

폐 PET 병을 경량콘크리트용 잔골재로 재활용하기 위한 실험적 연구

최연왕^{1)*} · 문대중²⁾ · 정문영³⁾ · 조선규⁴⁾

¹⁾ 세명대학교 토목공학과 ²⁾ 동양이엔씨 기술연구소 ³⁾ 세명대학교 자원환경공학과 ⁴⁾ 서울산업대학교 토목공학과

(2003년 8월 22일 원고접수, 2004년 1월 30일 심사완료)

An Experimental Study for Recycling of the Waste PET Bottle as a Fine Aggregate for Lightweight Concrete

Yun-Wang Choi^{1)*}, Dae-Joong Moon²⁾, Moon-Young Jung³⁾, and Sun-Kyu Cho⁴⁾

¹⁾ Dept. of Civil Engineering, Semyung University, Chungbuk 390-711, Korea

²⁾ Technical Institute of Dongyang E&C Co., LTD, Seoul 138-830, Korea

³⁾ Dept. of Earth Resources and Environmental Geotechnics Engineering, Semyung University, Chungbuk 390-711, Korea

⁴⁾ Dept. of Civil Engineering, Seoul National University of Technology, Seoul 139-743, Korea

(Received August 22, 2003, Accepted January 30, 2004)

Abstract

The quality of lightweight aggregate made from waste PET bottle(WPLA) and the workability, the unit weight and strength property of concrete with WPLA were investigated for the purpose of recycling the waste PET bottles as lightweight concrete fine aggregate.

This study indicated a good result that WPLA should be replaced with less than 50 % of natural fine aggregate. When WPLA was replaced with 50 % of natural fine aggregate, the specific gravity and water absorption of mixed fine aggregate were greatly reduced about 23 and 75 % respectively in comparison with those of river sand. The quality of WPLA affected on the properties of lightweight aggregate concrete. The workability of fresh concrete with WPLA(WPLAC) was improved with increasing the replacement ratio of WPLA and water cement ratio. Slump increasing ratio of the former showed about 45 ~ 120 % because that a specific gravity of fine aggregate was decreased from 2.6 to 1.7. The unit weight of concrete with 75 % WPLA was decreased about 17 % in comparison with that of control concrete. Furthermore, the compressive strength of concrete with 25 and 50 % WPLA at the age of 28 days increased higher than 30 MPa regardless with water cement ratio (W/C=45, 49 and 53 %) of this study. Specific strength of concrete with 25% WPLA, $15.11 \times 10^3 \text{ MPa} \cdot \text{m}^3/\text{kg}$, was higher than that of control concrete in water cement ratio of 49 %. The compressive strength-splitting tensile strength ratio and compressive strength-modulus of elasticity ratio of WPLAC were similar to that of normal lightweight aggregate concrete. This results showed a good estimation that WPLA will be able to recycled as a fine aggregate for lightweight concrete.

Keywords : waste PET bottle, lightweight aggregate using waste PET bottle(WPLA), specific gravity, concrete with WPLA(WPLAC), compressive strength

1. 서 론

콘크리트는 가장 일반적으로 사용되는 건설재료로서 성형성 및 경제성 등이 탁월한 재료로 인정받고 있으나, 최근 들어 콘크리트 구조물이 고층화, 대형화, 특수화됨에 따라 이에 부합되는 콘크리트의 품질향상과 아울러 단위중량에 비하여 낮은 비강도를 향상시키는 것이 필수적인 요인으로 인식되고 있다^{1,2)}. 그래서 일부 선진국에서는 콘크리트의 중량을 감소시키기 위하여 1900년 초반부터 고로슬래그, 천연경석, 화산재, 팽창혈암, 팽창점토 및 팽창

슬레이트 등과 같은 천연 및 인공경량골재를 이용하여 경량콘크리트에 대한 연구를 지속적으로 활발히 진행시켜 왔으며, 유조선, 건축 구조물, 교량, 해상구조물 등에 적용된 시공사례가 보고되어 있다^{3,4)}.

국내에서도 콘크리트의 경량화에 대한 필요성으로 비구조용 뿐만 아니라 일반구조물이나 프리캐스트 구조물 등과 같은 구조용으로 사용될 수 있는 경량골재 및 경량콘크리트에 대한 연구 및 연구성과가 보고되고 있다^{5,6)}. 그러나 기존 무기질 계통의 경량골재는 제조시 1000 °C 이상의 높은 소성온도가 필요하며, 이에 따른 에너지 상승으로 골재의 단가가 크게 상승하는 문제가 있을 뿐만 아니라, 골재의 내부구조는 다공성으로 제조되므로 흡수율이

* Corresponding author

Tel : 043-649-1331 Fax : 043-649-1778

E-mail : crete77@semyung.ac.kr

커지게 되며 콘크리트의 건조수축 증가, 내구성 저하 및 골재의 낮은 강도 등의 문제점으로 인하여 구조용 콘크리트 골재로서 사용실적이 미흡한 실정이었다^{7,8)}. 한편, Poly-Ethylene Terephthalate (PET)병은 무게가 가볍고 이동 및 보관이 용이하므로 생활수준이 향상됨과 더불어 급속한 음료소비량의 증가에 따라 음료를 보관하는 용기도 유리병에서 PET병으로 그 이용도가 커지고 있다. 이러한 PET 병의 사용량은 2002년 현재 수량이 22억개, 중량으로 87,000톤 정도가 생산될 것으로 예상되고 있다. 그러나, 이를 폐기할 경우 환경오염의 발생 및 자원낭비 등의 사회, 경제적 문제점을 야기하게 되므로 정부에서는 자원의 절약과 재활용 촉진에 관한 법률을 제정하여 PET병을 재활용 중점관리 품목으로 지정하여 관리하고 있다⁹⁾.

