



시멘트 종류에 따른 라텍스개질 콘크리트의 미세공극 구조 분석

Analysis of Air Void Systems in Latex-Modified Concretes with Cement Types

윤 경 구* 정 원 경** 김 기 현*** 김 경 진****
Yun, Kyong-Ku Jeong, Won-Kyong Kim, Ki-Heun Kim, Kyong-Jin

Abstract

Linear traverse method and point count method described at ASTM have been widely used to estimate the air void system in hardened concrete. These methods, however, are rarely used at present, because they require many efforts and time consuming works. Also these results depend on each person's decision, and are not repeatable. Thus, new image analysis method using microscope and computer processes has been approached for analyzing air void system in hardened concrete. The purpose of this study was to analysis the air void systems in latex-modified concretes using a reasonable and objective image analysis method with main experimental variables such as cement types(ordinary portland cement, rapid setting cement) and latex contents(0%,15%).

In the results of this study, the use of polymer latex showed that it could be attributed to its air void systems, due to the fact that the latex emulsion acts as an air-entraining agent, which thus generally guarantees an adequate air-void system.

Keywords : latex, LMC, VES-LMC, image analysis technique, air void system

요 지

공극구조 분석 방법은 ASTM C 457의 리니어트레버스·포인트카운트법이 있으나, 이러한 방법들은 분석하는데 시간과 노력이 너무 많이 소요되어 현재에는 거의 사용되어지지 않고 있다. 근래에는 현미경과 디지털 카메라, 컴퓨터의 프로그램 발달로 화상분석법이 많은 연구자에 의해 연구되고 있다. 본 연구에서는 화상분석법을 통하여 라텍스개질 콘크리트의 공극 구조 특성을 분석하고자 시멘트 종류(보통포틀랜드시멘트, 초속경시멘트)와 라텍스 혼입율(0, 15%)에 따라 실험을 수행하였다. 실험결과, 라텍스는 경화 후 콘크리트에서 AE제의 공기연행효과보다 더 우수한 연행공기량을 갖는 것으로 나타났다. 또한, 화상분석법을 이용할 경우 경화 후 콘크리트 내부 공극 구조에 대한 다양

* 정회원 · 강원대학교 토목공학과 부교수 · 공학박사
** 정회원 · 강원대학교 산업기술연구소 연구원 · 공학박사
*** 정회원 · 강원대학교 토목공학과 박사과정 · 공학석사
**** 정회원 · 충주대학교 토목공학과 부교수 · 공학박사



한 정보를 분석할 수 있을 것으로 판단되었다.

핵심용어 : 라텍스, LMC, VES-LMC, 화상분석기법, 공극 구조

1. 서론

라텍스개질 콘크리트(Latex-Modified Concrete: 이하 LMC)와 라텍스개질 초속경콘크리트(Very - Early Strength Latex-Modified Concrete: 이하 VES-LMC)는 보통콘크리트에 비해 투수저항성, 동결융해 저항성, 휨강도, 부착강도 등이 우수하여 LMC는 신설교량의 교면포장에 사용되고 있으며, VES-LMC는 기존의 교량에 유지보수용으로 사용되고 있다(윤경구, 2000).

콘크리트의 내부조직은 복합재료의 사용과 제조과정에서 필연적으로 공극을 형성하게 되며 이러한 공극은 경화 후 콘크리트의 성능발현에 직간접적으로 영향을 미치게 된다. 보통 콘크리트에서의 내부 공극은 과도할 경우 강도저하 및 균열발생의 원인이 될 수 있으나 그 양이 적을 경우 내동결성이 저하되는 것으로 연구보고되고 있다(Pigeon, 1995). 즉, 내부에 형성되는 공극을 적절히 조절함으로써 콘크리트의 내구성과 강도를 모두 만족시킬 수 있으며 이를 위해 콘크리트 내 공기량을 함유량을 규정하고 있다.

또한, 이러한 콘크리트 내부 공극과 콘크리트 성능과의 상관성은 간격계수라는 지수로 표현이 가능하며 이에 대한 많은 연구와 평가가 이루어지고 있다(Powers, 1949). 그러나, 라텍스개질 콘크리트에 대한 내부 공극구조에 대한 연구는 거의 이루어지지 않고 있는 실정이며, 라텍스폴리머 혼입에 따른 콘크리트 내부 공극 구조의 변화를 무시한 채 보통콘크리트의 공기량 규정 등을 그대로 적용하여 사용하고 있는 실정이다. 특히, 라텍스첨가에 따른 콘크리트 미세구조의 변화와 공극 특성이 콘크리트의 경화 후 내구성에 미치는 영향에 대한 연구는 전무한 상태이다.

