

이미지 분석에 의한 콘크리트의 공극 분포 및 공기량 분석

Air Contents & Size Distribution of Air Voids in Concrete Using Image Analysis

권혁찬* 정원경** 윤경구***
Kwon, Hyouk-Chan Jeong, Won-Kyong Yun, Kyong-Ku

Abstract

Air voids in hardened concrete have an important influence on concrete durability such as resistance of freezing and thawing, permeability and surface scaling resistance. Linear traverse method and point count method in ASTM standard method have been widely used to estimate the air void system in hardened concrete. However, these methods are not used at present time, because they are is exhausted much time and effort.

In previous study, air voids system of concrete was estimated by spacing factor. The purpose of this study organizes image analysis method by analyzing air contents, air voids distributions by diameters, air voids system as well as spacing factors after hardened concrete. The experimental variables institute of depth of specimen(top, middle, bottom), air contents(AE contents 0, 0.01, 0.03%)

키워드 . 공극 구조, 공기량, 간격계수

Keywords . air void system, air contents, spacing factor

1. 서 론

콘크리트는 다른 건설재료에 비하여 내구성이 비교적 우수한 재료로 인식되어져 왔다. 그러나 최근 콘크리트 구조물이라도 충분한 내구성을 가지지 않는 경우가 종종 보고되고 있다. 이러한 콘크리트 내구성 저하는 구조물의 노후화에 따른 부수적 현상이 아닌 경우, 구조물 전체에 악영향을 줄수 있는 중요한 문제를 야기하게 된다. 따라서 콘크리트의 내구성 평가 및 예측은 오늘날 매우 중요한 연구 분야로 인식되고 있다. 이러한 콘크리트의 내구성에 영향을 미치는 인자는 크게 환경적

요인과 재료적 요인으로 구분할 수 있다.

특히, 재료적 요인의 경우 열화 메카니즘을 이해함으로써 내구성을 향상시킬 수 있는 중요한 요인이 된다. 이러한 콘크리트의 내구성을 지배하는 재료적 인자로서 가장 큰 비중을 차지하는 것이 바로 콘크리트 내부에 산재되어있는 공극이다¹⁾. 이러한 각종 공극의 크기, 모양, 직경별 함유량 등의 분포상태는 콘크리트의 내구성능을 결정하는 중요한 역할을 하고 있다. 또한, 콘크리트의 물성 중에서 가장 중요한 콘크리트의 강도가 내부 공극의 양과 크기에 좌우되는 것은 강도이론의 가장 기본이 되는 사실이며, 주된 노후화 요인인 동결융해의 정도, 중성화 속도, 투수·투기성능 또한 내부의 기포분포상태가 좌우하고 있다²⁾. 그러나 현재의 콘크리트 구조물은 비파괴 검사, 코어 채취 등을 통하여 강도를 추정하며 추정된 강도를 통하여 간접

* 강원대학교 토목공학과 대학원 석사과정

** 강원대학교 토목공학과 대학원 박사과정

*** 강원대학교 토목공학과 조교수, 공학박사

적으로 내구성을 평가하고 있는 실정이다. 이러한 콘크리트의 강도만을 이용한 내구성 평가는 재료의 복합성 및 영향인자의 최소화로 인하여 보다 정확한 내구성 평가에 한계가 있을 수 있다. 또한, Linear Traverse Method와 Point Count Method 등과 같이 이러한 문제점을 해결하고자 현미경을 통하여 육안으로 콘크리트의 공극 구조를 직접 분석하는 방법이 있으나, 이러한 방법들은 분석하는데 시간과 노력이 너무 많이 소요되어 현재에는 거의 사용되어지지 않고 있다. 근래에 들어서는 현미경을 통하여 화상을 획득한 뒤 그 화상을 분석하는 화상분석법이 몇몇 연구자에 의해 연구되고 있다. 그러나 이러한 화상분석법은 공극간의 거리로 설명되어지는 간격계수(Spacing factor)를 산정하여 콘크리트의 공극 구조의 특성을 평가하는 방법으로서, 공극 직경의 영향에 따른 간격계수의 차이를 무시하는 오차를 유발할 수 있으며 실험 절차 및 정확성에 대하여 명확하게 규정되어 있지 않다.

