기포제를 사용한 경량 콘크리트의 역학적 특성 및 동결융해 평가에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on Freezing-Thawing and Mechanical Properties of Lightweight Foamed Concrete Using Micro Foaming Agent

민 태 범* 우 영 제** 이 한 승***
Min,Tae-Beom Woo, Young-Je Lee, Han-Seung

Abstract

This research is focused on the applying of the foaming agent which can make the independent pore in the concrete structure in order to make a lightweight concrete structure. This lightweight foamed concrete can satisfy both the required strength and the mechanical properties as structural members. In addition, anti freezing-thawing properties also required.

As a result of the unit volume-weight measurement, when the foaming agent mixed at 0.5% to 1%, the lightweight foamed concrete can be applied for the structural member. Also the density and compressive strength measurement results reveals that it will be suitable as structural member with 21MPa strength, when the density is betweenity8 to 1.9 and foaming agent quantities are 0.5% to 1%. Finally the result of freezing-thawing experiment, the effect freezing-thawing damage reduced according to adding foaming agent because those foaming agent make micro-pores in the structure which are not seen in the ordinary concrete structure.

키 워 드 : 경량 콘크리트, 단위용적중량, 기포제, 동결융해
Keywords : Lightweight Concrete, Unit Volume Weight, Forming Agent, Freezing-Thawing

1. 서 론

1.1 연구배경 및 목적

경량콘크리트는 구조용 보통 콘크리트와 비교하여 동일 압축강도에 있어 단위용적중량이 매우 작은 이점이 있다. 이러한 구조용 경량콘크리트를 최근 국내에서 급격히 증가하고 있는 초고층 주상복합 건축물 및 사무용 초고층 건축물의 데크플레이트 슬래브에 적용한다면 건축물의 전체 중량을 경감시킬 뿐 아니라 사용자재의 절감 및 지진하중 과 풍하중을 저감시켜 효율적인 초고층 건축물 구조시스템 구축에 도움이 될 것으로 판단된다. 일반적으로 구조용 경량콘크리트를 제조하기 위해서는 경량골재를 사용하지만, 국내에는 경량골재를 생산하는 제조업체가 거의 없고 구조용 경량콘크리트를 대량으로 생산하기도 힘든 실정이어서 기존의 보통 콘크리트를 재조하는 재료를 사용하되 기포제를 혼입하여 구조용 경량콘크리트를 개발하는 것이 더 효율적인 방법이라고 판단된다.[1)]

또한 경량 기포 콘크리트는 그 구조체 내에 다량의 공극이 형성되어있으며, 그 공극내의 수분은 동결시 팽창하여 골재와 시멘트페이스트의 경계면에서 파괴유발시키기 때문에 일반 콘크리트와 분명한 열화 속도의 차이가 있다. 따라서 본 연구에서는 콘크리트의 경량화를 도모하기 위하여 콘크리트 내에 수많은 독립기포를 발생시킬 수 있는 기포제를 사용하여 구조용 기포콘크리트의 강도를 발현하는 경량기포콘크리트의 역학적 성능 및 동결융해의 실험적 평가를 수행하고 이를 경량기포 콘크리트 개발의 기초적 자료로 활용하고자 한다.

* 한양대학교 건축 환경공학과 석사과정
** 한국건자재 시험연구원 건설기반기술센터 선임연구원, 한양대학교 건축공학과 박사과정
*** 한양대학교 공학대학 건축학부 부교수, 공학박사, 교신저자 (ercleehs@hanyang.ac.kr)

본 연구는 과학기술부 우수연구센터육성사업인 한양대학교 친환경건축 연구센터의 지원(R-11-2005-056-04003)과 건설생산성 향상을 위한 건설자재 표준화 연구(06기반 구축A2)의 일환으로 건설교통부 건설기술기반 구축사업의 지원에 의한 결과의 일부임

2. 구조용 경량기포모르타르실험

2.1 실험개요 및 실험항목

본 실험은 기포제의 첨가량에 따른 경량기포 콘크리트의 역학적 성질을 평가하는 것을 목적으로 한다. 시험대상의 범위는 경량기포

콘크리트의 발포방식 중에서 후기포 방식으로 제작한 시험체에 한 하였으며 시험 항목은 표1, 시험체 제작에 사용된 배합은 표2와 같다.

