portland cement, <sup>2)</sup> BFS: Blast furnace slag, <sup>3)</sup> FA: Fly ash

**Table 3** Physical properties and chemical composition of waste glass

Type	Density (g/cm <sup>3</sup> )	F.M	Chemical composition (%)				
			SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO
WG <sup>1)</sup>	3.0	3.23	60.5	1.9	19.6	10.0	8.0

<sup>1)</sup> WG: Waste glass



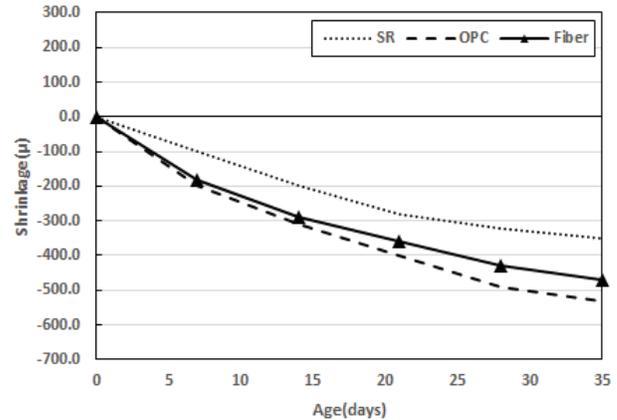
**Fig. 1** Particle size distribution curve (waste glass)

저감제는 1980년대 개발되어 실용화된 유기계의 혼화제로서 시멘트 경화체 중, 공극수의 표면장력을 지속적으로 낮게 억제하는 기능으로 인하여 시멘트계 재료의 수축을 저감하는 혼화제료이다. 비이온 계면활성제인 수축저감제는 시멘트 페이스트 내부 공극수의 표면장력을 낮게 하여 인장응력을 완화시킨다. 따라서, 공극수의 점도를 증가시키게 되어 유해물이 시편 내 침투하는 것을 억제하고 외부로 증발되는 수분양을 감소시켜 조기 건조수축과 소성수축을 저감시킨다(Han et al., 2016). 한편, 수축저감제를 첨가할 경우 모세관수의 표면장력을 30~45mN/m까지 감소시켜 건조수축을 줄일 수 있다는 보고도 있다. 본 연구에서 사용한 수축저감제는 선행연구에서 검토한 수축저감제이며 Fig. 2에 나타난 바와 같이 수축저감능이 상대적으로 우수한 것을 확인하였다.

본 연구에서 사용한 팽창제는 Table 5에 나타난 바와 같이 CSA(Calcium sulfo aluminat)계 분말 팽창제(EX)로서 석회, 석고, 보크사이트를 주성분으로 하는 소성화합물을 적당한 입도분포를 가지도록 분쇄하여 제조한 제품으로 Fig. 3에서와 같이 각 구성광물의 조성비에 따라 생성되는 에트링가이트의 수화형태에 의해 급결 및 급경, 고강도, 팽창성능의 역할로 구분되고 있다. 팽창제는 콘크리트 배합에 적용시 사용 목

**Table 4** Chemical composition of shrinkage reducing

Density (g/cm <sup>3</sup> )	Solid	Type	surface tension (dyn/mm), 20°C	pH
0.98	71.8%	Liquefied	335	6±1



**Fig. 2** Shrinkage reducer used in this study

적에 따라 시멘트 및 잔골재에 대하여 중량비로 치환하여 사용하며, 일부 연구(Han et al., 2004)에서는 팽창제의 사용이 많을수록 수축을 보상하는 능력은 증가하지만 그에 따르는 역효과 또한 발생한다고 보고된 바 있다. 팽창제를 3~6% 정도 사용하였을 경우에는 팽창제를 사용하지 않은 경우와 재령 7일까지의 압축강도를 비교했을 때 압축강도가 저하된다고 알려져 있으며, 이후 재령 28일에는 수축에 대한 보상으로 인해 다시 원래 강도를 회복한다고 알려져 있다. 또한, 사용량이 많을 경우, 초기에 과도하게 팽창하여 결국 스스로 파괴되는 자기파괴 현상을 일으켜 압축강도와 함께 오히려 내구성에 악영향을 미치게 된다고 한다. 기존 연구결과(Han et al., 2007)에 의하면, 적정 사용량은 5%정도로 제시된 바 있다. 본 연구에서는 페유리와 팽창제를 사용하였을 경우의 내구성을 검토하고자 팽창제를 분체의 질량비 3%와 7%를 잔골재로 대체 사용하여 진행하였다.

