

# 차염성 저발열시멘트의 급속동결융해 저항성에 관한 실험적 연구

## An Experimental Study on Resistance of rapid Freezing and Thawing of Chloride-inhibiting Low-Heat Cement

심종성\* · 박철우\*\* · 박성재\*\*\* · 강태성\*\*\* · 주민관\*\*\* · 김태수\*\*\*\*  
Sim, Jongsung · Park, Cheolwoo · Park, Sungjae · Kang, Taesung · Ju, Minkwan · Kim, Taesoo

### ABSTRACT

This study was conducted to assess the durability of Chloride-inhibiting Low-Heat Cement while being subjected to freezing-thawing during winter seasons. Although durability varies slightly depending on the conditions of the jobsite, frost damage to concrete resulting from repeated freezing and thawing over the course of seasonal changes is the leading cause behind lowered concrete durability. In addition, concrete that has been subjected to freezing and thawing during the winter season develops a significant amount of expansive force at the core and begins to exhibit signs of damage, such as cracking, peeling, and detachment from the aggregate.

Therefore, this study fabricated test specimens using a Chloride-inhibiting Low-Heat Cement (CLC) and the widely used blast furnace slag cement (BFS) and Ordinary Portland Cement (OPC) with water-to-cement ratios of 35%, 40% and 45%, respectively, to assess the durability index of the CLC as per resistance to freezing-thawing. The specimens were then tested using the KS F 2456 method (Testing method for resistance of concrete to rapid freezing and thawing) to measure the dynamic modulus of elasticity. The dynamic modulus of elasticity measurements were then used to derive the durability indices.

By comparing the durability indices, it was confirmed that CLC, BFS, and OPC all had superior durability.

### 요약

이 연구는 겨울철 동결융해 작용으로 인한 차염성 저발열시멘트(CLC)의 내구성을 알아보고자 수행하였다. 내구성 문제는 현장여건에 따라 다소 차이는 있으나, 계절변화에 따른 반복적인 동결융해작용에 의한 콘크리트의 동해는 내구성 저하의 대표적 현상이라 할 수 있으며, 겨울철 동결융해를 받는 콘크리트는 내부에서 큰 팽창력이 발생되어 콘크리트 균열, 표면 박리, 골재 이탈 등의 파손현상을 보이게 된다.

따라서 이 연구에서는 개발된 차염성 저발열시멘트(CLC)의 동결융해 저항성에 따른 내구성 지수를 알아보기 위해 차염성 저발열시멘트(CLC)와 현재 많이 사용되고 있는 고로슬래그시멘트(BFS), 보통 포틀랜드시멘트(OPC)을 각각 물/시멘트비 35%, 40%, 45% 을 변수로 하여 배합을 실시 하여 공시체를 제작하였다. 제작된 공시체를 KS F 2456(급속동결 융해에 대한 콘크리트의 저항 시험방법)방법에 따라 동결융해 시험을 실시하여 상대 동탄성 계수를 측정하였으며, 측정된 상대동탄성 계수를 가지고 내구성지수를 도출하였다.

내구성 지수를 비교 분석한 결과 차염성 저발열시멘트(CLC), 고로슬래그 시멘트(BFS), 보통 포틀랜드 시멘트(OPC) 모두 우수한 내구성 지수를 나타내는 것으로 확인 되었다.

\* 정희원 · 한양대학교 토목공학과 교수  
\*\* 정희원 · 강원대학교 토목공학과 교수  
\*\*\* 정희원 · 한양대학교 토목공학과 박사과정  
\*\*\*\* 정희원 · 한양대학교 토목공학과 석사과정

## 1. 서 론

오늘날 콘크리트의 내구성은 구조물의 설계, 시공 및 보수보강 시에 가장 중요한 성질로 평가되고 있다. 콘크리트 내구성 저하는 구조물의 노후화에 따른 부수적 현상이 아닌 경우 구조물 전체에 악영향을 줄 수 있는 중요한 문제를 야기하게 된다. 콘크리트의 성능저하와 내구성 문제는 대체로 염해 등에 의한 화학적 침해와 동결융해작용, 온도균열 등과 같은 물리적 성능저하 작용이 복합되어 초기의 미세균열에서 연속된 균열로 전파되고, 이로 인해 철근부식으로 이어져 성능저하가 가속화된다고 알려져 있다. 특히, 반복적인 동결융해에 의한 콘크리트의 동해는 내구성 저하의 대표적 현상이라 할 수 있으며, 겨울철 동결융해를 받는 콘크리트는 내부에서 큰 팽창력이 발생되어 콘크리트 균열, 표면 박리, 골재 이탈 등의 파손현상을 보이게 된다.

