

# 기포콘크리트를 이용한 친환경 내화충진제개발에 관한 기초적 연구

## A Fundamental Study on the Development of Fire Resistance Filling of Friendly Environment Using Aerated Concrete

이종일\*                      임남기\*\*  
Lee, jong-il                 Lim, Nam-Gi

### Abstract

In this study, we processed two procedures of application test of filler for fire-resistance 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 : 내화성능, 기포 콘크리트, 배합 표준화, 기초 자료, 내화시험

keywords : Fire-resistance, Aerated Concrete, Standardization of Mixing, Basic Data, Test of Fireproof

### 1. 서론

#### 1.1 연구배경 및 목적

기포콘크리트는 건축물에 있어 바닥 난방 구성층의 축열층 및 단열층 재료로서 널리 활용되고 있다. 또한 경량 기포콘크리트는 현재 경량패널의 내부충진재, 연약지반 보강재 등의 재료로서 활용의 폭을 넓혀 가고 있다. 일반적으로 기포콘크리트는 기포제를 활용하여 시멘트 경화체 내에 다량의 공극을 발생시켜 제조한 경량콘크리트의 일종으로서, 그 조직구조에 기인하여 경량성을 비롯한 단열성, 방음성, 내화성 등의 다양한 효과를 발휘하는 것으로 보고되고 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 내화충진재로서의 활용가능성을 검토하고자 한다.

#### 1.2 연구방법 및 범위

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

배합비에 따른 기포콘크리트의 물성 시험에서 배합은 단위시멘트량 및 물결합재비를 변화시켰으며, 기포제 희석율 및 기포제 투입비율을 변화시켜 실시하였다. 또한 기포콘크리트의 강도를 증가시킬 목적으로 아크릴 폴리머를 첨가하는 조건을 추가하여 진행하였다.

실험은 제작된 시험체의 플로우와 체적변화를 측정하였으며, 체적의 변화가 발생되지 않은 조건에 한하여 단위용적중량 및 압축강도를 측정하였다.

\* 주저자, 동명대학교 건축대학 부교수, 공학박사(jongil@tu.ac.kr)

\*\* 교신저자, 동명대학교 건축대학 부교수, 공학박사(ing@tu.ac.kr)

기포콘크리트의 내화충진재로서의 적용성 시험은 본 연구에서 도출한 적정 배합비에 따라 시체를 제작하였으며, 이를 내화시험규준에 준하여 시험하여 시험체 내부의 최고온도 상승치를 측정하였다.

이상의 결과를 비교·분석하여 기포콘크리트의 배합 및 제조규준 확립에 관한 기초자료를 제시하고, 또한 특수용도 충진재로서의 기포콘크리트의 활용성을 제시하는 것까지를 본 연구의 범위로 하였다.

### 1.3 기존문헌의 고찰

기포콘크리트는 잔골재를 쓰지 않고 콘크리트 속에 많은 기포를 만들어 무게를 가볍게 한 콘크리트로서 온돌 난방을 하는 우리나라에서는 바닥난방 구성층으로 사용되어 왔으며, 1990년 이후부터 성능향상을 위한 지속적인 연구를 진행하여 왔다.

한편 기포콘크리트는 시간이 경과함에 따라 내부의 기포파손으로 체적변화를 수반하고 있어 이를 막기 위한 노력으로, 한천구 교수팀의 혼화재료의 치환에 따른 경량 기포 콘크리트의 기초적 특성, 김진만 교수팀의 폐콘크리트 미분을 사용한 경량기포콘크리트의 특성에 관한 실험적 연구 등 다양한 혼화재를 통한 체적변화 제어에 지속적으로 연구를 수행하고 있는 실정이다.

## 2. 실험

### 2.1 실험개요

내화급고 충진재로서 기포콘크리트의 활용성을 검토하기 위하여, 기포콘크리트의 배합비에 따른 물성시험을 진행하였다. 단위시멘트량은 현재 건축현장에서 기포콘크리트 제조시 주로 적용되는 320kg/m<sup>3</sup>에서 420kg/m<sup>3</sup>의 범위까지 총 4수준으로 구분하였다. 또한 물결합재비는 각각 35%, 40%, 45%, 기포액 제조를 위한 기포제의 희석비율은 각각 3%, 4%, 5%로 변화시켜 기포콘크리트를 제작하였다.