## 2.3 시험방법

### 2.3.1 밀도

폐유리를 사용한 차폐체용재의 밀도변화를 측정하기 위하여 KS L 5105 「수경성 시멘트 모르타르의 압축강도 시험방법」에 따라 50mm의 모르타르 입방체를 제작하였다. 실험체는 온도 20±1℃에서 28일간 수중양생을 실시하였으며 자체 중량 측정 후 면적으로 나누어 밀도를 구하였다.

### 2.3.2 압축강도

폐유리와 혼화재료를 사용했을 경우의 내구성 검토를 위해 압축강도를 측정하였다. 시험체로는 KSL 5105 「수경성 시멘트 모르타르의 압축강도 시험방법」에 따라 50mm의 모르타르 입방체를 3개씩 제작하였으며, 온도 20±1℃에서 수중양생 후 재령 3일, 7일 및 28일에 압축강도 시험을 실시하였다.

### 2.3.3 건조수축 길이변화

차폐체용재의 건조수축에 따른 길이변화를 검토하기 위해 KS F 2424 「모르타르 및 콘크리트 길이변화 시험방법」기준에 의하여 40×40×160mm의 모르타르 각주 시험체를 2개씩 제작하였으며, 온도 20±1℃에서 재령 7일간 수중양생을 수행한 후, 1일간 기건양생 실시 후 이로부터 7일 간격으로 버니어 캘리퍼스를 이용하여 길이변화를 측정하였다.

### 2.3.4 알칼리-실리카반응(ASR)

유리질 재료의 혼입으로 인해 발생하는 알칼리-실리카반응(ASR)에 의한 팽창성을 확인하기 위해, ASTM C 1260 「Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Aggregates」 기준에 따라 25×25×285mm 크기의 시험체를 제작하였다. 시편은 제작 후 1일 동안 온도 20±1℃의 항온항습에서 양생한 후 탈형하여, 물로 채운 밀폐 용기의 80℃가 유지되는 항온에서 1일간 수중양

생을 하였다. 수중양생 후 시편을 건조하여 15초 이내에 다이얼 게이지 측정기를 이용하여 영점을 측정하였다. 영점이 측정된 시편은 1N의 NaOH 용액이 담긴 밀폐 용기에 넣어 다시 80℃가 유지되는 항온에 보관하면서 침지 2일, 4일, 7일 및 14일에 알칼리-실리카반응을 측정하였다.

## 3. 시험결과 및 분석

### 3.1 밀도

폐유리의 사용에 따른 차폐체의 밀도 측정결과를 Fig. 4에 나타내었다. 측정결과, 혼화재료가 전혀 첨가되지 않고 폐유리도 사용되지 않은 시험체는 밀도가 2.16t/m<sup>3</sup>으로 측정되었으며 폐유리를 100% 사용한 시험체는 2.35t/m<sup>3</sup>으로 측정되었다. 수축저감제를 사용하고 폐유리를 사용하지 않은 시험체는 2.20t/m<sup>3</sup>으로 측정되었으며 폐유리를 100% 사용한 시험체는 2.38t/m<sup>3</sup>으로 측정되었다. 팽창재를 3% 사용하고 폐유리를 사용하지 않은 시험체는 2.18t/m<sup>3</sup>으로 측정되었으며 폐유리를 100% 사용한 시험체는 2.39t/m<sup>3</sup>으로 측정되었다. 팽창재를 7% 사용하고 폐유리를 사용하지 않은 시험체는 2.20t/m<sup>3</sup>으로 측정되었으며 폐유리를 100% 사용한 시험체는 2.40t/m<sup>3</sup>으로 측정되어 혼화재료의 종류와 투입량에 상관없이 폐유리의 사용량이 증가하였을 때 밀도는 증가하는 것으로 나타났다.

