

폐 PET병을 재활용한 인공경량골재의 품질 및 모르타르의 특성

The Quality of artificial lightweight aggregates using waste PET bottles and Properties of their mortar.

최연왕* 임학상** 정지승*** 최 욱**** 황윤태*****
Choi, Yun Wang Lim, Hak Sang Chung, Jee Seung Choi, Wook Hwang, Youn Tae

ABSTRACT

This study shows basic data for using as the structural lightweight aggregate. This will be the procedural method of recycling environmental close waste PET bottle lightweight aggregate(PBLA) that is rapidly increased the amount of production of waste PET bottle recently, the quality of developed PBLA and the fundamental properties by analyzing of mortar containing with PBLA.

After experiment, the result shows the PBLA quality that have oven dry specific gravity of 1.39, unit volume weight of 844 kg/m³ and absorption rate of 0% is satisfied with quality regulation of lightweight aggregate. The flowability of mortar containing PBLA is increased maximum 16% with increasing mixing ratio of PBLA, however the compressive strength of mortar is decreased maximum 35% with increasing mixing ratio of PBLA.

1. 서론

최근 국내 음료소비의 비약적인 증가에 따라 기존의 유리병 등 식음료 용기의 대체용기로 사용되고 있는 PET병은 용기의 무게가 가볍고, 이동 및 보관이 용이해 그 사용량이 급속도로 증가되어 2002년 말 수량으로는 22억개, 중량으로는 8만 7천톤 정도가 생산될 것으로 예상됨에 따라 정부에서는 자원의 절약과 재활용 촉진에 관한 법률에 따라 PET병을 재활용 중점관리 품목으로 선정하고 있는 실정이다.⁽¹⁾

또한 국내 건설기술의 발달과 더불어 토목, 건축 구조물이 점차 대형화 및 초고층화 됨에 따라 콘크리트의 자중을 줄이는 방법 중 하나인 콘크리트의 경량화에 대한 필요성 및 경량화를 위한 경량골재에 대한 연구가 활발히 진행되어 현재는 비구조용으로 사용되는 경량골재 뿐만 아니라 일반 구조물이

- * 정희원, 세명대학교 토목공학과 부교수
- ** 정희원, 세명대학교 환경공학과 부교수
- *** 정희원, 동양대학교 지구환경시스템공학과 전임강사
- **** 정희원, 시설안전관리공단
- ***** 정희원, 세명대학교 토목공학과 석사과정

나 프리캐스트 구조물 등과 같은 구조용으로 사용될 수 있는 경량골재에 대한 연구성고가 보고되고 있다.^{(2),(3),(4)}

그러나 기존에 개발된 경량골재의 경우, 대부분이 무기질 계통의 경량골재로서 제조시 1000℃ 이상의 높은 소성온도가 필요함에 따른 단가상승 문제, 다공성으로 제조됨에 따라 구조용 골재로 사용시 콘크리트의 건조수축 증대 등의 내구성 문제 및 골재자체의 강도가 상대적으로 낮아 고강도 콘크리트에 사용하기에 적당하지 못한 문제 등으로 사용실적이 미흡한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 구조용 경량골재를 개발하기 위한 연구의 일환으로 최근 급속히 발생량이 확대되고 있는 폐PET병 및 국내 제철공장의 부산물로 발생되는 고로슬래그 미분말을 이용한 자원재활용 및 환경친화적인 경량골재의 제조방법과 개발된 경량골재의 품질 및 경량골재를 사용한 모르타르의 기초물성 분석하여 구조용 경량골재로 활용하기 위한 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 그 화학성분 및 물리적 성질은 표 1과 같다.

표 1 시멘트 및 고로슬래그 미분말의 화학성분 및 물리적 성질

Items Types	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO ₃ (%)	Specific Gravity	Specific Surface Area (cm ² /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

잔골재는 주문진산 표준사(이하 SS로 약함), 충주산 강모래(이하 RS로 약함) 및 폐 PET병을 이용한 경량골재(이하 PBLA로 약함)를 사용하였으며, 사용된 잔골재의 물리적 성질은 표 2와 같다.