폐기 처분된 폐 PET병을 재활용하기 위하여 전국적으로 각 지역단위별로 일괄 수거하여 음료병으로 재가공하고 있으나, 폐 PET병을 재생산 시 재차 용융이 필요하므로 이에 따라 많은 경비가 소요되므로 폐 PET 병을 보다 저렴하게 처리하여 재활용할 수 있는 콘크리트용 재료로 활용하는 방안도 강구되고 있다^{10,11)}.

폐 PET 병을 재활용하여 콘크리트용 경량골재로 활용하게 된다면, 기존 경량골재의 취약점인 흡수율을 보완할 수 있어 콘크리트의 건조수축 및 내구성이 향상되므로 양질의 골재품질 대체효과, 폐자원의 재활용 및 환경오염의 발생을 예방할 수 있는 일석삼조의 효과를 얻을 수 있을 것으로 기대된다. 그러므로 본 논문에서는 폐 PET병을

재활용하여 콘크리트용 경량골재를 제조하였으며, 경량골재의 품질을 보다 향상시키기 위하여 산업부산물인 고로슬래그 미분말을 사용하였다. 경량골재의 품질 및 경량골재를 사용한 모르타르(이하 WPLAM)의 유동성 및 강도에 대하여 검토하였다. 또한, 경량골재를 활용한 콘크리트(이하 WPLAC로 약함)의 워커빌리티, 단위중량 및 강도특성에 대하여 검토하였으며, 아울러 경량골재의 품질이 콘크리트의 성질에 미치는 영향에 대하여 분석, 고찰하였다.

2. 실험개요

2.1 사용재료

2.1.1 시멘트계 재료

시멘트는 보통포틀랜드시멘트(이하 OPC)를 사용하였으며, 경량골재 제조시 사용된 고로슬래그 미분말(이하 GGBF)은 KS F 2503 규정의 1종 고로슬래그 미분말을 사용하였다. 그 화학성분 및 물리적 성질은 Table 1과 같다.

2.1.2 골재

잔골재로는 예천산 강모래(이하 RS로 약함) 및 폐 PET 병을 이용한 경량골재(Waste PET Lightweight Aggregate, 이하 WPLA)를 사용하였으며, 굵은골재는 최대치수가 20 mm인 부순골재를 사용하였다. 골재의 물리적 성질은 Table 2와 같다.

2.1.3 화학혼화제

화학혼화제는 표준형 AE감수제(Water Reducing AE Agent, 이하 WRAE)를 사용하였으며, 비중 1.2 ± 0.02 pH 7.0 ± 1.0 인 액상용액을 사용하였다.

2.2 실험방법

2.2.1 경량골재의 제조

WPLA의 제조공정은 Fig.1과 같이 폐 PET병을 5 ~ 15 mm범위의 사각형 형태로 절단한 것과 폐 PET병 중량의 10 ~ 20%의 고로슬래그 미분말을 내부온도 250 °C의 혼련기에 투입 후, 30 ~ 50 rpm으로 최소 5분이상 회전시켜 제조된 것을 공냉방식으로 냉각 후 0.15 mm체로 분리하는 단계로 구분하였다. 이 때 0.15 mm에 남는 골재가 WPLA이다.

2.2.2 골재의 품질시험

골재의 비중 및 흡수율 시험과 유기불순물 시험은 KS F 2503 및 KS F 2510에 준하여 실시하였으며, 골재의 체가름 및 단위용적 중량 시험은 KS F 2502 및 KS F 2505에 준하여 실시하였다.

Table 1 The chemical compositions and physical properties of cementitious materials

Types	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)
OPC	21.60	6.00	3.10	61.41
GGBF	33.33	15.34	0.44	42.12
Types	MgO (%)	SO ₃ (%)	Specific gravity	Specific surface area (cm ² /g)
OPC	3.40	2.50	3.15	3,539
GGBF	5.70	2.08	2.90	3,480

Table 2 Physical properties of aggregates

Types	G _{max} (mm)	Specific gravity	Water absorption (%)	F.M.
RS	-	2.60	1.82	2.90
WPLA	-	1.39	0.02	4.11
Coarse agg.	20	2.69	0.86	7.15
Types	Organic impurities	Unit weight (kg/m ³)	Percentage of solids (%)	
RS	O.K	1,677	64.5	
WPLA	O.K	844	60.7	
Coarse agg.	-	1,589	58.0	

Table 3 Mixture proportions of concrete

WPLA/ (RS+WPLA) (%)	W/C	S/a	Unit weight (kg/m ³)					WRAE (kg/m ³)
			W	C	RS	WPLA	G	
0	53	48.4	178	336	844	0	930	1.008
25		48.4	178	336	633	113	930	1.008
50		48.4	178	336	422	225	930	1.008
75		48.4	178	336	211	338	930	1.008
0	49	47.0	180	367	805	0	939	1.101
25		47.0	180	367	604	108	939	1.101
50		47.0	180	367	403	215	939	1.101
75		47.0	180	367	201	323	939	1.101
0	45	45.9	181	402	771	0	941	1.206
25		45.9	181	402	579	103	941	1.206
50		45.9	181	402	386	206	941	1.206
75		45.9	181	402	193	309	941	1.206

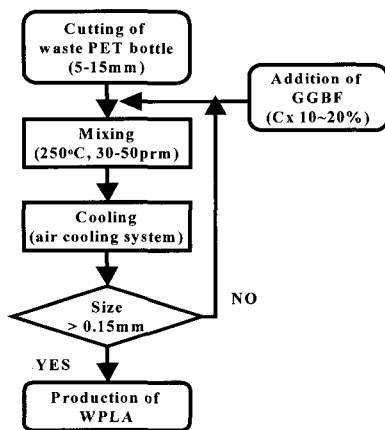


Fig. 1 Manufacturing process of WPLA

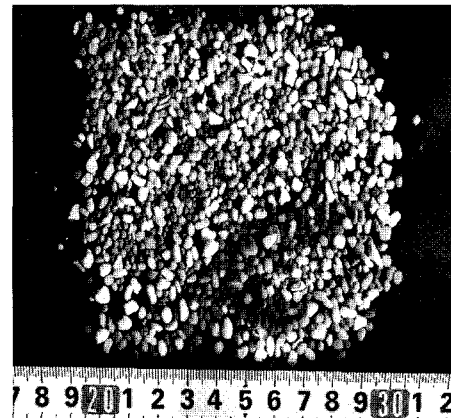


Photo 1 Shape of WPLA

2.2.3 콘크리트의 슬럼프, 공기량 및 단위용적 중량 시험
 콘크리트의 슬럼프 및 공기량 시험은 각각 KS F 2402 및 KS F 2421에 준하여 실시하였으며, 콘크리트의 단위용적 중량은 재령 28일 공시체의 중량을 측정하여 구하였다.

