

특수용도 충전재로서 기포콘크리트의 활용성에 관한 연구

The Study on Application of Aerated Concrete as a Filling Material for Special Use

허재원*

이종필*

김효열**

임남기***

Her. Jae-Won

Lee. Jong-Phil

Kim. Hyo-Youl

Lim. Nam-Gi

Abstract

In this study, we processed two procedures of application test of filler for special-purpose utility that are new application methods of aerated concrete and properties test of aerated concrete according to mixing ratio because we investigated the better use of aerated concrete as filler for fireproof safety and we proposed basic data about standardization of mixing of aerated concrete.

We measured flow and volume change of aerated concrete. And if its volume doesn't change, we added measuring unit weight and compressive strength. To test application of aerated concrete as filler for fireproof safety, we filled up aerated concrete to fireproof safety according to suitable mixing ratio. Then we measured maximum temperature of inner part of fireproof safety in accordance with the standard test of fireproof.

According to the results, aerated concrete as filler for fireproof safety could be possibly used. So when we make aerated concrete, we should consider using an adding agent as well as a foaming agent.

키워드 : 특수용도, 적용성, 기포 콘크리트, 배합 표준화, 기초 자료, 내화시험

Keywords : Special-purpose, Application, Aerated Concrete, Standardization of Mixing, Basic Data, Test of Fireproof

1. 서론

1.1 연구배경 및 목적

기포콘크리트는 기포제를 활용하여 시멘트 경화체 내에 다량의 공극을 발생시켜 제조한 경량콘크리트의 일종으로서, 기포콘크리트는 건축물에 있어 바닥난방 구성층의 축열층 및 단열층 재료로서 널리 활용되고 있다. 또한 경량기포콘크리트는 현재 경량패널의 내부충전재, 연약지반 보강재 등의 재료로서 활용의 폭을 넓혀 가고 있다. 일반적으로 기포콘크리트는 경화체 내부의 다량의 공극을 내포한 다공질 구조로서, 그 조직구조에 기인하여 경량성을 비롯한 단열성, 방음성, 내화성 등의 다양한 효과를 발휘하는 것으로 보고 되고 있다.

그러나, 현재 기포콘크리트는 그 품질에 관한 기준 및 배합설계에 관한 표준화 및 시방화가 확립되어 있지 않아 기포콘크리트의 품질관리가 매우 모호하며 제조 및 이용에 많은 어려움이 있다. 또한 타설 후 건조수축이 크므로 다량의 균열이 발생하여 단열재로서의 효과를 충분히 발휘하지 못하는 등의 많은 문제점을 내재하고 있는 실정이다.

이에 본 연구에서는 배합비에 따른 기포콘크리트의 물성을 검토하여 기포콘크리트 제조공정의 표준화를 위한 기초자료를 제시하고자 한다. 또한 기포콘크리트의 새로운 활용방안으로서 특수용도 충전재로서의 활용가능성을 내화성의 측면에서 검토하고자 한다.

1.2 연구방법 및 범위

기포콘크리트의 배합 표준화에 관한 기초자료 제시 및 특수용도 충전재로서의 기포콘크리트의 활용가능성을 검토하기 위하여, 본 연구에서는 크게 배합비에 따른 기포콘크리트의 물성 시험과 특수용도 충전재로서의 적용성 시험의 두 단계로 나누어 순차적으로 진행하였다.

배합비에 따른 기포콘크리트의 물성 시험에서 배합은 단위시멘트량 및 물결합재비를 변화시켰으며, 기포제 희석율 및 기포제 투입비율을 변화시켜 실시하였다.

실험은 제작된 시험체의 플로우와 체적변화를 측정하였으며, 체적의 변화가 발생되지 않은 조건에 한하여 단위용적중량 및 압축강도를 측정하였다. 기포콘크리트의 특수용도 충전재로서의 적용성 시험은 본 연구에서 도출한 적정 배합비에 따라 배합한 기포 콘크리트를 충전한 시험체를 제작하였으며, 이를 내화시험규준에 준하여 시험하여 시험체 내부의 최고온도 상승치를 측정하였다.

