

# 폐 PET병을 이용한 경량골재콘크리트의 특성에 관한 실험적 연구

## An Experimental Study on the Properties of Lightweight Aggregate Concrete Using Waste PET Bottles

최연왕\*

정지승\*\*

문대중\*\*\*

신화철\*\*\*

황윤태\*\*\*\*

Yun-Wang Choi

Jee-Seung Chung

Dae-Joong Moon

Hwa-Cheol Shin

Youn-Tae Hwang

### ABSTRACT

Recently, the more the PET bottles are needed, the more waste PET bottles were produced. So, if there was no suitable recycling, that was contaminate our environment and use up the natural resources.

This paper deals with the artificial lightweight aggregate(ALA), made of waste PET bottles, and the properties of concrete replaced with ALA.

As a result of experiment, it is shown that the specific gravity of PBLA is 1.39, the unit volume weight is 844 kg/cm<sup>3</sup>, and absorbing rate is 0. In absorbing rate test, the rate is 10 % increased by replacing of 20 % PBLA and the mixture rate for water and cement is 44.6 % and 51.2 %, in case target strength for 240kgf/cm<sup>2</sup> and 270kgf/cm<sup>2</sup> by added PBLA 75 % and 50 % respectively.

So, to obtain a certain target strength, appropriate W/C ratio is required the replacement ratio of PBLA.

### 1. 서론

최근 무게가 가볍고 이동 및 보관이 용이한 PET병은 기존의 유리병을 대체하여 식음료용기로 사용되어지고 있다. 한편 국내 음료소비의 비약적인 증가에 따라 그 사용량은 급속히 증가하여 2002년 말 수량이 22억개 중량으로는 8만 7천톤 정도가 생산될것으로 예상된다. 그러나 환경오염의 발생 및 자원 낭비와 같은 문제점이 나타남에 따라 정부에서는 자원의 절약과 재활용 촉진에 관한 법률을 제정하며 PET병을 재활용 중점관리 품목으로 지정하게 되었다.<sup>(1)</sup>

또한 토목구조물이 고층화, 대형화, 특수화됨에 따라 이에 부합되는 건설재료의 성능향상이 필요하게 되었으며 이에 관한 연구가 국내외에서 활발히 진행되고 있는 실정이다. 한편 건설재료로서 가장 일반적으로 사용되는 콘크리트는 물론 경제성 등 우수한 성능을 가지고 있음에도 불구하고 단위중량에 비해 낮은 강도 때문에 부재단면이 확대되어 자중이 증대되는 근본적인 문제점을 갖고 있다.

이러한 문제점을 개선하기 위해 이미 선진 각국에서는 경량콘크리트에 대한 연구가 지속적으로 활발히 진행되어 많은 연구성과 및 고층건물, 교량, 해상구조물 등에 적용된 시공사례가 보고되어 있는 실정이다.<sup>(2),(3),(4)</sup>

\* 정회원, 세명대학교 토목공학과 부교수

\*\* 정회원, 동양대학교 지구환경시스템공학과 전임강사

\*\*\* 정회원, 세명대학교 토목공학과 강사

\*\*\*\* 정회원, 세명대학교 토목공학과 석사과정

따라서, 본 논문에서는 최근 발생량이 급속히 증가하고 있는 폐 PET병 및 국내 제철공장의 부산물로 발생하는 고로슬래그 미분말을 이용한 구조용 경량골재의 제조방법과 개발된 경량골재의 품질에 대해 고찰하였으며, 경량골재를 사용한 콘크리트의 각종 물성을 파악하여 구조용 경량골재의 사용가능성에 대한 기초적 자료를 제시하고자 하였다.

## 2. 실험개요

### 2.1 사용재료

#### 2.1.1 시멘트 및 고로슬래그 미분말

시멘트는 비중이 3.15인 보통포틀랜드시멘트(이하 OPC로 약함)를 사용하였으며, 경량골재 제조시 사용된 고로슬래그 미분말(이하 SG로 약함)은 KS F 2503의 규정의 1종 고로슬래그 미분말로 이들 재료의 화학성분 및 물리적 성질은 표 1과 같다.

