

기포제 혼입 단열형 경량모르타르의 물리적 특성 및 압축강도 추정에 관한 기초적 연구

Fundamental Study on Estimating Compressive Strength and Physical Characteristic of Heat insulation Lightweight Mortar With Foam Agent

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

Abstract

In comparison with ordinary or heavy-weight concrete, light-weight air void concrete has the good aspects in optimizing super tall structure systems for the process of design considering wind load and seismic load by lightening total dead load of buildings and reducing natural resources used. Light-weight air void concrete has excellent properties of heat and sound insulating due to its high amount porosity of air voids. So, it has been used as partition walls and the floor of Ondol which is the traditional Korean floor heating system. Under the condition of which the supply of light-weight aggregates are limited, the development of light-weight concrete using air voids is highly required in the aspects of reduced manufacturing prices and mass production.

In this study, we investigated the physical properties and thermal behaviors of specimens that applied different mixing ratios of foaming agent to evaluate the possibility of use in the structural elements. We proposed the estimating equation for compressive strength of each mix having different ratio of foaming agent. We also confirmed that the density of cement matrix is decreased as the mixing amount of foaming agent increase up to 0.6% of foaming agent mixing ratio which was observed by SEM. Based on porosity and compressive strength of control mortar without foaming agent, we built the estimating equations of compressive strength for mortars with foaming agent. The upper limit of use in foaming agent is about 0.6% of the binder amount. Each air void is independent, and size of voids range from 50 to 100 μ m.

키워드 : 경량 모르타르, 기포제, 압축강도 추정, 구조용 콘크리트

Keywords : Lightweight Foamed Mortar, Forming Agent, Estimating Compressive Strength, Structural concrete

1. 서 론

구조용 경량콘크리트는 보통 및 중량 콘크리트와 비교하여 동일 압축강도에 있어서 매우 작은 밀도를 갖는 이점이 있다.¹⁾ 따라서, 구조용 경량콘크리트를 초고층 주상복합 건축물 및 초고층 사무실 건축물의 데크플레이트에 적용한다면 건축물의 전체 중량을 경량화 시켜 사용자재의 절감 및 지진하중 과 풍하중을 저감시킬 수 있으며 구조체의 단열 성능 향상으로 초고층 건축물 구조시스템의 최적화 에너지 절약 및 투입 자재 절감 효과가 기대된다.¹⁻⁵⁾ 일반적으로

구조용 경량콘크리트를 제조하기 위해서는 경량골재를 사용하게 되나 국내에서는 경량골재를 생산하는 제조업체가 거의 없어 구조용 경량콘크리트를 대량으로 생산 하는 것이 불가능하다. 또한 기포제를 혼입하는 경량기포 콘크리트는 단순히 기포를 혼입하여 경량화 시킨 비구조용으로 활용 되고 있는 실정이다.⁶⁾

이러한 경량기포콘크리트 내부 기포로 인한 공극 때문에 단열성능이 우수하고 방음 및 차음 효과가 있어 칸막이 벽이나 온돌바닥 등 에 사용되고 있다.⁷⁾ 따라서, 경량골재를 사용한 구조용 경량콘크리트 제조가 아니라, 일반 골재를 사용하고 기포제 혼입을 통해 구조용 경량콘크리트를 개발 할 수 있다면 우리나라 실정에서 대량의 경량콘크리트를 구조부재에 사용하는 것이 가능 하다고 판단된다.

본 연구에서는 구조용으로 사용할 수 있는 압축강도를 발휘하는 구조용 단열형 경량콘크리트 개발을 위한 선행연구로서 기포제를 첨가한 모르타르(이하 경량기포모르타르로 칭함) 시험체를 제작하여 기포제의 첨가량에 따른 경량

* 한양대학교 건축환경공학과 석사과정(nsu02@nate.com)

** 한양대학교 건축환경공학과 박사과정, 한국건자재 시험연구원 선임연구원 (imgod@kicm.re.kr)

*** 교신저자, 한양대학교 건축학부 부교수, 공학박사 (erclee@hanyang.ac.kr)

본 연구는 과학기술부 우수연구센터육성사업인 한양대학교 환경건축 연구센터(R-11-2005-04003)의 지원에 의한 결과의 일부임

기포모르타르의 물리적 특성 및 열적 성능 평가를 하고자 한다. 또한 기포제 혼입에 따른 콘크리트내 공극을 변수로 하는 경량기포모르타르의 압축강도 추정식을 제안하여, 기포제를 혼입 구조용 경량기포 콘크리트 개발에 관한 기초 자료를 얻고자 한다.

2. 기존문헌 고찰

2.1 비구조용 경량기포콘크리트 제조 및 시공 방법

현재 국내에서 사용되는 비구조용 경량기포콘크리트는 계면활성제를 주원료로 하는 기포제(foaming agent)를 고압 공기, 물과 함께 발포기에 주입하여 기포를 만들고 이것을 시멘트 슬러리에 혼입하는 방법으로 제조되고 있다. 여기에 잔골재, 스티로폼비드(Styrofoam Bead), 발포 합성수지 칩 등의 경량골재를 첨가하기도 한다. 그림 1에 비구조용 경량콘크리트 제조과정을 나타낸다. 따라서, 구조용 경량콘크리트를 기포제 혼입으로 제조하기 위해서는 이러한 방법을 응용하여 제조하는 것이 가능하다고 판단된다.

