

폐유리를 활용한 강섬유보강 콘크리트의 내구성에 관한 실험적 연구

An experimental study on the durability of steel fiber reinforced concrete containing waste glass

정명일^{*} 조광연^{**} 이봉춘^{*} 김경훈^{*} 박승범^{***}
Myeong Il Cheong Gwang-yeon Cho Bong-Chun Lee Kyeong-Hun Kim Seung-Bum Park

ABSTRACT

As growing of industrialization and increasing of population, the quantities of waste are rapidly growing in the earth. It cause some problems such as the waste of natural resources and environmental pollution. In this context, recycling waste glass as a material of concrete has a great advantage enviromentally and economically. On that score, other contries have start recycling waste glass widely and accumulatig the technoloy of manufacturing equipment and construction. However, few studies have been done in this country. Therefore, this study was conducted freeze-thaw resistance test and neutralization reaction test to analyze the durability properties of steel fiber reinforced concrete containing waste glass as fine aggregate and containing industrial by-products(Fly ash).

1. 서론

산업의 고도 성장과 인구의 급속한 증가에 따라 지구촌에는 폐기물의 발생량이 급증하고 있으며, 이에 따른 환경오염과 자원고갈 등으로 이어지는 사회문제가 대두되고 있어, 폐기물 처리에 관한 세계적인 관심이 증대되고 있다. 이러한 측면에서, 고형폐기물의 하나인 폐유리를 콘크리트용 재료로서 활용하는 것은 환경 및 경제적으로 잇점을 가지고 있다. 즉, 양질의 골재를 획득하기가 점차 어려워지고 있는 상황에서 폐유리 골재의 사용을 통한 자원의 절약으로 경제적인 이익을 얻을 수 있으며, 불법투기 및 매립 등에 의한 환경오염을 방지하는 효과도 얻을 수 있다. 현재, 선진각국에서는 폐유리를 다량으로 소비할 수 있는 콘크리트 분야에 대한 연구가 광범위하게 진행되고 있으며, 폐유리의 가공시설 및 시공기술도 상당한 기술진전을 보이고 있다. 국내에서도 이에 대한 연구가 진행되고 있으나 아직 미진한 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 국내에서 발생하는 폐유리와 산업부산물인 플라야에서, 보강용섬유인 강섬유를 사용한 콘크리트를 동결융해저항성 및 중성화반응 시험을 통하여 내구성에 관한 실험 및 분석을 수행하였다.

* 정회원, 충남대학교 대학원

** 정회원, 공주영상정보대학 토목공학과 교수

*** 정회원, 충남대학교 토목공학과 교수

2. 사용재료

2.1. 시멘트

본 실험에 사용된 시멘트는 국내 S사 제품의 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 그 화학적 조성 및 물리적 성질은 표 1과 같다.

표 1 보통 포틀랜드 시멘트의 화학적 성분 및 물리적 성질

화학적 성분(%)									
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	Ig.loss	Total
21.24	5.97	3.34	62.72	2.36	0.13	0.81	1.97	1.46	100
물리적 성질									
비중	비표면적 (cm ² /g)	44 μm on Residue (%)	안정도	응결시간(분)		압축강도(kg/cm ²)			
				초결	종결	3일	7일	28일	
3.14	3.200	12.5	0.02	240	370	221	298	389	

2.2. 골재

본 실험에 사용된 잔골재는 금강 상류에서 채취한 강모래로 비중과 조립률은 각각 2.65와 2.68이고, 굵은골재는 충남 금산 H사에서 생산되는 최대치수 25mm의 부순돌을 사용하였으며, 비중과 조립률은 각각 2.70과 7.08이다.

2.3. 폐유리

본 연구에서 사용된 폐유리는 현재 국내에서 발생·수집되는 폐유리 중 갈색 폐유리를 한국자원재생공사 충남지사 홍성공장에서 6~20mm로 파쇄한 것을 다시 소형크러셔를 이용하여 5mm이하로 파쇄하여 폐유리 잔골재를 제조하였다. 폐유리의 화학적 조성은 표 2에 나타내었다.