표 1 시멘트 및 고로슬래그 미분말의 화학성분 및 물리적 성질

Items Types	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> (%)	Specific Gravity	Specific Surface Area (cm <sup>2</sup> /g)
OPC	21.60	6.00	3.10	61.41	3.40	2.50	3.15	3,539
S G	33.33	15.34	0.44	42.12	5.70	2.08	2.90	3,480

#### 2.1.2 골재

잔골재로는 주문진산 표준사(이하 SS로 약함), 예천산 강모래(이하 RS로 약함) 및 폐 PET병을 이용한 경량골재(이하 PBLA로 약함)를 사용하였다. 또한 굵은골재는 최대치수가 19mm인 파쇄골재를 사용하였으며, 사용골재의 물리적 성질은 표 2와 같다.

표 2 골재의 물리적 성질

Items Types	G <sub>max</sub> (mm)	Specific gravity	Absorption (%)	F.M.	Organic impurities	Unit weight (kg/m <sup>3</sup> )	Percentage of solids(%)
SS	-	2.60	0.89	2.00	O.K	1,462	56.2
RS	-	2.60	1.82	2.90	O.K	1,677	64.5
PBLA	-	1.39	0	4.11	O.K	844	60.7
Coarse agg.	19	2.69	0.86	7.15	-	1,589	58.0

#### 2.1.3 화학혼화제

화학혼화제는 AE감수제(Water Reducing AE Agent :WRAE)표준형을 사용하였으며 상온에서 비중 1.2±0.02, pH 7.0±1.0인 액상용액을 사용하였다.

## 2.2 실험방법

### 2.2.1 PBLA의 제조

폐 PET병을 5~15mm범위의 사각형 형태로 절단한 것과 폐 PET병 중량의 10~20%의 고로슬래그 미분말을 내부온도 250℃의 혼련기에 투입 후 30~50rpm으로 최소 5분이상 회전시켜 제조된 골재를 공냉방식으로 냉각 후 0.15mm체에 남은 골재를 PBLA로 사용하였다.<sup>(5)</sup>

### 2.2.2 모르타르의 흡수율

5×5×5cm인 모르타르 공시체를 재령 28일에서 105±5℃로 24시간 건조시킨 후 물로 채운 스펀지면에 한쪽면만을 접촉시켜 180분까지의 흡수량을 측정하였다.

### 2.2.3 공시체 제작

∅10×20cm 원주형공시체를 제작하여 20±1℃에서 표준양생 한 후 재령 3일, 7일, 28일에서 각 재령별로 KS F 2405에 따라 압축강도를 측정하였다.

### 2.2.4 콘크리트의 배합

물-시멘트비를 3수준(45%, 49%, 53%)으로 하고 잔골재에 대한 PBLA를 부피비로 4수준(0%, 25%, 50%, 75%)으로 변화시킨 콘크리트를 제조하였으며, 이때 목표 공기량은 4.5±1%이다.

## 3. 실험결과에 대한 고찰

### 3.1 PBLA의 품질 특성

표 2에 의하면 PBLA의 비중은 1.39로 강모래의 비중과 비교하여 약 47% 정도 비중이 작았으며, 단위용적 중량은 844kg/m<sup>3</sup>로 강모래에 비하여 50%정도 작음을 알 수 있다.

한편 PBLA의 입형을 나타낸 것이 그림 1이다. 이 그림에서 알 수 있듯이 PBLA의 입형은 둥근 모양을 지니고 있으며 대부분 일정한 형태를 보이고 있다. 그림 2에서는 PBLA의 표면조직을 알아보기 위해 주사형 전자현미경(SEM)으로 100배 확대촬영한 것이다.

그림 2에서 알 수 있듯이 고로슬래그 미분말이 PBLA의 표면에 고른 분포로 치밀하게 부착되어 있음을 알 수 있다.