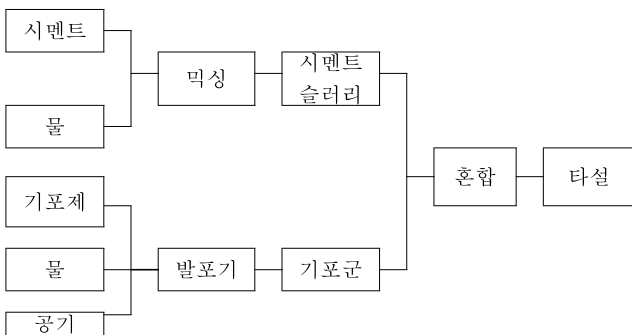


그림 1. 비구조용 경량기포콘크리트 제조과정

표 1. 비구조용 경량기포콘크리트의 문제점

문제점	원인	영향
기포의 소포에 의한 체적 감소	-기포의 안정성 부족 -물시멘트비와 소포율의 관계에 대한 이해 부족 -결합재의 흡착성에 대한 이해 부족	-단열성능 저하 -경제성 저하 -불균등 수화에 따른 압축강도, 내근열 저항성 저하
강도 발현 미흡	-기포제에 의한 강도 발현 지연 -배합설계 기준 미비 및 열악한 장비로 인한 기포의 과량 투입	-난방 파이프의 고정 어려워 파이프를 따라 상부 온돌 미장 층에 침강균열 발생 -편칭파괴, 지압파괴, 균열에 의한 함몰
균열발생	-높은 건조수축율 -강도 부족 -차움에 위에 시공시 균열발생 촉진 및 발생량 더 많아짐	-균열이나 파괴가 일어나기 쉬운 조건이 됨

2.2 기포제의 종류⁴⁾

현재 국내에서 비구조용 경량기포콘크리트의 기포제로 사용되는 계면활성제는 식물성계, 동물성계, 광물성계로 크게 3가지로 나누고 있다. 식물성 기포제의 특징으로는

점성 있는 투명한 액체의 성상으로 부식성이 없다. 또한, 식물성 기포제를 이용해서 만들어진 경량기포콘크리트의 층은 동물성 기포제를 이용하는 것에 비하여 유동성이 뛰어나 마감면의 평활성이 우수하지만 강도발현이 지연되는 특징이 있다. 또 양생된 후에 경화체 내부에 연속 공극이 형성되어 투수성이 나타나는 경우가 많다. 한편, 동물성 기포제의 특징으로는 역한 냄새가 나는 특징이 있으며 성분 중 염화제일철염을 포함하고 있어 동파이프나 철 등에 기포제 상태로 직접 닿을 때에는 부식의 위험성이 있으므로 주의가 필요하다.

광물성 기포제는 짙은 갈색의 불투명 액체로 식물성기포제 및 동물성기포제 보다 경량기포 콘크리트를 타설 한 후 기포의 소실이 적어 마감 표면의 침하량이 적으며 압축강도의 발현이 우수하고 기포안정성도 우수한 것으로 알려져 최근에 그 적용이 확대되고 있다. 따라서 본 연구에서는 기포제의 안정성 및 독립기포발생이 우수한 광물성 기포제를 이용하여 경량기포모르타르를 제조하는 것으로 하였다.

2.3 경량기포모르타르의 압축강도 추정 방법

본 연구에서 개발하는 경량기포모르타르의 압축강도 추정방법을 그림 2에 나타낸다. 우선, 모르타르 계획 배합을 정한 후 기포 혼입이 없는 상태의 모르타르 압축강도 (Fm)를 구한 후, 기포제 혼입에 따른 모르타르 공극률(Ap)를 산정하여 기포제 혼입 경량기포모르타르의 압축강도 (Fap)를 구하는 순서로 진행 하였다.

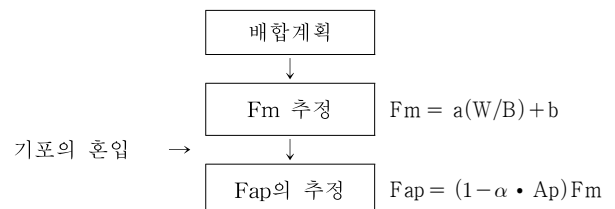


그림 2. 경량기포모르타르 압축강도 추정 방법¹⁾

여기서

Fm : 기포가 혼입되지 않은 모르타르의 압축강도

a,b : 실험 정수

Fap : 기포제 혼입 모르타르의 압축강도

α : 실험 정수

Ap : 공극률(%)

3. 경량기포모르타르실험

3.1 실험개요

본 실험에서는 기포혼입에 의해 압축강도가 저하하더라도 구조용으로 사용할 수 있는 밀도와 압축강도를 얻기 위하여 기포제를 혼입하지 않은 상태의 모르타르의 압축강도를 고강도로 설정하여 W/B를 20%, 25%, 30%로 하였다. 또한, 기포제 첨가량에 따른 공극률의 변화를 살펴보기 위해 기포제 첨가량을 0%, 0.3%, 0.6%, 0.9% 4수준으로 하였다.

