

고강도 경량골재콘크리트의 동결융해에 대한 실험적 연구

A Experimental Study on the Freezing and Thawing of High-Strength Light Weight Aggregates Concrete

박정권* 최세규** 한상목*** 김생빈****
Park, Jung kweon Choi, Se Gyu Han, Sang Mook Kim, Saeng Bin

Abstract

This Experiment is performed to describe the properties of the freezing-thawing and to find the method to enhance the freezing-thawing resistance of the high strength light weight aggregates concrete. For this purpose, we made 8 kinds of specimen of concrete mold. The light weight coarse aggregate concrete which contained AE was appeared in good condition and its durability index was more than 90% by the buffer action which owing to entrained air. The light weight aggregates concrete which admixture of silica fume, was appeared that the durability index was 46.74% in spite of its high strength. I might conclude that the most important factor for freezing-thawing resistance of high strength light weight aggregate concrete is the entrained air.

1. 서 론

각종 구조물이 대형화, 고층화되는 추세에 따라 부재의 자중을 감소시키면서도 강도 증진을 도모할 수 있는 고강도 경량 골재 콘크리트의 사용은 그 특성상 많은 장점을 가지고 있다. 구미 각국에서는 70여년 전부터 인공 경량 골재의 양산에 성공하여 토목, 건축 구조물 등에서의 활용이 보편화되어 배합 설계, 콘크리트 생산, 타설, 다짐, 양생 등에 대한 많은 기술이 확립되어 있고, 세부적인 학문적 연구의 토대도 보유하고 있다. 국내에서는 경량 골재 생산의 낙후함과 경량 골재에 대한 인식 부족으로 인해 신뢰도 면에서 인정받지 못하고 있는 실정이다. 골재만의 단순 비교에 있어서는 비경제적인 면이 있지

* 코오롱건설
** 정회원, 동국대학교 토목공학과 박사과정
*** 정회원, 금오공과대학교 토목공학과 부교수
**** 정회원, 동국대학교 토목공학과 교수

만, 경량성이 장대 지간의 교량이나 고층 건물 등의 구조물 전체에 적용됨에 따른 그 파급효과를 고려한다면 경제적인 이점도 도모할 수 있으며 경량 골재의 다공성, 열전도율, 수분 흡수에 의한 수화작용 등 제 특성으로 인한 구조적 이점도 취할 수 있다. 하지만 경량 골재의 다공성으로 인한 수분 흡수로 인해 동결 용해를 받기 쉬우며 또한 우리 나라의 중북부는 겨울철 기후 특성에 의해 콘크리트의 동결 용해가 일어나기 쉽기 때문에 최근 국내에서 생산된 경량 골재를 사용하여 여러 혼화 재료를 사용하여 동결 용해에 대한 내구성 개선 방안을 제시하고자 한다.

본 논문에서는 보통포틀랜드 시멘트와 경량골재를 사용하여 공시체를 제작하였으며 공시체 제작은 AF제를 전혀 넣지 않은 것과 콘크리트 표준 시방서 시공 2.4.9에 규정된 공기량을 넣은 경우, 실리카 흡을 넣은 것과 넣지 않은 것, 물시멘트비가 다른 것 등 8개의 경우로 나누어서 공기 중 급속 동결 수 중 급속 용해 시험법(KS F 2456)으로 동결 용해 시험을 실시하여 경량골재 콘크리트의 내구성 개선 방법을 찾고자 하였다.

2. 사용 재료의 특성과 실험 계획

2.1 사용 재료

2.1.1 시멘트

시멘트는 시중에서 구입한 S사 제품의 보통 포틀랜드 시멘트이며 물리적 성질은 표 1과 같다.

표 1 보통포틀랜드 시멘트의 물리적 성질

비 중	비표 면적	용 결(시 : 분)		안 정 성	압축 강도(kg/cm ²)		인장 강도(kg/cm ²)	
		시 발	종 결		σ_7	σ_{28}	σ_7	σ_{28}
3.15	3100	4 : 30	6 : 30	양 호	207	312	24	38

2.1.2 잔골재

잔골재는 낙동강에서 채취한 모래를 사용하였으며 물리적 성질은 표 2와 같다.

