

碩士學位論文

폐콘크리트잔분을 이용한
경량기포콘크리트의 역학적 특성



濟州大學校 大學院

土木海洋工學科

姜 英 民

2010 年 2 月

폐콘크리트잔분을 이용한
경량기포콘크리트의 역학적 특성


指導教授 朴 相 烈


姜 英 民


이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함

2010年 2月

姜英民의 工學 碩士學位 論文으로 認准함

審査委員長 김 상 진 

委 員 박 상 권 

委 員 이 등 우 

濟州大學校 大學院

2010年 2月

Mechanical Characteristics of Lightweight Aerated Concrete using Waste Concrete Powder

Young-Min Kang

(Supervised by Professor Dr. Sang-Yeol Park)

A thesis submitted in partial fulfillment of the requirement for the
degree of master of engineering

2010. 2

This thesis has been examined and approved by

Thesis director, Sang-Jin Kim, Prof. of Civil engineering

Thesis director, Sang-Yeol Park, Prof. of Civil engineering

Thesis director, Dong-Wook Lee, Prof. of Civil engineering

February. 2010

Department of Civil & Ocean Engineering

GRADUATE SCHOOL

JEJU NATIONAL UNIVERSITY

목 차

| | |
|---|-----|
| List of Tables | v |
| List of Figures | vi |
| Summary | vii |
| | |
| I. 서론 | 1 |
| 1. 연구배경 및 목적 | 1 |
| 2. 연구내용 및 범위 | 3 |
| | |
| II. 이론적 배경 | 4 |
| 1. 경량기포콘크리트 | 4 |
| 1) 경량기포콘크리트의 정의 | 4 |
| 2) 경량기포콘크리트의 분류 | 5 |
| (1) 발포방법에 따른 분류 | 5 |
| (2) 양생방법에 따른 분류 | 6 |
| (3) 경화체의 결합상태에 따른 분류 | 6 |
| 2. 경량기포콘크리트의 구성 재료 | 7 |
| 1) 기포제 | 7 |
| (1) 동물성 단백질계 기포제 | 7 |
| (2) 식물성 기포제 | 8 |
| (3) 고분자 기포제 | 8 |
| 2) 잔골재 | 9 |
| (1) E.P.S (Expanded Poly-Styrene) | 9 |
| (2) 발포합성수지 칩 | 9 |
| (3) 기타재료 | 9 |
| 3) 시멘트 혼화재료 | 9 |

| | |
|-----------------------------|----|
| (1) Silica fume | 10 |
| (2) Meta kaolin | 10 |
| (3) Fly ash | 10 |
| 3. 경량기포콘크리트의 물리적 특성 | 11 |
| 1) 플로우 | 11 |
| 2) 흡수율 | 11 |
| 3) 겔보기밀도 | 12 |
| 4) 압축강도 | 12 |
| 4. 경량기포콘크리트의 제조과정 | 13 |
| 5. 폐콘크리트잔분 | 14 |
| 1) 폐콘크리트잔분의 발생현황 | 14 |
| 2) 폐콘크리트잔분의 발생과정 | 15 |
| 3) 폐콘크리트잔분의 전처리 | 16 |
| Ⅲ. 실험재료 및 실험방법 | 17 |
| 1. 실험개요 | 17 |
| 2. 실험재료 | 17 |
| 1) 폐콘크리트잔분 | 17 |
| (1) 물리적특성 | 17 |
| (2) 화학적특성 | 18 |
| 2) 시멘트 | 21 |
| 3) 실리카흙 | 22 |
| 4) 기포제 | 23 |
| 3. 실험계획 | 24 |
| 4. 실험방법 | 26 |
| 1) 공시체 제작 | 26 |
| 2) 실험항목 및 실험방법 | 26 |
| (1) 플로우 시험 | 26 |
| (2) 단위체적중량 시험 | 27 |

| | |
|--------------------------------------|-----------|
| (3) 공기량 시험 | 27 |
| (4) 겉보기밀도 시험 | 28 |
| (5) 흡수율 시험 | 28 |
| (6) 압축강도시험 | 28 |
| IV. 실험결과 | 30 |
| 1. 배합인자별 특성 | 30 |
| 1) 플로우 | 30 |
| 2) 겉보기밀도 | 32 |
| 3) 흡수율 | 33 |
| 4) 체적감소 | 34 |
| 5) 압축강도 | 35 |
| (1) 물/시멘트비와 단위시멘트량에 따른 압축강도 | 35 |
| (2) 물/시멘트비와 잔골재비율에 따른 압축강도 | 36 |
| (3) 겉보기밀도와 압축강도의 관계 | 37 |
| (4) 재령별 압축강도 | 38 |
| (5) 단위체적중량과 겉보기밀도의 관계 | 39 |
| (6) 단위체적중량과 압축강도의 관계 | 41 |
| (7) 실리카흙 대체 | 42 |
| 2. 배합설계 | 43 |
| 1) 잔골재비율과 겉보기밀도에 따른 압축강도 | 43 |
| 2) 잔골재비율과 단위체적중량의 상관관계 | 45 |
| 3) W/C와 S/C의 상관관계 | 47 |
| 4) 겉보기밀도와 공기량과의 상관관계 | 48 |
| 5) 배합설계 과정 | 49 |
| 6) 배합설계기준에 따른 압축강도실험결과 | 50 |
| 3. 폐콘크리트잔분을 사용한 경량기포콘크리트의 웰빙특성 | 51 |
| 1) 원적외선 방사율 시험 | 51 |
| 2) 탈취율 시험 | 52 |

| | |
|--------------------|----|
| 3) 항공광이 시험 | 53 |
| 4) 단열성 시험 | 54 |
| 5) 방음성 시험 | 55 |
| V. 결론 | 56 |
| 참고문헌 | 58 |



List of Tables

| | |
|---|----|
| Table. 2.1 Occurrence quantity of construction wastes (Unit: thousand-ton/year) | 14 |
| Table. 3.1 Chemical composition of waste concrete powder | 19 |
| Table. 3.2 The analysis of the harmful chemistry ingredient contents | 20 |
| Table. 3.3 Chemical characteristics of cement | 21 |
| Table. 3.4 Physical characteristics of cement | 21 |
| Table. 3.5 ratio comparisons of additive | 22 |
| Table. 3.6 Physical characteristics of animal foaming agent | 23 |
| Table. 3.7 Mix design table of lightweight aerated concrete (Unit: kg/m ³) | 25 |
| Table. 4.1 The coefficients of apparent density and fine aggregate ratio | 44 |
| Table. 4.2 The coefficients of fine aggregate ratio and unit cement quantity | 46 |
| Table. 4.3 The mix design result | 49 |
| Table. 4.4 The comparative result of the original infrared ray | 51 |
| Table. 4.5 The test result of deodorization ration | 52 |
| Table. 4.6 The antifungal test result | 53 |
| Table. 4.7 The thermal conductivity result of heat conduction | 54 |
| Table. 4.8 The sounds absorption test result | 55 |

List of Figures

| | |
|---|----|
| Fig. 3.1 Particle-size distribution curve of waste concrete powder | 18 |
| Fig. 3.2 SEM result of waste concrete powder ($\times 10,000$) | 19 |
| Fig. 3.3 Material testing machine | 29 |
| Fig. 3.4 Test piece | 29 |
| Fig. 4.1 Relationship of fine aggregate ratio and flow | 30 |
| Fig. 4.2 Relationship of fine aggregate ratio and apparent density | 32 |
| Fig. 4.3 Relationship of fine aggregate ratio and water absorption ratio | 33 |
| Fig. 4.4 Length change of lightweight aerated concrete | 34 |
| Fig. 4.5 Relationship of unit weight of cement and compressive strength | 35 |
| Fig. 4.6 Relationship of fine aggregate ratio and compressive strength | 36 |
| Fig. 4.7 Relationship of apparent density and compressive strength | 37 |
| Fig. 4.8 Relationship of σ_7 and σ_{28} | 38 |
| Fig. 4.9 Relationship of unit weight and apparent density | 39 |
| Fig. 4.10 Relationship of unit weight and compressive strength | 41 |
| Fig. 4.11 Relationship of silica fume and compressive strength | 42 |
| Fig. 4.12 Relationship of apparent density and compressive strength | 43 |
| Fig. 4.13 Relationship of S/C and apparent density | 45 |
| Fig. 4.13 Relationship of S/C and W/C | 47 |
| Fig. 4.14 Relationship of apparent density and air ration | 48 |
| Fig. 4.15 The result of compressive strength test | 50 |
| Fig. 4.15 Gas concentration curve | 52 |
| Fig. 4.16 Antifungal test | 53 |

Summary

Recently the concrete building and the road were been old. The redevelopment project is advanced actively because of this and the waste concrete every year are the tendency which increases. Also waste concrete are recycled above the maximum 90%. But waste concrete powder below 5mm occur from production process of the recycling aggregate and waste concrete powders are above 9% of waste concrete total quantity. Waste concrete powders are used almost in reclamation work. It seeks the recycling method of the waste concrete powder from various field.

From this research is mixed the waste concrete powders, the cement, the silica fume and the foaming agent and manufactured the lightweight aerated concrete. The lightweight foamed concrete improved the weak point of the usual concrete, and will give the efficiency which is excellent. The lightweight foamed concrete according to dry method is classified with the lightweight aerated concrete and the autoclaved lightweight concrete. Also according to foaming agent mixture method it is classified with the pre-foaming type, the after-foaming type and the mix-foaming type. From this research is used pre-foaming type of the lightweight aerated concrete.

The material which is used in test is the waste concrete powder below 0.075mm and makes with particle grinding of the waste concrete powder (below 5mm). Implants the foam within the concrete and the general concrete compared to develops the lightweight aerated concrete where the specific gravity and the compressive strength are excellent.

The compressive strength test result plan compressive strength standard of the lightweight aerated concrete it was satisfactory. Also analyzed excellently was the original infrared ray, deodorization, antifungal, thermal conductivity and sound absorption of the lightweight aerated concrete.

I. 서론

1. 연구배경 및 목적

최근 콘크리트구조물과 도로의 노후화로 인하여 재개발사업이 활발히 진행되고 있으며, 이에 따라 골재의 수요량 또한 증가되고 있는 추세이다. 하지만 천연자원의 고갈과 채석장으로 이용되고 있는 석산, 하천의 환경보존을 이유로 국내 천연골재의 생산량은 급격히 감소될 것으로 전망되고 있다. 이와 반대로 건설폐기물의 총 발생량은 매년 증가하고 있으며 건설폐기물의 큰 구성비를 차지하는 폐콘크리트 역시 발생량이 증가 하고 있어 건설폐기물로 인한 환경문제 해결 및 자원재활용에 관한 연구가 요구된다.

2005년 이후 환경부에서는 순환골재 사용을 의무화하기 위해 「건설폐기물의 재활용 촉진에 관한 법률」을 시행하여 폐콘크리트의 경우 최대 90%이상이 순환골재 등으로 재활용 되고 있으나 순환골재 생산 과정에서 발생하는 5mm이하의 폐콘크리트잔분은 폐콘크리트 총 처리량의 9%이상으로 이에 대한 처리방안이 미비한 실정이다. 폐콘크리트잔분은 일반 골재와 형상이나 특성이 비슷하며 시멘트 콘크리트의 부산물로 순수골재의 함량이 매우 높아 잔골재로 사용이 가능하다는 특징이 있다. 유럽과 미국의 경우 수십 년 전부터 폐콘크리트잔분에 대한 연구가 활발히 진행되어 발생하는 폐콘크리트잔분을 건설산업의 여러 분야에 적용되고 있으며, 국내의 경우는 도로 성토재, 뒷 채움재, 매립재에 대한 연구가 진행된바 있으나 아직 체계적인 연구가 미흡한 실정이다.

이와 같은 건설환경의 변화에 대응하기 위한 방안으로 건설현장에서 발생하는 5mm이하 폐콘크리트잔분을 미분으로 분쇄하여 시멘트를 주재료로 하는 슬러리에 기포제를 혼합시킨 경량기포콘크리트의 잔골재로써 사용을 검토하려 한다. 경량기포콘크리트는 경량콘크리트의 한 종류로써 시멘트 슬러리 내 다량의 기포를 혼합시켜 일반콘크리트에 비해 비중이 매우 작은 콘크리트로 정의 된다. 건물의 단열재와 방음재로 사용되는 스티로폼과 우레탄은 화재발생시 연소하여 유해 가스를 발생시키며 질식사의 거의 대부분을 차지하고 있어 내화성이 강하고 유해물질 발생이 거

의 없는 경량기포콘크리트가 단열재 및 방음재로 많은 각광을 받고 있다.

따라서 본 연구에서는 건설폐기물인 폐콘크리트잔분을 경량기포콘크리트의 잔골재로 사용함으로써 시멘트, 폐콘크리트잔분, 기포제의 변화량에 따른 실험을 실시하여 경량기포콘크리트의 플로우, 침하깊이, 압축강도, 단위체적중량 등의 역학적 특성에 미치는 영향을 분석하고자 한다.



2. 연구내용 및 범위

본 연구에서는 폐콘크리트잔분을 사용한 경량기포콘크리트의 단위시멘트량, 잔골재 비율, 물/시멘트비의 혼합을 변화에 따른 역학적 특성과 구조체로서 요구되는 소요강도에 대하여 분석하고자 하였으며, 경량기포콘크리트의 웰빙특성인 원적외선방사율, 탈취율, 항곰팡이시험과 단열성, 방음성시험을 실시하여 경량기포콘크리트의 기초적 특성을 분석하고자 한다. 본 연구의 범위는 다음과 같다.

- (1) 단위체적중량의 범위는 $0.5 \sim 1.5t/m^3$ 으로 한다.
- (2) 폐콘크리트잔분, 시멘트, 실리카흄을 혼합한 슬러리에 미리 생성된 기포를 주입하는 선기포 혼합방식을 이용한 경량기포콘크리트를 대상으로 한다.
- (3) 보통 포틀랜드시멘트를 사용하는 경량기포콘크리트를 대상으로 한다.
- (4) 기포제는 동물성 기포제를 사용한 경량기포콘크리트를 대상으로 한다.
- (5) 경량기포콘크리트의 양생은 습윤 양생법을 사용한다.
- (6) 폐콘크리트잔분(5mm이하)를 분쇄하여 No.200(0.075mm)체를 통과된 미분을 사용한 경량기포콘크리트를 대상으로 한다.
- (7) 경량기포콘크리트의 웰빙특성(원적외선방사율, 탈취, 항곰팡이)을 분석한다.
- (8) 경량기포콘크리트의 단열성 및 방음성을 분석한다.

II. 이론적 배경

1. 경량기포콘크리트

1) 경량기포콘크리트의 정의

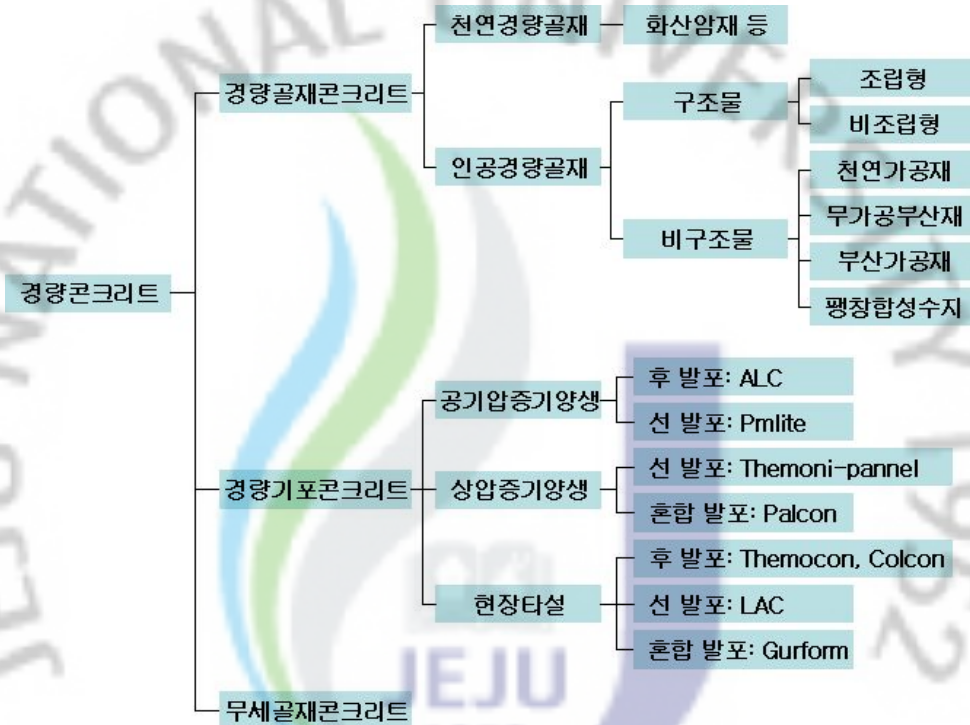


Fig. 2.1 Classification of lightweight concrete

경량기포콘크리트(Lightweight Aerated Concrete, LAC)란 시멘트, 석회, 혼화재 등을 넣어 물과 혼합한 슬러리에 다량의 기포를 도입함으로써 콘크리트 내부에 작고 미세한 기포를 형성시킨 다공질의 재료로 동일한 용적의 일반콘크리트보다 중량을 경감한 것으로 경량콘크리트(Lightweight Concrete)의 한 종류이다. 경량콘크리트는 일반적으로 콘크리트를 경량화 하는 방법에 따라 다공질의 경량 골재를 사용하는 경량골재콘크리트와 시멘트페이스트에 기포를 연행시켜 단위용적을 감소시키

는 경량기포콘크리트, 그리고 잔골재를 사용하지 않고 굵은 골재만을 사용해 콘크리트 내부에 공극을 형성시키는 무잔골재 콘크리트로 분류된다. 경량콘크리트의 분류 방법은 <Fig. 2.1>과 같다.