표 1. 측정항목

구분		실험 인자 및 수준
Fresh 콘크리트		단위용적중량(KS F 4039), 슬럼프플로우
경화한 콘크리트	역학적 성능평가	압축강도, 휨강도(7일, 28일) 겉보기 밀도(28일)
	내구성 평가	동결융해시험

표 2. 경량기포 콘크리트 배합

구분 / 시험체명	W/B (%)	Binder (kg/㎥)	기포제 (%)	단위중량(kg/㎥)						혼화제 (%)
				W	C	S.F	FA	S	G	
A-0	16	928	0	144	603	139	186	452	880	1.9
A-0.25			0.25							
A-0.5			0.5							
A-1			1.0							

2.2 사용재료

2.2.1 시멘트

본 실험에 사용한 시멘트는 KS L 5201 규정에 적합한 제품의 보통포틀랜드시멘트를 사용하였다.

표 3. 시멘트의 물리적 성질

밀도 (g/㎤)	분말도 (㎠/g)	안정도 (%)	응결시간(분)	
			초결	종결
3.15	3,302	0.08	208	351

2.2.2 기포제

기포제는 광물성 기포제를 사용하였고 그 물리적 성질은 표 4와 같다.

표 4. 광물성 기포제의 물리적 성질

기포제	비중	점도				PH	색상
		스핀들	토크값	rpm	CPS		
광물성	1.03~1.04	1	95.2	140	68.4	6~7	연한 갈색

2.2.3 잔골재

잔골재는 KS F 4009 규정에 부합하는 세척사를 사용하였다.

2.3 실험 방법

2.3.1 단위용적중량

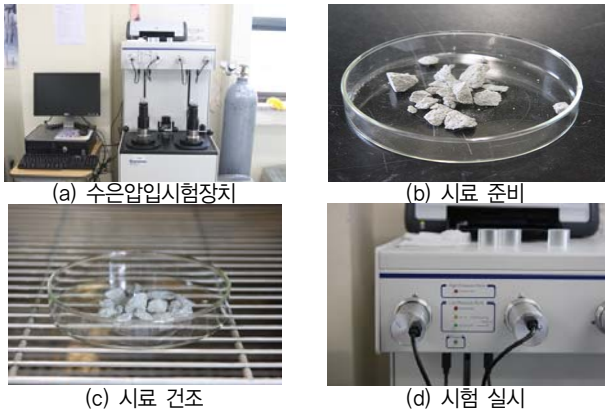
무게의 측정은 1g까지 측정이 가능한 전자저울을 이용하였으며, 7ℓ 용적의 공기량 측정 실험기에 채취한 경량기포 콘크리트를 붓고 용기의 중량을 뺀 시료의 중량(Ws)을 측정하였다. 경량기포 콘크리트의 비중은 다음의 (1)식과 같이 구할 수 있다.[3)]

$$\text{경량기포 콘크리트의 비중} = Ws/\ 7(\ell) \quad (1)$$

여기서, Ws : 용기 중량을 뺀 시료의 중량
7(ℓ) : 용기의 체적

2.3.2 MIP(Mercury Intrusion Porosimetry)

시험체내 미세공극의 분포 및 공극률을 측정하기 위해 수은압입 시험법을 실시하였다. 시료는 시험체 중앙부에서 채취하였으며 시료별 오차의 범위를 줄이기 위하여 측정범위를 직경5nm(0.005㎛)~200㎛의 공극을 대상으로 하였다. 실험 순서는 그림1과 같다.