표 2. 경량기포모르타르 배합표

No	W/B (%)	Binder (kg/m ³)	기포제 (%)	중량배합(kg/m ³)				혼화제 (%)
				W	C	S.F	S	
L-0	20	742	0	150	603	139	452	1.9
L-0.3			0.3					
L-0.6			0.6					
L-0.9			0.9					
M-0	25	670	0	170	575	95	452	1.4
M-0.3			0.3					
M-0.6			0.6					
M-0.9			0.9					
N-0	30	595	0	180	520	75	452	0.9
N-0.3			0.3					
N-0.6			0.6					
N-0.9			0.9					

* L = W/B 20 % , M = W/B 25 % , N = W/B 30 %

여기서 W : 물
C : 시멘트
SF : 실리카폼
S : 잔골재
혼화제 : 고성능 AE 감수제

3.2 측정 항목

표 3은 본 연구에서 실시한 실험의 측정항목을 나타낸다. Fresh 모르타르의 밀도 및 타격 플로우 값은 KS F 4039 (현장 타설용 경량기포콘크리트)에 따라 측정하였으며, 경화 모르타르의 물리적 성능 평가항목은 압축강도, 겔보기 밀도, SEM분석, 열전도율이다.9~10)

표 3. 실험 측정항목

구분		측정 항목
Fresh 모르타르		밀도(KS F 4039), 타격플로우
경화 모르타르	물리적 성능	압축강도 겔보기 밀도(Fresh, 표건, 절건) SEM(미세구조분석) 열전도율(KS L 9016)

3.3 사용재료

(1) 시멘트

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

표 4. 시멘트의 물리적 성질

밀도 (g/cm ³)	분말도 (cm ² /g)	안정도 (%)	응결시간(분)	
			초결	종결
3.15	3,302	0.08	208	351

(2) 기포제

본 실험에서 사용한 기포제는 광물성 기포제이며, 그 물리적 성질을 표 5에 나타낸다.

표 5. 광물성 기포제의 물리적 성질

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

(3) 잔골재

잔골재는 KS F 4009 규정에 적합한 세척사를 사용하였다.

3.4 실험방법

본 연구에서는 KS L 5150(수경성 시멘트 모르타르 압축강도 시험방법)에 따라 모르타르를 제작하였다. 경량기포 모르타르의 제조방식 중에서 콘크리트제조 적용성이 높다고 판단되는 후기포 방식을 채용하였으며, 그 순서는 그림 3과 같다. 양생은 실험재령까지 표준양생을 실시하였다.

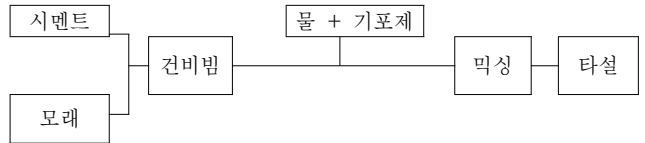


그림 3. 본 연구에서 적용한 경량기포모르타르 제조방법²⁾

(1) 타격 플로우값 측정

경량기포모르타르 타격 플로우값 측정에는 KS F 2476의 규정에 따랐다.



그림 4. 경량기포모르타르 타격 플로우값 측정 광경

(2) Fresh 모르타르의 겔보기 밀도

무게의 측정은 1g까지 측정이 가능한 전자저울을 이용하여 1000ml 메스실린더에 채워한 경량기포모르타르를 1000ml 눈금까지 붓고 용기의 중량을 뺀 시료의 중량(Ws)을 측정하였다. 경량기포모르타르의 겔보기밀도는 다음의 (1)식과 같이 구할 수 있다.

$$\text{경량기포 모르타르 밀도} = W_s/1000 \quad (1)$$

여기서, Ws : 용기 중량을 뺀 시료의 중량
1000(ml) : 용기의 체적

표 6. 경화 경량기포모르타르의 물리적 특성 시험값

구분	압축강도 (MPa)		겉보기 밀도(t/m ³)			타격 플로우값 (mm)	공극률 (%)
	7일	28일	Fresh 밀도	표건 상태 밀도	절건 상태 밀도		
L-0	74.9	101.05	2.273	2.307	2.203	175	4.51
L-0.3	32.37	51.88	1.848	1.856	1.780	155	22.84
L-0.6	27.67	31.17	1.510	1.791	1.620	155	29.78
L-0.9	30.03	37.18	1.570	1.826	1.660	140	28.05
M-0	72.93	93.90	2.226	2.289	2.136	190	7.41
M-0.3	39.33	39.06	1.770	1.982	1.817	185	21.24
M-0.6	22	28.07	1.509	1.812	1.586	180	31.25
M-0.9	34.7	39.00	1.659	1.921	1.729	180	25.05
N-0	54.63	77.01	2.173	2.252	2.057	220	10.84
N-0.3	16.33	22.19	1.601	1.738	1.504	215	34.81
N-0.6	9.3	11.22	1.469	1.724	1.385	200	39.97
N-0.9	11.80	13.12	1.514	1.734	1.397	195	39.45

* L = W/B 20 % , M = W/B 25 % , N = W/B 30 %

(3) 표건 상태 및 절건 상태 모르타르의 겉보기밀도
 절건 상태의 모르타르 시험체를 만들기 위하여, 소정재령의 양생이 끝난 공시체를 105±5℃ 건조로에서 향온이 될 때까지 건조시킨 후(본 실험에서는 약 2일), 데이시케이터 내에서 실온이 될 때까지 냉각하였을 때의 질량 $w_0(g)$ 을 측정하였다. 절건 상태의 시험체 겉보기 밀도는 다음 식(2)에 따라 계산하였고 3개 시험체의 평균값으로 하였다.²⁾

표건 및 절건 상태 모르타르 겉보기 밀도 = $w_0 / V \times \rho_w$ (2)
 여기서, ρ_w = 물의 밀도 (g/cm³)

또한, V(cm³)는 표건 및 절건상태 모르타르 시험체의 실제 체적을 측정하여 사용하였다.

(4) 경량기포모르타르의 압축강도 시험

경량기포모르타르의 압축강도 시험재령은 7일과 28일로 하였고, 압축강도의 시험방법은 KS F 2459에 따랐다. 한편, 시험체 타설면을 앞면으로 하여 시험체 재하면이 수평하게 하여 하중속도 매초 0.1-0.2 MPa(N/mm²)로 재하 하였다. 압축강도는 공시체가 파괴되었을 때 시험기가 표시하는 최대 하중(N)을 공시체의 단면적 (mm²) 으로 나눈 값으로 하고, 3개 시험체의 평균값으로 나타내었다.

