

# 폐유리 및 산업부산물을 혼입한 모르타르의 ASR에 관한 실험적 연구

## An Experimental Study on Alkali-Silica Reaction of Mortar Containing Waste Glass and By-products

이봉춘\*      권혁준\*      김정환\*      이준\*      박승범\*\*  
Lee, Bong Chun    Kwon, Hyuk Joon    Kim, Jeong Hwan    Lee, Jun    Park, Seung Bum

### ABSTRACT

Using waste glass in concrete can cause crack and strength loss by the expansion of alkali-silica reaction(ASR). In this study, ASR expansion and properties of strength were analyzed in terms of clear waste glass grading, and by-products(fly ash, blast-furnace slag) and by-products content for reduction ASR expansion due to waste glass.

In this accelerated ASTM C 1260 test of waste glass, pessimum grading can be found. Also, when the by-products are used with waste glass, there is an effect on reduction of expansion and strength loss due to ASR between the alkali in the cement paste and the silica in the waste glass.

### 1. 서 론

유리제품의 활용이 증대됨에 따라 폐유리의 발생량도 점차 증대되고 있다. 무색의 폐유리는 대부분 재활용되고 있으나 유색의 폐유리는 재활용률이 높지 않아 대부분 매립되고 있으나 매립지의 부족 등으로 단순 매립은 점차 어려운 실정에 있다. 또한, 폐유리는 미생물로 분해되지 않기 때문에 환경친화적인 측면에서 매립은 적합하지 않아 폐유리의 유효 재활용에 대한 관심이 증대되고 있다.<sup>(1,2)</sup>

최근 선진국가에서는 폐유리 재활용을 위한 과제로서 ASR의 억제와 폐유리 활용방안을 위한 많은 연구<sup>(4)</sup>들이 수행되고 있으나 국내에서는 아직 이에 대한 기초적 연구조차 이루어지고 있지 않은 실정에 있다. 따라서, 본 연구에서는 폐유리의 입도(2.5mm~0.074mm)에 따른 ASR의 팽창 특성을 비교·평가하였고 폐유리의 혼입에 의한 ASR의 팽창을 억제하기 위한 방안으로 산업부산물(플라이애시, 고로슬래그)을 혼입하여 ASR에 따른 팽창과 강도특성을 구명하였으며 폐유리의 유효활용을 위한 기초적 자료를 제시하고자 한다.

\* 정회원, 충남대학교 토목공학과 대학원

\*\* 정회원, 충남대학교 토목공학과 교수

## 2. 사용재료 및 실험방법

### 2.1 사용재료

#### (1) 시멘트 및 잔골재

본 실험에 사용된 시멘트는 비중 3.14의 국내 D사 제품의 보통 포틀랜드시멘트를 사용하였으며, 잔골재는 금강 상류에서 채취한 비중 2.65의 강모래를 사용하였다.

#### (2) 페유리

본 실험에 사용된 페유리는 유리병과 유리제품으로 광범위하게 사용되고 있는 무색의 soda-lime 계열 유리를 사용하였으며 화학적 조성은 다음 표 1와 같다.

표 1 페유리의 화학적 조성

성분 (%)	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O	CaO+MgO	SO <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
무색유리 (%)	73.04	1.81	13.94	10.75	0.22	0.04

#### (3) 플라이애시

본 실험에 사용된 플라이애시는 보령 화력발전소에서 부산된 유연탄 플라이애시를 사용하였고, 그 화학적 조성 및 물리적 특성은 표 2과 같다.

표 2 플라이애시의 화학적 조성 및 물리적 특성

화학적 조성 (%)								물리적 특성		
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	Ig. loss	Specific Gravity	Blaine's (cm <sup>2</sup> /g)	Particle size(mm)
65.3	25.50	4.25	1.20	0.98	0.21	1.03	3.63	2.1	3,124	4.2×10 <sup>-2</sup>

#### (4) 고로슬래그

본 실험에 사용된 고로슬래그는 국내 C사에서 생산되는 고로슬래그를 사용하였고, 그 화학적 조성 및 물리적 특성은 표 3과 같다.