2) 경량기포콘크리트의 분류

경량기포콘크리트는 비중, 강도, 경화체의 결합상태 등 여러 방법으로 분류 될 수 있으나, 가장 대표적인 분류 방법인 발포방법에 따른 분류와 양생방법에 따른 분류는 다음과 같다.

(1) 발포방법에 따른 분류

경량기포콘크리트의 기포 도입은 가스나 공기에 의해 이루어지므로 가스콘크리트(Gas concrete), 에어콘크리트(Aerated concrete)라고도 하며, 기포제를 사용한다는 점에서 폼콘크리트(Foamed concrete)라고도 한다.

폼콘크리트는 아직 경화되지 않은 콘크리트용 슬러리에 기포제의 물리적 계면활성 작용에 의해 얻어진 기포를 콘크리트 중에 포함시키는 방법으로 제조되며, 기포의 제조와 순서에 따라 선기포 방식(Pre-foaming type), 후기포 방식(After-foaming type), 혼합기포 방식(Mix-foaming type)으로 나뉘며 특성은 다음과 같다.

㉠ 선기포 방식(Pre-foaming type)

계면활성제를 주원료로 하는 동물성 단백질, 아미노 황산염, 알코올 에스테르, 폴리아크릴레이트 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. 본 연구에서는 선기포 방식을 이용하여 기포를 혼합하였다.

㉞ 후기포 방식(After-foaming type)

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

㉟ 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 도입 공기량에 물리적인 한계가 있으며 기포 발생량의 조절이 어려워 많이 이용되지는 않는다.

(2) 양생방법에 따른 분류

- 상온 하에서 습윤, 수중, 대기 양생하는 방법
- 상온 하에서 증기 양생하는 방법
- 증기양생(Autoclave)하는 방법

(3) 경화체의 결합상태에 따른 분류

- 석회 규산 결합(Lime-silica Bond)
- 석회 포졸란 결합(Lime-Pozzolan Bond)
- 시멘트 결합(Cement Bond)

2. 경량기포콘크리트의 구성 재료

1) 기포제

기포제는 콘크리트혼화제 중 AE제와 같이 계면활성작용에 의해 물리적으로 기포를 도입하는 것으로 일반적인 AE제에 의해 연행되어지는 기포량이 4~5%정도인 반면 기포제를 이용하는 경우는 보통 20~50%이며 최고 85%까지 기포의 도입이 가능하다. 일반콘크리트용의 AE제도 첨가량을 늘리면 20%이상 기포를 연행할 수 있으나 콘크리트의 점성이 증가되어 유동성이 저하되므로 기포율이 높고 대량으로 사용해도 시멘트의 응결이나 경화에 영향을 주지 않으며 유동성이 높은 기포제가 많이 사용된다. 현재 국내에서 생산되고 있는 기포제는 동물성 단백질계 기포제, 식물성 기포제, 고분자 기포제, 계면활성제계 기포제의 4가지로 크게 구분할 수 있다. 본 연구에서는 경량기포콘크리트의 기포제로 동물성 단백질계 기포제를 사용하였다.

(1) 동물성 단백질계 기포제

단백질계 기포제로서 단백질의 원료로는 동물의 혈액, 유제성분인 카세인, 동물의 뼈, 꿀의 분말인 젤라틴 등이 있다. 이것들은 여러 종류의 아미노산으로 구성되어 있고 이것을 알칼리로 가수분해하여 중화 여과한 것에 철염이나 방부제를 첨가한 기포제이다. <Fig. 2.2>는 단백질과 철염의 결합을 나타낸 그림이다.



Fig. 2.2 Combination of protein and season salt

단백질 기포제의 구성 성분 중 염화제일철염은 강관이나 동관 등에 직접 닿을 경우에는 부식의 우려있어 과거에는 사용을 제한하는 경우도 많았으나, 공기를 도입하여 기포를 제조하면 공기 속의 산소에 의해서 염화제일철염이 제이철염으로 산화되고 동물성 단백질의 가수분해물이 변성 응고되어서 부식성이 없어진다는 사실이 밝혀져 근래에는 많이 사용되고 있다. 동물성 기포제는 원료가 단백질이므로 장기 보존이 어렵고 단백질 분해물의 악취가 남지만 단백질계 기포제로 만든 기포는 다른 기포제에 비해 기포안정성이 높고 탄력이 있기 때문에 많이 사용되고 있다.

(2) 식물성 기포제

합성계면활성제는 실생활에서 쉽게 접할 수 있는 주방세제와 비슷한 종류로써 투명한 액체의 성상을 나타낸다. 동관이나 강관에 직접 닿아도 부식의 위험이 없으며 동물성 기포제를 사용하는 것보다 유동성이 뛰어나 형성된 면의 평활성이 우수한 반면에 투수성이 높다고 알려져 있다. 그러나 전체적으로 기포의 안정성이 동물성 기포제나 고분자기포제에 미치지 못하기 때문에 많이 사용되고 있지 않다.

(3) 고분자 기포제

고분자 기포제는 폴리아크릴레이트 성분의 고분자 중합체로 담황색의 중성(pH7) 액체이다. 발포 시 백색 크립과 같은 기포를 발생시키며 크기는 0.1~0.4mm로 황산염이나 염화물이 들어 있지 않아 부식되지 않는다는 장점을 지니고 있다. 시멘트 입자는 입자간 응집작용이 물의 습윤 작용보다 크기 때문에 30~40%정도는 응집된 상태로 남아 있는데 고분자 기포제의 경우 약간의 분산 작용이 있어 작업성을 향상시키는 효과가 있는 것으로 알려져 있으나 제품에 따라 차이가 있다. 고분자 기포제는 이온수에 폴리머를 서서히 투입한 다음 80~90℃로 가열하여 약 3시간 동안 교반 용해시킨 후 계면활성제와 기포안정제를 차례로 투입하여 교반 숙성하는 과정을 통하여 제조된다.

2) 잔골재

(1) E.P.S (Expanded Poly-Styrene)

E.P.S.는 인공경량골재의 일종으로 공기와 유사한 정도의 무게와 열전도 특성을 가지고 있으면서 $0.5\sim 1.0\text{kgf/cm}^3$ 정도의 압축강도를 가지므로 기포를 대체하여 E.P.S.를 혼입한 콘크리트는 기존 경량기포콘크리트와 유사한 열전도 및 흡음 특성을 가진다.

(2) 발포합성수지 칩

발포합성수지 칩은 일반적으로 신발 밑창에 들어가는 발포합성수지(E.V.A. : Ethylene Vinyl Acetate)를 분쇄하여 E.P.S. 비드와 동일한 방법과 용도로 사용되며 발포 합성수지 및 그에 부착된 섬유 효과로 인하여 인성이 향상되는 것으로 알려져 있다.

(3) 기타재료

경량기포콘크리트에 사용되는 재료로서 보통의 모래를 사용하거나 인공경량 잔골재를 첨가하는 경우도 있으며 모래를 사용한 경량기포콘크리트는 기포, 모래, 시멘트의 배합비에 따라 다양한 압축강도의 구현이 가능하여 선진국에서는 구조용, 비구조용으로 다양하게 사용되고 있다. 국내에서도 모래를 사용하는 제품이 판매되고 있지만 기포의 소포현상, 재료분리, 장비의 특수성 등으로 인하여 크게 활성화되지는 못하고 있는 실정이다.

3) 시멘트 혼화재료

시멘트 혼화재료는 시멘트, 물, 골재 이외의 재료로서 모르타르, 콘크리트에 특별한 품질을 부여하거나 성질을 개선하기 위하여 첨가하는 재료이다. 즉 플라이애쉬를 콘크리트에 혼입시켜 수화열을 억제시키거나 지연제를 첨가하여 서중콘크리트의 응결시간을 늦추는 것들과 같이 혼화재료의 용도는 상당히 많다. 양질의 혼화재료

를 적절히 사용한 경우의 효과는 기존의 수많은 사용 실적으로부터 명확히 밝혀져 있지만 오용하면 오히려 해가 되는 성질을 갖고 있는 것도 있으므로 혼화재료의 선정 및 사용에 있어서는 각각의 품질이나 효과를 충분히 확인한 후 적절히 사용하여야만 한다. 본 연구에서는 경량기포콘크리트의 혼화재료로 Silica fume을 사용 하였다.

(1) Silica fume

실리카흙(Silica fume)은 실리콘(Si), 페로실리콘(FeSi)등의 규소합금 등을 제조할 때에 발생하는 폐가스 중에 포함되어 있는 SiO_2 를 집진기로 모아서 얻어지는 초미립자의 산업부산물로 콘크리트산업에 있어서 아주 중요한 혼화재료로 널리 사용되고 있다.

(2) Meta kaolin

메타카올린(meta-kaolin:MK)은 카올린(kaolin, 고령토)을 활성화하여 카올린 내부의 결합수 및 층간수를 탈수시킴으로서 잠재수경성을 갖도록 한 것을 말하며 콘크리트에 혼입할 경우 콘크리트 내부의 수산화칼슘과 반응하여 포졸란 반응을 일으키는 재료이다.

(3) Fly ash

Fly ash는 화력발전소의 미분탄 연소보일러에서 나오는 폐연소 가스 중에 포함된 석탄재를 집진기로 포집한 산업부산물로서 입자가 구형이므로 유동성 증진효과가 있고 포졸란 반응성이 있어 장기강도가 증가되며 비중이 2.0~2.4로 시멘트보다 크게 낮고 가격도 저렴하여 콘크리트용 혼화재료로써 유용한 재료이다.

3. 경량기포콘크리트의 물리적 특성

1) 플로우

플로우는 기포슬러리의 이송 및 타설 장소에서의 수평작업과 관련이 있는 항목으로 현장에서의 시공성 및 마무리 정도를 나타내는 척도로써 활용되고 있다. 일반적으로 경량기포콘크리트는 시멘트와 물을 혼합한 시멘트 슬러리와 기포제에 의하여 만들어지는 기포의 두 성분으로 분류할 수 있으며 주로 단위시멘트량과 기포율에 따라 영향을 받는다. 즉 시멘트 슬러리의 양이 많을수록 플로우 값은 증가하고 기포의 양이 많을수록 감소하는 경향을 나타낸다. 따라서 기포율이 높으면 플로우 값은 낮아지고 반대로 기포율이 낮으면 플로우 값은 높아진다.

또한 경량기포콘크리트 내부에 함유된 기포는 시간의 경과에 따라 소포되고 이는 결과적으로 소포율이 높아지는 결과를 초래하므로 플로우 값도 증가하게 된다. 그러나 이러한 소포작용이 증가할 경우 처음의 배합조건과 달라지므로 타설 직전에 플로우 값을 확인하여 보는 것이 필요하며 제작된 경량기포콘크리트는 되도록 빠른 시간 내에 타설하는 것이 좋다.

2) 흡수율

경량기포콘크리트는 내부의 기공구조로 인하여 다른 시멘트 수화물에 비하여 흡수율이 높은 특성을 나타내며 수분 흡수율이 높아질수록 강도의 저하나 단열성능의 저하를 초래하게 된다. 경량기포콘크리트의 흡수율은 겉보기밀도가 작아질수록, 빈 배합일수록, 또는 물-시멘트비가 클수록 큰 것으로 알려져 있다. 또한 기포는 원칙적으로 독립적으로 존재하지만 흡수량이나 투수량이 상당히 크고 동결융해에 대한 저항성도 낮으며 중성화 속도도 상당히 빠른 편으로 경량기포콘크리트가 구조적 영향을 받는다면 콘크리트의 내구성에 대한 검토가 선행되어야 한다. 따라서 경량기포콘크리트 자체의 과도한 흡수율을 개선시킬 수 있는 대책이나 흡수를 효과적으로 차단시켜 줄 수 있는 시공상의 대책이 요구된다.

3) 겉보기밀도

경량기포콘크리트의 겉보기밀도는 사용하는 골재의 종류나 배합에 따라서 결정되지만 기포 혼입량의 영향을 지배적으로 받으며 원료의 배합조건이나 양생조건 및 함수율 등에 따라 차이를 보인다. 특히 겉보기밀도에 직접적인 영향을 주는 인자는 기포율과 함수율로 그 영향은 상당히 크다. 일반적으로 모든 재료는 함수율의 증가에 따라 비중의 증가를 보이나 그 증가율은 각 재료마다 특정한 추세를 보이며 재료적 특성을 이루게 된다. 특히 경량기포콘크리트의 경우 타 재료에 비하여 그 내부에 많은 공극을 포함하고 있어 함수율의 증가에 따라 겉보기 비중이 두 배 이상의 차이가 날 수도 있으며 압축강도와 열전도율 등에 현저한 영향을 주고 있다. 따라서 경량기포콘크리트의 겉보기밀도 측정을 위해서는 함수상태의 명확한 규정이 필요하다.

4) 압축강도

경량기포콘크리트의 압축강도는 밀도와 더불어 경량기포콘크리트의 특성을 나타내는 중요한 척도로서 겉보기밀도가 늘어나면 압축강도 역시 증가하는 것으로 알려져 있다. 시멘트 수화물로서 콘크리트의 대표적인 강도이론은 물-시멘트비율과 공극률로 대표될 수 있으며 경량기포콘크리트역시 이러한 강도 이론으로 설명될 수 있다. 즉, 습윤 양생된 경량기포콘크리트의 강도는 콘크리트의 전체 공극에 의하여 지배되며 물/시멘트비에 의해서도 영향을 받는다. 호프(G.C.Hoff)의 연구결과에 의하면 경량기포콘크리트의 강도는 공극의 함수로 나타낼 수 있으며 이 때 공극은 도입된 공기에 의한 공극과 잉여수의 증발로 인하여 생길 수 있는 공극의 합이 된다. 시멘트 경화체의 공극은 다음과 같이 3가지로 분류될 수 있다.

4. 경량기포콘크리트의 제조과정

경량기포콘크리트는 시멘트와 각종 혼화재료를 일정한 비율로 섞은 결합재에 물을 첨가하여 잘 배합시킨 후 시멘트 모르타르를 만들고 기포제와 물을 적절한 비율로 섞은 기포희석액을 기포기의 압축공기로부터 통과시켜 기포를 생성하게 된다. 이렇게 생성된 기포를 혼합중인 시멘트 모르타르 내에 주입하여 내부에 일정한 기포를 지닌 팽창한 슬러리를 생성시키는데 이 슬러리를 대상구조물에 압송호스를 통해 주입하여 양생시키는 과정의 단계를 거쳐 제조된다. <Fig. 2.3>는 제조과정을 나타낸 그림이다.