따라서 본 연구에서는 콘크리트의 성능 및 내구성 증진을 위해, 개발된 차염성 저발열 시멘트(CLC)와 현재 많이 활용되고 있는 고로슬래그시멘트(BFS), 보통포틀랜드시멘트(OPC)에 대한 내구성지수를 산정하여 동결융해 저항성을 평가하고자 한다.

## 2. 실험개요 및 방법

### 2.1 사용재료 및 배합

본 연구에서 사용된 콘크리트의 배합 조건은 목표 slump flow 18±2.5cm을 표준으로 하였다. 실험변수로 물-시멘트비(W/C=35, 40, 45%)에 따른 단위수량을 동일 수준으로 유지하여 예비 배합시험을 통하여 표1과 같이 선정하였다. 굵은 골재는 최대치수 25mm인 쇄석을 불순물이 함유되지 않도록 깨끗이 세척한 후 표면건조 포화상태로 조정하여 사용하였으며, 잔골재는 염분이나 불순물이 함유되지 않은 세척사를 사용하였다. 혼화제는 국내 현장에서 주로 사용되고 있는 폴리카르본산계 고성능AE감수제(제품명 CP-WR, CP-WB)를 사용하였다.

표1 시멘트별 콘크리트 배합조건

실험NO	배합 구분	W/C(%)	S/a(%)	단위재료량(kg/m <sup>3</sup> )				혼화제(%)		Slump(cm)	Air량(%)
				W	C	S	G	감수제	AE제		
1	OPC	40.0	46.0	160	400	805	963	0.7	0.06	17.0	5.7
2	BFS	35.0	45.0	160	457	759	946	0.5	0.03	17.5	3.6
3		40.0	46.0	160	400	799	956	0.5	0.03	20.0	4.8
4		45.0	47.0	160	356	834	959	0.5	0.03	18.0	5.5
5	CLC	35.0	45.0	160	457	749	933	0.45	0.11	17.0	3.7
6		40.0	46.0	160	400	790	945	0.4	0.10	19.0	5.2
7		45.0	47.0	160	356	826	949	0.4	0.09	18.5	5.1

### 2.2 급속동결융해 시험(KS F 2456) 방법

급속동결융해 시험은 실험실 내에서 동결융해의 급속 반복 사이클에 대한 콘크리트 공시체의 동결융해 저항성을 측정하기 위한 시험방법으로써, KS F 2456 (급속동결 융해에 대한 콘크리트의 저항 시험방법)에 준하여 실험을 실시하였다.

급속동결융해 시험방법은 수중 급속동결융해 시험방법과 기중 급속동결융해 시험방법 두 가지로 나뉘는데, 이 연구에서는 수중 급속 동결융해시험을 실시하였다. 시험체는 14일간 표준양생 100×100×400mm의 각주 공시체를 사용하며, 양생 후 초기 동탄성계수를 측정하고 시험체를 급속동결융해 시험기에 넣고, 그림 2와 같이 동결융해시험을 실시하면서 매 30cycle 마다 그림 3과 같이 진동 주파수를 측정하여 상대 동탄성계수를 측정을 하였다. 또한 측정된 상대동탄성계수를 바탕으로 각각의 시멘트 종류 및 물-시멘트비 조건에서 내구성지수를 산정하여 동결융해 저항성 평가하였다.