### 3.2 압축강도

폐유리를 사용하고 수축저감제와 CSA계 팽창재를 사용하지 않은 차폐체의 압축강도 발현비에 대한 측정결과를 Fig. 5에 나타내었다. 이 논문에서 압축강도 발현비의 기준 Plain은 결합재로 OPC를 사용하고 폐유리를 사용하지 않은 차폐체를 나타내고 이 Plain의 3일, 7일 및 28일에서의 압축강도는 각각

Table 5 Chemical composition of expansive admixture

Chemical composition (%)					
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	F-CaO
3.8	18.66	13.55	51.35	0.56	16.02

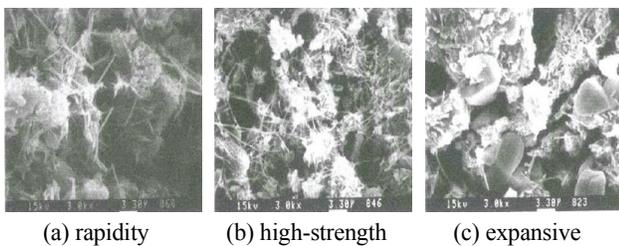


Fig. 3 Ettringite formation timing and crystal form

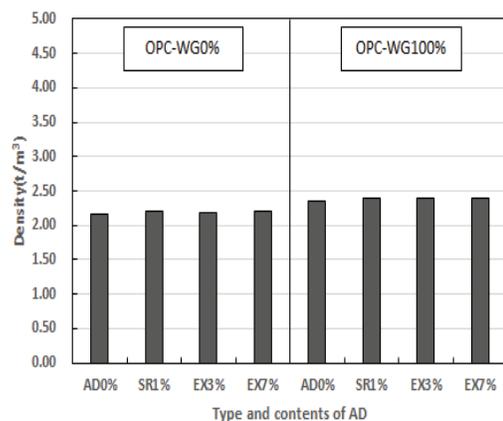


Fig. 4 Density with AD type and contents

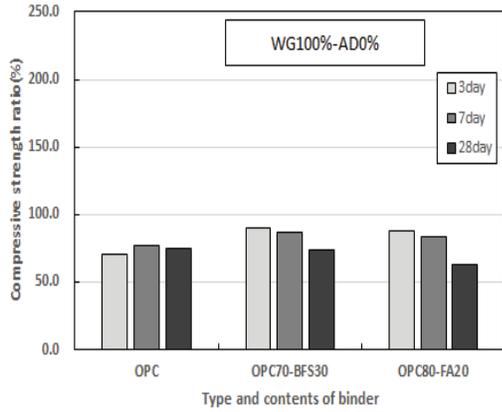


Fig. 5 Compressive strength ratio with binder type and contents (WG100%-AD0%)

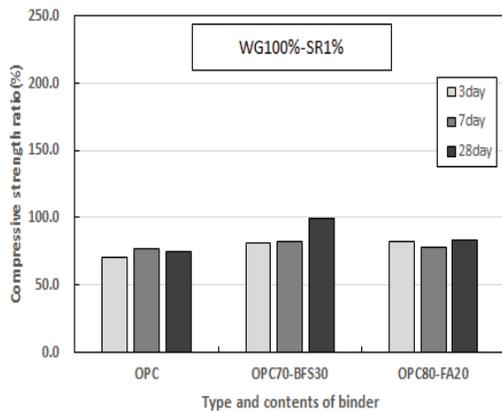


Fig. 6 Compressive strength ratio with binder type and contents (WG100%-SR1%)

