

재생시멘트와 폐 EPS 재생골재를 사용한 포러스 콘크리트 물성

A Property of Porous Concrete applied by Recycled Cement and using Recycled Aggregates Made of EPS Waste

○ 김 성 수* 박 차 원** 안 재 철*** 강 병 희****
Kim, Sung-Su Park, Cha-Won Ahn, Jae-Cheol Kang, Byeung-Hee

Abstract

In recent days, it is necessary to find environment-friendly way of disposing industrial waste and recycling system. So this study will analyze the property of Porous concrete improved by concrete waste powder and recycled lightweight aggregate and then suggest the ways of recycling. The method deals with experimenting unit weight of capacity, thermal conductivity, compression and ultrasonic pulse velocity.

Considering the relation between ultrasonic pulse velocity and unit weight & thermal conductivity through the graph, the result of relation between ultrasonic pulse velocity and unit weight & thermal conductivity on the graph expressed their high interaction shown as direct proportion on the graph.

Recycled Porous concrete merits lightweight and adiabatic. Therefore, we will expect that the current using ALC and Recycled Porous concrete has be similar thermal conductivity.

키워드 : 폐 콘크리트 미분말, 재생 경량골재, 다공질성, 포러스 콘크리트

Keywords : concrete waste powder, recycled lightweight aggregate, property, porous concrete

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

최근, 각 산업분야에서의 산업 폐기물 처리와 환경 친화적 재활용 방안의 모색이 절실히 요구되는 실정이며, 특히, 건설업에 있어서도 건설 폐기물 발생량(그림 1)에 따르는 환경 파괴에 대한 대책 및 재료의 자원 고갈 문제에 따른 대책과 재활용 방안이 심각하게 요구되는 실정이다.

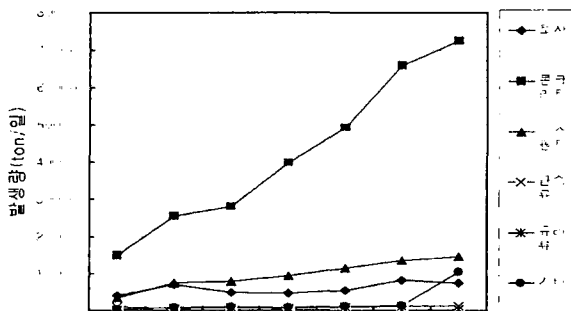


그림 1. 국내 건설폐기물 발생량

* 정희원, 동아대 건축공학과 석사과정

** 정희원, 동아대 건축공학과 박사수료

*** 정희원, 동아대 건축학부 초빙교수, 공학박사

**** 정희원, 동아대학교 건축학부 교수, 공학박사

국내 건설폐기물의 자원화는 생활폐기물이나 타사업장폐기물과 비교하여 아직까지는 사회적인 관심이 부족하다. 따라서 분류, 선별, 재생처리등 재활용 기술의 개발·보급이 지연되고 있으며, 폐기물 처리체계가 미흡한 실정이다. 이미 선진국에서는 환경 문제를 직시하고 자원 고갈에 대한 대책으로 콘크리트 재활용에 대한 연구에 착수하여 실용화 단계에 접어들었다. 이에 폐기물 증가와 부존자원부족에 대한 사회적 배경을 인식하고, 그에 대한 재활용 방안과 환경친화적 재료 개발에 대한 기술적 연구의 목적을 가지게 되었다. 따라서 본 연구에서는 재생시멘트와 재생골재의 유효 이용을 위한 기술 개발의 일환으로, 폐 콘크리트 미분말과 재생 경량 골재를 이용해 더욱 성능 개선된 다공질 포러스 콘크리트의 물성을 연구 및 개발하여 활용 방안을 모색해보고, 실제의 재활용하기 위한 재생 방법의 제안을 목적으로 한다.

2. 실 험

2.1 사용재료

1) 재생시멘트

가) 모재(母材)

원료의 화학성분의 변동이 가능한 한 적은 것을 위해서 모

재로서 보통포틀랜드 시멘트를 사용하여 제조한 모르터를 사용하였다. 사용재료의 물성은 표 1과 같다.

