

재생골재를 사용한 폴리머콘크리트 경계블록의 개발 연구

A Study on the Development of Polymer Concrete Curbs Using Recycled Aggregate

○최영준*
Choi, Young Jun

박준철**
Park, Jun Chul

윤요현**
Yoon, Yo Hyun

김상연***
Kim, Sang Hyun

김화중***
Kim, Wha Jung

ABSTRACT

The purpose of this study is to investigate the utilization of recycled fine aggregates as a material to apply to concrete curbs. This study also intends to improve the quality of recycling aggregates by adding an excellent polyester resin for the improvement of durability, anti-corrosiveness, and strength. The experimental mixing proportion was planned to acquire optimum workability and filling capability of resin mortar mixed with the recycled fine aggregate. The curbs products made for test have four type cross sections. Their flexible fracture load is 1,918~6,883kgf and their weight is 15.31~31.61kg.

1. 서론

현재 콘크리트 보차도 경계블록 및 도로경계석은 콘크리트, 화강암 등의 다양한 재료로 시공되어 있다. 이 중에서 과거에 많이 시공되었던 콘크리트 경계블록은 동결융해의 반복작용으로 인해 본래의 기능을 상실하고 미관까지 해치고 있는 경우가 많으며, 재시공하여도 다시 손상이 발생하여 경제적인 손실까지 낳고 있는 실정이다. 따라서, 이에 대한 문제해결 및 도시미관향상의 일환으로 시가지의 주요도로에서는 화강석 경계블록으로 교체하는 경우가 많아지고 있다. 화강석 경계블록은 동결융해에 대한 내구성이 뛰어나고 강도가 우수한 등의 장점이 있으나, 천연석 채취에 따른 환경파괴 및 높은 가격이 단점으로 지적되고 있다. 이에 따라, 기존의 콘크리트 경계 블록의 문제점을 해결하면서 화강석 경계블록을 대체할 수 있는 새로운 경계블록이 요구되고 있다.

한편, 최근들어 폐콘크리트의 처리는 환경 및 기타문제 때문에 점차 어려워지고 있으며, 재개발 대상건축물의 잔재를 매립할 곳을 찾지 못해 개발계획이 보류되는 상황도 발생하고 있다. 그러나, 건축 폐기물은 다른 폐기물에 비해 대부분 무기성 폐기물로서 비교적 적은 중간처리과정을 거쳐 재활용이

* 정회원, 경북대학교 건축공학과 박사과정

** 정회원, 경북대학교 건축공학과 석사과정

*** 정회원, (주) 건축사사무소 동우건축 건축감리부 차장

*** 정회원, 경북대학교 건축공학과 교수

용이한 편이며, 특히 폐콘크리트를 재활용한 재생골재의 경우 천연골재의 수급부족의 문제점 해결 및 골재 채취에 따른 환경문제를 해결할 수 있는 재료이다.⁶⁾ 재생골재를 이용한 콘크리트에 관한 연구 사례는 많이 보고되고 있지만 실제 콘크리트 구조물에서의 사용은 콘크리트 품질저하 우려 및 사용자와 시공자간의 인식부족 때문에 어려운 실정이다. 그러나, 비구조재인 도로경계블록, 인터로킹블록 등의 공장제품에 재생골재를 사용하는 것은 콘크리트의 경우에 비해 오히려 적용이 쉬운 편이다.

본 연구에서는 건설폐기물의 활용도를 높이면서 콘크리트 및 화강암 경계블록을 대체할 수 있는 새로운 경계블록을 개발하기 위한 실험적인 단계로서, 사용재료로는 시멘트 대신에 폴리에스테르 액상수지(이하 UPE)를 사용하며 UPE, 충전재, 재생골재와의 적절한 배합비 및 역학적 특성을 모르타 실험을 통해 검토한다. 그리고, 사용재료로써 기본 성능 및 경제성을 만족할 수 있도록 다양한 형태의 도로경계블록 모델을 고안하여 물리적 성상 및 경제성을 고찰하였다..