따라서, 본 논문에서는 이러한 화상분석법을 통하여 좀 더 합리적이고 객관적인 방법으로 경화 콘크리트의 내구 특성을 평가하기 위하여 간격계수 뿐만 아니라 경화 후 공기량, 공극 직경에 따른 공극 분포 및 공극 구조 상태 분석을 파악하여 화상분석법의 체계화를 도모하고자 하였다

2. 화상분석의 이론적 고찰

화상분석이란 어느 주어진 화상(Image)으로부터 정량적인 정보를 추출해 가는 분석방법으로서 물체의 크기와 이의 분포도, 밝기, 높이, 면적, 위치, 형상 등을 추출해 내기 위한 분석 방법을 말한다. 화상분석을 위한 기본 개념에 대해 살펴보면 다음과 같다.

2.1 구성 장치

화상 분석의 구성 장치는 크게 2가지로 구분된다. 첫째는, 콘크리트 시편 표면을 관찰할 수 있는 현미경과 둘째는, 콘크리트 시편을 촬영할 수 있는 CCD 카메라나 디지털 카메라와 같은 입력장치이다 이러한 구성장치는 다음과 같다.

(1) 현미경(Microscope)

현미경은 표본으로부터 빛을 사용하여 대물렌즈에 의해 표본이 확대된 실상을 맺고, 이것을 접안렌즈에 의해서 재 확대하는 장치로서 정의된다. 대개의 경우는 대물렌즈와 접안렌즈를 갖추고 있는 현미경을 말하나, 넓은 뜻으로는 전자선을 이용하는 전자현미경도 포함된다. 종류와 형식은 사용목적·제작연대·제작회사의 차이에 따라 여러 가지가 있

으나 구조적으로 분류하면, 가장 일반적인 투과현미경 이외에 금속현미경·편광현미경·형광현미경·위상차 현미경·자외선현미경 등의 특수한 것들이 있다.

(2) 디지털 카메라

화상을 입력하는 장치로서 현미경과 더불어 중요한 장치는 CCD 카메라나 디지털 카메라 등과 같이, 분석 장치인 컴퓨터에 화상을 화소(pixel) 단위로 입력시키기 위한 장치가 필요하다.

2.2 분석 장치

분석에 사용된 컴퓨터는 일반적인 PC를 사용하였으며, 화상 분석을 위한 기초적인 이론적 고찰에 대해 살펴보면 다음과 같다.

(1) 화소(Pixel)

모든 화상 분석에 쓰여지는 화상은 화소(Pixel)라는 최소 단위로 구성되어 있으며, 이러한 화소(Pixel)의 정의는 2차원 화상을 표본화 할 때 그 하나하나의 분석 표본 화점으로 정의 될 수 있다⁵⁾. 화소(Pixel)라는 것은 아래의 그림 1의 오른쪽 그림에서 각각의 정사각형들을 말하며, 이러한 화소(Pixel)는 이미지 및 이미지 측정에서의 기본 데이터를 이루는 측정 단위 요소로서 표현된다.

이러한 화소(Pixel)는 각각 개별적으로 0(흑)~255(백) 단계의 회색염역으로 밝기가 표현되며, 본 연구에서는 8bit gray scale image를 사용하여 개별적인 이미지로부터 정보를 추출하였다. 이러한 화소(Pixel)의 조밀도는 512×512나 1024×1024가 가장 일반적으로 사용된다.



(a) 1:1 Original Picture (b) Pixel
그림 1 Pixel의 개념

(2) 눈금 측정(Calibration)

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

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

값이 Calibration 이다



그림 2 눈금측정의 예시

(3) 광, 전자적 오차의 보정

모든 광학적, 전자 광학적 장비는 오차를 필연적으로 갖는다 광학 현미경에서의 무한 배율이 불가능한 이유를 렌즈의 수차로써 증거를 들어 설명할 수 있듯이, 특히 영상에 관계된 시스템일수록 오차는 수명적이라 할 수 있다 즉, 어느 시료에서 똑같은 값의 명암 레벨일지라도 영상신호는 원하지 않는 차이를 유발하게 된다 이 오차를 Shading이라 하며 발생사유로 첫째, 빛의 조사가 때때로 일정치 않다는 것과 둘째, 렌즈의 광학축과 가까운 물체는 변두리보다 밝게 나타나기 때문이며 셋째, 카메라 자체 문제로써 튜브의 어느 면에 따라서 감도 차이가 나기 때문이다²⁾ Shading Corrector는 광학계의 Scanner에 의한 이러한 Shading을 자동적으로 보상하여 주기 위한 장치이다