표 1. 사용재료의 물성

사용재료	물리적 성질		화학적 성질					
	비중	분말도 (cm/g)	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	SO ₃
보통포틀랜드 시멘트	3.15	3,265	62.0	21.3	5.4	3.5	3.3	1.64

모재 페이스트의 배합은 표 2와 같다.

표 2. 재생시멘트 제조를 위한 모재 모르터 배합

W/C (%)	S/M (%)	비 중		Unit Weight (g/l)		
		C	S	W	C	S
60	45	3.15	2.56	359.7	599.4	1152

나) 수화성 회복을 위한 재생cycle

재생시멘트의 수화성 회복을 위한 제조 과정은 본 연구에서는 선행된 연구를 바탕으로 300℃ 70분의 예비가열을 하였으며, 소성은 700℃, 90분 간격으로 하였다.

다) 재생 시멘트 화학성분 및 물성

그림 2은 보통시멘트와 재생시멘트의 화학성분으로 KS L 5201에 따라 실시한 결과이다. 재생시멘트의 화학성분 중, Al₂O₃, Fe₂O₃, MgO, SO₃의 양은 비교적 보통포틀랜드 시멘트와 비슷하였고, MgO 및 SO₃의 양도 KS기준을 만족하였다. 그러나, CaO가 크게 감소한 반면, SiO₂가 2배 가량 증가하였다. 또한, 불용잔분이 30%가량 발생하였다.

이상과 같이, SiO₂와 불용잔분이 크게 함유된 것으로 보아 原시멘트 모재로부터 재생한 시멘트의 성분 중 모래 성분이 다량 함유된 것으로 여겨진다.

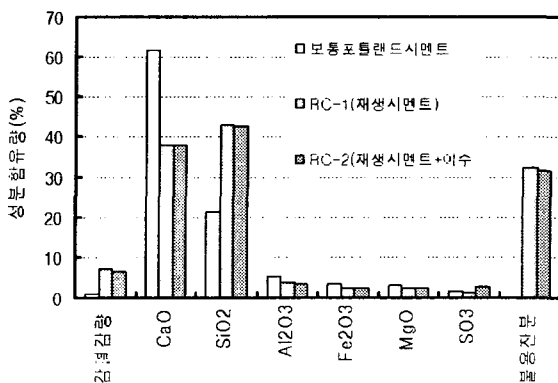


그림 2. 재생 시멘트 화학성분

표 3은 재생시멘트와 보통포틀랜드 시멘트에 물성을 나타내고 있다.

표 3. 재생시멘트의 물성

보통 시멘트	보통 시멘트		재생 시멘트	재생 시멘트	
	비중	분말도 (cm/g)		비중	분말도 (cm/g)
	3.15	3,200	2.52	3,436	

그림 3는 KS L 5105 「수경성시멘트 모르터의 압축강도 시험방법」에 의하여 재생시멘트 치환율에 따른 재생시멘트 모르터의 압축강도를 실험하여 나타난 것이다. 28일 강도에서의 치환율 0% 즉, 보통포틀랜드시멘트일때와 달리 치환율 10%에서는 14%가량 감소한 것을 알 수 있다. 또한, 치환율 10~30%까지는 강도의 감소폭이 거의 같은 반면, 치환율 40% 이상의 치환율을 적용할 경우는 급격히 감소한다.

따라서, 포러스 콘크리트의 사용에 있어서 재생시멘트 치환율 30%까지 큰 문제가 없을 것으로 여겨지며, 치환율 30% 초과시에는 강도 측면에서 고려할 필요가 있는 것으로 판단 된다.