2. 실험계획 및 방법

2.1 사용재료

2.1.1 불포화폴리에스테르 액상수지

본 실험에 사용된 폴리머는 국내 E사의 올소타입(ortho type) 불포화폴리에스테르 수지(비중 1.12, 스티렌함량 38%)로 코발트계 경화촉진제가 첨가되어 있으며, 경화제로는 MEKPO 55%, DMP 45%로 구성된 표준경화형 촉매제를 사용했다.

2.1.2 충전재 및 골재

충전재로는 쌍용양회 광양공장의 고로슬래그 미분말(비중 2.92, 분말도 4,480 $\mu\text{m/g}$)을 사용했으며, 100 $^{\circ}\text{C}$ 에서 24시간 건조시켜 사용했다.

골재로는 경북 해평산 잔골재(비중 2.57, F.M:2.58)와 압축강도 210~300 kg/cm^2 인 콘크리트 공시체를 2년후에 파쇄하여 제조한 재생잔골재(Size 0.15~4.75, 비중 2.45, F.M 2.90)를 사용했으며, 100 $^{\circ}\text{C}$ 에서 24시간 건조시켜 사용했다.

2.2 UPE모르타 실험의 실험계획

우선, UPE 모르타의 배합비에서 재생잔골재 비율, 골재용적을 변화시켜 경향을 파악하였으며, 이에 대한 실험인자 및 수준은 표 1에 나타내었다.

표 1. UPE 모르타의 배합수준

실험인자	실험수준
충전재-바인더비	0.25
재생잔골재 치환율 (vol%)	0, 30, 50, 70, 100
골재용적 (Vol%)	55, 58, 62

2.3 폴리머콘크리트 경계블록 시제품의 배합비 및 형태

폴리머콘크리트 경계블록 시제품의 제작은 도로경계석 SC형(150 \times 150 \times 150 \times 600mm)에 준하여 제작하였으며, 그림 1과 같은 단면형태로 제작하였다. 제작에 적용된 배합표는 표 2와 같으며, UPE 수지에 대하여 발포폴리스티렌을 30% 용해시킨 수축저감제를 10% 사용하였다. 각 배합안에 따른 시제품 타입은 표3과 같다. 그리고 (B)타입에 사용된 시멘트콘크리트의 배합은 표 4와 같다.

표 2. 폴리머콘크리트 경계블록의 배합비

배합안 (No)	배합사항			중량비 (%)			
	충전재 /바인더 (Vol)	S/a (%)	재생잔골재 치환율 (vol%)	UPE	Slag	잔골재	재생 굵은골재
No-1	0.25	60	50	13.9	11.9	45.8	28.4
No-2	0.33	-	50	14.6	18.5	66.9	-
No-3	0.33	-	50	13.0	16.5	70.4	-
No-4	0.33	-	50	11.9	15.0	72.5	-

표 4. (B)타입의 시멘트콘크리트 배합비

배합사항			단위재료중량(kg/m ³)				
W/C (%)	Slag (B×w%)	S/a (%)	W	C	Slag	S	G
35	30	50	170	340	146	863	883

표 3. 배합안별 경계블록 제작모델

배합안	경계블록 타입
No-1	(A)
No-2	(C)-중공(사각) - 두께 (3.5cm) (C)-중공(원) - 두께 (2.5, 3.5cm) (D)-ㄷ형태 -두께(상부 5cm,, 측면 2.5cm)
No-3	(C)-중공(사각)- 두께(2.5, 3.5cm) (C)-중공(원) - 두께(2.5, 3.5cm)
No-4	(C)-중공(원) - 두께(3.5cm) (B)-피복두께 - 2cm

2.4 공시체 제작 및 시험방법

2.4.1 UPE폴리머 모르터의 공시체 제작 및 시험방법

공시체 제작은 KS F 2419(폴리에스테르 레진 콘크리트의 강도 시험용 공시체 제작방법)에 따라 행했으며, 강도시험을 위한 공시체 제작은 휨강도 시험용으로 4×4×16mm크기의 시험체를 제작하고 압축강도는 휨강도 시험후의 파편을 이용하였다.