표 2 폐유리의 화학적 조성

종 류	성 분 (%)	SiO ₂	Al ₂ SO ₃	Na ₂ O+K ₂ O	CaO+MgO	SO ₃	Fe ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃
갈색유리 (%)		72.1	1.74	14.11	11.52	0.13	0.31	0.01

2.4. 플라이애시

본 실험에 사용된 플라이애시는 보령 화력발전소에서 부산된 유연탄 플라이애시를 사용하였고, 그 화학적 조성 및 물리적 특성은 표 3과 같다.

표 3 플라이애시의 화학적 조성 및 물리적 특성

화학적 조성 (%)								물리적 특성		
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	SO ₃	Ig. loss	Specific Gravity	Blaine's (cm ² /g)	Particle size(mm)
65.3	25.50	4.25	1.20	0.98	0.21	1.03	3.63	2.1	3,124	4.2×10 ⁻²

2.5. 강섬유

본 실험에 사용된 강섬유는 Belgium B사 제품으로 치수 φ0.5×35mm의 양단 Hooked 형을 사용하였다.

2.6. 혼화제

공기연행을 위한 AE제는 Vinsol Resin 성분의 AEA 202를 사용하였다.

3. 배합 및 실험방법

3.1. 배합

폐유리 및 플라이애시를 혼입한 강섬유보강 콘크리트의 동결융해 저항성 및 중성화 반응을 분석하기 위해 폐유리의 잔골재 대체비 20%에 대하여 플라이애시의 시멘트 대체비를 10%, 20%, 30%로 하여 배합하였고, 강섬유는 0.5%, 1.0%, 1.5%를 혼입하여 배합하였다. 또한, AE제의 사용유무에 따른 동결융해 저항성능도 분석하기 위해 AE제를 첨가하지 않은 배합도 고려하였으며, AE제를 첨가하는 경우는 일정한 공기량(4~7%)을 확보할 수 있도록 실험배합을 통하여 결정하였다.

3.2. 실험방법

3.2.1 동결융해 저항성 시험

폐유리와 플라이애시를 활용한 강섬유보강 콘크리트의 동결융해저항성을 평가하기 위한 실험은 75×75×355mm의 각주공시체를 제작하여 배합조건별로 KS F 2456 [급속 동결 융해에 대한 콘크리트의 저항 시험 방법]에 준하여 수행하였으며, 상대동탄성계수가 60%이하이거나 동결융해 사이클이 1000회가 지나면 시험을 종료하였다. 이때 소정의 사이클별로 공시체의 1차 공명주파수의 변화를 조사함과 아울러 표면상태를 관찰하여 내동해성을 파악하였다.

3.2.2 중성화반응시험

폐유리와 플라이애시를 활용한 강섬유보강 콘크리트의 중성화를 측정하기 위하여 JIS K 8006 [콘크리트의 촉진중성화시험]에 준하여 $\phi 10 \times 20$ cm의 원주공시체를 제작하여 재령 28일까지 $23 \pm 2^\circ\text{C}$ 에서 수중양생을 실시한 후, 중성화 시험장치를 이용하여 CO_2 농도 10%, 상대습도 30~35%, 온도 35~40 $^\circ\text{C}$ 에 중성화가 촉진되도록 공시체를 노출하여 재령 1, 2, 3, 4주에 공시체를 쪼갬인장한 후 1%의 페놀프탈레인 용액을 분무하여 나타난 각 부분의 중성화 깊이를 측정하였다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1. 동결융해 저항성 시험의 결과