또한, 기포콘크리트의 강도를 증가시키기 위하여 아크릴 폴리머를 배합수에 대하여 치환하여 기포콘크리트를 제작하였다. 본 연구의 실험인자 및 수준은 표 1과 같다.

표 1. 실험인자 및 수준

| 실험인자                       | 수준                 |
|----------------------------|--------------------|
| 단위시멘트량(kg/m <sup>3</sup> ) | 320, 350, 400, 420 |
| 물시멘트비(%)                   | 35, 40, 45         |
| 기포액 희석율(%)                 | 3, 4, 5            |
| 아크릴 폴리머 치환율(%)             | 10, 20, 30, 40     |

### 2.2 사용재료

#### 가. 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  | 화학생분 함량(%)                | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO   | MgO                        | SO <sub>3</sub> | Ig.loss |
|--------|---------------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|----------------------------|-----------------|---------|
|        |                           | 21.95            | 6.59                           | 2.81                           | 60.12 | 3.32                       | 2.11            | 2.58    |
| 물리적 성질 | 비표면적 (cm <sup>2</sup> /g) | 비중               |                                | 응결시간                           |       | 압축강도(kgf/cm <sup>2</sup> ) |                 |         |
|        |                           | 초결               | 중결                             | 초결                             | 중결    | 3일                         | 7일              | 28일     |
|        | 3,112                     | 3.14             | 4시간                            | 6시간                            | 198   | 272                        | 389             |         |

#### 나. 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 <sub>4</sub> Cl | CaCl | MgCl | FeSO <sub>4</sub> |
|----|-----|------|--------------------|------|------|-------------------|
| 36 | 32  | 10   | 1                  | 6    | 5    | 10                |

#### 다. 아크릴 폴리머

본 연구에 사용한 아크릴 폴리머는 국내 A사에서 생산한 것으로 그 성분과 성상은 표 5와 같다.

표 5. 아크릴 폴리머의 성분 및 성상

| 성분       | 고형분 | pH      | 점도       | 비중   |
|----------|-----|---------|----------|------|
| 아크릴 공중합체 | 47% | 8.0~9.5 | 500cps이하 | 1.03 |

#### 라. 배합수

배합수는 부산광역시 상수도 물을 사용하였다.

### 2.3 기포콘크리트의 배합

기포콘크리트의 배합은 단위시멘트량 및 물결합재비를 변화시켜 실시하였으며, 기포량은 단위용적에 대하여 시멘트페이스트의 용적을 제외한 용적만큼 투입되도록 조정하였다.

기포콘크리트의 배합은 표 6과 같다.

표 6. 기포콘크리트의 배합

| C (kg/m <sup>3</sup> ) | W/C (%) | W (kg/m <sup>3</sup> ) | 기포콘크리트 제조량 (1m <sup>3</sup> ) |         |
|------------------------|---------|------------------------|-------------------------------|---------|
|                        |         |                        | 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 배출시간을 시험한 결과는 표 7과 같다.

표 7. 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**

**가. 기포콘크리트의 배합 및 시험체 제작**

기포콘크리트의 배합은 특별히 제작한 기포콘크리트 제조설비를 이용하여 그림1과 같이 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 휩강도 시험용 몰드, 압축강도 시험용 공시체는 5cm크기의 입방몰드를 이용하여 제작하였으며, 24시간 동안 기중양생 후 탈형하여, 온도 20±3℃에서 소요재령까지 봉함양생하였다.

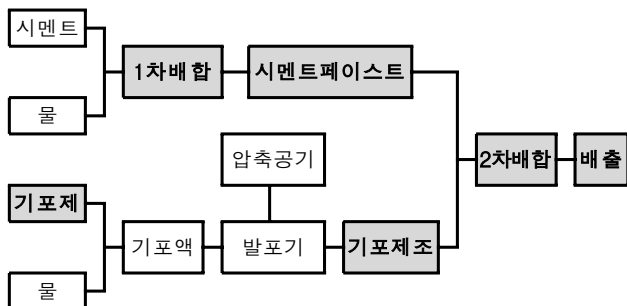


그림 1. 기포콘크리트의 배합

**나. 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, 내부표면에서 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.

**3. 실험결과 및 고찰**

**3.1 배합비에 따른 기포콘크리트의 물성**

**가. 용적변화**

기포콘크리트의 배합비 및 혼화재료 치환에 따른 용적변화 관찰결과는 표 8과 같다.

