한국지반환경공학회 논문집
제11권 제4호 2010년 4월 pp. 33~42

가소성 경량기포콘크리트의 배합비 변화에 따른 공학적 특성

Engineering Characteristics of Plasticizer Lightweight Foamed Concrete according to Changes of Mixing Ratio

서 두 원[1] · 김 혜 양[2] · 김 경 민[3] · 천 병 식†
Seo, Doowon · Kim, Hyeyang · Kim, Kyungmin · Chun, Byungsik

ABSTRACT : The lightweight foamed concrete is used to reduce the weight of the backfill material. When it is applied, the volume is often contracted due to segregation, necessitating re-injection. In this study, it was manufactured a new lightweight foamed concrete by adding plasticizer and tested the engineering properties of the material. The tests included unconfined compressive strength test, unit weight test, flow test, pH test, and permeability test. The plasticizer is shown to have an important influence on the flow. It was shown that 2~2.4% of plasticizer was adequate. The new material was shown to have positive influence on the flow and reduction of weight when applied to the backfill of the structures.

Keywords : Lightweight foamed concrete, Unconfined compressive strength test, Plasticizer, Foam agent

요 지 : 구조물 뒤채움재로서 하중경감을 위해 사용되는 경량기포콘크리트는 기포의 소포작용에 의해 체적이 감소하여 재주입하는 문제점이 있다. 따라서 본 연구에서는 체적의 감소 문제를 보완하고자 가소제를 첨가한 가소성 경량기포콘크리트를 제작하였고, 공학적 특성을 실험적으로 규명하고자 하였다. 가소성 경량기포콘크리트의 공학적 특성을 파악하기 위해 배합요소들의 변화에 따른 일축압축강도, 단위중량, flow, pH, 투수시험에 대한 연구를 진행하였다. 실험결과로부터 가소제의 첨가에 따른 공학적 특성을 비교분석하였고, 에트링자이트의 생성으로 인하여 flow값에 가장 큰 영향을 주는 것으로 나타났다. 가소제의 적정 첨가량은 2~2.4%정도가 적당할 것으로 판단되며, 구조물 배면의 충전재료로 사용하여 하중 경감측면과 재료의 과도한 유동성에 의한 안정성 증가에 큰 효과가 있을 것으로 판단된다.

주요어 : 경량기포콘크리트, 일축압축강도, 가소제, 기포량

1. 서 론

경량기포콘크리트란 경량콘크리트의 한 종류로서 시멘트 슬러리내에 다량의 기포를 혼합시킴으로서 동일한 체적의 보통콘크리트 보다 가벼운 콘크리트로 정의 된다(Waston 등, 1978). 경량콘크리트에 대한 연구는 선진국에서는 이미 상당한 수준의 성과가 있어서 단열 및 방음 등의 간접 효과를 얻을 수 있는 구조용 콘크리트로 활용되고 있다(변근주 등, 1996). 경량기포콘크리트의 단위중량은 보통 $1.0g/cm^3$ 전후로 조정이 가능하나 압축강도나 기포의 소포에 대한 문제에 따라 실제 적용에 제한적인 면이 있을 수 있다. 경량기포콘크리트는 토사에 비해 가벼워서 하중을 경감할 수 있고, 유동성이 높으므로 펌프압송에 의한 타설을 할 수 있는 장점을 가지고 있다. 이러한 장점 때문에 연약지반 위의 성토, 옹벽의 뒤채움, 구조물의 되메우기 등에 효과적인 재료로 인식되어 현재 연구와 사용범위가 증가하고 있는 추세이다(황중호 등, 2005). 또한 최근 콘크리트 구조물의 고층화, 대형화 추세에 따라 커튼월 및 내외장재 등의 비구조용 부재 등으로 경량의 프리캐스트 제품의 사용이 점증되고 있다. 이러한 관점에서 경량기포콘크리트는 건설 재료의 공장생산화(pre-fabrication)의 실현, 시설물의 질적인 향상, 현장시공의 단순화에 따르는 건설공사 비용의 절감 및 작업환경개선 등에 기여할 수 있는 것으로 알려져 왔다(남재현, 1991).

그러나 경량화를 이루기 위해 혼합하는 기존의 기포제나 벤토나이트 등 팽창제를 사용하는 경량그라우트 공법의 경우 기포소멸과 블리딩 현상으로 체적이 현저히 줄어들어 경화(주입후 약 10시간)후 수차례의 주입을 반복해야 하는 문제점을 가지고 있으며(변근주 등, 1996), 현장 시공 시 지하작업의 특성상 인력과 장비의 접근이 어려운 곳에서의 만족할 만한 공극 충전을 위해서는 재료의 유동성 확보는 필수적인 요소이기 때문에 이러한 이율배반적인 요소를 해결해야 하는 어려움이 있고 충전용 그라우트 재료가 토압 등의

1) 정회원, 한양대학교 대학원 건설환경공학과 석사과정
2) 정회원, 한양대학교 대학원 건설환경공학과 박사과정
3) 정회원, 한국건설기술연구원 선임연구원
† 정회원, 한양대학교 공과대학 건설환경공학과 교수(E-mail : hengdang@unitel.co.kr)

하중을 균등하게 전달시키기 위해 소정의 압축강도(800~2000kPa)도 필요로 한다(신재경 등, 2006).

따라서 본 연구의 목적은 재료분리와 기포의 소멸 등으로 발생하는 체적의 감소에 대한 문제를 해결하고자 가소제를 첨가한 가소성 경량기포콘크리트를 제작하고, 이에 따라 중량비별 배합인자를 변화시켜 공극과 공동을 효과적으로 충전 하면서도 단위중량이 작고 주입 후 환경적 영향이 작으며, 토압 등의 하중을 균등하게 전달하여 안정성을 확보할 수 있는 경량기포콘크리트의 배합인자 변화에 따른 공학적 특성에 대하여 분석한 것이다.

