

# 플라이애시와 폐유리 미분말을 혼합한 시멘트 ZERO 모르타르의 강도특성

## The Strength Characteristics of Cement ZERO Mortar Mixing Waste Glass Powder and Fly Ash as Binder

강 현 진\*      고 경 택\*\*      류 금 성\*      이 장 화\*\*      박 정 준\*  
Kang, Hyun Jin    Koh, Kyung Taek    Ryu, Gum Sung    Lee, Jang Hwa    Park Jung Jun

### ABSTRACT

Glass is often recycled. In order to recycle, glass is crushed and ground. During this process, glass powder is generated. Most of this scrap glass powder is disposed in landfills. The glass powder, consisting of 73% SiO<sub>2</sub> and 16% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, is richer in components necessary for polymerization than fly ash. In this study, the fluidity and compressive strength of cement zero mortar were investigated, where cement zero mortar was prepared by mixing 5~15% of glass powder with 100% fly ash mortar. Result of flow test concluded that workability was not affected by adding the powder. After aging for 28 days, the compressive strength increased by approximately 6% with 5% addition of scrap glass powder. With 10% addition, the strength remained the same. In case of 15% addition, the compressive strength decreased by approximately 6%. To summarize the results, 5~10% addition of scrap glass powder is considered to be most appropriate.

### 요 약

유리는 흔히 재활용되어 사용되는 것이 일반적이거나 유리를 재활용하기 위하여 파쇄 및 분쇄하는 과정에서 유리 미분말이 발생하게 된다. 이러한 폐유리 미분말은 대부분 매립에 의존하고 있으며, 구성 성분은 SiO<sub>2</sub>가 73%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 16%로 중합반응에 필요한 성분이 다량으로 포함되어 있어 플라이애시보다 중합반응에 필요한 원소를 다량 포함하고 있다. 본 연구에서는 플라이애시 100% 사용 모르타르에 폐유리 미분말을 5~15% 혼합한 시멘트 ZERO 모르타르의 유동성 및 압축강도를 검토하였다. 플로우 실험결과 폐유리 미분말의 혼합률은 작업성에 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 압축강도 실험결과 폐유리 미분말을 5% 혼합한 경우 재령 28일 압축강도가 약 6%정도 상승하였으나 폐유리 미분말을 10% 혼합한 경우에는 기준배합과 동일하고, 15%를 혼합한 경우 약 6% 정도의 압축강도가 감소하였다. 이상의 결과를 요약하면, 폐유리 미분말을 사용할 경우 5~10%를 혼합 사용하는 것이 가장 적절할 것으로 사료된다.

\* 정회원, 한국건설기술연구원 구조재료연구실 연구원

\*\* 정회원, 한국건설기술연구원 구조재료연구실 책임연구원

## 1. 서 론

최근 전 세계적으로 친환경적인 콘크리트에 대한 다양한 연구가 수행되고 있으며, 그 중에서도 콘크리트에 사용되는 시멘트를 대체하는 연구가 활발히 진행되고 있다. 이런 연구로는 플라이애시 및 고로슬래그 등을 혼합시멘트 및 혼화제로 사용하기 위한 연구가 가장 많고, 실제 건설현장에서도 많이 적용되고 있다. 그러나 이런 형태의 사용으로는 시멘트 사용량을 획기적으로 줄일 수 없을 뿐만 아니라 많은 CO<sub>2</sub> 발생, 자원고갈 및 에너지 문제 등 지구환경에 부하되는 문제점을 저감하는데 한계가 있다. 따라서 시멘트를 전혀 사용하지 않은 콘크리트의 개발이 시급한 실정이다. 플라이애시는 전 세계적으로 390만톤 정도가 생산되고 있으며, 이중 15% 정도가 재활용되고 나머지는 매립에 의존하고 있다. 또한 폐유리 미분말의 경우 유리를 재활용하기 위한 공정에서 파쇄 및 분쇄 과정 중 발생하는 부산물로서 시멘트의 1/5 가격으로 매우 저렴하고, SiO<sub>2</sub>와 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 성분이 약 89%로 중합반응에 사용되는 원소가 대부분으로 구성되어 있다.

따라서 본 연구에서는 시멘트를 전혀 사용하지 않고, 매립처리가 대부분인 플라이애시와 폐유리 미분말 등을 활용하여 시멘트 ZERO 모르타르의 유동성 및 압축강도를 검토하였다.

