

고강도 콘크리트의 동결융해 저항 특성에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Freeze-Thaw Resistance Properties of High Strength Concrete

송 태 경*	이 남 주*	김 제 원**
Song, Tae-Kyoung	Lee, Nam-Joo	Kim, Jae-Won
설 광 옥***	정 환 옥****	부 척 량*****
Seol, Gwang-Wook	Jeong, Whan-Wook	Boo, Cheong-Yang

ABSTRACT

The purpose of this experimental study are to produce a durable concrete and to investigate the various factors that can deteriorate the concrete when freezing and thawing activity.

Among the various factors that can influence the frost resistance of concrete, this study examined mainly the relationship of the frost resistance with the water-cement ratio, admixture and admixture replacement ratio and propose the available water-cement ratio, admixture and admixture replacement ratio.

1. 서 론

1.1 연구배경 및 목적

최근 건축구조물이 초고층화, 대형화, 다양화, 특수화 되어감에 따라 구조물의 자중 경감이나 부재 단면 축소, 유효공간의 확보, 경제성 등을 위한 방안의 일환으로 콘크리트의 고품질화가 적극적으로 추진되고 있으며, 그 중 고강도콘크리트에 대한 연구가 가장 활발히 진행되고 있다. 그러나 고강도콘크리트에 대한 연구 및 개발은 지금까지는 강도증진에만 초점이 맞춰져 있었으며, 그 결과 콘크리트의 내구성의 향상은 극한강도 만큼의 증가를 보이지 못하고 있다. 최근의 고강도콘크리트에 관한 연구는 중성화, 염해, 알칼리-골재반응 등 고강도콘크리트의 내구성능에 관한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 이들에 관한 연구는 많은 진전이 있어 왔으나, 고강도콘크리트의 동결융해 작용에 의한 내구성능에 관한 연구는 미흡한 실정이다.

현재까지의 연구 결과, AE제를 첨가한 공기연행 콘크리트가 동결융해작용에 대한 콘크리트의 내구성능 향상에 효과적이라는 사실이 보고되어 왔으나, 공기량이 증가함에 따라 그에 비례하여 강도가 저감되는 결점이 있음도 밝혀진 사실이다. 이에 따라 콘크리트의 강도를 유지하면서 동결융해 저항

- * 전남대학교 대학원 석사과정
- ** 전남대학교 대학원 박사과정
- *** 광양전문대학 건축과 전임강사
- **** 금호건설 기술연구소 선임연구원
- ***** 정희원, 전남대학교 건축학과 교수

성능을 향상시킬 수 있는 방법의 개발이 요구되어지고 있는 실정이며, 그 해결책으로 실리카흙 등의 혼화재를 첨가하여 강도를 유지하며 동결융해 저항 특성을 개선하는 연구가 일부 보고되고 있다.

본 연구는 고강도콘크리트의 내구성능 중 동결융해작용에 영향을 미치는 인자에 대한 실험적 연구로서, 보통콘크리트와 고강도콘크리트의 혼화재의 종류 및 치환율에 따른 동결융해 저항 특성을 살펴봄으로써, 고강도콘크리트에서의 동결융해 저항 특성을 향상시킬 수 있는 방안과, 성능이 뛰어난 혼화재의 종류 및 그 적정 치환율을 제안하고자 한다.

2. 실험

본 연구는 혼화재의 종류, 치환율, 물-시멘트비를 변수로 하여, 강도와 혼화재의 종류, 그리고 혼화재 치환율에 따른 콘크리트의 동결융해 저항 특성을 연구하였다. 혼화재의 종류는 플라이애쉬와 실리카흙으로 하고, 각각의 치환율을 0%, 10%, 20%로 조정하였으며, 물-시멘트비를 48%, 32%로하여 목표강도를 보통콘크리트의 경우 300kg/cm^2 , 고강도콘크리트의 경우 500kg/cm^2 으로 하였다.

2.1 사용재료

2.1.1 시멘트

본 실험에서 사용한 시멘트는 KS L 5201에 규정된 국내 S사 보통 포틀랜드 시멘트 1종을 사용하였다.