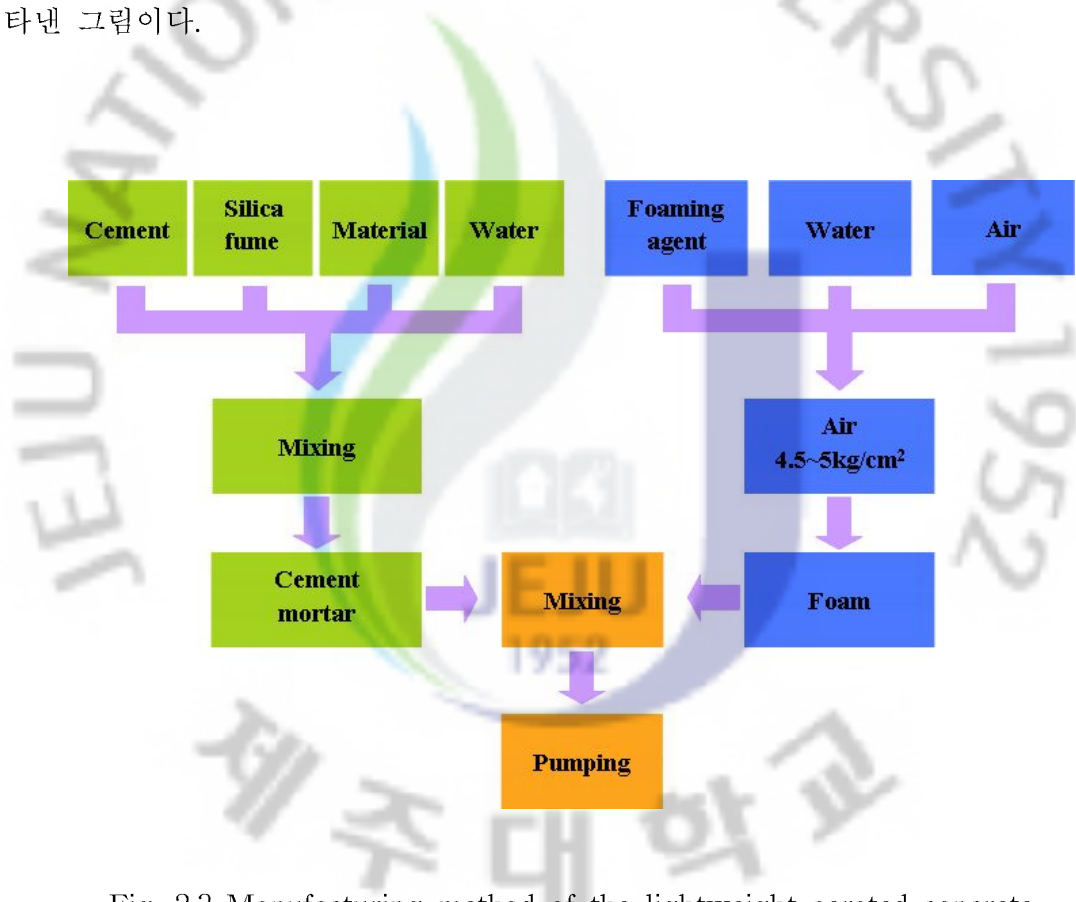


Fig. 2.3 Manufacturing method of the lightweight aerated concrete

5. 폐콘크리트잔분

1) 폐콘크리트잔분의 발생현황

2006년도 건설폐기물 총 발생량은 61,679천톤(t)으로 전년도 49,241천톤(t)에 비해 약 25.3% 증가하였으며 건설폐기물 총 발생량이 증가함에 따라 큰 구성비를 차지하고 있는 폐콘크리트 역시 발생량이 40,258천톤(t)으로 전년도 28,655천톤(t)에 비해 40.5%증가하였다(한국환경자원공사,2007). 또한 순환골재 생산 과정에서 발생하는 5mm이하의 폐콘크리트잔분(Waste Concrete Powder, WCP)은 폐콘크리트 총 처리량의 9%이상으로 매년 약 2,500천톤(t)이상이 발생되고 있으며 이에 대한 처리방안이 미비한 실정이다. 건설폐기물의 발생량은 <Table. 2.1>과 같다.

Table. 2.1 Occurrence quantity of construction wastes (Unit: thousand-ton/year)

| Contents | | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 |
|----------------------|--------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Total | Occurrence quantity | 53,078 | 54,198 | 49,241 | 61,679 |
| | Increase or decrement(%) | 21.0 | 2.1 | -9.1 | 25.3 |
| Concrete waste (WCP) | Occurrence quantity | 33,813 (3,043) | 34,969 (3,147) | 28,655 (2,578) | 40,258 (3,623) |
| | Increase or decrement(%) | 27.7 | 3.4 | -18.1 | 40.5 |
| Asphalt waste | Occurrence quantity | 6,698 | 7,359 | 5,615 | 7,911 |
| | Increase or decrement(%) | 24.6 | 9.9 | -23.7 | 40.9 |
| Others | Occurrence quantity | 12,566 | 11,870 | 14,971 | 13,511 |
| | Increase or decrement(%) | 4.7 | -5.5 | 26.1 | -9.8 |

2) 폐콘크리트잔분의 발생과정

건설현장에서 반입된 폐콘크리트를 순환골재 등으로 재활용하기 위해 우선적으로 순환골재로 사용될 폐콘크리트를 선별하고 선별된 폐콘크리트를 크라샤를 통해 일정한 크기로 파쇄한 후 순환골재와 폐콘크리트잔분(5mm이하)으로 분류하게 된다. 이때, 폐콘크리트의 최대 90%이상은 순환골재로 재활용되고 나머지 폐콘크리트잔분(5mm이하)은 건설현장의 뒷채움재나 매립재로 사용되는 실정이다. <Fig. 2.4>는 폐콘크리트의 재활용 과정을 단계별로 나타낸 전경이다.



Fig. 2.4 The photo of the waste concrete powder (less than 5mm) production

3) 폐콘크리트잔분의 전처리

본 연구에 사용된 폐콘크리트잔분은 건설폐기물사업장의 순환골재 가공과정에서 재활용이 되고 있지 않은 5mm이하의 폐콘크리트잔분을 대상 시료로 사용하였다. 채취된 폐콘크리트잔분은 건조로를 이용하여 $110 \pm 5^\circ\text{C}$ 에서 완전 건조시켜 불밀 등의 분쇄기로 파쇄하여 No.200(0.075mm)체를 통과한 분말을 대상으로 하여 폐콘크리트잔분을 이용한 경량기포콘크리트의 역학적 특성 연구에 이용하였다.



Ⅲ. 실험재료 및 실험방법

1. 실험개요

본 장에서는 경량기포콘크리트의 특성에 영향을 미치는 시멘트, 기포제, 혼화재 및 잔골재로 사용된 폐콘크리트잔분의 물리·화학적 특성에 대하여 기술하였다. 폐콘크리트잔분을 경량기포콘크리트의 잔골재로 사용함으로써 폐콘크리트잔분의 재활용 방안을 모색하였으며 각 재료의 혼합비율에 따른 물리적 특성의 변화와 압축강도 시험을 실시하였다. 이를 바탕으로 폐콘크리트잔분을 사용한 경량기포콘크리트의 기초적 자료를 제시하고자 한다.

2. 실험재료

1) 폐콘크리트잔분

(1) 물리적특성

본 연구에 사용된 시료는 제주도내에 위치한 건설폐기물사업장의 순환골재 가공 과정에서 재활용이 되고 있지 않은 5mm이하의 폐콘크리트잔분을 대상 시료로 사용하였다. 폐콘크리트잔분은 분쇄기로 분쇄한 뒤 건조로를 이용하여 $110 \pm 5^\circ\text{C}$ 에서 완전 건조시켜 No.200(0.075mm)체를 통과한 시료를 비중계 시험에 따라 입도조정 과정을 거친 후 시험에 사용하였다. 폐콘크리트잔분의 입도분석결과는 <Fig. 3.1>와 같으며 입도분포곡선에서 미세입자들의 함량이 비교적 크게 나타났다. 입자의 직경이 0.002mm보다 작은 부분이 약 20%정도로 나타나고 있다. 폐콘크리트잔분은 토양과 다르므로 토양의 분류기준을 적용하기는 어려우나 통일분류법(Unified Soil Classification System)에 의하여 분류하면 무기질의 실트 및 매우 가는 모래의 ML과 소성이 보통이하인 무기질 점토인 CL과 유사한 것으로 나타났으며 비중은 2.84로서 일반적인 토사의 비중값 2.65~2.7에 비해 큰 것으로 분석되었다.

Table. 3.1 Chemical composition of waste concrete powder

| Sample Constituent | waste concrete powder Contents(%) | Aggregate Contents(%) |
|-----------------------|--------------------------------------|--------------------------|
| SiO_2 | 42.76 | 46.29~62.18 |
| Al_2O_3 | 11.02 | 13.90~19.65 |
| TiO_2 | 1.42 | 0.26~3.51 |
| Fe_2O_3 | 7.87 | 4.25~13.59 |
| MgO | 3.57 | 0.1~8.69 |
| CaO | 16.39 | 1.02~10.32 |
| Na_2O | 1.67 | 2.70~6.54 |
| K_2O | 1.30 | 0.85~3.83 |
| MnO | 0.16 | 0.09~0.23 |
| P_2O_5 | 0.26 | 0.10~0.29 |
| LOI | 0.83 | 0.25~10.97 |

※ LOI : Loss of Ignition

② SEM분석

폐콘크리트잔분의 입자모양과 상태를 살펴보기 위하여 장방출주사전자현미경 (Field Emission Scanning Electron Microscope, SEM JSM-6700F JEOL CO.LTD) 사진을 통해 관찰한 결과는 <Fig. 3.2>와 같고 표면은 불규칙하고 미세 입자들로 이루어져 있으며 기공이 분포 하지 않는 것으로 관찰되었다.

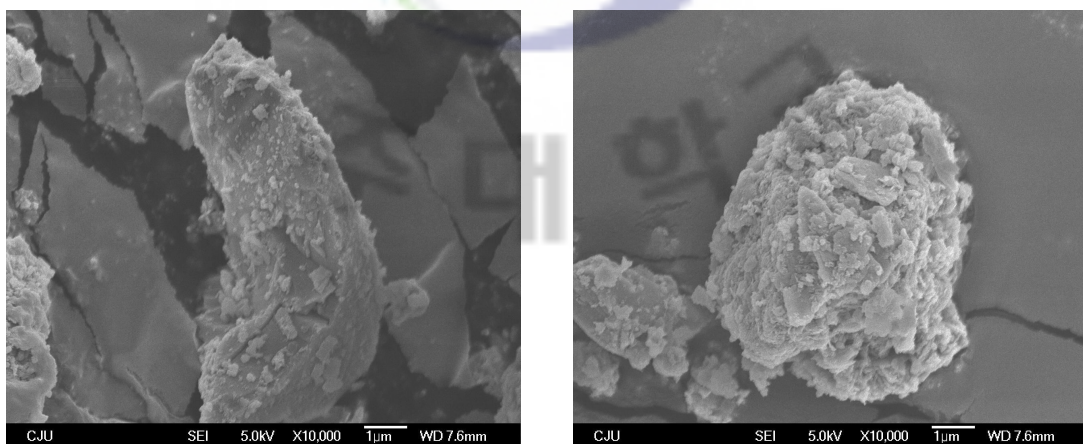


Fig. 3.2 SEM result of waste concrete powder ($\times 10,000$)

③ 유해성분석

폐콘크리트잔분의 유해성분 함량을 살펴보기 위하여 토양오염공정시험기준을 통하여 화학적 농도를 분석하였다. 분석 결과는 <Table. 3.2>와 같으며 폐콘크리트잔분에 대한 화학적 농도는 폐기물관리법 기준치를 모두 만족하는 것으로 나타났다 (폐기물관리법,2000).

Table. 3.2 The analysis of the harmful chemistry ingredient contents

| Item | Standard | Result | Item | Standard | Result |
|------|----------|---------------|------------------|----------|---------------|
| Pb | 3 | 0.27 | Cr ⁺⁶ | 1.5 | Non-detection |
| Cu | 3 | 0.273 | CN | 1 | Non-detection |
| As | 1.5 | 0.042 | Aerobic(P) | 1 | Non-detection |
| Hg | 0.005 | Non-detection | PCE | 0.1 | Non-detection |
| Cd | 0.3 | Non-detection | TCE | 0.3 | Non-detection |

※ Unit: mg/ℓ

2) 시멘트

본 실험에 사용한 시멘트는 국내에서 생산되는 D사의 1종 보통포틀랜드시멘트 (OPC)를 사용하였으며 시멘트의 물리·화학적 특성은 <Table 3.3~3.4>와 같다.

Table. 3.3 Chemical characteristics of cement

| Element | Ratio(%) |
|-----------|----------|
| SiO_2 | 21.71 |
| Al_2O_3 | 5.46 |
| Fe_2O_3 | 3.45 |
| CaO | 62.27 |
| MgO | 2.61 |
| SO_3 | 2.11 |
| Loss | 0.89 |
| Total | 98.50 |

Table. 3.4 Physical characteristics of cement

| Contents | Normal portland cement |
|---|------------------------|
| Volatile solid ignition loss(%) | 0.99 |
| Density (kg/m ³) | 2.9~2.95 |
| Fineness(>45μm) | 2.0 |
| Nominal particle diameter(μm) | 10~13 |
| Specific surface area(cm ² /g) | 4,210 |
| Air amount of mortar(%) | 3.46 |
| Specific gravity | 3.04 |

3) 실리카흙

실리카흙(Silica Fume)은 실리칸(Si), 페로실리콘(FeSi)등의 규소합금 등을 제조할 때에 발생하는 폐가스 중에 포함되어 있는 SiO_2 를 집진기로 모아서 얻어지는 초미립자의 산업부산물로 콘크리트산업에 있어서 아주 중요한 혼화재료로 널리 사용되고 있다. 일반적으로 결정의 형태를 가지면 콘크리트에서 반응을 일으킬 수 없으며 대표적인 예로 모래의 경우 SiO_2 함량 및 기타 화학적 구성이 실리카흙과 비슷하지만 결정의 형태를 취하고 있기 때문에 콘크리트에서는 무반응의 Filler로 작용하는 것이다. 반면 실리카흙의 SiO_2 는 비정질로 되어 있으므로 알칼리 용액에서 쉽게 용해되어 콘크리트 강도발현에 뛰어난 성능을 발휘하고 있다. 실리카흙의 특성을 발현가능하게 하는 물질로서 SiO_2 가 중요하게 다루어지고 있으며 다른 혼화재료와 비교하면 다음의 <Table. 3.5>와 같다.

Table. 3.5 SiO_2 ratio comparisons of additive

| Material | Normal portland cement | Fly ash | Portland slag cement | Silica fume |
|-----------------------------------|------------------------|---------|----------------------|---------------------|
| SiO_2 | 21 | 35 | 35 | 85~97 |
| Al_2O_3 | 5 | 18 | 12 | - |
| Fe_2O_3 | 3 | 6 | 1 | - |
| CaO | 62 | 21 | 40 | <1 |
| Specific surface area(cm^2/g) | 3,700 | 4,200 | 4,000 | 150,000 ~300,000 |
| Specific gravity | 3.15 | 2.65 | 2.94 | 2.22 |

출처) Silica fume association(2005)

4) 기포제

기포제는 H사의 동물성 단백질 기포제를 사용하였으며 소뿔, 발톱, 털 등에서 추출한 순수한 동물성 단백질을 가수 분해한 후 수소이온 농도를 완전 중성 (pH6.5~7.5)으로 조정함으로써 인체 및 환경에 무해하다. 또한 절기에 관계없이 항시 작업이 가능하며 타설시 침하율이 적고 부식성이 없다. 동물성단백질기포제의 물리적 특성은 <Table. 3.6>과 같다.

Table. 3.6 Physical characteristics of animal foaming agent

| Contents | Animal foaming agent |
|------------------|----------------------|
| Color | Dark brown |
| Viscosity | 27 ~ 50cps |
| pH | 7.1 |
| Sulfate | 0.01 ~ 0.1% |
| Freezing point | -18℃ |
| Solubility | Fusibility |
| Solidity | 37.8% |
| Specific gravity | 1.18 |
| Other | Non-inflammability |

3. 실험계획

본 연구에서는 폐콘크리트잔분을 잔골재로 사용한 경량기포콘크리트의 단위시멘트량, 물/시멘트비, 폐콘크리트잔분의 혼합 비율에 따른 물리적 특성으로부터 강도 발현에 영향을 미치는 주요 인자를 파악하고자 실험을 수행하였다. 그리고 이를 통해 경량기포콘크리트의 최적배합비를 도출하고자 한다. 경량기포콘크리트의 배합인자에 따른 영향을 살펴보기 위하여 단위시멘트량을 330, 390, 450, 510kg/m³으로 증가시켰으며 단위시멘트량에 대하여 각각 물/시멘트비를 55, 60, 65%로 변화를 주었다. 이때 폐콘크리트잔분의 잔골재 재활용 가능성을 검토하기 위하여 폐콘크리트잔분의 혼합 비율을 0, 0.3, 0.6, 0.9로 변화를 주어 각각의 결과에 대해 나타내었다. 또한 기포제의 희석 비율을 7%로 고정하여 소포율을 낮추고 기포의 크기를 조밀하게 하였다. 본 연구의 배합계획표는 <Table. 3.7>과 같다.