(4) Image Processing 및 측정

현대의 화상분석기에 포함된 기능은 크게 두 개의 그룹으로 나누어 생각할 수 있다 그 하나는 화상처리로써 정의된 방법으로 화상을 변형시키거나 향상시키는 것이며, 또 다른 하나는 주어진 화상속에서 유용한 정보를 추출하여 내는 측정이다 즉, 주어진 화상을 사용자의 목적에 따라서 여러 가지 주어진 기능을 이용하여 화상의 변환과 향상을 도모할 수 있게 하는 것이 Image Processing 이다. 이에는 침식, 팽창, 골격화 등의 화상 수정(Image Amendment)과 절취, 분할, 연결 등의 화상 편집(Image Edit)이 있다 측정(Measurement)은 면적, 길이, 크기 및 이의 분포, 형상 등 기본 Parameter와 이들의 간단한 결합으로 이루어지는 수많은 응용 Parameter가 있다

3. 실험계획 및 방법

3.1 실험변수

본 연구에서는 화상분석을 통한 콘크리트의 내부 공극 구조 분석을 위하여 다음과 같은 실험변

수를 설정하였다 첫째, 콘크리트 타설 시 발생할 수 있는 깊이별 공기량의 차이를 확인하기 위하여 시편의 깊이에 따른 분석을 실시하였다 둘째, 공기량의 대·소에 따른 공극 구조 특성을 파악하기 위하여 AE제의 첨가량을 변수로 두어 실험을 수행하였다

표 1 실험변수 설정

Ordinary Portland Concrete	
AE Contents (%)	Specimen Depth
0	Top, Middle, Bottom
0.01	Top, Middle, Bottom
0.03	Top, Middle, Bottom

3.2 실험방법

콘크리트 내부에 산재해있는 미세 공극 구조를 분석하기 위하여 굳지 않은 콘크리트의 공기량 시험과 재령에 따른 강도, 그리고 화상분석을 통한 콘크리트의 미세 공극 구조를 비교·분석하는 실험을 실시하였다

3.2.1 공기량 시험

압력법을 통한 공기량 측정은 KS F 2421에 따라 수행하였으며, 공기량 측정 강치는 그림 3과 같다

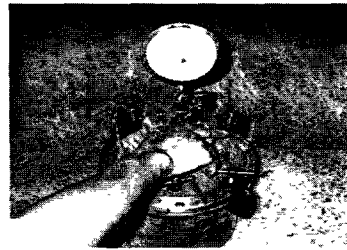


그림 3 공기량 측정 장치

3.2.2 압축강도 시험

콘크리트의 재령 경과에 따른 강도특성을 파악하기 위하여 KS F 2405에 의거하여 압축강도를 측정하였다 재령 7일과 28일에 시험을 수행하였으며, 시험체가 파괴결에 도달할 때까지 하중저어도 실험을 실시하였다 이때 압축강도 측정 시 시편의 편심에 의한 오차를 최소화하기 위하여 시편 양단을 콘크리트 연다기를 사용하여 수평하게 제작하였다 이와 같은 강도 특성 평가에 사용된 시험기는 그림 4와 같다

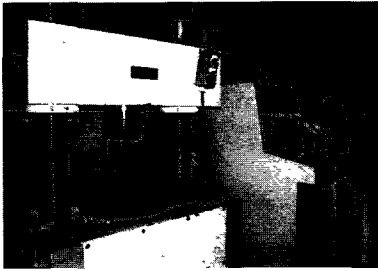


그림 4 압축강도 시험장치

3.2.3 화상분석법(Image Analysis Method)

화상 분석 시험 장치는 크게 전처리 과정에 필요한 장치와 후처리 장치 2가지로 구분된다. 전처리 장비로는, 콘크리트 시편 표면을 관찰할 수 있는 현미경, 콘크리트 시편을 촬영할 수 있는 CCD 카메라나 디지털 카메라와 같이 화상을 입력하는 구성장치로 구성된다. 후처리 장비로는, 촬영된 화상을 하나하나의 픽셀로 분할하여 분석을 할 수 있는 컴퓨터와 분석 Program인 분석기로 구분할 수 있다.

본 연구에서 사용된 화상 분석 시험 장치는 실제 현미경(국내 D사), 디지털 카메라(N사), 컴퓨터와 시편의 상하좌우 이동이 가능한 받침대로 전처리 장비를 구성하였으며, 화상 분석 프로그램(국내 O사)을 사용하여 분석을 실시하였다.

