

혼화재료의 치환에 따른 경량기포 콘크리트의 기초적 특성분석

Fundamental Properties of Lightweight Foamed Concrete Depending on Admixture Incorporation

최성용* 신재경** 정광복*** 한민철**** 한천구*****
Choi, Sung-yong Shin, Jae-kyung Jeong, Kwang-Bok Han, Min-Cheol Han, Cheon-Goo

Abstract

This study investigated the fundamental properties of the lightweight foamed concrete depending on various admixtures, and the results were summarized as following. When 20% of cement kiln dust(CKD) and 0.002% of stabilizing agent were mixed to lightweight foamed concrete, it was necessary to use a superplasticizer because flowability was decreased. However, it could reduce sinking depth which were the extensive trouble of lightweight foamed concrete. Bulk density was divided into '0.4' and '0.5' grades on KS according to unit volume weight. The compressive strength was less than that of plain concrete when admixtures were applied, but the results exceeded the minimum strength of the each grades on KS. Totally, it is found that the combination of 20% of CKD and 0.002% of stabilizing agent makes it possible to reduce a sinking depth, recycle resources, and save cost when were mixed.

키워드 : 경량기포 콘크리트, 시멘트 킬른 더스트, 단위용적질량
Keywords : Lightweight Foamed Concrete, Cement Kiln Dust, Unit Volume Weight

1. 서론

최근 국내 건설공사 현장에서는 일반 콘크리트의 단점을 보완하기 위한 방안으로 단열성, 경량성 및 흡음성 등 여러 가지 복합성능을 부여한 경량기포 콘크리트의 사용이 증가하고 있다.

경량기포 콘크리트는 시멘트의 슬러리 속에 기포제의 물리적 계면활성작용에 의해 얻어진 기포를 혼합시켜 양생한 콘크리트를 말한다. 이러한 경량기포 콘크리트는 현재 공동주택의 온돌바닥재, 연약지반의 채움재 및 충전재등으로 사용되어지고 있으며, 국내에서는 주로 외장판넬용 및 ALC블록이나 온돌바닥재등으로 사용되고 있다.

그러나 경량기포 콘크리트는 1970년대 후반에 제조기법이 도입되고부터 현재에 이르기까지 경량기포 콘크리트속의 소포에 의한 체적감소, 강도발현 미흡, 건조수축 균열 발생, 높은 흡수율등의 많은 문제점들이 끊임없이 대두되고 있는 실정으로, 이러한 문제점들은 경량기포 콘크리트의 폭넓은 활용을 가로막는 저해요인으로 대두되어 시급히 해결해야할 사항으로 인식되고 있다.

그러므로 본 연구에서는 기존의 OPC와 슬러리용 분체만을 사용한 경량기포 콘크리트의 체적안정성, 경제성 확보 및 강도향상등을 목적으로 시멘트 제조시 발생하는 부산물인 시멘트

킬른 더스트(CKD)와 플라이애쉬(FA) 및 증점안정화제의 사용량 변화에 따른 실험을 실시함으로써 혼화재료 치환이 경량기포 콘크리트의 침하깊이, 플로우, 압축강도 열 전도율 등의 물리적 특성에 미치는 영향을 분석하고자 한다.

2. 경량기포 콘크리트의 특성에 관한 이론적고찰

2.1 경량기포 콘크리트의 개요

현대 건축에 있어서 구조물을 생산하는 구조재료 중 콘크리트가 차지하는 비중은 매우 크다. 특히 콘크리트 구조물은 강도에 비해 비중이 크기 때문에 구조물의 자중을 증대시키는 결함을 갖고 있다.

따라서 경량 콘크리트는 보통 콘크리트가 갖고 있는 단점을 개선함과 동시에 우수한 복합성능을 부여할 목적으로 제조된 콘크리트이며, 경량 콘크리트는 일반적으로 콘크리트를 경량화하는 방법에 따라 다공질의 경량골재를 사용하는 경량골재 콘크리트, 시멘트 페이스트에 생성된 기포를 혼합하여 중량을 감소시키는 경량기포 콘크리트, 그리고 골재사이에 공극이 가능한 한 많이 형성되도록 잔골재를 사용하지 않는 무 잔골재 콘크리트로 분류된다.

2.2 경량기포 콘크리트의 분류 및 특성

경량기포 콘크리트는 경량골재를 사용하지 않고 발포제에 의해 콘크리트 속에 무수한 독립기포를 고루 분산시켜 중량을 가볍게 한 콘크리트로서 19세기 말 한랭한 기후에 속하는 북유

* 청주대학교 건축공학과 석사과정, 정회원
** (주)삼표 기술연구소 연구원 신재경 공학석사, 정회원
*** (주)건설과환경 상무이사, 청주대 대학원 석사과정, 정회원
**** 청주대 건축공학부 전임강사, 공학박사, 정회원
***** 청주대 건축공학부 교수, 공학박사, 정회원

렵의 건축에서 요구되는 경량성, 단열성, 내화성 및 내구성을 만족하기 위해 개발되기 시작하였다.