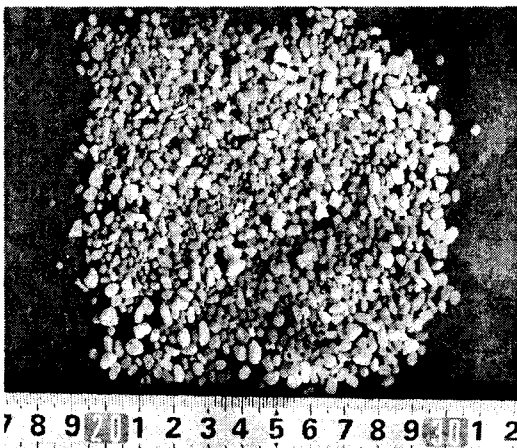


그림 1 PBLA의 입형

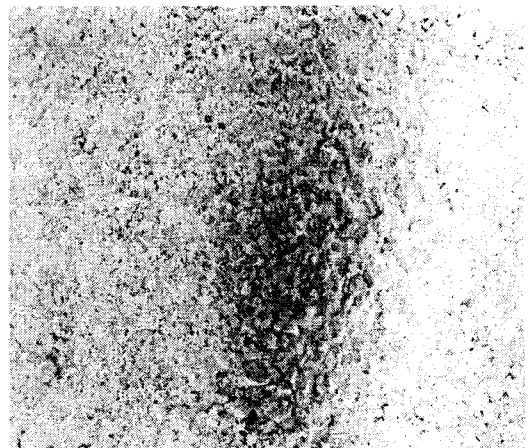


그림 2 PBLA 표면조직의 SEM (×100)

### 3.2 PBLA 대체 모르타르의 흡수율

PBLA를 대체한 모르타르의 모세관 공극을 측정하기 위해 그림 3과 같은 흡수율 시험을 실시하였다. 흡수율 시험 방법은 5×5×5cm 각주형 공시체의 밑면을 연마한 후 완전 침수된 스폰지의 상단에 놓고 경과시간에 따른 모르타르의 흡수량(Ww)를 공시체 밑면의 면적(A)으로 나누어 모세관 흡수량(C=Ww/A)<sup>6)</sup>을 구하였다.

한편 그림 4에 SS에 PBLA를 0, 20, 40 및 60%까지 4단계로 대체한 모르타르의 모세관 흡수량 측정 결과를 나타내었다.

이 그림에서 알 수 있듯이 PBLA의 대체율이 20%로 증가할수록 모세관 흡수량이 10%정도 증가하는 경향을 나타내고 있으며, 이와 같은 경향은 단입도를 지니고 있는 PBLA가 SS와 대체되었을 때 모르타르 공시체 내부의 총공극량을 증가시켰기 때문이며 이러한 총공극량은 PBLA의 대체율이 증가될수록 커짐을 알 수 있다.

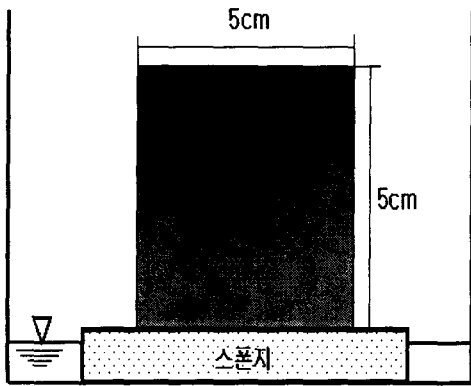


그림 3 모르타르의 흡수율 시험

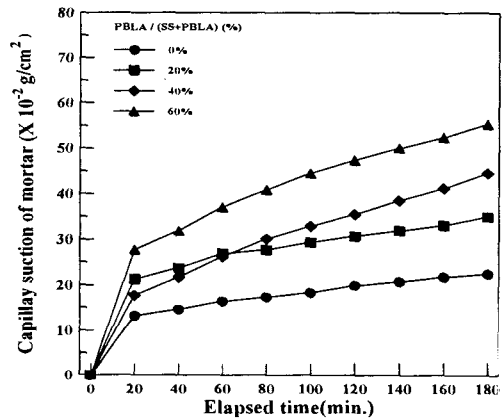


그림 4 PBLA의 대체율에 따른 흡수량

### 3.3 PBLA 혼합 콘크리트의 특성

#### 3.3.1 슬럼프 및 공기량

물-시멘트비 45, 49 및 53%의 3수준 잔골재에 대한 PBLA의 대체율을 각각 0, 25, 50 및 75%의 4수준으로 달리한 콘크리트의 슬럼프 및 공기량 측정결과를 정리한 것이 그림 4 및 5이다.

그림 5의 결과 물-시멘트비와 상관없이 PBLA의 혼합률이 증가함에 따라 슬럼프 값이 비례적으로 증가하여 PBLA를 75% 대체한 경우 PBLA를 혼합하지 않은 슬럼프 값보다 50%정도 증가하고 있음을 알 수 있다. 이러한 경향은 PBLA의 비중이 강모래보다 작으며, 또한 입형이 둥근 형태를 지니고 있어 콘크리트 내부에서 유동성을 향상시키는 역할을 한 것으로 판단된다.