2.2.4 콘크리트의 강도 시험
 ø10×20 cm 원주형 공시체를 제작하여 23±1 °C에서 수중에서 표준양생을 실시하였으며, 압축강도는 재령 3일, 7일, 28일에서 KS F 2405에 의해 측정하였으며, 할렬인장 강도 및 정탄성계수는 각각 재령 28일에서 KS F 2423 및 KS F 2438에 의해 측정하였다.

2.3 콘크리트의 배합

콘크리트의 배합은 물-시멘트를 45, 49 및 53% 3수준으로 하였으며, 잔골재에 대한 WPLA의 치환율은 부피비로 0, 25, 50 및 75% 4수준으로 변화시켜 총 12배합을 정하였으며, 배합표는 Table 3과 같다.

3. 실험결과에 대한 고찰

3.1 WPLA의 품질

WPLA의 입형을 촬영한 것이 Photo 1로서 경량골재 제조시 거의 일정한 크기로 절단하여 250 °C 정도로 제조하였기 때문에 대부분 일정한 형태로 표면이 매끄럽고 둥근 모양을 지니고 있다.

WPLA의 단위용적 중량은 Table 2에서 알 수 있듯이 844 kg/m³로 강모래의 단위용적 중량에 비하여 50% 정도 크게 감소되었으며, KS F 2534의 구조용 경량골재의 기준인 최대단위용적 중량 1,120 kg/m³보다 낮아 경량골재 규정을 만족하고 있음을 알 수 있다.

한편, WPLA의 조립률은 4.11로 골재 제조시 폐 PET 조각을 5~15mm의 범위의 크기로 절단하였기 때문에 WPLA 대부분이 1.2mm체에 잔류하는 단일입경의 입도 분포를 가지고 있어 큰 값을 나타내었으며, 콘크리트용 잔골재의 입도 분포 규정치 범위에 적합하지 않음을 알 수

있다. 그러므로 WPLA를 콘크리트용 잔골재로 활용하기 위해서는 적당한 입도를 가져야 하며, 폐 PET 조각의 크기를 좀더 작게 분쇄하거나 강모래와 조합하여 입도를 조정하여 사용하는 것이 적합하다고 판단된다.

WPLA의 입도를 조정하기 위하여 WPLA를 강모래에 0, 25, 50 및 75% 치환한 경우의 입도분포를 나타낸 것이 Fig. 2이다. WPLA를 25%로 치환한 경우 표준입도를 만족하였으며, 50%로 치환하여도 표준입도 곡선에 근접하는 범위로 나타나고 있어, 강모래와 약 50% 이하로 치환하여 사용하면 표준입도를 만족할 것으로 판단된다.

WPLA의 비중은 Table 2에서 알 수 있듯이 1.39로 강모래의 비중과 비교하여 약 47% 정도 작았으며, JIS A 5002의 경량골재의 절건비중 규정(1.3~1.8)을 만족하고 있었다. 또한 일반적인 경량골재의 흡수율은 5~10%로 알려져 있는 반면에 WPLA의 흡수율은 내부조직이 유기질 계통의 고분자 재료인 PET로 구성되어 있기 때문에 0.02%로 나타났다.

강모래를 WPLA로 치환한 경우 치환율에 따른 잔골재의 비중 및 흡수율을 나타낸 것이 Fig. 3이다. Fig. 3에서 WPLA의 치환율이 증가함에 따라 비중 및 흡수율이 감소함을 알 수 있으며, 표준입도를 만족하는 범위로서 WPLA 치환율 50%의 경우 잔골재의 비중 및 흡수율은 2.0 및 0.91%로 강모래에 비하여 약 23 및 75% 정도 감소한다. 이것은 일반 무기질 소성 경량골재의 경우 치환율이 증가함에 따라 비중은 감소하는 반면, 흡수율이 커지는 결과와 상반되는 결과임을 알 수 있다^{7,8)}.

이상의 WPLA의 품질을 종합해 보면, 본 실험에 사용된 WPLA는 단입도로 구성되어 있으므로 골재 입도 조정이 필요하며, 비중이 작고 흡수율이 작으므로 경량콘크리트용 잔골재로 사용할 경우 건조수축 저감 및 내구성 향상 등의 장점이 있을 것으로 기대된다.

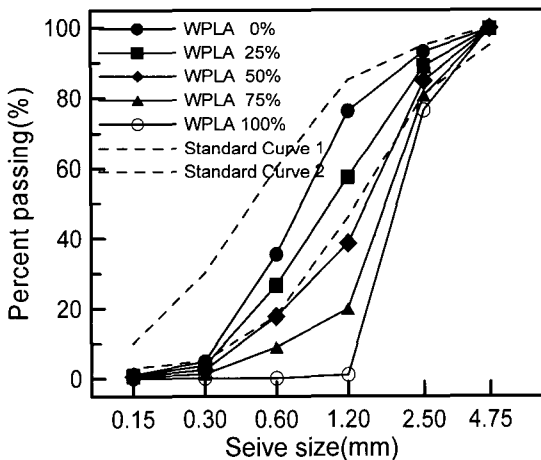


Fig. 2 Grain size distribution curves for fine aggregate with various substitution of WPLA

3.2 콘크리트의 성질

3.2.1 유동성 및 단위용적 중량

WPLA의 치환에 따라 콘크리트의 유동성에 미치는 영향을 알아보기 위하여 물-시멘트비를 45, 49 및 53%로 변화시키고 WPLA의 치환율을 0, 25, 50 및 75%로 변화시켜 콘크리트의 슬럼프값을 측정하여 정리한 것이 Fig. 4 및 Fig. 5이다.