국내에서는 1970년대 후반에 제조기법이 도입되었으나, 우리 실정에는 생소할 뿐만 아니라 이에 대한 기술적인 뒷받침의 부족으로 활성화되지 못하다가 1980년대 중반부터 몇 개의 회사가 양산체제를 갖추고 아파트, 호텔, 사무소용 건물 등의 외벽이나 내부 칸막이 등에 사용하기 시작하였고, 신축건물이 점차 고층화되어감에 따라 그에 따른 건축자재의 경량화 및 단열내화의 중대성에 직면하여 경량기포 콘크리트의 활용범위는 더욱더 늘어날 전망이다

경량기포 콘크리트는 표 1에서 보는 바와 같이 그 제조 방법에 따라 가스 콘크리트와 폼콘크리트로 나뉘어 지는데 가스콘크리트는 아직 굳지 않은 콘크리트에 발포제의 화학반응을 통하여 기포를 콘크리트 중에 포함시키는 방법으로 응결했을 때 다량의 기체반응이 포함된다.

폼콘크리트(Foamed Concrete)는 아직 굳지 않은 콘크리트용 슬러리에 기포제의 물리적 계면활성 작용에 의해 얻어진

기포를 콘크리트 중에 포함시키는 방법으로서 기포의 제조와 도입 순서에 따라 다음과 같이 3가지로 분류된다.

2.2.1 선기포 방식(pre-foaming type)

계면활성제를 주원료로 하는 기포제(일반적으로 30~50배의 물로 희석하여 사용)를 고압공기와 함께 기포발생기에 주입하여 기포를 발생시키고, 이것을 미리 혼합한 시멘트 슬러리에 첨가·혼합하여 제조하는 방법으로, 기포의 양을 조절하기 쉽고 현장발포가 용이하며, 비교적 균일한 독립기포가 형성된다는 장점이 있다.

표 1. 경량기포 콘크리트의 분류 및 명칭

경량기포 콘크리트 (Aerated Concrete, Cellular concrete, Pore concrete, Porous concrete)	Gas concrete	· Post foaming concrete 금속 알루미늄 분말과 알칼리 반응으로 가스를 발생시켜 수소 가스를 발포시키는 방법
	Foamed concrete	· Mix foaming foam concrete 기포제를 슬러리에 첨가해 혼합하는 과정에서 발포시키는 방법 · Pre-foaming foam concrete 발포기에서 별도로 만든 기포를 슬러리와 함께 혼합하는 방법

2.2.2 후기포 방식(After-foaming type)

시멘트슬러리의 혼합 시에 알루미늄 분말, 아연분말 등의 발포제를 혼합하여 소정의 시간이 경과한 후 화학반응에 의하여 발생하는 가스에 의해 기포를 도입하는 방법으로, 여러 가지의 발포제가 제안되고 있으나 실용화되고 있는 것은 안정성 및 발포성능 등으로 인하여 알루미늄 분말을 사용한 것이다. 온도의 영향을 많이 받고 구형의 거칠고 엉성한 기포가 형성되며 기포의 크기와 분포도 불균일한 편이다.

2.2.3 혼합기포 방식(mix-foaming type)

AE제 등의 계면활성제를 슬러리에 첨가하여 혼합과정에서

교반에 의한 물리적인 작용으로 기포를 도입하는 방법이다. 혼합기포 방식의 기포는 고속전단믹서에서 형성되며, 초기에는 큰 기포가 형성되지만 배합과정에서 잘게 부서진다. 기포의 분포는 비교적 균일하나 혼합시간에 따라 기포 도입량에 큰 차이가 발생하고, 고입 공기량에 물리적인 한계가 있으며, 기포 발생량의 조절이 어렵기도 하므로 많이 이용되지는 않는다.

2.3 선기포 방식 경량기포 콘크리트의 특성

2.3.1 제조방법

선기포 방식 경량기포 콘크리트는 주로 공동주택의 온돌바닥재로 사용되어지는데 제작방법은 시멘트와 각종 혼화제를 일정한 비율로 섞은 결합재에 물을 첨가하여 잘 배합시킨 후, 기포제와 희석수를 적절한 비율로 섞은 기포 희석액을 압축공기를 통해 기포기로 통과시킨다. 이렇게 만들어진 기포를 제작되어진 시멘트 슬러리에 주입하여, 내부에 일정한 기포를 지닌 팽창 슬러리를 생성시키는데 이 슬러리를 대상구조물에 압송호스를 통하여 주입하여 양생시키는 과정을 통하여 제조된다.

2.3.2 기포제

기포제는 계면장력을 저하시켜 물리적으로 기포를 도입시키는 계면활성제의 일종으로 보통 20~50%, 최고로는 80%까지의 기포의 도입이 가능하다.

기포제로 사용되는 계면활성제는 합성계면활성제계, 수지비누계, 단백질계로 크게 나눌 수 있는데 국내에서 주로 사용되고 있는 것은 합성계면활성제계와 단백질계이다. 국내에서 주로 사용되는 제품 중에서 K사의 식물성기포제는 합성계면활성제계, S사의 동물성기포제는 단백질계에 속한다. 이중 이번 실험에 사용된 기포제는 식물성 합성계면활성제를 사용하였다.