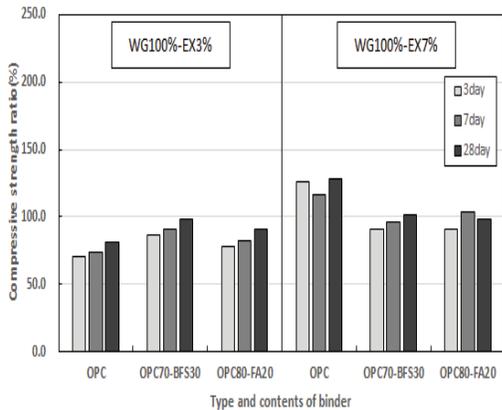


Fig. 7 Compressive strength ratio with binder type and contents (WG100%-EX3, 7%)

31, 37 및 43MPa였다. 강도를 측정된 결과, 결합재를 BFS 30% 및 FA 20%를 사용하고 폐유리를 사용한 차폐재의 재령 3일 및 7일에서의 압축강도 발현비는 OPC와 비교하여 상대

적으로 우수한 것으로 나타났다. 그러나 재령 28일 압축강도 발현비는 OPC와 비교하여 상대적으로 낮게 측정되었다. 즉, 폐유리를 사용한 차폐재의 28일 압축강도 발현비는 Plain과 비교하여 결합재로 OPC를 사용한 차폐재에서 24%, BFS 30%에서 26%, FA 20%에서 36% 낮게 측정되어 폐유리를 사용할 경우 압축강도 발현비는 감소하는 것으로 나타났다. 이는 기존 연구결과(Lee and Lim, 2012; Kim et al., 2016)에서 보고한 바와 같이 폐유리 분말이 시멘트 페이스트 사이의 부착강도를 저하시킨 것으로 판단된다.

수축저감제를 사용하고 폐유리를 사용한 차폐재의 압축강도 발현비에 대한 측정결과를 Fig. 6에 나타내었다. 그 결과, 결합재를 BFS 30% 및 FA 20%를 사용하고 폐유리를 사용한 차폐재의 재령 3일 및 7일 압축강도 발현비는 OPC와 비교하여 다소 우수한 경향을 나타내었으며, 결합재로 BFS 30%를 사용한 차폐재의 재령 28일 압축강도 발현비는 Plain과 유사하게 나타났다. 수축저감제를 사용한 차폐재의 28일 압축강도 발현비는 Plain과 비교하여 결합재를 OPC로 사용한 차폐재에서 24%, BFS 30%에서 1%, FA 20%에서 16% 낮게 측정되었다.

CSA계 팽창재와 폐유리를 사용한 차폐재의 압축강도 발현비에 대한 측정결과를 Fig 7에 나타내었다. 측정결과, CSA계 팽창재를 3% 사용한 차폐재의 28일 압축강도 발현비는 Plain과 비교하여 결합재로 BFS 30%를 사용한 차폐재가 가장 유사하게 나타났다. CSA계 팽창재를 7% 사용한 차폐재의 28일 압축강도 발현비는 Plain에 가장 유사한 강도를 확보하는 것으로 나타났다. 따라서, 폐유리를 사용한 차폐재의 압축강도 발현비는 혼화재료를 사용하지 않은 Fig. 5와 비교하여 CSA계 팽창재를 적용함으로써 압축강도 발현비가 개선됨을 확인할 수 있었다. 이는 미세한 침상의 에트링가이트가 생성되면서 팽창되어 경화체의 조직을 치밀하게 함으로써 압축강도가 증진된 것으로 판단된다(Koh et al., 2006).