표 3 고로슬래그의 화학적 조성 및 물리적 특성

화학적 조성 (%)								물리적 특성		
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	Ig. loss	Specific Gravity	Blaine's (cm <sup>2</sup> /g)	Particle size(mm)
35.20	15.90	0.46	42.21	5.85	0.12	0.11	0.05	2.83	3,000 ~ 4,000	1.0~1.6

### 2.2 페유리를 혼입한 모르타의 배합

무색 페유리의 입도별 모르타의 ASR 팽창과 무색페유리 20%와 산업부산물의 혼입에 따른 ASR 팽창 및 강도특성을 평가하기 위해서 페유리 입도별(2.5mm~0.074mm), 산업부산물의 종류(플라이애시, 고로슬래그), 산업부산물 혼입률(플라이애시 10~50%, 고로슬래그 10~50%)을 실험변수로 하여 표 4와 같은 배합을 선정하였다.

표 4 모르터의 배합

Mix No.	W/C	S/C (%)	Contents of WG(%)	Contents of FA(%)	Contents of GS(%)	C(g)	W(g)	S(g)	WG(g)	FA(g)	GS(g)
Plain	0.47	225	-	-	-	440	206.8	990	0	-	-
WG20			20	-	-			792	198	-	-
WG-FA10	0.47	225	20	10	-	396	206.8	792	198	44	-
WG-FA20				20	-	352				88	-
WG-FA30				30	-	308				132	-
WG-FA50				50	-	220				220	-
WG-GS10	0.47	225	20	-	10	396	206.8	792	198	-	44
WG-GS20				-	20	352				-	88
WG-GS30				-	30	308				-	132
WG-GS50				-	50	220				-	220

### 2.3 실험방법

#### (1) 알카리 실리카 반응성 시험

알카리 실리카 반응성 시험은 ASTM C 1260<sup>(5)</sup>에 준하여 모르터 바는 W/C 0.47과 S/C는 2.25로 각 배합당 3개씩의 시편을 제작하였다. 24시간 표준양생 후 80℃의 물에 24시간 동안 저장한 후 시료들은 80℃의 밀폐된 1 N NaOH수용액 안에 14일동안 저장하면서 길이변화를 측정하였다.

#### (2) 모르터 압축강도 시험

폐유리 및 산업부산물을 혼입한 시멘트 모르터의 압축강도시험은 KS L 5105 『시멘트 모르터의 압축강도 시험방법』에 준하여 5×5×5cm 몰드를 제작하여 ASTM C 1260의 시험조건과 같은 80℃ 1N NaOH 수용액과 80℃ H<sub>2</sub>O에 14일간 침지한 후 모르터의 압축강도를 측정하였다.