(5) 열전도율 및 열관류율 시험

KS L 9016 보온재의 열전도율 측정 방법으로 열전도율을 측정하였으며 시험체는 기건 상태의 시험체를 사용하였다. 또한, 경량기포모르타르의 열전도율 값을 이용하여, 벽 두께 20cm 조건에서 열관류율 값을 산출하였다.

(6) SEM(Scanning Electron Microscope) 분석

경량기포모르타르 시험체의 기포제 첨가량에 따른 공극 분포 및 공극 크기를 파악하기 위하여 그림 5와 같이 주사

형 전자현미경을 이용하여 기포제 혼입에 의한 공극크기를 감안하여 500µm 단위크기로 배율을 조정하였다.

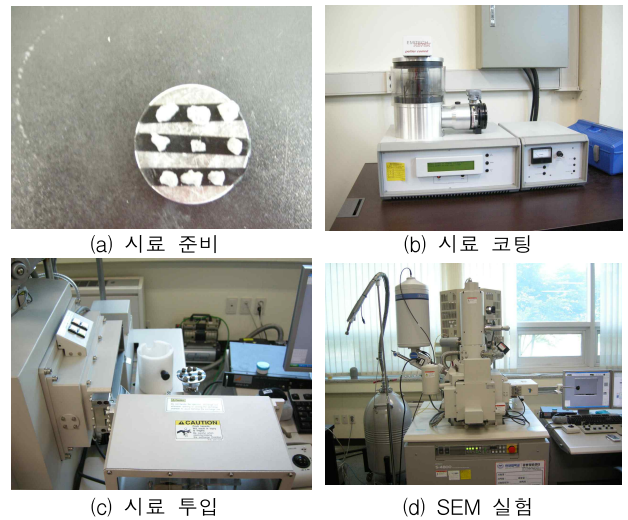


그림 5. SEM을 통한 공극의 분포 및 크기의 측정 광경

4. 실험결과 및 고찰

본 연구를 통하여 얻은 경량기포모르타르의 물리적특성을 표 7에 나타낸다.

4.1 기포제 첨가량과 단위용적중량

그림 6은 W/B 별 기포제 첨가량에 따른 Fresh 상태 경량기포모르타르의 밀도를 나타낸 것이다. 기포제 첨가량이 증가할수록 겉보기밀도는 작아지는 것을 알 수 있었으나 기포제 첨가량 0.6% 이상에서는 기포제 혼입량을 증가시켜도 밀도의 감소는 없고 오히려 기포 재짐이나 기포의 연

속성에 의해 Fresh 상태 밀도가 변화하지 않거나 오히려 높아지는 것으로 나타났다. 따라서, 본 연구 범위에서는 기포제 혼입 0.6%가 최대 공극률 확보를 위한 최대 기포제 혼입량으로 판단되었다.

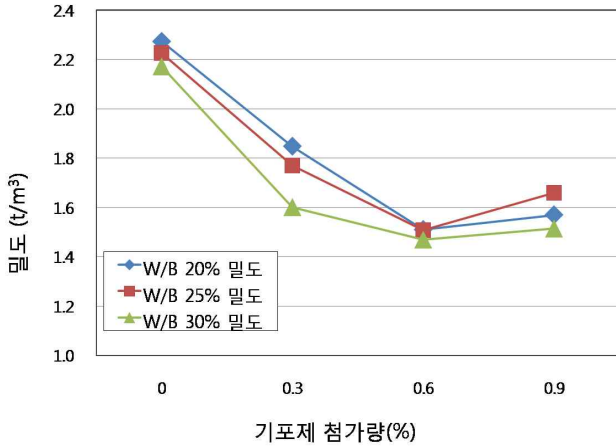


그림 6. 기포제 첨가량에 따른 Fresh 상태의 겉보기 밀도

4.2 기포제 혼입에 따른 타격 플로우값의 변화

그림 7에 Fresh 상태 경량기포모르타르의 타격 플로우값을 나타내었다. 본 연구에서는 기포제 무혼입 상태의 Flow 값을 200±20mm로 고정시키기 위하여 고성능AE 감수제량을 조정하였다. 기포제 첨가량이 증가하면 Fresh 상태 모르타르의 타격 플로우 값이 저하하는 경향을 나타내며, 특히 이러한 현상은 W/B가 작으면 현저하게 나타났다. 이것은 기포제 첨가량 증가에 따른 다량의 기포가 발생하여 경량기포의 유동성에 영향을 미치기 때문으로 판단된다.

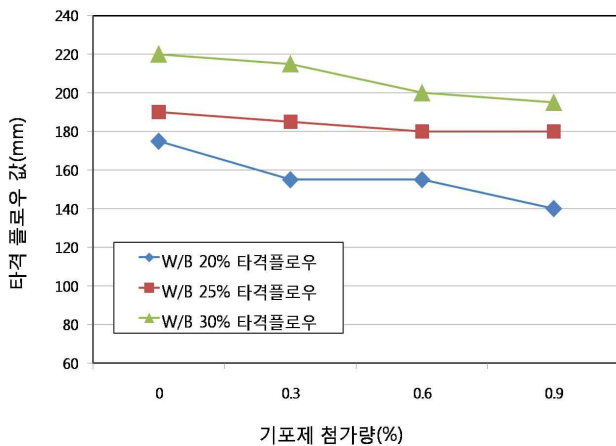


그림 7. 기포제 첨가량에 따른 타격플로우값의 변화

4.3 경량기포모르타르의 겉보기 밀도

그림 8, 9, 10에 각각 W/B별 Fresh 상태, 기건 상태 및 절건 상태의 경량기포모르타르의 겉보기밀도를 나타내었다.