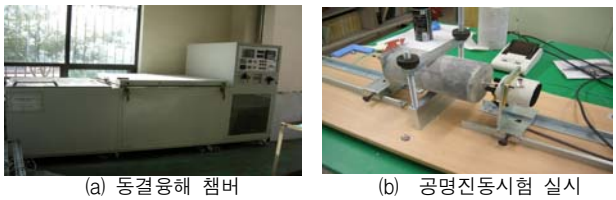
(a) 수은압입시험장치 (b) 시료 준비
(c) 시료 건조 (d) 시험 실시

그림 1. MIP를 통한 공극 분포 및 공극률 측정

2.3.3 동결융해 실험

본 연구에서 실시한 콘크리트의 동결 융해 시험은 KS F 2456의 기중 급속 동결 후 수중 융해 시험방법에 준하여 실시하였다.

본 실험은 그림 2와 같은 동결 및 융해장치, 그리고 요구 온도하에서 연속적인 사이클을 발생시킬 수 있는 조절장치로 구성된 동결융해 시험 장치와 시험체의 열화정도를 측정하기 위한 공명진동수 측정 장치를 사용하여 실시하였다. 동결융해의 한 사이클은 4시간 동안 4℃~영하18℃의 온도범위로 설정하였고, 각 시험체는 0, 100, 200, 사이클 주기로 동탄성계수(공명진동수)를 측정하였다.



(a) 동결융해 챔버 (b) 공명진동시험 실시

그림 2. 동결융해 실험과정

3. 실험결과 및 고찰

3.1 기포제 첨가량과 단위용적중량

그림 3은 Fresh 콘크리트의 기포제 첨가량에 따른 단위용적중량의 변화를 나타내었다. 기포제 첨가량이 증가할수록 단위용적중량은 감소하며 이는 기포제를 사용함으로써 독립기포가 발생되어 단위용적중량이 감소 된 것으로 사료된다.

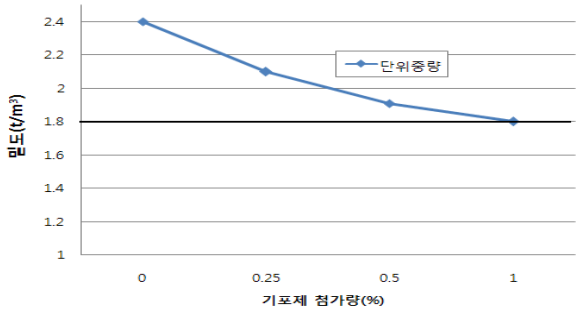


그림 3. 기포제 첨가량에 따른 단위용적중량

3.2 기건 상태 겉보기 밀도와 압축강도

다음 그림4 및 표6은 경화된 경량기포 콘크리트의 기건상태 압축강도를 시험한 결과로서, 결과값을 통하여 겉보기 밀도가 1800 kg/m³ 28일 압축강도가 33.3(MPa)이므로 일반골재를 사용하고 기포제에 의한 기포혼입에 의하여 구조용경량콘크리트를 제작할 수 있는 것을 알 수 있었다.

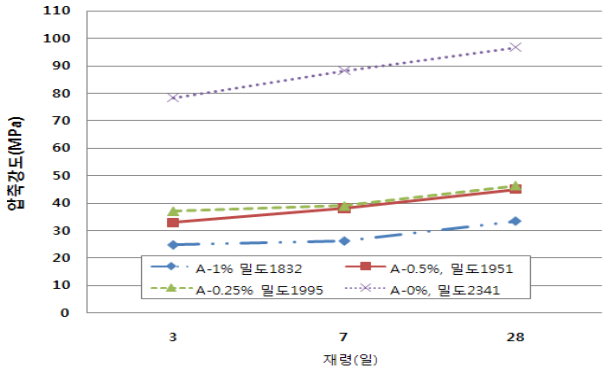


그림 4. 겉보기 밀도와 압축강도와의 관계

a) A-0% 취성파괴(98MPa) b) A-1% 연성파괴(33MPa)