Fig. 4는 WPLA 치환율에 따른 콘크리트의 슬럼프 값을 나타낸 그림으로 치환율이 증가할수록 슬럼프 값이 증가하는 선형적인 관계를 보였다. WPLA의 치환율에 따른 콘크리트의 슬럼프 비율은 물-시멘트비 45%의 경우 0.09 비율로 증가하였으며, 물-시멘트비 49 및 53%의 경우에는 각각 0.14 및 0.17 비율로 증가하였다. 이와 같이 WPLA의 치환율이 증가함에 따라 콘크리트의 슬럼프가 증가하는 이유는 WPLA가 둥근 입형을 가지고 있으므로 골재와 시멘트 페이스트의 마찰각을 감소시키기 때문으로 판단된다.

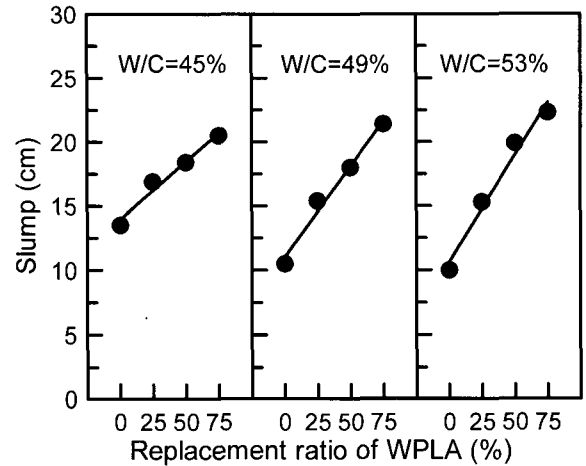


Fig. 4 Slump vs. replacement ratio of WPLA

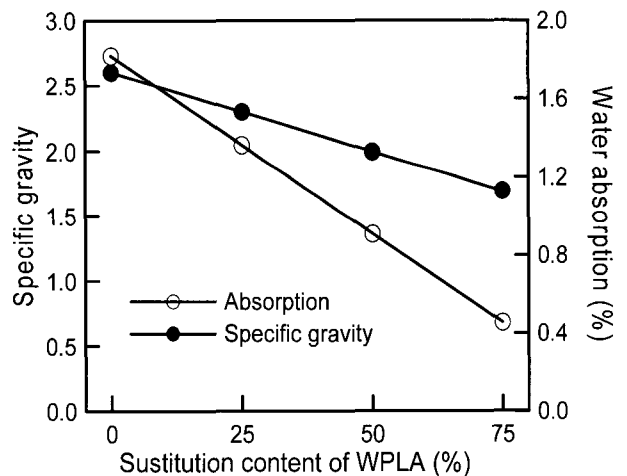


Fig. 3 Substitution content vs. specific gravity and water absorption of fine aggregate

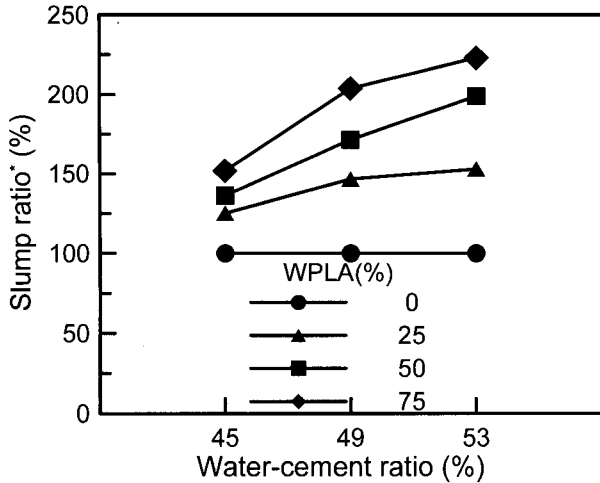


Fig. 5 Slump ratio vs. water-cement ratio

Note) * : $\frac{\text{Slump of WPLAC}}{\text{Slump of control concrete}} \times 100(\%)$

Fig. 5는 WPLA를 치환하지 않은 콘크리트의 각 물-시멘트비에 따른 슬럼프 100에 대한 슬럼프비를 나타낸 그림이다. 콘크리트의 슬럼프비는 WPLA를 75% 치환한 경우, 물-시멘트비 45, 49 및 53%에서 각각 153, 199, 223%로 물-시멘트비가 낮을수록 작았다. 이는 물-시멘트비가 낮아질수록 시멘트페이스트의 점성이 증가하고 WPLA의 치환율이 증가할수록 잔골재의 비중이 감소하므로 잔골재에 의한 시멘트페이스트의 유동성이 감소한 탓으로 판단된다. WPLA의 치환율에 따른 콘크리트의 단위용적중량을 측정하여 정리한 것이 Table 4로서 콘크리트의 단위용적중량은 WPLA의 치환율이 증가할수록 비례적으로 감소하여 치환율 75%인 경우 17%정도 감소하였다. 목표 공기량을 $4.5 \pm 1\%$ 로 정하여 WPLA의 치환율에 따른 콘크리트의 공기량을 측정하여 정리한 것이 Fig. 6이다. Fig. 6에서 동일한 양의 AE 감수제를 첨가한 경우 WPLA의 치환율이 증가함에 따라 콘크리트의 공기량이 다소 감소하는 경향이 나타났으나, 목표공기량 범위인