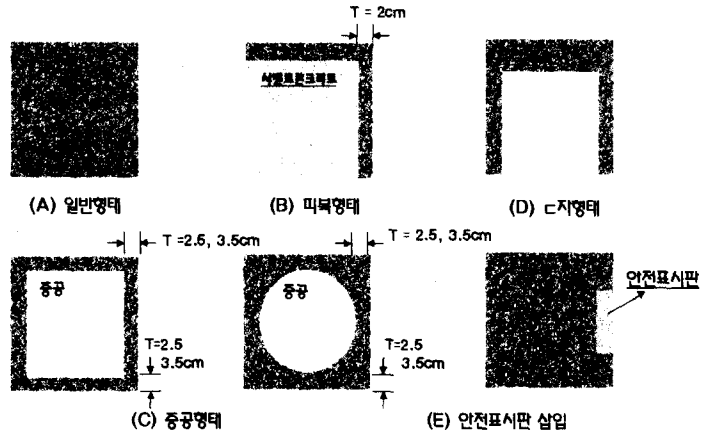


그림 1 폴리머콘크리트 경계블록의 단면형태

2.3.2 폴리머콘크리트 경계블록의 제작 및 시험방법

콘크리트의 배합은 골재와 충전재를 1분간 건비빔한 후, 폴리에스테르(+경화제)를 투입하여 3분간 혼합하였다. 시제품의 성형은 테이블식 진동기(3,000rpm)에서 콘크리트를 1/2가량 채운후 15초간 진동을 주고 다시 나머지 1/2를 채운후 15초간 진동을 주어 성형을 완료하였다.

제작된 경계블록은 2시간 뒤에 탈형하여, 기중에서 7일간 양생한 뒤에 강도시험을 행하였다. 강도시험은 KS F 4006에 의거하여 휨파괴하중을 측정하였고, 흡수율 시험은 휨파괴시편을 이용하였다.