2. 이론적 배경

2.1 가소제의 반응 메카니즘

가소성 그라우트 재료는 그림 1과 같이 충전 주재료 중의 시멘트계 성분이 물과 수화반응을 일으켜 칼슘설페이트수화물(CSH)과 수산화칼슘($Ca(OH)_2$)과 같은 수화물을 생성하게 되고, 이에 황산염계 가소제가 투입되면, 가소제는 상기 수화물과 반응하여 침상형 결정구조인 에트링자이트(ettringite, $3CaOAl_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 32H_2O$)를 형성하게 된다. 이러한 에트링자이트의 결정은 매우 급격한 반응으로 수초 내에 생성되게 되므로 결정이 형성되는 과정에서 수초간 유동성을 확보한 후 순간적으로 유동성이 사라지게 된다. 유동성이 사라져 외력이 존재하지 않는 자연 상태에서는 주입당시의 형태를 유지할 수 있으나, 생성된 침상형 결정은 결정간의 결합력이 아직 강하지 못하므로 외력(충전재 주입을 위한 주입압력)이 가해지면 다시 유동성을 보이기 때문에 공극을 채우게 된다. 공극을 채운 후 외력을 제거하면(충전재 주입이 완료되어 주입압력이 사라지면) 다시 유동성이 사라지므로 전형적인 소성체의 거동을 보이게 된다.

이러한 과정에서 생성된 에트링자이트의 침상형 구조는 섬유조직과 같이 치밀해져서 결정과 겔상태의 수화물간의 결합력이 매우 견고하게 되어 재료의 블리딩을 억제하기 때문에 유수에 재료가 희석-유출되지 않고 수중불분리성(또는 수밀성)이 매우 우수하여 경화 후 안정적인 강도 발현이 가능하게 된다(Glasser 등, 2005).

그림 1. 가소제의 반응 메카니즘(Glasser 등, 2005)

2.2 선기포 방식의 경량기포콘크리트의 특성

2.2.1 선기포 방식 경량기포콘크리트의 장단점

선기포 방식 경량기포콘크리트는 계면활성체를 주원료로 하는 기포제를 고압공기와 함께 기포발생기에 주입하여 기포를 발생시키고, 이것을 미리 혼합한 시멘트 슬러리에 첨가, 혼합하여 제조하는 방법으로, 기포의 양을 조절하기 쉽고 현장발포가 용이하며, 비교적 균일한 독립기포가 형성되는 장점이 있다. 그러나 기포가 발생된 직후 소포현상이 시작되며 시멘트 슬러리와 믹싱 된 상태에서도 이 소포현상은 계속된다. 이로 인해 경량기포콘크리트의 침하현상에 대한 문제가 심각하게 대두되고 있다(최성용 등, 2007).

2.2.2 기포제의 특성

국내에서 사용되는 기포제는 동물성 단백질계 기포제, 고분자 기포제, 계면활성제계 기포제 등이 있으며 콘크리트의 양생과 장기적인 사용에 악영향을 주지 않는 것을 사용한다. 기포제는 계면활성작용을 이용하여 물리적으로 기포를 도입하는 것으로 공기량은 최고 85%에 이른다. 본 연구에서는 고분자 기포제를 사용하였으며 고분자 기포제는 폴리아크릴레이트 성분의 고분자 중합체로서 담황색으로 pH 7로 중성이며 발포 시 백색크림 같은 색상이고 기포의 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 통해 제조된다(한국콘크리트학회, 2005).

2.2.3 선기포 방식 경량기포콘크리트의 제조과정

경량기포콘크리트는 시멘트와 혼화재를 일정한 비율로 섞은 결합재에 물을 첨가하여 잘 배합시킨 후, 기포제와 희석수를 적절한 비율로 섞은 기포희석액을 압축공기를 통하여 기포기로 통과시켜 기포를 혼합중인 시멘트 슬러리내에 주입하여 내부에서 일정한 기포를 지닌 팽창한 슬러리를 생성시키는 데, 이 슬러리를 대상구조물에 압송호스를 통해 주입한 후 양생시키는 과정을 통하여 제조된다. 또한 배합순서는 1분씩 시멘트와 혼화재료를 넣고 건비빔을 실시한 후 물의 3/4를 넣고 5분간 된비빔 후, 이미 생성된 기포를 혼합하고 나머지 1/4의 물을 첨가하여 1분간 비빔을 함으로

서 균질한 콘크리트를 제조한다. 그림 2는 선기포 방식의 경량기포콘크리트의 제조과정을 나타냈다(건설교통부, 1996).

3. 시험개요

3.1 사용재료

3.1.1 시멘트

본 실험에서 사용한 시멘트는 국내 S사에서 생산되고 있는 마이크로 시멘트를 사용하였으며 물리적 특성과 화학적 특성은 다음 표 1과 같다.

3.1.2 기포제

본 실험에서 사용한 기포제는 폴리 아크릴레이드 계통의 고분자기포제를 사용하였다. 고분자 기포제의 물리적 특징은 표 2와 같다.

3.2 공시체 배합

본 연구에서 배합비에 따른 공학적 특성을 파악하기 위하여 실험을 수행하였으며, 그에 따른 영향을 알아보기 위하여 4가지 Case로 나누어 시험을 실시하였고, 그 배합비는 표 3～6과 같다. 시멘트량, 함수량, 가소제량, 기포량의 증감에 따른 공학적 특성을 파악하기 위한 공시체를 제작하였으며, 각 요소의 합을 배합비 100%로 두고, 각 재료별 중량을 %로 산정하여 배합비를 산정하게 될 경우, 전체 배합비에서 변화되는 요소의 배합비가 증대되면 다른 재료중 하나의 배합비 역시 줄어들게 되므로 변화요소에 대한 영향을 정확히 파악할 수 없게 된다. 따라서, 본 연구에서는 각 재료에 대한 영향성 평가시, 평가대상 재료에 대한 중량비만 증대시키고 나머지 재료의 중량은 고정하는 중량대비 배합