그림 6은 콘크리트 제조 직후 공기량을 측정하여 정리한 그림이다. 그림 6의 결과 동일한 양의 화학혼화제를 첨가하고 PBLA의 대체율이 증가함에 따라 공기량이 다소 감소하는 경향을 나타내고 있으나 목표공기량 범위인 4.5±1%범위안에 있어 PBLA의 혼합률의 변화가 공기량에는 큰 영향을 미치고 있지 않음을 알 수 있다.

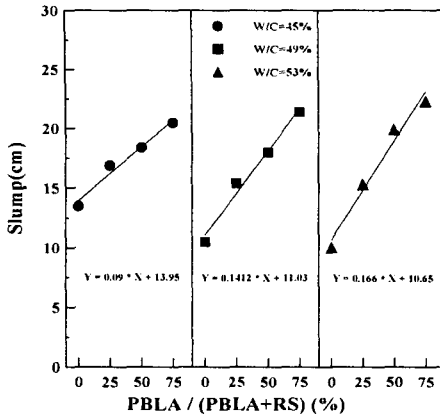


그림 5 물-시멘트비에 따른 슬럼프의 변화

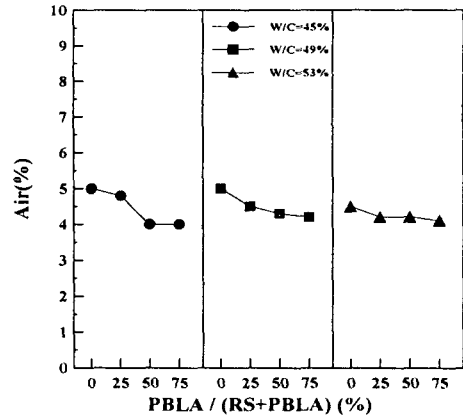


그림 6 물-시멘트비에 따른 공기량의 변화

### 3.3.2 단위용적중량

물-시멘트비를 45, 49 및 53%의 3단계, PBLA를 강사에 대한 부피비로 0, 25, 50 및 75%의 4수준으로 대체한 콘크리트의 단위용적중량을 측정하여 정리한 것이 그림 7이다.

그림 7의 결과 콘크리트의 단위용적중량은 PBLA의 혼합률이 증가할수록 비례적으로 감소하여 대체물 75%인 경우 17%정도 감소하였음을 알 수 있다. 또한, 물-시멘트비와 상관없이 PBLA의 혼합률에 따른 분산분석 결과 유의수준 0.00으로  $p < 0.05$  유의수준에서 유의하여 PBLA를 혼합한 콘크리트의 단위용적중량은 물-시멘트비 변화에 상관없이 유의함을 알 수 있다.

### 3.3.3 압축강도

그림 8은 PBLA의 대체율을 0, 25, 50 및 75%의 4수준으로 변화시켜 제조한 콘크리트의 재령 28일 압축강도( $f_{28}$ )와 1.87, 2.04 및 2.22의 3범위로 달린 시멘트-물비(C/W)와의 관계를 정리한 그림이다.

그림 8의 결과 시멘트-물비 변화에 따라 PBLA 대체율에 따른 콘크리트의 압축강도 특성은 높은 상관관계를 나타내고 있음을 알 수 있다. 즉 목표강도 240kgf/cm<sup>2</sup>와 270kgf/cm<sup>2</sup>에 해당하는 물-시멘트비는 각각 PBLA를 75%와 50%로 대체한 경우 44.6%와 51.2%로 나타나 PBLA의 대체율에 따라 목표강도를 얻기 위해서는 적절한 물-시멘트비의 조절이 필요함을 알 수 있다