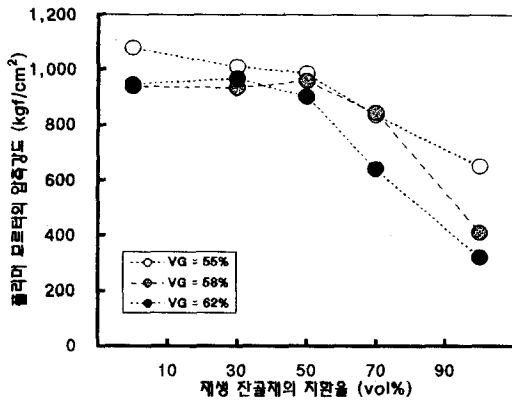


그림 2 재생골재 치환율에 따른 압축강도 변화

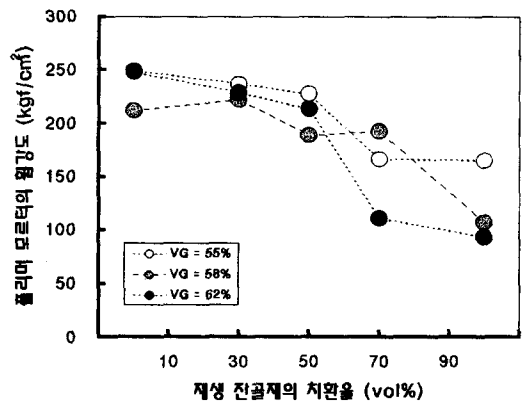


그림 3 재생골재 치환율에 따른 휨강도 변화

3. 실험결과 및 고찰

3.1 재생잔골재의 사용에 따른 모르타의 특성

전반적으로 압축강도는 321~1,078kgf/cm², 휨강도는 93~249kgf/cm²을 나타내고 있다. 그림 2를 보면, 재생잔골재의 치환율이 증가할수록 압축강도가 감소하고 있는데, 최대 625kgf/cm²까지 강도차이를 보이고 있다. 그리고, 치환율 0~50%까지는 완만한 저하를 보이고 있으나, 50%이후에서 큰 폭으로 강도가 감소하고 있다. 이러한 경향은 재생골재자체의 강도가 약하여 치환율 50%이상에서 강도가 저하된 것과, 재생골재의 미립분을 제거한 상태에서 실험을 행했기 때문에 강모래를 사용한 모르타보다 밀실한 매트릭스를 형성하지 못한 것에 기인한다고 볼 수 있다. 바꿔말하면, 재생잔골재를 많이 사용한 모르타의 경우 폴리에스테르와 충전재(고로슬래그)가 밀실한 매트릭스를 형성하기 위해서는 강모래를 사용한 경우보다 바인더(폴리에스테르+고로슬래그)의 사용량을 증가시켜야 한다고 할 수 있다. 따라서, 본 실험결과에서는 재생잔골재의 사용량은 50%이하가 적정수준이라고 생각된다.

휨강도의 경우, 그림 3을 보면 전반적으로 재생잔골재 치환율이 증가할수록 강모래를 사용한 모르타보다 감소하고 있으며, 최대 155kgf/cm²까지 차이를 보이고 있다. 휨강도의 경우도 마찬가지로 재생골재 치환율 50%까지는 최대 16%이하의 감소를 보이고 있어서, 재생골재의 최대치환율은 50%이하가 적당할 것으로 판단된다.

3.3 폴리머콘크리트 경계블록의 시험결과

폴리머콘크리트 경계블록의 물성시험결과를 표 5에 나타낸다. 시험결과를 살펴보면, 우선 본 실험에

표 5 폴리머콘크리트 경계블록 시험체의 시험결과

배합안	모델 타입	중공 형태	두께 (cm)	시험결과		
				휨 파괴하중 (kg)	중량 (kg)	흡수율 (%)
No-1	(A)	-		6,540	28.78	0.20
	(C)	원형	2.5	4,830	18.15	0.18
No-2	(C)	원형	3.5	6,883	20.49	0.17
	(C)	사각	3.5	5,675	19.89	0.18
	(D)	ㄷ형	2.5	2,400	14.87	0.20
No-3	(C)	원형	2.5	4,925	19.02	0.19
	(C)	원형	3.5	6,840	20.38	0.21
	(C)	사각	2.5	3,935	15.31	0.20
	(C)	사각	3.5	5,720	19.78	0.19
	(C)	원형	2.5	4,570	18.91	0.21
No-4	(C)	사각	2.5	3,715	15.53	0.19
	(B)	-		1,918	31.61	0.70

서 제작된 경계블록 모두가 KS 기준(KS4006 : 휨파괴하중 1,600kg, 흡수율 5%이하) 을 만족하고 있음을 알 수 있다. 휨파괴하중의 값은 (A) > (C)-원형 > (C)-사각 > (D) > (B)의 순으로 나타났다. '(C)-원형' 타입에서 두께 2.5cm는 3.5cm에 비해 27~30%가량 강도가 낮은 것으로 나타났으며, '(C)-사각' 타입에도 약 30%가량 강도가 낮은 경향을 보이고 있다. 그러나, 두께가 상대적으로 얇은 2.5cm의 경우에도 KS 기준치보다 2~3배가량 휨파괴하중이 높은 것으로 나타나 실제 사용에는 큰 문제점이 없을 것으로 생각된다. (B)타입의 경우에는 다른 시험체에 비해 1/3~1/2의 값을 보이고 있으므로, 모체콘크리트와의 접착성 및 폴리머콘크리트의 배합비를 추가로 검토할 필요성이 있는 것으로 생각된다. 그림 4, 5에 경계블록 타입별로 휨파괴하중값을 비교하여 나타내었다.

경계블록의 중량은 (C), (D) 타입의 경우, 일반 콘크리트 경계블록의 42~56%정도로 나타났다 이는 그림 6에 나타나 있다.

