

# 콘크리트 내부 공극 분석을 위한 화상분석기법의 개발

## Development of Image Analysis Techniques for Measuring Air Void System in Hardened Concrete

전인구\*      이봉학\*\*      윤경구\*\*\*      정원경\*\*\*\*  
Jun, In-Ku   Lee, Bong-Hak   Yun, Kyong-Ku   Jeong, Won-Kyong

### ABSTRACT

Air void systems in hardened concrete has an important influence on concrete durability such as freeze-thaw resistance, water permeability, surface scaling resistance, and etc. 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, are time consuming works, 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. However, it is just in initial step. The purposes of this study were to develop an effective and reliable image analysis technique for estimating air void system in hardened concrete. The developed technique was proved to be accurate, reasonable and repeatable.

### 1. 서론

콘크리트는 재료의 복합성, 제조과정 및 혼화제의 사용 등으로 내부 공극을 가지는 건설재료이다. 이러한 내부공극은 젤공극, 모세관 공극, 연행공기 및 갭공기 등으로 구분되며 이들 공극은 콘크리트 내부에 산재하여 경화 후 콘크리트의 내구성을 지배하는 주요한 인자로 작용하게 된다(Pigeon 1995). 콘크리트의 내부 공극은 콘크리트의 강도뿐만 아니라 동결융해 저항성, 투수 특성, 중성화 속도, 표면박리 저항성 등의 내구 특성에도 적지 않은 영향을 끼친다(김기철, 1998).

이들 공극의 중요성 및 역할에 관한 연구는 활발히 진행되었으나, 콘크리트 내부공극을 정량화하기 위한 분석방법은 현재 ASTM C 457이 유일하게 규정된 분석기법이다(ASTM,1982). 그러나, ASTM C 457의 경우 분석에 한계가 있으며 또한, 과도한 시간 및 관찰자에 따라 분석오차가 발생하는 단점을 가지고 있다. 이러한 단점을 극복하고자 몇몇 연구자들에 의해 컴퓨터를 이용한 디지털 화상분석기

- \* 정회원, 농업기반공사 강릉지사 사업부장
- \*\* 정회원, 강원대학교 토목공학과 교수
- \*\*\* 정회원, 강원대학교 토목공학과 교수
- \*\*\*\* 정회원, 강원대학교 토목공학과 대학원

법이 연구발표되었다(권혁찬, 2003). 그러나, 화상분석은 방법과정 및 분석과정이 규정되어 있지 않아 이 또한 분석과정에서 발생하는 오차를 피할 수 없게 된다.

따라서, 본 연구에서는 화상분석기법을 통한 콘크리트 내부공극구조분석의 결과에 대한 신뢰성을 높이고 분석과정 중 디지털 이미지를 이용한 분석과정에서의 오차를 줄이기 위한 기술적 방법을 연구하고자 하였다. 이를 위하여 디지털 이미지 분석과정 중 저장이미지화일종류, 임계치 설정방법 그리고, 한계분해능 설정 등을 실험적으로 분석하였다. 이를 통하여 화상분석기법의 객관화와 정밀도를 확립하고자 하였다.

## 2. 실험개요 및 배합조건

본 실험에서는 경화 콘크리트 내부에 산재되어 있는 공극 구조를 화상분석법을 이용하여 분석하고자 하였다. 이를 위한 콘크리트 배합은 내부 공극 구조 및 분포 특성을 AE제의 첨가량(0%, 0.01%, 0.03%)을 각각 달리 하여 제작하였다. 콘크리트의 배합 조건은 동일한 배합에서 AE제의 첨가량만을 변수로 두어 실험을 실시하였다. 보다 자세한 배합 조건은 표 1에 나타내었다.

