

폐유리를 혼입한 콘크리트의 동결융해 저항성에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Freeze-Thaw Resistance of Concrete Containing Waste Glass

박승범*
Park, Seung Bum

정명일**
Cheong, Myeong Il

이봉춘**
Lee, Bong Chun

이준**
Lee, Jun

ABSTRACT

Recently, as industrialization is rapidly growing and the standard of life is rising, the quantities of waste glasses have been hastily increased and most of them are not recycled but abandoned. It causes some problems such as the waste of natural resources and environmental pollution. Therefore, in this study freeze-thaw resistance test was conducted to analyze the properties of concrete containing waste glasses as fine aggregates and containing industrial by-products (fly ashes, silica fumes). As a results, it was found that freeze-thaw resistance decreases as the content of waste glasses increases. Also, the content of fly ash doesn't affect to the freeze-thaw resistance, and freeze-thaw resistance decreases with the increase of silica fume contents

1. 서론

유리제품의 활용이 증대됨에 따라 폐유리의 발생량도 점차 증대되고 있다. 무색의 폐유리는 대부분 재활용되고 있으나 유색의 폐유리는 재활용률이 높지 않아 대부분 매립되고 있기 때문에 매립지의 부족 등으로 단순 매립은 점차 어려운 실정에 있다. 또한, 폐유리는 미생물로 분해되지 않기 때문에 환경친화적인 측면에서 매립은 적합하지 않아 폐유리의 유효 재활용에 대한 관심이 증대되고 있다. 현재 선진각국에서는 폐유리를 다량으로 소비할 수 있는 콘크리트 분야에 대한 연구가 진행되고 있으나, 국내에서는 이에 대한 연구가 미진한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 폐유리 및 산업부산물(플라이애시, 실리카흄)을 사용한 콘크리트의 동결융해 저항성에 대한 실험 및 분석을 수행하였다.

2. 사용재료

2.1. 시멘트

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

* 정회원, 충남대학교 토목공학과 교수

** 정회원, 충남대학교 대학원

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)	44μm on Residue (%)	안정도	용결시간(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 갈색 폐유리를 한국자원재생공사 충남 지사 홍성공장에서 6~20mm로 파쇄한 것을 다시 소형크러셔를 이용하여 5mm이하로 파쇄하여 폐유리 잔골재를 제조하였다. 폐유리의 화학적 조성은 표 2에 나타내었다.

표 2 폐유리의 화학적 조성

성분 (%)	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. 실리카흙

본 실험에 사용된 실리카흙은 호주 Micro Silica Co.의 초미분말의 제품을 사용하였으며, 화학적 성질 및 물리적 성질은 표 4와 같다.

표 4 실리카흙의 화학적 조성 및 물리적 특성

화학적 조성 (%)					물리적 특성		
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	Ig. loss	Specific Gravity	Blaine's (cm ² /g)	Particle size(mm)
92.5	1.68	2.51	0.56	0.31	2.21	263,000	1.36 μ

2.6. 혼화제

공기연행을 위한 AE제는 Vinsol Resin 성분의 AEA 202를 사용하였다.

3. 배합 및 실험방법

3.1. 배합

폐유리를 혼입한 콘크리트의 동결융해 저항성을 분석하기 위하여 폐유리 혼입률을 변화시켜 배합하였고, 산업부산물인 플라이애시 및 실리카흄의 혼입에 따른 동결융해 저항성을 평가하기 위하여 표 5와 같이 배합하였다. 또한, AE제는 일정한 공기량(4~7%)을 확보할 수 있도록 실험배합을 통하여 결정하였다.