Table. 3.7 Mix design table of lightweight aerated concrete (Unit: kg/m³)

| No. | Cement | WCP | Water | W/C | Air(%) | No. | Cement | WCP | Water | W/C | Air(%) |
|-----|--------|-----|-------|-----|--------|-----|--------|-----|-------|-----|--------|
| 1 | 330 | 0 | 200 | 55 | 77 | 25 | 450 | 0 | 272 | 55 | 69 |
| 2 | | 99 | | | 73 | 26 | | 135 | | | 63 |
| 3 | | 198 | | | 67 | 27 | | 270 | | | 55 |
| 4 | | 297 | | | 60 | 28 | | 405 | | | 46 |
| 5 | | 0 | 218 | 60 | 78 | 29 | | 0 | 297 | 60 | 69 |
| 6 | | 99 | | | 71 | 30 | | 135 | | | 60 |
| 7 | | 198 | | | 64 | 31 | | 270 | | | 51 |
| 8 | | 297 | | | 57 | 32 | | 405 | | | 42 |
| 9 | | 0 | 236 | 65 | 77 | 33 | | 0 | 322 | 65 | 68 |
| 10 | | 99 | | | 70 | 34 | | 135 | | | 59 |
| 11 | | 198 | | | 63 | 35 | | 270 | | | 49 |
| 12 | | 297 | | | 56 | 36 | | 405 | | | 40 |
| 13 | 0 | 236 | 55 | 73 | 37 | 0 | 272 | 55 | 65 | | |
| 14 | 117 | | | 68 | 38 | 153 | | | 58 | | |
| 15 | 234 | | | 61 | 39 | 306 | | | 49 | | |
| 16 | 351 | | | 53 | 40 | 459 | | | 39 | | |
| 17 | 0 | 257 | 60 | 73 | 41 | 0 | 297 | 60 | 65 | | |
| 18 | 117 | | | 66 | 42 | 153 | | | 55 | | |
| 19 | 234 | | | 58 | 43 | 306 | | | 45 | | |
| 20 | 351 | | | 50 | 44 | 459 | | | 34 | | |
| 21 | 0 | 279 | 65 | 73 | 45 | 0 | 322 | 65 | 64 | | |
| 22 | 117 | | | 64 | 46 | 153 | | | 53 | | |
| 23 | 234 | | | 56 | 47 | 306 | | | 43 | | |
| 24 | 351 | | | 48 | 48 | 459 | | | 32 | | |

4. 실험방법

1) 공시체 제작

시멘트와 폐콘크리트잔분을 교반기에 함께 넣은 상태에서 건비빔을 행하였다. 두 재료가 잘 섞이도록 충분히 교반되었을 때 배합수를 투입하고 3분간 교반 하였다. 이때 생성된 모르타르에 희석수와 기포제의 비율이 1:0.07인 기포를 주입하여 다시 3분간 교반한 후 내경(d) 100mm, 높이(h) 200mm인 원통형 압축강도 시험용 공시체를 각 재령별로 3개씩 제작하였다. 기포는 미리 발포시킨 기포를 모르타르에 혼합하는 방법으로 기포의 양을 조절하기 쉽고 현장적용이 용이한 선기포방식으로 하였다. 기포 투입 후 믹싱 시간을 3분 이상 하였을 경우 기포의 소포율이 크게 나타나는 것을 시험을 통해 알 수 있었으며, 이로 인해 기포 투입 후 믹싱 시간을 3분으로 하여 실험하였다. 제작된 공시체는 공기중에서 수분이 증발되지 않도록 밀봉한 상태에서 48시간이 경과한 후에 탈형하여 소정의 기간 동안 습윤양생을 하였다.

2) 실험항목 및 실험방법

(1) 플로우 시험

플로우 시험은 가로 350mm, 세로 350mm의 정사각형평판 위에 내경 80mm, 높이 80mm의 원통을 세운 후 채취한 경화되지 않은 경량기포콘크리트를 상부까지 붓고 스펙클러를 이용하여 남은 윗부분을 제거한다. 그다음에 원통을 수직으로 들어 올려 1분 후 시료의 퍼짐을 2회 측정하여 평균치를 구하고 이를 불규칙적으로 3회 실시하여 다시 평균치를 구하였다. 본 실험에서는 KS F 4039(현장 타설용 기포콘크리트)에 규정된 플로우값 180mm 이상을 목표로 하였다.

(2) 단위체적중량 시험

경화되지 않은 상태의 경량기포콘크리트 단위체적중량은 경량성을 나타내는 척도로서 경화되지 않은 경량기포콘크리트 시료를 원통형 몰드에 넣어 다음<Eq. 3.1>과 같이 구한다.

$$\gamma_{fresh} = \frac{W}{V} \dots\dots\dots (3.1)$$

여기서, γ_{fresh} : 경화되지 않은 경량기포콘크리트의 단위체적중량(t/m^3)

W : 시료의 중량(tf)

V : 시료의 체적(m^3)

(3) 공기량 시험

경량기포콘크리트의 공기량 시험은 근사적 접근방법을 이용하였다. 실제 공기량 시험의 경우 경화되지 않은 경량기포콘크리트를 메스실린더에 투입하면 경화되지 않은 경량기포콘크리트 시료가 메스실린더 벽면에 붙어 정확하게 눈금을 측정하기 곤란하다. 이런 어려움을 해결하기 위해서 경화되지 않은 경량기포콘크리트의 단위체적중량과 시멘트 모르타르의 단위체적중량을 측정한 후 <Eq. 3.2>를 이용하여 공기량을 근사적으로 추정할 수 있다.

$$\text{기포량}(\%) = \frac{\gamma_m - \gamma_{fresh}}{\gamma_m} \times 100 \dots\dots\dots (3.2)$$

여기서, γ_m : 시멘트 모르타르의 단위체적중량(t/m^3)

$$\gamma_m = \frac{W_c + W_s + W_w}{V_c + V_s + V_w} \text{ 이다.}$$

(4) 겉보기밀도 시험

겉보기밀도는 표면 건조 겉보기밀도를 나타내는 것으로 20± 5℃의 상온에서 28일 이상 건조시킨 후 시료의 중량(W₀)을 측정하여 다음 <Eq. 3.3>에 따라 소수점 이하 둘째 자리까지 계산한다.

$$\text{겉보기 밀도}(t/m^3) = \frac{W_0}{V} \dots\dots\dots (3.3)$$

여기서, V: 공시체의 체적으로 실측을 통해 계산하였다.

(5) 흡수율 시험

탈형한 공시체를 20± 5℃의 상온에서 28일 이상 기건상태에서 건조시킨 후 중량(W₀)을 측정하고 공시체를 수침한 후 중량(W₁)을 측정하여 <Eq. 3.4> 대입하여 흡수율을 측정한다.

$$\text{흡수율}(\%) = \frac{W_1 - W_0}{V} \times 100 \dots\dots\dots (3.4)$$

여기서, V: 공시체의 체적이며 실측을 통해 계산하였다.

(6) 압축강도시험

압축강도 시험은 KS F 2405(콘크리트의 압축강도 시험방법)의 시험방법에 따라 제작된 공시체를 습윤양생하여 만능재료시험기로 압축강도를 측정하였다. 3개의 공시체 평균값을 시험결과로 채택하였으며 압축강도 산정식은 <Eq. 3.5>와 같다. <Fig. 3.3>은 만능재료시험기이며 <Fig. 3.4>는 제작된 공시체이다.

$$\sigma_c = \frac{P}{A} \dots\dots\dots (3.5)$$

여기서, σ_c : 콘크리트 압축강도(MPa)
P: 최대하중(N)
A: 공시체의 단면적(mm²)

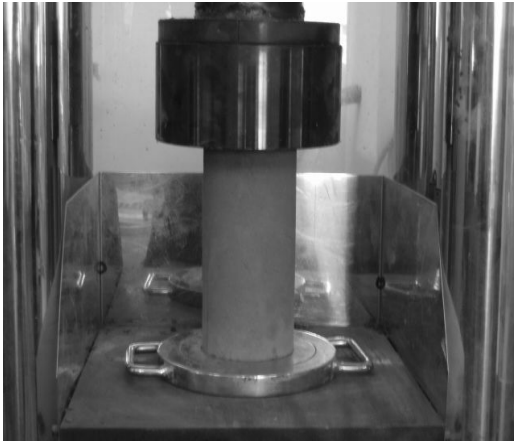


Fig. 3.3 Material testing machine

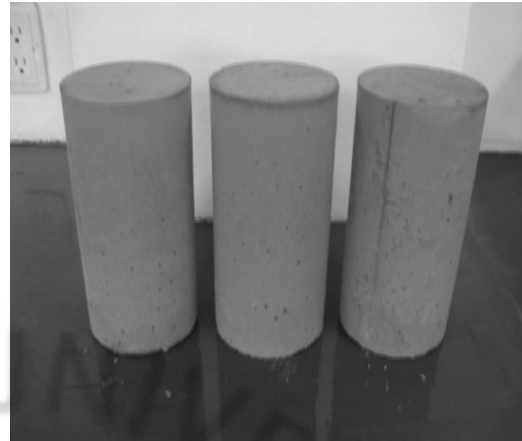


Fig. 3.4 Test piece



IV. 실험결과

1. 배합인자별 특성

1) 플로우

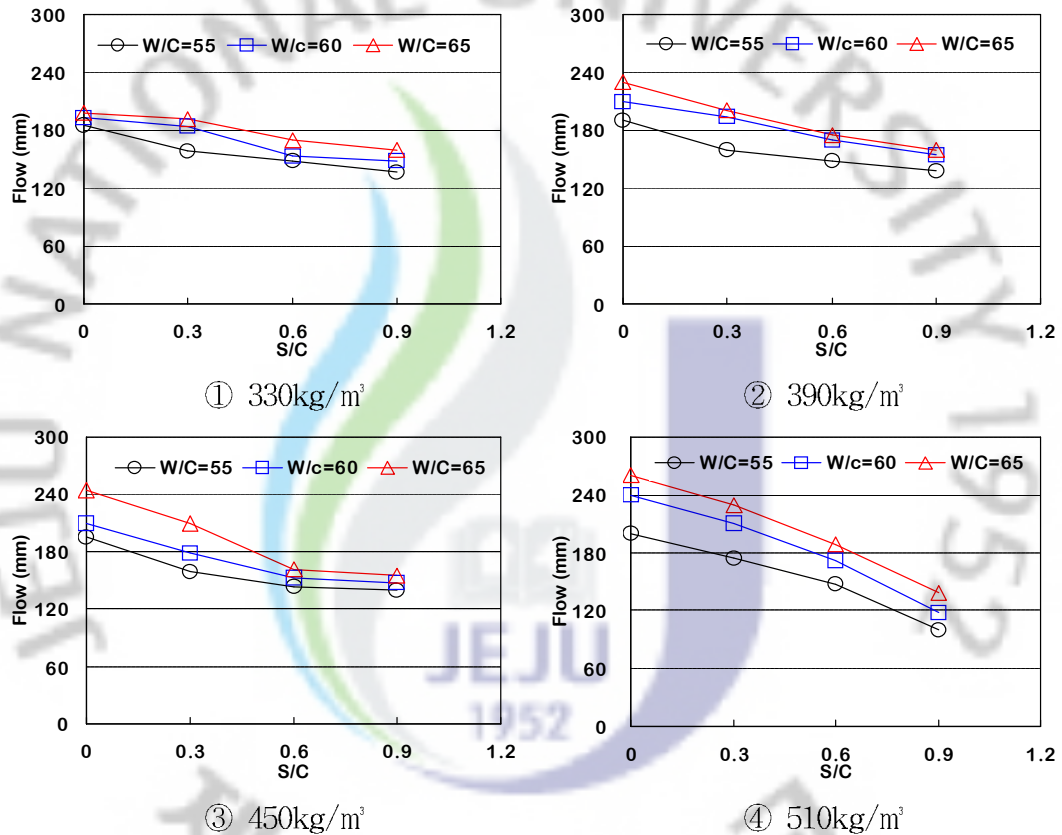


Fig. 4.1 Relationship of fine aggregate ratio and flow

폐콘크리트잔분을 사용한 경량기포콘크리트의 물/시멘트비와 잔골재비율에 따른 플로우를 <Fig. 4.1>과 같이 각각의 단위시멘트량 330, 390, 450, 510kg/m³에 대해 나타내었다. 물/시멘트비가 증가할수록 경화되지 않은 경량기포콘크리트의 유동성이 확보되어 플로우 값은 상승되었다. 그러나 물/시멘트비가 일정한 상태에서 잔골재의 비율을 증가시켜 공기량이 감소하게 되면 단위수량당 물과 접촉하는 잔골재의 비표

면적이 증가하게 되어 유동성이 저하되며 상대적으로 플로우 값은 낮아지는 것으로 나타났다. 잔골재의 비율(S/C)을 0.3씩 증가시킬 경우 플로우는 2~32%정도 감소하는 경향을 보였다. 각각의 단위시멘트량 330, 390, 450, 510kg/m³에서 물/시멘트비가 55%일 때 잔골재의 비율을 0.3이상 그리고 물/시멘트비가 60%일 때 잔골재의 비율을 0.6이상 적용하게 되면 과도한 잔골재비율에 따른 공기량과 단위수량의 부족으로 재료의 뭉침 현상이 발생하여 플로우가 형성되지 않아 더 이상 잔골재비율의 증가는 곤란하다는 것을 시험을 통하여 확인할 수 있었다. KS F 4039(현장 타설용 기포콘크리트)에 규정되어 있는 플로우 값은 180이상으로 뭉침 현상이 일어나는 배합의 경우는 현장에서 적용할 수 없다고 판단된다. 따라서 폐콘크리트잔분을 사용한 경량기포콘크리트의 유동성을 확보하기 위해서는 물/시멘트비를 65% 이상 적용하는 것이 유리할 것으로 판단된다.

2) 겉보기밀도

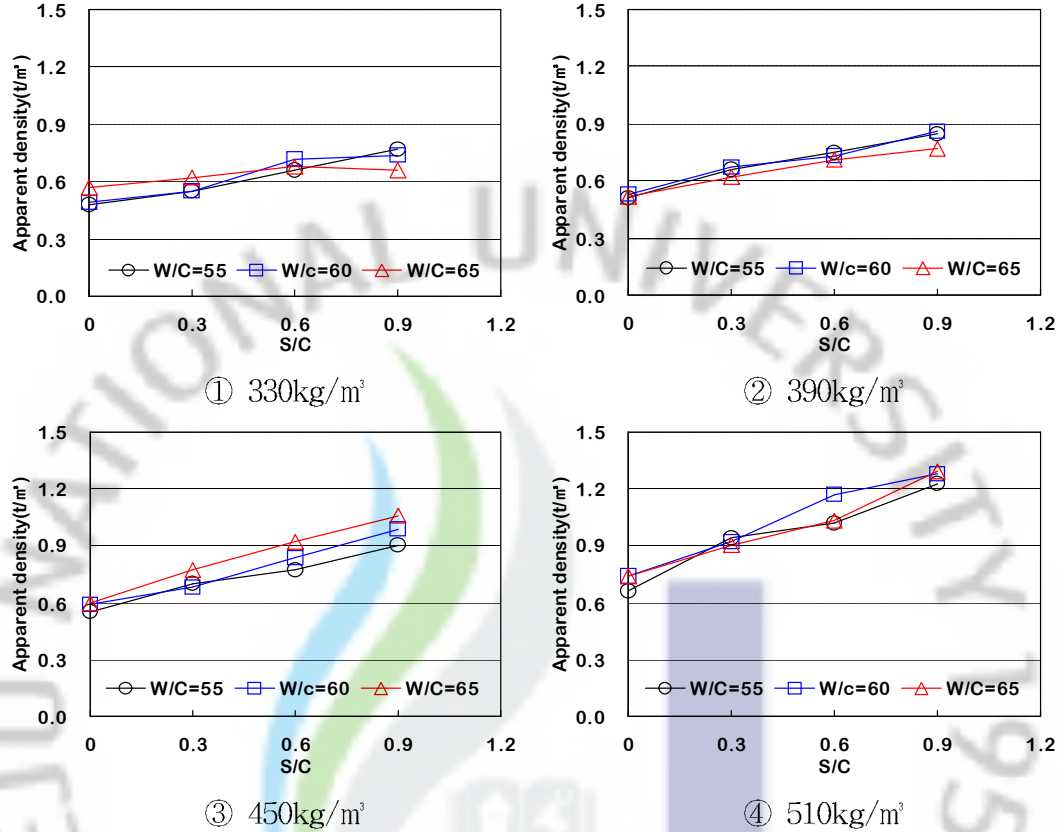


Fig. 4.2 Relationship of fine aggregate ratio and apparent density

폐콘크리트잔분을 사용한 경량기포콘크리트의 물/시멘트비와 잔골재비율에 따른 겉보기밀도를 <Fig. 4.2>와 같이 각각의 단위시멘트량 330, 390, 450, 510kg/m³에 대해 나타내었다. 단위시멘트량과 잔골재의 비율이 증가함에 따라 겉보기밀도는 증가하는 것으로 나타났으며, 잔골재비율(S/C)을 0.3씩 증가시키고 그 체적만큼의 공기량을 감소시킬 경우 겉보기밀도는 2~36%정도 증가하는 경향을 보였다. 물/시멘트비의 변화에 따른 겉보기밀도는 공기량 조절의 한계로 일정한 경향을 나타내지 못하였다. 물/시멘트비의 변화보다 잔골재비율과 공기량변화가 겉보기밀도에 미치는 영향이 더욱 지배적인 것으로 사료된다.