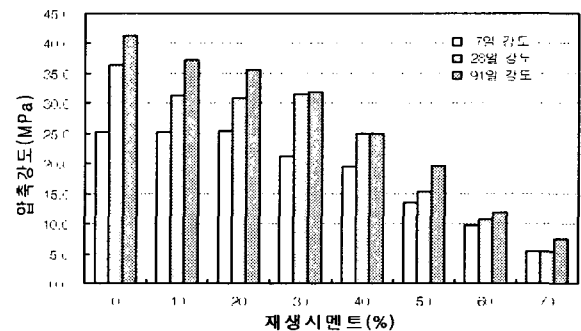


그림 3. 재생시멘트 치환율에 따른 모르터 압축강도

2) EPS 재생골재

본 연구에서 사용한 재생골재는 그림 4과 같이 폐 EPS를 용융·압출한 후 분쇄한 초경량골재이다.

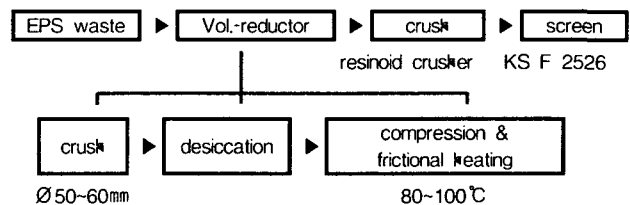


그림 4. 폐 EPS 재생골재의 제조

그림 5과 같이 재생골재는 EPS의 용융·압출과정을 통하여 격벽(septum)의 두께를 치밀하고 두껍게 제조한 독립공극형 재생골재로서, 기존의 경량골재의 낮은 골재강도와 높은 흡수율의 문제를 해결하고자 하였다.

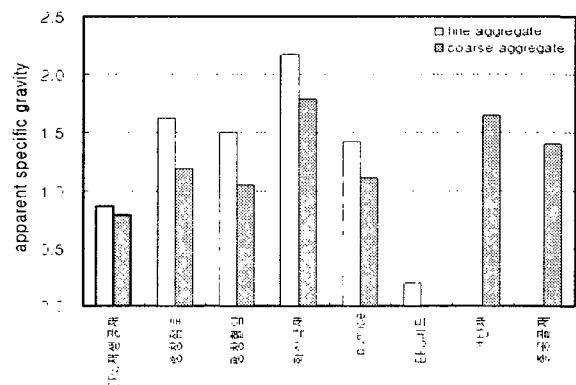


그림 5. 각종 경량골재의 비중

2.2 실험 인자 및 배합

포러스콘크리트는 부수성 및 투기성, 흡수성, 경량성 등의 많은 중요한 특성들이 바로 이 연속된 공극에서 기인한다. 또한 포러스콘크리트의 강도는 골재와 골재간의 공극에 점유하고 있는 시멘트량의 비율에 의해 강도가 예측될 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 표 5와 같으며, EPS 재생골재를 사용한 재생 포러스콘크리트와 다양한 재생시멘트의 치환율에 따른 압축강도, 단열성능, 그리고 공극율의 변화 및 그 상관 관계를 검토하고자 한다.

표 5. 실험인자 및 배합표

W / C (%)	사용골재	RC 치환율 (%)	이론 공극율 (%)	공극 (ℓ)	W (kg)	V (ℓ) W(kg)			SP		slump (cm)	
						C _v C _w	C _v C _w	G _v G _w	(%)	(kg)		
						30	쇄석	0	0.25	250		87.4
E P S 재생골재	0	0.25	250	80.2	84.8 267.1	0 0	585 468.0	0	0	0	0	14.3
	10	0.25	250	80.2	76.3 240.4	10 26.7	583.5 466.8	0	0	0	0	13.3
	20	0.25	250	80.2	67.8 213.7	20.1 53.4	581.9 465.5	0.6	1.6	0	0	12.3
	30	0.25	250	80.2	59.4 187.0	30.1 80.1	580.3 464.2	1.6	4.27	0	0	12.9
	40	0.25	250	80.2	50.9 160.3	40.2 106.3	578.7 463.0	4.0	10.68	0	0	13.7

2.3 실험방법

1) 단위용적중량

사각물드로 제작된 시험체의 용적을 측정하여 단위 용적중량을 치환율에 따라 나타내었다.

2) 열전도율

포러스콘크리트의 단열성능은 ASTM D 2326, JIS R 2618에 규정하고 있는 hot wire method를 이용하여 열전도율을 측정하였다.