이상의 결과를 비교분석하여 기포콘크리트의 배합 및 제조규준 확립에 관한 기초자료를 제시하고, 또한 특수용도 충전재로서의 기포콘크리트의 활용성을 제시하는 것까지를 본 연구의 범위로 하였다.

2. 실험

2.1 실험개요

특수용도 충전재로서 기포콘크리트의 활용성을 검토하기

* 동명정보대학교 건축대학원 석사과정, 정회원

** 동명정보대학교 건축공학과 겸임교수, 정회원

*** 동명정보대학교 건축대학 조교수, 정회원

위하여, 기포콘크리트의 배합비에 따른 물성시험을 선행하였다. 단위시멘트량은 현재 건축현장에서 기포콘크리트 제조시 주로 적용되는 320kg/m³에서 420kg/m³의 범위까지 총 4수준으로 구분하였다. 또한 물결합재비는 각각 35%, 40%, 45%, 기포액 제조를 위한 기포제의 희석비율은 각각 3%, 4%, 5%로 변화시켜 기포콘크리트를 제작하였다. 본 연구의 실험인자 및 수준은 표 1과 같다.

표 1. 실험인자 및 수준

실험인자	수준
단위시멘트량(kg/m ³)	320, 350, 400, 420
물시멘트비(%)	35, 40, 45
기포액 희석율(%)	3, 4, 5

2.2 사용재료

1) 시멘트

본 연구에 사용한 시멘트는 국내 S사에서 생산한 보통포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 화학조성 및 물리적 성질은 표 2와 같다.

표 2. 시멘트의 화학조성 및 물리적 성질

화학 조성	화학성분							
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Ig.loss	
합량(%)	21.95	6.59	2.81	60.12	3.32	2.11	2.58	
물리적	비표면적 (cm ² /g)	비중	응결시간		압축강도(kgf/cm ²)			
			초결	종결	3일	7일	28일	
성질	3,112	3.14	4시간	6시간	198	272	389	

2) 동물성 기포제

본 연구에 사용한 기포제는 국내 H사에서 생산한 동물성 기포제로서, 그 물리적 성분은 표 3, 화학적 성분은 표 4와 같다.

표 3. 동물성 기포제의 물리적 성질

색상	점도	pH	황산염(%)	빙점(°C)	비중
암갈색	20-50	7	0.01-0.1	-18	1.2-1.26

표 4. 동물성 기포제의 화학적 성분 (단위 : %)

물	단백질	NaCl	NH ₄ Cl	CaCl	MgCl	FeSO ₄
36	32	10	1	6	5	10

3) 배합수

배합수는 부산광역시 상수도 물을 사용하였다.

2.3 기포콘크리트의 배합

기포콘크리트의 배합은 표 5와 같다.

표 5. 기포콘크리트의 배합

C (kg/m ³)	W/C (%)	W (kg/m ³)	기포콘크리트 제조량 (1m ³)	
			시멘트페이스트 (ℓ)	기포 (ℓ)
320	35	112	213.587	786.413
	40	128	229.587	770.413
	45	144	245.587	754.413
350	35	122.5	233.611	766.389
	40	140	251.111	748.889
	45	157.5	268.611	731.389
400	35	140	266.984	733.016
	40	160	286.984	713.016
	45	180	306.984	693.016
420	35	147	280.333	719.667
	40	189	301.333	698.667
	45	210	322.333	677.667

2.4 기포량의 제어

기포콘크리트의 제조에 있어 투입 기포량의 제어는 기포콘크리트의 전체 품질에 매우 큰 영향을 미치게 된다. 본 연구에서는 투입 기포량의 정확한 제어를 위하여 기포액 흡입기 및 기포액 분사장치에 각각 플로우 미터와 압력계를 장치하였으며, 플로우 미터 및 압력계를 조정하여 정확한 량의 기포가 투입되도록 조정하였다.