Table 4 Results on the unit weight of concrete

W/C, %	WPLA/(RS+WPLA), %	Unit weight, kgf/m ³
53	0	2,300
	25	2,220
	50	2,130
	75	2,010
49	0	2,300
	25	2,230
	50	2,120
	75	2,000
45	0	2,300
	25	2,260
	50	2,160
	75	1,940

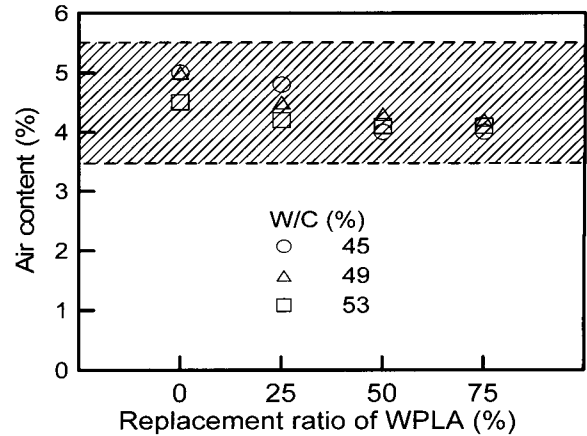


Fig. 6 Air content vs. replacement ratio of WPLA

$4.5 \pm 1\%$ 범위안에 있으므로 WPLA의 치환이 공기량에는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

3.2.2 압축강도

물-시멘트비를 45, 49 및 53%로 변화시키고 WPLA 치환율을 0, 25, 50 및 75% 4단계로 변화시켜 제조한 콘크리트의 재령별 압축강도를 측정하여 정리한 것이 Fig. 7이다.

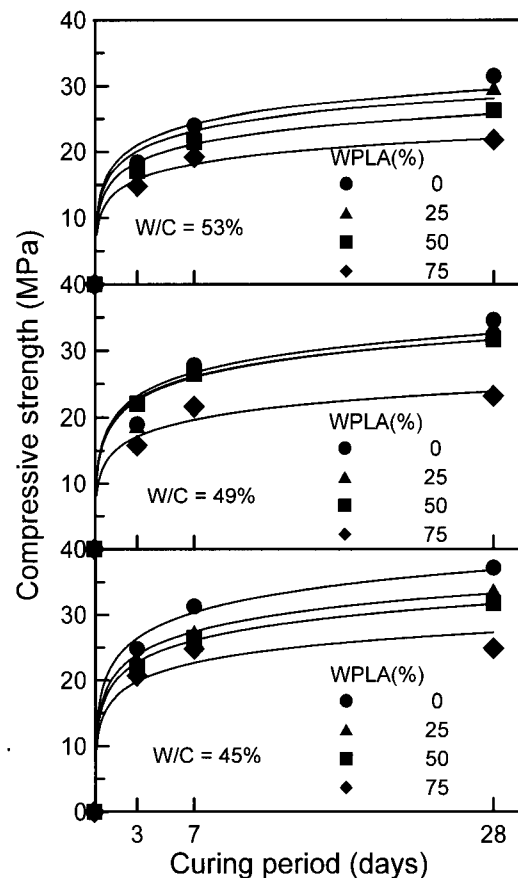


Fig. 7 Compressive strength vs. curing period

Fig. 7에서 WPLA를 치환하지 않은 콘크리트의 재령 7일에 대한 28일의 압축강도비는 물-시멘트비 45, 49 및 53%에서 각각 119, 124 및 129%로 물-시멘트비가 증가함에 따라 커졌다. WPLA를 치환함에 따라 콘크리트의 재령 7일에 대한 28일의 압축강도는 WPLA를 25 및 50%로 치환한 경우 약 125%로 WPLA를 치환하지 않은 콘크리트와 비슷한 경향을 나타내었다. 반면, WPLA 치환율 75%의 경우 재령 7일에 대한 28일의 압축강도는 물-시멘트비 45, 49 및 53%에서 각각 100, 107 및 130%로 물-시멘트비가 작을수록 강도발현이 둔화되었다. 즉, WPLA를 다량으로 치환한 경우, 물-시멘트비가 감소할수록 콘크리트의 강도는 골재에 의해 지배적인 영향을 받기 때문에 재령 7일 이후의 강도증진이 감소하였다고 판단된다.

WPLA 치환 콘크리트의 재령 28일 압축강도를 시멘트-물비(C/W)와의 관계로 정리한 것이 Fig. 8이다. Fig. 8에서 WPLA 치환율에 따른 콘크리트의 압축강도는 시멘트-물비가 증가함에 따라 선형적으로 증가하는 관계로서 높은 상관성을 나타내고 있다.