3) 압축강도

KS F 2403에 따라 $\phi 10\text{cm} \times 20\text{cm}$ 의 공시체를 제작하여 KS F 2405에 따라 압축강도를 측정하였다.

4) 초음파 전파속도에 의한 비파괴시험

열전도율 실험에서와 동일하게 제작된 시험체를 사용하여 기진 상태에서 초음파전파속도를 사용하여 상부와 하부 2회 측정을 하였으며, 제반물성과의 상관관계를 고찰하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 단위 용적중량

그림 6에서 일반 콘크리트의 단위용적중량보다 쇄석의 경우가 상당히 적은 수치를 나타내는 것은 포러스콘크리트의 내부공극률에 의한 감소분이며, 다시 쇄석보다 EPS 재생골재를 사용한 경우 2배 가량 감소한 것은 EPS 재생골재의 내부

독립공극률에 기인한 것으로 판단된다. 결국, 일반 콘크리트에 비하여 EPS 재생골재를 사용한 포러스콘크리트의 단위용적중량은 상당히 낮은 것으로, 이는 EPS 포러스콘크리트가 경량성이 우수하다는 것을 의미한다.

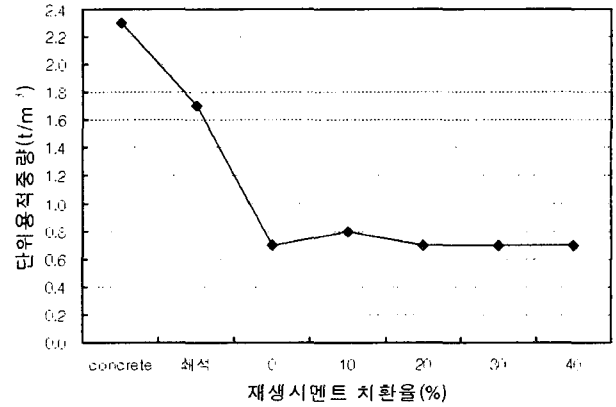


그림 6. 재생시멘트 치환율에 따른 재생 경량골재 포러스콘크리트의 단위용적중량

3.2 열전도율

그림 7의 그래프에서 열전도율의 감소는 일반 콘크리트에 비하여 EPS 재생골재를 사용한 포러스 콘크리트가 일반적인 포러스 콘크리트의 내부공극률에 의하여 50% 가량 감소하였으며, 다시 EPS 재생골재의 독립공극률에 의한 감소분으로 전체적인 일반 콘크리트의 열전도율에 비해 약 93%의 상당한 열전도율 감소로 나타났다. 반면, 시험체의 상부보다 하부의 열전도율이 높게 나타난 것은 EPS 재생골재를 사용한 포러스 콘크리트의 내부 페이스트의 점성 부족의 영향으로 하부에 보다 많은 페이스트가 분리된 것으로 판단된다.

그림 8는 EPS 재생골재를 사용한 포러스 콘크리트와 각종 재료별 단위용적중량과 열전도율의 상관관계를 나타낸 것이다. EPS 재생골재를 사용한 포러스 콘크리트는 일반 콘크리트에 비하여 단위용적중량은 33%, 열전도율은 93% 가량 낮은 것을 알 수 있다