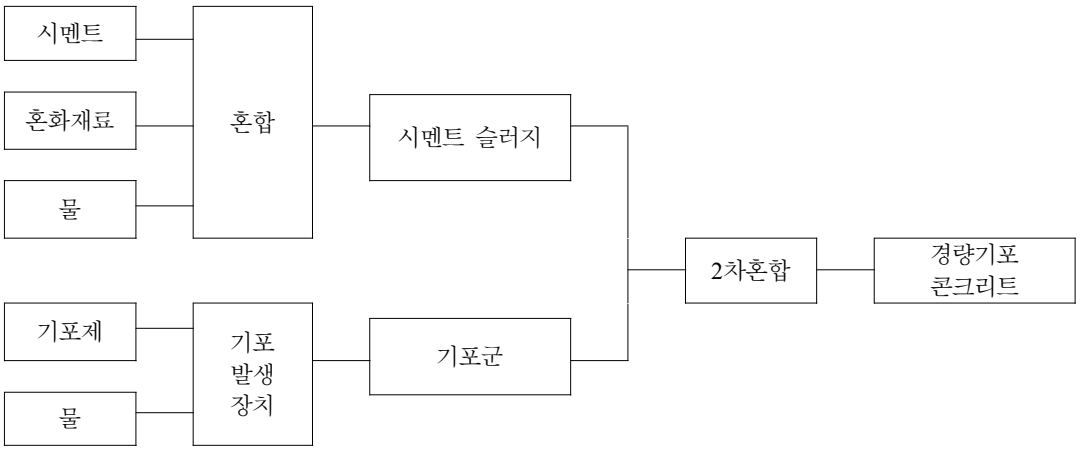


그림 2. 선기포 방식 경량기포콘크리트의 제조과정(건설교통부, 1996)

표 1. 시멘트의 물리적 화학적 특성

분말도(cm^2/g)	압축강도(MPa)			입도분포		화학성분(%)
	3일	7일	28일	평균입경(㎛)	Max. Size(㎛)	SO_3(%)
8,000 이상	19.6이상	39.2 이상	49.0 이상	5 ±1	20	5.0 이하

표 2. 고분자 기포제의 물리적 특징

색상	점도(CPS)	pH	황산염(%)	빙점(℃)	비중
암갈색	500～1000	7	없음	-5	1.12～1.20

표 3. 시멘트량 증감에 따른 공시체 배합비

재료 / 공시체 종류	시멘트(kg)	잔골재(kg)	물(kg)	기포(kg)	혼화제(kg)
Case 0(기준배합비)	1200	2400	920	67.17	103
case 1-1	1440	2400	920	67.17	103
case 1-2	960	2400	920	67.17	103
case 1-3	1680	2400	920	67.17	103
case 1-4	720	2400	920	67.17	103

표 4. 함수량 증감에 따른 공시체 배합비

재료 / 공시체 종류	시멘트(kg)	잔골재(kg)	물(kg)	기포(kg)	가소제(kg)
Case 0(기준배합비)	1200	2400	920	67.17	103
case 2-1	1200	2400	1012	67.17	103
case 2-2	1200	2400	828	67.17	103
case 2-3	1200	2400	1104	67.17	103
case 2-4	1200	2400	736	67.17	103

표 5. 기포량 증감에 따른 공시체 배합비

재료 / 공시체 종류	시멘트(kg)	잔골재(kg)	물(kg)	기포(kg)	가소제(kg)
Case 0(기준배합비)	1200	2400	920	67.17	103
Case 3-1	1200	2400	920	80.604	103
Case 3-2	1200	2400	920	53.736	103
Case 3-3	1200	2400	920	94.038	103
Case 3-4	1200	2400	920	40.302	103

표 6. 가소제량 증감에 따른 공시체 배합비

재료 / 공시체 종류	시멘트(kg)	잔골재(kg)	물(kg)	기포(kg)	가소제(kg)
Case 0(기준배합비)	1200	2400	920	67.17	103
case 4-1	1200	2400	920	67.17	123.6
case 4-2	1200	2400	920	67.17	82.4
case 4-3	1200	2400	920	67.17	144.2
case 4-4	1200	2400	920	67.17	61.8

비 산정방식을 선택하였다.

3.3 시험 방법

3.3.1 시험개요

각 요소의 변화량에 대한 공학적 특성을 파악하기 위하여 변화요소를 제외한 다른 배합요소들은 고정으로 두고 변화요소의 양을 기준양의 ±10, 20%씩 증감시켜가며 실내시험을 수행하였고, 재령별 일축압축강도시험, flow시험, 단위중량시험, pH시험, 삼축투수시험을 실시하여 공학적 특성을 파악하고자 하였으며, 일축압축강도는 KS F 2405에 의거하여 실시하였고, 단위중량시험은 KS F 4039(현장 타설용 기포콘크리트)에 근거하여 실시하였으며 그밖에 시험방법은 다음과 같다.

3.3.2 Flow시험

flow는 기포슬러리의 이송 및 타설 장소에서의 수평작업과 관련이 있는 항목으로 현장에서의 시공성 및 마무리 정도를 나타내는 척도로서 활용되고 있다. 본 연구에서는 재료분리 없이 500m 정도의 펌프압송이 가능하며 타설 시에는 충분한 유동성으로 중력에 의해 채움이 가능한 180mm를 목표로 하였으며, 그 방법은 KS L 5207에 의거하여 시험을 실시하였다.