폐유리를 활용한 신소재 보강 콘크리트의 동결융해저항성은 그림 1과 같다. 이를 살펴보면, 동결융해 저항성은 AE제 사용여부에 따라 따라 큰 영향을 받는 것으로 나타났다. AE제를 사용하지 않은 경우에는 폐유리만을 혼입하였을 때의 상대동탄성계수가 60%이하로 저하되는 소요 사이클 수가 보통콘크리트와 유사하게 나타났으며, 강섬유의 혼입을 증가시킴에 따라 보통 콘크리트의 동결융해 저항성보다 다소 증가하여 상대동탄성계수가 60% 이하로 저하되는 데에 소요되는 동결융해 사이클 수는 90~110 사이클이 소요되었다. 이에 반하여, AE제를 사용한 경우에는 강섬유의 혼입률이 0.5, 1.0%일 때 상대동탄성계수가 60%이하로 저하하는 소요사이클 수는 보통콘크리트보다 160~460회 증가하였으며, 강섬유의 혼입률이 1.5%일때는 1000 사이클에서 상대동탄성계수가 64.87%를 나타내었다.

그림 2는 플라이애시를 활용한 신소재 보강 콘크리트의 동결융해저항성 시험결과로서 AE제의 사용

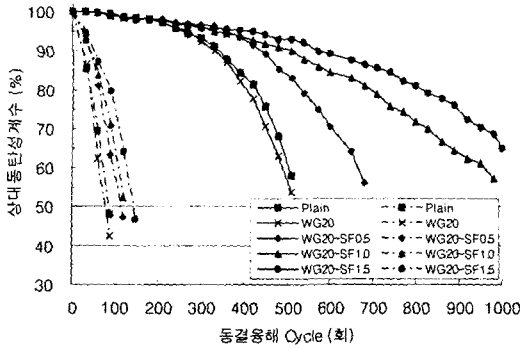


그림 1 페유리를 활용한 강섬유보강 콘크리트의 상대동탄성계수

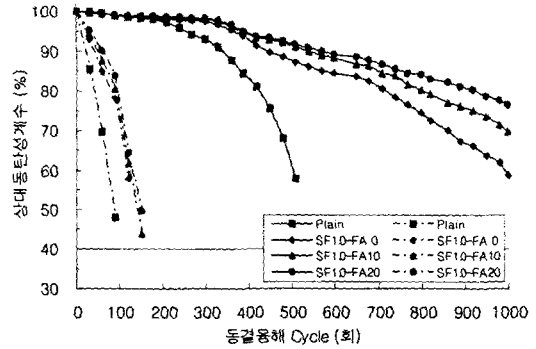


그림 2 플라이애시를 활용한 강섬유보강 콘크리트의 상대동탄성계수

여부에 따라 동결융해 저항성능이 크게 차이가 나고 있음을 알 수 있으며, AE제를 사용하지 않고 강섬유를 혼입하여 플라이애시의 혼입률을 10, 20% 증가시킴에 따라 상대동탄성계수가 60%이하로 저하되는 소요사이클 수는 보통콘크리트에 비하여 60회 정도 증가하는 것으로 나타났으며, AE제를 사용한 경우에는 동결융해 1000사이클에서 상대동탄성계수의 저하가 23.7%~30.3%로 나타나 500 사이클정도

에서 상대동탄성계수가 60%이하로 저하되는 보통 콘크리트에 비하여 동결융해 저항성능이 우수한 것으로 나타났다.

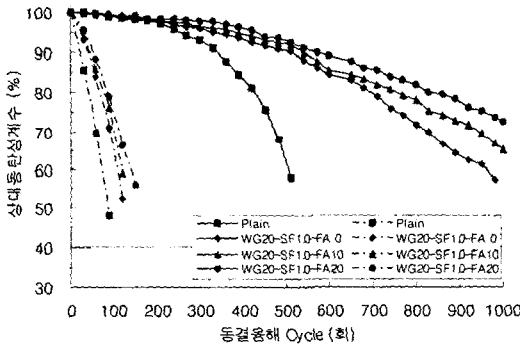


그림 3 페유리와 플라이애시를 활용한 강섬유보강 콘크리트의 상대동탄성계수

그림 3은 페유리와 플라이애시를 활용한 강섬유 보강 콘크리트의 동결융해저항성 시험결과로서 AE제를 사용하지 않은 경우 페유리 20%와 강섬유 1.0% 혼입하고 플라이애시의 혼입률을 10, 20% 증가시킴에 따라 상대동탄성계수가 60%이하로 저하되는 소요 사이클 수가 40~60회 증가하는 것으로 나타났으며, AE제를 사용한 경우에는 플라이애시의 혼입률 10, 20%에 대하여 1000 사이클에서 상대동탄성계수가 각각 34.8, 27.5% 저하되었다.