표 2 잔골재의 물리적 특성

표준 비중	흡수율	각 체 통과량의 백분율(%)							조립율 (FM)
		10mm	4.76mm	2.5mm	1.19mm			0.149mm	
2.58	2.8	100	97	88	74	46	11	3	2.81

2.1.3 굵은골재

보통 굵은골재는 한강에서 채취된 강자갈을 사용하였으며, 굵은 골재 최대 치수는 19mm이며, 물리적 성질은 표 3과 같다.

표 3 보통 굵은 골재의 물리적 성질

G(mm)	비중	흡수율(%)	각 체 통과량의 백분율(%)				조립율 (FM)
			25mm	19 mm	10mm	4.76mm	
19	2.68	1.5	100	96.82	14.04	0.12	6.81

2.1.4. 경량 골재

경량골재는 K사에서 생산한 점토를 주원료로 1300℃로 고온 소성한 무균질의 경량 골재로써 최대 치수는 19mm를 사용하였으며 골재의 화학성분표는 표 4와 같으며 물리적 성질은 표 5와 같다.

표 4 경량 골재의 화학 성분

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	Ig loss	내화도 (SK)
57.8	18.4	8.81	0.96	0.65	1.00	2.82	0.63	8.2	10

표 5 경량 골재의 물리적 성질

G(mm)	비중	흡수율(%)	각 체 통과량의 백분율(%)				조립율 (FM)
			25mm	19 mm	10mm	4.76mm	
19	1.53	14.96	100	99.6	33.34	0.5	6.66

2.1.5 혼화 재료

1) 실리카 흙

실리카 흙은 오스트리아 산으로 비중이 2.15kg/cm² 인 것을 사용하였다.

2) 혼화제

혼화제는 고성능 감수제와 AE공기 연행제를 사용하였으며 이들의 특성은 표 6과 같다.

표 6 보통포틀랜드 시멘트의 물리적 성질

품 명	주 요 성 분	비 중	상 태	색 갈
Rheobuld-1000	나프탈린 술폰산염계	1.2	액 체	암 갈 색
AE 제	니그린 술폰산염계	1.2	액 체	담 갈 색

2.2 실험 계획

2.2.1 실험 개요 및 배합표

본 연구는 고성능 감수제를 사용한 고강도 경량 콘크리트의 동결융해에 대한 저항성 시험으로 압축 강도는 Non-AE콘크리트를 기준해서 500 ~ 600kg/cm²를 목표로 하였다. 콘크리트 배합은 표 7에서 보는 바와 같이 단위 시멘트량은 500kg/cm²으로 하고 물 시멘트비는 27%로 하여 AE제를 사용한 것(5~7%)과 사용하지 않은 것, 실리카흙을 사용한 것과 사용하지 않은 것 등으로 표 7과 같이 8개 배합에 대하여 실험하였다.

2.2.2 실험 내용

압축 강도는 재령 14일, 28일, 56일로 측정(공시체 10cm × 20 cm)하였고 동결융해 시험은 10cm × 7.5cm × 40cm 공시체에 대해 재령 14일(KS F 2456)에서부터 실시하였고, 또한 굳지 않은 콘크리트의 성질을 알기 위하여 단위 용적 중량, 슬럼프 및 공기량을 측정하였다.

표 7 콘크리트 배합설계

공 시 체 명	W/C (%)	G (mm)	슬럼프 (cm)	s/a (%)	공기량 (%)	단 위 량(kg/m ³)							
						물	시멘트	잔골재	굵은 골재	경량 골재	감수제	AE제	실리카 흙
NNAES	27	19	14	35	1.2	135	500	593	1702	-	15	-	85
NAES			17		5.9				-	1.5			
LNAES			12		1.0				-	-			
LAES			16	6.2	-				612	1.3			
LNAE1			12	1.0	-				-				
LAE1			12.2	6.0	-				1				
LNAE2	43	19	7.5	49	3.5	179	416	698	-	517	-	-	
LAE2			14		6				-		-		1.25

주) NNAES : 보통굵은골재, 실리카 흙 사용, AE제 첨가하지 않음
 NAES : 보통굵은골재, 실리카 흙 사용, AE제 첨가
 LNAES : 경량굵은골재, 실리카 흙 사용, AE제 첨가하지 않음
 LAES : 경량굵은골재, 실리카 흙 사용, AE제 첨가
 LNAE1 : 경량굵은골재, 실리카 흙 사용하지 않음, AE제 첨가하지 않음
 LAE1 : 경량굵은골재, 실리카 흙 사용하지 않음, AE제 첨가
 LNAE2 : 경량굵은골재, 실리카 흙 사용하지 않음, AE제 첨가하지 않음
 LAE2 : 경량굵은골재, 실리카 흙 사용하지 않음, AE제 첨가