표 2 골재의 물리적 성질

Items Types	Specific gravity	Absorption (%)	F.M.	Organic Impurities	Unit weight (kg/m ³)	Percentage of solids(%)
SS	2.60	0.89	2.00	O.K	1,462	56.2
RS	2.60	1.82	2.67	O.K	1,677	64.5
PBLA	1.39	0	4.11	O.K	844	60.7

2.2 실험방법

2.2.1 PBLA의 제조방법

PBLA의 제조공정은 총 5단계로 구분할 수 있으며, 처음 1단계는 민간수집상 및 재생공사 등에서 수집된 폐PET병 속의 이물질 및 라벨을 제거한 후 5mm~15mm의 범위의 가능한 사각형 형태로 파쇄한다. 2단계는 고로슬래그 미분말을 폐PET병 중량의 10~20% 정도로 혼련기(내부온도를 250±30℃를 유지시킬 수 있으며, 30~50rpm의 속도로 회전시킬 수 있는 원형 밀폐형)에 투입하여 250℃ 정도로 가열한다. 3단계는 1단계에서 준비한 폐PET조각을 혼련기에 투입하여 고로슬래그 미분말과 함께 30~50rpm의 속도로 최소 5분이상 회전시킨다. 4단계는 혼련기 내부에서 생성된 PBLA 및 고로슬래그 미분말을 외부로 배출하여 대기 중에서 냉풍을 가하여 서서히 식힌다. 마지막 5단계에서는 0.15mm체를 사용하여 체가름 한 후 체를 통과한 고로슬래그 미분말을 다시 혼련기 내부로 반송하여 재사용하고 체에 남은 골재가 완성된 PBLA이다. PBLA의 제작 공정도는 그림 1과 같으며, 최종 생산된 PBLA의 단면구조는 그림 2에 나타내었다.

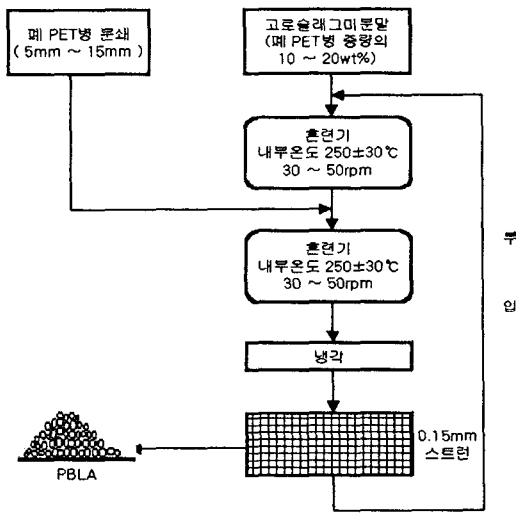


그림 1 PBLA의 제조공정 상세도

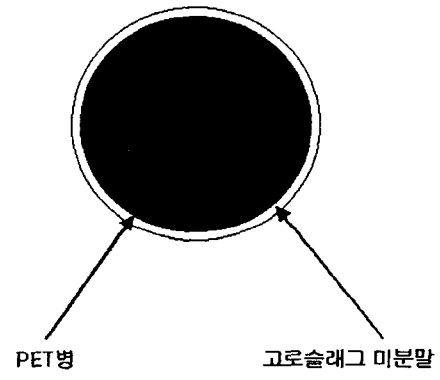


그림 2 PBLA의 단면구조

2.2.2 모르타르 플로우 및 압축강도

PBLA를 혼입한 경량모르타르를 제조하기 위하여 물-시멘트비는 50%로 고정하고, PBLA를 SS에 대하여 용적비로 5수준(0%, 25%, 50%, 75% 및 100%)으로 대체하여 50mm 입방의 공시체를 제작한 후, KS F 2514에 의하여 모르타르 플로우 및 재령 3일, 7일, 28일의 압축강도를 측정하였다.