표 5 폐유리를 혼입한 콘크리트의 배합 (kg/m³)

Mix Name	W/C (%)	Contents of WG(%)	Contents of FA(wt%)	Contents of SF(wt%)	C	W	G	S	WG	FA	SF
Plain	50	0	-	-	380	190	929	808	0	-	-
WG20		20	-	-				647	154	-	-
WG40		40	-	-				458	307	-	-
WG60		60	-	-				323	461	-	-
WG80		80	-	-				162	615	-	-
WG20-FA10	50	20	10	-	342	190	929	647	154	38	-
WG20-FA20			20	-	304					76	-
WG20-FA30			30	-	266					114	-
WG20-SF10			-	10	342					-	38
WG20-SF15			-	15	304					-	57
WG20-SF20			-	20	266					-	76

note ; C=Cement, W=Water, S=Sand, G=Gravel, WG=Wast glass, FA= Fly ash, SF=Silica fume

3.2. 실험방법

동결융해 저항성시험은 KS F 2456 [급속 동결 융해에 대한 콘크리트의 저항 시험 방법]에 준하여 수행하였으며, 상대동탄성계수가 60%이하이거나 동결융해 사이클이 300회가 지나면 시험을 종료하였다. 동결융해 저항성 시험에 대한 내구성 지수는 아래의 식으로 구하고, 동결융해 저항성에 대한 내구성을 평가하였다.

$$\text{내구성지수}(DF) = \frac{P \times N}{M}$$

여기에서, *P*: 동결융해 *N* 사이클에 있어서의 상대동탄성계수(%)
N: 동결융해 시험을 마친 사이클 수
M: 동결융해 시험 목표 사이클 수

4. 실험결과 및 고찰

4.1. 동결융해 저항성 시험의 결과

(1) 폐유리를 혼입한 콘크리트의 동결융해 저항성

폐유리를 잔골재로 대체한 콘크리트의 폐유리 혼입률에 따른 동결융해 저항성 시험결과는 그림 1, 2

와 같다.

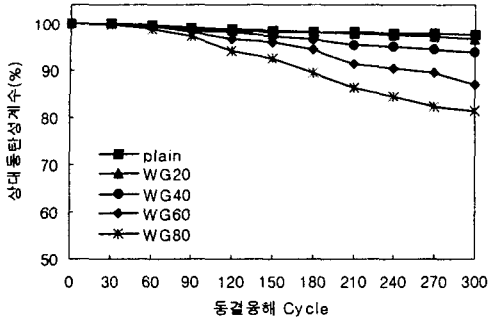


그림 1 폐유리 혼입물에 따른 콘크리트의 상대동탄성계수

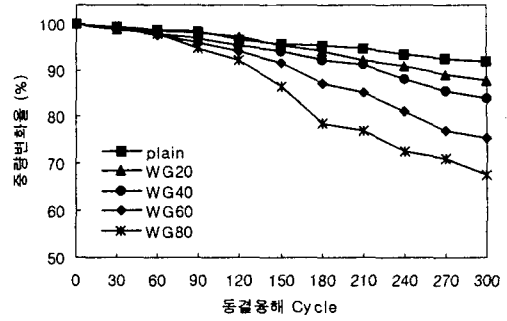


그림 2 폐유리 혼입물에 따른 콘크리트의 중량변화율

이를 고찰하여 보면, 동결융해 사이클 300회에서의 상대동탄성계수는 폐유리 잔골재 혼입률이 20%, 40%, 60%, 80%로 증가함에 따라 일반콘크리트의 상대동탄성계수에 비하여 각각 0.8%, 3.9%, 10.8%, 16.5%가 감소하였고, 중량변화율은 일반콘크리트의 중량변화율에 대하여 각각 4.4%, 8.5%, 17.6%, 26.3%가 감소하였다. 특히, 60%이상의 폐유리 혼입률에서는 상대동탄성계수가 90%이하로 떨어지고, 중량변화율도 감소하여 폐유리의 혼입률이 높아질수록 콘크리트의 내동해성이 상대적으로 저하하는 것으로 나타났다.

(2) 폐유리와 플라이애시를 혼입한 콘크리트의 동결융해 저항성

앞의 결과로부터 가장 양호한 동결융해 저항성을 가지는 폐유리 혼입률 20%에 대하여 플라이애시의 시멘트 대체비율을 10%, 20%, 30%로 증가시켜 동결융해 저항성을 시험하였으며, 그 결과는 다음의 그림 3, 4와 같다.