폴리머콘크리트 경계블록의 경제성을 평가하기 위해, 소요되는 각 재료량에 재료원가를 곱하여 경계블록의 제품원가를 계산하였다. 재생골재를 이용한 폴리머콘크리트 경계블록의 경제성(그림 7)을 고찰해보면, 재료원가만을 고려한 결과이지만, (B), (C), (D) 타입의 경우에는 2,800~10,600원의 수준으로 제품성능을 고려해보면 어느정도 경제성이 있는 것으로 나타났다. 그리고, '(C)-원형' 타입보다 '(C)-사각' 타입이 800~1,200원가량 경제성이 있는 것으로 나타났고, (B)타입은 가장 저가인 2,800원으로 기존의 콘크리트 경계블록과도 경쟁력이 있을 것으로 생각된다.

4. 결론

본 연구에서는 폐콘크리트를 재활용하여 폴리머콘크리트 경계블록을 개발해보고자 하였다.

1. 재생골재를 사용한 폴리머 모르타 실험 결과, 경제성 및 압축, 휨강도면에서 재생골재 치환율 50%가 적정수준인 것으로 나타났다.
2. 재생골재를 이용한 폴리머콘크리트 경계블록을 4가지 형태의 타입으로 제작한 결과, 휨강도 파괴하중은 1,918~6,883kgf로 단면이 중공형태를 가져도 KS기준인 1,600kgf를 만족할 수 있었다.