따라서, 본 논문에서는 라텍스개질 콘크리트의 내

부 공극 구조 특성을 평가하기 위하여 간격계수 뿐만 아니라 경화 후 공기량, 공극 직경에 따른 공극 분포 및 공극 구조 상태 분석 등 다양한 내부 특성을 파악하고자 하였다.

2. 이론적 고찰

2.1 라텍스개질 콘크리트

라텍스개질 콘크리트란 포틀랜드 시멘트 콘크리트에 라텍스를 첨가해서 만든 콘크리트이다. 이러한 라텍스폴리머의 사용은 라텍스개질 콘크리트가 보통콘크리트와는 다른 특성을 지니도록 개질재의 역할을 하게 된다. 이러한 개질 특성을 살펴보면, 라텍스를 통해 작업성의 증진을 기대할 수 있게 된다. 이것은 폴리머 입자들의 불베어링작용, 연행된 공기 및 라텍스 안에 있는 계면활성제의 분산 영향에 의한 것이다(Ohama, 1987).

라텍스개질 콘크리트의 주요한 특징 중의 하나가 바로 휨강도의 증진이다. 이처럼 라텍스개질 콘크리트의 휨강도가 크게 증가하는 이유는 라텍스가 콘크리트 내부의 재료에 막을 형성하여 재료들간의 접착력을 증가시켜주기 때문으로 알려져 있다(Ohama, 1987).

라텍스개질 콘크리트의 투수저항성은 일반적으로 보통 콘크리트에 비해 매우 우수하다. 이것은 콘크리트 내부의 미세공극을 라텍스가 충전시켜 콘크리트 내부로 침투하는 물을 차단시켜주기 때문이다. 낮은 투수성은 라텍스개질 콘크리트의 내구성을 증가시켜주는 요인중의 하나이기도 하다.

동결융해 저항성은 라텍스 첨가로 인한 내적요인



의 강화로 인해 동결융해의 피해가 거의 없는 것으로 알려져 있다(Ohama, 1987).

2.2 콘크리트 내부 공극의 특성

다양한 재료의 혼합에 의해 생산되는 콘크리트는 제조과정 및 경화과정에서 내부에 다양한 크기 및 형상의 공극을 내포하게 된다. 이러한 공극의 분류는 콘크리트의 내부에 미시적으로 스펀지와 같이 많은 공극 즉, 모세관 공극(capillary pore), 겔공극(gel pore), 작은 기포(micro pore), 큰 기포(air void) 등으로 세분되어지며, 이들은 형성과정 및 형성 후 콘크리트에 작용하는 메카니즘이 서로 연계되어져 있다(Pigeon, 1995).

겔공극(gel pores)이란, 시멘트페이스트 내에서 매우 작은 체적을 갖는 공극으로 이를 Power와 Brownyard(1948)는 특성이 겔과 유사한 형태를 나타낸다 하여 겔공극이라 칭하였다. 시멘트와 물의 수화반응에 의한 수화형성물은 매우 큰 비표면적을 가지고 있으며 이러한 면적은 흡수된 물의 몇 개의 층으로 덮여져 있으며, 겔공극의 체적은 수화형성물의 전체 체적에서 약 28%를 차지한다(Neville, 1983). 겔공극은 수화물의 고체 표면으로 물을 흡착하는 힘이 상대적으로 강해서 항상 물로 채워져 있다.

시멘트와 물은 굵은 골재와 잔골재를 결합시켜 경화되는 작용을 하게 된다. 공극은 물이 채우고 있던 공간을 시멘트가 화학적 작용으로 형성된 수화물질이 미처 다 채우지 못하므로 해서 남게 된다. 이러한 공극들은 모세관공극(capillary pores)으로 알려져 있으며, 모세관 공극의 크기는 약 5nm에서 1 μ m 정도이며 매우 작은 체적에서의 모세관장력은 매우 중요하게 작용하게 된다.

겔공극이나 모세관공극은 콘크리트의 수화과정에서 발생하는 것으로 임의적인 조절 및 형성이 어렵다. 그러나, 이들 공극과는 달리 콘크리트 내부 압력의 감소 및 수분의 이동을 도울 수 있도록 콘크리트 배합 시 적절한 혼화재료를 배합함으로써 매우 많은

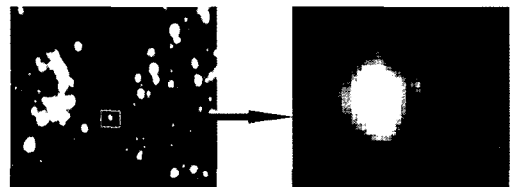
수의 공극을 연행시킬 수 있다. 이러한 공극이 바로 연행공기(entrained air)이며 크기는 10 μ m에서 100 μ m의 범위를 대부분이 차지한다(Pigeon, 1995). 현재 콘크리트의 내동결성 및 내구성 향상을 위한 조치로 행하여지는 것이 바로 연행공기를 통한 내부 공극 구조의 변화이다.