동결융해 1cycle은 시험체 중심부의 온도를 원칙으로 하며 동결시 온도는 4~-18℃이며, 융해시 온도는 -18~4℃로 유지를 하여야 한다. 각 사이클에서 시험체 중심부의 동결융해시의 최고 및 최저 온도는 각각 4±2℃ 및 -18±2℃의 범위 내에 있어야 한다. 또한, 동결융해 1cycle 소요시간은 그림 1과 같이 2시간 이상, 4시간 이하로 하였다. 동결융해 종료 사이클은 300cycle이며, 시험체가 실험 진행 중 시험 시작 전 측정된 초기 동탄성계수보다 동탄성계수가 60%이하로 떨어지면 해당 시험체는 실험을 종료하였다. 상대 동탄성계수(relative dynamic modulus of elasticity)는 식 1에 의하여 계산하였다.

$$P_c = \frac{n_1^2}{n^2} \times 100(\%) \dots\dots\dots (\text{식 } 1)$$

여기서,  $P_c$  : 동결융해 c cycle 후의 상대 동탄성계수  
 $n$  : 시험개시시의 진동주파수  
 $n_1$  : 동결융해 c cycle 후의 진동주파수

또한 다음 식 2에 상대동탄성계수(relative dynamic modulus of elasticity)를 이용하여 내구성 지수(DF)를 평가하였다. 내구성 지수는 최초의 상태를 100으로 하며 동결융해 진행 과정에서 내구성지수가 60이하로 나타나면 내구성 상실로 판정한다.

$$DF = \frac{PN}{M} \dots\dots\dots (\text{식 } 2)$$

여기서, DF : 시험용 공시체의 내구성 지수  
 $P$  : N 사이클에서의 상대동탄성계수(%)  
 $N$  : 상대동탄성계수가 60%가 되는 사이클 수 또는 동결융해에서의 노출이 끝나게 되는 순간의 사이클 수  
 $M$  : 동결융해에서의 노출이 끝날 때의 사이클 수

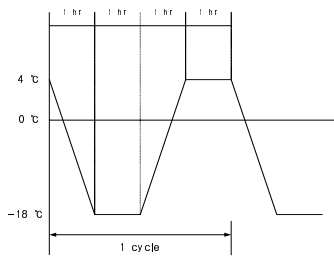


그림 1. 동결융해 1cycle 소요시간



그림 2. 급속동결융해중인 시험체

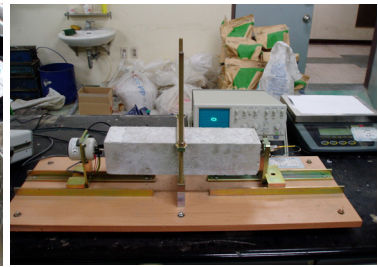


그림 3. 상대동탄성계수 측정

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 급속동결 융해 시험(KS F 2456) 결과

이 시험의 시멘트 종류 및 물-시멘트비(35, 40, 45%)에 따른 공시체의 진동주파수 및 상대 동탄성계수 측정결과를 표 2와 표 3에 나타내었다. 상대 동탄성계수 측정결과 시험종료 사이클된 300cycle 경과한 후에도 시멘트 종류 및 물-시멘트비에 관계없이 시험체 모두 상대동탄성계수(relative dynamic modulus of elasticity)가 90%를 상회하는 우수한 결과를 보였다.

표 2 Cycle별 진동주파수

배합구분	W/C (%)	진동주파수(Hz)										
		0 Cycle	30 Cycle	60 Cycle	90 Cycle	120 Cycle	150 Cycle	180 Cycle	210 Cycle	240 Cycle	270 Cycle	300 Cycle
OPC	40	5,259	5,219	5,171	5,137	5,106	5,073	5,041	5,009	4,975	4,939	4,892
	35	5,321	5,311	5,293	5,280	5,276	5,265	5,250	5,249	5,235	5,229	5,201
BFS	40	5,237	5,201	5,155	5,114	5,078	5,035	4,999	4,965	4,928	4,892	4,851
	45	5,187	5,137	5,093	5,058	5,024	4,991	4,951	4,909	4,871	4,831	4,789
CLC	35	5,305	5,295	5,289	5,278	5,268	5,251	5,249	5,239	5,223	5,217	5,195
	40	5,125	5,121	5,095	5,056	5,028	4,997	4,971	4,941	4,907	4,871	4,833
	45	5,153	5,121	5,083	5,048	5,012	4,976	4,941	4,906	4,868	4,831	4,792