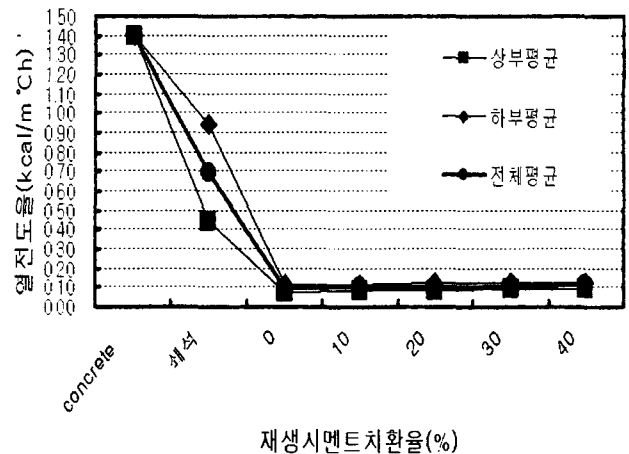


그림 7. 재생시멘트 치환율에 따른 재생 경량골재 포러스콘크리트의 열전도율

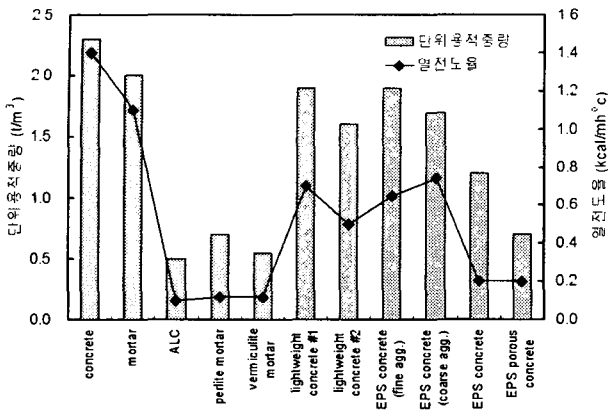


그림 8. 각 재료별 단위용적중량과 열전도율

3.3 압축강도

그림 9에서 일반 콘크리트 경우 압축강도는 23.0MPa인데 반하여 쇄석의 경우 9.4MPa, 재생시멘트 치환율 0%에서는 2.9MPa로 나타났다. 또한, 재생시멘트 치환율 0~40%까지는 압축강도의 변화가 거의 나타나지 않았다.

이는 일반적인 콘크리트에 비하여 쇄석을 사용한 경우 포러스콘크리트의 연속 공극에 의한 압축강도의 감소가 주원인으로 작용한 것으로 판단되며, 또한 쇄석의 경우보다 EPS 재생 골재를 사용한 포러스콘크리트의 압축강도가 69% 감소한 것은 EPS 재생골재의 내부 독립공극에 기인한 것으로 판단된다.

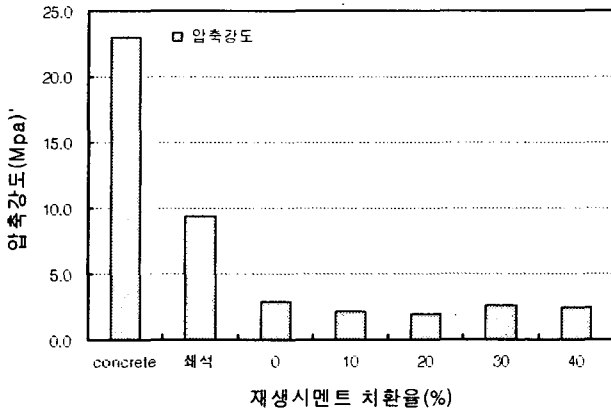


그림 9. 재생시멘트 치환율에 따른 재생 경량골재 포러스콘크리트의 압축강도

3.4 초음파 전파속도

그림 10은 그림 9의 압축강도 실험 결과를 이용하여 회기 분석 방법을 통해 초음파 전파속도(V)와 압축강도(σ_{28})의 상관관계를 고찰한 것이다.

즉, 재생시멘트 치환율과는 관계없이 EPS 재생골재를 포러스콘크리트의 내부가 밀실하지 못한 것으로 EPS 재생 골재의 내부 공극과 재생 포러스 콘크리트의 연속공극에 의한 영향으로 초음파 전파속도는 크게 감소하였으며, 이러한 결과는 압축강도 및 단열성능, 그리고 경량성과 높은 상관성을 나타내었다.

따라서, 일반적으로 콘크리트의 압축강도의 예측을 위한

비파괴시험법인 초음파전파속도로 경량 고성능 콘크리트의 물성예측이 가능한 것으로 판단된다.