2.3 화상분석의 이론적 고찰

화상분석이란 어느 주어진 화상으로부터 정량적인 정보를 추출해 가는 분석방법으로서 물체의 크기와 이의 분포도, 밝기, 높이, 면적, 위치, 형상 등을 추출해 내기 위한 분석 방법을 말한다(권혁찬, 2004). 화상분석 장치는 콘크리트 시편 표면을 관찰할 수 있는 현미경, 콘크리트 시편을 촬영할 수 있는 CCD 카메라나 디지털 카메라와 같은 입력장치, 분석에 사용된 컴퓨터는 일반적인 PC등 크게 3가지 구분되어진다. 화상 분석을 위한 기초적인 이론적 고찰에 대해 살펴보면 다음과 같다.

2.3.1 화소(Pixel)

모든 화상 분석에 쓰여지는 화상은 화소라는 최소 단위로 구성되어 있으며, 이러한 화소의 정의는 2차



(a) 확대 전 (b) 화소

그림 1. 화상분석에서의 화소

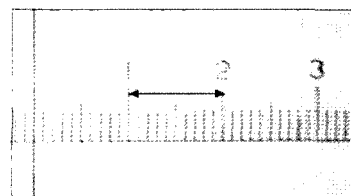


그림 2. 화상분석에서 눈금검정



원 화상을 표본화 할 때 그 하나하나의 분석 표본 화점으로 정의 될수 있다. 화소라는 것은 그림 1의 오른쪽 그림에서 각각의 정사각형들을 말하며, 이러한 화소는 이미지 및 이미지 측정에서의 기본 데이터를 이루는 측정 단위 요소로서 표현된다.

2.3.2 눈금 검정(Calibration)

눈금 검정은 현미경과 디지털 카메라를 사용하여 획득된 화상의 실제 크기를 알기 위하여 화소로 계산되어지는 이미지 상의 거리를 실험 환경에 맞는 실측 데이터로 전환되어지는 과정이다.

그림 2는 눈금 검정 예시 그림으로써 눈금 사이의 화소(Pixel) 거리는 276pixel 이며, 이때의 실제 거리는 1000 μ m가 된다. 이러한 관계를 이용하여 화상으로부터 실제 데이터로 계산되어지는 값이 눈금 검정이다.

2.3.3 화상처리(Image Processing) 및 측정

주어진 화상을 사용자의 목적에 따라서 여러 가지 주어진 기능을 이용하여 화상의 변환과 향상을 도모할 수 있게 하는 것이 화상처리이다. 이에선 침식, 팽창, 골격화 등의 화상 수정과 절취, 분할, 연결 등의 화상 편집이 있다. 측정은 면적, 길이, 크기 및 이의 분포, 형상 등 기본 변수와 이들의 간단한 결합으로 이루어지는 수많은 응용 변수가 있다(김기철, 1998).

3. 사용재료 및 실험방법

3.1 실험계획 및 변수

본 연구에서는 라텍스개질 콘크리트의 내부 공극 구조 분석을 위하여 라텍스의 혼입 유무를 변수로 하여 실험을 수행하였으며 시멘트 분말도에 따른 콘크리트의 공극 구조 변화를 확인하기 위하여 보통 포틀랜드 시멘트와 국내 S사의 초속경 시멘트를 사용하

였다. 경화 후 라텍스개질 콘크리트 내부 공극구조를 연구하기 위한 방법으로는 시편 전체에 대한 분석이 가능한 화상분석법을 사용하였다.

표 1은 주요 실험 변수를 정리하여 나타낸 것이다. 시멘트는 보통 포틀랜드 시멘트와 국내S사의 초속경 시멘트를 사용하였으며, 라텍스는 미국D사의 SBR라텍스를 사용하였다. 굵은 골재는 최대치수 13mm인 레미콘용 쇄석을 사용하였으며, 잔골재는 천연 강모래를 사용하였으며 보다 자세한 특성은 표 2와 같다.

표 3은 본 실험에 사용된 배합설계표이며 LMC와 VES-LMC에서는 라텍스 혼입량을 단위시멘트 용적의 15%를 사용하였다. 이는 현재 LMC와 VES-LMC의 시방배합을 그대로 사용한 것이다. 실험을 위한 양생은 상대습도 80%, 양생온도 20 $^{\circ}$ C의 동일한 조건에서 28일간 실시하였다.