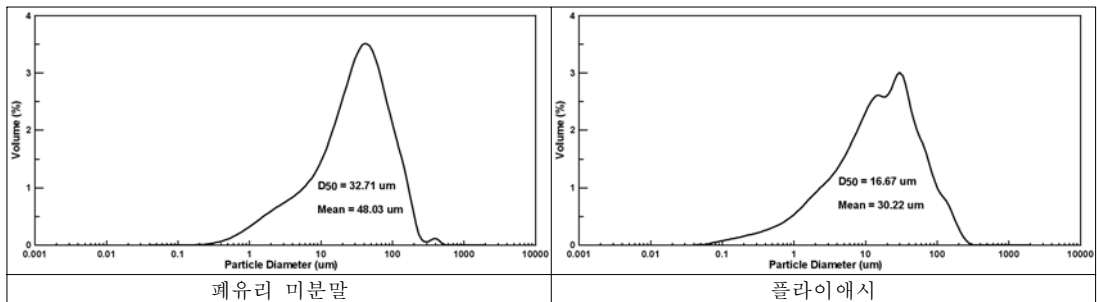
## 2. 실험 방법 및 사용재료

### 2.1 사용재료

본 연구에서 사용되는 폐유리 미분말과 플라이애시의 물리 화학적 특성은 <표 1>과 같으며, 입도분포는 <그림 1>과 같다. 폐유리 미분말은 Y사의 제품을 사용하였으며, 플라이애시는 보령 화력 발전소의 플라이애시를 사용하였다. 알칼리 활성화제는 이전의 연구를 통하여 알칼리 자극제의 몰농도 및 알칼리 활성화제의 비율을 실험한 결과 가장 강도발현이 우수한 9M NaOH와 쇼튬실리케이트를 50:50의 비율로 제조하여 사용하였다.

<표 1> 폐유리 미분말과 플라이애시의 물리적·화학적 성질

	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> (%)	L.O.I	Surface area (cm <sup>2</sup> /g)	Density (g/cm <sup>3</sup> )
폐유리 미분말	73.2	16.4	0.42	7.49	1.01	0.14	0.13	3,079	2.40
플라이애시	55.3	25.8	5.5	2.9	0.8	0.3	3.2	4,369	2.18



<그림 1> 폐유리 미분말과 플라이애시의 입도분포 곡선

## 2.2 실험 방법

배합은 <표 2>와 같이 폐유리 미분말을 각각 0, 5, 10, 15% 혼합하여 10리터 믹서에 먼저 플라이애시, 폐유리 미분말 및 잔골재를 넣어 30~40 rpm 속도로 2분간 건비빔을 실시한 다음, 1일 전에 제조된 알칼리 자극제와 소듐실리케이트로 구성된 알칼리 활성화제 및 배합수를 넣어 다시 70~80 rpm 속도로 3분간 믹싱하여 시멘트 ZERO 모르타르를 제조하였다.

이렇게 제조된 시멘트 ZERO 모르타르의 시공성을 평가하기 위해 KS L 5105에 준하여 플로우 실험을 실시하였다. 압축강도 시험은 50×50×50mm의 모르타르 공시체를 제작하여 60℃에서 고온양생을 실시하였으며, 그 후 상온(23±2℃)에서 기건양생을 실시한 후 채령 1, 3, 7 및 28일 압축강도를 측정하였다.

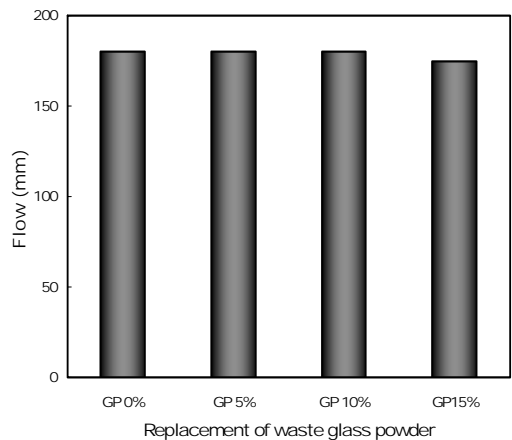
<표 2> 배합표

Mix No.	W	FA	WG	NaOH 9M	Sodium silicate	Sand (#6)
1	160	1600	0	400	400	2400
2	160	1520	80	400	400	2400
3	160	1440	160	400	400	2400
4	160	1360	240	400	400	2400

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 유동성

<그림 2>는 결합재로서 플라이애시와 폐유리 미분말을 사용한 시멘트 ZERO 모르타르에서 폐유리 미분말의 혼합률이 유동성에 미치는 영향을 플로우 시험을 통하여 정리한 것이다. 폐유리 미분말의 혼합률이 증가하더라도 플로우가 대부분 180±5mm로 폐유리 미분말의 혼합이 유동성에 영향을 미치지 못하는 것으로 나타났다. 그러나 본 연구의 배합 범위는 아니지만 폐유리 미분말을 50% 정도 다량으로 혼입한 경우 고로슬래그 100%를 사용한 시멘트 ZERO 모르타르와 비슷한 급결 현상을 발생시켜 시공성이 급격히 저하되는 것으로 나타났다.