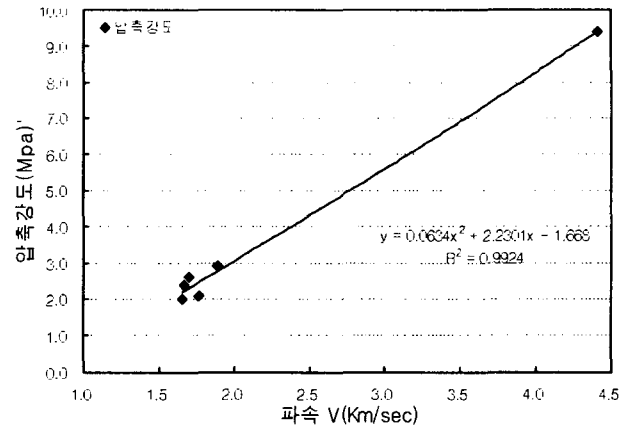


그림 10. 초음파 전파속도와 압축강도의 상관관계

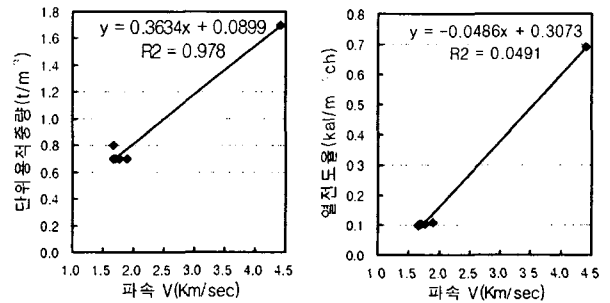


그림 11. 초음파 전파속도에 의한 단위용적중량과 열전도율과의 상관관계

4. 결 론

본 연구에서 얻은 결과를 정리하면 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 재생 포러스 콘크리트의 단위용적중량은 동일 조건의 쇄석의 경우보다 50% 가량 낮은 것으로 나타났다.
- 2) 재생 포러스 콘크리트의 열전도율은 보통콘크리트에 비해 93%정도 낮은 것으로 나타났으며, 현재 사용중인 ALC와도 거의 같은 단열성능을 나타내었다.
- 3) 재생 포러스 콘크리트의 압축강도 실험결과 재생시멘트의 영향이 적는데 비하여 공극률에 의한 영향이 큰 것으로 나타나, 재생시멘트를 이용한 포러스콘크리트의 개발이 가능한 것으로 나타났다.
- 4) 경량 포러스 콘크리트의 내부공극률에 좌우되는 경량성, 단열성능 등의 제반 물질과 초음파 전파속도법의 상관관계가 높은 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

1. 안재철 외 2인, 폐콘크리트계 미분말의 소성조건에 따른 재생시멘트의 물성, 대한건축학회논문집 제19권 11호, 2003, pp.109~112.
2. 안재철, 발포 폴리스틸렌 폐재를 이용한 재생 경량골재 콘크리트의 물성에 관한 연구, 동아대학교 건축공학과 공학박사 학위논문, 2001, pp.39~46.
3. 오상균, 폐콘크리트 미분말을 이용한 재생시멘트의 수화성 회복에 관한 연구, 대한건축학회 학술발표논문집, 2002, pp.56~54.
4. 김무환의 5인, "물시멘트비 및 페이스트공극비에 따른 포러스콘크리트의 기초적 성질에 관한 실험적 연구", 대한건축학회 학술발표논문집, 1999, PP 465~464
5. 김무환의 5인, "페이스트 유동특성이 포러스콘크리트의 기초물성에 미치는 영향에 관한 실험적 연구", 대한건축학회 학술발표논문집, 2001, PP 326~327
6. 한천구의 1인, "재생골재를 이용한 포러스콘크리트", 한국콘크리트학회 논문집, 제 15권 2호, 2003, PP 50~51
7. 최룡 외 1인, "식생콘크리트", 한국콘크리트학회 논문집, 제 10권 6호, 1998, PP 12~13
8. 정상진 외 5인, "결합재 페이스트 충전에 따른 포러스콘크리트의 물성에 관한 기초적 연구", 대한건축학회 학술발표논문집, 제 23권 1호, PP 331~332