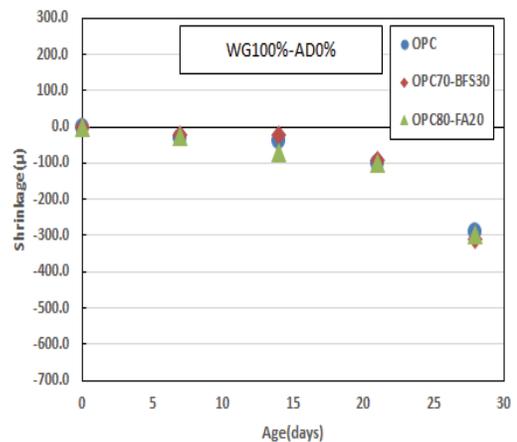


Fig. 8 Shrinkage with age (Non AD)

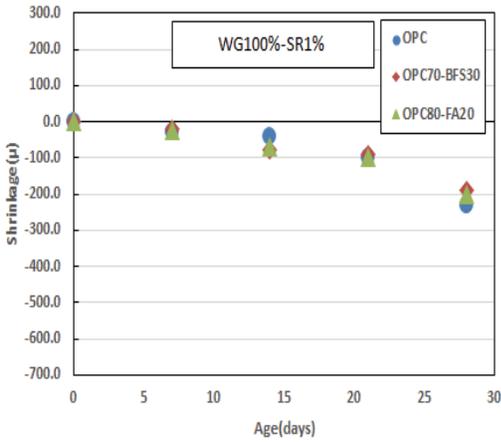


Fig. 9 Shrinkage with age (SR1%)

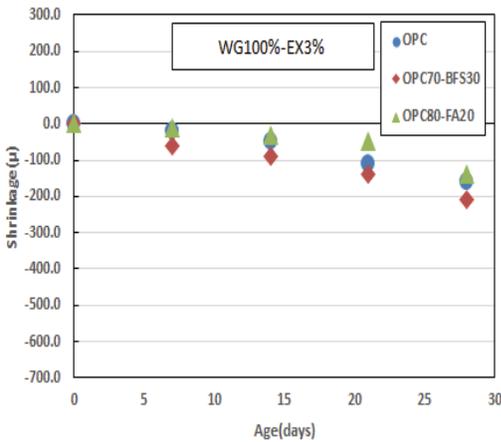


Fig. 10 Shrinkage with age (EX3%)

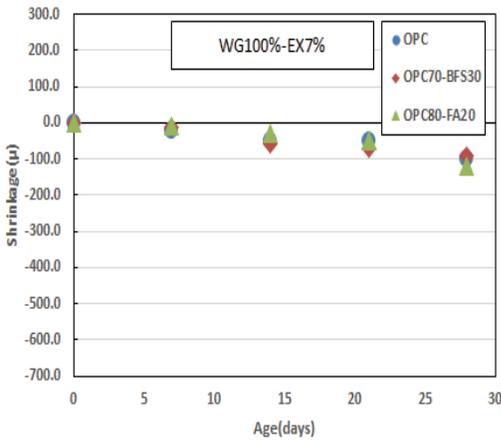


Fig. 11 Shrinkage with age (EX7%)

### 3.3 건조수축

혼화재료를 사용하지 않은 차폐재의 건조수축에 따른 길이 변화의 측정결과를 Fig. 8에 나타내었다. 이 논문에서 Plain은

폐유리를 사용하고 혼화재료를 사용하지 않은 차폐재를 의미한다. 혼화재료를 사용하지 않은 차폐재의 건조수축은 재령 7일부터 상대적으로 급격하게 발생하는 것으로 나타났다.

수축저감제를 사용한 차폐재의 건조수축으로 인한 길이 변화의 측정결과를 Fig. 9에 나타내었다. 수축저감제를 사용한 시험체는 Plain (Fig. 8)과 비교하여 건조수축이 상대적으로 적게 발생하는 것으로 나타났다. 이는 기존 연구결과(Han et al., 2016)에서 보고된 바와 같이 매트릭스내 모세관 공극수의 표면장력 저하에 따라 계면특성이 개선되었기 때문으로 판단된다.