표 1 콘크리트 배합 조건

Specimen	W/C (%)	S/a (%)	Unit Weight(kg/m <sup>3</sup> )				AE Contents (%)
			Water	Cement	Sand	Gravel	
A	45	41	177	392	714	1072	0
B							0.01
C							0.03

## 3. 화상분석실험방법

화상분석에 사용되는 화상분석 기기는 크게 3가지(현미경, 디지털카메라, 분석장치)로 요약된다. 화상 입력 장치로는 현미경과 디지털 카메라 및 CCD 카메라로 구분된다. 본 연구에서 사용된 기기는 국내사 OSM-1 모델의 현미경을 사용하였으며, 디지털 카메라는 Nikon 사의 E 5700을 사용하였다. 분석장치로 사용된 Software는 화상분석전용 범용 프로그램인 TDI를 사용하여 분석하였다. 시편을 분석하기 위한 전처리과정은 공시체 절단, 표면 연마(탄화규소#60, 100#, 200#, 320#, 420#, 600# : ASTM C 457, 1982) 후 시편 표면을 흑색 수성 잉크로 도색, 건조시킨 이후에 백색 분말을 압입하여 충전시키는 방법을 사용하였다.

## 4. 실험 결과 및 고찰

### 4.1 저장이미지 종류에 따른 특성변화

화상분석기법을 이용한 콘크리트의 미세구조 분석시 전처리과정을 마친 후 분석과정에서 콘크리트 표면은 디지털 입력화일로 저장되어 최종분석되어진다. 이러한 디지털 입력은 화소라고 하는 최소 단위로 표현되어진다. 즉, 동일공극의 크기라고 공극 크기 및 면적에 계산되어지는 단일 화소의 크기가 다를 경우 분석되어지는 결과값은 단일화소의 크기에 따라 분석되어진다. 따라서, 본 연구에서는 단일 화소의 크기를 3.5 $\mu$ m, 8.9 $\mu$ m와 14.3 $\mu$ m로 구분하여 동일 화상에 대해 분석을 실시하였다.

표 1에 나타난 동일화상에 대한 픽셀 크기 변화에 따른 결과를 살펴보면, 동일조건에서의 화상에 대한 분석치에서 3.5 $\mu\text{m}$ 의 화소를 갖는 이미지 분석 결과는 최소공극의 크기가 15.75 $\mu\text{m}$ 이었으며, 8.9 $\mu\text{m}$  이미지화일과 14.3 $\mu\text{m}$  이미지화일은 각각 43.91 $\mu\text{m}$ 과 82.76 $\mu\text{m}$ 이었다. 또한, 최소측정단위인 픽셀크기의 차이로 인하여 분석되어지는 공극의 수에서도 차이를 나타내었다. 신속한 결과값의 산출과 비교분석만을 위한 과정에서는 화소의 크기가 큰 저해상도의 이미지화일로 분석하는 것도 가능하지만, 보다 정확한 콘크리트 내부공극 구조를 연구분석하기 위해서는 높은 해상도를 갖는 이미지화일로부터의 분석이 이루어져야 할 것으로 판단되었다.

표 1 이미지화일 종류에 따른 분석결과

화소크기	3.5 $\mu\text{m}$			8.9 $\mu\text{m}$			14.3 $\mu\text{m}$		
	공극면적	직경	공극수	공극면적	직경	공극수	공극면적	직경	공극수
최대	71420.54	763.98	30	73820.15	771.81	21	72040.82	765.15	18
최소	312.15	15.75		2311.86	43.91		24489.8	82.76	

#### 4.2 임계치에 따른 공극 분석 차이

저장된 이미지화일은 시멘트페이스트와 공극으로 구분되어 분석되어진다. 즉, 시멘트페이스트는 흑백 화소로, 공극은 백색화소로 인식되어 각각 분석된다. 이때 시멘트페이스트와 공극을 구분짓는 값이 임계치(Threshold)이다. 이러한 임계치의 설정은 공극을 페이스트로, 페이스트를 공극으로 인식시킬 수도 있으므로 이에 대한 정확한 임계치를 반드시 설정하여야 한다.