합성계면활성제는 많은 종류가 있지만 기포제로서는 주로 anion계의 것이 많다. K사의 식물성기포제는 약간 갈색을 띤 점성 있는 투명한 액체의 성상이며 피부나 동 파이프, 철 등에 직접 닿아도 부식의 위험이 없다. 이를 이용하여 만든 경량기포 콘크리트는 굳지 않은 상태에서 동물성기포제를 사용한 경우보다 유동성이 뛰어나 형성된 면의 평활성이 우수하다.

2.3.3 선기포 방식 경량기포 콘크리트의 물리적 특성

1) 밀도

경량기포 콘크리트의 물리적 성질은 밀도에 따라 지배되는 경우가 많으므로 경량기포 콘크리트의 모든 성질은 보통 밀도와와의 관계로 표시된다. 일반적인 선기포 방식의 경량기포 콘크리트의 밀도는 모래를 포함하지 않은 경우 건조밀도가 보통 0.3~0.7t/m³로 밀도가 낮을수록 강도는 감소하지만 흡수성과 투수성등은 증가하며, 밀도가 높을수록 강도는 증가하지만 흡수성과 투수성등의 성질은 낮아진다.

2) 흡수성

기포와 세공이 차지하는 비율이 높은 만큼 경량기포 콘크리트는 다공질이며 모세관조각이 있어 흡수성이 좋다. 흡수가 진행됨에 따라 중량이 증가하여 단열성이 떨어질 뿐만이 아니라 부식성 기체의 영향을 받게 되어 손상을 입게 되고 기능의 저하가 일어난다.

3) 압축강도 및 휨강도

선기포 방식 경량기포 콘크리트의 압축강도는 보통 콘크리트에 비해 매우 약한 강도치를 나타낸다. 밀도에 따라 다르지만 일반적으로 0.8~2.0MPa정도의 강도치를 보인다. 또한, 경량기포 콘크리트의 휨강도 역시 보통 콘크리트와 같은 양상으로 압축강도에 비하여서 약하다. 이와 같이 휨강도 값을 압축강도에 대해 비교하여 나타낸 결과는 많으며, 일반적으로 휨강도와 인장강도 역시 압축강도가 클수록 크게 된다.

4) 열적 성능

선기포 방식 경량기포 콘크리트의 열전도율은 주로 비중에 따라서 결정되나 함수율의 영향도 크며 온도 및 기포조직에 따라서도 달라진다. 보통 선기포 방식 경량기포 콘크리트의 열전도율은 0.08~0.12W/h℃정도이다.

2.3.4 선기포 방식 경량기포 콘크리트의 문제점

선기포 방식 경량기포 콘크리트는 기포량의 조절이 용이하고 유동성, 형성된 면의 평활성 등이 우수하여 현장 타설용 경량기포 콘크리트로 주로 사용되고 있지만, 기포가 발생된 직후 소포현상이 시작되며 시멘트 슬러리와 믹싱된 상태에서도 이 소포현상은 지속되어 진다. 이로 인해 현장에서 공동주택의 은돌바닥재로 타설하게 될 때 경량기포 콘크리트의 침하현상에 대한 문제가 심각하게 대두되고 있다.

3. 실험계획 및 방법

3.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 표 2와 같다. 먼저, 배합사항으로 W/B 60%의 1수준에 대하여, OPC만을 사용하는 경우의 목표 플로우 240±10mm, 목표 단위용적질량 0.6±0.03t/m³로 결정하였다. 실험변수로는 단위용적질량 0.4±

표 2. 실험계획

실험요인		실험수준
배합사항	W/B(%)	1 · 60
	목표 플로우(mm)	1 · 240±10
	단위용적질량(t/m ³)변화	2 · 0.4±0.03 · 0.6±0.03
	Plain	1 · OPC
	혼화재료 종류 및 치환율(%)	3 · CKD 10 · CKD 20 · FA 20
	증점안정화제(%)첨가*	1 · 0.002
실험사항	굳지않은 콘크리트	3 · 플로우 · 밀도 · 침하깊이
	경화 콘크리트	3 · 압축강도(7, 28일) (양생온도 5, 20, 35℃) · 인장강도(28일) · 겉보기밀도(28일)

* 증점안정화제 첨가는 단위용적질량 0.6±0.03t/m³의 한 수준에 한함

0.03t/m³, 0.6±0.03t/m³의 2수준과 단위용적질량 0.6±0.03t/m³

에 대해서는 증점안정화제를 첨가한 실험을 추가로 계획하였다. 혼화재 변수로는 Plain(현장 실무조건 OPC90%+극미사(SD) 5%+FA5%)과 여기에 CKD 10%, 20%, FA20%를 치환하는 것으로 하여 총 12배치를 실험계획 하였다.

실험사항으로 굳지않은 콘크리트에서는 플로우, 단위용적질량 및 침하깊이를, 경화 콘크리트에서는 압축강도, 인장강도 및 겉보기밀도를 측정하는 것으로 하였다. 표 3은 본 실험에 사용한 콘크리트의 배합사항을 나타내었다.