3.3.3 pH시험

본 연구에서 시험한 경량기포콘크리트는 시멘트, 가소제, 기포제, 물이 혼합되어져 있으며 이들이 지하공간에 매립용 채움재로 사용 될 경우 물과의 접촉에 의해 배출되는 용출수에 의한 오염정도를 측정하는데 그 목적이 있다. pH의 경우 환경기준(수질)에 의하면 6.5～8.5를 만족하여야 한다.

pH측정방법에는 물붓기에 의한 방법, 페이스트 분쇄에 의한 방법, 고상 및 반고상 폐기물에 대한 방법, 물속에 담그기에 의한 측정방법이 있다. 이러한 방법들 중 물붓기에 의한 pH측정과 물속에 담그기에 의한 pH 측정법은 기존의 발표된 여러 연구에 의하면 그 측정값의 차이가 미미한 것으로 나타난다. 그리고 페이스트 분쇄에 의한 pH측정은 그 시료의 얇은 판상을 따로 제작한다는 것이 실제로 많은 어려움이 있다. 그리고 고상 및 반고체상 폐기물에 대한 pH측정 시험은 콘크리트에 정확한 pH 측정값을 얻어내기가 어렵다. 따라서 본 연구에서는 그림 3과 같이 시료의 재령별로 공시체를 증류수(비율 5～10g : 200mL)에 한시간 동안 수침시

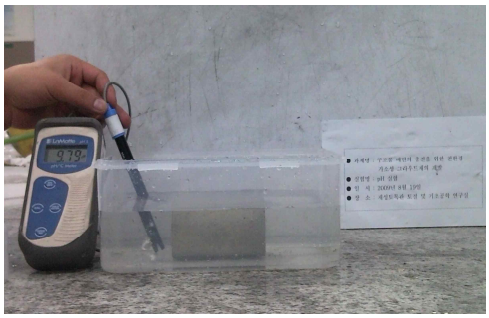


그림 3. pH시험 전경

킨 후 pH를 측정하는 수침 방법으로 시험을 실시하였다.

3.3.4 삼축투수시험

삼축투수시험기를 이용하여 각 배합조건별 투수시험을 실시하여 투수계수를 측정하고 그에 대한 투수성을 알아보고자 실시하였다. 구조물의 뒤채움재로 사용 시 차수성의 확보를 위하여 그 범위를 불투수성의 판단 기준인 $\alpha \times 10^{-4} cm/\sec$ 이하로 하였다(김태훈 등, 2007).

삼축투수 시험은 ASTM-D5084에 준하여 실시하였고 시험 방법은 다음과 같다. 제작한 공시체를 멤브레인으로 씌운 다음, 고무링으로 상부 및 하부 Cab과 멤브레인을 고정시키고 공시체와 시험기 내벽 사이를 물로 채웠다. 물이 하부에서 상부로 이동할 수 있도록 압력조절 장치에 연결시키고 동수경사를 구속압과 주입압을 조절하여 고정한 다음 실험을 실시하였다. 이 때 주입압을 가하기 전에 구속압을 먼저 주어 멤브레인의 팽창을 막고, 포화단계에서 공시체의 포화정도를 알기 위해서 시험장비에 부착되어 있는 간극수압계를 이용하여 B계수가 0.95이상이 되었을 때 포화상태로 가정하고 실험을 실시하였다. 시험 전경은 그림 4와 같다.

4. 시험 결과 및 분석

4.1 시멘트량 증감에 따른 공학적 특성

시멘트량 증감에 따른 배합된 공시체의 일축압축시험 결과는 그림 5(a)와 같이 시멘트량이 증가함에 따라 일축압축강도가 증가하는 경향을 나타내었다. 시멘트량의 증감에 따라 일정한 경향을 보이고 있지는 않으나 시멘트량이 중량대비 48%일때가 20%일 때 보다 재령별 강도는 약 660～720kPa정도 증가하여 약 1.75～2배 정도 증가하는 것으로 나타났다. 구조물의 뒤채움재로 사용하기 위한 소요강도인 100～1000kPa (건설교통부, 1996)과 터널의 공동채움재의 기준인 500～1000kPa(건설부, 1985) 이상은 28일 재령을 기준으로 하여 약 35%이상일 경우에 나타났다. 일반적으로 기포콘크리트의 강도 경향은 시멘트의 증가에 따라 일관된 경향을 나타내지 않는 것으로 보고되고 있는데 본 연구에서는 시멘트비가 증가함에 따라 강도가 증가하는 추세를 나타내고 있다.

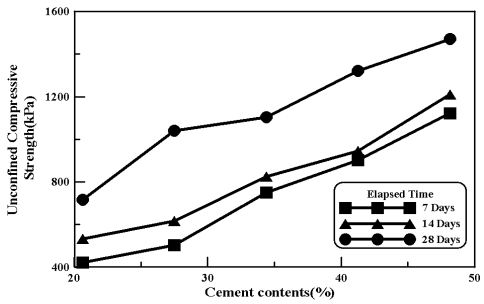
그림 4. 삼축투수시험 전경

flow시험 결과는 그림 5(b)와 같이 시멘트량이 중량대비 약 40%까지의 배합비까지 증대함에 따라 flow값이 증가하다가, 그 이후에는 감소하는 경향을 나타내고 있다. 이는 시멘트량이 증가할수록 콘크리트 내부에 기포의 양이 상대적으로 감소하여 고형분이 증가하게 되므로 밀도가 증가하기 때문에 밀어내는 힘이 강하여 증가되는 것으로 판단된다. 이는 단위중량 시험으로도 알 수 있는데 그림 5(c)에서 보여지는 바와 같이 중량대비 40% 이후에 밀도가 증가하여 단위중량의 증가 폭이 큰 것을 알 수 있다. 또한 시멘트량이 전체 중량대비 40%이상을 넘어서게 되면 시멘트의 점성에 의하여 다소 감소하는 경향을 나타내는 것으로 판단된다.

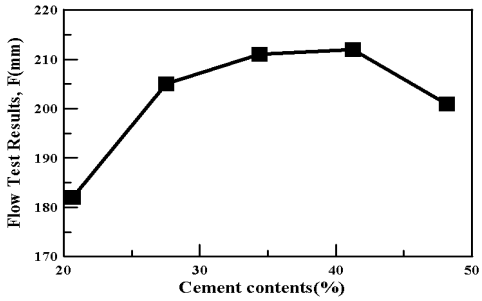
단위중량시험 결과는 그림 5(c)와 같이 시멘트량이 증가할수록 단위중량이 증가하는 경향을 나타내었다. 상대적으로 비중이 큰 시멘트의 증가로 인한 단위중량의 증가로 판단되어 지며 재료의 경량화를 위해서 목표강도에 맞는 시멘트량의 사용이 적절할 것으로 판단된다.