표 8. 기포콘크리트의 용적변화 유무

| C (kg/m <sup>3</sup> ) | 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  |    |
| C (kg/m <sup>3</sup> ) | W/C     | 아크릴 폴리머 치환율(%) |    |    |    |
|                        |         | 10             | 20 | 30 | 40 |
| 400                    | 35      | 무              | 무  | 무  | 무  |
|                        | 40      | 무              | 무  | 무  | 무  |
|                        | 45      | 무              | 무  | 무  | 무  |

\* 유 : 용적변화 발생, 무: 용적변화 없음

기포콘크리트의 배합비에 따른 용적변화를 관찰한 결과, 단위시멘트량 및 물시멘트비의 변화에 따라 각기 다른 양상을 나타내었다.

단위시멘트량 320kg/m<sup>3</sup>의 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/m<sup>3</sup>의 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/m<sup>3</sup>에 비하여 다소 개선되는 양상을 나타내었으나, 기포제 희석율의 작은 변화에 따라 기포콘크리트의 체적변화의 발생여부가 좌우되므로 기포콘크리트 제조시 단위시멘트량을 350kg/m<sup>3</sup>으로 할 경우에는 기포제의 희석율에 대한 정밀한 품질관리가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

단위시멘트량 400kg/m<sup>3</sup>과 420kg/m<sup>3</sup>의 경우에는 단위시멘트량 400kg/m<sup>3</sup> · 물시멘트비 35% · 기포제 희석율 3%를 제외한 모든 물결합재비 및 기포제 희석율에서 기포콘크리트의 타설 후 체적변화가 관찰되지 않았다.

따라서 단위시멘트량 400kg/m<sup>3</sup>이상의 범위에서는 기포제의 희석비율은 기포콘크리트의 체적변화에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났으므로 체적변화의 관점에서 기포콘크리트의 품질관리를 실시한다면 단위시멘트량은 400kg/m<sup>3</sup>이상이 되어야 할 것으로 판단된다.

단위시멘트량 및 물결합재비가 증가함에 따라 기포콘크리트의 체적변화가 개선되는 현상은 시멘트 페이스트량의 증가에 따라 상대적으로 기포량이 감소함에 기인한 것으로 사료되며, 단위시멘트량 400kg/m<sup>3</sup>과 420kg/m<sup>3</sup>의 기포량은 약 68%~73% 정도였다.

따라서, 기포콘크리트의 기포혼입량 약 70%이상의 범위에서는 타설 후 체적변화현상의 발생비율이 높을 것으로 판단되어, 이상의 조건에서 기포콘크리트를 제조한다면 기포콘크리트의 체적변화가 발생되지 않도록 기포제 희석율의 정확한 제어 등의 조치가 수반되어야 할 것으로 판단된다.

아크릴 폴리머를 치환하여 제작한 기포콘크리트는 모든 조건에서 체적의 변화가 발생하지 않았다. 따라서 아크릴 폴리머의 경우 기포콘크리트의 체적변화에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났으며, 또한 아크릴 폴리머의 치환율은 기포콘크리트 제조 시 경제성 등을 고려할 때 10%가 적정할 것으로 판단된다.

이상의 결과에서 기포콘크리트의 체적변화를 저감하기 위해서는 단위시멘트량이 최소 400kg/m<sup>3</sup>이상이 되어야 할 것으로 판단되며, 또한 아크릴 폴리머의 사용에 따른 문제점은 발생하지 않았으므로 아크릴 폴리머는 기포콘크리트 제조용 혼화재료로서 사용이 가능할 것으로 보인다.

나. 플로우

배합비에 따른 기포콘크리트의 플로우 시험결과는 표 9 및 그림 2, 그림 3과 같다.