3. 동결 융해 시험

본 연구에서는 KS F 2456에 의거 공기중 급속동결 및 수중 급속융해 시험법으로 하였으며 재령 14일에서 시험을 하였다.⁴⁾ 이때 동결융해시험 시작전에 초기 동탄성 계수를 측정하고 동결융해시험을 되풀이 하여 일정한 간격으로 동탄성 계수를 측정하였다. 상대 동탄성계수는 초기 동탄성계수에 대한 시험후 동탄성 계수의 비를 말하며 사이클이 300이면 시험을 완료하는데 그 전에 상대 동탄성 계수가 60%이하 이면 시험을 완료하였다.

시험에서 사용된 시험기기는 일본 Marui사 제품인 전자동 동결 융해 시험기를 사용하였으며, 시험에서 공시체의 온도는 동결시 -18℃, 융해시 +4℃가 되게 하였다. 동결 융해 1 Cycle을 수행하는데 소요된 시간은 약 2.5시간이다.

콘크리트의 동결 융해에 대한 내구성 지수(Durability Factor : DF)는 다음 식으로 계산한다.

$$DF = \frac{C \times N}{M} (\%)$$

여기서, DF : 내구성 지수

C : N사이클에서의 상대 동탄성계수

N : 동결 융해 시험을 마친 사이클 수

M : 동결 융해 시험 목표 사이클 수

4. 실험 결과 및 고찰

4.1 압축강도 실험 결과

동결융해실험을 위해 제조된 콘크리트의 물리적인 성질을 알아보기 위한 콘크리트의 14일, 28일, 56일 재령 압축 강도를 측정된 결과 표 8과 같이 실리카 흙을 사용한 콘크리트는 장기 강도가 크게 나타났으며, AE제를 넣은 콘크리트는 넣지 않은 콘크리트에 비해 강도가 크게 떨어졌다. 강섬유를 사용한 콘크리트의 초기강도는 크게 나타났으나 장기강도의 증가는 미소하게 나타났다. 재령과 압축강도와의 관계는 그림 1과 같다.

표 8 압축강도

공시체명	골재	혼화재료		단위용적 중량 (t/m ³)	압축강도(kg/cm ²)		
		실리카흙	AE제 강섬유		σ_{14}	σ_{28}	σ_{56}
NNAES	보통골재	17%	-	2.466	471	577	687
NAES			1.3%	2.402	547	573	693
LNAES			-	2.056	640	690	772
LAES			0.3%	1.925	350	476	530
LNAE1	경량골재	-	-	2.056	383	548	598
LAE1		-	0.2%	1.975	360	381	461
LNAE2		-	-	1.925	362	530	641
LAE2		-	0.3%	1.975	314	354	428

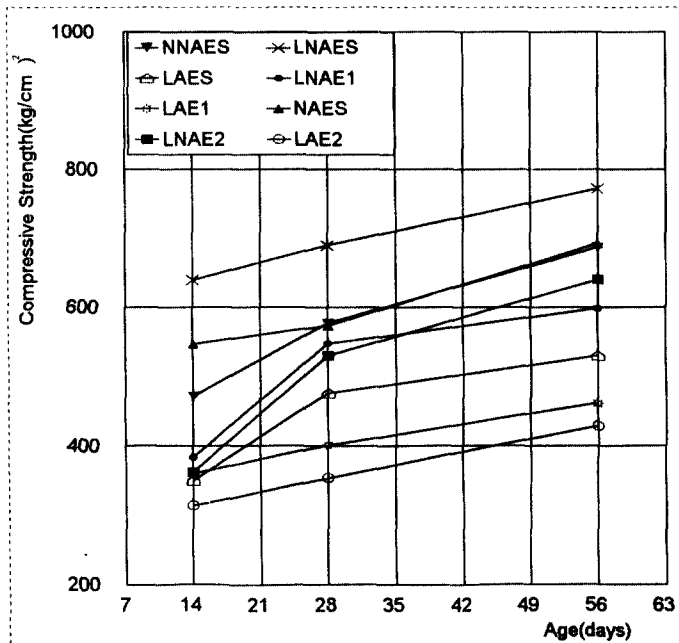


그림 1 압축강도와 재령과의 관계

4.2 동결융해실험의 결과

제작된 공시체에 대하여 동결 융해실험을 실시하여 다음 표 9와 같이 동결융해진행에 따른 상대 동탄성계수와 내구성 지수에 대한 결과를 얻었다.