시멘트량 증감에 따른 pH 특성은 그림 5(d)와 같이 공시체의 시멘트 함량이 증가할수록 pH의 알카리화가 더 강한 것으로 나타났다. 시멘트 함량비에 관계없이 초기 재령에서는 pH 11.3정도로 모든 배합비에서 비슷한 경향을 나타내었으나, 재령이 증가할수록 그 경향은 더 뚜렷하게 나타났다. 이는 콘크리트가 경화될수록 시멘트 함량이 큰 콘크리트의 투수계수가 작아지고 이에 따라 물에 용해되는 정도에 차이가 있기 때문으로 판단된다.

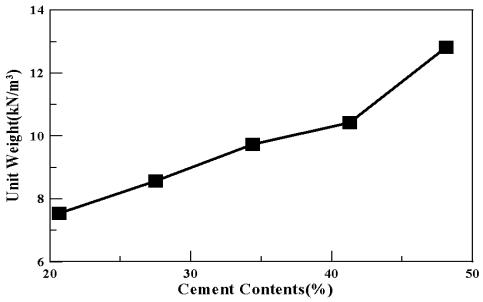
시멘트량 증감에 따른 삼축투수시험 결과는 그림 5(e)와 같이 시멘트량이 증가함에 따라 투수계수는 감소하는 것으로 나타났다. 투수계수가 약 $1 \times 10^{-6} cm/\sec \sim 9 \times 10^{-6} cm/\sec$ 범위로 나타났으며 시멘트량의 증감에 따라 선형적으로 감소하는 것으로 보여지며 이는 고형재료의 증가로 밀도가 증가하여 기포와 기포사이 입자와 입자사이에 발생하는 공극이 줄어드는 것으로 판단된다.



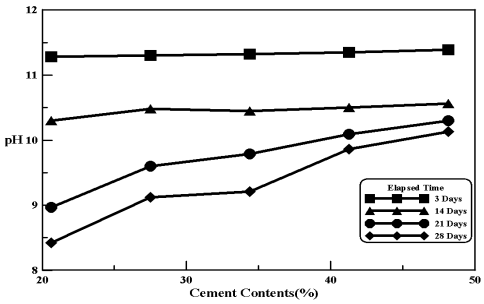
(a) 일축압축강도 시험



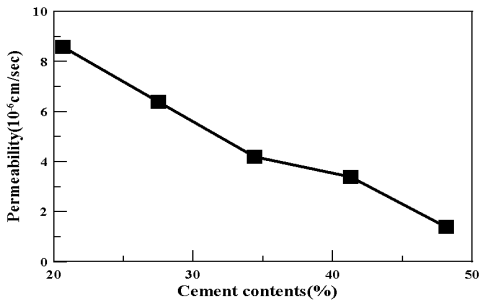
(b) flow test



(c) 단위중량 시험



(d) pH 시험



(e) 삼축투수 시험

그림 5. 시멘트량 변화에 따른 시험결과

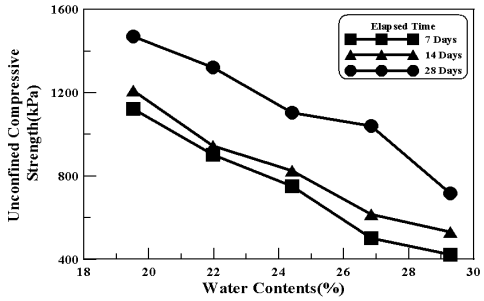
4.2 함수량 증감에 따른 공학적 특성

함수비 증감에 따라 배합된 공시체의 일축압축시험 결과는 그림 6(a)와 같이 함수비가 증가함에 따라 일축압축강도가 감소하는 경향을 나타내었고, flow특성은 그림 6(b)와 같이 함수량이 증가함에 따라 증가하는 것으로 나타났다. 함수량이 전체 질량대비 22～24%일 때 가장 많은 증가량을 보이고 있으며 20%이후부터는 크게 변화하지 않는 것으로 나타났다. 함수량이 증가함에 따라 flow 값도 비례적으로 증가하고 있으나 가소제의 첨가로 인하여 생성된 에트로자이트의 영향으로 210mm이상은 크게 증가 하지 않은 것으로 보여지며, 이는 가소제의 첨가로 인하여 과도한 유동성을 제한 할 수 있는 것으로 판단된다.

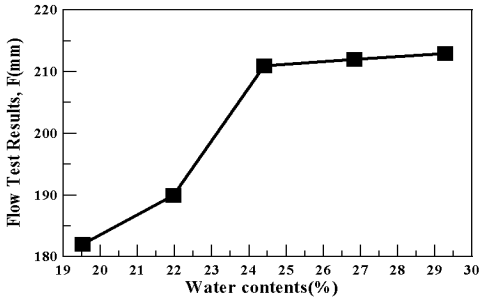
단위중량의 변화는 그림 6(c)와 같이 함수량의 증가와 함께 증가하는 것으로 나타났다. 함수량이 질량대비 21%이상일 경우 기포가 증가한 물과 반응하여 기포의 포막이 불안정해지면서 소포현상이 발생하기 시작하여 기포량이 감소하여 단위중량이 급격히 증가하는 경향을 나타내는 것으로 판단된다.

함수비 증감에 따른 pH시험 결과는 그림 6(d)와 같으며, 함수비 변화에 상관없이 재령 3일차의 pH는 11.5정도로 강알카리로 측정되었고, 재령 7일차에는 pH가 약 10.5정도를 나타내었고, 재령 14일차부터는 함수비가 증가함에 따라 pH가 중성화 되는 경향이 강했다. 함수비 증대로 인하여 pH가 감소 할 것으로 예상되었으나 시험 결과를 참고하면 pH감소는 함수량의 증가보다는 시간에 다른 변화가 더 크게 작용하는 것으로 판단된다.