2.1.2 골재

잔골재는 광주산 강모래로 3mm체를 통과한 것을 사용하였고, 굵은골재는 전남 장성산 화강암을 원석으로 하는 쇄석골재로, 골재의 최대크기를 15mm로 조정하였다. 골재의 물리적 성질은 다음 표 2.1과 같다.

표 2.1 골재의 물리적 성질

종 류	표건 비중	최대크기 (mm)	단위용적중량 (kg/m ³)	흡수율	공기량	실적율	마모율	조립율
				%				
잔골재	2.66	3.0	1672	1.56	35.1	64.9	.	2.50
굵은골재	2.72	15.0	1475	1.23	46.0	54.0	21.0	6.38

2.1.3 혼화재

플라이애쉬는 국내 S사의 제품을 사용하였으며, 실리카흙은 국내 J사의 제품을 사용하였다. 사용한 플라이애쉬와 실리카흙의 화학적 성질은 표 2.2, 표 2.3과 같다.

표 2.2 플라이애쉬의 화학적 성분

성 분	화 학 적 성 분 (%)					비중
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	
플라이애쉬	52.5	21.0	4.0	0.28	1.21	2.45

표 2.3 실리카흙의 화학적 성분

성 분	화 학 적 성 분 (%)						
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O
실리카흙	96.4	0.47	0.58	0.24	0.72	1.05	0.45

2.1.4 유동화제

유동화제는 나프타린계의 고성능 감수제인 Mighty 150을 사용하였으며, 그 화학적 성질은 표 2.4에 나타났다.

표 2.4 감수제의 화학적 성질

구분	주성분	고형분(g/l)	비중(20℃)	pH	외관	표준 사용량
MT 150	나프타린술폰산염	480	1.2±0.01	9.2	흑갈색	C×0.6~2.4%

2.2 실험방법

2.2.1 배합

실험에 사용된 배합상세는 다음 표 2.5와 같다.

표 2.5 배합상세²⁾

TYPE	w/c (%)	C	FA	SF	S	G	W	SP	TYPE	w/c (%)	C	FA	SF	S	G	W	SP
		(kg/m ³)									(kg/m ³)						
A-PL	48	420	0	0	880	960	201.6	6.3	B-PL	32	500	0	0	785	1000	160	10
A-FA-10		378	42	0	880	960	201.6	6.3	B-FA-10		450	50	0	785	1000	160	10
A-FA-20		336	84	0	880	960	201.6	6.3	B-FA-20		400	100	0	785	1000	160	10
A-SF-10		378	0	42	880	960	201.6	6.3	B-SF-10		450	0	50	785	1000	160	10
A-SF-20		336	0	84	880	960	201.6	6.3	B-SF-20		400	0	100	785	1000	160	10

2.2.2 공시체 제작 및 양생

콘크리트의 압축강도, 인장강도를 측정하기 위하여 $\phi 10\text{cm} \times h20\text{cm}$ 의 강제몰드를 사용하였으며, 3, 7, 28일에 대한 압축강도 및 28일 인장강도 측정을 위해 각 타입당 각각 12개씩 총 120개를 제작하였다. 또한 동결융해 저항 특성 시험을 위해 75mm×100mm×400mm 규격의 시험체를 각 타입당 2개씩, 총 20개를 제작하였으며, 양생은 본 실험실에 설치된 표준 양생조를 이용 20±3℃의 온도로 수중양생하였다.

2.2.3 측정방법

동결융해 시험장치는 KS규정상인 B방법인 기중동결·수중융해법을 사용하는 국내 H사 제품 동결융해 시험장치(Freezing and Thawing Apparatus HJ-3525)를 사용하였으며, D사 소유 동탄성계수 측정기를 이용하여 시험체의 1차 공명 진동수를 측정하였다. 시험체의 무게는 오차 0.05g의 전자저울을 사용하였으며, 시험체의 길이는 버어니어 캘리퍼스를 이용하여 측정하였다.