### 3. 실험결과

#### 3.1 폐유리 입도별 혼입에 따른 팽창특성

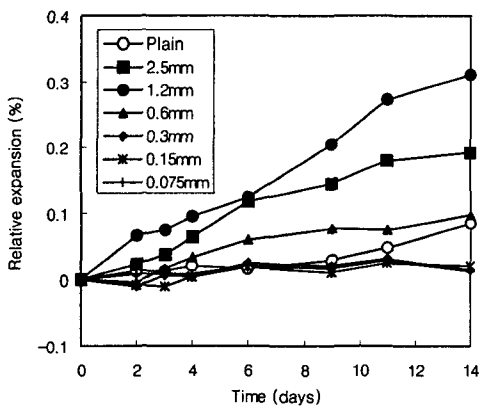


그림 1 폐유리 입도별 팽창이력곡선

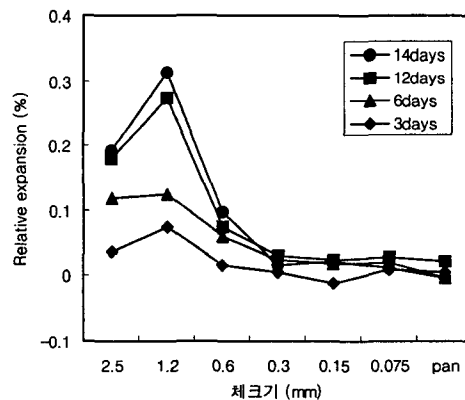


그림 2 폐유리 재령별 팽창이력곡선

ASTM C 1260에 준하여 측정된 폐유리의 입도(0.075mm~2.5mm)에 따른 팽창이력곡선은 그림 1과 같다. 폐유리를 혼입하지 않은 Plain과 비교하면 0.6mm이상의 입도를 갖는 폐유리를 사용한 경우에서 보다 높은 팽창량을 나타냈으며, 1.2mm의 입도에서 0.313%의 가장 높은 팽창률을 나타내었다. 또한, 0.6mm미만의 입도를 갖는 폐유리는 오히려 Plain보다 작은 팽창율이 나타났으며 ASTM C1260에서 규정하고 있는 0.1%의 팽창률 이하로 나타났다. 그림 2는 입도에 따른 재령별 팽창량을 나타낸 것으로 재령의 증가에 따라 전반적으로 팽창량은 증가하고 있으며 1.2mm의 입도를 갖는 폐유리의 경우가 가장 높은 팽창량을 나타내며 입도가 미세할수록 적은 팽창량을 나타내었다.

### 3.2 산업부산물 혼입에 따른 팽창특성

그림 3과 4는 1.2mm의 입도를 갖는 폐유리 혼입률 20%에 산업부산물(플라이애시, 고로슬래그)을 혼입한 경우의 팽창이력곡선이다. 이를 살펴보면 1.2mm 입도의 폐유리 만을 혼입한 경우의 팽창율에 비해 산업부산물의 혼입은 ASTM 1260에서 규정하고 있는 0.1%의 팽창률 이하의 양호한 팽창저감효과를 나타내고 있는 것으로 나타났다. 산업부산물의 동일 혼입량에서는 플라이애시를 혼입한 경우가 고로슬래그를 혼입한 경우보다 양호한 팽창저감효과가 나타내었으며 산업부산물의 혼입은 폐유리의 혼입에 따른 ASR에 의한 팽창의 저감에 효과적인 것으로 나타났다.

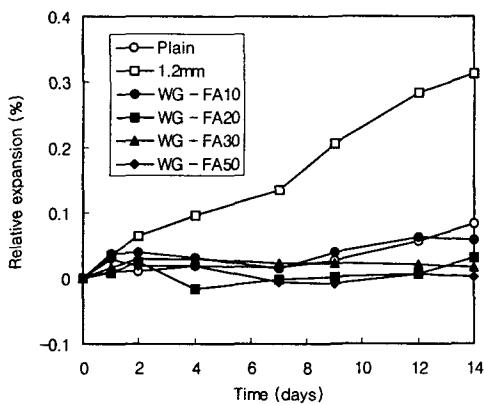


그림 3 플라이애시 혼입에 따른 팽창이력곡선

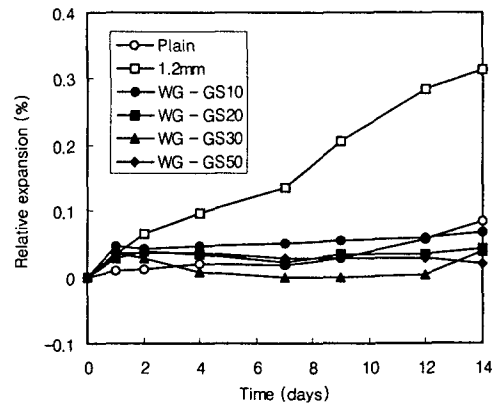


그림 4 고로슬래그 혼입에 따른 팽창이력곡선

### 3.3 산업부산물을 혼입한 모르터의 강도특성

그림 5~6은 플라이애시와 고로슬래그를 혼입한 모르터를 각각 80℃의 1N NaOH의 수용액과 80℃의 H<sub>2</sub>O용액에 14일간 침적한 후 압축강도를 나타내었다. 이를 살펴보면 1.2mm 입도의 폐유리 혼입률 20% 만을 혼입한 경우의 압축강도는 NaOH에 침적한 경우가 H<sub>2</sub>O에 침적한 경우보다 낮은 압축강도를 나타내었으며 플라이애시와 고로슬래그를 혼입한 경우에 비해서 낮은 압축강도를 나타내었다. 또한, NaOH에 플라이애시와 고로슬래그를 혼입한 모르터를 침적한 경우는 산업부산물을 혼입하지 않은 경우에 비해 각각 약85~147%, 약 87~115%의 강도증진효과를 나타내었으며 H<sub>2</sub>O에 침적한 경우보다 강도차이가 크게 나타나 폐유리의 혼입에 따른 강도저하는 산업부산물의 혼입에 의해 억제할 수 있는 것으로 나타났다.