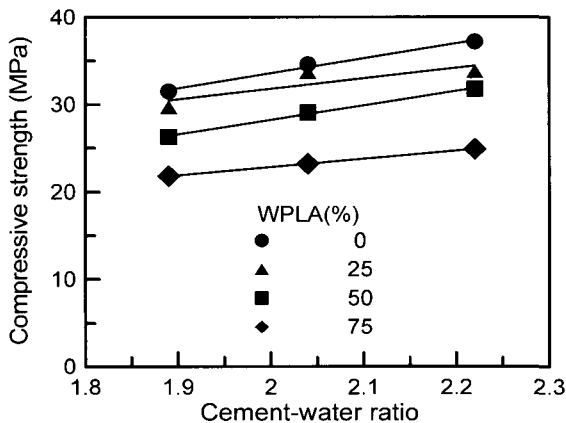


Fig. 8 Compressive strength vs. cement-water ratio

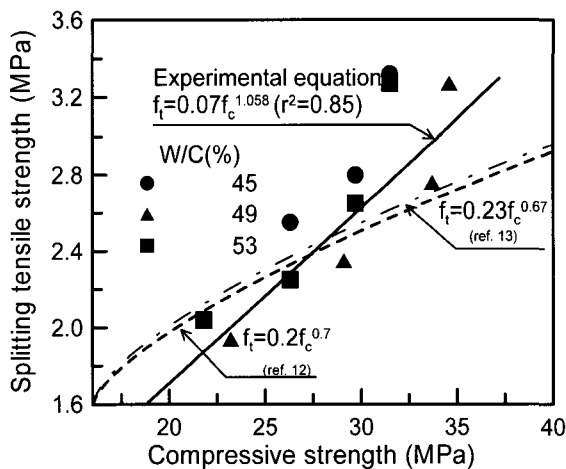


Fig. 9 Splitting tensile strength vs. compressive strength

즉, 시멘트-물비가 1.88에서 2.22로 증가함에 따라 WPLA 치환 콘크리트의 압축강도는 약 13~15% 정도 증진되는 결과를 얻었다. WPLA 치환 콘크리트의 재령 28일 압축강도와 시멘트-물비와의 관계를 선형관계식 (1)로 나타내어 변수 및 결정계수를 정리한 것이 Table 5로서 WPLA 25% 치환한 경우를 제외하고 결정계수가 0.90 이상으로 높은 상관관계를 나타내었다. 또한, 목표강도 24 MPa와 27 MPa에 해당하는 물-시멘트비는 각각 WPLA를 75%와 50%로 대체한 경우 46.3%와 51.2%로 나타나므로 WPLA의 치환율에 따라 목표강도를 얻기 위해서는 적절한 물-시멘트비의 조절이 필요함을 알 수 있었다.

$$f_{28} = a(C/W) + b \quad (1)$$

여기서, f_{28} : 재령 28일 압축강도

C/W : 시멘트-물비, a, b : 상수

한편, WPLA의 치환율이 증가함에 따라 콘크리트의 강도가 감소하는 이유는 콘크리트의 단위중량이 감소하기 때문이므로 경량콘크리트의 강도발현은 콘크리트의 강도와 단위중량과의 관계로 평가하는 것이 바람직하다¹⁵⁾. 재령 28일 콘크리트의 압축강도와 단위중량과의 비(비강도, Specific strength)를 정리한 것이 Table 6이다. 이 표에서 WPLA를 치환하지 않은 콘크리트의 비강도는 물-시멘트비 45, 49 및 53%에서 각각 16.17×10^3 , 15.04×10^3 및 $13.67 \times 10^3 \text{ MPa} \cdot \text{m}^3/\text{kg}$ 으로 물-시멘트비가 클수록 작아졌다. 경량콘크리트의 비강도는 WPLA 치환율 25%의 경우 WPLA를 치환하지 않은 콘크리트와 비슷한 비강도를 나타내었으며, 물-시멘트비 49%, WPLA 치환율 25%의 경우 $15.11 \times 10^3 \text{ MPa} \cdot \text{m}^3/\text{kg}$ 로 보통콘크리트보다 크게 나타나므로 가장 효율적인 경량콘크리트로 분석 되었다.

Table 6 Structural efficiency of concrete ($\times 10^3, \text{MPa} \cdot \text{m}^3/\text{kg}$)

WPLA/ (RS+WPLA)(%)	W/C (%)		
	45	49	53
0	16.17	15.04	13.67
25	14.96	15.11	13.38
50	14.72	13.73	12.35
75	12.83	11.60	10.85

Table 5 Characteristic value of equation on the compressive strength according to cement water ratio

WPLA/ (RS+WPLA) (%)	a	b	Coefficient of correlation(r^2)
0	17.18	-0.78	0.989
25	12.03	7.73	0.722
50	16.61	-4.99	0.996
75	9.40	4.04	1.000

3.2.3 압축강도와 할렬인장강도 및 탄성계수와의 관계

WPLA 치환율에 따른 재령 28일 압축강도와 할렬인장강도 및 탄성계수와의 관계를 정리한 것이 Fig. 9 및 Fig. 10이다.

Fig. 9에서 WPLA 치환 콘크리트의 할렬인장강도는 압축강도가 커짐에 따라 비례적으로 증가하였으며, 기존에 제시한 값^{12,13)} 보다 약간 크게 나타났다. 또한, 물-시멘트비 45 및 49%에서 압축강도와 인장강도와의 비(f_c/f_t)는 10.6~12.4 범위의 값이었으며, 물-시멘트비 53%에서는 9.6~11.7 범위의 값으로 WPLA를 치환한 경우가 WPLA를 치환하지 않은 콘크리트보다 약간 큰 값을 나타내었다.

Fig. 10은 압축강도와 탄성계수와의 관계를 나타낸 그림으로 WPLA를 치환한 콘크리트의 압축강도와 탄성계수와의 관계가 기존의 경량콘크리트의 압축강도에 따른 탄성계수와의 관계¹³⁾와 비슷한 경향을 보이고 있다. WPLA를 치환한 콘크리트의 압축강도와 탄성계수와 비(f_c/E_c)는 보통콘크리트에 비하여 약간 큰 값으로 WPLA의 치환율이 증가할수록 커졌으며, WPLA를 75% 치환한 콘크리트의 f_c/E_c 는 0.25~0.32로 나타났다.

3.3 콘크리트 성질과 WPLA의 비중과의 관계

WPLA가 콘크리트의 성질에 미치는 영향을 검토하기 위하여 WPLA 치환율에 따른 잔골재의 비중과 콘크리트의 슬럼프 증가율, 단위용적 중량 감소율 및 재령 28일 압축강도와의 관계를 나타낸 것이 Fig. 11이다.

Fig. 11에서 콘크리트의 슬럼프 증가율은 잔골재의 비중이 증가함에 따라 감소하는 역비례 관계를 보이고 있으며, 잔골재의 비중이 2.6에서 1.7로 감소할 경우, 물-시멘트비 45 및 53%에서 각각 약 45 및 120%를 나타내었다. 즉, 콘크리트의 슬럼프 증가율은 잔골재의 비중이 감소하고 물-시멘트비가 커짐에 따라 커졌다.