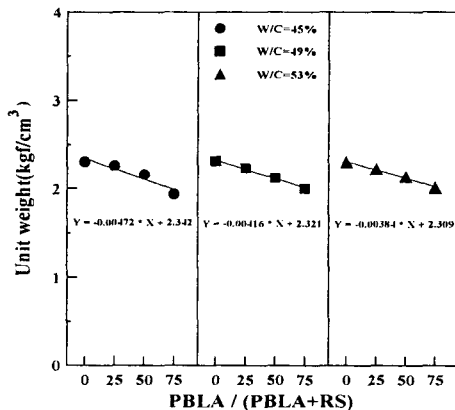


그림 7 물-시멘트비에 따른 단위용적중량의 변화

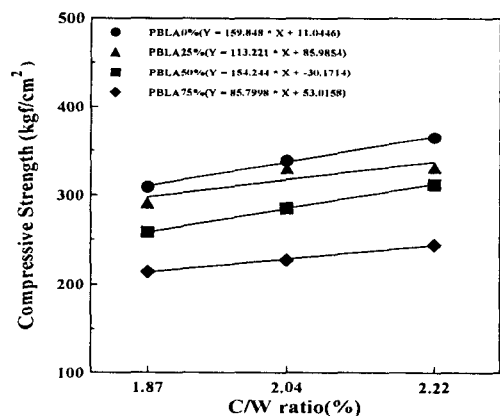


그림 8 시멘트-물비 변화에 따른 28일 압축강도

#### 4. 결과

본 연구는 PBLA를 사용한 경량골재 콘크리트의 특성을 분석하여 구조용 경량골재로서 PBLA의 사용성을 검토한 실험적 연구로서 그 결과를 다음과 같이 요약하였다

- 1) PBLA의 비중은 1.39, 단위용적 중량은  $844\text{kg/m}^3$ 로 강모래에 비하여 47% 및 50%정도 작게 나타났다. 한편 PBLA의 입형은 대부분 일정한 형태로 둥근 모양을 지니고 있으며, 표면조직은 거칠게 나타났다. 또한 단위도를 지니고 있는 PBLA는 SS와 대체되었을 때 모세관 흡수량을 증가시키는 것으로 나타났다.
- 2) 물-시멘트비 및 PBLA의 대체율을 달리한 콘크리트의 슬럼프 및 공기량 측정결과, PBLA를 75% 대체한 콘크리트의 슬럼프값은 대체율 0%보다 50%정도 증가하는 결과를 나타내었다. 그리고 동일한 양의 화학혼화제 첨가시 PBLA를 대체한 콘크리트는 목표공기량인  $4.5\pm 1\%$ 를 만족하였다.
- 3) 콘크리트의 단위용적중량은 PBLA의 혼합률이 증가할수록 비례적으로 감소하여 혼합률 75%인 경우 13%정도 감소하였음을 알 수 있다. 또한, 물-시멘트비와 상관없이 PBLA의 혼합률에 따른 분산 분석 결과 유의수준 0.00으로  $p < 0.05$  유의수준에서 유의하여 PBLA를 혼합한 콘크리트의 단위용적 중량은 물-시멘트비 변화에 상관없이 유의하였다.
- 4) 시멘트-물비와 PBLA의 대체율을 달리한 따른 콘크리트의 압축강도 특성은 높은 상관관계를 나타내었으며, 목표강도  $240\text{kgf/cm}^2$ 와  $270\text{kgf/cm}^2$ 에 해당하는 물-시멘트비는 각각 PBLA를 75%와 50%로 대체한 경우 44.6%와 51.2%로 목표강도를 얻기 위해서는 물-시멘트비의 조절이 필요하였다.

#### 참고문헌

1. 한국자원리사이클링학회, 리사이클링백서, 1999, pp.206~215.
2. 김세현, 고강도-경량콘크리트의 특성 및 현장적용방안에 관한 연구”, 한양대학교 석사논문, 1997.
3. 서치호, “경량콘크리트의 발전과 전망”, 콘크리트학회지, 제 2권 1호, 1991년 3월, pp.24~27.
4. 이석홍외, “구조용 경량콘크리트 실용화 연구,” 현대건설기술연구소 보고서, 1996.
5. 최연왕외, “폐 PET병을 재활용한 인공경량골재의 품질 및 모르타르의 특성”, 한국 콘크리트 학회, 2002년 봄 학술발표회 논문집, Vol. 14, No.1, pp.631~636.
6. 문한영외, “폐주물사를 콘크리용 잔골재로 재활용하기 위한 기초연구”, 한국 콘크리트 학회, 2001년 봄 학술발표회 논문집, Vol.13, No.1, 2001,5, pp.281~286.