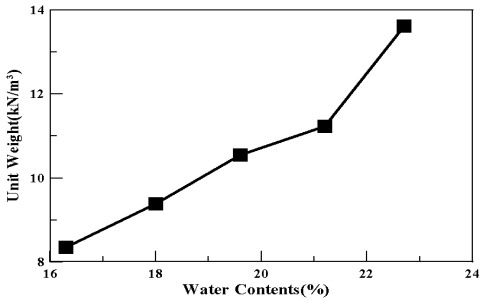
삼축투수시험 결과는 그림 6(e)와 같이 함수비가 증가할수록 투수계수가 증가하는 경향을 나타내고 있으나 그 변동폭이 작고 모두 불투수성의 범위 내에 있는 것으로 나타내고 있다. 함수비 증가에 따라 강도는 감소하고 flow값은 증대하므로 현장에서 요구되어지는 강도와 flow범위 내에서 투수계수 조건을 만족하는 배합비를 결정하는 것이 바람직



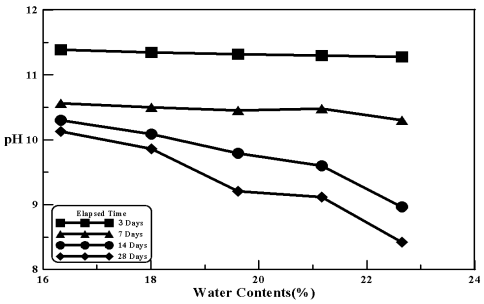
(a) 일축압축강도 시험



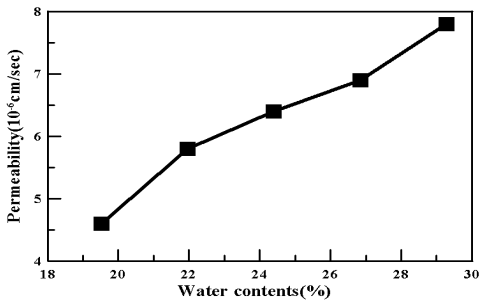
(b) flow test



(c) 단위중량 시험



(d) pH 시험



(e) 삼축투수 시험

그림 6. 함수량 변화에 따른 시험 결과

할 것으로 사료된다.

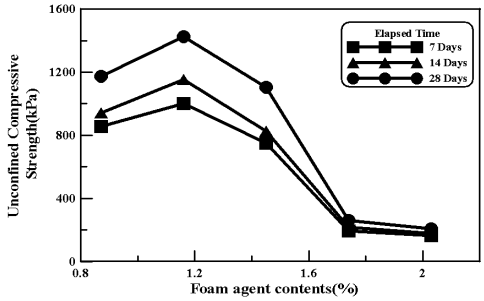
4.3 기포량 증감에 따른 공학적 특성

재료를 경량화 시키기 위해 첨가하는 기포량의 변화에 따른 기초 실험으로 경량콘크리트의 일축압축강도 특성을 파악한 결과는 그림 7(a)와 같다. 기포량의 배합비가 전체 중량대비 약 1.2% 까지 강도가 증대하는 경향이 나타났으나 기포량이 증가함에 따라 강도가 감소하는 경향을 나타내고 있다. 기포량이 증가 할수록 시료내에 공극이 증대하고 상대적으로 기포량이 증가하여 기포에 응집되는 시멘트의 양이 감소하여 강도가 감소한 것으로 판단된다. 또한 기포량이 증가 할수록 증대되는 공극으로 인하여 파괴 시 압축되는 형상을 보였다.

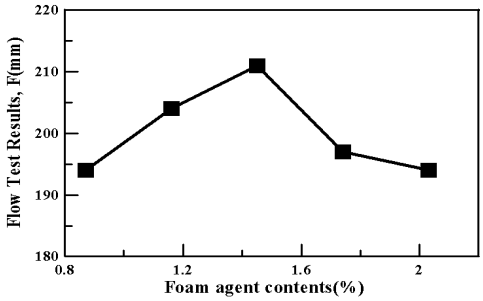
flow 특성을 파악한 결과는 그림 7(b)와 같으며, 시험결과 기포량이 중량 배합비 1.4%일 때 flow값이 210mm로 최대를 나타내었고, 1.4%이상 배합시 flow값이 감소하는 경향을 나타내었다. 이는 기포량이 증가됨에 따라 단위중량이 감소하고 고형분의 밀도가 작아지게 되어 상대적으로 흐르는 힘이 감소하기 때문으로 판단되며, 또한 기포와 시멘트와의 결합시 기포량이 일정량을 넘어서게 되면 기포의 포막에 따른 점성이 증가하여 flow값이 감소하는 것으로 판단된다.

단위중량에 대한 그래프는 그림 7(c)와 같다. 시험결과 기포량이 증가할수록 단위중량이 감소하는 것으로 나타났다. 경량기포콘크리트는 재료의 경량화가 기본적인 목표이나 기포의 과도한 사용은 강도를 저하시키는 원인이 되며, 기포의 소포로 인해 과대 공극이 발생하여 체적이 감소하는 문제가 발생한다.