4.2.1 내동해성에 미치는 실리카 흙의 영향에 대한 고찰

실리카 흙을 넣은 공시체는 콘크리트 표면에 근접한 경량골재 중 경량골재 속의 수분과 골재의 불리딩현상에 의한 골재하면의 수막의 동결로 인하여 균열발생 및 표면이 떨어져 나갔으며, 동결 융해가 되풀이 됨에 따라 그 손상

이 점점 내부로 발전되었으며, 235Cycles 이후에 상대 동탄성 계수가 60%이하로 나타나 시험을 완

표 9 동결 융해 실험 결과

공시체 명	최종 Cycle	상대 동 탄성계수 (%)	내구성 지수
NNAES	300	75.45	75.45
NAES	300	92.36	92.16
LNAES	235	59.67	46.74
LAES	300	92.10	91.10
LNAE1	159	37.17	19.70
LAE1	300	92.86	92.86
LNAE · 2	53	60.0	10.6
LAE · 2	300	99.60	95.27

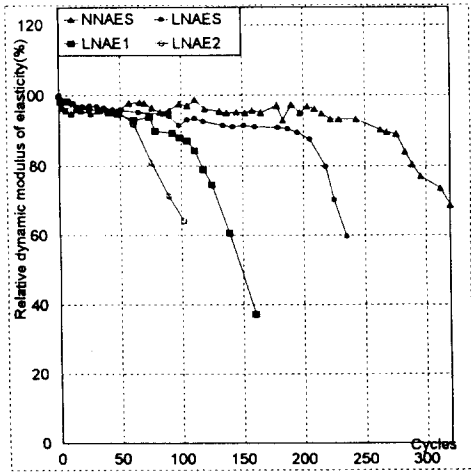


그림 2 실리카흙 유무에 따른 동결융해 저항성비교

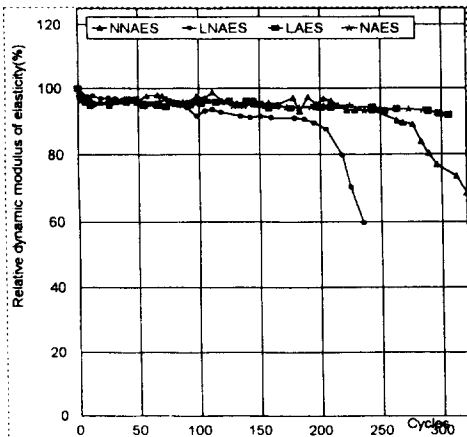


그림 3 AE제 첨가유무에 따른 동결융해 저항성비교

료하였다. 실리카 흙은 시멘트 페이스트의 강도를 크게 증진시켜 주었지만 공시체 표면에서는 근접한 부분의 경량 골재를 덮고 있는 시멘트 페이스트 두께가 얇아 동결융해시 발생하는 팽창압에 저항하지 못하여 시멘트 페이스트의 강도만 증진시키는 것은 동결 융해에 대한 내구성 향상에 도움이 되지 않았다. 그림 2와 같이 실리카 흙을 사용하고 AE제를 첨가하지 않은 보통골재 콘크리트(NNAES)와 실리카 흙을 사용하고 AE제를 첨가하지 않은 경량골재 콘크리트(LNAES)는 내구성 지수가 각각 75.45, 46.74로 떨어졌으며 경량골재의 경우 훨씬 심한 동해를 입었다.

한편, 실리카 흙을 사용하지 않고 AE제 역시 첨가하지 않은 경량골재 콘크리트의 동결융해에 대한 내구성 지수가 물시멘트비에 따라서 각각 19.70, 10.6으로 나타났다. 실리카 흙을 사용함으로써 동결융해 저항성을 어느정도 향상 시킬수 있지만 일반적 사용성을 확보할 수 없음을 알 수 있다.