표 9. 플로우 시험결과(cm)

| C<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | W/C<br>(%) | 기포액 희석율        |      |      |      |
|---------------------------|------------|----------------|------|------|------|
|                           |            | 3%             | 4%   | 5%   |      |
| 320                       | 35         | 15.6           | 18.3 | 17.0 |      |
|                           | 40         | 20.9           | 21.2 | 19.6 |      |
|                           | 45         | 22.7           | 22.4 | 19.4 |      |
| 350                       | 35         | 19.3           | 20.3 | 16.0 |      |
|                           | 40         | 20.5           | 19.6 | 19.9 |      |
|                           | 45         | 23.3           | 22.4 | 21.7 |      |
| 400                       | 35         | 18.6           | 19.4 | 19.6 |      |
|                           | 40         | 22.2           | 22.4 | 22.2 |      |
|                           | 45         | 23.7           | 25.4 | 24.4 |      |
| 420                       | 35         | 20.0           | 18.7 | 19.2 |      |
|                           | 40         | 20.9           | 23.1 | 22.0 |      |
|                           | 45         | 25.4           | 25.4 | 23.2 |      |
| C<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | W/C        | 아크릴 폴리머 치환율(%) |      |      |      |
|                           |            | 10             | 20   | 30   | 40   |
| 400                       | 35         | 30.0           | 30.0 | 30.0 | 30.0 |
|                           | 40         | 30.0           | 30.0 | 30.0 | 30.0 |
|                           | 45         | 30.0           | 30.0 | 30.0 | 30.0 |

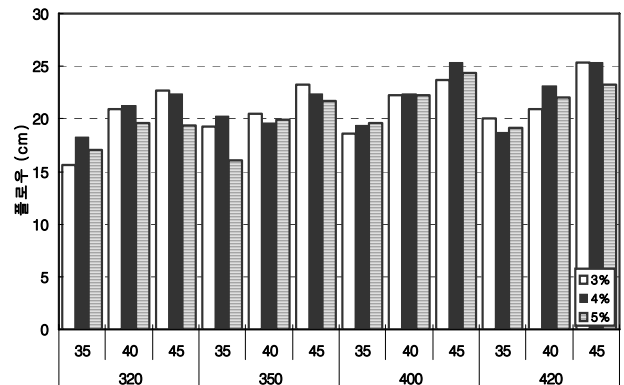


그림 2. 기포콘크리트의 플로우 (배합비별)

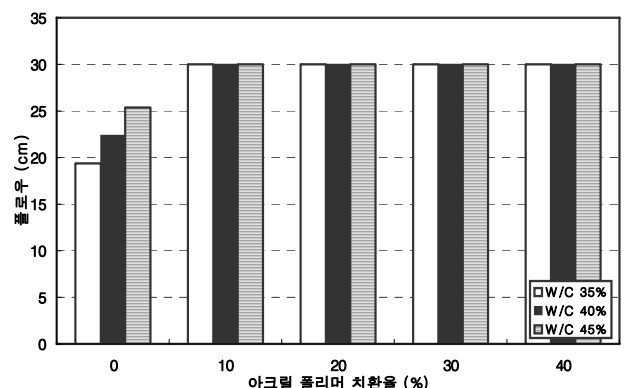


그림 3. 기포콘크리트의 플로우 (아크릴 폴리머 치환)

기포콘크리트의 플로우는 단위시멘트량이 증가함에 따라 다소 높아지는 양상을 나타내었으며, 물시멘트비의 변화에 따른 플로우는 물시멘트비가 높아짐에 따라 증가하는 것으로 나타났다. 이는 기포콘크리트 전체 체적 중 시

멘트 페이스트의 량이 증가하였기 때문으로 판단된다.

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

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

아크릴 폴리머는 기포콘크리트의 플로우를 큰 폭으로 개선하는 효과를 발휘하였으므로 실제로 이를 활용한다면 기포콘크리트의 시공성 향상에 기여할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 특수용도 제품 내부에 기포콘크리트의 충전시 충전성을 향상시킬 수 있는 방안으로서의 활용도 가능할 것으로 예상된다.

**다. 단위용적중량**

배합비에 따른 기포콘크리트의 단위용적중량 시험결과는 표 10 및 그림 4, 그림 5와 같다.