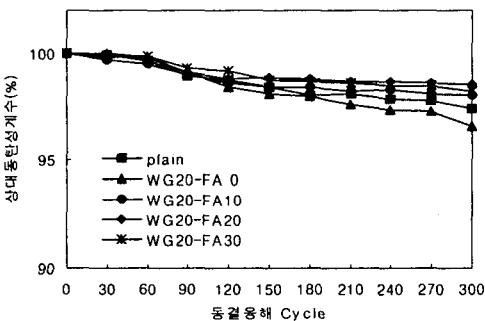


그림 3 폐유리와 플라이애시의 혼합물에 따른 콘크리트의 상대동탄성계수

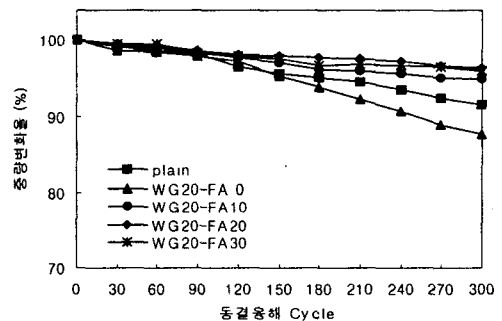


그림 4 폐유리와 플라이애시의 혼합물에 따른 콘크리트의 중량변화율

이를 살펴 보면, 동결융해 사이클 300회에서의 상대동탄성계수는 플라이애시의 혼입률이 10%, 20%, 30%로 증가함에 따라 일반콘크리트의 상대동탄성계수에 대하여 각각 0.7%, 1.1%, 0.8%가 증가되었고,

일반 콘크리트에 대한 중량변화율이 3.6%, 5.3%, 4.9%로서 일반콘크리트의 중량변화율이 크게 나타나 폐유리를 혼입한 콘크리트에 플라이애시를 혼입하면 내동해성에 효과가 있는 것으로 나타났다.

(3) 폐유리와 실리카흄을 혼입한 콘크리트의 동결융해 저항성

폐유리 혼입률 20%에 대하여 실리카흄을 10%, 15%, 20%로 증가시켜 동결융해 저항성을 시험하였고, 그 결과는 그림 5, 6과 같다.

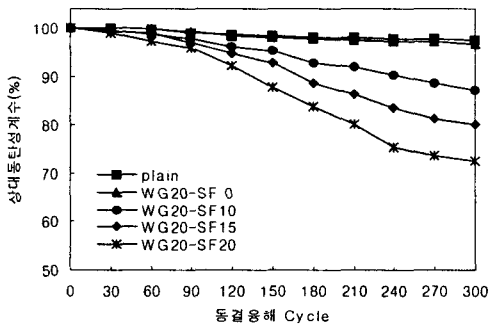


그림 5 폐유리와 실리카흄의 혼합률에 따른 콘크리트의 상대동탄성계수

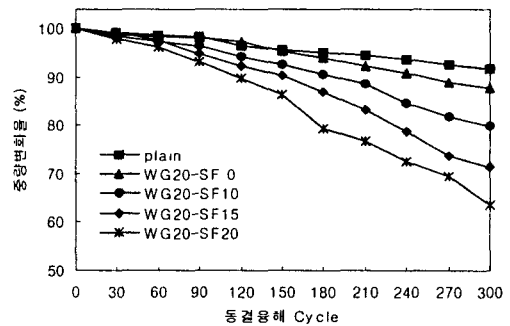


그림 6 폐유리와 실리카흄의 혼합률에 따른 콘크리트의 중량변화율

이를 고찰하여 보면, 동결융해 사이클 300회에서의 실리카흄의 혼입률이 10%, 15%, 20%로 증가함에 따라 일반콘크리트의 상대동탄성계수에 대하여 각각 10.6%, 17.9%, 25.6%가 저하되었고, 중량변화율은 12.9%, 22.1%, 30.7%가 감소하여, 실리카흄의 혼입량이 증가할수록 동결융해 저항성능이 저하되는 것으로 나타나, 실리카흄의 혼입에 의한 동결융해 저항성의 개선효과는 없는 것으로 사료된다.

4.2. 동결융해 저항성 시험에 대한 내구성지수

동결융해 저항성 시험결과의 상대동탄성계수로부터 내구성지수를 그림 7에 나타내었다.