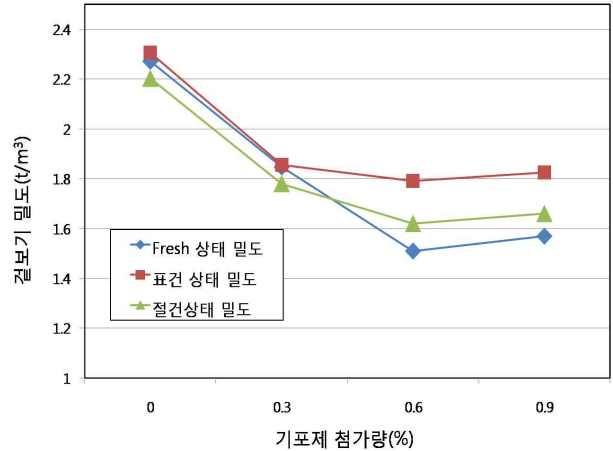


그림 8. 기포제 첨가량에 따른 겉보기 밀도 (W/B 20%)

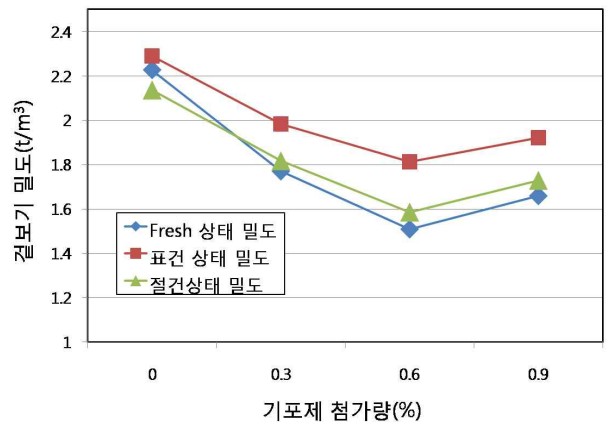


그림 9. 기포제 첨가량에 따른 겉보기 밀도 (W/B 25%)

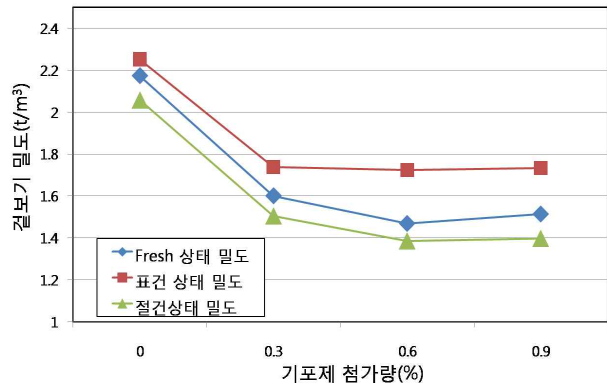


그림 10. 기포제 첨가량에 따른 겉보기 밀도 (W/B 30%)

기포제 첨가량이 증가하면 W/B에 상관없이 기포제 0.6%까지는 겉보기 밀도가 감소하는 것을 알 수 있었다. 그러나 기포제 첨가량 0.6% 이상에서는 모르타르 믹싱 중의 기포제 깨짐과 연결에 의하여 겉보기밀도가 증가하는 경향을 나타내었다. 이러한 현상은 W/B가 높을수록 현저하게 나타나 기포제의 깨짐이나 연결을 막기 위해서는 W/B를 낮추거나 모르타르의 점성을 높이는 것이 유효하다고 판단된다. 또한, Fresh상태와 절건 상태의 겉보기 밀도는 비슷한 밀도를 나타내나 표건 밀도는 내부 기포에 물

이 충전 되어 겉보기밀도가 크게 나타나 실제 현장적용 시에는 충분한 기건 상태를 유지하여 적용하는 것이 바람직하다고 판단된다.

4.4 경량기포모르타르의 공극률과 압축강도

그림 11은 기포제 첨가량과 공극률과의 관계를 나타낸 것이다. 기포제 0.6% 첨가량까지는 기포제 첨가량 증가에 따라 공극률이 증가하는 경향을 나타내었으나 첨가량 0.6%이상에서는 기포제 깨짐에 따라 공극률의 증가는 거의 없는 것으로 나타났다. 또한, 동일 기포제 첨가량에서 W/B가 높을수록 공극률이 크게 나타났는데 이는 물이 비교적 많은 상태에서 모래와 물의 마찰에 의해 기포가 발생되기 때문으로 판단된다. 한편, 그림 12는 기포제 첨가량에 따른 압축강도의 변화를 나타낸 것으로 기포제첨가량이 늘어나면 공극률이 증가하여 압축강도가 저하하는 것을 알 수 있었으며, W/B가 클수록 압축강도가 작은 것은 공극 이외의 매트릭스강도가 작기 때문으로 판단되어, 동일 공극률이라도 매트릭스 강도를 높이는 것이 압축강도 향상에 유익하다는 것을 알 수 있었다.

한편, 그림 13은 모르타르의 공극률과 압축강도의 관계를 나타낸 것으로 W/B에 상관없이 모르타르내의 공극률이 증가하면 압축강도는 거의 선형적으로 저하하는 것을 알 수 있어, 모르타르의 압축강도는 모르타르내의 공극률을 조절함으로써 평가가 가능한 것을 알 수 있었다.

