

폐 PET 병을 이용한 輕量모르터의 品質特性에 관한 研究

*崔 然 汪

世明大學校 土木工學科

A Study on the Quality Characteristic of Mortar Using Lightweight Aggregate with Waste PET Bottle

*Yun-Wang Choi

Department of Civil Engineering, Semyung University

요 약

폐 PET 병을 재가공하여 콘크리트용 경량골재(LAPET)로 제조하였으며, LAPET의 품질 및 LAPET 사용 모르터의 불성에 대하여 검토하였다. LAPET의 비중 및 단위용적 중량이 각각 1.39 및 844 kg/m³로 강모래에 비하여 매우 작으며, LAPET의 혼합률이 클수록 골재의 비중이 작아지므로 강도가 크게 떨어졌으나, LAPET를 25 및 50%로 혼합한 경우 재령 28일 압축강도는 30 MPa 이상의 강도를 발현하였다. LAPET의 입형은 대부분이 일정한 형태로 둥근 모양을 지니고 있었으며, 표면조직이 매끄러워 모르터의 유동성을 크게 향상시켰다. 한편, LAPET가 단입도로 구성되어 있어 모르터의 모세관 흡수량은 LAPET를 혼합하지 않은 모르터에 비하여 크게 나타났다. LAPET의 내부구조는 유기질 계통의 고분자 재료인 PET로 구성되어 있어 흡수율이 0%이므로 일반 경량골재의 단점을 개선하는 효과가 있었으며, LAPET를 경량콘크리트용 골재로 재이용하게 되면 폐자원 재활용 및 환경오염을 미연에 방지하는 일석이조의 효과가 기대된다.

주제어: 폐 PET 병, LAPET, 비중, 흡수율, 압축강도

Abstract

Lightweight aggregate for concrete was manufactured from recycling the waste PET bottles (PET Bottle Lightweight Aggregate, LAPET). The qualities of LAPET and its mortar were investigated. Specific gravity and unit weight of LAPET was very low in comparison with river sand like as 1.39, 844 kg/m³ respectively. In addition, compressive strength of concrete significantly decreased because of specific gravity of aggregate decreased with increases in containing ratio. When LAPET was contained to 25% and 50% of river sand, compressive strength of concrete at 28 days was indicated more 30MPa. Most of LAPET was generally showed to round shape and fluidity of mortar increased significantly due to sleeking the surface texture of LAPET. On the other hand, capillary absorption of mortar with LAPET was greatly increased in comparison with that of mortar without LAPET because of LAPET was composed of singular gradation. Absorption of LAPET was 0% because the interior structure of LAPET consists of PET like as organic high polymer. Therefore the fault of normal lightweight aggregate, absorption, will be improved. It could expect several advantages that the pollution of environment will be previously prevent and the waste resources could be recycled if LAPET is reused as aggregate for Lightweight concrete.

Key words: waste PET bottles, LAPET, specific gravity, absorption, compressive strength

1. 서 론

국민 생활수준이 향상됨과 더불어 음료소비량이 급속도로 증가함에 따라 음료를 보관하는 용기가 유리병에

서 무게가 가볍고 이동 및 보관이 용이한 Poly Ethylene Terephthalate(이하 PET라 약함)병으로 대체되고 있다. 이러한 PET 병의 생산량은 급속하게 증가하는 추세로 2002년 현재 수량이 22억개, 중량으로 8만 7천톤 정도가 생산될 것으로 예상되고 있으나, 이를 폐기할 경우 환경오염의 발생 및 자원낭비 등의 문제점을 야기

* 2003년 4월 23일 접수, 2003년 9월 25일 수리

* E-mail: crete77@semyung.ac.kr

되고 있어 정부에서는 자원의 절약과 재활용 촉진에 관한 법률을 제정하며 PET병을 재활용 중점관리 품목으로 지정하여 관리하고 있다.¹⁾

그래서 폐기처분된 폐 PET병은 각도 단위별로 일괄 수거하여 음료병으로 재생산하여 활용성을 높이고 있으나, 폐 PET병 용용시 많은 경비가 소요되므로 보다 저렴하게 처리하여 재활용할 수 있는 콘크리트용 경량골재로 활용하는 방안도 강구되고 있다.^{2,3)}