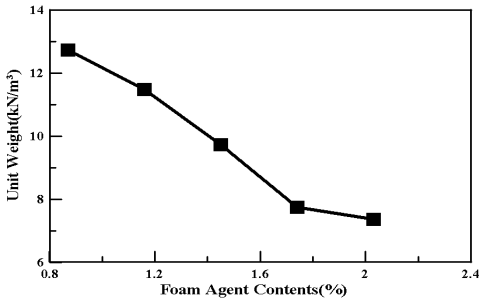
기포량 증감에 따른 pH 특성을 파악한 결과는 그림 7(d)와 같이 기준배합비를 기준으로 하여 초기재령에서는 변화가 거의 없었고 28일 이상의 재령에서는 약간씩 감소하는 경향을 나타내고 있다. 기포제는 중성으로서 pH값에는 크게 영향을 미치지 않을 것으로 생각됐으나 경화정도에 따른



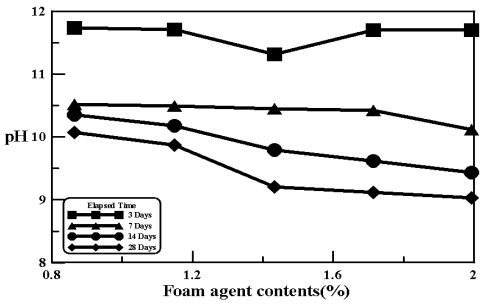
(a) 일축압축강도 시험



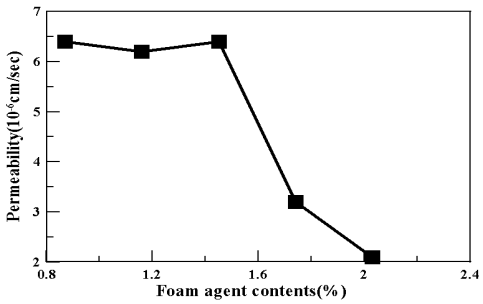
(b) flow test



(c) 단위중량 시험



(d) pH 시험



(e) 삼축투수 시험

그림 7. 기포량 변화에 따른 시험결과

물의 흡수율과 그에 따라 알카리성 액체의 용출이 감소되었기 때문으로 판단된다.

기포량 증감에 따른 삼축투수시험 결과는 그림 7(e)와 같이 나타났다. 기포량이 약 1.5%일 때까지는 투수계수의 변화가 미미하였으나, 기포량이 중량대비 1.7%일 때에는 급감하여 투수계수가 약 $3\times10^{-6}cm/\sec$로 나타났고 2%일 때에는 $2.3\times10^{-6}cm/\sec$로 나타났다. 본 시험 결과에 의하면 기포량 증대로 인해 공시체 내 공극은 커질 것이나 공극 사이의 연속성은 없어 투수계수와의 상관관계는 없는 것으로 판단된다.

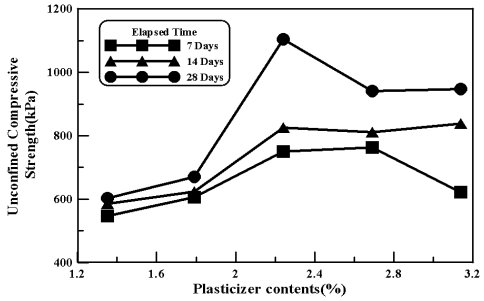
4.4 가소제량 증감에 따른 공학적 특성

경량콘크리트 재료 중 가소제량의 증감에 따른 강도특성을 파악하기 위해 일축압축시험을 실시한 결과는 그림 8(a)와 같다. 가소제의 배합량이 증감함에 따라 일축압축강도는 감소하였고, 기준배합비(전체중량 대비 가소제량 2.2%)의 일축압축강도가 재령 28일 기준으로 가장 큰 것으로 나타났다.

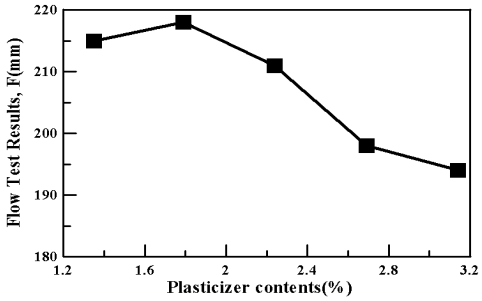
flow시험을 실시한 결과는 그림 8(b)와 같다. 가소제의 배합량이 약 1.8%에서 최대 flow값인 218mm를 나타내었고, 그 이상의 가소제가 배합될 경우 flow값이 감소하는 경향을 나타내었다. 이는 가소제가 시멘트 내의 물과 반응하여 에트링자이트(ettringite, $3CaOAl_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 32H_2O$)를 형성하여 유동성이 감소되기 때문으로 판단된다.

단위중량 시험을 실시한 결과는 그림 8(c)와 같다. 가소제의 배합량이 증가할수록 선형적으로 단위중량이 감소하는 경향을 나타내었는데, 그 범위가 약 $1.57\text{kN}/m^3$이내 이므로 가소제는 단위중량에 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다.

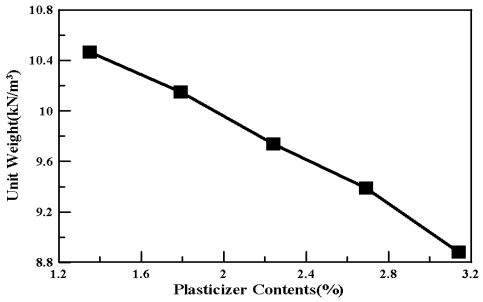
가소제량 증감에 따른 pH 특성은 그림 8(d)와 같이, 가소제량이 증가할수록 pH값이 감소하는 것을 알 수 있다. 이는 본 실험에서 사용한 가소제에 황산염 성분이 들어있어 가소제량이 증가함에 따라 약간의 pH감소 현상을 보인 것으로



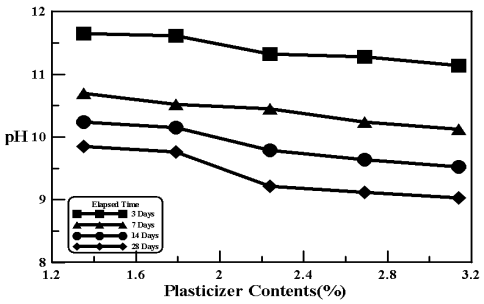
(a) 일축압축강도 시험



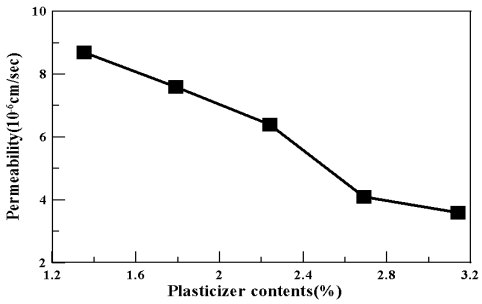
(b) flow test



(c) 단위중량 시험



(d) pH 시험



(e) 삼축투수 시험

그림 8. 가소제량 변화에 따른 시험 결과

판단된다. 그러나 가소제는 혼화제이므로 그 양을 조절하여 pH를 변화시키는 것에는 한계가 있을 것으로 판단된다.