표 10. 기포콘크리트의 단위용적중량(t/m<sup>3</sup>)

| C<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | W/C<br>(%) | 기포액 희석율        |      |      |     |
|---------------------------|------------|----------------|------|------|-----|
|                           |            | 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 |     |
| C<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | W/C<br>(%) | 아크릴 폴리머 치환율(%) |      |      |     |
|                           |            | 10             | 20   | 30   | 40  |
| 400                       | 35         | 0.5            | 0.4  | 0.4  | 0.4 |
|                           | 40         | 0.5            | 0.5  | 0.5  | 0.5 |
|                           | 45         | 0.5            | 0.4  | 0.5  | 0.5 |

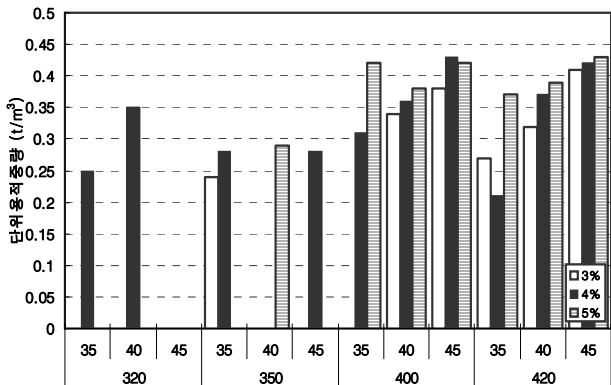


그림 4. 기포콘크리트의 단위용적중량 (배합비별)

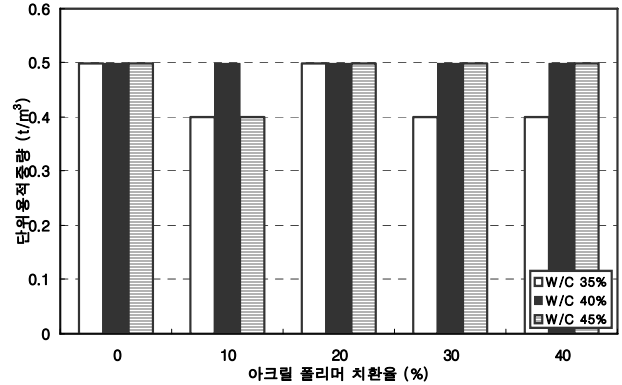


그림 5. 기포콘크리트의 단위용적중량 (아크릴 폴리머 치환)

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/m<sup>3</sup> 이하의 측정치를 나타내었다. 따라서, 본 연구에서 제작한 기포콘크리트를 건축재료로서 활용한다면 건축물의 자중을 경감하는 효과를 발휘할 것으로 판단된다.

기포콘크리트에 아크릴 폴리머를 혼용함에 따라 기포콘크리트의 단위용적중량은 약 2배 정도 증가하는 양상을 나타내었으나, 모든 조건에서 기포콘크리트의 단위용적중량은 0.5t/m<sup>3</sup> 정도로 측정되었다.

**라. 압축강도**

배합비에 따른 기포콘크리트의 압축강도 시험결과는 표 11 및 그림 6, 그림 7과 같다.

표 11. 압축강도 시험결과 (kgf/cm<sup>2</sup>)

| C<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | W/C<br>(%) | 기포액 희석율        |       |       |       |
|---------------------------|------------|----------------|-------|-------|-------|
|                           |            | 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  |       |
| C<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | W/C<br>(%) | 아크릴 폴리머 치환율(%) |       |       |       |
|                           |            | 10             | 20    | 30    | 40    |
| 400                       | 35         | 8.26           | 4.62  | 5.98  | 3.69  |
|                           | 40         | 12.40          | 9.74  | 10.50 | 9.90  |
|                           | 45         | 12.20          | 5.12  | 12.70 | 11.60 |