4.2.2 내동해성에 미치는 AE제의 영향에 대한 고찰

그림 3과 같이 골재에 관계없이 AE

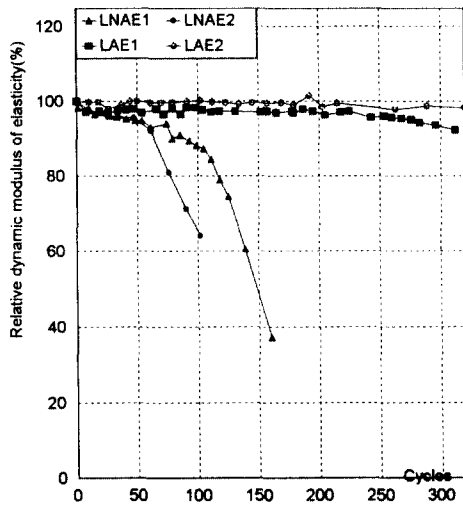


그림 4 물시멘트비와 공기량 유무에 따른 동결융해 저항성비교

53cycle에서 상태 동탄성계수가 60으로 떨어졌다.

AE제를 사용한 경량골재 콘크리트는 AE제의 연행공기에 의해 경량골재 속에서 발생하는 팽창압의 완화작용에 의해 실리카흙의 사용 유·무에 관계없이 내구성지수가 90이상으로 나타났다. 부분적으로 균열발생 및 콘크리트가 경량 골재를 중심으로 콘 모양으로 떨어져나가는 현상을 보였지만, 큰골재, 모서리 그리고 표면에 접한 골재에 한하여 나타났으며, 균열 및 파손의 진행은 Non-AE 경량골재 콘크리트에 비하여 매우 늦었으며, 동결 융해에 대한 내구성이 크게 개선됨을 알 수 있었다.

5. 결 론

본 연구는 고강도 경량콘크리트의 동결융해에 대한 내동해성을 알아보기 위하여 실리카 흙과 AE제 그리고 강섬유를 혼합하여 실험을 실시하였으며 이 실험 결과로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 실리카흙을 넣은 것과 넣지 않은 것 모두 Non-AE상태의 고강도 경량골재콘크리트는 높은 강도 발현에도 불구하고 동결융해저항성이 약한 것으로 나타났다.
- 2) 실리카흙의 유·무에 관계없이 AE제를 첨가한 경량골재콘크리트는 동결융해저항성이 증대되었다. 동결융해에 대한 저항성을 향상하기 위하여 AE제를 사용하는 것은 동결시 발생하는 팽창압의 완화 및 물의 유입을 막아줌으로서 내동해성 향상을위해 유효한 방법이 될 수 있다.
- 3) 콘크리트 용적의 1%의 강섬유를 넣어 보강한 경량골재 콘크리트는 동결융해에 대한 저항성이 크게 나타났다. 강섬유 또한 시멘트 페이스트의 구속으로 인해 동결시 발생하는 팽창압에 대한 저항력을 증대시키는 것으로써 내동해성 향상을 위한 방법이 될 수 있다.

참 고 문 헌

1. 김생빈, "고강도 콘크리트의 동결 융해 저항성에 미치는 기포조직 및 수밀성의 영향," 건국대학교 1993. 8

2. 한국 공업 표준 협회, '금속동결응해에 대한 콘크리트의 저항시험방법', KS F 2456
3. 대한 토목 학회, '강섬유 보강 콘크리트 설계 시공 지침(안)', 1995. 10
4. Zhang Min-Hong, and Odd E. Gjorv. "Characteristics of lightweight aggregates for high-strength concrete," ACI Materials Journal, Vol. 88, No. 2, Mar-Apr, 1991. pp.150-158
5. Zhang Min-Hong, and Odd E. Gjorv. "Mechanical properties of high-strength lightweight concrete," ACI Materials Journal, Vol. 88, No. 3, May-June, 1991. pp.240 -247
6. Zhang Min-Hong, and Odd E. Gjorv. "Permeability of high-strength lightweight concrete," ACI Materials Journal, Vol. 88, No. 5, Sep-Oct, 1991. pp.463 - 469
7. Cordon, W.A., Freezing and Thawing of Concrete, ACI Monograph, No.3, 1966.