기포제의 희석비율에 따른 기포량 18ℓ에 대한 기포 배출 시간을 시험한 결과는 표 6과 같다.

표 6. 적정 기포량 산출

기포제 희석비율	배출 시간
3%	9.56 초
4%	10.63 초
5%	11.92 초
6%	12.38 초

기포량의 투입시간은 기포제 희석비율이 증가함에 따라 다소 증가하는 양상을 나타내었으며, 이는 기포제의 희석비율이 증가함에 따라 기포의 크기가 더욱 미세하게 되어 일정 체적 내의 기포수가 증가하였기 때문으로 판단된다.

2.5 실험방법 및 측정

1) 기포콘크리트의 배합 및 시험체 제작

기포콘크리트의 배합은 특별히 제작한 기포콘크리트 제조 설비를 이용하여 실시하였으며, 시멘트와 배합수를 투입한 후 60초간 배합하여 시멘트 페이스트를 제작한 후 기포를 투입하여 180초 동안 배합하여 기포콘크리트를 제작하였다.

용적변화 및 단위용적중량 시험체는 15×15×50cm 크기의 콘크리트 휨강도 시험용 몰드, 압축강도 시험용 공시체는 5cm 크기의 입방몰드를 이용하여 제작하였으며, 24시간 동안 기중양생 후 탈형하여, 온도 20±3°C에서 소요재령까지 봉함양생하였다.

2) 측정

① 용적변화

기포콘크리트의 용적변화는 몰드에 기포콘크리트를 충전하여 24시간이 경과한 후 목측(目測)하였다.

② 플로우

기포콘크리트의 플로우는 플로우 테이블을 이용하여 KS F 5102에 준하여 실시하였다.

③ 단위용적중량

기포콘크리트의 단위용적중량은 15×15×55cm의 공시체의 중량을 측정하여 단위용적에 대한 중량을 산정하였다.

④ 압축강도

기포콘크리트의 압축강도는 소요재령 후 KS F 2459에 준하여 실시하였다.

⑤ 내화도 시험

기포콘크리트를 충전한 시험체의 내화도 시험은 시험체를 가열로에 장치하고 열전대를 시험체 내부에 설치하여, 내부 표면에서 25mm 떨어지게 위치시켜, 가열 중 시험체 내부의 온도변화를 측정한다. 가열은 가열로의 온도를 1시간 내에 표준온도가열곡선에 준하여 1,010℃까지 상승하였다.

내화도의 판정은 열전대로부터 얻은 시험체 내부온도를 바탕으로 모든 측정점이 150℃이하가 되는 조건을 합격으로 하였다.

기포콘크리트의 배합비에 따른 용적변화를 관찰한 결과, 단위시멘트량 및 물시멘트비의 변화에 따라 각기 다른 양상을 나타내었다. 단위시멘트량 320kg/m³의 경우, 기포제 희석율 3%와 5%에서는 모든 물시멘트비에서 체적의 변화가 발생하는 것으로 나타났으며, 기포제 희석율 4%, 물시멘트비 45%의 경우에서도 체적의 감소가 발생하였다. 그러나, 기포제 희석율 4%, 물시멘트비 35%와 40%의 경우는 체적의 변화가 관찰되지 않아 기포콘크리트 타설 및 특수용도 제품 내에 충전 후 체적의 변화에 따른 균열 등의 문제는 발생하지 않을 것으로 판단된다.

단위시멘트량 350kg/m³의 경우, 물시멘트비 35%에서는 기포제 희석율 3%와 4%, 40%에서는 5%, 45%에서는 4%에서 체적의 변화가 발생하지 않는 것으로 나타났다. 기포콘크리트의 체적변화는 단위시멘트량 320kg/m³에 비하여 다소 개선되는 양상을 나타내었으나, 기포제 희석율의 작은 변화에 따라 기포콘크리트의 체적변화의 발생여부가 좌우되므로 기포콘크리트 제조시 단위시멘트량을 350kg/m³으로 할 경우에는 기포제의 희석율에 대한 정밀한 품질관리가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

단위시멘트량 400kg/m³과 420kg/m³의 경우에는 단위시멘트량 400kg/m³-물시멘트비 35%-기포제 희석율 3%를 제외한 모든 물결합재비 및 기포제 희석율에서 기포콘크리트의 타설 후 체적변화가 관찰되지 않았다.