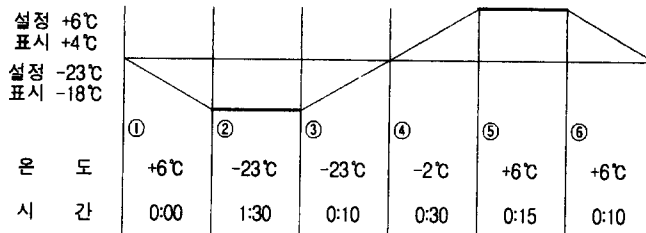


그림 2.1 동결융해 사이클

2) A:물-시멘트비 48%, B:물-시멘트비 32% FA:플라이애쉬 SF:실리카흄 0, 10, 20 : 혼화제 치환율

동결융해 저항 특성 시험은 KS F 2456에 따라, 콘크리트 시험체 탈형 후 표준양생조에서 수중 양생 하였으며, 재령 14일이 경과한 후 즉시 시험체를 6±3℃의 상태로 옮겨, 가로 1차 공명 진동수, 시험체의 무게, 시험체의 길이의 초기치를 측정하였고, 동결융해 사이클이 20, 40, 60, 80, 100, 120 사이클 되는 때에 초기와 동일한 항목을 각각 측정하였다.

본 실험에서 사용한 동결융해 시험장치의 각 seg당 온도와 시간은 그림 2.1과 같다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 콘크리트 강도

표 3.1 28일 압축강도 측정 결과

TYPE		PL	FA-10	FA-20	SF-10	SF-20
		kg/cm ²				
압축	A	274.38	320.01	288.60	331.36	318.36
	B	463.14	492.3	489.7	524.2	511.4

3.2 콘크리트 동결융해실험 측정 결과

본 실험에서는 동결융해 사이클에 따른 시험체의 중량변화, 길이변화, 1차 공명 진동수 변화를 측정 하였으며, 그 결과는 다음 표3.2~표3.4와 같다.

표 3.2 시험체의 중량변화

사이클 TYPE	초기치	20	40	60	80	100	120	사이클 TYPE	초기치	20	40	60	80	100	120
	gram								gram						
A-PL	7240.4	7239.9	7234.4	7227.5	7188.4	6997.7	6789.4	B-PL	7572.1	7571.5	7570.9	7570.3	7540.6	7507.0	7483.7
A-FA-10	7100.7	7100.2	7097.4	7089.8	6968.9	6832.1	6711.2	B-FA-10	7239.2	7238.7	7237.8	7237.2	7212.1	7201.4	7197.3
A-FA-20	7168.1	7167.2	7164.9	7160.6	7007.5	6822.8	6746.6	B-FA-20	6879.5	6879.0	6877.4	6876.0	6849.4	6822.7	6801.0
A-SF-10	6932.7	6932.5	6932.3	6930.1	6870.5	6710.2	6677.9	B-SF-10	7316.3	7315.6	7315.0	7314.8	7290.1	7278.9	7251.7
A-SF-20	7013.7	7012.1	7011.3	7010.9	6945.9	6859.4	6710.4	B-SF-20	7205.3	7205.2	7205.1	7204.9	7177.3	7156.3	7130.8

표 3.3 시험체의 길이변화

사이클 TYPE	초기치	20	40	60	80	100	120	사이클 TYPE	초기치	20	40	60	80	100	120
	cm								cm						
A-PL	40.185	40.185	40.170	40.165	40.125	40.115	39.950	B-PL	40.105	40.105	40.100	40.095	40.090	40.080	40.075
A-FA-10	40.150	40.150	40.140	40.125	40.075	40.005	39.880	B-FA-10	40.205	40.200	40.195	40.180	40.165	40.145	40.115
A-FA-20	40.140	40.140	40.140	40.130	40.080	40.005	39.885	B-FA-20	40.135	40.135	40.135	40.130	40.130	40.125	40.095
A-SF-10	40.200	40.195	40.180	40.155	40.110	40.095	40.035	B-SF-10	40.125	40.125	40.120	40.115	40.100	40.100	40.095
A-SF-20	40.135	40.135	40.130	40.125	40.090	40.045	40.030	B-SF-20	40.150	40.150	40.150	40.140	40.135	40.125	40.115

표 3.4 시험체의 1차 공명 진동수 변화

사이클 TYPE	초기치	20	40	60	80	100	120	사이클 TYPE	초기치	20	40	60	80	100	120
	Hz								Hz						
A-PL	8165	8009	7912	7654	7285	7012	6412	B-PL	8592	8490	8441	8423	8288	7975	7279
A-FA-10	8135	7991	7843	7597	7224	6940	6471	B-FA-10	8540	8489	8445	8392	8201	7884	7282
A-FA-20	8130	7790	7459	7274	7110	6792	6466	B-FA-20	8180	8121	8103	8075	7923	7712	7226
A-SF-10	8042	7751	7647	7570	7212	6980	6753	B-SF-10	8431	8384	8367	8329	8295	8006	7655
A-SF-20	7870	7498	7383	7301	7085	6903	6790	B-SF-20	8630	8577	8552	8530	8476	8291	7904