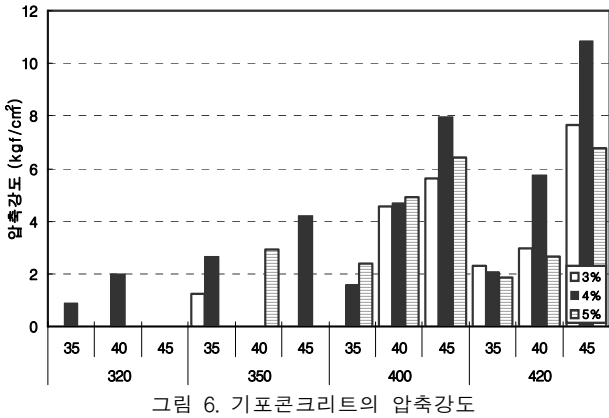


그림 6. 기포콘크리트의 압축강도

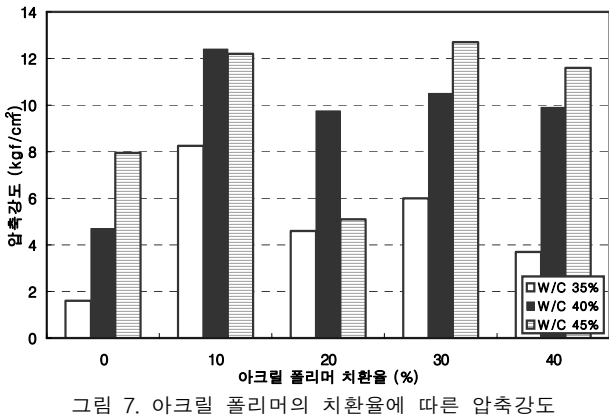


그림 7. 아크릴 폴리머의 치환율에 따른 압축강도

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

일반적으로 시멘트 경화체의 강도는 물시멘트비가 증가함에 따라 감소하는 것(물시멘트비설)으로 보고되고 있으나, 이는 경화체 내부의 잉여수 발생량에 대한 고려에 의한 것이다. 한편 시멘트 경화체의 강도이론에는 공극비설이 있으며, 이는 경화체 내부 발생 공극의 비율에 의하여 경화체의 강도가 결정된다는 것이다. 따라서, 기포콘크리트의 압축강도에 대해서는 일반적으로 인식되고 있는 물시멘트비설에 의한 해석보다는 공극비설에 의하여 그 강도발현 양상을 유추하는 것이 적합할 것으로 보인다.

기포제 희석비율에 따른 기포콘크리트의 압축강도는 희석비율 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 기포량에 매우 밀접한 관계가 있

는 것으로 판단된다.

기포콘크리트에 아크릴 폴리머의 사용시 기포콘크리트의 압축강도를 증진시키는 효과를 발휘하였으며, 아크릴 폴리머의 치환율에 따른 압축강도는 치환율 10%와 30%의 경우가 가장 우수한 것으로 측정되었다. 따라서 아크릴 폴리머의 사용에 따른 기포콘크리트의 제조단가 상승의 측면을 고려할 때 아크릴 폴리머의 사용량은 10%가 적정할 것으로 판단된다.

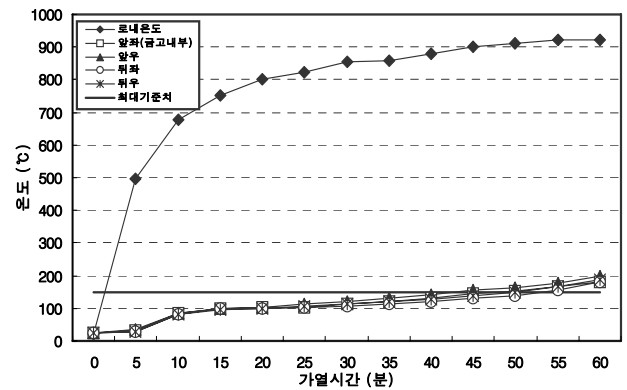
이상의 결과를 종합하여 볼 때, 기포제의 희석비율은 4%, 단위시멘트량은 420kg/m³의 경우가 가장 우수하였으며, 또한 아크릴 폴리머를 사용함으로써 기포콘크리트의 압축강도 증진이 가능하였다.

### 3.2 특수용도 충전제로서 기포콘크리트의 적용성

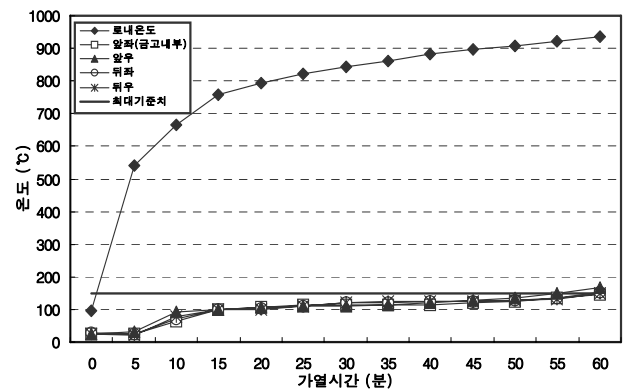
특수용도 충전제로서 기포콘크리트의 적용성을 검토하기 위하여 기포콘크리트를 충전한 시험체를 제작하여 내화시험을 실시하였다.