4.2. 중성화시험의 결과

그림 4는 페유리를 활용한 강섬유보강 콘크리트의 촉진 중성화 시험결과로서 페유리 20%를 혼입한 경우는 페유리를 혼입하지 않은 보통콘크리트보다 다소 중성화 깊이가 큰 것으로 나타났으나 차이는 미미한 것으로 나타났다. 섬유 혼입률에 따른 중성화 깊이를 재령 4주에서 살펴보면 보통 콘크리트에 비해 강섬유의 혼입률이 0.5~1.5% 증가할수록 7.8~15.68% 감소하는 것으로 나타나 강섬유의 혼입은 중성화 억제에 효과는 있는 것으로 나타났다.

그림 5는 플라이애시를 활용한 섬유보강 콘크리트의 촉진 중성화 시험결과로서 강섬유 1.0%에 플라이애시 혼입률에 따른 영향을 살펴보면 플라이애시의 혼입률이 증가할수록 중성화는 가속되었으며 재령 4주에서는 강섬유 1.0%에 플라이애시의 혼입률이 증가할수록 보통의 콘크리트에 비해 29.4~111.7%

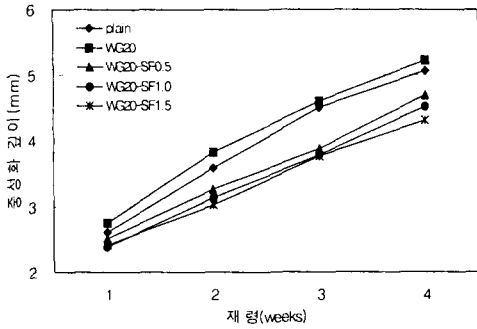


그림 4 폐유리를 활용한 강섬유 보강 콘크리트의 중성화시험

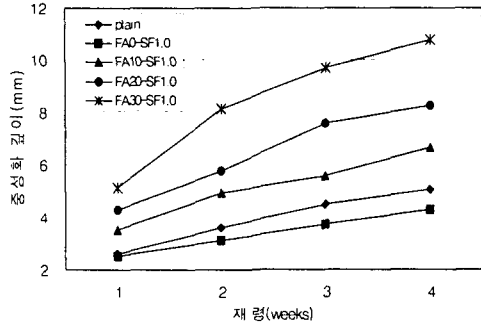


그림 5 플라이애시를 활용한 강섬유보강 콘크리트의 중성화시험

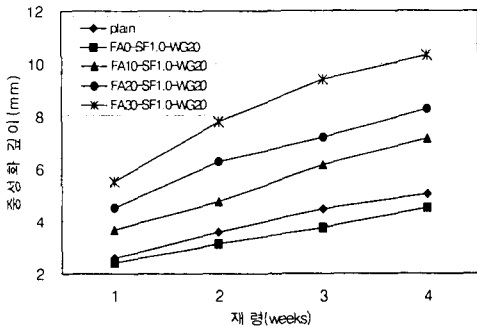


그림 6 폐유리와 플라이애시를 활용한 강섬유보강 콘크리트의 중성화시험

중성화 깊이가 증대되는 것으로 나타났다.