따라서 단위시멘트량 400kg/m³이상의 범위에서는 기포제의 희석비율은 기포콘크리트의 체적변화에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났으므로 체적변화의 관점에서 기포콘크리트의 품질관리를 실시한다면 단위시멘트량은 400kg/m³ 이상이 되어야 할 것으로 판단된다. 또한 기포콘크리트의 기포혼입량 약 70%이상의 범위에서는 타설 후 체적변화현상의 발생비율이 높을 것으로 보인다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 배합비에 따른 기포콘크리트의 물성

1) 용적변화

기포콘크리트의 배합비 및 혼화재료 치환에 따른 용적변화 관찰결과는 표 7과 같다.

표 7. 기포콘크리트의 용적변화

C (kg/m ³)	W/C (%)	기포액 희석율		
		3%	4%	5%
320	35	유	무	유
	40	유	무	유
	45	유	유	유
350	35	무	무	유
	40	유	유	무
	45	유	무	유
400	35	유	무	무
	40	무	무	무
	45	무	무	무
420	35	무	무	무
	40	무	무	무
	45	무	무	무

유 : 용적변화 발생, 무 : 용적변화 없음

2) 플로우

배합비에 따른 기포콘크리트의 플로우 시험결과는 표 8 및 그림 1과 같다.

표 8. 플로우 시험결과(mm)

C (kg/m ³)	W/C (%)	기포액 희석율		
		3%	4%	5%
320	35	156	183	170
	40	209	212	196
	45	227	224	194
350	35	193	203	160
	40	205	196	199
	45	233	224	217
400	35	186	194	196
	40	222	224	222
	45	237	254	244
420	35	200	187	192
	40	209	231	220
	45	254	254	232

기포콘크리트의 플로우는 단위시멘트량이 증가함에 따라 다소 높아지는 양상을 나타내었으며, 물시멘트비의 변화에 따른 플로우는 물시멘트비가 높아짐에 따라 증가하는 것으로 나타났다. 이는 기포콘크리트 전체 체적 중 시멘트 페이스트의 량이 증가하였기 때문으로 판단된다.

또한 기포콘크리트의 기포제 회석비율에 따른 플로우는 3%에 비하여 4%의 경우 다소 증가하는 양상을 나타내었으나, 5%의 경우에는 플로우는 감소하였다. 이는 기포제 회석비율 5%의 경우 타 조건에 비하여 기포의 크기가 매우 미세하게 되어 기포간의 응집력이 증가함으로써 발생하는 현상으로 판단된다.

따라서, 기포콘크리트의 시공성을 고려한다면 기포제의 회석비율은 4%로 하는 것이 적절할 것으로 판단되며, 시멘트의 사용량을 증가시키고 또한 물시멘트비를 높이는 것이 시공성의 확보에 유리할 것으로 판단된다.

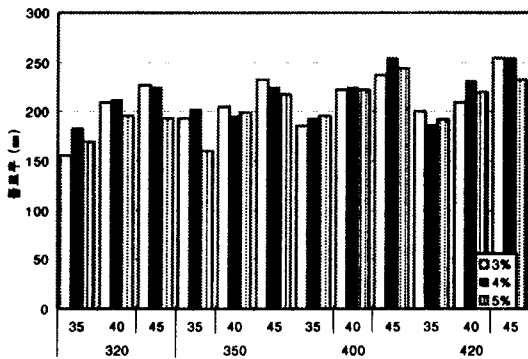


그림 1. 기포콘크리트의 플로우 (배합비별)

3) 단위용적중량

배합비에 따른 기포콘크리트의 단위용적중량 시험결과는 표 9 및 그림 2와 같다.