3. 실험결과에 대한 고찰

3.1 PBLA의 품질 특성

3.1.1 비중 및 흡수율

콘크리트용 골재를 평가하는데 가장 기본이 되는 비중 및 흡수율을 측정한 표 2에 의하면 PBLA의 비중은 1.39로 강모래의 비중과 비교하여 약 47% 정도 비중이 작았으며, 표 3의 JIS A 5002의 경량골재의 절건비중 규정을 만족하고 있음을 알 수 있다. 또한 PBLA는 그림 2의 단면구조에서와 같이 내부가 유기질 계통의 고분자 재료인 PET로 구성됨에 따라 흡수율이 0%로 측정되어 기존의 무기질 계

통의 경량골재의 흡수율이 5~10% 혹은 그 이상의 높은 흡수율에 대한 문제점을 해결할 수 있는 장점을 가지고 있음을 알 수 있다.

표 3 경량골재의 절건비중 규정(JS A 5002)

종 류	절건비중	
	잔골재	굵은골재
L	1.3미만	1.0미만
M	1.3이상~1.8미만	1.0이상~1.5미만
N	1.8이상~2.3미만	1.5이상~2.0미만

3.1.2 단위용적 중량, 입도 및 입형

PBLA의 단위용적 중량은 표 2의 측정결과 844 kg/m³로 강모래의 단위용적 중량에 비하여 50% 정도 크게 감소됨을 알 수 있어 콘크리트 구조체의 자중감소에 효과적이라고 판단된다. 또한 표 4의 KS F 2534의 구조용 경량골재의 기준인 최대단위용적 중량 1,120kg/m³보다 낮아 경량골재 규정을 만족하고 있음을 알 수 있다.

표 4 경량골재의 단위용적중량 최대치(KS F 2534)

종 류	건조된 상태의 최대단위용적중량(kg/m ³)
잔골재	1,120
굵은골재	880
잔골재와 굵은골재의 혼합물	1,040

그러나, PBLA의 실적률은 60.7%로 강모래보다 다소 작게 측정되었다. 일반적으로 실적률은 주로 골재의 입도 및 입형의 영향을 받기 때문에 PBLA의 입도분포 및 입형을 나타낸 것이 그림 3 및 그림 4이다.

그림 3의 입도분석결과 PBLA의 조립률은 4.11로 중량의 95% 이상이 2.5mm.체를 통과하고 1.2mm체에 잔류하는 단일입경의 입도분포를 나타내고 있어 콘크리트용 잔골재의 입도 분포 규정치 범위에 적합하지 않음을 알 수 있다. 이러한 원인은 PBLA 제조시 폐PET 조각을 5mm~15mm의 범위의 사각형 형태로 크기를 제한하여 제조하기 때문이라 판단되어 적당한 입도를 갖기 위해서는 폐PET 조각의 크기를 좀더 작게 분쇄하거나 강모래와 대체하여 입도를 조정하여 사용하는 것이 적합하다고 판단된다.

또한 PBLA의 입형은 그림 4에서 알 수 있듯이 대부분이 둥근모양을 가지고 있으며, 표면조직은 매끄러운 경향을 나타내고 있다. 일반적으로 골재의 입형이 구형에 가까울수록 콘크리트 제조시 워커빌리티를 증진시켜 단위수량을 감소시키며, 동일한 입도인 경우 실적률이 증진된다.