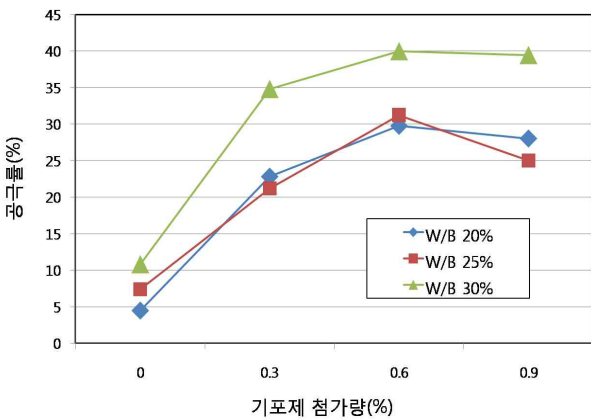


그림 11. 기포제 첨가량과 공극률 관계

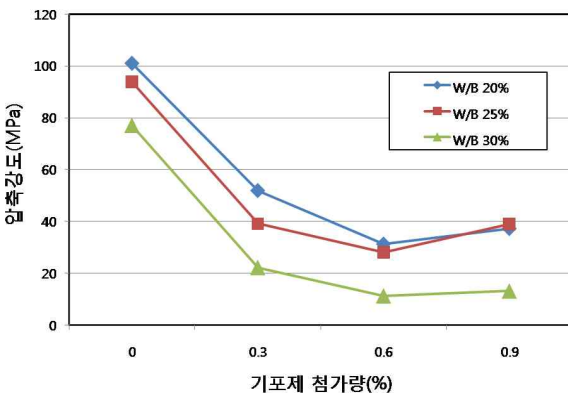


그림 12. 기포제 첨가량에 따른 압축강도의 변화

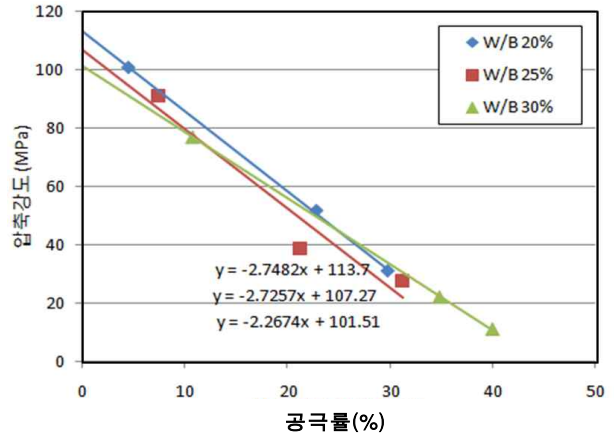


그림 13. 경량기포모르타르의 공극률과 압축강도의 상관관계

4.5 기포제 첨가량과 열적성능

표 7 은 본 연구에서 실험한 경량기포모르타르의 열전도율과 열관류율을 이용하여 외벽두께 20cm기준으로 열관류율을 산출한 결과를 나타낸다. 본 실험에서는 표건 상태의 시험체를 14일 동안 20℃, RH 60% 상태에서 기건 시킨 시험체를 사용하였다.

표 7. 경량기포모르타르의 열관류율과 열전도율

구분	공극률 (%)	열관류율 (W/m ² ·℃)	열전도율 (W/m·℃)
M-0	7.41	7.6	1.520
M-0.3	21.24	3.77	0.754
M-0.6	31.25	2.06	0.412
M-0.9	25.05	1.515	0.303
M-30*	8%	6.705	1.341

* M-30은 W/B 30%의 참고용 모르타르 시험체 임

기포제 첨가율이 증가에 따라 공극률이 증가하여 경량기포모르타르의 열전도율 및 열관류율이 작아지는 것을 알 수 있었다. 따라서 기포제 혼입에 의해 경량이면서도 구조용 강도를 나타내는 모르타르 및 콘크리트를 개발 한다면 내부의 공극에 의해 단열성능이 매우 우수한 구조용 경량 콘크리트 개발이 가능하다고 판단된다.

4.6 기포제 첨가량과 미세공극 크기 및 분포

그림 14는 기포제 첨가량에 따른 경화된 경량기포모르타르의(W/B 20%) 공극의 크기 및 공극 분포의 변화를 SEM으로 촬영한 사진이다. 기포제 혼입율이 증가하면 독립기포가 발생하는 것을 알 수 있으며, 그 크기는 약 50~100μm로 나타났다. 한편, 기포제 혼입 0.9%에서는 기포제 다량 혼입에 의한 기포의 깨짐 및 연결에 의해 독립기포가 보이지 않아 독립기포를 얻기 위한 최대 기포제 혼입량이 존재하는 것을 알 수 있었다.

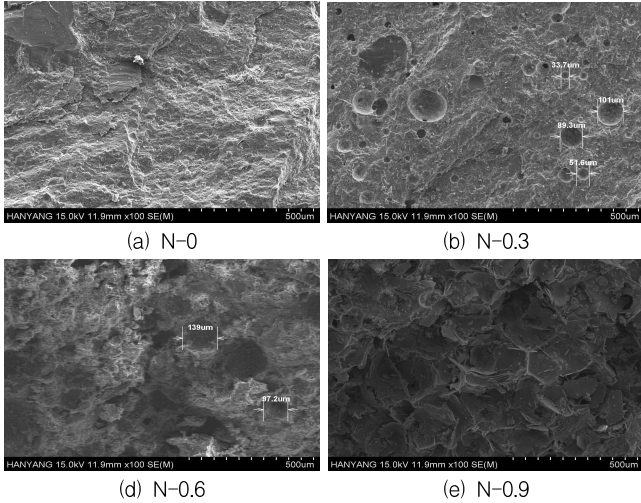


그림 14. 구조용 경량기포콘크리트의 미세공극구조(SEM 촬영)