3) 흡수율

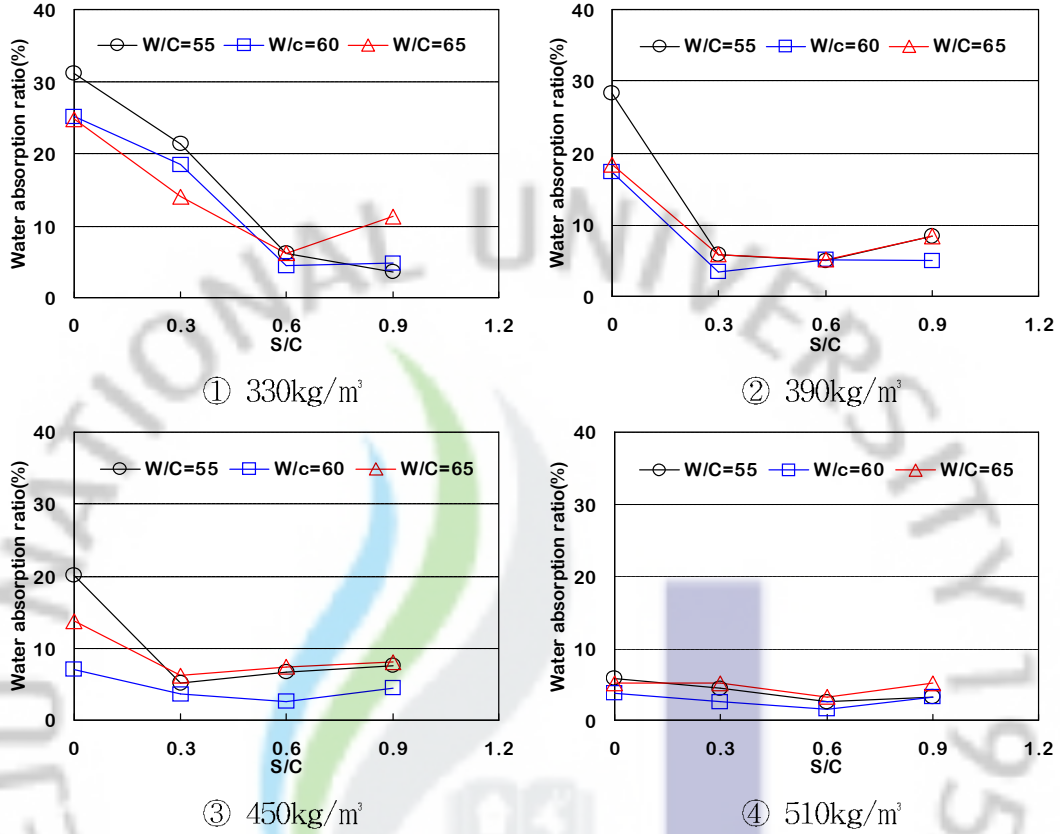


Fig. 4.3 Relationship of fine aggregate ratio and water absorption ratio

폐콘크리트잔분을 사용한 경량기포콘크리트의 물/시멘트비와 잔골재비율에 따른 흡수율을 <Fig. 4.3>과 같이 각각의 단위시멘트량 330, 390, 450, 510kg/m³에 대해 나타내었다. 단위시멘트량과 잔골재비율이 증가할수록 흡수율은 감소하는 형태를 보이며 일정 범위 이상의 잔골재가 첨가되었을 때 흡수율은 일정하게 수렴 되는 것으로 나타났다. 또한 비중이 높아짐에 따라 흡수율은 낮아졌으며 이러한 경향은 비중이 증가하면 단위체적당 존재하는 기공의 양이 적어지게 되어 흡수율이 낮아지는 것으로 사료된다. 경량기포콘크리트의 흡수율은 겉보기밀도가 작을수록, 빈배합일수록, 또는 물/시멘트비가 클수록 큰 것으로 알려져 있으나 시험결과 물/시멘트비의 변화에 따른 흡수율은 공기량 조절의 한계로 일정한 경향을 나타내지 못하였다. 물/시멘트비의 변화보다 잔골재비율과 공기량변화가 흡수율에 미치는 영향이 더욱 지배적인 것으로 사료된다.

4) 체적감소

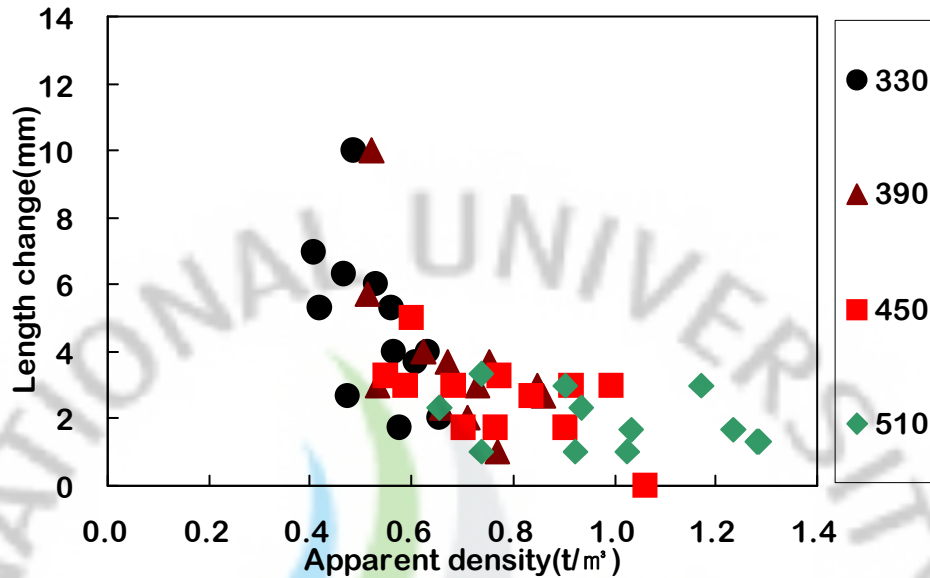


Fig. 4.4 Length change of lightweight aerated concrete

폐콘크리트잔분을 사용한 경량기포콘크리트의 물/시멘트비와 잔골재비율에 따른 길이변화(Length change)를 <Fig. 4.4>와 같이 각각의 단위시멘트량 330, 390, 450, 510kg/m³에 대해 나타내었다. 잔골재비율이 증가하고 공기량이 감소할수록 공시체의 길이 변화는 감소하며 겉보기밀도는 증가하는 형태를 보였다. 경량기포콘크리트의 길이 변화는 평균 3.3mm정도인 것으로 나타났다. 이러한 경향은 비중이 작을수록 소포에 의한 수축변형이 크게 일어나며 기포의 안정성이 부족하기 때문인 것으로 사료된다. 이와 같은 소포에 의한 길이변화는 체적이 감소하는 문제가 발생하고 이는 경량기포콘크리트의 단위체적중량 증가로 이어져 단열성능과 경제성을 저하시키는 주요한 원인이 된다. 따라서 기포의 안정성을 확보하고 일정수준의 단위체적중량을 증가시키면 소포에 의한 체적감소는 줄어들 것으로 판단된다.

5) 압축강도

(1) 물/시멘트비와 단위시멘트량에 따른 압축강도

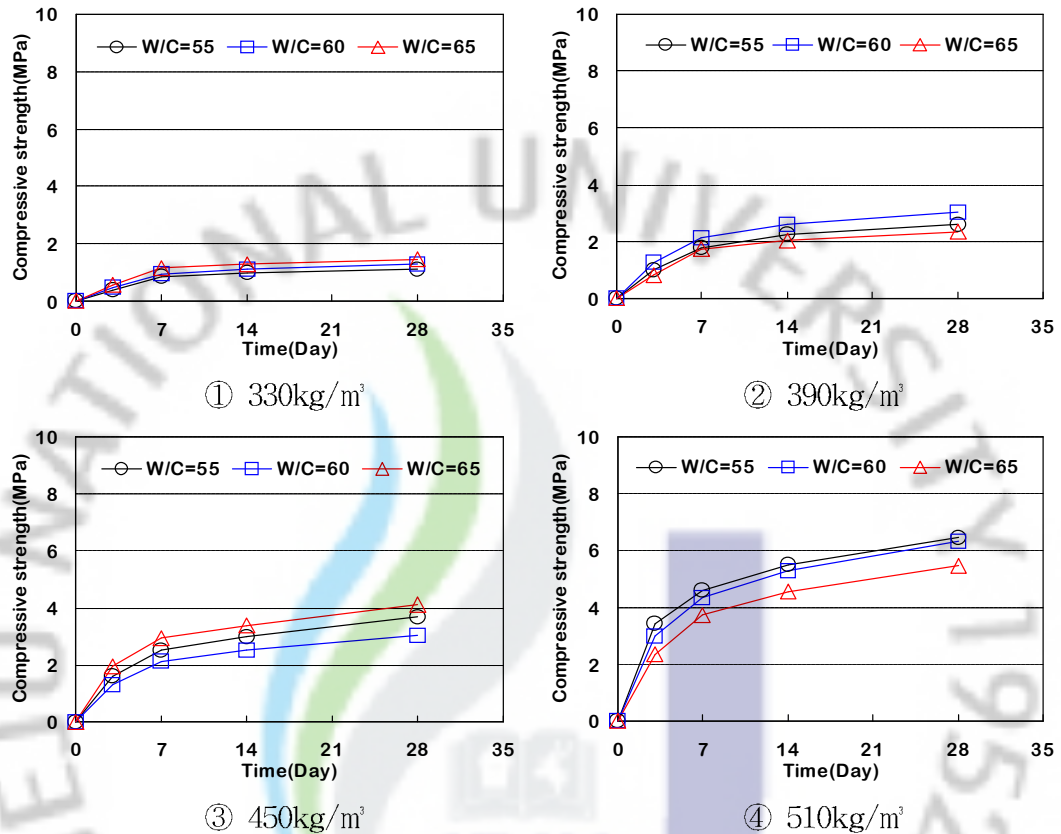


Fig. 4.5 Relationship of unit weight of cement and compressive strength

폐콘크리트잔분을 사용한 경량기포콘크리트의 단위시멘트량과 물/시멘트비에 따른 재령별 압축강도를 <Fig. 4.5>와 같이 나타내었다. 단위시멘트량이 증가할수록 경량기포콘크리트의 압축강도는 비례적으로 증가하는 경향을 나타냈으며 단위시멘트량이 60kg/m³씩 증가함에 따라 압축강도는 26~50%정도 상승되었다. 이는 고품분인 시멘트량의 증가로 인한 공기량 감소와 단위체적중량 상승에 따른 것으로 사료된다. 또한 보통콘크리트의 특성 중 압축강도는 물/시멘트비가 낮을수록 증가되는 것으로 알려져 있다. 하지만 경량기포콘크리트의 경우는 물/시멘트비에 따른 압축강도의 특성은 공기량 조절의 한계로 일정한 경향을 나타내기가 매우 어렵다.

(2) 물/시멘트비와 잔골재비율에 따른 압축강도

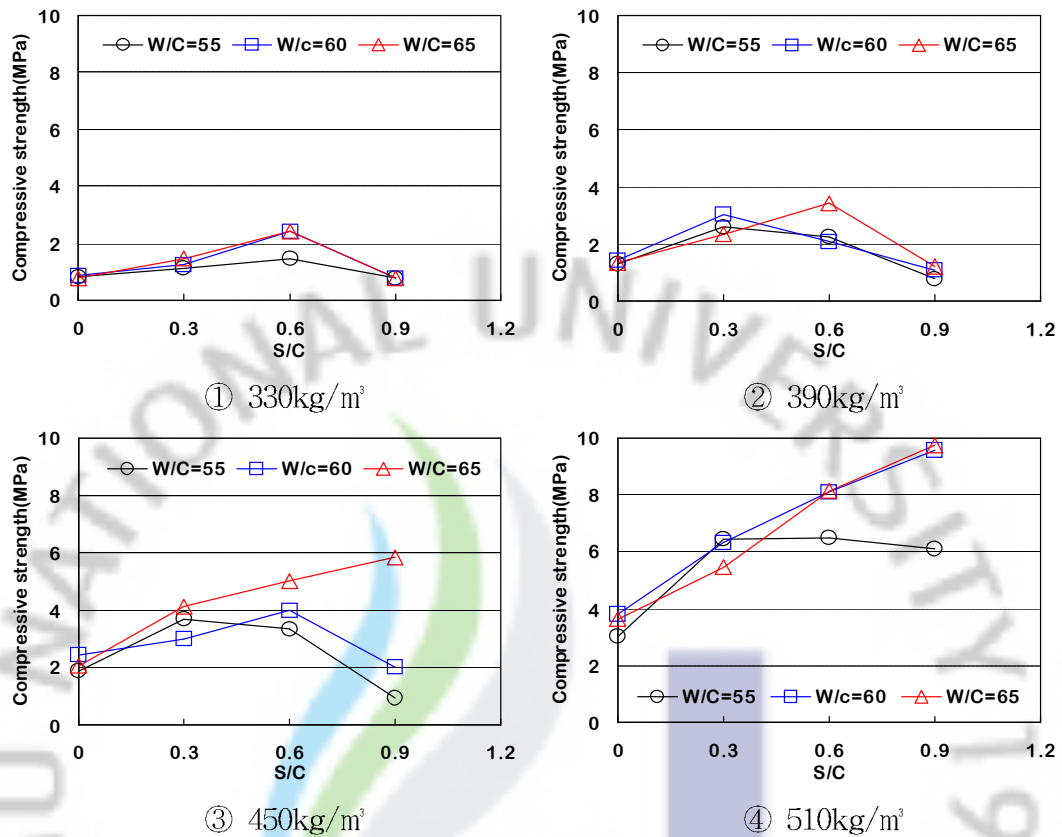


Fig. 4.6 Relationship of fine aggregate ratio and compressive strength

페콘크리트잔분을 사용한 경량기포콘크리트의 물/시멘트비와 잔골재비율에 따른 압축강도를 <Fig. 4.6>과 같이 각각의 단위시멘트량 330, 390, 450, 510kg/m³에 대해 나타내었다. 일반적으로 잔골재의 비율이 높을수록 단위체적 내의 공기량은 감소되고 고흥분이 많아짐에 따라 빈 공간을 채움으로써 단위체적중량이 증가하기 때문에 압축강도의 상승을 예상할 수 있다. 하지만 시험결과 단위시멘트량 330kg/m³에서는 잔골재의 비율이 0.6에서 가장 높은 압축강도가 측정되었으며, 390kg/m³에서는 잔골재의 비율이 0.3과 0.6일 때가 가장 높은 압축강도로 측정되었다. 이처럼 잔골재의 비율이 높다고 반드시 압축강도 또한 높게 나타나지 않으며 잔골재비율이 압축강도에 미치는 영향은 적용되는 단위수량과 공기량에 따라 달리 나타날 수 있다. 이는 앞서 플로우 시험에서 기술한 바와 같이 과도한 잔골재비율에 따른 단위수량과 공기량 부족으로 재료의 뭉침 현상이 발생하여 강도발현이 저조하게 나타남에 따라 더 이상 잔골재비율의 증가는 곤란하다는 것을 알 수 있다.