표 9. 기포콘크리트의 단위용적중량(t/m³)

C (kg/m³)	W/C (%)	기포제 회석율		
		3%	4%	5%
320	35	-	0.25	-
	40	-	0.35	-
	45	-	-	-
350	35	0.24	0.28	-
	40	-	-	0.29
	45	-	0.28	-
400	35	-	0.31	0.42
	40	0.34	0.36	0.38
	45	0.38	0.43	0.42
420	35	0.27	0.21	0.37
	40	0.32	0.37	0.39
	45	0.41	0.42	0.43

기포콘크리트의 단위용적중량은 단위시멘트량 및 물결합재비가 증가함에 따라 높아지는 양상을 나타내었으며, 이는 시멘트 페이스트의 량이 증가함에 따라 발생하는 현상인 것으로 판단된다.

또한 본 연구에서 제작한 기포콘크리트의 단위용적중량은

모든 조건에서 약 0.45t/m³ 이하의 측정치를 나타내었다. 따라서, 본 연구에서 제작한 기포콘크리트를 건축재료로서 활용한다면 건축물의 자중을 경감하는 효과를 발휘할 것으로 판단된다.

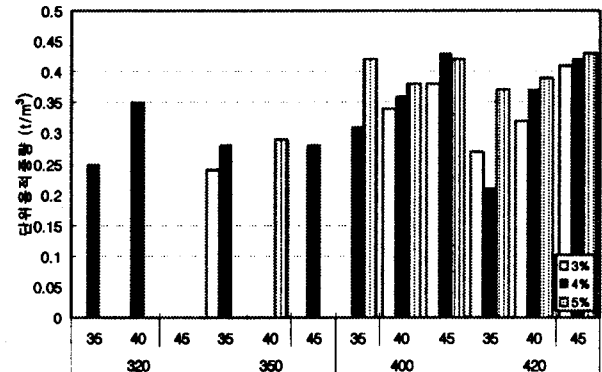


그림 2. 기포콘크리트의 단위용적중량 (배합비별)

4) 압축강도

배합비에 따른 기포콘크리트의 압축강도 시험결과는 표 10 및 그림 3과 같다.

표 10. 압축강도 시험결과 (kgf/cm²)

C (kg/m³)	W/C (%)	기포제 회석율		
		3%	4%	5%
320	35	-	0.87	-
	40	-	2.01	-
	45	-	-	-
350	35	1.26	2.66	-
	40	-	-	2.93
	45	-	4.19	-
400	35	-	1.60	2.38
	40	4.57	4.71	4.93
	45	5.61	7.97	6.43
420	35	2.29	2.10	1.87
	40	2.98	5.76	2.66
	45	7.64	10.87	6.77

기포콘크리트의 압축강도는 단위시멘트량이 증가함에 따라 높아지는 양상을 나타내었으며, 물시멘트비가 높아짐에 따라 증진하였다. 이는 기포콘크리트 내부의 기포량과 매우 밀접한 관계에 있으며, 본 연구에서는 기포콘크리트의 기포량을 단위 체적에 대하여 시멘트 페이스트의 체적을 감한 량을 투입하였으므로 동일 단위시멘트량에서 물시멘트비가 증가함에 따라 기포량이 감소하여 기인한 현상으로 판단된다.

기포제 회석비율에 따른 기포콘크리트의 압축강도는 회석비율 4%의 경우가 가장 우수한 것으로 나타났으며, 단위시멘트량 400kg/m³ 이상의 범위에서 압축강도는 큰 폭으로 상승하는 것으로 측정되었으며, 단위시멘트량 420kg/m³-물시멘트비 45%에서의 압축강도는 약 11kgf/cm²로서 가장 높게 측정되었다. 따라서 기포콘크리트의 강도를 확보하기 위해서는 단위시멘트량이 최소 400kg/m³ 이상이 되어야 할 것으로 판단되며, 기포콘크리트의 압축강도는 시멘트 페이스트의 량과 기포량

에 매우 밀접한 관계가 있는 것으로 판단된다.