표 1. 실험변수

Latex-Modified Concretes		
시멘트 종류	라텍스혼입률	혼화제
보통포틀랜드 시멘트	0 %	AE제
	15 %	-
초속경시멘트	0 %	-
	15 %	소포제

표 2. 골재의 물리적 특성

종 류	최대치수 (mm)	비중	흡수율 (%)	F.M
잔 골 재	< 5	2.6	0.71	2.98
굵은골재	25, 13	2.7	0.97	6.3

표 3. 콘크리트 배합설계

Type	W/C (%)	S/a (%)	Unit weight(kg/m ³)					Ad. (%)
			C	W	L	G	S	
OPC	33	58	400	65	-	737	958	2.5*
LMC	33	58	400	65	125	737	958	
VES	38	58	390	148	-	998	779	
VES-LMC	38	58	390	82	122	707	918	1**

* AE감수제, **소포제



3.2 실험 방법

라텍스개질 콘크리트에 산재해있는 미세 공극 구조를 분석하기 위하여 굳지 않은 콘크리트의 공기량 시험과 화상분석을 통한 콘크리트의 미세 공극 구조를 비교·분석하는 실험을 실시하였다.

3.2.1 압력법에 의한 공기량 측정

콘크리트의 공기량을 측정하기 위하여 KS F 2421에 의거한 “공기량 측정기를 이용한 압력실험”을 사용하였다. 굳지않은 상태의 콘크리트 공기량과 경화 후 공기량을 화상분석법으로 각각 측정하여 그 결과를 비교하였다.

3.2.2 화상분석법

콘크리트의 내부의 미세 공극 구조를 화상 분석 방법으로 측정하기 위해서는 화상분석 시험 전, 시편의 표면에 많은 처리 절차를 거친 후 시험을 수행하여야 한다(권혁찬, 2004). 화상분석법을 수행하기 위한 일련의 과정은 다음과 같다.

- (1) 시편 절단 : $\phi 10 \times 20\text{cm}$ 의 콘크리트 공시체는 시편 표면에 절단 속도로 인한 단차 및 표면 경사가 발생되지 않도록 $\phi 10 \times 5\text{cm}$ 로 절단한다.
- (2) 표면 연마와 표면 처리 : 콘크리트 표면 연마 재료로 SiC 파우더는 최초 60번 연마제에서 시작하여 100번, 200번, 320번, 420번의 연마제를 거쳐 최종 600번 연마제 순서로 연마를 실시하였다 (ASTM C 457, 1982). 그 후 시편 표면을 흑색 수성 잉크로 도색, 건조시킨 이후에 백색 분말을 압입하여 충전시켰다.
- (3) 화상 입력과 화상 처리 : 전처리 과정이 끝난 시편은 내부 공극 구조 분석을 위하여 현미경과 디지털 카메라로 시편 전단면을 순차적으로 촬영, 분석하였다.
- (4) 화상분석(Image Analysis) : 프로그램 상에서 처리가 끝난 화상은 프로그램을 이용하여 분석되어 진다.

본 연구에서는 20배율로 콘크리트 시편을 관찰하였다. 이 경우, 하나의 화면을 프로그램 상에 입력하면 2560×1704 화소를 가진 화상으로 컴퓨터에 인식되며, 이는 $9.275\text{mm} \times 6.173\text{mm}$ 의 약 57.25mm^2 의 면적을 나타낸다. 이 배열에서 한 화소의 크기는 $3.6 \mu\text{m}$ 로 인식된다. 본 연구에서는 미세 공극 구조의 분석 범위를 $50\mu\text{m} \sim 10,000\mu\text{m}$ 로 정하였다.

4. 실험결과 및 분석

4.1 공기량 측정 결과

그림 3은 라텍스개질 콘크리트의 굳지 않은 상태에서 압력법으로 측정된 공기량과 경화 후 화상분석법으로 측정된 공기량을 비교한 그래프이다. 전체적으로 경화 전 압력법으로 측정된 공기량이 경화 후 화상분석을 통한 공기량보다 다소 높게 측정되는 것으로 나타났다. 즉, 화상분석법으로 측정된 공기량과 압력법으로 측정된 공기량과의 차이가 약 25% 감소되어 측정되는 것으로 나타났다.

이를 살펴보면, 약 3% 내외의 공기량에서는 두 측정방법 간에 차이가 미소하였으나, 공기량이 6% 이상인 경우 측정방법 간의 결과 차이가 더 크게 나타났다.

본 연구에서의 경화 전·후의 공기량 차이는 공시체 제작 시 다짐의 영향, 콘크리트 자체의 불균질성, 압력법 시 미세기포의 용해 및 시멘트의 수화반응으로 인한 공극의 감소 등의 원인으로 판단된다.