그림 6은 폐유리와 플라이애시를 혼입한 강섬유보강 콘크리트의 중성화 시험결과로서 촉진 중성화에 큰 영향을 미치는 것은 플라이애시의 혼입물이며 폐유리와 강섬유는 상대적으로 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

5. 결론

국내에서 발생하는 폐유리와 산업부산물인 플라이애시, 보강용섬유인 강섬유를 사용한 콘크리트의 내구성 평가를 위해 동결융해저항성 및 중성화반응 시험을 수행하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

(1) 폐유리의 혼입률 20%에 대하여 강섬유의 혼입률을 변화시킨 콘크리트의 동결융해 특성은 강섬유의 혼입률이 증가할수록 상대동탄성계수의 저하가 상당히 줄어드는 것을 알 수 있으며, 폐유리의 혼입에 따라서는 현저한 차이를 보이지 않았다. 이는 섬유와 페이스트사이의 부착력이 팽창압에 저항하기 때문이라고 판단된다. 중성화 특성은 폐유리를 혼입하지 않은 보통콘크리트보다 중성화의 깊이가 다소 크게 나타났으며, 강섬유의 혼입은 중성화를 억제하는데에 효과가 있는 것으로 나타났다.

(2) 강섬유 1.0%에 플라이애시의 혼입률을 변화시킨 콘크리트의 동결융해 특성은 플라이애시의 혼입률이 증가함에 따라 동결융해저항능이 개선되었으며, 이러한 원인은 포졸란 재료인 플라이애시가 포졸란 반응으로 콘크리트의 조직이 치밀해졌고 섬유와 시멘트페이스트사이의 부착력이 팽창압에 저항하기 때문으로 판단된다. 중성화 특성은 플라이애시의 혼입률이 증가할수록 중성화는 빠르게 진행되었다. 이는 콘크리트에 혼입된 플라이애시의 포졸란 반응으로 콘크리트 중의 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 의 양을 감소시

켜 알칼리도가 저하되어 콘크리트의 중성화가 촉진되는 것으로 판단된다.

(3) 폐유리 20%와 강섬유 1.0%를 혼입하고 플라이애시의 혼입률을 변화시킨 콘크리트의 동결융해 특성은 플라이애시의 혼입률이 증가할수록 동결융해 저항능이 개선되었으며, 폐유리의 혼입에 따른 현저한 차이는 나타나지 않았다. 이러한 결과는 플라이애시를 사용함으로써 콘크리트 조직이 치밀해지며, 섬유와 매트릭스 내의 부착력의 증대 등으로 인해 동결융해저항성이 향상된 것으로 판단된다. 중성화 특성은 플라이애시의 혼입률에 따라 영향을 받으며 폐유리와 강섬유는 상대적으로 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 이는 플라이애시의 포졸란 반응으로 콘크리트 중의 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 의 양을 감소시켜 알칼리도가 저하되어 콘크리트의 중성화가 촉진되는 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 2001년도 목적기초연구(R01-2000-00372)지원으로 수행되었으며, 이에 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

1. 小椋紀彦, “廢ガラスビン粉末を用いたコンクリートの耐久性に関する研究”, 콘크리트工學年次論文集, Vol.23, No.1, 2001.
2. Craig Polley, “Potential for using waste glass in portland cement concrete”, Journal of Materials in Civil Engineering, November, 1998.
3. ACI Committee 226, “Use of Fly Ash in Concrete”, ACI Materials Journal, Sep-Oct., 1987.
4. 박승범 외, 플라이애쉬를 혼입한 강섬유보강 콘크리트의 내구성에 관한 실험적 연구”, 한국콘크리트학회 가을 학술발표회 논문집, pp.339-344, 1997.
5. 오병환 외, “플라이애쉬 콘크리트의 내구성”, 한국콘크리트학회 가을 학술발표회 논문집, pp. 121-126, 1998.
6. 岸谷孝・西澤紀昭, “コンクリートの耐久性シリーズ中性化”, 技報堂出版, 東京, pp.1~4, 1986.
7. 小林一輔ほか, “炭酸化研究委員會報告書”, 日本コンクリート工學協會, 東京, 1993.
8. T.Fukushima, Y.Yoshizaki, F.Tomosawa and K.Takahashi, “Relationship Between Neutralization Depth and Concentration Distribution of CaCO_3 - $\text{Ca}(\text{OH})_2$ in Carbonated Concrete”, ACI Special Publication Vol.179, 1998.