주지하는 바와 같이 콘크리트는 건설재료중에서 가장 일반적으로 사용되는 재료로 성형성 및 경제성이 우수한 반면에 단위중량에 비하여 강도가 낮기 때문에 부재 단면이 확대되어 자중이 커지는 근본적인 문제점을 갖고 있다.⁴⁾ 이와 같은 콘크리트의 자중을 감소하기 위하여 이미 1900년 초반부터 선진 각국에서는 경량콘크리트에 대한 연구가 지속적으로 활발히 진행되어 많은 연구성과 및 고층건물, 교량, 해상구조물 등에 적용된 시공사례가 보고되어 있는 실정이다.⁵⁻⁷⁾

또한 국내 건설기술의 발전과 더불어 토목, 건축 구조물이 점차 대형화 및 초고층화 됨에 따른 콘크리트의 경량화에 대한 필요성으로 연구가 활발히 진행되어 비구조용으로 사용되는 경량골재 뿐만 아니라 일반구조물이나 프리캐스트 구조물 등과 같은 구조용으로 사용될 수 있는 경량골재에 대한 연구성과가 보고되고 있다.^{8,9)}

그러나 기존에 발된 경량골재의 경우, 대부분이 무기질 계통의 소성 경량골재로서 제조시 1000°C 이상의 높은 소성온도에 따른 단가상승 문제, 다공성으로 제조되므로 흡수율이 커져 콘크리트의 건조수축 증가, 내구성 저하 및 골재의 낮은 강도 등의 문제점으로 구조용 콘크리트 골재로서 사용실적이 미흡한 실정이다.¹⁰⁻¹²⁾

그러므로 본 논문에서는 최근 발생량이 급속히 증가하고 있는 폐 PET병을 콘크리트용 경량골재로 재활용하기 위한 방안으로 국내 제철공장의 부산물로 발생하는 고로슬래그 미분말을 병용하여 경량골재(폐 PET병 경량골재 또는 LAPET라 약함)를 제조하였다. 또한, 경량골재의 품질시험을 통하여 일반골재와 비교, 고찰하였으며, 경량골재를 사용한 모르타의 유동성 및 압축강도에 대하여 검토하여 구조용 경량골재의 사용가능성에 대한 기초적 자료를 제시하고자 하였다.

2. LAPET의 제조 및 품질

2.1. LAPET의 제조방법

LAPET는 Fig. 1과 같이 5단계 공정을 걸쳐 제조하

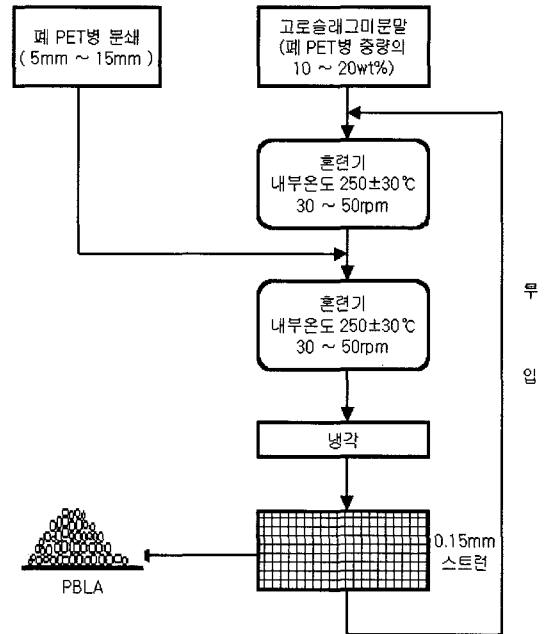


Fig. 1. Manufacturing process of LAPET.