이상의 결과를 종합하여 볼 때, 기포제의 희석비율은 4%, 단위시멘트량은 420kg/m³의 경우가 가장 우수하였다.

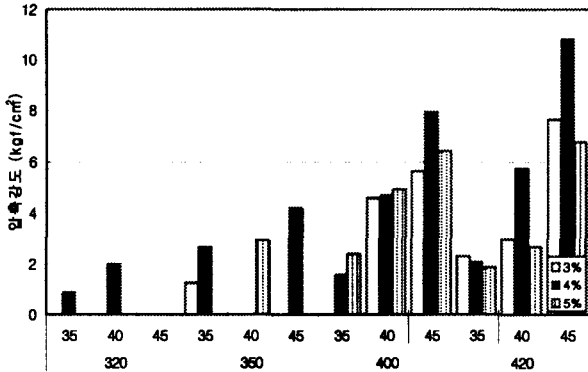


그림 3. 기포콘크리트의 압축강도

3.2 특수용도 충전재로서 기포콘크리트의 적용성

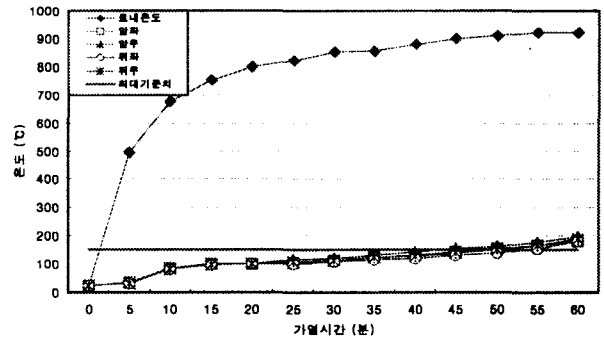
특수용도 충전재로서 기포콘크리트의 적용성을 검토하기 위하여 기포콘크리트를 충전한 시험체를 제작하여 내화시험을 실시하였다.

기포콘크리트의 배합은 단위시멘트량 420kg/m³-기포제 희석율 4%로 고정하였으며, 내화성 향상을 목적으로 첨가재 A, 첨가재 B, 첨가재 C 등을 혼입하였다.

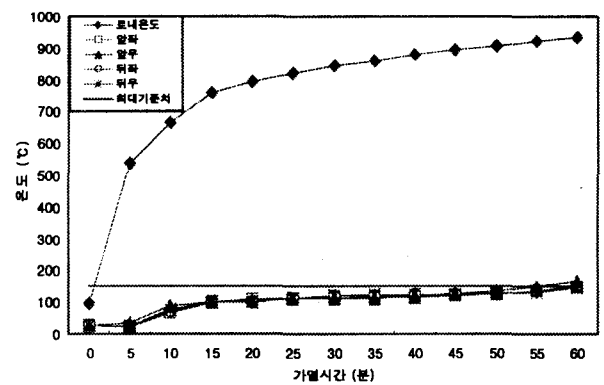
내화시험은 KS F 2257-1(건축구조부재의 내화시험방법-ISO 834)에 준하여 실시하였으며, 시험체 내부의 최고온도 상승치를 바탕으로 내화도를 판정하였다. 각 시험체 별 내화시험 시 내부의 온도상승은 그림 4와 같다.

기포제만을 이용하여 제작한 기포콘크리트를 충전하여 제작한 시험체는 약 45분에서 내부 온도 최대 기준치인 150℃를 상회하였다. 또한 가열시간 60분의 시험체 내부 평균온도는 187℃로서 기준치를 큰 폭으로 상회하는 것으로 나타났다. 따라서, 기포제만을 이용하여 제작한 기포콘크리트는 특수용도 충전재로서의 활용가능성이 매우 낮은 것으로 판단되며, 이를 보완하기 위해서는 충전재의 내화도를 증가시키기 위한 조치가 강구되어야 할 것으로 판단된다.