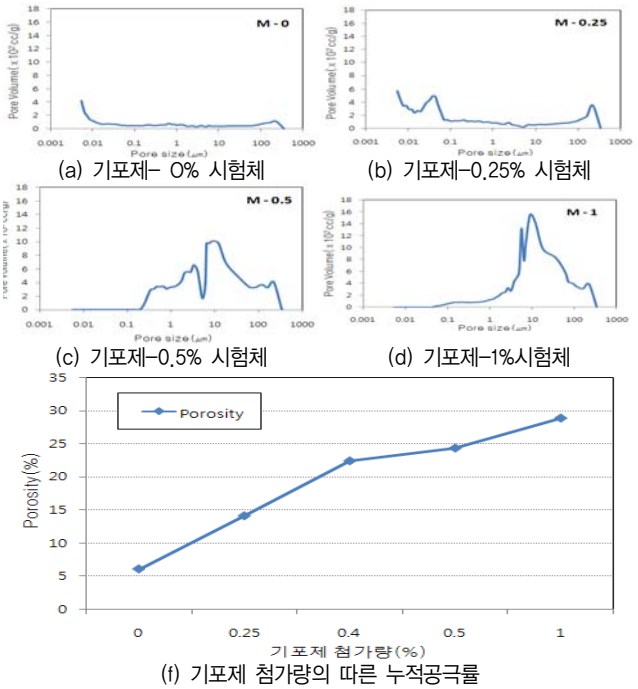
그림 5. 압축강도시험

표 6. 실험결과 (경화한 콘크리트의 역학적 성능)

구분	겉보기밀도 (ton/㎥)	압축강도(MPa)		
		3일	7일	28일
A- 0%	2.341	78.27	88.07	96.73
A- 0.25%	1.995	37.00	38.90	46.27
A- 0.5%	1.951	33.23	38.13	45.00
A- 1.0%	1.832	24.67	26.10	33.30

3.3 기포제 첨가량과 미세공극량 및 공극률

그림 6는 MIP(Mercury Intrusion Porosimetry)를 이용하여 분석한 공극 크기에 따른 공극 분포 및 공극량을 나타낸 것이다. 기포제 첨가량이 증가할수록 공극량이 증가하는 것을 확인가능 하다. 그림 6(a)부터 (d)까지에 나타난 그래프에서 알 수 있듯이 사이즈가 10~100㎛인 공극의 양이 크게 증가하는 것을 볼 수 있다. 또한, 이 마이크로 기포제를 통하여 발포된 기포의 크기는 최소 10㎛부터 최대 100㎛이상인 것으로 보였다. 거기에 더하여, 기포제 첨가량에 따른 공극률은 기포제 첨가량의 비례하여 증가하되 그 증가 폭이 매우 크다는 것을 알 수 있었다.(기포제를 0.1%첨가시 최대 4%)



(a) 기포제- 0% 시험체 (b) 기포제-0.25% 시험체

(c) 기포제-0.5% 시험체 (d) 기포제-1%시험체

(f) 기포제 첨가량의 따른 누적공극률

그림 6. 수은압입법을 이용한 공극 크기에 따른 공극의 분포

3.4동결융해에 대한 저항성 평가

3.4.1 기포제 혼입에 따른 동결융해 저항성

동결융해 실험 결과, 기포체의 혼입량에 따라 A-0%, A-0.25%, A-0.5%, A-1% 시험체 들은 모두 동결융해 사이클이 늘어날수록 동탄성계수가 감소되는 경향을 보였다. 각 시험체간의 차이는 있으나 모든 시험체들은 0사이클에서 200사이클 사이의 구간에서 동탄성 계수의 감소을 나타내었다. 이는 일반 OPC에 비하여 기포제가 혼입된 콘크리트내에는 기포제에 의한 공극이 다수 존재하기 때문으로, 이로 인해 동결융해 저항성능 이 우수하다는 것이 판단된다. 그림7은 동결융해 반복 횟수에 대한 시험체별 상대 동탄성계수를 나타낸 것이다.