였다. 제1단계는 민간수집상 및 재생공사 등에서 수집된 폐PET병 속의 이물질 및 라벨을 제거한 후 5mm~15mm의 범위의 가능한 사각형 형태로 절단하는 공정이다. 제2단계는 내부온도를 250±30°C를 유지시킬 수 있으며, 30~50 rpm의 속도로 회전시킬 수 있는 원형 밀폐형 혼련기에 고로슬래그 미분말을 폐PET병 중량의 10~20% 정도로 투입하여 250°C정도로 가열하는 공정이다. 제3단계는 제1단계에서 준비한 폐PET병 조각을 혼련기에 투입하여 제2단계에서 만들어진 고로슬래그 미분말과 함께 30~50 rpm의 속도로 최소 5분이상 회전시키는 공정이다. 제4단계는 제3단계에서 제조된 골재를 혼련기로부터 배출하여 대기 중에서 냉풍으로 서서히 식히는 공정이다. 마지막 제5단계에서는 0.15mm 체를 사용하여 체가름 한 후 체를 통과한 고로슬래그 미분말을 다시 혼련기 내부로 반송하여 재사용하는 공정이다. 이와 같은 다섯 가지 공정을 거치고 0.15mm 체에 남은 골재를 폐 PET병 경량골재(LAPET)라 명칭하였다.

2.2. LAPET의 품질 시험 방법

LAPET를 제조하기 위하여 일상 생활쓰레기로 폐기되고 있는 PET 병을 활용하였으며, 골재의 품질을 향상시키기 위하여 제철산업소에서 발생하는 부산물인

고로슬래그 미분말을 사용하였다.

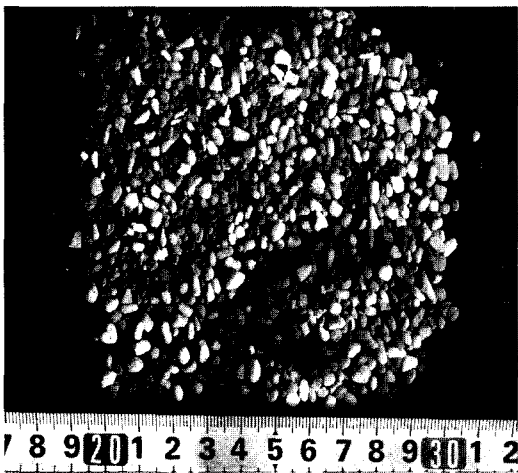
LAPET품질 시험방법은 구조용 경량골재의 품질에 대한 한국산업규격 KS F 2534에 준하여 비중 및 흡수율 시험과 유기불순물 시험은 KS F 2503 및 KS F 2510에 준하여 실시하였으며, 체가름 및 단위용적 중량 시험은 KS F 2502 및 KS F 2505에 준하여 실시하였다.

2.3. LAPET의 품질에 대한 고찰

2.3.1 LAPET의 입형 및 단면구조

골재의 실적을 및 모르타의 유동성 등에 영향을 미치는 입형의 영향을 알아보기 위하여 LAPET의 입형을 촬영한 것이 Photograph. 1이다. 이 사진에서 LAPET의 입형은 대부분 일정한 형태로 표면이 매끄럽고 둥근 모양을 지니고 있으며 있음을 알 수 있다. 이는 LAPET 제조시 거의 일정한 크기로 절단하였으며, 250°C 정도로 가열하였기 때문에 둥글고 비슷한 크기의 골재가 생성되었다.

LAPET의 단면구조를 Fig. 2에 나타내었다. LAPET의 내부는 유기질 계통의 고분자 재료인 PET로 구성되어 있으며, 표면은 PET만으로 경량골재를 제조할 경우 내화성이 크게 떨어지므로 이를 보완하기 위하여 사용



Photograph. 1. Shape of LAPET.

된 고로슬래그 미분말이 부착되어 있음을 알 수 있다. 즉, 일반적인 인공경량골재는 인공적으로 소성하여 제조하므로 골재내부가 다공질이고 표면은 유리질의 피막으로 되어 있는 구조로 되어 있지만, LAPET는 이와는 매우 큰 차이가 있음을 보여주고 있는 것이다.

2.3.2 LAPET의 비중 및 흡수율

LAPET의 품질 시험을 실시하여 일반 강모래와 비교, 정리한 것이 Table 1이다.