CSA계 팽창제를 사용한 차폐재의 건조수축으로 인한 길이 변화의 측정결과를 Fig. 10 및 Fig. 11에 나타내었다. CSA계 팽창제 사용량이 증가할수록 차폐재의 건조수축률은 감소하는 경향을 보였으며, CSA계 팽창제를 7% 사용한 경우 건조수축률이 약 150μ이하로 건조수축 저감효과 가장 큰 것으로 나타났다. 이는 팽창성 물질인 미세한 결정의 에트링가이트가 미세공극을 충전하면서 수축을 보상하기 때문으로 판단된다(Koh et al., 2006).

### 3.4 알칼리-실리카반응

폐유리를 사용하고 혼화재료를 사용하지 않은 차폐재의 알칼리-실리카반응에 따른 길이 변화의 측정결과를 Fig. 12에 나타내었다. 결합재로 보통 포틀랜드 시멘트를 사용한 시험체에서는 알칼리-실리카반응으로 인해 재령 4일까지는 팽창률이 0.2% 미만으로 측정되었으나 재령 7일 이후부터 팽창률이 증가하여 재령 14일에서는 ASTM C 1260에서 규정하고 있는 0.2% 이상인 0.5%로 나타나 알칼리-실리카반응으로 인해 유해한 것으로 판정되었다. 그러나, 결합재로 고로슬래그와 플라이애시를 사용한 시험체의 경우 재령 14일에서도 팽창률 0.1%이하로 나타나 폐유리를 사용하더라도 알칼리-실리카반응을 억제할 수 있는 것으로 판정되었다.

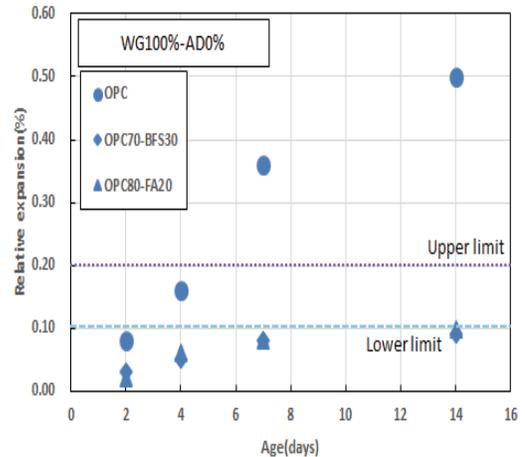


Fig. 12 ASR with age (Non AD)

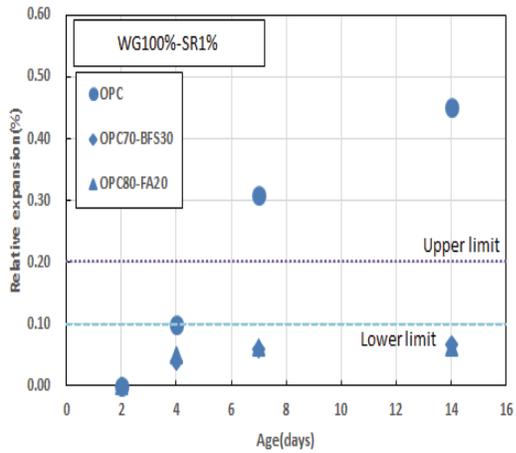


Fig. 13 ASR with age (SR1%)

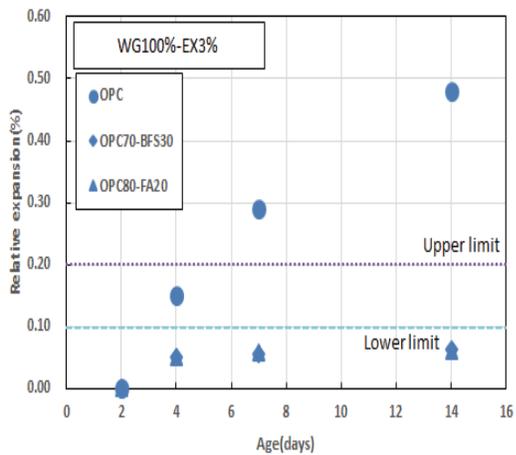


Fig. 14 ASR with age (EX3%)