(3) 겉보기밀도와 압축강도의 관계

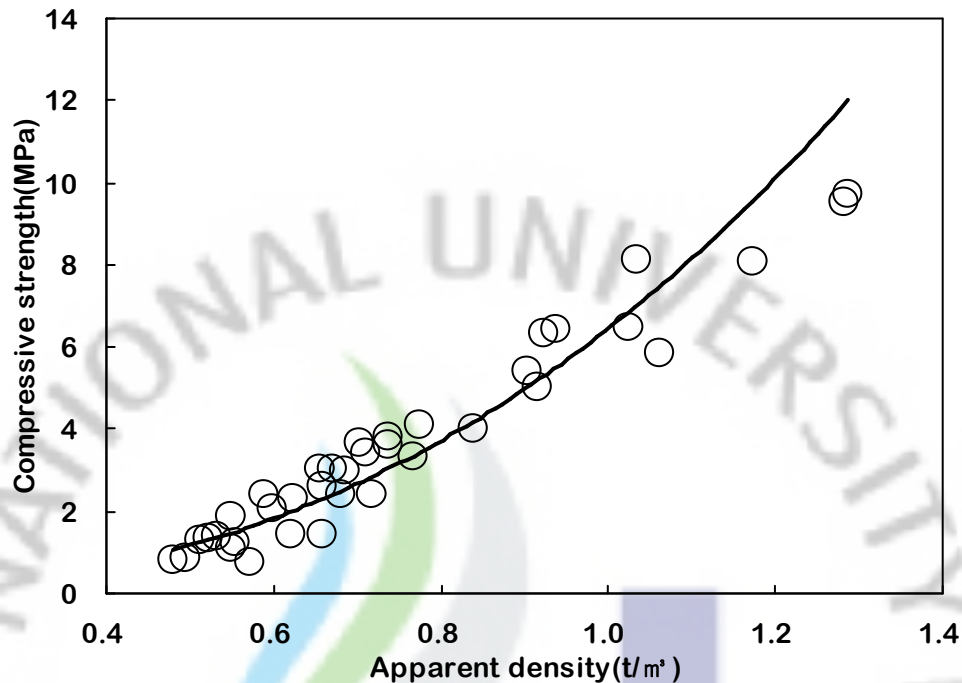


Fig. 4.7 Relationship of apparent density and compressive strength

폐콘크리트잔분을 사용한 경량기포콘크리트 각각의 잔골재비율에서 물/시멘트비와 공기량에 따른 압축강도와 단위체적중량의 관계를 <Fig. 4.7>에 나타내었다. 경량기포콘크리트의 단위체적중량은 구조물설계의 기본이 되며 경량기포콘크리트의 역학적 해석에서 주요 변수로 작용된다. 앞서 기술한 바와 같이 고품분인 시멘트량의 증가로 인한 공기량의 감소와 단위체적중량이 증가함에 따라 압축강도가 증가하는 것을 알 수 있다. 또한 잔골재의 비율이 높다고 반드시 압축강도가 높게 나타나지 않으며 잔골재비율이 압축강도에 미치는 영향은 적용되는 단위수량과 공기량에 따라 달리 나타날 수 있다. 그러나 일정 범위이상의 압축강도와 단위체적중량을 확보하기 위해서는 잔골재비율의 상승이 요구된다. 경량기포콘크리트의 겉보기밀도 $0.5 \sim 1.5 t/m^3$ 의 범위에서 겉보기밀도가 0.1씩 증가할 경우 압축강도는 평균 1.63MPa의 강도증가를 보였다. 단위체적중량과 압축강도의 상관관계를 <Eq. 4.1>에 나타내었다.

$$\sigma_{ck} = 6.4458\gamma^{2.4677} \dots\dots\dots (4.1)_$$

$$R^2 = 0.8861$$

여기서, σ_{ck} : 압축강도(MPa)

γ : 겉보기밀도(t/m³)

(4) 재령별 압축강도

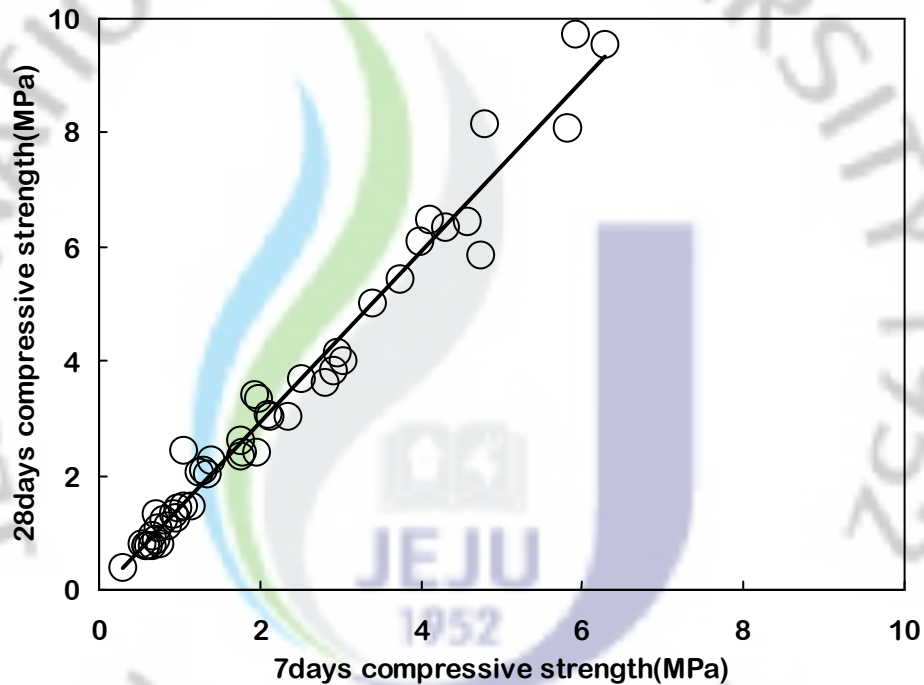


Fig. 4.8 Relationship of σ_7 and σ_{28}

폐콘크리트잔분을 사용한 경량기포콘크리트 각각의 잔골재비율에서 물/시멘트비와 공기량에 따른 재령별 압축강도와와의 관계를 <Fig. 4.8>에 나타내었다. 경량기포콘크리트의 재령28일 압축강도는 재령7일 압축강도의 평균 40~50%의 압축강도 증가율을 보였다. 보통 콘크리트의 경우 재령28일 압축강도는 재령7일 압축강도의 1.5배 정도로 추정 되고 있으며 여러 추정식이 제안되고 있다. 그러나 경량기포콘크리트의 재령별 강도변화에 대한 제안된 관계식이 없어 폐콘크리트잔분을 사용한 경량

기포콘크리트의 재령7일 압축강도와 재령28일 압축강도의 관계식 <Eq. 4.2>를 추정하였으며 서로 선형관계가 있음을 확인할 수 있었다. 실제적으로 시멘트 경화속도에는 많은 차이가 있고 뿐만 아니라 사용재료의 성질에 따라 많은 변수가 존재하기 때문에 재령 7일 압축강도를 통해 정확히 재령 28일 압축강도를 추정하는 것은 어렵다.

$$\sigma_{28} = 1.4951\sigma_7 - 0.0658 \dots\dots\dots (4.2)$$

$$R^2 = 0.9748$$

여기서, σ_{28} : 재령 28일 압축강도(MPa)

σ_7 : 재령 7일 압축강도(MPa)

(5) 단위체적중량과 겉보기밀도의 관계

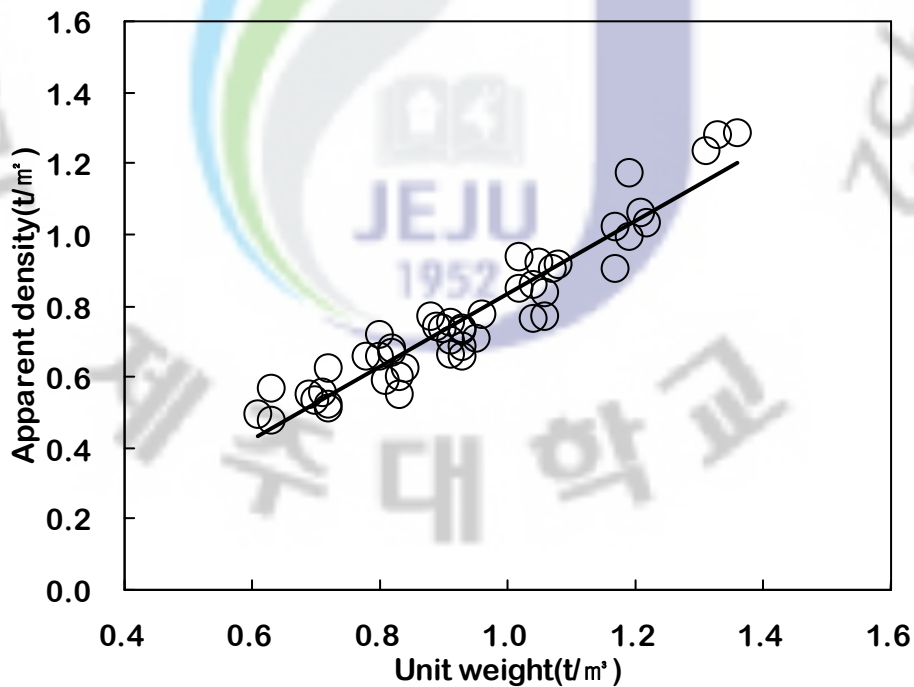


Fig. 4.9 Relationship of unit weight and apparent density

폐콘크리트잔분을 사용한 경량기포콘크리트 각각의 잔골재비율에서 물/시멘트비와 공기량에 따라 배합설계된 경화되지 않은 경량기포콘크리트의 단위중량과 겉보기밀도와의 관계를 <Fig. 4.9>에 나타내었다. 겉보기밀도는 경화되지 않은 경량기포콘크리트 단위체적중량의 약 81%의 값을 나타냈다. 경량기포콘크리트의 겉보기밀도는 최종 양생된 경량기포콘크리트의 품질을 결정하는 중요한 항목으로서 다공질의 조직 구조를 특징으로 하는 경량기포콘크리트의 역학적 특성에 영향을 미친다. 배합설계시 경화되지 않은 콘크리트의 단위체적중량을 기준으로 하지만 실제 설계시나 콘크리트의 역학적 특성 평가시에는 겉보기밀도와 압축강도와의 관계를 이용하는 경우가 많으므로 처음 배합설계시 기준이 되는 경화되지 않은 콘크리트의 단위체적중량과 겉보기밀도와의 관계를 고려할 필요가 있다. 폐콘크리트잔분을 사용한 경량기포콘크리트의 단위체적중량과 겉보기밀도는 선형관계를 이루고 있으며 이 관계를 <Eq. 4.3>에 나타내었다.

$$\gamma = 1.0287\gamma_t - 0.196 \dots\dots\dots(4.3)$$

$$R^2 = 0.9039$$

여기서, γ : 겉보기밀도(t/m^3)

γ_t : 단위체적중량(t/m^3)

(6) 단위체적중량과 압축강도의 관계

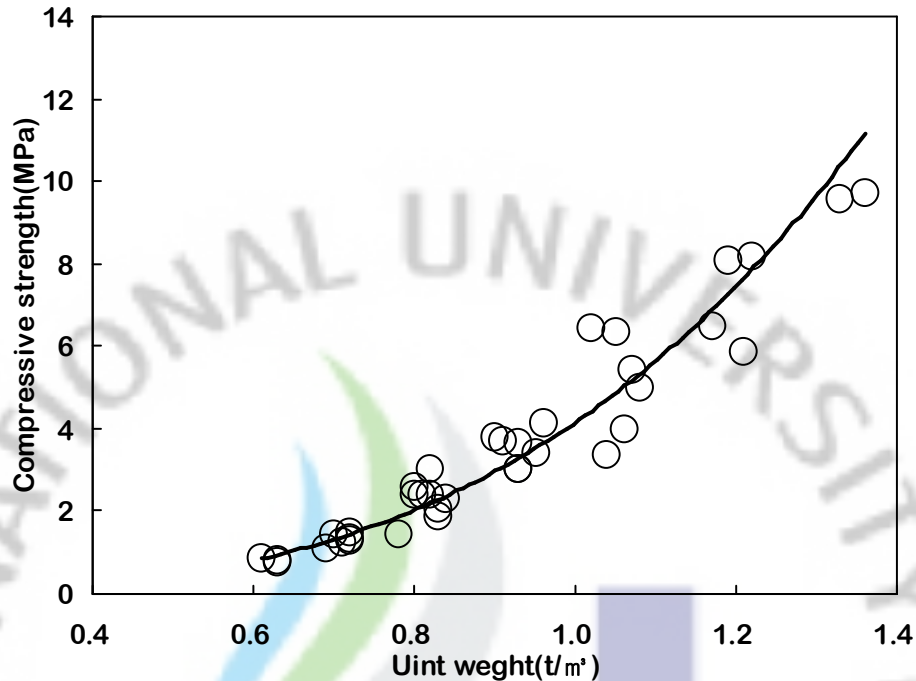


Fig. 4.10 Relationship of unit weight and compressive strength

폐콘크리트잔분을 사용한 경량기포콘크리트 각각의 잔골재비율에서 물/시멘트비와 공기량에 따른 경화되지 않은 콘크리트의 단위체적중량과 압축강도의 관계를 <Fig. 4.10>에 나타내었다. 경화되지 않은 콘크리트의 단위체적중량은 경량기포콘크리트의 배합설계시 역학적 해석에서 주요 변수로 작용된다. 경화되지 않은 콘크리트의 단위체적중량이 증가함에 따라 압축강도는 상승되었으며 두 측정값은 서로 유의한 상관관계를 보였다. 경화되지 않은 콘크리트의 단위체적중량과 압축강도의 상관관계를 <Eq. 4.4>에 나타내었다.

$$\sigma_c = 4.1505\gamma_t^{3.2147} \dots\dots\dots (4.4)$$

$$R^2 = 0.9401$$

여기서, σ_c : 압축강도(MPa)

γ_t : 단위체적중량(t/m³)

(7) 실리카흙 대체

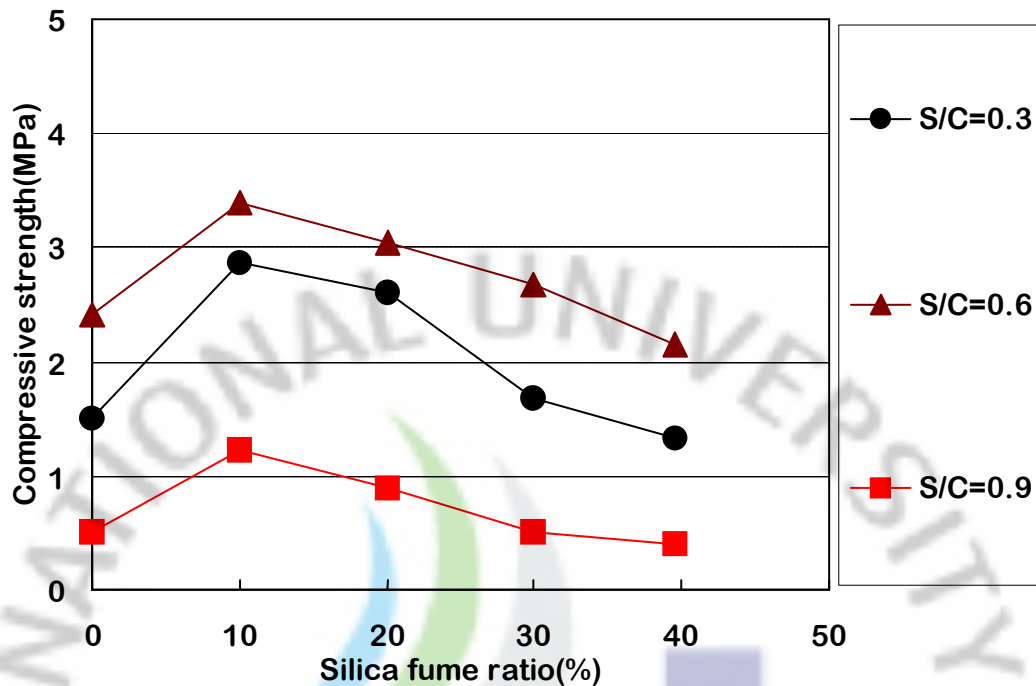


Fig. 4.11 Relationship of silica fume and compressive strength

단위시멘트량이 330kg/m³에서 물/(시멘트+실리카흙)비를 W/B=65%하고 잔골재비율(S/C)을 0.3, 0.6, 0.9로 정하여 실리카흙량을 시멘트의 10%씩 40%까지 대체하였다. <Fig. 4.11>와 같이 폐콘크리트잔분을 사용한 경량기포콘크리트의 실리카흙 대체에 따른 압축강도 증진 효과는 실리카흙 대체율 10%에서 최대강도를 나타냈으며 10%이상 증가될 경우는 압축강도의 증진효과가 떨어지는 것으로 나타났다. 잔골재비율의 0.9에서는 과도한 잔골재비율에 따른 단위수량과 공기량 부족으로 재료의 뭉침 현상이 발생하여 강도발현이 저조하게 나타난 것으로 사료된다.