Table 1에서 LAPET의 비중은 1.39로 강모래에 비하여 약 47% 정도 작은 값이었으며, 흡수율은 Fig. 2에서도 알 수 있듯이 골재 내부구조가 고분자인 PET로 이루어져 있으므로 0%의 값으로 측정되었다. 그러므로 일반적인 인공경량골재는 비중이 감소하는 반면, 흡수율이 커지는 문제가 발생하였으나, LAPET는 일반 경량골재 흡수율의 문제점을 일소할 수 있는 골재로 평가된다. 또한, LAPET의 품질은 KS는 물론 KS 및 JIS 규격 경량골재의 품질기준을 모두 만족하는 매우 좋은 품질의 경량골재이었다.

2.3.3 LAPET의 입도 및 단위용적

LAPET의 단위용적 중량은 Table 1에서 844 kg/m³로 강모래의 단위용적 중량에 비하여 50% 정도 크게 감소되므로 콘크리트 구조체의 자중감소에 효과적이라고 판단된다. 또한 KS F 2534의 구조용 경량골재의 기준인 최대단위용적 중량 1,120 kg/m³보다 낮아 경량골재 규

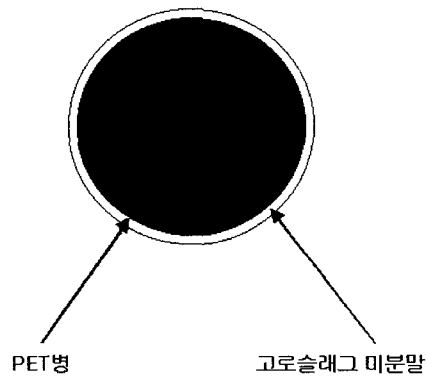


Fig. 2. Section of LAPET.

Table 1. Physical properties of fine aggregates.

Type of aggregate	Specific gravity	Absorption (%)	F.M.	Organic impurities	Unit weight (kg/m ³)	Percentage of solids(%)
RS	2.60	1.82	2.90	O.K	1,677	64.5
LAPET	1.39	0	4.11	O.K	844	60.7

정을 만족하고 있음을 알 수 있다. 반면에, LAPET의 실적률은 60.7%로 강모래보다 골재 입도의 영향으로 다소 작은 값을 나타내었다.

LAPET의 실적률에 미치는 골재의 입도의 영향을 알아보기 위하여 골재의 체가를 시험결과를 정리하여 입도분포로 나타낸 것이 Fig. 3이다.

Fig. 3의 입도분석결과 LAPET의 조립률은 4.11로 중량의 95%이상이 2.5 mm.체를 통과하고 1.2 mm체에 잔류하는 단일입경의 입도분포를 나타내고 있어 콘크리트용 잔골재의 입도 분포 규정치 범위에 적합하지 않음을 알 수 있다. 이러한 원인은 LAPET 제조시 폐PET 조각을 5 mm~15 mm의 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.

3. LAPET를 사용한 모르터의 품질

3.1. 실험개요

3.1.1 사용재료

시멘트는 비중이 3.15이고, 비표면적이 3,539 cm²/g인

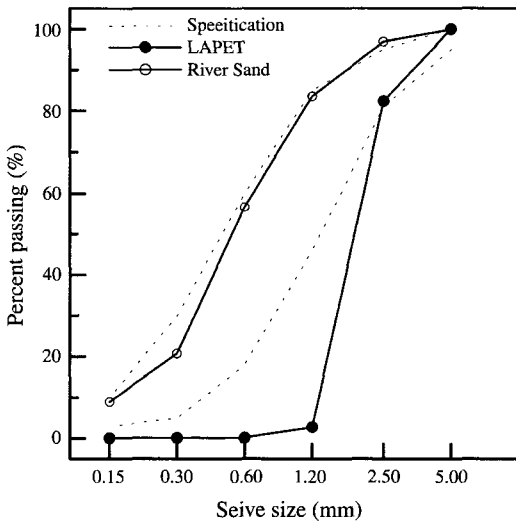


Fig. 3. Grading curve of LAPET.