폐유리와 수축저감제를 사용한 차폐재의 알칼리-실리카반응에 의한 길이변화는 Fig. 13과 같다. 수축저감제를 사용하지 않은 시험체의 경우인 Plain (Fig. 12)과 비교하여 유사한 경향을 나타내고 있어 수축저감제를 단독 사용하는 경우 알칼리-실리카반응을 억제하는 데는 효과가 없는 것으로 나타났다.

폐유리와 CSA계 팽창재를 사용한 차폐재의 알칼리-실리카반응으로 인한 길이변화를 Fig. 14 및 Fig. 15에 나타내었다. 이 경우의 길이변화는 수축저감제에서와 유사한 경향을 보였으며, 고로슬래그와 플라이애시를 사용하지 않고 CSA계 팽창재를 단독 사용한 경우는 CSA계 팽창재의 사용량에 상관없이 재령 14일부터 0.2% 이상 팽창하여 알칼리-실리카반응의 억제 효과가 없는 것으로 파악되었다. 즉, 수축저감제나 CSA계 팽창제만을 사용한 경우는 알칼리-실리카반응의 억제를 위한 알칼리 수화물의 저감 또는 폐유리내 반응성 실리카반응의 억제 효과가 없는 것으로 판단되며, 이 연구에서와 같이 고로슬래그 미분말 또는 플라이애시를 대체하여 사용하는 것이 시멘트내 알칼리 함량을 저감 및 알칼리-실리카반응

성 수화물을 저감하는 것으로 나타나 알칼리-실리카반응의 저감에 가장 양호한 방안으로 사료된다.

## 4. 결론

본 논문에서는 폐유리를 잔골재로 사용한 차폐콘크리트가 ASR에 의한 팽창에 미치는 영향과 강도특성을 평가하고 폐유리의 혼입에 의한 ASR의 팽창을 억제하기 위한 방안으로 적정 혼화재료를 선택한 후, 이 혼화재료의 성능평가를 실시하였다. 그 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 밀도는 폐유리의 사용량이 증가할수록 높아지는 경향을 나타내었으며, 혼화재료의 사용 유·무, 종류 및 사용량에 따른 변화는 거의 없는 것으로 나타났다.
- 2) 압축강도는 폐유리의 사용량이 증가하였을 때 낮아지는 경향을 나타내었으며 이는 폐유리와의 부차강도 저하 등에 의한 것으로 판단되었다. 그러나 CSA계 팽창재를 7% 사용하고 폐유리를 사용한 차폐재의 압축강도는 일반 잔골재를 사용한 차폐재와 유사한 압축강도를 나타내었다.
- 3) 건조수축 길이변화는 CSA계 팽창재 7%를 사용했을 때 약 150 $\mu$ 이내의 건조수축으로 나타나 수축 저감효과가 가장 큰 것으로 판단되었다.
- 4) 알칼리-실리카반응의 측정결과, 폐유리 사용 시 알칼리-실리카반응이 있는 것으로 확인되었으며 고로슬래그 미분말 및 플라이애시의 사용에 의해 알칼리-실리카반응의 억제 효과가 있는 것으로 나타났다. 또한, 수축저감제 및 CSA계 팽창재의 단독사용은 알칼리-실리카반응에 영향을 미치는 않는 것으로 나타났다.

## 감사의 글

이 연구는 국토교통부 국토교통기술촉진연구사업의 연구비 지원(18CTAP-C129756-02)에 의해 수행되었습니다.

## References

1. Seo, D. H., Jung, G. H., Kim, W. J., Lee, Y. D., Im, N. K. and Jung, S. J. (2002), An Experimental Study on Development of Concrete Products using Powdered Waste Glasses, *Journal of the architectural institute of Korea: Structure & construction*, 18(12), 75-82 (in Korean).