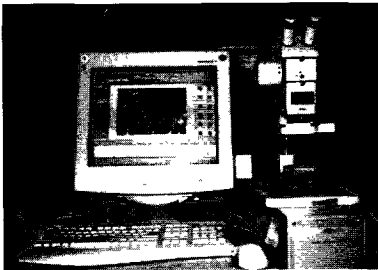


그림 5 화상분석 장치

본 연구에서는 20× 배율로 콘크리트 시편을 관찰하였다. 이 경우, 1화면을 프로그램 상에 입력하면 2560×1704 pixels을 가진 화상으로 컴퓨터에 인식되며, 이는 9.275mm×6.173mm의 약 57.25mm²의 면적을 나타낸다. 이 배율에서 1 pixel의 크기는 3.6 μ m로 인식된다. 본 연구에서는 미세 공극 구조의 분석 범위를 10 μ m ~ 10⁴ μ m로 정하였으므로 측정 범위에서 벗어나지 않고 타당한 것으로 판단된다. 그림 5는 이러한 화상분석 장치의 그림이다.

3.3 화상분석 시험 절차

콘크리트의 내부의 미세 공극 구조를 화상 분석 방법으로 측정하기 위해서는 화상분석 시험 전, 시편의 표면에 많은 처리 절차를 거친 후 시험을 수행하여야 한다. 화상분석법을 수행하기 위한 일련의 과정을 그림 6에 나타내었다.

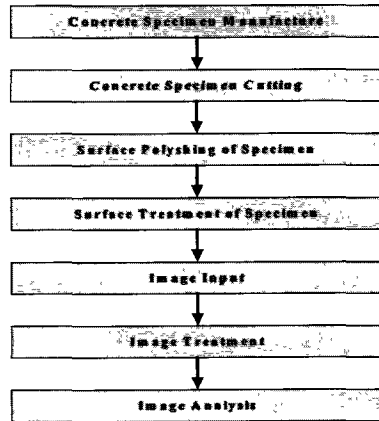
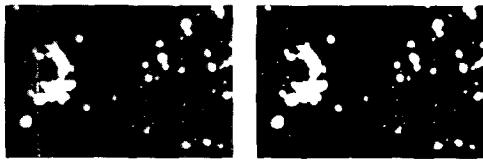


그림 6 화상분석 시험절차

- (1) 시편 절단 : 콘크리트 공시체는 위치별 특성을 파악하기 위하여 각각 상·중·하단을 절단하여 분석하였다. 공시체 절단기는 원형톱날 방식(diamond-saw)을 사용하였으며, 이때 시편 표면에 절단 속도로 인한 단차 및 표면 경사가 발생되지 않도록 하였다.
- (2) 표면 연마와 표면 처리 : 절단 직후 콘크리트 표면 연마 재료로서 SiC(탄화규소) 연마제를 사용하였다. SiC 파우더는 최초 60번 연마제에서 시작하여 100번, 200번, 320번, 420번의 연마제를 거쳐 최종 600번 연마제 순서로 연마를 실시하였다⁷⁾. 위의 과정을 거친 시편 표면의 공극은 화상분석시 컴퓨터에 인식이 용이하도록 하여야 한다. 본 연구에서는 시편 표면을 흑색 수성 잉크로 도색, 건조시킨 이후에 백색 분말을 압입하여 충전시키는 방법을 사용하였다.
- (3) 화상 입력과 화상 처리 : 전처리 과정이 끝난 시편은 내부 공극 구조 분석을 위하여 컴퓨터에 화상을 입력 시켜야 한다 이를 위하여 본 연구에서는 현미경을 통한 디지털 카메라를 사용하였다. 시편 전단면을 순차적으로 촬영한 화상은 프로그램 상에서 color와 brightness, contrast 조절 과정을 거쳐 분석되었다. 그림 7은 프로그램에서 화상을 처리하는 과정을 나타낸 것이다.



(a) 화상 처리 전 (b) 화상 처리 후

그림 7 화상처리 전·후의 비교

(4) 화상분석(Image Analysis)

앞 절에서와 같이 Program 상에서 처리가 끝난 화상은 프로그램을 이용하여 분석되어지며, 결과 데이터로는 실험에서 요구되는 각각의 공극 평균 직경과 최대, 최소 직경, 각 공극의 면적, 한 화상에서의 공극이 차지하는 전체 면적 및 평균 면적, 그리고 공극이 차지하는 비율 등과 같은 항목이 측정된다. 이렇게 분석된 데이터는 파일로 저장되며, 필요한 항목의 조합으로 여러 가지 변수들에 대한 측정이 가능하다. 이렇게 측정된 변수를 살펴보면, 측정된 총 기포수(NA), 전체 화상면적(S), 그리고 전체 기포면적(a)으로 구별되며 이러한 변수를 통해 다음과 같은 식으로 평균 기포면적, 기포면적, 그리고 비표면적을 구할 수 있다