보통포틀랜드시멘트를 사용하였으며, 시멘트의 화학성분은 Table 2와 같다. 잔골재는 예천산 강모래(이하 RS로 약함) 및 폐 PET병을 이용한 경량골재를 사용하였다.

3.1.2 실험방법

(1) 모르터의 플로우 및 압축강도 시험 : KS F 2514에 의하여 모르터 플로우 및 재령 3일, 7일, 28일의 압축강도를 측정하였다.

(2) 모르터의 모세관 흡수율 시험 : 5×5×5 cm인 모르터 공시체를 재령 28일에서 105±5°C로 24시간 건조시킨 후 Fig. 4와 같이 스펀지를 물로 충분히 흡수시키고 공시체의 한쪽면만을 접촉시켜 180분까지의 흡수량을 측정하였다.

3.1.3 모르터의 배합

본 연구의 모르터 배합은 폐 PET 병을 활용하여 제조한 경량골재를 콘크리트용 골재로 이용하기 위한 기초실험단계로 모르터의 물성을 통해 콘크리트용 잔골재로서의 성질을 알아보기 위하여 KS L 2514 기준 “모르타르의 압축강도에 의한 잔골재 시험방법”에 준하여 시멘트와 잔골재 중량비는 1:2.45로 하였으며, 물-시멘

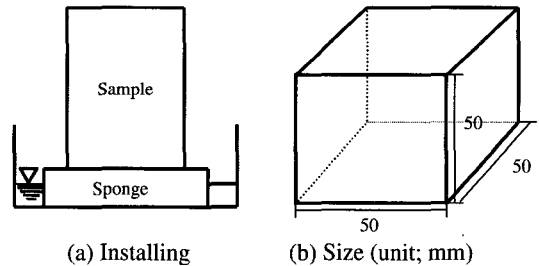


Fig. 4. Capillary absorption test of mortar.

Table 3. Mixture proportions of mortar.

LAPET/(RS+LAPET)(%)	Flow value (%)	Increasing ratio of flow value (%)
0	166.1	0.00
25	170.6	2.71
50	176.2	6.08
75	181.0	8.97
100	192.3	15.77

Table 2. Chemical compositions of ordinary portland cement (%).

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃
21.60	6.00	3.10	61.41	3.40	2.50

트비는 플로우가 100±5% 범위를 만족하도록 60%로 정하였다. LAPET의 혼합률은 부피치환으로 0, 25, 50, 75 및 100% 5수준으로 변화시켜 정하였으며, 이 때의 배합을 Table 3에 나타내었다

3.2. 실험결과에 대한 고찰

3.2.1 모르터의 플로우

Table 4. Results of flow value.

LAPET/ (RS+LAPET)(%)	Weight (g)			
	C	W	RS	LAPET
0	900	540	2200	0
25	900	540	1650	294
50	900	540	1100	588
75	900	540	550	882
100	900	540	0	1176

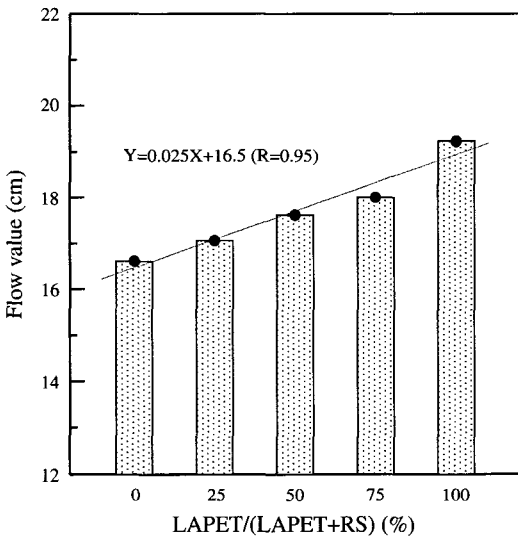


Fig. 5. Flow value of mortar.

LAPET의 혼합률에 따른 모르터의 흐름특성을 알아보기 위해 LAPET를 혼합하여 제조한 모르터의 플로우 값을 측정하여 정리한 것이 Table 4 및 Fig. 5이다.