표 3. 콘크리트의 배합사항

W/B (%)	유동화제 (%)	증점안정화제/W(%)	기포율 (%)	단위용적질량 (t/m ³)	혼화재종류 및 치환율 (%)	질량배합 (kg/m ³)			
						C	FA	CKD	SD
60	0.05	0	75	0.4	Plain	242	14	-	14
					CKD 10	213	13	27	13
					CKD 20	186	13	53	13
					FA 20	183	65	-	13
		0	63	0.6	Plain	359	20	-	20
					CKD 10	316	20	39	20
					CKD 20	275	20	79	20
					FA 20	271	97	-	19

3.2 사용재료

본 실험에 사용한 시멘트는 국내산 A사의 보통 포틀랜드시멘트를 사용하였고, 혼화제로서 CKD는 시멘트 제조과정 중 발생하는 것을 백필터로 포집한 국내 A시멘트사산을, FA는 충남 당진산을 사용하였는데, 그 물리적 성질 및 화학성분은 표 4~6과 같다.

표 4. 시멘트의 물리적 성질 및 화학성분

밀도 (g/cm ³)	분말도 (cm ³ /g)	화학성분(%)							
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	LOI
3.15	3,265	21.8	5.02	3.66	64.18	2.01	1.83	0.92	0.35

표 5. CKD의 물리적 성질 및 화학성분

밀도 (g/cm ³)	분말도 (cm ³ /g)	화학성분(%)							
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O
2.67	8,200	9.65	3.70	1.54	43.6	1.40	0.77	0.35	0.06

표 6. 플라이애쉬의 물리적 성질

밀도 (g/cm ³)	분말도 (cm ³ /g)	강열감량 (%)	압축강도비 (%)	SiO ₂ (%)	습분 (%)	단위수량비 (%)
2.19	3,735	3.5	92	53.2	0.1	100

또한 혼화제로서 유동화제는 국내산 나프탈렌계, 기포제³⁾는 국내산 식물성 계면활성제, 증점 안정화제는 국내산 증점다당류제를 사용하였는데, 그 물리적 성질은 표 7과 같다.

표 7. 혼화제의 물리적 성질

구분	주성분	형태	색상	밀도 (g/cm ³)	점도 (mPa·s)
고성능 감수제	나프탈렌계	분말상	황색	0.72	-
기포제	식물성 계면활성제	액상	미백색	1.04	-
증점 안정화제	증점 다당류계	분말상	회색	-	2800



시멘트 슬러리 기포군 기포군 혼입 믹싱
사진 1. 경량기포 콘크리트 제작과정

3.3 실험방법

본 연구의 실험방법으로 슬러리의 제조는 사진 1과 같이 단위수량에 따른 물을 용기에 먼저 넣고 분체재료를 넣으면서 핸드믹서를 이용하여 충분히 혼합하여 제조하는 것으로 하였다. 또한 이렇게 제조한 혼합 슬러리에 기포발생기에서 발생시킨 기포를 투입, 혼합하여 경량기포 콘크리트를 제조하였다. 이때 혼합시간은 기포가 소멸되지 않도록 유의하면서 약 2분간 실시하였다. 플로우 및 밀도, 침하깊이는 KS F 4039⁴⁾의 시험방법에 준하였으며, 압축강도 및 겉보기밀도는 KS F 2459, 인장강도는 KS F 2423의 시험방법에 따라 실시하였다.

4. 실험결과 및 분석

4.1 굳지않은 콘크리트의 특성

그림 1은 단위용적질량 및 혼화재 변화에 따른 플로우치를 나타낸 것이다.

먼저 단위용적질량 변화에 따라서는 단위용적질량이 증가할수록 플로우치가 증가하였지만 큰 차이는 없었으며, OPC 배합의 경우도 목표 플로우 240±10mm를 만족하는 것으로 나타났다. 혼화재 변화에 따라서는 혼화재를 치환할수록 플로우치가 작아지는 것으로 나타났다.

특히, CKD의 경우는 치환율이 증가할수록 유동성이 큰 폭으로 감소하였으며 또한, 동일 치환율인 FA 20에 비해서 유동성이 더 크게 감소하는 것으로 나타났다.

따라서 CKD 치환시 동일 유동성을 확보하기 위해서는 고성능 감수제의 사용량을 증가시킬 필요가 있는 것으로 사료된다. 또한, 중점 안정화제를 0.002% 혼입한 경우 다소 플로우치가 저하하는 경향을 나타냈으나, 중점 안정화제를 무혼입한 Plain의 경우 높은 플로우치로 인해 재료분리 경향이 나타나는 반면 중점 안정화제를 혼입한 Plain은 재료분리 및 블리딩이 거의 없이 안정한 플로우 모양을 나타내었다.