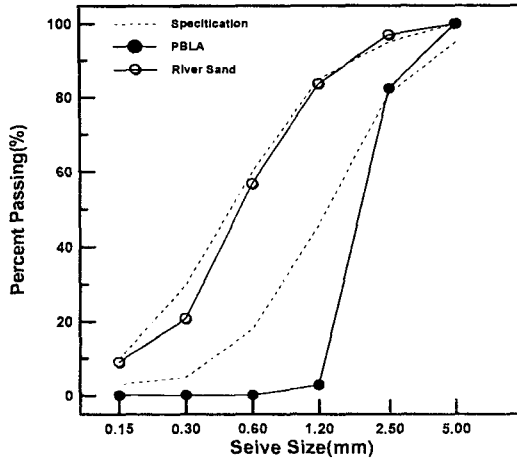


그림 3 PBLA의 입도곡선

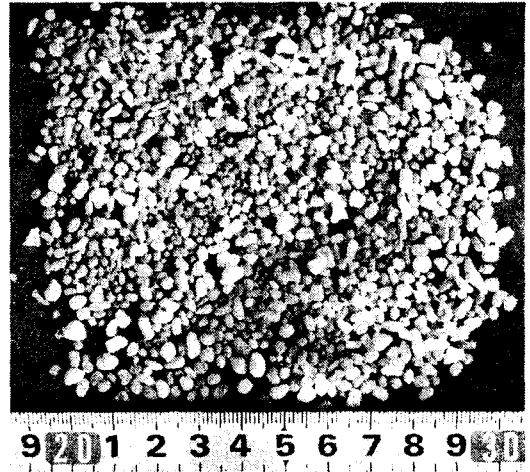


그림 4 PBLA의 입형

PBLA의 입도 및 입형 분석결과를 통하여 PBLA의 실적물이 강모래보다 작은 원인은 입형의 영향보다는 PBLA의 입도가 단일입경으로 분포되어 있기 때문으로 판단되었다.

3.2 PBLA 혼합 모르타르의 특성

PBLA의 혼합물에 따른 모르타르의 흐름특성 및 강도특성을 알아보기 위해 PBLA를 표준사에 대한 부피비로 0%, 25%, 50%, 75% 및 100%의 5수준으로 혼합한 모르타르를 제조하여 플로우 값 및 재령 28일까지 압축강도를 측정하여 정리한 것이 그림 5 및 그림 6이다.

그림 5의 PBLA를 혼합한 모르타르의 플로우 측정 결과 PBLA의 혼합률이 증가함에 따라 플로우값이 비례적으로(상관계수 0.95) 증가하여 PBLA를 100% 혼합한 경우 PBLA를 혼합하지 않은 기준 모르타

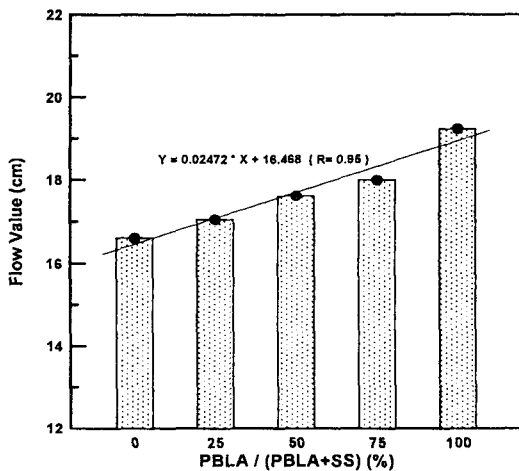


그림 5 PBLA의 혼합률 변화에 따른 모르타르의 플로우 값

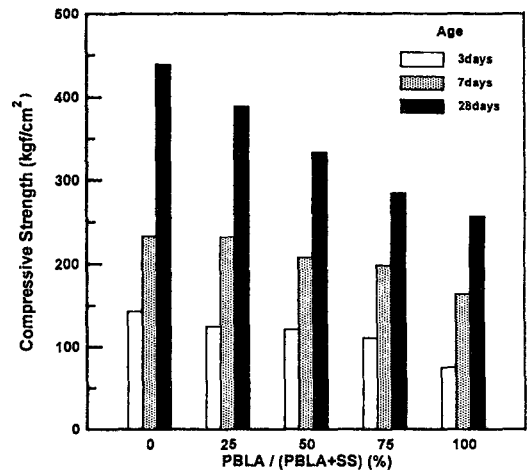


그림 6 PBLA의 혼합률 변화에 따른 모르타르의 압축강도

르의 플로우 값보다 16%정도 증가하고 있음을 알 수 있다. 이러한 경향은 PBLA의 입형이 그림 4에서 알 수 있듯이 대부분이 둥근모양을 가지고 있으며, 표면조직이 매끄러워 모르타르 유동시 내부마찰각이 감소되기 때문이라고 판단된다.