이 표 및 그림에서 LAPET를 혼합한 모르터의 플로우 측정 결과 LAPET의 혼합률이 증가함에 따라 플로우 값이 비례적으로 증가하였으며, 상관계수는 0.95로 LAPET의 혼합률과 플로우 값과는 좋은 선형관계를 나타내었다. 즉, LAPET를 100% 혼합한 경우 LAPET를 혼합하지 않은 기준 모르터의 플로우 값보다 16%정도 증가하고 있음을 알 수 있다. 이러한 경향은 LAPET의 입형이 대부분이 둥근모양이며, 매끄러운 표면조직을 가지고 있어 모르터 유동시 내부마찰각이 감소되기 때문이라고 판단된다.

3.2.2 모르터의 모세관 흡수량

LAPET 혼합에 따른 모르터의 공극특성을 검토하기 위하여 LAPET의 혼합율 0%, 20%, 40% 및 60%의 4수준으로 대체한 모르터의 모세관 흡수량을 측정하여 정리한 것이 Table 5 및 Fig. 6이다.

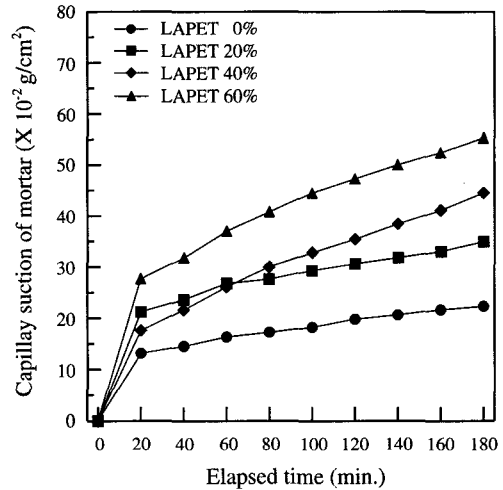


Fig. 6. Capillary suction of mortar.

Table 5. Results of absorption (g).

LAPET/ (RS+LAPET)(%)	Elapsed time (min)									
	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180
0	0	5.3	5.91	6.7	6.91	7.32	7.66	7.95	8.24	8.72
25	0	3.28	3.63	4.08	4.31	4.56	4.96	5.16	5.39	5.58
50	0	4.41	5.39	6.53	7.51	8.2	8.85	9.61	10.27	13.11
75	0	6.92	7.95	9.24	10.19	11.13	11.82	12.47	11.12	13.82

Table 6. Results of compressive strength.

LAPET/ (RS+LAPET)(%)	Compressive Strength					
	3days		7days		28days	
	MPa	%	MPa	%	MPa	%
0	14.59	100.0	26.53	100	44.9	100
25	12.45	85.3	23.78	89.6	39.69	88.4
50	12.35	84.6	21.22	80.0	33.98	75.7
75	11.21	76.9	20.31	76.6	28.98	64.5
100	7.65	52.4	16.73	63.1	26.22	58.4

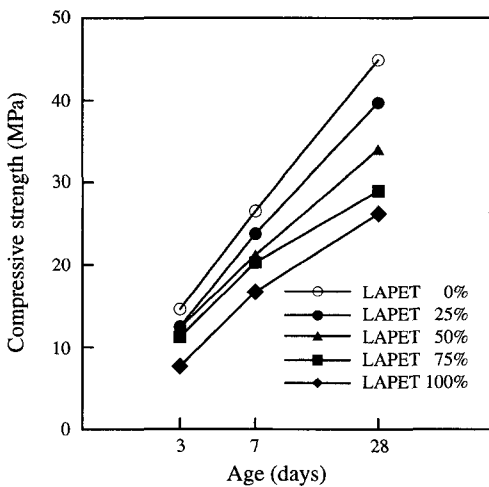


Fig. 7. Compressive strength ratio of mortar.