2. 배합설계

1) 잔골재비율과 겉보기밀도에 따른 압축강도

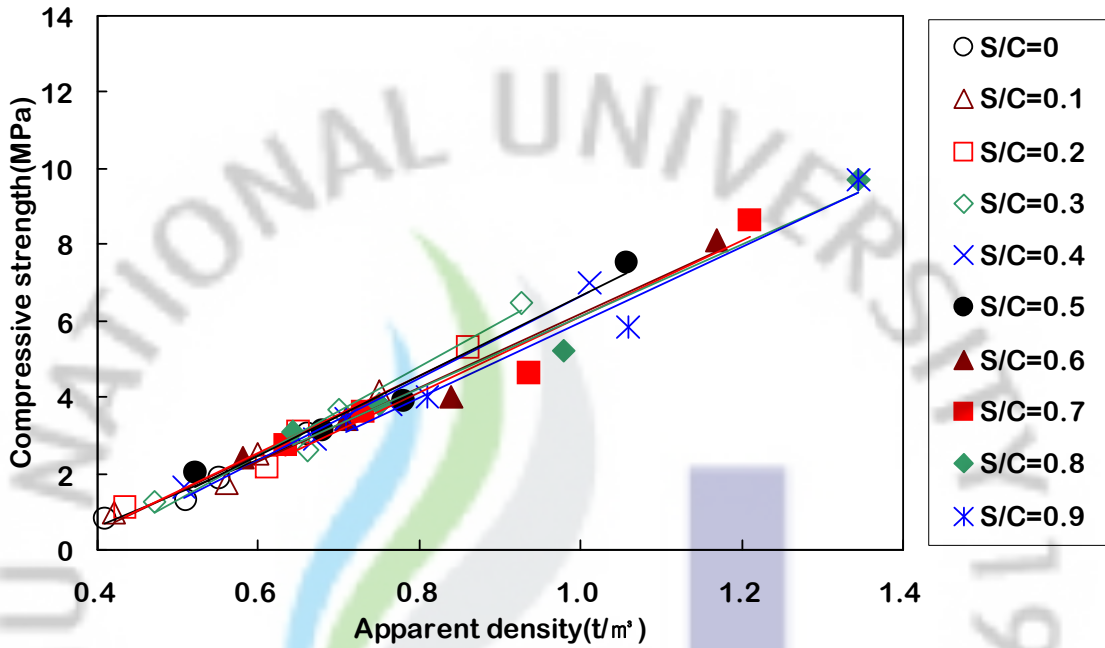


Fig. 4.12 Relationship of apparent density and compressive strength

<Fig. 4.12>와 같이 경량기포콘크리트의 압축강도는 겉보기밀도와 잔골재비율에 따른 공기량에 따라 변화하며 서로 상관관계를 이룬다. 이들의 관계는 <Eq. 4.5>와 같으며 이로부터 결정된 계수 값 a와 b를 <Table. 4.1>에 나타내었다.

$$\sigma_{28} = a\gamma + b \quad \dots\dots\dots (4.5)$$

여기서, σ_{28} : 28일 압축강도(MPa)

γ : 겉보기밀도(t/m³)

a, b: 겉보기밀도와 잔골재비율에 따라 결정되는 계수 값

Table. 4.1 The coefficients of apparent density and fine aggregate ratio

| Fine aggregate ratio(S/C) | a | b |
|---------------------------|--------|---------|
| 0.0 | 9.0616 | -3.0603 |
| 0.1 | 9.8933 | -3.4178 |
| 0.2 | 10.071 | -3.5127 |
| 0.3 | 11.564 | -4.4628 |
| 0.4 | 10.776 | -4.1200 |
| 0.5 | 10.442 | -3.7750 |
| 0.6 | 9.6883 | -3.5079 |
| 0.7 | 9.9353 | -3.8157 |
| 0.8 | 9.4464 | -3.3253 |
| 0.9 | 9.8464 | -3.9118 |

소요 28일 압축강도(또는 설계기준강도)와 겉보기밀도가 정해지면 잔골재비율과 각각의 상수들 간의 상관관계로부터 얻어진 계수 <Eq. 4.6a>와 <Eq. 4.6b>를 <Eq. 4.5>에 대입하여 필요한 잔골재비율을 구할 수 있다.

$$a = -6.253(S/C)^2 + 5.4637(S/C) + 9.3958 \dots\dots\dots (4.6a)$$

$$b = -2.8425(S/C)^2 - 2.8808(S/C) - 3.2048 \dots\dots\dots (4.6b)$$

여기서, S/C: 잔골재비율

2) 잔골재비율과 단위체적중량의 상관관계

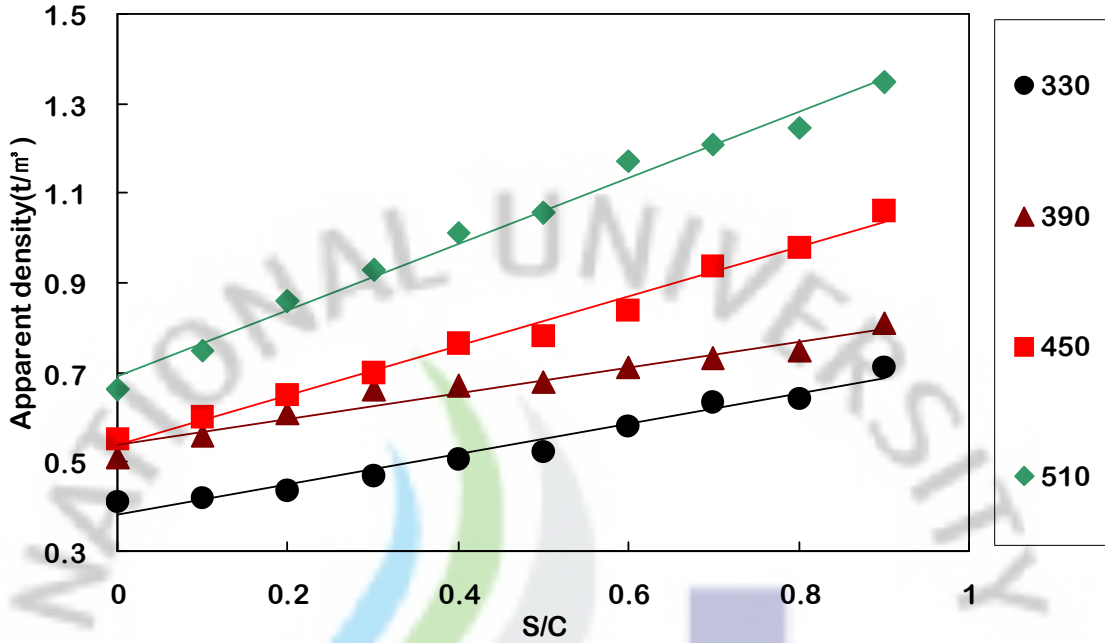


Fig. 4.13 Relationship of S/C and apparent density

<Fig. 4.13>과 같이 경량기포콘크리트의 겉보기밀도는 잔골재비율과 단위시멘트 량에 따른 공기량에 따라 변화하며 서로 상관관계를 이룬다. 이들의 관계는 <Eq. 4.7>과 같으며 겉보기밀도와 잔골재비율의 상관관계를 <Table. 4.2>에 나타내었다.

$$\gamma = \alpha(S/C) + \beta \dots\dots\dots (4.7)$$

여기서, α, β : 잔골재비율과 단위시멘트량에 따라 결정되는 계수 값

Table. 4.2 The coefficients of fine aggregate ratio and unit cement quantity

| Unit cement quantity (kg/m ³) | α | β |
|---|----------|---------|
| 330 | 0.3394 | 0.3803 |
| 390 | 0.2898 | 0.5385 |
| 450 | 0.5525 | 0.5374 |
| 510 | 0.7381 | 0.6915 |

<Table. 4.2>에 나타낸 계수 α 와 β 를 단위시멘트량에 관한 관계식으로 나타내면 <Eq. 4.8 α >와 <Eq. 4.8 β >같으며, 결보기밀도와 잔골재비율이 정해지면 <Eq. 4.7>에 대입하여 필요한 단위시멘트량을 구할 수 있다.

$$\alpha = 0.0024C - 0.5412 \dots\dots\dots (4.8\alpha)$$

$$\beta = 0.0016C - 0.1158 \dots\dots\dots (4.8\beta)$$

여기서, C: 단위시멘트량(kg/m³)

3) W/C와 S/C의 상관관계

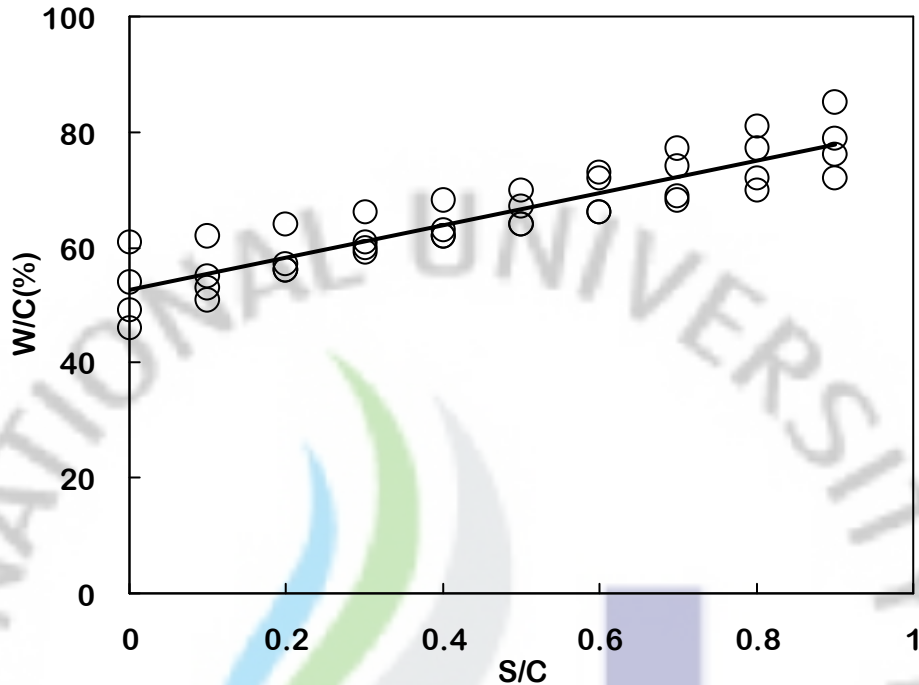


Fig. 4.13 Relationship of S/C and W/C

각각의 단위시멘트량 330, 390, 450, 510kg/m³에서 잔골재비율이 증가함에 따라 물/시멘트비를 증가시켜 플로우 값이 180이상 되도록 하여 유동성을 확보하였다. <Fig. 4.13>과 같이 잔골재비율과 물/시멘트비는 서로 상관관계를 이루며 잔골재비율이 정해지면 <Eq. 4.9>로부터 물/시멘트비를 구할 수 있다.

$$W/C = 0.2771(S/C) + 0.5268 \quad \dots\dots\dots (4.9)$$

$$R^2 = 0.8161$$

여기서, W/C: 물/시멘트비(%)

S/C: 잔골재비율

4) 겉보기밀도와 공기량과의 상관관계

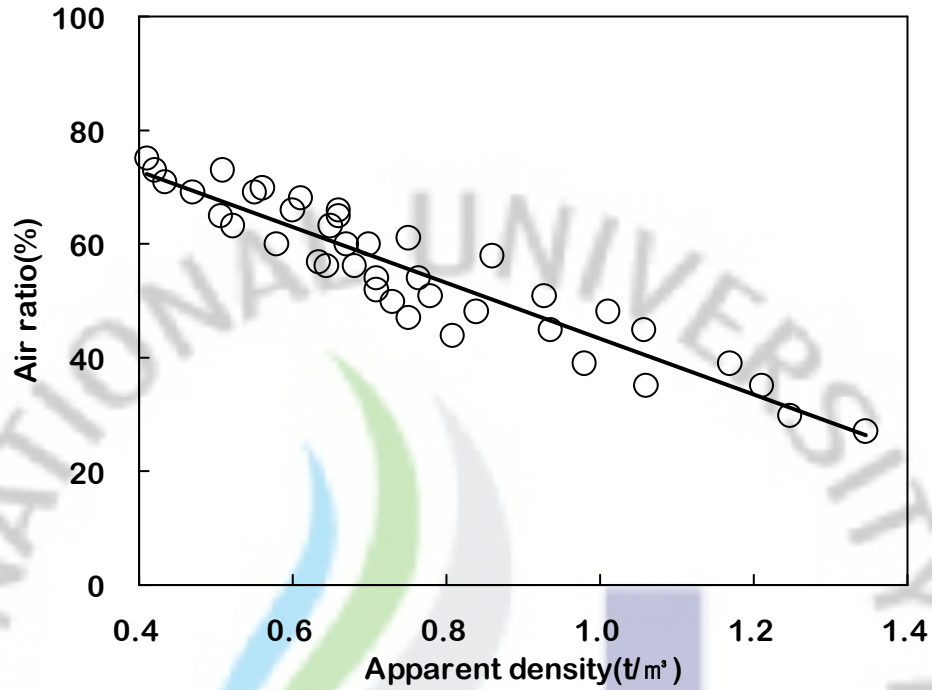


Fig. 4.14 Relationship of apparent density and air ration

<Fig. 4.14>와 같이 겉보기밀도와 공기량은 서로 상관관계를 이루며 겉보기밀도가 정해지면 <Eq. 4.10>으로부터 공기량을 구할 수 있다.

$$A_q = -0.4913\gamma + 0.9244 \quad \dots\dots\dots (4.10)$$

$$R^2 = 0.8728$$

여기서, A_q : 공기량(%)

5) 배합설계 과정

소요 28일 압축강도가 $\sigma_{28} = 5\text{MPa}$, 겉보기밀도 $\gamma = 1.0\text{t/m}^3$ 인 폐콘크리트잔분을 사용한 경량기포콘크리트 블록을 제작하려 한다. 배합설계의 경계조건으로 시멘트는 보통 포틀랜드시멘트, 혼화재로 실리카흙, 기포제로 동물성 단백질 기포제, 잔골재로는 분쇄한 후 No.100(0.15mm)체를 통과한 폐콘크리트잔분을 사용한다.

단, 실리카흙은 시멘트첨가량의 $\frac{1}{10}$ 을 사용한다.

1. 소요 28일 압축강도(또는 설계기준강도)와 겉보기밀도가 정해지면 잔골재비율과 각각의 상수들 간의 상관관계로부터 얻어진 계수 값 <Eq. 4.6a>와 <Eq. 4.6b>를 <Eq. 4.5>에 대입하여 필요한 잔골재비율 $S/C=0.53$ 을 구할 수 있다.
2. <Table. 4.2>에 나타낸 계수 α 와 β 를 단위시멘트량에 관한 관계식으로 나타내면 <Eq. 4.8a>와 <Eq. 4.8b>같으며 겉보기밀도 $\gamma = 1.0\text{t/m}^3$ 와 잔골재비율 $S/C=0.53$ 을 <Eq. 4.7>에 대입하여 필요한 단위시멘트량 $C=488\text{kg/m}^3$ 을 구할 수 있다.
3. <Fig. 4.13>과 같이 잔골재비율과 물/시멘트비는 서로 상관관계를 이루며 잔골재비율 $S/C=0.53$ 을 <Eq. 4.9>에 대입하여 물/시멘트비 $W/C=67\%$ 를 구할 수 있다.
4. <Fig. 4.14>와 같이 겉보기밀도와 공기량은 서로 상관관계를 이루며 겉보기밀도 $\gamma = 1.0\text{t/m}^3$ 을 <Eq. 4.10>에 대입하여 공기량 $A_g = 43\%$ 를 구할 수 있다.

Table. 4.3 The mix design result

| W/C(%) | Silica fume/C | S/C | Air quantity(%) | Unit weight(kg/m ³) | | | |
|--------|---------------|------|-----------------|---------------------------------|-----|-----|-------------|
| | | | | C | W | WCP | Silica fume |
| 67 | 0.1 | 0.53 | 43 | 488 | 327 | 258 | 49 |

6) 배합설계기준에 따른 압축강도실험결과

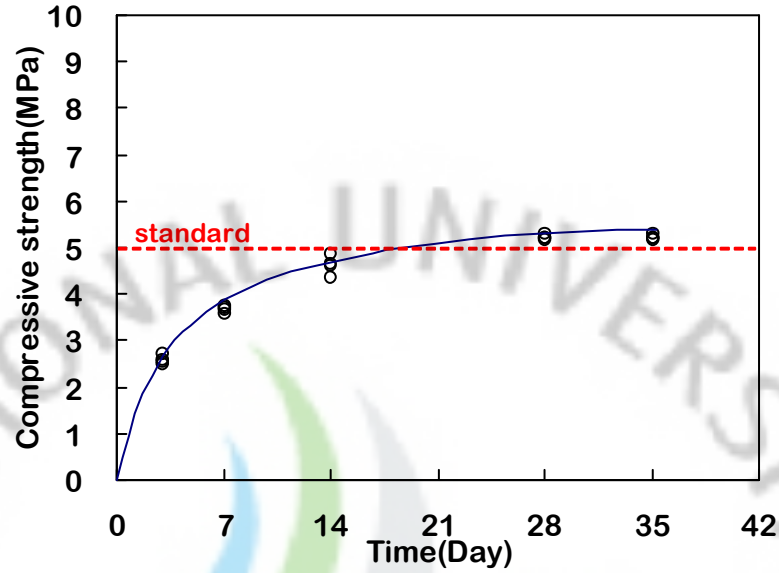


Fig. 4.15 The result of compressive strength test

앞서 설계된 배합조건을 기준으로 소요 28일 압축강도가 $\sigma_{28} = 5\text{MPa}$, 겉보기밀도 $\gamma = 1.0\text{t/m}^3$ 인 폐콘크리트잔분을 사용한 경량기포콘크리트를 제작하였다. <Fig. 4.15>와 같이 압축강도시험결과 28일 압축강도가 5.22MPa로 설계강도 이상의 압축강도를 발현하였으며 겉보기밀도는 0.98t/m^3 로 설계 기준보다 0.2t/m^3 정도의 오차를 보였다.