2. Kim, Y. S. (2009), Magnesium Sulfate Resistance of Concrete Containing Waste Glass, *Journal of Korea Institute of Building Construction*, 9(3), 109-116 (in Korean).
3. Korea Concrete Institute (2016), Standard Specification Reinforced Concrete Work, Korea Concrete Institute (in Korean).
4. Lee, H. S. and Lim, H. S. (2012), Development of Radiation Shielding Concrete Utilizing Electronic Arc Furnace Oxidizing Slag, *Journal of Architectural Institute of Korea*, 56(8), 53-60 (in Korean).
5. Kim, T. H., Lee, S. H., Lee, S. S. and Song, H. Y. (2016) Properties of Non-cement Artificial Stone Utilizing the Waste Porcelain and Waste Glass, *Journal of the Korean Recycled Construction Resources Institute*, 4(2), 136-142 (in Korean).
6. Han, S. J., Jang, S. J., Khil, B. S., Choi, M. J. and Yun., H. D. (2016), Effects of Shrinkage Reducing Agent (SRA) Type and Content on Mechanical Properties of Strain Hardening Cement Composite (SHCC), *Journal of the Korea Concrete Institute*, 28(1), 61-48 (in Korean).
7. Koh, K. T., Park, J. J., Ryu, G. S. and Kang, S. T. (2006), Shrinkage Properties of High Performance Concrete Used Expansive Additive and Shrinkage Reducing Agent, *Journal of the Korean Society of Civil Engineers A*, 26(4A), 787-797 (in Korean).
8. Choi, Y. S., Won, M. S. and Yang, E. I. (2015), Evaluation on the Applicability of Heavy Weight Waste Glass as Fine Aggregate of Shielding Concrete, *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*, 19(4), 101-108 (in Korean).
9. Han, M. C., Yoon, S., Kim, K. M., Yoon, G. W., Choi, Y. H. and Han, C. G. (2004), Engineering Properties of Cement Mortar with the Contents of Liquid Type Expansive Additives, *Journal of the architectural institute of Korea: Structure & construction*, 24(2), 447-450 (in Korean).
10. Ismail, Z. Z. and AL-Hashmi, E. A. (2009), Recycling of Waste Glass as a Partial Replacement for Fine Aggregate in Concrete, *Waste Management*, 29(2), 655-659.
11. Han, D. Y. (2007), Effect of expansive admixture and shrinkage reducing agent on the properties of ultra high performance concrete, Master's dissertaion, Seoul, Seoul University, Department of construction (in Korean).

Received : 10/15/2018

Revised : 10/29/2018

Accepted : 11/13/2018

---

**요 지 :** 건전자제품의 개발과 생산기술에 비교하여 폐유리의 재활용을 위한 기술개발은 상대적으로 미흡하여 자원낭비와 환경오염이 가속화되고 있다. 해외에서는 이 분야에 대한 기술개발이 활발하게 이루어지고 있으나 국내의 경우, 그 관심도가 부족하여 폐유리를 불법투기 또는 매립으로 처리하고 있는 실정이다. 폐유리는 시멘트와 수화반응시 포졸란 반응가능성이 있는 것으로 확인되어 경화 콘크리트의 물리적 성질을 향상시키고 굳지 않은 콘크리트의 레올로지 특성을 개선하여 블리딩의 저감 및 수화열 발생의 억제 등에 효과적인 것으로 보고되고 있다. 따라서 본 논문에서는 폐유리를 잔골재로 사용한 차폐콘크리트의 알칼리-실리카반응이 팽창에 미치는 영향을 분석하고 폐유리 혼입에 의한 알칼리-실리카반응의 팽창을 억제하기 위한 방안으로 적정 혼화재료를 사용하여 차폐콘크리트의 내구성능을 평가하였다.

**핵심용어 :** 폐유리, 차폐채움재, 내구성, 혼화재료

---