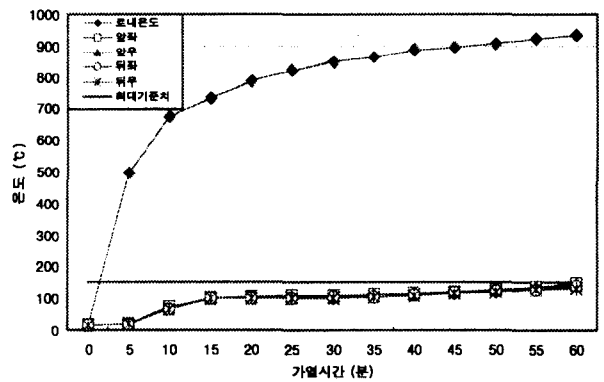
기포제와 첨가재 A를 사용하여 제작한 기포콘크리트를 충전한 시험체는 가열시간 55분 이내에서는 내화기준을 만족하였으나, 가열시간 60분에서의 평균 내부온도는 154℃로서 내화기준을 다소 상회하는 것으로 측정되었다. 그러나, 기포제만을 사용한 것에 비하여 내부온도의 상승량이 감소하는 것으로 나타나, 첨가재 A는 기포콘크리트의 내화성을 증진시키는 효과를 발휘하는 것으로 나타났다. 따라서 기포제와 첨가재 A를 이용한 기포콘크리트를 특수용도 충전재로서 활용하기 위해서는 첨가재 A의 사용비율을 다소 조정할 필요가 있을 것으로 판단된다.



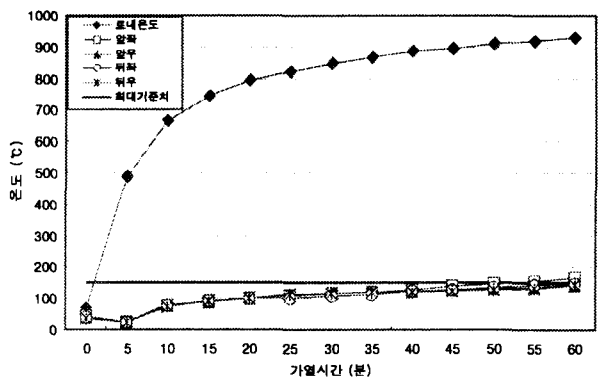
(가) 기포제만을 사용



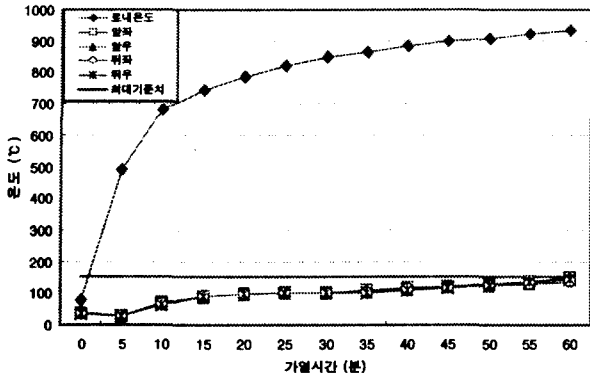
(나) 기포제 및 첨가재 A 사용



(다) 기포제 및 첨가재 B 사용



(라) 기포제 및 첨가재 C 사용



(마) 기포제, 첨가제 B 및 첨가제 C 사용
그림 4. 기포콘크리트 충전 시험체의 내화성

기포제와 첨가제 B를 사용하여 제작한 기포콘크리트를 충전한 시험체 경우 내화시험 기준을 만족하는 것으로 나타나, 특수용도 충전재로서의 활용성이 매우 높은 것으로 나타났다.

기포제와 첨가제 C를 사용한 기포콘크리트를 충전한 시험체는 가열시간 55분에서 내화기준을 상회하는 것으로 나타나, 첨가제 C를 사용하여 제작한 기포콘크리트는 특수용도 충전재로서 활용할 수 없을 것으로 판단된다.