가소제량 증감에 따른 삼축투수시험 결과는 그림 8(e)와 같이 가소제량이 증가할수록 투수계수가 감소하였다. 가소제량 증감에 따라 가소제가 시멘트와 결합하여 생성되는 에트링자이트의 침상형 구조가 섬유조직과 같은 치밀한 결정과 겔상태의 수화물 간의 결합을 견고하게 하여 콘크리트 내의 투수성에 영향을 미치는 것으로 판단된다.

5. 결 론

본 연구에서는 가소성 경량기포콘크리트의 공학적 특성을 알아보기 위해 마이크로시멘트, 모래, 기포제, 가소제의 혼합비율을 변화시켜가며 각종 실내시험을 실시하였으며, 그 결과를 요약정리하면 다음과 같다.

(1) 경량기포 콘크리트의 경우 기포의 양과 시멘트량을 조절함으로서 충분한 강도와 유동성 그리고 경량성을 가진 콘크리트를 제작할 수 있었으며, 가소제량 변화에 따른 flow시험결과 가소제의 첨가량에 따라 유동성을 조절 할 수 있는 것으로 나타났다. 이에 따른 구조물 배면의 충전재료로 사용하여 하중 경감측면과 재료의 과도한 유동성에 의한 안정성 증가에 큰 효과가 있을 것으로 판단된다.

(2) 시멘트량의 증가에 따라 중량 대비 약 48%일 때가 20%일 때 보다 일축압축강도가 7일 재령에 비해 28일 재령이 약 1.75～2배 정도 증가하였고, flow값은 중량대비 40%이전까지 지속적으로 증가하는 것으로 측정되었다. 단위중량과 pH값은 시멘트량이 증가함에 따라 증가하며 투수계수는 감소하는 것으로 나타났다.

(3) 가소제가 수화물과 반응하여 생성되는 에트링자이트의 특성인 결합력 증대로 인하여 일축압축강도, flow와 투

수계수 등에 영향을 미치는 것으로 나타났으며 일축압축강도 보다는 flow값에 더 큰 영향을 주는 것으로 판단된다. 단위중량과 pH값에는 별다른 영향을 주지 않는 것으로 나타났으며, 가소제를 첨가하여 제한적인 유동성을 갖게 하는 것에 있어서는 가소제를 약 2.1% 이상 혼합함으로서 flow값을 저하시켜 제한적인 유동성을 갖게 할 수 있을 것으로 판단된다.

(4) 기포량의 변화는 구조물 배면의 충전재료로 사용되는 경량기포콘크리트의 하중경감효과에 가장 큰 영향을 미치고 있으나 기포량이 증가하면 파괴시 연성파괴가 일어나며, 중량대비 1.5%를 초과하면 급격한 강도 저하와 flow값의 감소를 가져오는 것으로 나타났다. 현장 적용시 현장의 특성에 맞는 기포량 산정이 필요할 것으로 생각된다.

(5) 환경적인 영향을 평가하기 위하여 실시한 pH시험의 경우 초기재령에서는 pH 11이상의 강알카리성을 보이고 있으며, 재령이 경과함에 따라 pH가 감소하였다. 본 연구에서는 재령 28일 까지만 측정하였으나 기준에 미치지는 못하였으며, 추후 28일 이후 장기적인 pH의 변화에 대한 연구와 pH 저감에 대한 연구가 필요할 것으로 보인다.

참 고 문 헌

1. 건설교통부 (1996), *경량기포콘크리트 재료개발 연구*, 연차보고서, (주)동아건설 기술연구소, 연세대학교 재해연구소, pp. 10～18.
2. 건설부 (1985), *터널공사표준시방서*, 건설부, pp. 151～153.
3. 김태훈, 이송, 이재현 (2007), *토질시험법*, 구미서관, pp. 183.
4. 남재현 (1991), 경량기포콘크리트-ALC 제조 방법 및 특성을 중심으로-, *한국강구조학회지*, Vol. 3, No. 4, pp. 111～115.
5. 변근주, 박상순, 송하원 (1996), 경량기포콘크리트의 개발과 역학적 특성에 관한 연구, *1996년 가을학술발표회 논문집*, 한국콘크리트학회, pp. 358～365.
6. 신재경, 유승엽, 정광복, 홍상희 (2006), 혼화재 치환에 따른 경량기포콘크리트의 기초적 특성, *2006년 봄 학술발표회 논문집*, 한국콘크리트 학회, pp. 521～524.
7. 최성용, 신재경, 정광복, 한민철, 한천구 (2007), 혼화재료의 치환에 따른 경량기포콘크리트의 기초적 특성분석, *한국건축시공학회 논문집*, Vol. 7, No. 2, pp. 77～83.
8. 한국콘크리트학회 (2005), *최신 콘크리트공학*, 한국콘크리트학회, pp. 695～710.
9. 황중호, 황웅기, 이영준, 박이근, 김태형 (2005), 물과 관련된 경량기포혼합토의 특성, *2009년 가을학술발표회 논문집*, 한국지반환경공학회, pp. 126～127.
10. Glasser, F. P., Pederson, J., Goldthorpe, K. and Atkins, M. (2005), Solubility Reactions of Cement Components with NaCl Solution ; I. $Ca(OH)_2$ and C-S-H, *Advances in Cement Reserch*, Scotland, Vol. 17, No. 2, pp. 57～64.
11. Waston, K. L., Eden, N. B. and Farrant, J. R. (1978), 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, pp. 57～64.

(접수일: 2009. 12. 1, 심사일: 2009. 12. 10, 심사완료일: 2010. 1. 8)