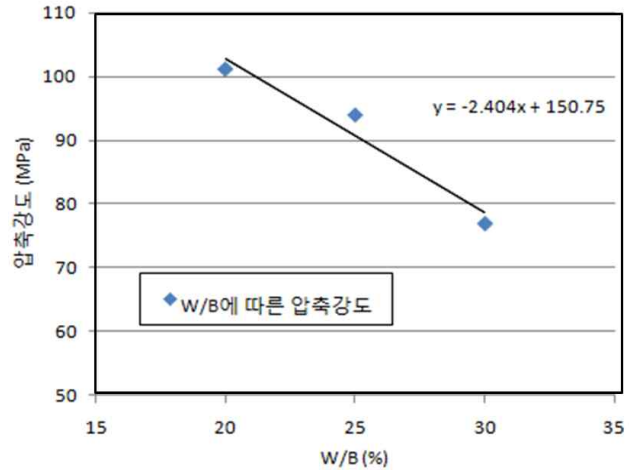


그림 15. W/B에 따른 모르타르의 압축강도 상관관계 (기포제를 혼입하지 않은 경우)

4.7 경량기포모르타르의 압축강도 추정

(1) 기포제를 혼입하지 않은 모르타르의 압축강도(Fm)

그림 15에 나타난 바와 같이 기포제를 혼입하지 않은 경우, 모르타르의 W/B와 압축강도의 상관관계로부터 식(3)과 같은 모르타르 압축강도 추정식 Fm 을 구할 수 있다.

$$F_m = -2.4(W/B) + 151 \quad (3)$$

(2) 기포제를 혼입한 모르타르의 압축강도(Fam)

28일 재령 모르타르 압축강도는 W/B의 증가와 기포제 첨가량의 증가와 함께 직선 적으로 저하한다. 또한, 공극률이 비슷한 경우 W/B가 작을수록 강도는 크지만 공극률의 증가와 함께 그 차이가 작게 된다. 기포제를 혼입한 모르타르 강도 Fam을 추정하기 위해 기포제를 혼입하지 않은 모르타르의 압축강도 Fm과 기포제를 혼입한 모르타르의 공극률 Ap를 산정하는 것이 필요하다. 그림 16은 모르타르 공극률 0%의 경우의 압축강도를 100%로 하여 기포제 혼입 모르타르의 압축강도 잔존율과 공극률과의 관계를 나타낸 것이다. 기포제를 혼입하지 않은 모르타르의 압축강도를 변수로 설정하기 위해 기포제를 혼입한 모르타르의 압축강도와 기포제를 혼입하지 않은 모르타르의 압축강도의 비를 강도 잔존율 (Fam/Fm)로 환산하여 공극률과의 관계를 나타낼 수 있으며, 이를 통해 기포제 혼입 모르타르의 압축강도 Fam은 식(4)와 같이 산정할 수 있다.

$$F_{am} = (0.98 - 0.0231A_p)F_m \quad (4)$$

여기서 F_{am} = 기포제 혼입 모르타르 압축강도(MPa)
 A_p = 공극률 (%)
 F_m = 공극률0%의 모르타르 압축강도(MPa)
 $(F_{am}/F_m) \times 100$ = 강도 잔존율 (%)

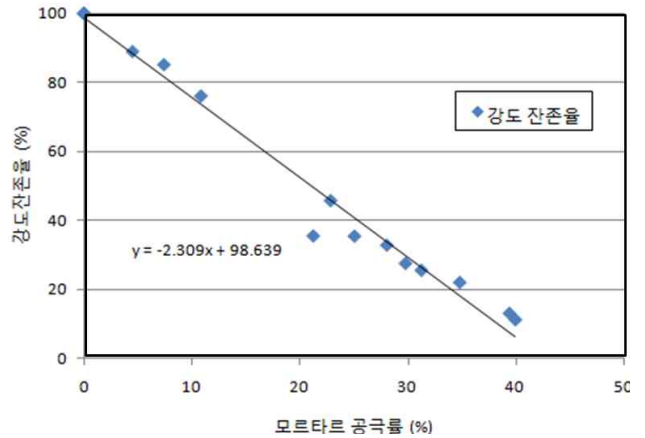


그림 16. 모르타르 공극률에 따른 압축강도 잔존율과의 관계 (기포제를 혼입한 경우)

W/B를 변수로 하여 기포제를 혼입하지 않은 모르타르의 압축강도로부터 공극률을 변수로 하여 기포제를 혼입한 경량기포모르타르의 압축강도를 추정한 추정값 과 실제 실험에서 얻은 경량기포모르타르의 압축강도 실험값을 비교하여 표 8 및 그림 17에 나타낸다. 그림 17에서 알 수 있듯이 경량기포모르타르의 실험압축강도와 추정압축강도는 매우 유사한 값을 가지고 있어 W/B에 의해 결정되는 모르타르의 매트릭스 압축강도와 모르타르의 공극률을 평가할 수 있다면 경량기포모르타르의 압축강도를 추정하는 것이 가능하다고 판단된다. 또한, 이러한 원리를 이용하여 공극률이 다른 경량기포콘크리트의 압축강도 추정도 가능하다고 판단된다.