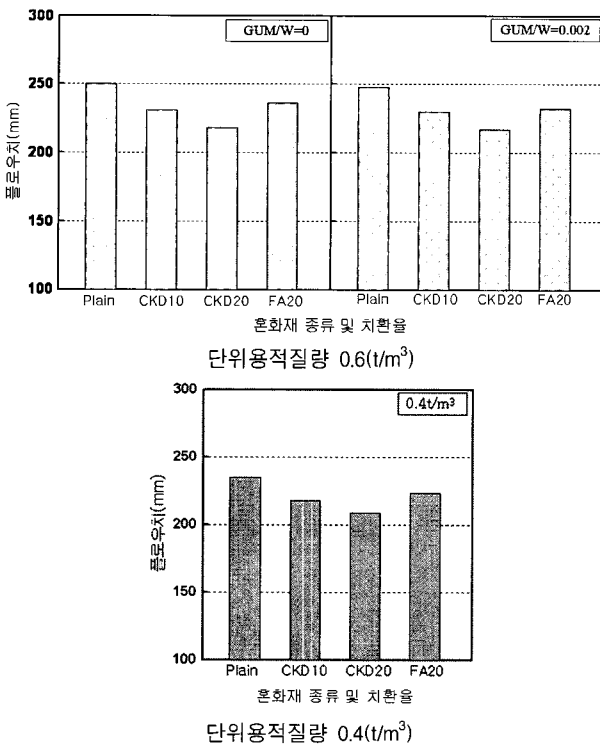


그림 1. 단위용적질량 및 혼화재 변화에 따른 플로우치

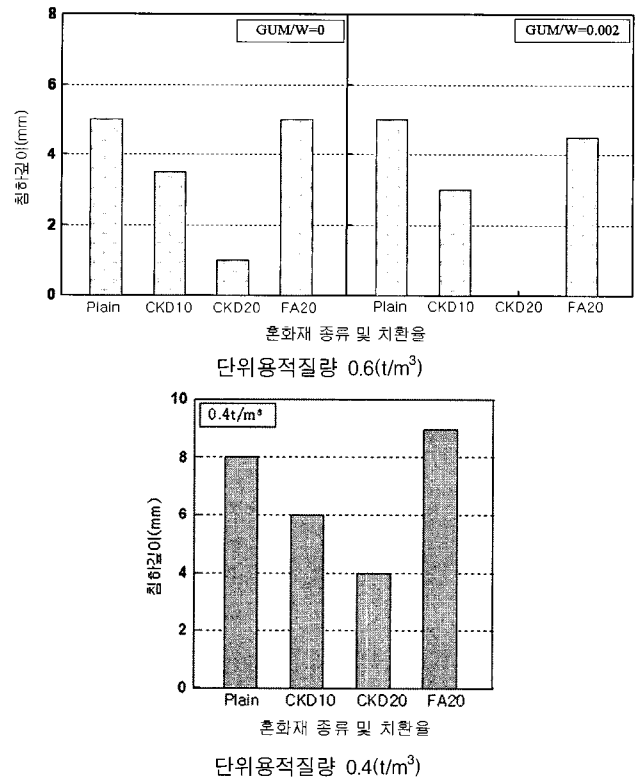


그림 2. 단위용적질량 및 혼화재 변화에 따른 침하깊이

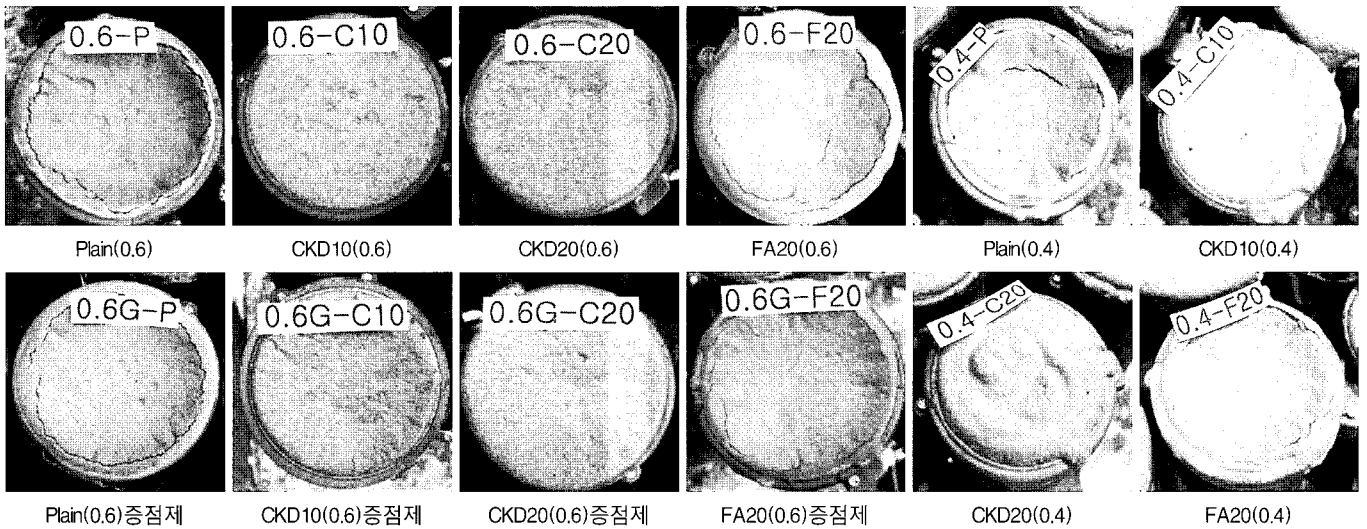


사진 2. 단위용적질량 및 혼화재 변화에 따른 공시체 타설 후 침하모습

그림 2는 단위용적질량 및 혼화재 변화에 따른 침하깊이를 나타낸 것이고, 사진 2는 단위용적질량 및 혼화재 변화에 따른 공시체 타설 후 침하모습을 나타낸 것이다. 단위용적질량 변화에 따라서는 단위용적질량이 증가할수록 침하깊이는 크게 감소하였으며, 혼화재 치환에 따라서는 FA를 치환한 경우 Plain과 동일한 값을 나타내는 것으로 나타나 침하량 개선에는 큰 효과가 없는 것으로 나타났다. 이에 반해 CKD의 경우는 치환율이 증가할수록 침하가 크게 감소하는 것을 알 수 있었다. 또한 증점 안정화제를 혼입한 경우에도 침하가 저하하는 것으로 나타났는데, 특히 CKD를 20% 치환하고 증점 안정화제를 0.002% 혼입한 경우에는 침하가 발생하지 않았다. 이는 KS 침하깊이 기준인 '0.5품-10mm 이하'를 크게 상회하는 것으로 CKD 및 증점 안정화제를 병용 사용할 경우 경량기포 콘크리트의 소포로 인한 체적감소문제를 개선하는데 효과적인 것으로 사료된다.