경화 전후의 공기량의 차이는 많은 연구자들에 의해 제기되었으며 그 원인에 대한 분석결과도 다양하게 제시되고 있다. 그 중 Hover(1980)는 경화 전후의 공기량의 차이에 대하여 다음과 같은 가설로 설명하였다.

- 불균질성의 콘크리트 자체가 가지는 표준정규분포에 의한 원인
- 압력을 받는 콘크리트 조건과 경화 후 현미경 관찰



방식의 차이(압력의 유무)

- 경화 전의 공극 중 일부는 경화 과정에서 붕괴되거나 물에 용해될 수 있다.
- 압력실험법 자체가 항상 유효한 결과를 나타내는 것은 아니다.

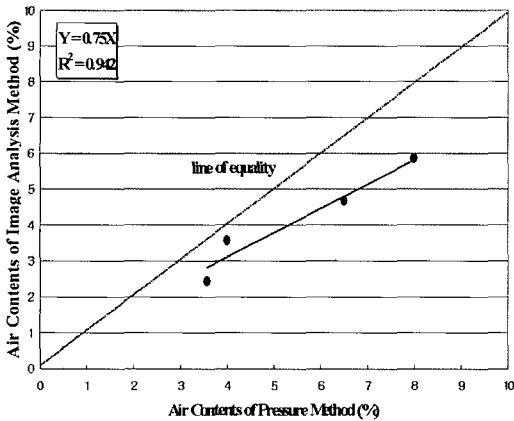


그림 3. 압력법과 화상분석법 결과 비교

4.2 LMC의 공극 구조

그림 4에서는 라텍스 혼입율(0, 15%)에 따른 공극 구조의 변화를 확인하기 위하여 화상분석을 통해 분석된 공극 직경별 분포를 나타낸 것이다.

분석결과 LMC는 라텍스가 첨가됨으로 인하여 OPC의 공극구조에서보다 약 100~700 μ m의 직경을 갖는 공극이 크게 증가하는 것으로 나타났다.

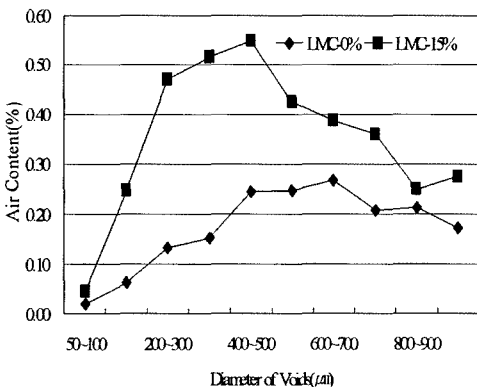


그림 4. 공극직경에 따른 분포도(LMC)

이는 라텍스에 포함된 유화제 및 안정제와 같은 계면활성제의 작용에 의하여 보통 시멘트 콘크리트보다 많은 공기가 연행된 것으로 사료된다. 또한, 라텍스폴리머의 계면활성작용에 의한 연행공기 함유효과는 AE감수제의 효과보다 더 우수한 것으로 나타났다.

ASTM C 125에서는 갇힌공극의 경우 형상이 불규칙적이며 그 크기는 1000 μ m 이상이며 연행공극은 구형에 가까운 형상과 함께 그 크기가 10~1000 μ m로 정의되어 있다(Pigeon, 1995). 따라서 본 연구에서는 연행공극과 갇힌공극의 구분을 공극직경 1000 μ m를 기준으로 설정하였다.

그림 5는 라텍스 혼입에 따라 1000 μ m를 기준으로 연행 공극과 갇힌 공극을 구분하여 나타낸 그래프이다.

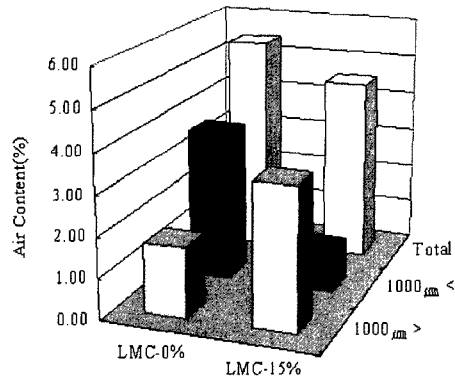


그림 5. 라텍스 첨가에 따른 공기량 비교

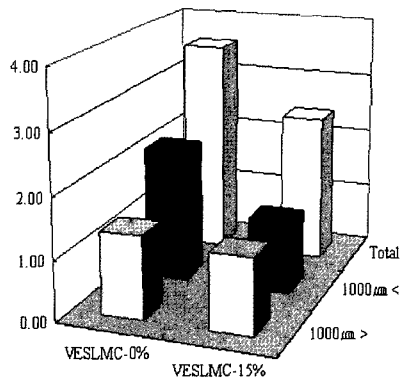


그림 6. VES와 VES-LMC의 공기량



그래프에서 확인할 수 있듯이, 라텍스가 첨가됨으로 인하여 연행 공극이 많이 분포되는 것을 알 수 있다.