$$\bar{a} = \frac{\sum_{i=1}^{NA} a_i}{NA} : \text{평균 기포면적}$$

$$A = \frac{\sum_{i=1}^{NA} a_i}{S}$$

$$\alpha = \sqrt{\frac{6\pi}{a}} : \text{비표면적}$$

이를 통하여 공극간의 간격계수를 산출하기 위한 식은 다음과 같다

P/A가 4.342보다 작을 때,

$$\bar{L} = \frac{P}{A\alpha}$$

P/A가 4.342보다 클 때,

$$\bar{L} = \frac{3}{\alpha} \left[1.4 \left(\frac{P}{A} + 1 \right)^{1/3} - 1 \right]$$

4. 화상분석 실험 결과 및 고찰

4.1 물리적 특성 고찰

4.1.1 공기량 특성

공기량은 콘크리트의 강도 및 내구성에 많은 영향을 미치는 중요한 인자로서 보통 콘크리트의 경

우 공기량이 적으면 강도 및 투수저항성 등은 커지나 동해에 의해 발생하는 내부 팽창압에 대한 저항성이 적게 되어 동결융해 및 Scaling에 대한 저항성이 떨어지게 된다. 반면, 공기량이 많아지면 동결융해 저항성 및 Scaling 저항성이 증가하지만 경화된 콘크리트에서 공극이 상대적으로 증가하여 강도 및 투수저항성이 저하된다 따라서 적정 공기량을 유지하는 것은 내구성 측면에서 중요한 요소이며, 일반적으로 약 3~6%의 공기량을 포함할 것을 권고하고 있다.

아래의 그림 8은 경화 전 압력법으로 측정된 공기량과 경화 후 화상분석법으로 측정된 공기량을 비교한 그래프이다. 이를 살펴보면, 약 3% 내외의 공기량에서는 두 측정방법 간에 차이가 미소하였으나, 공기량이 6% 이상인 경우 측정방법 간의 결과 차이가 더 크게 나타났다 이러한 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 판단된다²⁾. 공기량의 차이를 좀더 정확하게 파악하기 위하여 위의 데이터를 사용하여 다음과 같은 상관관계식을 도출하였다

$$Y = 0.57x, \quad R^2 = 0.99$$

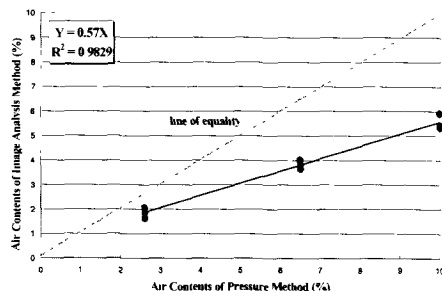


그림 8. 방법에 따른 공기량 비교

4.1.2 압축 강도 특성

그림 9는 AE제의 첨가량에 따른 OPC의 압축강도를 나타낸 그래프이다. 이를 살펴보면, AE제의 첨가량이 증가함에 따라 공기량이 증가하여 압축강도가 감소하는 일반적인 경향을 나타내고 있다

보통 콘크리트의 경우 공기량이 1% 증가할 경우 강도는 약 4~6% 정도 감소한다고 알려져 있다⁶⁾. 공기량의 변화에 따른 강도 변화에 대한 본 연구의 결과를 그림 10에 나타냈으며, 그래프에서 확인할 수 있듯이 공기량이 1% 증가함에 따라 강도는 평균 4.1% 감소하는 것으로 나타났다 이러한 공기량 변화에 따른 강도 감소에 관한 관계식

은 식은 다음과 같다.