4.2 경화 콘크리트의 특성

단위용적질량 0.4t/m³의 경우는 표 8의 KS규격 0.5품의 기준을 벗어나 0.4품의 범위에 들어갔으며, 단위용적질량 0.6t/m³은 KS규격 0.5품의 범위를 만족하였다. 한편, CKD를 치환한 경우 치환율이 증가할수록 겉보기밀도는 다소 감소하는 것으로 나타났는데, 이는 CKD를 치환할 경우 침하가 감소하여 단위체적이 기타의 경우보다 크기 때문인 것으로 사료된다. 그러나 혼화재 치환 및 증점 안정화제의 혼입에 상관없이 모든 경우에서 KS 기준인 '0.5품(0.4이상, 0.5미만)'을 만족하는 것으로 나타났다.

표 8. 경량기포 콘크리트 규격

구분	겉보기 밀도	침하깊이 (mm)	압축 강도N/mm ²		열 전도율 W/(mk)
			7일	28일	
0.4품	0.30 이상	150이하	0.5 이상	0.8 이상	0.130 이하
	0.40 미만				
0.5품	0.40 이상	100이하	0.9 이상	1.4 이상	0.160 이하
	0.50 미만				
0.6품	0.50 이상	60이하	1.5 이상	2.0 이상	0.190 이하
	0.70 미만				

그림 3은 단위용적질량 및 혼화재 변화에 따른 겉보기밀도를 나타낸 것이다.

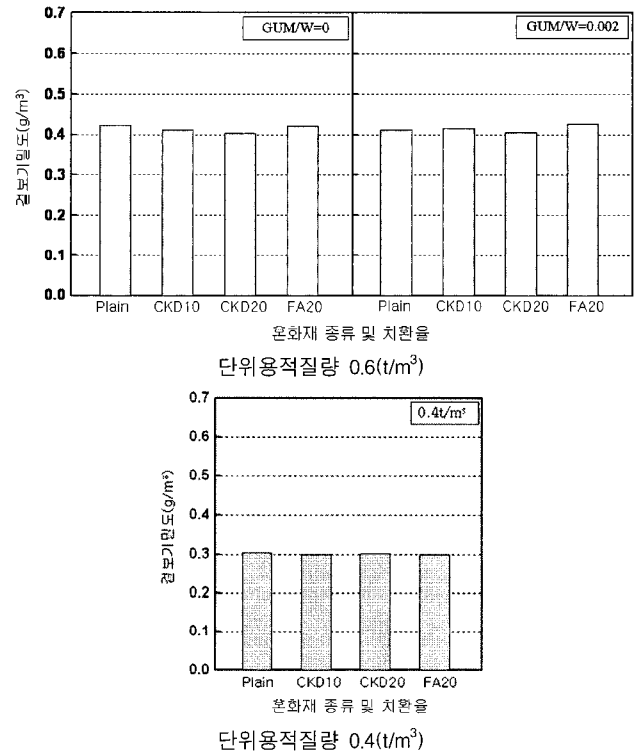
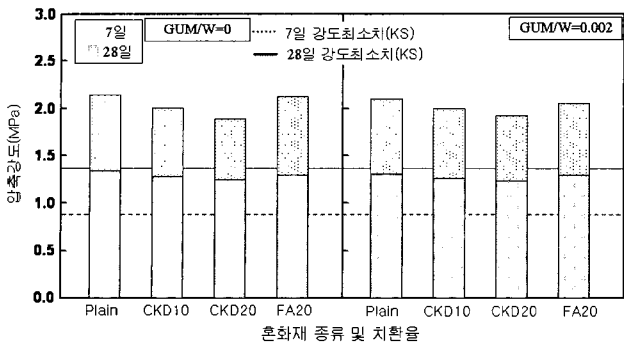