3.2. 동결융해 사이클에 따른 시험체의 변화

그림 3.1 및 3.2는 동결융해 사이클의 진행에 따른 상대동탄성계수의 변화를 나타낸 그림이다. A Type의 경우 60 사이클이 진행된 후부터 상대동탄성계수가 90% 이하로 떨어지기 시작하여, 플라이애쉬를 치환한 콘크리트와 치환하지 않은 콘크리트는 120사이클 경과 후 80% 이하로 떨어졌으나 실리카흄을 치환한 콘크리트는 84%~86.3%를 유지하였다. B Type의 경우는 100 사이클까지는 90% 이상을 유지하였고, B-SF의 경우는 120 사이클 이후에도 90% 이상의 상대동탄성계수를 유지하였다.

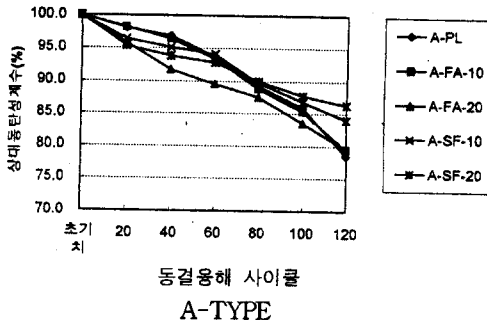


그림 3.1 동결융해 사이클에 따른 동탄성계수 변화

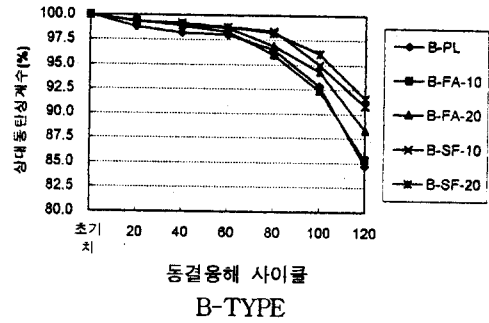


그림 3.2 동결융해 사이클에 따른 동탄성계수 변화

3.3. 강도에 따른 동결융해 저항 특성

그림 3.3은 강도에 따른 상대동탄성계수의 변화를 나타내는 것으로, 강도와 상대동탄성계수는 선형비례 하는 것을 알 수 있으며, 이것은 물-시멘트비의 차이에 의한 결과로 생각된다.

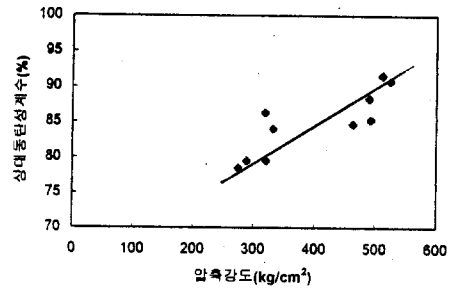


그림 3.3 강도에 따른 동탄성계수 변화

3.4. 혼화재에 따른 동결융해 저항 특성

혼화재의 종류에 따른 상대동탄성계수 변화는 그림 3.4, 그림 3.5에서 보는 바와 같이, 플라이애쉬를 치환한 콘크리트는 치환하지 않은 콘크리트와 거의 차이를 보이지 않았으나, 실리카흄을 치환한 콘크리트는 치환하지 않은 콘크리트에 비해 상대동탄성계수가 5.5%~7.8% 정도 높게 나타났으며, 또한 실리카흄의 경우 치환율 10%에 비해 치환율 20%인 경우가 0.8%~2.4% 정도 높게 나타났다. 플라이애쉬를