그림 6의 PBLA를 혼합한 모르타르의 압축강도 측정 결과 초기 재령인 3일, 7일 및 기준재령인 28일 모두 PBLA의 혼합률이 증가할수록 PBLA를 혼합하지 않은 기준 모르타르의 압축강도에 비해 강도가 저하되어 PBLA 혼합률 100%인 경우 재령 28일의 압축강도는 35%정도 강도저하 현상이 나타남을 알 수 있다. 그러나, PBLA의 혼합률 25%인 경우 10%, 혼합률 50%에서는 18%정도로 강도저하가 크지 않으므로 콘크리트 배합시 PBLA의 혼합률 및 물-시멘트비 조절을 통하여 동일한 압축강도를 가지면서 단위중량이 적은 콘크리트를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

4. 결론

최근 급속히 발생량이 확대되고 있는 폐PET병을 재활용한 환경친화적인 구조용 경량골재(PBLA)를 개발하기 위한 연구의 일환으로 제조된 경량골재의 품질 및 경량골재를 혼합한 모르타르의 기초적 특성을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) PBLA는 절건비중 1.39, 단위용적 중량 844 kg/m^3 로 강모래의 비중 및 단위용적 중량에 비하여 47% 및 50% 정도 감소하였으며, 구조용 경량골재규정을 만족하고 있음을 알 수 있다.
- 2) PBLA의 흡수율은 0%으로 기존의 무기질 계통의 경량골재의 흡수율이 5~10% 혹은 그 이상의 높은 흡수율에 대한 문제점을 해결할 수 있는 우수한 특성을 가지고 있음을 알 수 있다.
- 3) PBLA의 입형은 대부분이 둥근모양을 가지고 있으며, 표면조직은 매끄러운 경향을 나타내고 있음을 알 수 있다.
- 4) PBLA를 혼합한 모르타르의 플로우 측정 결과 PBLA의 혼합률이 증가함에 따라 플로우값이 비례적으로(상관계수 0.95) 증가하여 PBLA를 100% 혼합한 경우 PBLA를 혼합하지 않은 기준 모르타르의 플로우 값보다 16%정도 증가하고 있음을 알 수 있다.
- 5) PBLA의 혼합률이 증가할수록 PBLA를 혼합하지 않은 기준 모르타르의 압축강도에 비해 강도가 저하되어 PBLA 혼합률 50% 및 100%인 경우 재령 28일의 압축강도는 18% 및 35%정도 강도저하 현상이 나타남을 알 수 있다.

감사의 글

본 연구를 통하여 폐PET병을 재활용한 구조용 경량골재(PBLA)의 사용가능성을 기초적인 실험을 통하여 확인 할 수 있었으며, 지속적인 연구를 통하여 구조용 경량골재로서의 성능평가 및 성능개선을 추진할 예정이다.

참고문헌

1. 한국자원리사이클링학회, 리사이클링백서, 1999, pp.206~215.
2. 민정기, “인공경량골재 콘크리트의 물리·역학적 성상”, 충남대학교, 1996.
3. 소양섭외, “소각회 인공골재 개발 및 품질 성능”, 한국 콘크리트 학회, 1998년 봄 학술발표회 논문집, Vol.10, No.1, 1998.5, pp.111~116.
4. 이석홍외, “구조용 경량콘크리트 실용화 연구,” 현대건설기술연구소 보고서, 1996.