그림 3. 단위용적질량 및 혼화재 변화에 따른 겉보기밀도

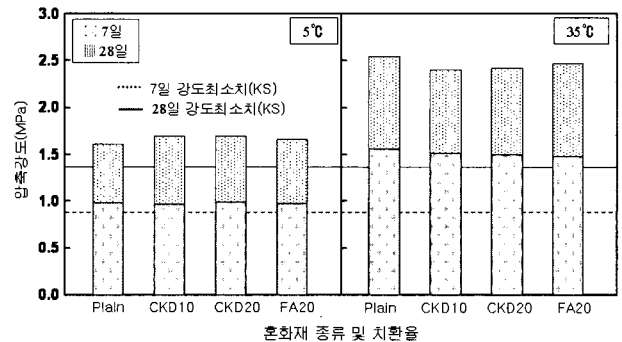
그림 4는 단위용적질량 및 혼화재 변화에 따른 압축강도를 나타낸 것이다. 압축강도는 전반적으로 재령이 경과할수록 증가하는 것으로 나타났고, 단위용적질량 0.4t/m³, 0.6t/m³는 각각 KS기준 0.4품, 0.5품의 압축강도 최소치를 만족하였다. 혼화재 치환에 따라서는 Plain이 가장 큰 강도치를 보였고 FA 20, CKD 10, CKD 20순으로 나타났으며, 증점 안정화제를 혼입한 경우에는 큰 차이가 없었다.



단위용적질량 0.6(t/m³)
단위용적질량 0.4(t/m³)
그림 4. 단위용적질량 및 혼화재 변화에 따른 압축강도(7일, 28일)

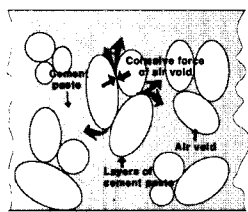
반면, CKD를 혼입할 경우에는 미립분들이 고체입자와 기포 사이의 작은 공간들을 충전하여, 충전율 증가로 인한 기포 상호간의 응집력을 억제함으로써 나타난 결과로 분석된다.

그림 6은 단위용적질량 0.6t/m³에 대한 양생온도 변화에 따른 압축강도를 나타낸 그래프이다. 온도 35°C인 경우 모든 시료가 20°C와 유사한 경향을 나타냈으나, 저온인 5°C의 양생조건에서는 강도발현이 상대적으로 낮았으며 CKD를 치환한 경우의 압축강도가 크게 나타났다. 이것은 CKD를 이용한 기존의 연구⁽¹⁾와 동일한 경향으로써 기존 연구에 따르면 CKD는 저온 환경에서 응결시간이 빠른 것으로 나타났는데, 이에 기인한 결과로 분석된다.

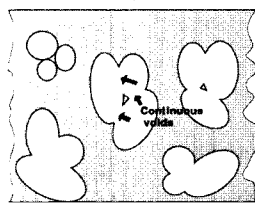


단위용적질량 0.6(t/m³)
그림 6. 혼화재 및 양생온도 변화에 따른 압축강도

한편, 압축강도 차이는 겔보기밀도의 차이에서 기인한 것으로 밀도차에 대한 메커니즘으로써 Plain 및 FA의 경우 그림 5에서와 같이 독립기포로 존재하던 각 기포들이 서로 맞닿으려고 하는 응집력으로 인해 각 기포들이 접근하게 되고, 시멘트 페이스트가 경화됨에 따라 기포막이 사라지며 연속공극⁵⁾을 형성하게 된다. 이후 더욱 진행되면 결국 기포는 소포되어 침하로 이어지게 되고, 침하로 인하여 내부공극이 작아짐에 따라 겔보기밀도는 증가하게 된다. 결국 공극이 감소한 Plain과 FA의 경우 압축강도의 증가가 나타난 것으로 사료된다.



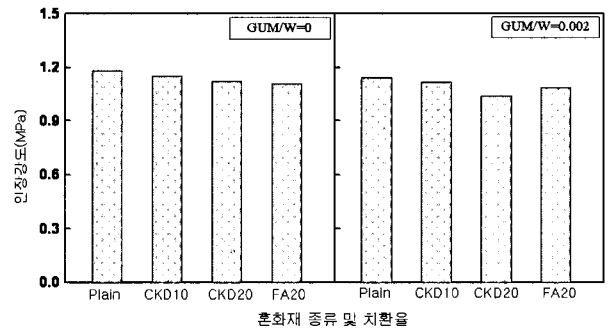
독립공극 형성 단계



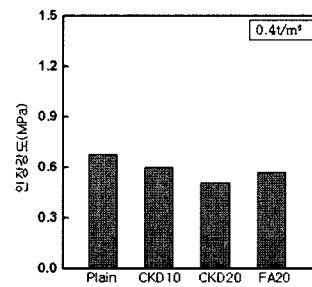
연속공극 형성 및 소포 단계

그림 5. 기포의 독립공극 및 연속공극 형성 단계

그림 7은 단위용적질량 및 혼화재 변화에 따른 인장강도를 나타낸 것이다. 인장강도는 압축강도와 유사한 경향으로 나타났는데, 보통 콘크리트의 인장강도는 압축강도의 약 0.1정도인 것에 반해 본 실험에 사용된 경량기포 콘크리트는 약 0.50~0.59정도로 나타나 보통 콘크리트보다 상대적으로 크게 나타났다.