$$Y = -1.54x + 37.49, \quad R^2 = 0.96$$

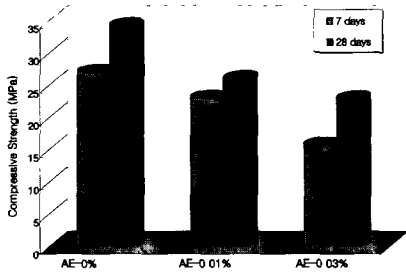


그림 9 압축강도 특성

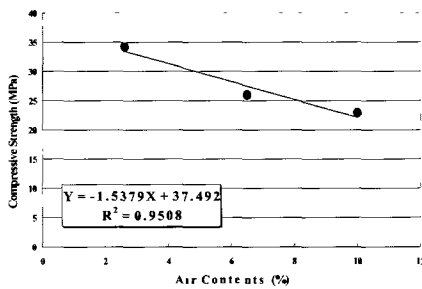


그림 10 공기량에 따른 압축강도의 변화

4.2 화상분석법을 이용한 공극 구조 분석

4.2.1 화상분석법과 ASTM법과의 비교

화상분석법을 통하여 얻어진 데이터의 정확성을 검증하기 위하여, ASTM C 457의 방법(Linear Traverse Method)과 화상분석법으로 측정된 결과를 비교하였다. 그림 11은 ASTM 법으로 공기량을 측정하는 개요를 나타낸 그림으로써, 시편의 표면에 일정한 선을 그어 공극을 지나는 선의 총 길이를 전체 선의 길이로 나눈 것이 공극의 전체 부피가 된다. 따라서, ASTM법에서의 공기량은 다음과 같은 식으로 표현된다.

$$\text{공기량} (V_a) (\%) = \frac{\sum l_n}{L_t} \times 100$$

본 연구에서는 그림 12에서와 같이 획득된 화상에 일정한 간격의 선을 그어 공극을 지나는 총 길이를 측정하였다. 선의 간격은 2058 μm 로 120개의 화상에 동일하게 적용하였고, 이때 화상을 지나는 선의 총 길이는 3338mm로서, 굵은 골재의 최대치수가 25mm일 경우 ASTM 규정에서 요구되는 최소길이 2413mm를 만족하였다.

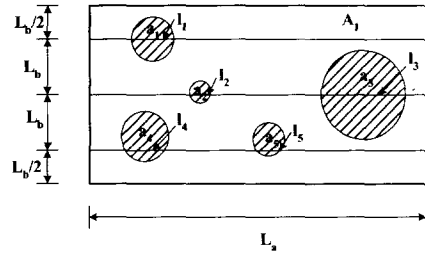


그림 11 linear traverse method의 개념

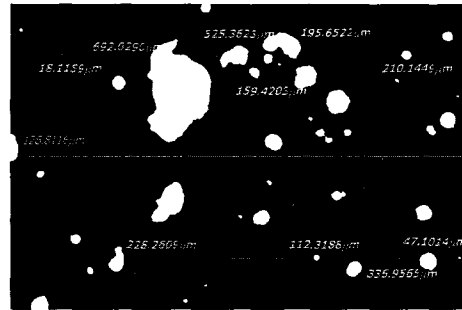


그림 12 ASTM 방법에 의한 공기량 측정

그림 13은 ASTM 방법 중 하나인 linear traverse 법으로 측정된 결과와 화상분석법에 의하여 측정된 결과를 그래프로 나타낸 것이다. 결과에서 확인할 수 있듯이 화상분석법에 의하여 측정된 공기량과 ASTM 법에 의하여 측정된 공기량은 매우 유사하게 나타났다. 이를 통해, 화상분석법을 이용하여 경화 콘크리트의 내부 공극 구조를 분석하는 방법으로도 정확한 결과를 도출할 수 있었다

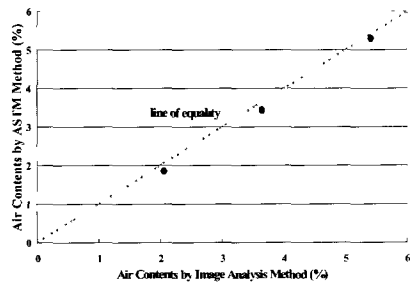


그림 13 화상분석법과 ASTM법의 공기량의 비교

4.2.2 공극 직경별 공극 분포 분석

동결기에 콘크리트는 기온의 변화와 함께 동결 응해의 반복 작용을 받는다. 동결 작용으로 인하여 경화 콘크리트 내부의 자유수는 표면으로부터 동결하기 시작하며, 동결 시 약 9%의 체적이 팽창

현상을 수반한다 이러한 경우, 콘크리트 내부에는 큰 팽창압력이 발생되어 콘크리트 조직이 열화될 수 있다³⁾. 그러나, 콘크리트 내부에 일정한 크기와 분포를 갖는 연행공기가 존재한다면, 자유수 동결에 따른 내부구속압력의 발생을 완화시키고, 자유수의 이동을 가능하게 하여 열화 저항성이 현저히 개선될 수 있다⁴⁾. 따라서 본 연구에서는 이러한 연행공기의 분포를 알아보기 위하여 공기량에 변화를 두어 시편을 제작한 후 각각 직경에 따른 분포를 분석하였다.