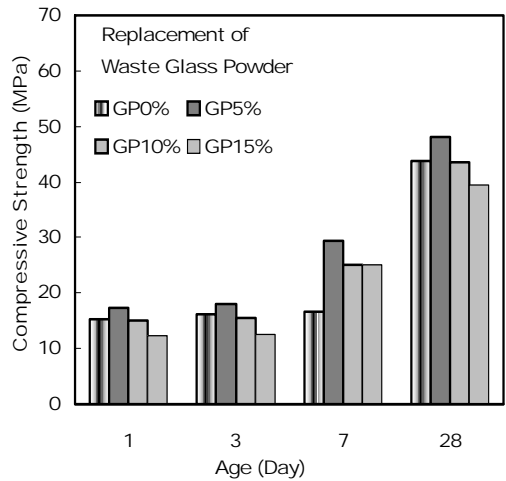


<그림 2> 유동성

### 3.2 압축강도

<그림 3>은 폐유리 미분말을 혼합한 플라이애시 기반 시멘트 ZERO 모르타르에서 폐유리 미분말 혼입률이 압축강도에 미치는 영향을 나타낸 것이다. 실험결과 폐유리 미분말 혼입률 5%는 플라이애시를 단독으로 사용한 경우보다 압축강도가 향상되었으나, 폐유리 미분말 혼입률 5% 이상 부터는 혼입률이 증가됨에 따라 압축강도는 저하되는 경향을 나타내었다. 이러한 강도 증가율 감소 현상은 채령이 증가할수록 더욱 커지는 것으로 나타났다. 이처럼 혼입률 5%까지의 강도증진 현상은 폐유리 미분말에 CaO와 SiO<sub>2</sub> 성분이 각각 7%와 73% 정도 포함되어 있어 강한 알칼리와 고온의

환경에서 물과 일부 반응하여 규산 2석회( $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ) 또는 규산 3석회( $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ )가 생성되기 때문에 사료된다. 그러나 혼입률이 높을수록 강도증진 효과가 저하되는 것은 유리 미분말이 비록 Ca, Si 및 Al 성분이 다량 포함되어 있지만 화학구조가 안정화되어 소량 반응하였기 때문으로 분석된다. 폐유리 미분말을 다량으로 혼입한 콘크리트의 표면은 경화되어 있었으나, 내부는 겔(gel)상태로 남아 있는 것을 관찰할 수 있다. 따라서 폐유리 미분말은 플라이애시에 혼입하여 사용할 경우 혼입률 5% 정도가 적당하고, 더 많은 양을 혼입하기 위해서는 더 높은 알칼리 환경 또는 고온으로 가열할 필요가 있는 것으로 판단된다.



<그림 3> 압축강도

#### 4. 결론

플라이애시와 폐유리 미분말을 혼합한 시멘트 ZERO 모르타르의 유동성 및 재령별 압축강도를 시험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 유동성 시험 결과 폐유리 미분말은 플라이애시와 혼합사용하여도 유동성에 영향을 미치지 못한 것으로 나타나 상온에서는 무반응성 분체로 판단된다.
- 2) 폐유리 미분말을 5% 이상 혼합한 경우에는 강도증진 효과가 없으며, 10% 이상을 혼합한 경우 오히려 강도가 저하되어 본 연구의 범위에서는 5%가 적절한 것으로 사료된다.
- 3) 보다 많은 다량의 폐유리 미분말을 활용하기 위해서는 고온 양생 또는 알칼리 활성화제의 알칼리성을 높여야할 것으로 사료된다.

#### 감사의 글

본 연구는 산업기술연구회 협동연구사업의 연구비지원(Q21. 건설용 신소재·재활용기술-시멘트 ZERO 콘크리트 개발 및 활용)의 지원 하에 수행되었습니다.

#### 참고문헌

1. 최연왕 외 3인, “폐유리 미분말을 보수모르타르의 혼화재료로 활용하기 위한 기초적 연구”, 한국콘크리트학회 봄학술발표회 논문집, 2006, pp.341~344
2. 조병완 외 2인, “알칼리 활성화에 의한 플라이애시 모르타르의 강도 발현 및 경화 메커니즘”, 한국콘크리트학회지, 제 18권, 4호, 2006, pp.449~458
3. Djwantoro Hardjito et. al., “Cementless Fly Ash-Based Geopolymer Concrete: From Waste to Benefit,” Workshop on Fly Ash, Bhubaneswar, Orissa, India, 2004.