콘크리트의 단위용적 중량 감소율은 잔골재의 비중이 감소함에 따라 커졌으나, 물-시멘트비에 따른 영향은 크지 않았으며, 잔골재의 비중이 2.6에서 1.7로 작아질 경우 콘크리트의 단위용적 중량 감소율은 약 12~16%로 나타났다. 또한, 잔골재 비중에 따른 콘크리트의 압축강도 감소율은 잔골재의 비중이 작아질수록 커졌으며, 잔골재의 비중이 2.6에서 1.7로 감소함에 따른 압축강도는 약 30% 정도 감소하였다.

이와 같이 WPLA를 치환한 경량콘크리트의 성질은 잔골재의 비중에 의해 큰 영향을 받으므로 소요의 품질을 갖는 콘크리트를 얻기 위해서는 잔골재의 적절한 치환율 선정 및 품질관리가 필요하다.

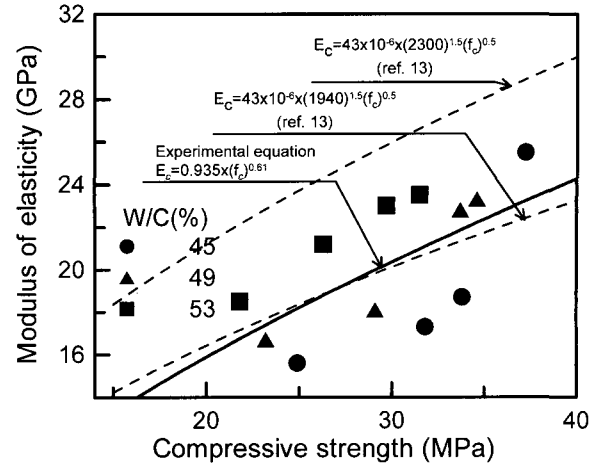


Fig. 10 Modulus of elasticity vs. compressive strength

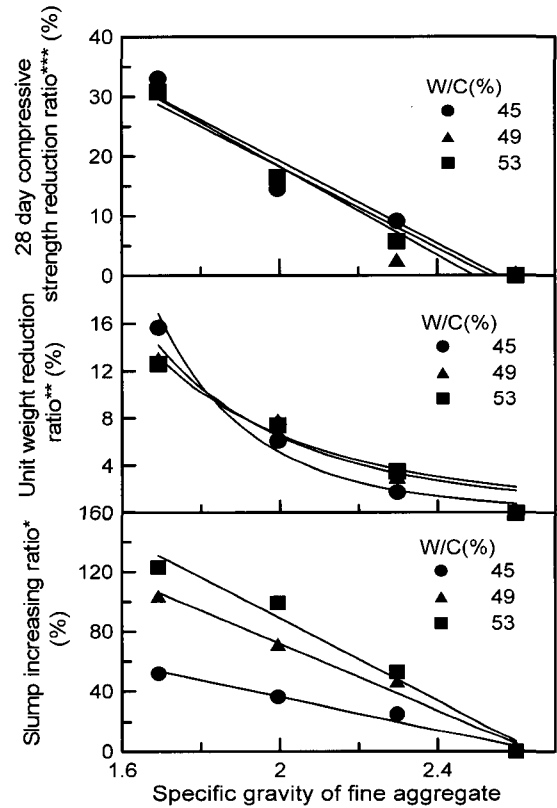


Fig. 11 Slump increasing ratio, unit weight and compressive strength reduction ratio of concrete vs. specific gravity of fine aggregate

$$* : \frac{SOW - SOC}{SOC} \times 100(\%)$$

$$** : \frac{WOC - WOW}{WOC} \times 100(\%)$$

$$*** : \frac{COC - COW}{COC} \times 100(\%)$$

here, SOW, WOW, COW: Slump, unit weight and compressive strength of WPLAC
SOC, WOC, COC: Slump, unit weight and compressive strength of control concrete

- 1) WPLA는 비중이 1.39로 강모래보다 47% 정도 작은 경량골재이며, 흡수율은 0.02%로 흡수율이 큰 일반 경량골재의 단점을 보완할 수 있을 것으로 판단된다. 또한, WPLA는 단입도로 제조되어 있으므로 잔골재로 활용하기 위해서는 WPLA를 50% 이하로 치환하여 입도를 조정할 필요가 있으며, WPLA를 50% 치환한 경우 잔골재의 비중 및 흡수율이 강모래보다 각각 23 및 75% 정도 크게 감소하였다.
- 2) WPLA를 치환한 콘크리트의 워커빌리티는 잔골재의 흡수율이 감소하고 WPLA의 등근입형의 영향으로 크게 향상되었으며, WPLA를 치환하지 않은 콘크리트에 대한 슬럼프 비는 물-시멘트비가 작을수록 작아지는 경향이 나타났다. WPLA를 75% 치환한 콘크리트의 단위용적 중량은 보통콘크리트 보다 약 17% 정도 감소하는 효과가 있었으며, 공기량은 $4.5 \pm 1\%$ 를 만족하는 범위에 있었다.
- 3) 콘크리트의 재령에 따른 압축강도비는 물-시멘트비가 작고 WPLA의 치환율이 클수록 감소하였다. 재령 28일 압축강도는 시멘트-물비가 1.88에서 2.22로 증가함에 따라 약 13~15% 정도 증진되었으며, WPLA 25% 치환 콘크리트의 비강도는 물-시멘트비 49%에서 $15.11 \times 10^3 \text{ MPa} \cdot \text{m}^3/\text{kg}$ 로 보통콘크리트보다 큰 효과가 있었다. 또한, WPLA 치환 경량콘크리트의 압축강도와 인장강도 및 탄성계수와의 관계는 일반 경량콘크리트와 비슷한 경향을 나타내었다.
- 4) WPLA 치환 콘크리트의 성질은 잔골재의 비중에 의해 크게 영향을 받는 결과로서, 잔골재의 비중이 2.6에서 1.7로 감소함에 따라 콘크리트의 슬럼프 증가율은 약 45~120%로 나타났으며, 물-시멘트비가 커질수록 커졌다. 또한, 단위용적중량 감소율 및 재령 28일 압축강도 감소율은 잔골재의 비중이 2.6에서 1.7로 감소함에 따라 각각 약 12~16% 및 30% 정도로 물-시멘트비 보다는 잔골재의 비중에 의한 영향이 지배적임을 알 수 있었다.