그림 14는 공기량에 따른 공극 직경별 분포에 대한 결과로서, AE제가 첨가되어 콘크리트 내부에 공기량이 증가할수록 약 200~600 μm 의 비교적 미세한 공극이 급격히 증가하는 것으로 나타났다. 또한 AE제가 첨가되지 않은 콘크리트는 공극 직경별 분포가 매우 낮아 자유수의 동결 시 이에 대한 저항성이 낮아지는 현상을 알 수 있었다. 그러나 AE제의 첨가로 인하여 100~500 μm 의 연행공기량이 2~7배로 증가, 분포하여 콘크리트 내부 압력 완화에 기여함을 알 수 있었다.

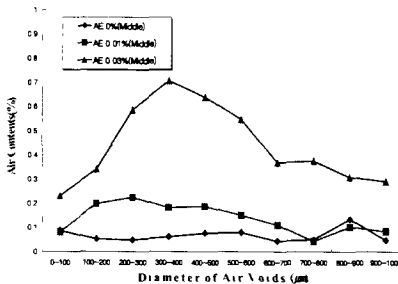


그림 14 공극 직경별 분포

4.2.3 콘크리트 내부의 공극 구조 상태 분석

콘크리트 내부에 존재하는 공극은 그 크기에 따라 갇힌공기(Entrapped Air)와 AE제의 작용으로 인하여 발생하는 연행공기(Entrained Air)로 구분된다 갇힌공기는 연행공기와는 달리 콘크리트 내부에 불규칙적으로 산재하여 균열 발생, 강도 저하 및 내구성능 저하 등의 원인으로 작용하는 인자이다⁵⁾. 그러므로 콘크리트 내부의 갇힌공기량 및 분포 상태를 연행공기와 비교하는 것은 큰 의의가 있다고 할 수 있다

그림 15는 콘크리트 내부의 공극 구조 상태를 1000 μm 를 기준으로 분석한 결과로서, 그래프에서 확인할 수 있듯이 AE제가 첨가되지 않은 콘크리트는 연행공기가 차지하는 비율보다는 갇힌공기의 비율이 큰 것을 알 수 있다. 그러나 AE제가 첨가됨으로 인하여 연행공기가 차지하는 비율이 점차 증가됨을 확인하였다.

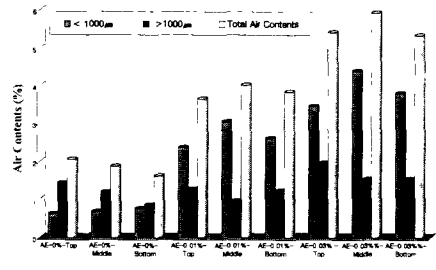


그림 15 연행공기와 갇힌공기의 비교

4.3 간격계수(Spacing factor) 산정

콘크리트의 간격계수는 콘크리트 내부에 산재하고 있는 공극을 동일한 크기와 동일한 간격으로 배분하였을 때, 시멘트 페이스트 속의 가장 먼 점으로부터 가장 가까운 공극벽에 대한 거리로서 정의된다. 이는 입방체의 반대편에 위치한 두 공극의 외주 사이의 거리를 반으로 나눈 것과 같다⁴⁾. 이러한 간격계수는 간접적으로 콘크리트 내구성을 평가하는 지수로 사용되어 지고 있다 본 연구에서 화학분석에 의해 콘크리트 내부의 공극 구조를 통한 공극간의 간격계수 측정결과는 그림 7에 나타내었다. 그림에서도 확인할 수 있듯이 AE제가 첨가된 콘크리트는 300 \pm 50 μm 의 간격계수로 나타났으며, AE제가 첨가되지 않은 콘크리트는 600 \pm 30 μm 로 측정되었다

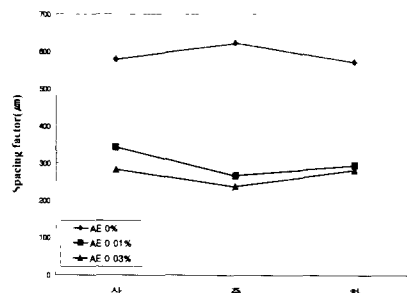
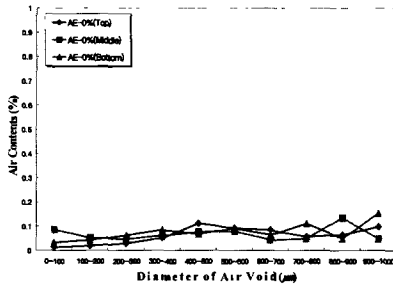