라텍스의 첨가로 인한 내부 공극 구조의 변화는 AE감수제를 통한 내부 공극 구조보다 더 크게 변화되는 것으로 나타났다. 즉, 1000 μm 이하의 연행공기량이 1000 μm 이상의 갇힌공기량보다 약 3배이상 증가하며 특히, 100~700 μm 사이의 연행공기량이 매우 높아짐을 알 수 있다. 이러한 연행공기는 콘크리트 내부에서 균일하게 분포될 경우 내구성 향상에 크게 기여하게 된다(Pigeon 1995).

4.3 VES-LMC의 공극 구조

VES-LMC의 경우는 적정량의 소포제가 첨가되어야 하며 이러한 소포제의 첨가로 인하여 더 우수한 효과를 나타낸다는 것이 이미 기존 연구문헌을 통해 소개되었다(정원경, 2001). 따라서, 본 연구에서 소포제의 첨가량을 라텍스혼입물에 1%로 하였으며, 이러한 소포제의 첨가가 미치는 영향에 대해서 고찰하였다.

그림 6은 화상분석기법을 통해 분석된 VES와 VES-LMC의 공기량을 나타낸 것이다. 어떠한 혼화재료도 첨가되지 않은 VES의 경우 경화 후 단면에서 측정된 공기량은 약 3.6%였으며, 라텍스를 첨가한 VES-LMC의 경우 이보다 낮은 2.5%로 분석되었다. 라텍스는 유화제 및 안정제와 같은 계면활성제에 의한 작용으로 작업성의 향상과 연행공기체의 효과가 있는 것으로 알려져 있으나, VES-LMC에서는 배합 시에 첨가되는 소포제의 영향으로 공기량이 감소된 것으로 판단된다. 즉, VES-LMC의 경우는 소포제의 영향으로 인하여 공기량이 감소되는 것으로 평가된다. 또한, 혼화재료가 첨가되지 않은 VES의 경우 내부 공극직경 1000 μm 를 기준으로 구분할 경우 과도한 크기의 갇힌공극이 1000 μm 이하의 연행공기량보다 함유율이 높은 것으로 나타났다.

그러나, VES-LMC의 경우 라텍스의 첨가와 소포

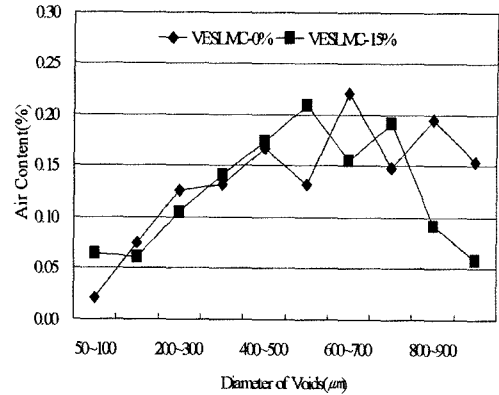


그림 7. 공극직경에 따른 분포도(VES-LMC)

제의 파포 작용으로 이러한 과다 공극의 형성이 억제되는 것으로 나타났다. 1000 μm 이상의 과다 공극은 내구성 향상에 영향을 주지 못하며 콘크리트의 내부 결점으로 작용하므로 이러한 과다 공극은 반드시 억제되어야 할 것으로 판단된다.

따라서, 소포제 첨가로 인한 갇힌공기량의 억제는 매우 효과적인 방법인 것으로 판단된다. 그림 7에 나타난 공극 직경별 공기량은 VES와 VES-LMC 모두에서 거의 유사한 것으로 평가되었다.

4.4 라텍스개질 콘크리트의 간격계수와 공극구조 특성 분석

4.4.1 라텍스개질 콘크리트(LMC)

Powers(1949)는 시멘트 페이스트를 가로질러 수분이 이동가능한 최대거리(L_{max})의 계산에 있어서 최대간격계수는 시멘트페이스트 투수성과 페이스트 인장강도에 비례한다고 하였다. 또한, 간격계수가 작을 경우 콘크리트 내부에 산재되어 있는 공극간의 거리가 짧아 공극간의 이동 수분의 양이 커지게 되고 내부 팽창압에 대한 저항성이 높아진다.

본 연구에서는 라텍스 첨가에 따른 내부공극구조 특성을 연구하고자 하였으며 이를 위해 내부공극구조를 통해 간격계수 산정에 라텍스가 미치는 영향을 분석하고자 하였다.