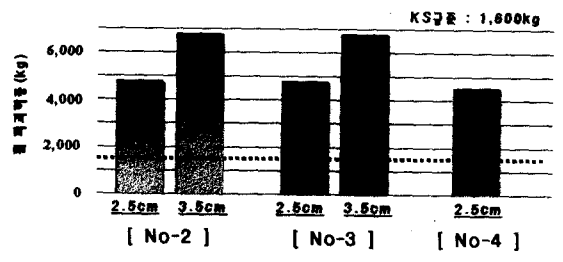


그림 4 '(C)-원형' 경계블록의 휨파괴하중 결과비교

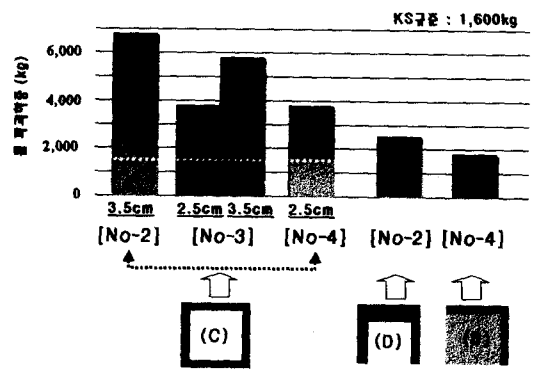


그림 5 (B), '(C)-사각', (D)타입의 휨파괴하중 결과비교

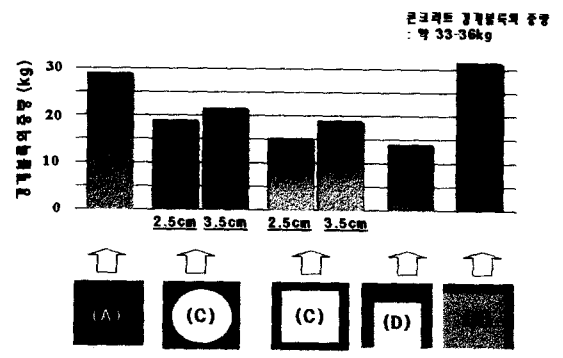


그림 6 단면타입별 경계블록 시험체의 중량 비교

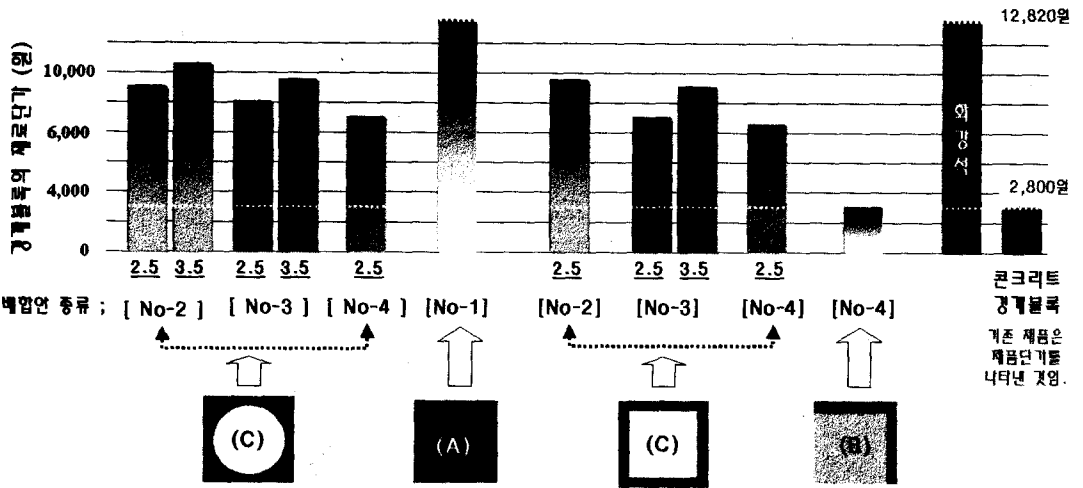


그림 7 경계블록 타입별 경제성 평가

3. 개발된 경계블록의 경제성을 평가해본 결과, (B), (C), (D) 타입의 경우에는 2,800~10,600원의 수준으로 가격 경쟁력이 있는 것으로 나타났으며, (B)타입은 가장 저가인 2,800원으로 기존의 콘크리트 경계블록과도 경쟁력이 있을 것으로 생각된다.

이상과 같이, 폐콘크리트를 재활용하고 기존의 콘크리트 경계블록을 대체할 수 있는 제품으로서, 폴리머콘크리트 경계블록을 제안했으며, 추후, 검토과정을 거쳐 실용화될 경우에는 기존의 도로경계블록에서 발생되고 있는 문제점을 해결하고, 자원의 재이용 및 환경부하저감에도 기여할 수 있을 것으로 생각된다.

감사의 글

본 논문은 학술진흥재단의 대학부설연구소과제 연구비 및 대구시 시정연구과제에 의하여 수행되었으며 이에 깊이 감사드립니다.

참고문헌

1. Kim,Wha-Jung : Strength Characteristics of Unsaturated Polyester Resin Mortar using Recycled Fine aggregate, Concrete Journal Vol.11 No 3 1999 6pp. 89-98
2. 김재용 : 인조석 경계블록의 재과성능에 관한 실험적 연구, 대한건축학회논문집 구조계 제14권 8호, 1998.8 pp. 135-142
3. 송창한 : 콘크리트 보차도 경계블록의 동결융해 저항성과 손상실태, 동국대학교 석사학위논문, 1995
4. 연구석 외 4인 : 프리캐스트 폴리머 콘크리트의 개발동향, 콘크리트학회 학술발표회 논문집 Vol.4 No.1 1992.5 pp.99-104
5. 연구석 외 4인 : 석회석폐석을 이용한 폴리머콘크리트의 역학적 특성, 콘크리트학회 가을 학술발표회 논문집 1996, 11 Vol.8, No.2, pp.77-83
6. 김광우 외 3인 : 콘크리트 재활용 실태 및 연구동향, 콘크리트학회지 제6권 6호 1994.12 pp51-65
7. 김무한 : 건설폐기물 및 재생골재 콘크리트, 콘크리트학회지 제10권 6호 1998.12 pp52-60
8. 김인배 외 2인 : 폐콘크리트를 이용한 시멘트 벽돌로의 재활용, 한국폐기물학회지 제16권 1호 1999 pp22-28