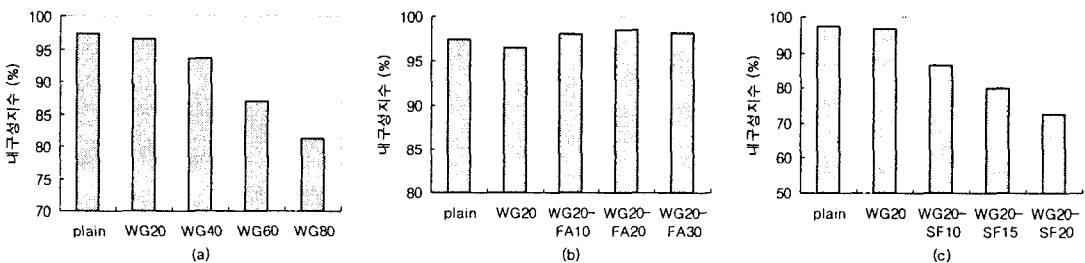


그림 7. 폐유리 및 산업부산물을 사용한 콘크리트의 내구성지수

그림 (a)에서와 같이 폐유리의 혼입률이 증가할수록 내구성지수는 감소하였고, 각각의 혼입률에 따라 96.6%, 91.2%, 86.9%, 81.3%의 내구성지수를 나타내고 있다. 폐유리 혼입률 20%에 플라이애시 혼입률을 변화시켜 제조한 콘크리트에서는 플라이애시의 혼입률에 관계없이 모두 95%이상의 안정적인 내구성지수를 얻을 수 있었으며(그림 (b)), 폐유리 혼입률 20%에 실리카흄의 혼입률을 변화시킨 콘크

리트에서는 실리카흙의 혼입률의 증가에 따라 내구성지수가 86.5%, 80%, 72.5%로 감소하는 경향을 나타내고 있다(그림 (c)).

5. 결론

본 연구는 폐유리를 혼입한 콘크리트의 동결융해 저항성과 폐유리와 플라이애쉬 및 실리카흙등의 산업부산물을 사용한 콘크리트의 동결융해 저항성의 평가를 위해 수행되었으며, 그 결과는 다음과 같다.

(1) 폐유리의 혼입률에 따른 동결융해 특성은 폐유리의 혼입량이 증가할수록 내동해성은 점차 감소하는 경향을 보이고 있으며, 특히 폐유리의 혼입률 60%이상에서 감소하는 경향이 두드러지는 것을 알 수 있는데, 이는 폐유리 골재와 시멘트페이스트 사이의 부착력의 저하도 동결융해 저항성능에 영향을 미치는 것으로 판단된다.

(2) 폐유리 20%에 플라이애시의 혼입률을 변화시킨 콘크리트의 동결융해 특성은 플라이애시의 혼입률에 관계없이 일반 콘크리트보다 양호한 동결융해 저항성을 나타내었으며, 내구성지수가 95%이상으로 동결융해 작용에 대하여 상당히 효과적임을 알 수 있다.

(3) 폐유리 20%에 실리카흙의 혼입률을 변화시킨 콘크리트의 동결융해 특성은 실리카흙의 혼입률이 증가 할수록 동결융해 저항성능이 저하하는 것으로 나타났으며, 이는 초미립자인 실리카흙이 매트릭스 내에서 마이크로 필러 역할을 하여 동결융해 작용시 받는 팽창압의 완충작용을 할 수 있는 미세공극까지 차지하여 동결융해 저항성이 오히려 저하되는 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. 박승범 외, 플라이애쉬를 혼입한 강섬유보강 콘크리트의 내구성에 관한 실험적 연구”, 한국콘크리트학회 가을 학술발표회 논문집, pp.339-344, 1997.
4. 오병환 외, “플라이애쉬 콘크리트의 내구성”, 한국콘크리트학회 가을 학술발표회 논문집, pp. 121-126, 1998
5. ACI Commitee 226, “Use of Fly Ash in Concrete”, ACI Materials Journal, Sep-Oct., 1987.
6. Celik Ozyildirim, “Laboratory Investigation of Concrete Containing Silica Fume for Use in Overlays”, ACI Material Journal, January-February, pp.3-7, 1987.