표 4에 나타난 라텍스개질 콘크리트의 간격계수를 살펴보면, 동일배합조건인 OPC에 비해 공극간의 간격이 더 조밀하게 배열되어 있음을 알 수 있다. 특히, OPC의 경우는 AE감수제를 첨가하여 적정 공기량을 확보하였음에도 불구하고 라텍스만을 첨가한 것과 비교하여 다소 높은 간격계수를 나타내었다. 간격계수를 알아보기 위한 표 5를 살펴보면, 라텍스를 혼입한 LMC의 경우가 AE감수제를 첨가한 OPC의 경

표 4. 공기량과 간격계수의 관계

Type of Concrete	W/C (%)	Latex (%)	Spacing factor (μm)	Air content (%)
OPC	33	0	601	5.43
LMC	33	15	405	4.54
VES	38	0	534	3.56
VES-LMC	38	15	275	2.52

표 5. 내부 공극 구조의 비교(OPC & LMC)

	OPC	LMC
Total area of air void(μm^2)	379455048.2	328151147.6
Number of air void	1361	3490
Average area of air void(μm^2)	278806.0604	94026.11678
Air content(%)	5.43	4.54
Spacing factor(μm)	602	405

표 6. 내부 공극 구조의 비교(VES & VES-LMC)

	VES	VES-LMC
Total area of air void(μm^2)	251137692	184788643
Number of air void	1708	7291
Average area of air void(μm^2)	147036	25344
Air content(%)	3.56	2.52
Spacing factor(μm)	534	275

우보다 공기량은 다소 적으나 공극수에서는 약 3배 정도로 높은 공극을 가지고 있는 것으로 측정되었다. 또한 이러한 공극의 범위는 $1000\mu\text{m}$ 이내의 공극으로 LMC에서 공극의 평균면적은 OPC의 평균공극면적에 33%에 불과하게 되며 비표면적은 약 1.7배로 높은 비표면적을 갖게 된다. 즉, 라텍스폴리머의 우수한 계면활성작용으로 매우 미소한 크기의 연행공극이 콘크리트 내부에 분산되어 매우 안정적인 내부 공극 구조를 형성하고 있는 것으로 나타났다.

이러한 라텍스폴리머의 작용은 AE감수제보다 더 우수한 공극 연행효과가 있는 것으로 분석되었다.

이를 통해, 라텍스를 혼입한 라텍스개질 콘크리트의 경우 내동결성 및 표면박리에 저항하기 위한 내부 공극구조가 일반 콘크리트에 비해 더 안정적 구조를 갖고 있다는 것을 확인할 수 있었다.

4.4.2 라텍스개질 초속경 콘크리트(VES-LMC)

표 6은 VES와 VES-LMC에 대한 화상분석기법을 통해 나온 내부공극 결과를 정리해 놓은 것이다. 이를 살펴보면, VES의 경우 내부 공기량이 3.56%, VES-LMC의 경우 내부 공기량 2.52%로 분석되었다. 그러나, 간격계수값을 살펴보면, 공기량이 더 높게 나온 VES의 경우가 VES-LMC보다 더 큰 간격계수를 갖는 것으로 나타났다. 즉, VES의 내부 공극 간격계수는 $534.4\mu\text{m}$ 로 측정되었으며, VES-LMC의 경우 적은 공기량에도 불구하고 약 $270\mu\text{m}$ 로 측정되

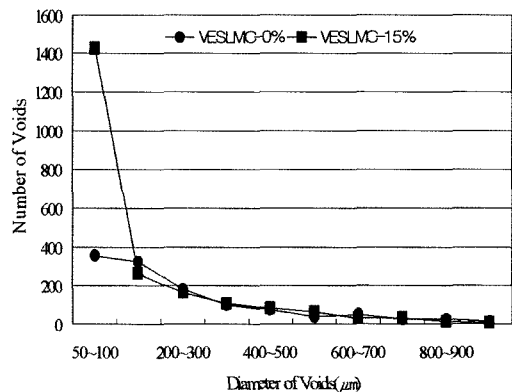


그림 8. 공극직경별 공극수 분포



었다. 이러한 내부 공극 간격계수의 차이는 단순한 공기량의 차이에 기인하는 것이 아니며 그림 8에 나타난 바와 같이 공극수에 기인하게 된다.

VES-LMC의 경우 소포제의 사용으로 전체 공기량은 감소하였으나, 라텍스의 첨가로 인한 계면활성작용에 따라 직경 100 μm 미만의 연행공극수가 그림 8에서와 같이 급격히 증가함을 알 수 있다. 이러한 미세연행공극수의 증가로 인하여 전체공기량 감소에도 불구하고 간격계수는 VES보다 작은 거리를 갖게 되는 것이다.