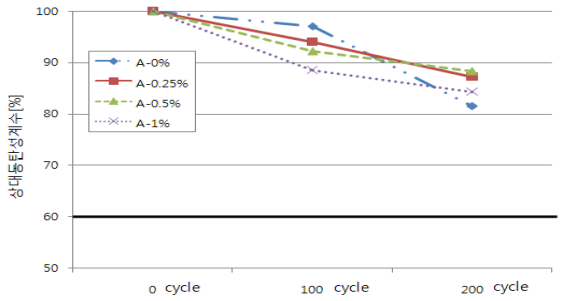


그림 7. 동결융해 진행에 따른 상대 동탄성 계수

3.4.2 동결융해 저항성과 압축강도

그림 8은 동결융해 사이클에 따른 압축강도의 변화를 나타낸 것이다. 전체적으로 시험체들의 압축강도는 동결융해 사이클이 증가함에 따라 감소하는 경향을 보이나, 특히 기포제를 첨가하지 않은 A-0%시험체의 경우 가장 감소율이 큰 것으로 나타났다. 이러한 현상은 기포제에 의해 발생한 구조체 내의 미세공극이 동결융해에 의한 공극수 체적의 변화에 대하여 완충작용을 하기 때문인 것으로 사료된다.

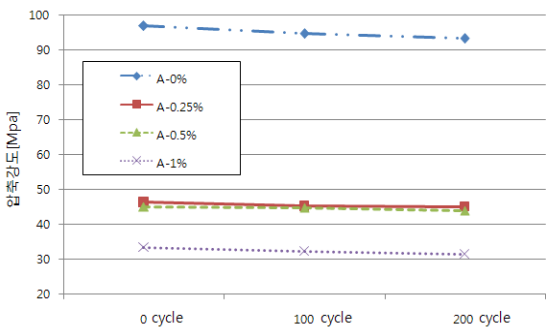


그림 8. 동결융해 진행에 관한 압축강도

4. 결론

본 연구에서 기포제를 사용한 경량기포 콘크리트를 제작하기 위한 연구로 경량기포 콘크리트의 역학적 성질과 동결융해 성능을 실험을 통해서 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 구조용 경량기포 콘크리트를를 제작하기 위해 기포제 첨가율에 따른 단위용적중량을 측정한 결과 기포제 첨가율이 05~1% 정도가 구조용으로 사용 가능한 단위용적중량이 나오는 것으로 판단된다.
2) 공극의 분포, 공극의 크기, 공극률을 측정한 결과 기포제 첨가량에 따른 공극률은 기포제 첨가량이 증가할수록 크게 증가(기포제를 0.1% 첨가시 최대 4%) 하는 것을 알 수 있었다. 그러나 일정비율 이상을 사용하였을 때는 기포들이 서로 겹치면서 기포가 깨져 독립기포를 형성하지 못하는 것을 알 수 있었다.
3) 동결융해 실험에서 동결융해 싸이클이 늘어날수록 동탄성계수는 저감되었으나 일반 OPC가 82%까지 저감되는 반면에 기포콘크리트는 85% 이상의 저항성을 나타내는 것을 알 수 있었다.
4) 동결융해의 압축강도 실험에서 동결융해를 입은 실험체가 압축강도 저감현상을 보이지만 5%이내이기 때문에 강도에는 큰 영향을 주지 못하는 것으로 판단된다.

본 연구는 추후에 내구성도 우수한 경량기포 콘크리트를 제작하기 위해서 유동성의 저하와 평가에 대한 연구가 보완되어야 한다고 판단된다.

참 고 문 헌

1. 구해식 ,경량기포콘크리트의 압축강도에 대한 실험적 연구, 대한건축학회논문집 제14권 제1호, pp.383~390, 1998
2. 기술표준원, KS F 4039 현장 타설용 기포 콘크리트, 2004
3. 이창수 외, 양생온도와 재령에 따른 콘크리트의 공극구조 특 c성변화와 압축강도와의 관계, 대한토목학회논문집 제24권 제6A호, pp.1145~1150, 2004
4. 한천구 외, 미세립자 및 유동화제 혼입이 경량기포 콘크리트리의 공학적 특성에 미치는 영향, 대한건축학회 논문집 제24권 제10호, pp.93~100, 2008