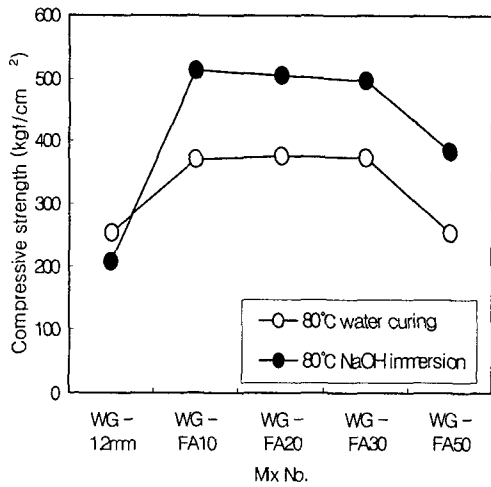


그림 5 플라이애시를 혼입한 모르터의 강도특성

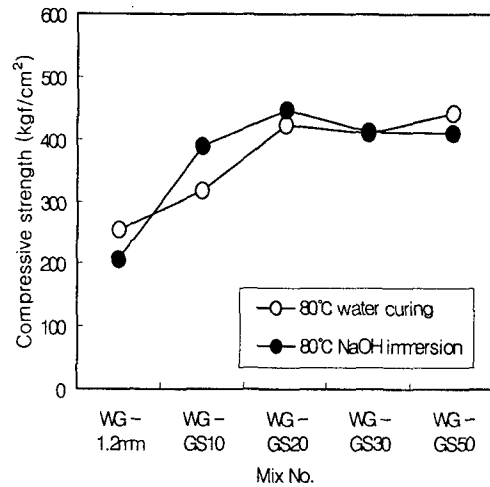


그림 6 고로슬래그를 혼입한 모르터의 강도특성

#### 4. 결 론

폐유리와 산업부산물을 혼입한 모르터의 알카리-실리카 반응에 의한 팽창특성과 모르터의 강도특성을 분석한 결과는 다음과 같다.

- (1) ASTM C1260에 준하여 폐유리의 입도별 ASR에 따른 팽창은 폐유리 입도 1.2mm의 경우가 가장 큰 팽창률을 나타내었으며 0.6mm미만의 입도를 갖는 폐유리의 경우 Plain보다 낮은 팽창율을 나타내었다.
- (2) 1.2mm의 입도를 갖는 폐유리 혼입률 20%에 산업부산물을 첨가한 경우의 팽창률은 산업부산물을 혼입하지 않은 경우에 비해 양호한 팽창저감효과를 나타내었으며 산업부산물의 혼입은 폐유리의 혼입에 따른 ASR에 의한 팽창의 저감에 효과적인 것으로 나타났다.
- (4) NaOH용액에 플라이애시와 고로슬래그를 혼입한 모르터를 침적할 경우 산업부산물을 혼입하지 않은 경우에 비해 각각 약 85~147%, 약 87~115%의 강도증진효과를 나타내어 폐유리의 혼입에 따른 강도저하는 산업부산물의 혼입에 의해 억제할 수 있는 것으로 나타났다.

#### 감사의 글

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(R01-2000-00372)지원으로 수행되었으며, 이에 깊은 감사를 드립니다.

#### 참 고 문 헌

1. Johnson, C. D. "Waste Glass as Coarse Aggregate for Concrete", Journal of Testing and Evaluation, Vol. 2, No. 5, 1974.
2. 大門正機 外 2人, "ガラス粉末の水和硬化性状-廢ガラスの建設素材としての基礎物性に関する研究", 旭硝子財團研究成果報告, 1995

3. 박승범 외 2인, “폐유리 골재를 혼입한 모르타의 알칼리 실리카 반응에 관한 연구”, 한국콘크리트학회 논문집, Vol.13, No.3, 2001. 6.
4. 四川直宏 外 2人, “ガラス粉末を用いたモルタルの強度特性, 第49回 セメント技術大會講演集”, 1995
5. ASTM C 1260-94 “Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Aggregates”. American Society for Testing and Materials, Philadelphia, PA, 1994.