표 8. 실험 및 추정식에 의한 경량기포모르타르의 압축강도

구분	압축강도(MPa)	
	실험 압축강도	추정 압축강도
L-0	101.05	102.48
L-0.3	51.88	52.23
L-0.6	31.17	33.85
L-0.9	37.18	38.54
M-0	93.90	88.65
M-0.3	39.06	52.14
M-0.6	28.07	28.62
M-0.9	39.00	42.01
N-0	77.01	69.86
N-0.3	22.19	20.56
N-0.6	11.22	9.89
N-0.9	13.12	11.24

* L = W/B 20%, M = W/B 25%, N = W/B 30%

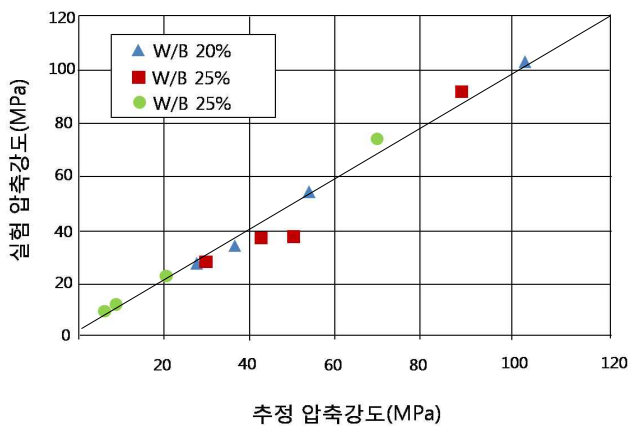


그림 17. 모르타르 추정압축강도와 실험압축강도와의 관계

5. 결론

본 연구에서는 일반골재를 사용하고 기포제만을 혼입하여 구조용 경량콘크리트 개발의 가능성을 검토하기 위하여 실시한 기포제 혼입 경량기포모르타르의 물리적 특성 평가 시험 및 압축강도 추정을 실시한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 기포제 첨가량의 증가에 따라 공극형성에 의해 모르타르의 밀도는 작아지나, 기포제 0.6% 이상에서는 기포제의 깨짐 및 연결에 의해 밀도가 오히려 작아지는 경향을 나타내었고 이를 SEM분석에 의해 확인 할 수 있었다.

2) 본 연구에서 적용한 광물성기포제에 의한 공극형성은 W/B가 높을수록 그 효과가 우수하였으며, 이는 모래와 물의 마찰에 의해 기포가 형성되기 때문으로 판단된다.

3) 동일 공극률에서 W/B가 작을수록 압축강도가 큰 것으로 보아 경량기포모르타르의 압축강도향상을 위해서는 모르타르 매트릭스의 강도를 향상시키는 것이 유효하다고 판단되며, 이로부터 기포제혼입 구조용 경량기포콘크리트의 제조에서는 초고강도콘크리트에 기포를 혼입시켜 공극

을 형성시키는 것이 보다 효율적이라고 판단된다.

4) 본 연구범위에서 독립기포를 발생 시킬 수 있는 기포제의 최대 첨가량은 0.6%로 판단되며, SEM분석으로부터 독립기포의 형성과 함께 독립기포의 크기가 50~100 μ m임을 알 수 있었다.

5) 기포제 무혼입 모르타르의 압축강도와 공극율을 변수로 하여 기포제 혼입 경량기포모르타르의 압축강도를 매우 정도 높게 추정하는 것이 가능함을 알 수 있었고, 이러한 원리를 이용하여 공극률이 다른 경량기포콘크리트의 압축강도 추정도 가능하다고 판단되며, 금후 기포제 혼입 구조용 경량콘크리트의 연구를 진행 할 예정이다.

참고문헌

1. 장의순 외, 기포제를 사용한 구조용 경량 콘크리트의 개발에 관한 실험적 연구, 한양대학교 석사학위논문, 2004
2. 유제준 외, 광물성 기포제를 이용한 경량기포콘크리트의 물리적성질에 관한 실험적 연구, 2003.
3. 류화성 외, 복합 스테드 패널 충전용 고성능 BIO경량기포 모르타르 개발에 관한 연구, 2007.
4. 최민철, "마이크로 기포제를 사용한 구조용 경량콘크리트 개발에 관한 실험적 연구", 한양대학교 석사학위논문, 2006.
5. 유병일 외, 기포제 혼입 경량모르타르의 압축강도 특성에 관한 실험적 연구, 한국콘크리트학회 봄 학술발표회 논문집 16 권 1호, p684~687, 2004.
6. 구해식, 경량기포콘크리트의 압축강도에 대한 실험적 연구, 대한건축학회논문집 14권 1호, pp.383~390, 1998
7. Jun-ichi Miyake 외, Evaluation Method for Consistencies of Mortars with Various Mixture Proportion, 2006.
8. 櫻本構文造敏 외, 用超輕量コンクリートの開發, 1999.
9. 기술표준원, KS F 4039 현장 타설용 기포 콘크리트, 2004
10. 박상순 외, 시멘트 모르타르의 공극률과 내구특성과의 관계에 대한 실험적 연구, 2009.
11. 국토해양부, 건축물의 에너지절약설계기준, p29~30, 2008
12. 김기훈 외, 축열용량을 고려한 건물 외피의 에너지절약 설계 지침에 관한 연구, 대한건축학회 논문집, p143~154, 1996.
13. Fuller Moore, Environmental Control Systems ; heating cooling lighting, New York : McGraw-Hill, Inc. p.12, 1993
14. 이장수 외, 양생온도와 재령에 따른 콘크리트의 공극구조 특성변화와 압축강도와의 관계, 대한토목학회논문집 제24권 6A호, pp.1145~1150, 2004

투고(접수)일자: 2010년 5월 31일

심사일자: 2010년 6월 1일

게재확정일자: 2010년 6월 17일