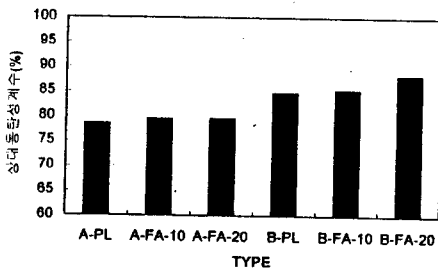


그림 3.4 플라이애쉬를 치환한 콘크리트의 상대동탄성계수 변화

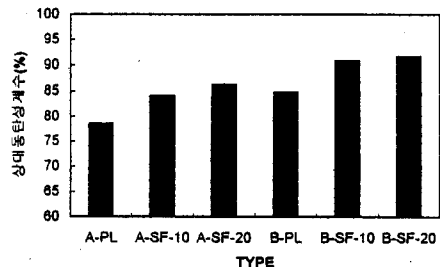


그림 3.5 실리카흄을 치환한 콘크리트의 상대동탄성계수 변화

치환한 콘크리트가 치환하지 않은 콘크리트와 큰 차이를 보이지 않은 것은 플라이애쉬의 반응성이 실리카흄에 비해 늦기 때문인 것으로 생각된다.

4. 결 론

본 연구에서는 동결융해작용에 영향을 미치는 인자에 대한 연구의 일환으로, 목표배합강도에 따라 혼화재의 종류 및 치환율을 변수로하여 콘크리트의 동결융해 저항 특성을 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 강도에 따른 콘크리트의 동결융해 실험결과, 압축강도와 동결융해 저항성은 비례하며, 따라서 물-시멘트비와 동결융해 저항성은 반비례하는 것으로 나타났다.
- 2) 혼화재의 종류에 따른 콘크리트의 동결융해 실험 결과, 실리카흄을 치환한 경우는 치환하지 않은 콘크리트에 비해 120사이클 경과 후의 상대동탄성계수가 5.5%~7.8% 증가되었으며, 플라이애쉬를 치환한 경우는 치환하지 않은 콘크리트와 큰 차이를 보이지 않아, 실리카흄을 치환한 콘크리트의 동결융해 저항성이 우수한 것으로 나타났다.
- 3) 혼화재의 치환율에 따른 콘크리트의 동결융해 저항 특성은 실리카흄과 플라이애쉬 모두 치환율 20%에서 동결융해 저항 특성이 우수한 것으로 나타났다.

이상과 같은 결과를 종합해 볼 때, 물-시멘트비는 보다 낮은 것을, 혼화재는 실리카흄 20%를 치환한 콘크리트를 사용하는 것이 동결융해에 따른 콘크리트의 내구성 저하를 억제하는데 효과적인 것으로 사료된다.

참고문헌

- 1) 부척량, "철근콘크리트 구조설계", 기문당, 1996
- 2) 한국콘크리트학회, "고성능 유동화제를 이용한 고강도콘크리트의 제조와 특성 및 활용", 한국콘크리트학회, 1993
- 3) ACI 318, "ACI 318-95 Building Code Requirements for Structural Concrete", PCA, 1996
- 4) SHRP, "Mechanical Behavior of High Performance Concretes", SHRP, 1993
- 5) Juhan Aavik & Satish Chandra, "Influence of Organic Admixture and Testing Method on Freeze-Thaw Resistance of Concrete", ACI Material Journal, 1995
- 6) R. D. Hooton, "Influence of Silica Fume Replacement of Cement on Physical Properties and Resistance to Sulfate Attack, Freezing and Thawing, and Alkali-Silica Reactivity", ACI Material Journal, 1993
- 7) Y. Li & B.W.Langan & M.A.Ward, "Freezing and Thawing : Comparison between Non-Air-Entrained and Air-Entrained High Strength Concrete", ACI International Conference, 1994
- 8) 서수철, "동결융해작용을 받은 콘크리트의 압축강도 회복에 관한 연구", 전북대학교, 1985
- 9) H. Marzouk & Dajiu Jiang, "Effects of Freezing and Thawing on the Tension Properties of High-Strength Concrete", ACI Material Journal, 1994
- 10) Mosongo Moukwa 외 3인, "Freeze-Thaw Tests of Concrete in Seawater", ACI Material Journal, 1989
- 11) Rachel J. Detwiler 외 2인, "Assessing the Durability of Concrete in Freezing and Thawing", ACI Material Journal, 1989
- 12) ACI Committee 226, Silica Fume in Concrete, ACI Materials Journal, 1987