초속경시멘트를 사용한 라텍스개질 초속경콘크리트의 경우는 라텍스첨가로 인하여 100 μm 미만의 미세연행공기의 급격한 증가와 소포제로 인한 1000 μm 이상의 공극 감소 등의 내부 공극 구조변화를 보였다.

5. 결 론

본 연구에서는 화상분석법을 통하여 라텍스개질 콘크리트의 공기량 및 공극 직경에 따른 분포 특성, 공극 구조 상태 분석, 간격계수를 산정함으로써 좀 더 합리적이고 체계적인 방법으로 라텍스개질 콘크리트의 내부 공극 구조를 평가하고자 연구를 수행한 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 굳지않은 상태에서 측정된 공기량과 경화후 화상분석법에 의한 공기량을 비교한 결과 화상분석법에 의한 공기량이 약 25% 감소되어 측정되었다. 이는 공시체 제작 시 다짐의 영향, 콘크리트 자체의 불균질성, 압력법 시 미세기포의 용해 및 시멘트의 수화반응으로 인한 공극의 감소 등의 원인으로 판단되었다.
2. 라텍스의 혼입에 따른 콘크리트 내부의 공극 구조변화를 확인하기 위하여 라텍스 혼입율에 변화(0%, 15%)를 두어 분석을 실시한 결과, 라텍스가 혼입된 콘크리트의 경우 AE제의 첨가 없이도 다량의 연행공극이 발생하는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 라텍스개질 콘크리트의 내부 공극구조

는 내동결성 및 표면박리 저항성에 보다 적합한 구조 및 간격계수를 가지고 있는 것으로 측정되었으며 이는 라텍스 입자의 계면활성작용으로 인한 결과로 판단되었다.

3. 보통 포틀랜드 시멘트보다 분말도가 큰 초속경 시멘트를 사용하였을 경우, 좀 더 많은 수화 생성물이 내부 공극을 충전시키는 효과로 인하여 전체 공기량은 작아지는 경향을 나타내었다. 배합에 첨가되는 소포제의 역포 및 파포 작용으로 인하여 공기량이 감소하였다. 그러나, 미세한 연행공극의 감소보다는 콘크리트의 잠재적인 결함으로 존재할 수 있는 간헐공극의 감소에 보다 효과적인 것으로 나타났다.
4. 화상분석법을 통해 기존연구에서와 마찬가지로 간격계수를 산정하는 것뿐만 아니라 경화 콘크리트의 공기량, 공극 직경별 공극 분포, 공극 구조 상태를 분석함으로써 좀 더 합리적이고 객관적인 방법으로 라텍스개질 콘크리트 내부의 공극 구조를 평가하는 것이 가능하며, 이러한 내부 공극 구조의 분석을 통해 콘크리트의 내구성 평가가 가능할 것으로 여겨진다.

참고문헌

1. 권혁찬(2004), "화상분석법을 통한 경화 콘크리트의 내부 공극 구조 분석", 석사논문, 강원대학교.
2. 김기철(1998), "화상분석기를 이용한 경화 콘크리트의 기포측정법 개발에 관한 연구", 석사논문, 대구대학교.
3. 윤경규, 이주형, 김기현, 김대호(2000), "현장적용을 위한 라텍스 개질 콘크리트의 역학적 특성", 대한토목학회 가을학술발표회논문집, pp. 395-398.
4. 정원경(2001), "초속경시멘트를 이용한 라텍스 개질 콘크리트의 강도발현 및 투수특성", 석사논문, 강원대학교.
5. Hover, K.C.(1989), "Some recent problems with air-entrained concretes", *Cement, Concrete,*



- and Aggregates, Vol. 11(1), pp. 67~72.
6. Neville, A.M.(1983), *Properties of Concrete*, 3rd edn, Pitman, London
 7. Ohama, Y.(1987), "Principle of Latex Modification and Some typical Properties of LMC," *ACI Materials Journal*, Vol. 84, No. 6, pp.511~518.
 8. Pigeon, M., Pleau, R., *Durability of Concrete in Cold Climates*, E & FN SPON, 1995, pp.43~115.
 9. Powers, T.C and Brownyard, T.L(1948), "Studies of the Physical Properties of Hardened Portland Cement Paste", Bulletin 22, Portland Cement Association Bulletin, Chicago, IL
 10. Powers, T. C. (1949), "The air requirement of frost-resistant concrete", *Proceedings of the Highway Research Board*, Vol. 29, 1949, pp1~28.

〈접수 : 2004. 12. 6〉