표 3 Cycle별 상대동탄성계수

배합구분	W/C (%)	상대동탄성계수(%)										
		0 Cycle	30 Cycle	60 Cycle	90 Cycle	120 Cycle	150 Cycle	180 Cycle	210 Cycle	240 Cycle	270 Cycle	300 Cycle
OPC	40	100	98.48	98.17	98.69	98.80	98.71	98.74	98.73	98.65	98.56	98.47
BFS	35	100	99.62	99.32	99.51	99.85	99.58	99.70	99.70	99.47	99.77	98.93
	40	100	98.63	98.24	98.42	98.60	98.31	98.58	98.64	98.52	98.54	98.33
	45	100	98.08	98.29	98.63	98.66	98.69	98.40	98.31	98.46	98.36	98.27
CLC	35	100	99.62	99.77	99.58	99.62	99.36	99.92	99.62	99.39	99.77	99.16
	40	100	99.84	98.99	98.47	98.90	98.77	98.96	98.80	98.63	98.54	98.45
	45	100	98.76	98.52	98.63	98.58	98.57	98.60	98.59	98.46	98.49	98.39

### 3.2 고찰

시멘트 종류 및 물-시멘트비에 따른 공시체의 상대동탄성계수 비교결과를 그림 4에 나타내었으며, 이러한 상대동탄성계수를 이용한 내구성지수 비교 결과는 그림 5와 같다. 내구성지수 비교결과 시험체 간 큰 차이는 없는 것으로 나타났으며, 콘크리트의 물-시멘트비가 감소함에 따라 내구성 지수는 약간 차이가 있으나 그림 5와 같이 내구성 지수의 차이는 거의 없는 것으로 나타났는데, 이는 콘크리트의 공기량이 동결융해 저항성에 요구되는 공기량이 연행 되었기 때문인 것으로 판단된다. 따라서 콘크리트 내에 소요공기량이 3.5%~6.0%정도 연행되는 것이 OPC콘크리트와 BFS콘크리트, CLC콘크리트의 차이는 없는 것으로 나타났다.

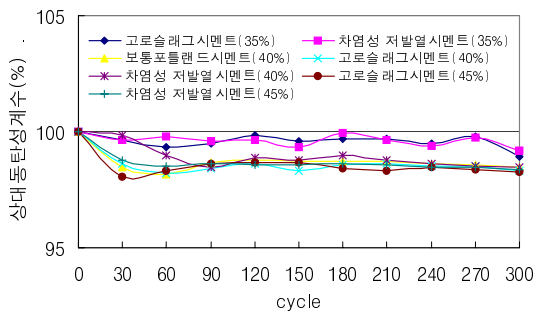


그림 4. 콘크리트의 상대 동탄성계수 변화

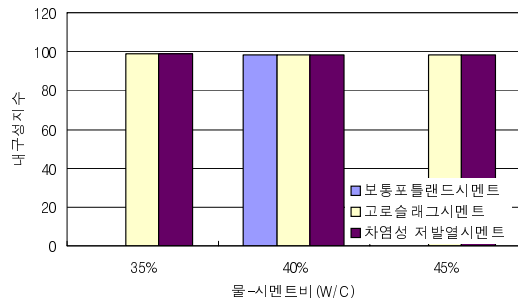


그림 5. 콘크리트의 내구성 지수

## 4. 결론

시멘트 종류 및 물-시멘트비에 따른 동결융해 저항성 평가시험결과, 시험체 모두 상대동탄성계수가 90% 이상으로 우수한 결과를 나타냈으며, 시멘트 종류간의 차이는 미미한 것으로 나타났다. 결과적으로 동결융해저항성을 확보하기 위하여 소요 공기량을 연행시키고, 물-시멘트비도 적절히 최소화 시키는 것이 중요할 것으로 판단된다.

따라서 콘크리트의 성능 및 내구성 증진을 위해 개발된 CLC의 내구성 지수 평가 결과 현재 많이 활용되고 있는 BFS, OPC와 비교한 결과 콘크리트 구조물의 염해대책의 일환으로 개발된 CLC를 사용한 콘크리트의 활용을 제안할수 있을 것으로 판단된다.

### 참고문헌

1. KS F 2456 “급속동결 융해에 대한 콘크리트의 저항 시험방법”
2. 마창남, “해양콘크리트 구조물용 참여성 저발열시멘트의 내구특성에 관한 실험적 연구”, 한양대학교 대학원 석사학위논문, 2008. 2.