3. 폐콘크리트잔분을 사용한 경량기포콘크리트의 웰빙특성

1) 원적외선 방사율 시험

원적외선은 전자파의 파장영역 중 3~1000 μ m범위로서 가시광선보다 강한 열작용하는 방사에너지가 직접적이고 순간적으로 전달되는 열에너지를 나타내며 폐콘크리트잔분을 사용한 경량기포콘크리트(Lightweight Aerated Concrete, LAC)의 원적외선 방사율 평가 하였다.

Table. 4.4 The comparative result of the original infrared ray

| Contents | Unit | Original infrared ray emissivity |
|----------------------------|--------------------|----------------------------------|
| LAC | % | 91.7 |
| Jade bed | % | 93 |
| Ceramic powder | % | 91.7 |
| Loess | % | 91.4 |
| Lightweight concrete | % | 91.2 |
| Healthy bracelet | % | 90.7 |
| Original infrared ray film | % | 88.3 |
| Method | KICM-FIR-1005:2005 | |

원적외선 방사율 시험결과는 <Table. 4.4>와 같으며 폐콘크리트잔분을 사용한 경량기포콘크리트의 원적외선 방사율은 91.7%로 나타났다. 또한 원적외선 방사율이 우수한 것으로 알려진 옥돌침대, 세라믹분말, 황토 등과 비교 하였을 때 폐콘크리트잔분을 사용한 경량기포콘크리트가 매우 우수한 것으로 확인되었다.

2) 탈취율 시험

방취가공대상 공업제품 및 원료의 유해가스, 악취가스물질의 흡착 및 제거능력을 측정 경과시간에 따르는 시험가스(암모니아)의 농도(ppm)변화 측정을 나타내며 폐콘크리트잔분을 사용한 경량기포콘크리트의 탈취율 평가 결과 탈취율은 78.7%로 우수한 것으로 나타났다. 탈취율 평가 결과는 <Table. 4.5>에 나타내었으며 시간경과에 따른 가스농도곡선은 <Fig. 4.15>와 같다.

Table. 4.5 The test result of deodorization ration

| Contents | Lapse time (m) | Blank (ppm) | Specimen (ppm) | Deodorization (%) |
|-------------|--------------------|-------------|----------------|-------------------|
| Test result | 0 | 200 | 200 | - |
| | 30 | 194 | 69 | 64.6 |
| | 60 | 188 | 52 | 72.3 |
| | 90 | 183 | 43 | 76.5 |
| | 120 | 178 | 38 | 78.7 |
| Method | KICM-FIR-1085:2006 | | | |

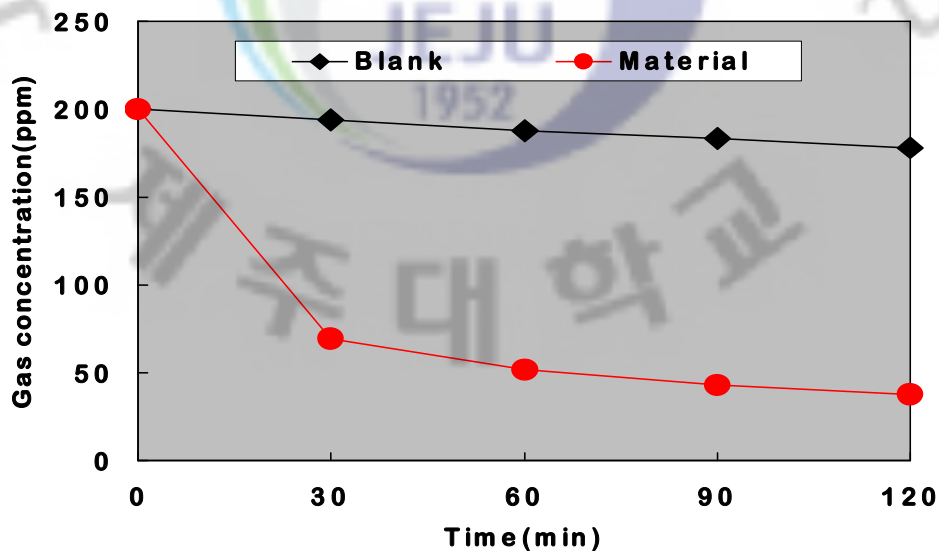


Fig. 4.15 Gas concentration curve

3) 항곰팡이 시험

항곰팡이 시험은 ASTM G-21에 따라 지정된 곰팡이 균주 5종의 혼합포자 현탁액을 이용하여 시료에 대한 저항 능력을 알아보는 시험이다. 배양접시에 일정한 크기(40*40mm)의 시료를 얹고 위의 혼합포자 현탁액을 시료 및 배지에 골고루 분무하여 온도 25~28℃, 상대습도 85%인 배양기에 넣어 균의 성장 정도를 관독하였다.

항곰팡이 시험결과 4주후까지 페콘크리트잔분을 사용한 경량기포콘크리트에 살균제, 항균제의 첨가 없이도 균의 성장을 인지할 수 없으므로 곰팡이에 대한 저항성이 매우 높은 것으로 나타났다. 항곰팡이 시험결과는 <Table. 4.6>과 <Fig. 4.16>에 나타내었다.

Table. 4.6 The antifungal test result

| Contents | Lapse time | | | |
|-------------|-----------------|--------|--------|--------|
| | 1weeks | 2weeks | 3weeks | 4weeks |
| Test result | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Method | ASTM G-21(2002) | | | |



Fig. 4.16 Antifungal test

4) 단열성 시험

열전도율 시험은 시험체를 통과하는 열류량을 직접 전기적으로 측정하고 그때의 시험체 온도차를 측정하여 열전도율을 구하는 방법이다. 크기가 200*200mm, 두께 50mm의 폐콘크리트잔분을 사용한 경량기포콘크리트의 열전도율 시험을 실시하였다.

Table. 4.7 The thermal conductivity result of heat conduction

| Contents | Unit | Thermal conductivity |
|----------------------|----------------|----------------------|
| LAC | W/m · K | 0.18 |
| Polyrthylene | W/m · K | 0.03 |
| Lightweight mortar | W/m · K | 0.16 |
| Lightweight concrete | W/m · K | 0.19 |
| Block | W/m · K | 0.53 |
| Close mortar | W/m · K | 0.93 |
| Method | KS L 9016:2005 | |

열전도율 시험결과는 <Table. 4.7>과 같으며 평균온도 20℃에서의 열전도율이 0.18 W/m · K, 단열성은 0.258 m² · K/W로 나타났다. 또한 열전도율 수치가 낮을수록 단열성이 우수한 재료라 할 수 있으며 각종재료와 열전도율을 비교 하였을 때 폐콘크리트잔분을 사용한 경량기포콘크리트가 우수한 것으로 확인되었다.

5) 방음성 시험

페콘크리트잔분을 사용한 경량기포콘크리트의 흡음률을 측정하기 위하여 KS F 2814의 규정에 따라 흡음률을 측정하였다. 두께 20mm, 지름 100mm인 원판형 시료는 흡음률 측정 주파수 범위가 50Hz~1.2kHz이고, 두께 20mm, 지름 29mm인 원판형 시료는 흡음률 측정 주파수 범위가 500Hz~6kHz이다. 두 종류의 흡음률 측정시료를 제작한 뒤 흡음측정기기(Type 4206, B&K)를 이용하여 흡음률을 측정하였다. 측정결과 500Hz에서의 음향투과손실이 43dB로 기준치 43dB와 일치 하는 것으로 나타났다. 페콘크리트잔분을 사용한 경량기포콘크리트의 음향투과손실 결과를 <Table. 4.8>에 나타내었다.

Table. 4.8 The sounds absorption test result

| Frequency (Hz) | 250 | 500 | 1000 | 2000 |
|------------------------|-------------|------|------|------|
| Transmission loss (dB) | 41 | 43 | 47 | 49 |
| Sound absorption | 0.07 | 0.09 | 0.1 | 0.12 |
| Method | KS F 2814-1 | | | |

V. 결론

본 연구에서는 폐콘크리트잔분을 사용한 경량기포콘크리트의 단위시멘트량, 잔골재 비율, 물/시멘트비의 혼합을 변화에 따른 역학적 특성과 구조체로서 요구되는 소요강도에 대하여 실내시험을 통하여 분석하였으며, 경량기포콘크리트의 웰빙특성인 원적외선 방사율, 탈취율, 항곰팡이시험과 단열성, 방음성시험을 실시하여 경량기포콘크리트의 기초적 특성을 분석하였다. 본 연구에서는 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 폐콘크리트잔분을 사용한 경량기포콘크리트의 플로우와 흡수율은 물/시멘트비와 잔골재 비율의 조절을 통하여 확보할 수 있었으며 체적감소율을 줄이고 압축강도와 겔보기밀도의 증진효과를 높이기 위해서는 일정범위 이상의 잔골재가 첨가되어야 할 것으로 판단된다. 이와 같은 폐콘크리트잔분의 사용은 환경·경제적 측면에서 유리할 것으로 판단된다.
2. 폐콘크리트잔분을 사용한 경량기포콘크리트의 경화되지 않은 콘크리트의 단위체적중량과 압축강도 및 겔보기밀도는 서로 상관관계가 있음을 확인하였으며 재령7일 압축강도와 재령28일 압축강도의 관계에서 관계식을 제시하였다.
3. 폐콘크리트잔분을 사용한 경량기포콘크리트의 혼화재로 실리카흄을 대체할 경우 압축강도 증진 효과는 실리카흄 대체율 10%에서 최대압축강도를 나타냈으며 10% 이상 증가될 경우는 압축강도의 증진효과는 기대하기 어려운 것으로 판단된다. 그러나 혼화재 대체시 적당량의 배합수를 증가 시켜 유동성을 확보할 경우 압축강도 증진에 유리할 것으로 판단된다.
4. 폐콘크리트잔분을 사용한 경량기포콘크리트의 소요 28일 압축강도와 겔보기밀도의 적용 범위만 제시하면 각 배합인자간의 관계로부터 배합비산정이 가능한 배합설계 식을 제안 하였다.

5. 폐콘크리트잔분을 사용한 경량기포콘크리트의 웰빙특성에서 원적외선 방사율이 세라믹분말과 황토 등과 비교할 때 우수한 것으로 나타났으며 악취가수물질의 흡착 및 제거능력을 측정하는 탈취율이 우수한 것으로 확인되었다. 또한 지정된 곰팡이 균주 5종의 혼합포자를 배지에 배양하였을 때 4주후까지 살균제와 항균제의 첨가 없이도 균의 성장을 인지할 수 없어 곰팡이에 대한 저항성이 매우 높은 것으로 나타났다.

6. 폐콘크리트잔분을 사용한 경량기포콘크리트의 단열성을 판단하는 열도전율과 방음성을 나타내는 음향투과손실이 우수한 것으로 확인되었으며 건물의 층간 칸막이나 벽 칸막이로의 사용에 무리가 없을 것으로 판단된다.



참고문헌

- 강문, 2000, 음향진달수를 이용한 차음시트의 음향투과손실 측정, 서울산업대학교 석사학위논문, pp.
- 건설교통부, 1997, 경량콘크리트의 재료개발에 관한 연구, 동아건설기술연구소, pp.
- 고해식, 1998, 경량기포콘크리트의 압축강도에 대한 실험적 연구, Vol. 14, No. 1, pp.383~390
- 노재성, 황의환, 홍성수, 이범재, 1996, 비중을 높인 경량기포콘크리트의 내동해성, 충남대학교 산업기술연구소 논문집, Vol. 11, No. 2, pp.61~67
- 서치호, 1985, 경량콘크리트의 성태에 관한 실험적 연구, 한양대학교 박사학위논문, pp.
- 임평, 임재석, 2006, 경량기포콘크리트의 제조 및 기포제의 특성분석, 배재대학교 공학연구소 공학논문집, Vol. 8, No. 1, pp.1~14
- 전봉민, 2005, 기포콘크리트의 배합비 및 유리섬유 혼입율에 따른 물성에 관한 연구, 동명정도대학교 석사학위논문, pp.
- 조문석, 2008, Bottom ash를 잔골재로 사용한 기포콘크리트의 역학적 특성에 관한 실험적 연구, 한서대학교 석사학위논문, pp.
- 정성철, 김범수, 김기동, 1998, 온돌단열용 경량기포 콘크리트의 배합설계에 관한 연구, 대한건축학회, Vol. 17, No. 11, pp.83~93

중소기업청, 2009, 건설폐잔토를 재활용한 경량기포콘크리트 건축자재 개발, 산학 공동기술개발지원사업 보고서, pp.

최성용, 신재경, 장광복, 한민철, 한천구, 2007, 혼화재료의 치환에 따른 경량기포 콘크리트의 기초적 특성분석, 한국건축시공학회지, Vol. 7, No. 2, pp.77~83

홍도관, 안찬우, 강진구, 우병철, 최재기, 강현찬, 2006, 경량화 콘크리트에서 기포제의 함량에 따른 흡음특성에 관한 연구. 한국소음진동공학회 춘계학술대회논문집, Vol. 2006, pp.1~4



감사의 글

본 논문이 완성되기 까지 항상 세심한 배려와 지도로 학문적 정신적 가르침을 깊이 베풀어주신 남정만 교수님께 깊은 감사를 드립니다. 그리고 논문심사과정에서 세심한 배려와 조언을 아끼기 않으신 양성기 교수님, 김남형 교수님, 이병걸 교수님, 박상렬 교수님, 김상진 교수님, 이동욱 교수님께도 감사를 드립니다. 또한 논문이 나오기까지 많은 가르침과 조언을 해주신 중앙대학교 홍원표 교수님, 안산공과대학 윤중만 교수님, 한국해양대학교 김태영 교수님께 진심으로 감사드립니다.

대학원 생활동안 많은 힘이 되어주신 지반공학연구실의 김기영 선배님, 허용 선배님, 조영웅 선배님, 소재관 선배님, 오동일 선배님, 김승범 선배님, 조성환 선배님, 김준호 선배님, 김승현 선배님, 김도형 선배님, 홍종완 선배님 감사드립니다.

2년이라는 대학원 생활을 함께하는 동안 모든 고난과 역경을 같이하며 서로를 격려하고 배려해 주었던 지반공학연구실 동기생 김태건, 이창선 그리고 논문이 완성되기까지 밤낮없이 실험을 함께하며 많은 도움을 준 현주성, 허용석, 고명진에게도 고마운 마음을 전합니다.

연구실은 다르지만 서로를 돕고 격려해주었던 김창훈 선배님, 고행식 선배님, 안승현 선배님, 이승호 선배님, 윤현철, 이창립, 좌용현, 고정우, 박준영, 부양수 그리고 이제 대학원에 입학할 김석현에게도 고마운 마음을 전합니다.

대학원 생활동안 많은 격려와 도움을 주신 제주산업(주) 김용태 상무님, (주)웅진건설 이용남 선배님, 가정관리학과 강미선 박사님, 의류학과 김보람 선생님, 신성여중 좌안나 선생님, 제주시청 김연주 선생님, 제주시청 김진아 선생님 감사드립니다.

그리고 2년이란 시간동안 묵묵히 지켜봐 주었던 “임지현!” 참고 기다려줘서 정말 고맙고 앞으로도 지금처럼 서로 아끼고 사랑하며 지내도록 하자 “사랑해 지현아”

마지막으로 우리가족과 사랑하는 어머니 항상 저에게 아낌없이 주는 나무와 같이
더운 날에는 그늘을 비오는 날에는 비를 막아주신 그 은혜에 정말 감사드립니다.
항상 모든 일에 최선을 다하고 흐트러지지 않는 모습으로 어머니의 은혜에 보답 하
도록 하겠습니다. “사랑합니다! 어머니”

2009년 12월

姜 英 民