단위용적질량 0.6(t/m³)



단위용적질량 0.4(t/m³)

그림 7. 단위용적질량 및 혼화재 변화에 따른 인장강도

5. 결 론

본 연구는 혼화재료에 의한 경량기포 콘크리트의 품질향상을 위하여 단위용적질량, 혼화재 종류 및 치환율, 증점안정화제의 혼입률 변화에 따른 경량기포 콘크리트의 기초적 특성을 비교·분석하였는데, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 굳지않은 콘크리트의 특성으로, 유동성은 단위용적질량이 감소할수록 혼화재 치환율이 증가할수록 플로우치가 작아지는 것으로 나타났다. 특히, CKD의 경우 치환율이 증가할수록 유동성이 큰 폭으로 감소하는 것으로 나타나 고성능 감수제의 사용량을 증가시킬 필요가 있을 것으로 사료된다. 또한, 증점 안정화제를 혼입한 경우는 높은 플로우치에서도 재료분리 및 블리딩 없이 안정된 플로우 형상을 유지하는 것으로 나타났다.
- 2) 침하깊이는 CKD를 20%치환하고 증점 안정화제를 0.002% 혼입한 경우에는 침하깊이가 0mm로 나타났다. 이는 KS 침하깊이 기준인 '0.5푼(10mm 이하)'에 크게 상회하는 것으로 CKD 및 증점 안정화제를 병용 사용할 경우 경량기포 콘크리트의 체적감소문제를 개선하는데 효과적일 것으로 사료된다.
- 3) 경화 콘크리트 특성으로 압축강도는 혼화재 변화의 경우는 Plain, FA20, CKD 10, CKD 20순으로 크게 나타났고, 증점 안정화제를 혼입한 경우에는 큰 차이를 보이지 않았으며 모든 경우 KS 기준범위를 상회하는 것으로 나타났다. 온도 35℃인 경우 20℃와 유사한 경향을 나타냈으나, 5℃인 경우에는 오히려 CKD를 치환한 경우에서 강도가 크게 나타났다.

이상을 종합하여 볼때 기존의 경량기포 콘크리트 제조에 단위용적질량 0.6t/m³, 혼화재 CKD 20%, 증점 안정화제 0.002%를 혼입하게 되면 단위체적감소로 인해 침하깊이가 감소함으로써 균열방지 등 제반품질이 향상될 수 있을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. 강기웅, 강철, 김하석, 박은구, 권기주, 김진만, 기포제 회석비율에 따른 기포콘크리트의 흡음특성에 관한 연구, 한국건축시공학회 학술 기술논문발표회 논문집, vol.5, no.1, (통권 제8호), 2005. 5
2. 건설교통부, 경량기포 콘크리트 재료개발연구, 1996
3. 경량기포 콘크리트의 연속공극 형성에 미치는 기포제의 영향, 이승환, 한국콘크리트 학회 논문집, Vol.14, No.5, pp.742~749, 2002. 10
4. 박은구, 기포 콘크리트용 기포의 특성에 관한 기초적 연구, 한국 콘크리트학회 논문집, Vol. 16, NO. 1, pp.680~683, 2004. 5
5. 권영진, 증점제 종류 및 양생조건에 따른 고유동 콘크리트의 내동해성에 관한 실험적 연구, 대한건축학회 논문집, 제18권 제2호, pp115~122, 2002. 2
6. 대한건축학회, 건축공사표준시방서, 기문당, 1999
7. 변근주 외, 경량기포 콘크리트 재료개발 연구, 한국건설기술연구원, 1996.12
8. 서치호, 경량콘크리트의 상태에 관한 실험적 연구, 박사학위논문, 한양대학교, 1985
9. 시멘트 킬너더스트의 치환 방법에 따른 콘크리트의 공학적 특성, 대한건축학회 논문집(구조계), v.20 n.4, 2004.04
10. 신재경, 정광복, 이윤구, 이진철, 윤기원, 한천구, 혼화재료에 의한 경량기포 콘크리트의 품질향상에 관한 기초적 연구, 한국건축시공학회, 제6권 제1호, pp35~38
11. 한천구, 김기철, 최응규, 증점제 및 플라이애쉬를 이용한 고유동 콘크리트의 모의부재 실험 연구, 대한건축학회 논문집, 제14권 제10호, pp69~77, 1998. 10
12. 한천구, 최응규, 김기철, 증점제 및 플라이애쉬를 이용한 고유동 콘크리트의 실용화에 관한 기초적 연구, 대한건축학회 논문집, 제13권 제12호, pp359~366, 1997. 12
13. 한국콘크리트학회, 콘크리트표준시방서해설, 기문당, 2000
14. 한국콘크리트학회, 콘크리트 혼화재료, 2001
15. KS F 4039, 현장 타설용 기포콘크리트, 1999
16. 田中秀男, 最近のコンクリート用混和劑(發泡劑, 起泡劑), 콘크리트 工學 Vol.26, No 3, pp. 71~75, 1988
17. 外館良之, 丸山久一, 下村匠, 透水性を有する注入材料の開発, 콘크리트 工學年次論文報告集, Vol.18, No.1, pp.1005~1010, 1996.