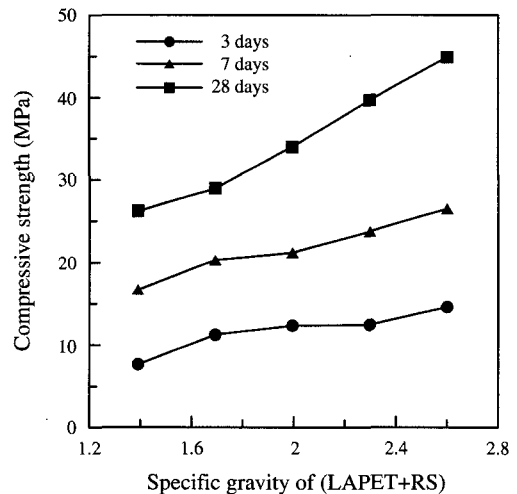


Fig. 8. Relationship between compressive strength and specific gravity of LAPET

Table 5는 공시체 밀면에서 흡수되는 수량을 측정 한 결과로 경과시간 180분에서 LAPET를 혼합하지 않은 모르터의 흡수량은 8.72 g인 반면 LAPET를 100% 혼합한 모르터의 흡수량은 13.82 g으로 약 58% 증가하였다.

Fig. 6에서 모세관 흡수량은 경과시간에 따른 흡수량을 공시체 밀면의 면적으로 나눈 값으로 경과시간에 따라 흡수량이 증가하였으며, LAPET의 혼합률이 증가할수록 흡수량이 커짐을 알 수 있었다. 즉, LAPET의 대체율이 20%씩 증가할수록 모세관 흡수량이 10%정도 증가하는 경향이 있었다. 이와 같은 경향은 LAPET는 1.25 mm 이상의 단입도 골재로서 강모래와 대체할 경우 모르터 공시체 내부의 공극률이 증가하였기 때문으로 생각된다.

3.2.3 모르터의 압축강도

LAPET의 혼합률을 0, 25, 50, 75 및 100%로 변화시켜 제조한 모르터의 재령별 압축강도를 측정 한 결과

를 정리한 것이 Table 6 및 Fig. 7이다.

이 표 및 그림에서 모르터의 재령별 압축강도는 재령이 증가할수록 커짐을 알 수 있으며, LAPET를 혼합하지 않은 모르터의 재령 28일 압축강도는 약 44.9 MPa 정도를 발휘하였다. 또한, LAPET 혼합률을 25 및 50%로 혼합한 경우 재령 28일 압축강도는 약 40 및 34 MPa 정도의 강도를 얻었다. 반면에 LAPET를 혼합률이 증가할수록 모르터의 압축강도가 크게 저하하여 LAPET 혼합률 100%인 경우 재령 28일의 압축강도는 42% 정도 강도저하 현상이 나타남을 알 수 있다.

다음은 LAPET 품질이 모르터의 압축강도에 미치는 영향을 알아보기 위하여 LAPET 혼합률별 비중을 계산하여 모르터 압축강도와의 관계로 나타낸 것이 Fig. 8이다. 이 그림에서 재령 3일에서는 골재의 비중에 의한 영향이 크지 않았으나, 재령이 증가할수록 비중에 의한 영

향이 큼을 알 수 있다. 즉, 재령 28일에서는 비중이 커질수록 급격히 강도가 증가하여, 골재의 비중이 모르터의 강도에 지배적인 영향을 미친다고 판단된다. 그러므로 단위중량이 작으며, 소요의 강도를 발현하는 경량 콘크리트는 콘크리트 배합시 LAPET의 혼합률 및 물-시멘트비를 조절함으로써 제조가 가능할 것으로 판단된다.

이상으로 폐 PET 병을 이용하여 모르터의 물성을 검토해 본 결과, LAPET는 경량골재의 최대단점인 흡수율을 보완할 수 있으며, 둥근표면입자를 갖고 있으므로 콘크리트의 워커빌리티를 매우 향상시킬 수 있는 장점이 있다. 또한, LAPET는 입도조정 및 배합을 조절함으로써 소요 강도의 경량콘크리트 제조시 골재로 이용할 수 있을 것으로 판단되므로 폐자원 재활용 및 환경오염을 미연에 방지하는 일석이조의 효과를 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

4. 결 과

본 연구의 실험결과를 다음과 같이 요약하였다.