그림 16 간격계수 측정 결과

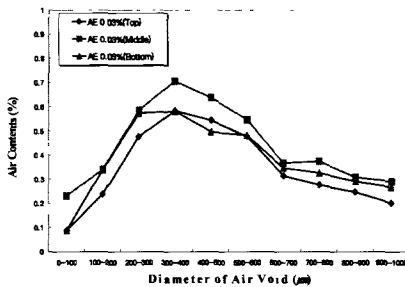
4.4 깊이에 따른 공극분포 특성 고찰

콘크리트 중의 공기량은 제작시의 다짐, 성형의 과정에서 기포의 이동이나, 생성, 소멸 될 수 있으며, 높이 혹은 골재의 분포에 따라 달라질 수 있다. 특히, 콘크리트 포장체의 경우는 포설 장비의 진동으로 인하여 포장체 상·하부의 공극 구조 상태가 많이 다를 수 있으며 또한, 대기 환경에 직접 노출되어 있는 상부부터 열화가 시작되며 점차 하

부로 진전되므로 콘크리트 깊이에 따른 공극 구조의 파악은 중요하다고 할 수 있다.



(a) AE 0%



(b) AE 0.03%

그림 17 깊이에 따른 공극 직경별 분포 특성

그림 17은 AE제 첨가량에 따른 공시체 깊이별 공극 구조를 1000 μ m 이하의 연행 공극 직경에 따라 나타낸 그래프이다. 그래프에서도 확인할 수 있듯이, 깊이에 따른 뚜렷한 특성 변화는 확인되지 않으며, 비교적 유사한 공극 분포를 나타내고 있다.

5. 결론

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

첫째, 공기량의 변화에 따른 공극 구조의 특성을 파악하기 위하여 실험을 실시한 결과, AE제 첨가량이 증가함에 따라 약 200~600 μ m 정도의 미세한 연행공극이 증가함을 알 수 있었다. 그리고 압력법과 화상분석법으로 측정된 공기량의 차이는 경화 전·후 공기량 차이로 판단되며, 경화 후 ASTM

방법(linear traverse method)과 화상분석법으로 측정된 공기량은 거의 유사하게 평가되었으므로 화상분석법으로도 경화 콘크리트의 공기량을 정도 높게 측정할 수 있음을 알 수 있었다.

둘째, 콘크리트 깊이에 따른 공극 구조의 특성을 파악하기 위하여 공시체를 깊이별(상, 중, 하)로 절단하여 공극 구조를 분석한 결과, 실내에서 실험한 동일 변수의 경우, 깊이에 따른 공극 직경별 분포 특성이나 공극 구조 상태가 유사하게 나타났다.

셋째, 콘크리트의 내부 공극을 직경에 따라 분석함으로써 연행되는 공극의 분포 특성을 확인할 수 있었으며, AE제를 첨가함으로써 공기량의 증가에 따라 비교적 미세한 공극이 증가하는 것을 알 수 있었다.

넷째, 화상분석을 통하여 공극간의 간격계수를 측정함으로써, 수치적으로 내구특성을 표현할 수 있었으며 공기량이 증가함에 따라 간격계수는 감소하는 경향을 나타내었다.

참고 문헌

- [1] 김기철, 정재동, “경화 콘크리트 내부의 기포분포상태 분석에 관한 연구”, 한국콘크리트학회 학술발표회 논문집, pp.313~318., 1997.
- [2] 김기철, “화상분석기를 이용한 경화콘크리트의 기포측정법 개발에 관한 연구”, 대구대학교, 석사학위 논문, 1998.
- [3] 임정호, “플라이애쉬를 사용한 콘크리트의 동결융해 저항성 및 기포조직에 관한 연구”, 명지대학교, 박사학위논문, 1998.
- [4] Pigeon M., Pleau R. [1995], “Durability of Concrete in Cold Climates”, E & FN SPON, pp.43~115.
- [5] Richard Pleau, Michel Pigeon, Jean-Luc Laurencot, “Some findings on the usefulness of image analysis for determining the characteristics of the air-void system on hardened concrete”, Cement & Concrete Composites 23, pp.237~246., 2001.
- [6] 한국콘크리트학회, “최신 콘크리트 공학”, pp.110~117., 2001.
- [7] ASTM C 457-82, “Standard Practice for Microscopical Determination of Air-Void Content and Parameters of the Air-Void System in Hardened Concrete, ASTM., 1982.
- [8] Powers T. C., “Void Spacing as a Basis for Producing Air-Entrained Concrete” Research and Development Laboratories of the Portland Cement Association, Vol. 50, pp.741., 1954.