기포콘크리트의 배합은 단위시멘트량 420kg/m³ · 기포제 희석을 4%로 고정하였으며, 내화성 향상을 목적으로 아크릴 폴리머, 유리섬유, 퍼라이트 등을 혼입하였다.

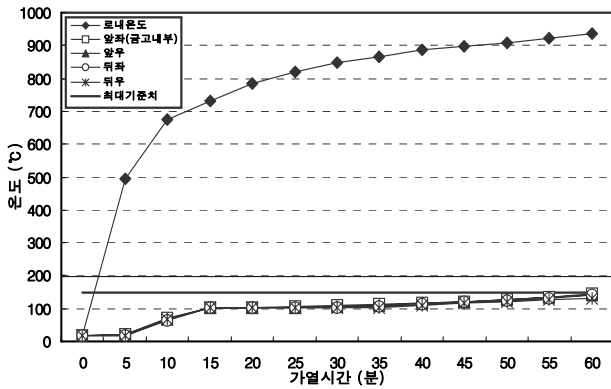
내화시험은 KS F 2257-1(건축구조부재의 내화시험방법 -ISO 834)에 준하여 실시하였으며, 시험체 내부의 최고온도 상승치를 바탕으로 내화도를 판정하였다. 각 시험체 별 내화시험 시 내부의 온도상승은 그림 8과 같다.



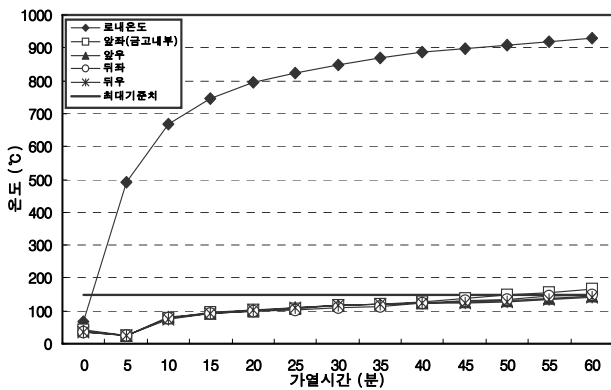
(가) 기포제만을 사용



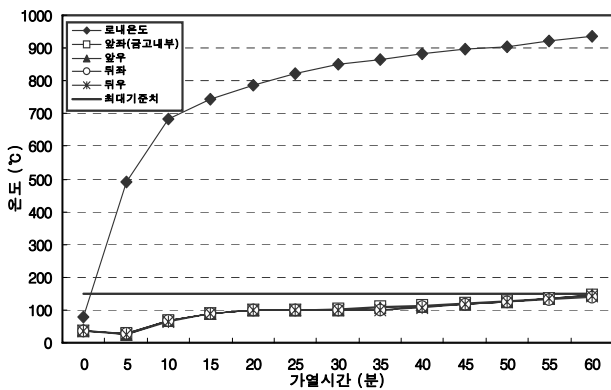
(나) 기포제 및 아크릴 폴리머 사용



(가) 기포제 및 유리섬유 사용



(라) 기포제 및 펄라이트 사용



(마) 기포제, 유리섬유 및 펄라이트 사용  
그림 8. 기포콘크리트 충전 시험체의 내화성

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

기포제와 아크릴 폴리머를 사용하여 제작한 기포콘크리트를 충전한 시험체는 가열시간 55분 이내에서는 내화

기준을 만족하였으나, 가열시간 60분에서의 평균 내부온도는 154°C로서 내화기준을 다소 상회하는 것으로 측정되었다. 그러나, 기포제만을 사용한 것에 비하여 내부온도의 상승량이 감소하는 것으로 나타나, 아크릴 폴리머는 기포콘크리트의 내화성을 증진시키는 효과를 발휘하는 것으로 나타났다. 따라서 기포제와 아크릴 폴리머를 이용한 기포콘크리트를 특수용도 충전제로서 활용하기 위해서는 아크릴 폴리머의 사용비율을 다소 조정할 필요가 있을 것으로 판단된다.

기포제와 유리섬유를 사용하여 제작한 기포콘크리트를 충전한 시험체 경우 내화시험 기준을 만족하는 것으로 나타나, 특수용도 충전제로서의 활용성이 매우 높은 것으로 나타났다.