이상으로 본 연구의 결과를 종합해 보면, WPLA를 경량 콘크리트용 잔골재로 활용하면 콘크리트의 자중을 감소, 워커빌리티 개선 및 콘크리트의 건조수축 및 내구성이 향상이 기대될 뿐만 아니라, 폐 PET 병을 재활용하는 차원에서 자원 재활용 및 환경 보존의 극대화를 가져올 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구는 건설교통부의 산·학·연 공동연구개발 과제 「ET 신기술 경량골재를 이용한 고강도 경량 프리캐스트 바닥판 및 시공시스템 개발」에 관한 일련의 연구로 수행되었으며, 이에 감사 드립니다.

참고문헌

1. J.A. Rossignolo, M.V.C. Agnesini, "Mechanical Properties of Polymer-Modified Lightweight Aggregate Concrete," *Cement and Concrete Research* 32, 2002, pp.329~334.
2. 박성무, "경량콘크리트의 역학적 특성", 콘크리트학회지, 제10권 4호, 1998. 8, pp.38~45.
3. 신성우, 최명신, "구조용 경량콘크리트의 적용사례 및 전망", 콘크리트학회지, 제10권 4호, 1998. 8, pp.16~26.
4. P.H. Laamanen, "High Strength LWA Concrete for Bridge Construction the New Sundbru Bridge in Eidsvoil, Norway," *Proceedings of High-Strength Concrete*, ACI, Lillehammer Norway, 1993, pp.517~526.
5. 이석홍 외, "구조용 경량콘크리트 실용화 연구", 94MTR02, 현대건설기술연구소, 1996, pp.119~122.
6. 신성우 외, "Topping 콘크리트 두께 변화에 따른 고강도경량콘크리트를 사용한 Deck Plate 합성슬래브의 휨거동", 대한건축학회 학술발표논문집, 아주대학교, 제18권 1호, 1998. 5, pp.37~44.
7. 안재준, "팽창점도를 이용한 경량모르타의 강도특성에 관한 실험적 연구", 대한건축학회 학술발표논문집, 인하대학교, 제10권 2호, 1990, pp.611~616.
8. 민정기, "인공경량골재 콘크리트의 물리·역학적 성상", 박사학위논문집, 충남대학교, 1996, pp.75~89.
9. 한국자원리사이클링학회, "리사이클링백서", 한국자원리사이클링학회, 1999, pp.206~215.
10. 최연왕, 정지승, 문대중, 신화철, 황윤태, "폐 PET병을 이용한 경량골재콘크리트의 특성에 관한 실험적 연구", 한국콘크리트학회 가을학술발표회논문집, 고려대학교, 2002. 11, pp.211~216.
11. 류성희, 조병완, 서석구, 태기호, 박승국, "재활용PET수지를 이용한 폴리머 콘크리트의 강도, 내화학적, 흡수율에 관한 실험적 연구", 한국콘크리트학회 봄학술발표회논문집, 서울대학교, 2003. 5, pp.805~810.
12. F. A. Oluokun, "Prediction of concrete tensile strength from compressive strength evaluation of existing relations for normal weight concrete," *ACI Materials Journal*, Vol.88, No.3, 1991, pp.302~309.
13. A. M. Neville, "Properties of Concrete," 4th Edition, Longman Malaysia, 1995, pp.698~704.

요 약

폐 PET 병을 재활용하여 경량콘크리트용 잔골재로 활용하기 위하여 폐 PET 병 활용 경량골재(WPLA)의 품질 및 WPLA를 사용한 콘크리트(WPLAC)의 유동성, 단위용적 중량, 공기량 및 강도특성에 대하여 검토하였다.

WPLA의 품질을 검토한 결과 WPLA를 50% 이하로 치환하는 것이 바람직하며, WPLA를 50% 치환한 경우 잔골재의 비중 및 흡수율이 강모래보다 각각 23 및 75% 정도 크게 감소하였으며, 콘크리트의 제물성에 크게 영향을 미쳤다. WPLA를 치환한 균지않은 콘크리트의 워커빌리티는 WPLA 치환율 및 물-시멘트비가 클수록 향상되었으며, 잔골재의 비중이 2.6에서 1.7로 감소함에 따라 콘크리트의 슬럼프 증가율은 약 45~120%로 나타났다. WPLA를 75% 치환한 콘크리트의 단위용적중량은 보통 콘크리트 보다 약 17% 정도 감소하였다. WPLA를 25 및 50% 치환한 콘크리트의 재령 28일 압축강도는 물-시멘트비 변화(W/C=45, 49 및 53%)에 관계없이 30 MPa를 상회하였으며, WPLA 25% 치환 콘크리트의 비강도는 물-시멘트비 49%에서 $15.11 \times 10^3 \text{ MPa} \cdot \text{m}^3/\text{kg}$ 로 보통콘크리트보다 크게 나타났다. 재령 28일 압축강도, 인장강도 및 탄성계수와의 비는 일반 경량 콘크리트와 비슷한 경향을 보였다.

이상의 결과로 WPLA를 경량 콘크리트용 잔골재로 활용하는 것이 가능하다고 판단된다.

핵심용어 : 폐 PET 병, 폐 PET 병 활용 경량골재(WPLA), 비중, WPLA를 사용한 콘크리트, 압축강도