1. LAPET의 비중은 1.39, 단위용적 중량은 844 kg/m³로 강모래에 비하여 47% 및 50% 정도로 작은 경량골재이며, 흡수율이 0%로 경량골재의 단점을 보완할 수 있었다. 또한, LAPET의 입형은 일정한 형태로 둥근 모양을 지니고 있으며, 내부구조는 유기질 계통의 고분자 재료인 PET와 외부구조는 고로슬래그 미분말로 구성되어 있다. LAPET의 입도는 2.5 mm 이상의 단입도로 제조되었다.

2. LAPET를 혼합한 모르터의 플로우값은 LAPET의 혼합률에 따라 비례적으로 증가하였으며, LAPET를 100% 혼합한 모르터의 플로우 값은 LAPET를 혼합하지 않은 모르터에 비하여 약 16% 증가하였다. 또한, LAPET를 혼합한 모르터의 모세관 흡수량은 LAPET가 단입도로 구성되어 있으므로 LAPET를 혼합하지 않은 모르터에 비하여 큰 값을 나타내었다.

3. 모르터의 압축강도는 골재의 비중에 의한 영향이 크게 미치며, LAPET의 혼합률이 클수록 골재의 비중이 작아지므로 강도저하가 크게 나타났다. 그러나, LAPET를 25 및 50%로 혼합한 경우 재령 28일 압축강도는 30 MPa 이상의 강도를 발현할 수 있었으므로, 소요 강도의 경량콘크리트를 제조하기 위해서는 LAPET의 혼합률 및 단위시멘트량 등을 조절함으로써 가능하다고 판단되었다.

이상의 실험결과를 종합해 보면, 폐 PET 병을 콘크리

트용 경량골재로 활용할 수 있는 가능성을 통하여 폐자원을 유효자원으로서의 활용효율이 클 것으로 기대된다.

감사의 말

이 논문은 2001학년도 세명대학교 교내학술연구비 지원에 의한 것입니다. 이에 감사 드립니다.

참고문헌

1. 한국자원리사이클링학회, 1999: 리사이클링백서, pp. 206-215.
2. 최연왕 외, 2002: "폐 PET병을 재활용한 인공경량골재의 품질 및 모르터의 특성", 한국 콘크리트 학회, 봄 학술발표회 논문집, 14(1), pp.631-636.
3. Sussman, V., 1975: "Lightweight Plastic-Aggregate Concrete", ACI Journal, 1975, pp. 321-323
4. KUMAR Mehta, P., 1993: "Concrete", Prentice-Hall.
5. Laamanen, P. H., 1993: "High Strength LWA Concrete for Bridge Construction the New Sundbru Bridge in Eidsvoil, Norway", Poceedings of High-Strength Concrete, pp. 517-526.
6. 신성우, 최명신, 1998: "구조용 경량콘크리트의 적용사례 및 전망", 한국 콘크리트학회 논문집 10(4), pp. 16-26.
7. 서치호, 1991: "경량콘크리트의 발전과 전망", 콘크리트학회지, 2(1), pp. 24-27.
8. 김세현, 1997: "고강도-경량콘크리트의 특성 및 현장적용방안에 관한 연구", 한양대학교 석사논문.
9. 이석홍 외, 1996: "구조용 경량콘크리트 실용화 연구", 현대건설기술연구소 보고서.
10. 김성완, 성찬용, 민정기, 정현정, 1995: "경량콘크리트의 개발에 관한 실험적 연구", 한국농공학회지, 37(5), pp. 90-99.
11. 西岡思郎, 昭和 46年 11月: "人工輕量骨材の使用時の吸水量に關する考察", 日本建築學會大會學術講演概要集
12. 안재준, 1990: "팽창점토를 이용한 경량모르터의 강도특성에 관한 실험적 연구" 대한건축학회 학술발표논문집, 10(2), pp. 611-616.
13. 민정기, 1996: "인공경량골재 콘크리트의 물리·역학적 성상", 충남대학교 박사논문.

崔 然 汪

- 1996년 한양대학교 토목공학과 공학박사
- 현재 세명대학교 건설공학부 토목공학과, 부교수