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

기포제와 유리섬유, 펄라이트를 사용하여 제작한 기포콘크리트를 시험체에 충전한 경우는 내화기준을 만족하는 것으로 나타났다. 이의 온도상승 양상은 유리섬유만을 사용한 경우와 유사한 것으로 나타나, 유리섬유의 효과에 의해 내화기준에 부합되는 결과를 나타내는 것으로 판단된다.

따라서, 특수용도 충전제로서 기포콘크리트를 제조할 경우에는 내화도를 높이기 위하여 아크릴 폴리머와 유리섬유의 사용이 필요할 것으로 판단된다.

#### 4. 결론

특수용도 충전제로서 기포콘크리트의 활용성을 검토하기 위하여, 배합비에 따른 기포콘크리트의 물성과 이를 충전한 내화금고의 내화실험을 실시한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 기포콘크리트의 배합비에 따른 용적변화를 관찰한 결과, 기포콘크리트의 체적변화를 저감하기 위해서는 기포혼입율 70%이내, 단위시멘트량 400kg/m<sup>3</sup> 이상이 되어야 할 것으로 판단된다. 또한 아크릴 폴리머를 사용하여도 체적변화에는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타나, 기포콘크리트 제조 시 활용 가능할 것으로 사료된다.
2. 기포콘크리트 플로우 시험결과, 기포콘크리트의 시공성을 고려한다면 기포제의 희석비율은 4%로 하는 것이 좋을 것으로 판단되며, 단위시멘트량, 물멘트비가 증가함에 따라 또한, 아크릴 폴리머 등 혼화재료의 혼용 시 기포콘크리트의 플로우를 큰 폭으로 개선하는 효과를 발휘하는 것으로 측정되었다.
3. 기포콘크리트의 단위용적중량은 단위시멘트량 및 물결합

재비가 증가함에 따라 높아지는 양상을 나타내었으며, 알루미나 시멘트와 아크릴 폴리머를 혼용함에 따라 기포콘크리트의 단위용적중량은 약 2배정도 증가하였다.

4. 기포제의 희석비율은 4%, 단위시멘트량은 420kg/m<sup>3</sup>으로 제작한 기포콘크리트의 압축강도가 가장 우수하였으며, 또한 아크릴 폴리머를 사용함으로써 기포콘크리트의 압축강도 증진이 가능하였다.
5. 기포콘크리트를 충전한 시험체의 내화시험에서 기포콘크리트만을 사용한 기포콘크리트는 내화규준을 큰 폭으로 상회하였으나, 아크릴 폴리머와 유리섬유를 사용함으로써 내화규준을 만족하는 내화충진물의 제조가 가능하였다.

이상의 결과에서 내화충진재로서 기포콘크리트는 활용이 가능할 것으로 판단되며, 이를 위하여 기포콘크리트 제조 시 기포제 외에 첨가제의 추가사용이 고려되어야 할 것으로 판단된다.

### 참고문헌

1. 박상순, (1996 .6) “고분자기포제를 이용한 경량기포콘크리트의 개발과 역학적 특성”, 연세대학교 토목공학과 석사학위논문,
2. 서치호, (1985), “경량콘크리트의 성태에 관한 실험적 연구” 한양대학교 박사학위 논문
3. 한천구 외 4인 (2007. 06), “혼화재료의 치환에 따른 경량기포 콘크리트의 기초적 특성분석” 한국건축시공학회논문집
4. 김진만 외 5인 (2007. 04), “폐콘크리트 미분을 사용한 경량기포콘크리트의 특성에 관한 실험적 연구” 한국건축시공학회
5. 이승한, (1995), 이종우, 공성훈, 정해구, Bottom Ash를 이용한 기포콘크리트의 열전도특성, KCI 가을학술발표회 논문집, 제 7권, 2호, KCI
6. 정동학, (1988), “퍼라이트를 이용한 경량물탈의 강도에 관한 실험적 연구”, 건국대학교 석사학위 논문
7. 정재동, (2002), “콘크리트재료공학”, 보성각
8. 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
9. 山田哲夫, 超輕量コンクリート開發, セメント・コンクリート, No. 577, 1995, pp. 32~36
10. 森範行, 佐勝常雄, 桑原正彦, 氣泡混合補強土工法, 特集輕量盛土工法, 1994, pp. 28~36
11. 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
12. 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
13. Tada, S., Material Design of Aerated Concrete : An Optimum Performance Design, Materiaux et Constructions, Vol 19, No. 109, 1986, pp. 21~25