기포제와 첨가제 B, 첨가제 C를 사용하여 제작한 기포콘크리트를 시험체에 충전한 경우는 내화기준을 만족하는 것으로 나타났다. 이의 온도상승 양상은 첨가제 B만을 사용한 경우와 유사한 것으로 나타나, 첨가제 B의 효과에 의해 내화기준에 부합되는 결과를 나타내는 것으로 판단된다.

따라서, 특수용도 충전재로서 기포콘크리트를 제조할 경우에는 내화도를 높이기 위하여 첨가제 A와 첨가제 B의 사용이 필요할 것으로 판단된다.

4. 결 론

특수용도 충전재로서 기포콘크리트의 활용성을 검토하기 위하여, 배합비에 따른 기포콘크리트의 물성과 내화실험을 실시한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 기포콘크리트의 배합비에 따른 용적변화를 관찰한 결과, 기포콘크리트의 체적변화를 저감하기 위해서는 기포혼입율 70%이내, 단위시멘트량 400kg/m³ 이상이 되어야 할 것으로 판단된다.
- 2) 기포콘크리트 플로우 시험결과, 기포콘크리트의 시공성을 고려한다면 기포제의 희석비율은 4%로 하는 것이 좋을 것으로 판단되며, 시멘트의 사용량을 증가시키고 물시멘트비를 높이는 것이 시공성의 확보에 유리할 것으로 판단된다.
- 3) 기포콘크리트의 단위용적중량은 단위시멘트량 및 물결합재비가 증가함에 따라 높아지는 양상을 나타내었으며, 이는 시멘트 케이스트의 량이 증가함에 따라 발생하는 현상인 것으로 판단된다.

4) 기포제의 희석비율은 4%, 단위시멘트량은 420kg/m³으로 제작한 기포콘크리트의 압축강도가 가장 우수하였다.

5) 기포콘크리트를 충전한 시험체의 내화시험에서 기포콘크리트만을 사용한 조건은 내화기준을 큰 폭으로 상회하였으나, 첨가제 A와 첨가제 B를 사용함으로써 내화기준을 만족하는 내화충전물의 제조가 가능하였다.

이상의 결과에서 특수용도 충전재로서 기포콘크리트는 활용이 가능할 것으로 판단되며, 이를 위하여 기포콘크리트 제조시 기포제 외에 첨가제의 추가사용이 고려되어야 할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 박상순, 고분자기포제를 이용한 경량기포콘크리트의 개발과 역학적 특성, 연세대학교 토목공학과 석사학위 논문, 1996 .6
2. 서치호, 경량콘크리트의 성태에 관한 실험적 연구, 한양대학교 박사학위 논문, 1985
3. 이승한, 이종우, 공성훈, 정해구, Bottom Ash를 이용한 기포콘크리트의 열전도특성, KCI 가을학술발표회 논문집, 제 7권, 2호, KCI, 1995
4. 정동학, 퍼라이트를 이용한 경량물탈의 강도에 관한 실험적 연구, 건국대학교 석사학위 논문, 1988
5. Watson, K.L., Eden, N.b. and Farrant, J.R., The Effect of Admixture on the Relationship between Compressive Strength and Density of Autoclaved Aerated Concrete made from Slate Powder and Portland Cement, Silicates Industrials, Vol. 43, 1978, pp. 57-64
6. 山田哲夫, 超軽量コンクリート開発, セメント・コンクリート, No. 577, 1995, pp. 32-36
7. 森範行, 佐勝常雄, 桑原止彦, 氣泡混合補強土工法, 特集軽量盛土工法, 1994, pp. 28-36
8. Isu, N., Teramura S. and Mitsuda T., Mechanical Property Evaluation during Autoclaved Process of Aerated Concrete using Slag : II Fracture Toughness and Microstructure, Journal of the American Ceramic Society, 1994, pp. 2093-2096
9. Edan, N.b., Manthorpe, A.R., Autoclaved Aerated Concrete from Slate Waste Part 1 : Some Property/Density Relationships, The International Journal of Lightweight Concrete, Vol. 2, No. 2, 1980, pp. 95-100