본 연구에서는 올바른 임계치의 설정을 위하여 직경 500 $\mu\text{m}$ 의 기준시편을 제작하여 화상분석 전 동일한 방법으로 전처리를 걸쳐 임계치 설정에 사용하였다. 그림 1의 결과를 살펴보면, 임계치 변화에 따라 평균공극직경이 약 38.59 $\mu\text{m}$ , 최대 52.35 $\mu\text{m}$ 까지 공극의 직경 측정에 차이를 보이고 있다. 이러한 직경측정 오차는 동일한 공극에 대한 부피와 표면적 계산에서 오차를 유발하며, 비표면적을 통한 간격계수 산출에 있어서도 영향을 미치게 된다. 따라서, 관찰자 및 장비에 따른 차이로 인하여 오는 오차를 없애기 위해서는 화상분석 전 기준시편을 통한 검증과정을 걸쳐 올바른 임계치를 설정한 후 분석을 실시하여야만 올바른 화상분석결과값을 얻을 수 있음을 확인할 수 있었다.

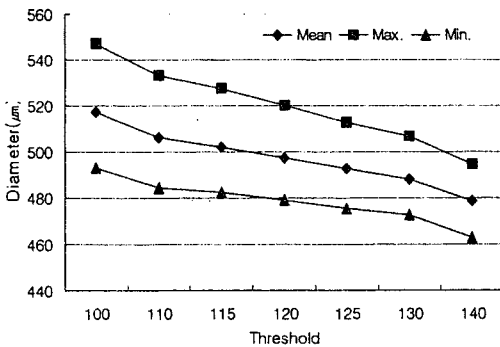


그림 1 임계치와 공극직경 분석 특성

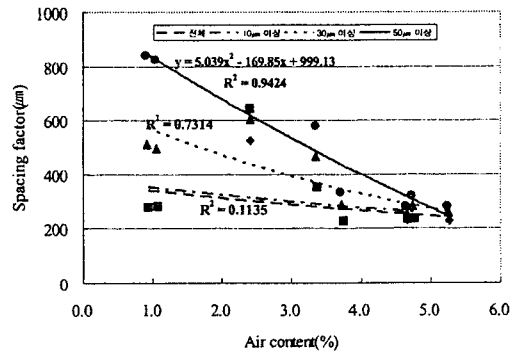


그림 2 분해능에 따른 공기량과 간격계수

#### 4.3 화상처리방법에 따른 공극 분석 특성

콘크리트의 미세공극구조분석을 위한 화상분석장비의 이용시 저장이미지화일의 종류 및 임계치에 변화에 따른 특성을 확인하였다. 그러나, 화상분석시 분석에 사용되는 장비 및 전처리과정 등에 따라 분석되는 자료의 정도에 차이를 보이게 된다. 따라서, 본 연구에서 사용된 장비의 분해능과 정밀도를 검증하는 과정을 걸쳐 이를 검증하고자 하였다. 그림 2는 공기량에 차이를 둔 시편에 대한 분석결과를 나타낸 것으로 동일한 시편에 대한 분석에서 분석가능한 모든 공극을 해석한 경우와 분석능을  $30\mu\text{m}$  이상과  $50\mu\text{m}$  이상으로 한 결과를 비교평가한 것이다. 이를 살펴보면, 공극으로 인식된 모든 자료를 분석에 사용하였을 경우 공극수가 과도하게 분석됨을 알 수 있다. 즉, 실제 공극이 아닌 시편에 묻어있는 미세 먼지 및 분말 등을 공극으로 인식하여 분석하게 되는 것이다. 이렇게 분석된 결과값은 간격계수와와의 상관관계가 매우 크게 떨어지는 경향을 보이고 있다. 그러나, 분해능을  $30\mu\text{m}$ 와  $50\mu\text{m}$ 로 설정하였을 경우 공기량 분석에서는 차이를 보이지 않으며 간격계수와와의 상관성도 향상되어  $R^2$ 값이 0.11에서 0.94로 나타나고 있다.

#### 5. 결론

본 연구는 콘크리트 내부에 존재하는 공극의 분포 상태와 크기를 화상분석법으로 분석함에 따라 기존 구조물의 내구 성능 평가를 보다 합리적이고 체계적으로 수행하기 위한 실내 기초 연구로서, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 전처리 과정 후 획득되는 콘크리트 시편의 이미지는 컴퓨터 분석을 위하여 디지털화된 컴퓨터 저장 이미지화일로 저장되는 파일의 종류에 따라 분해능의 차이를 가지며 보다 정확한 분석을 위하여 저장 이미지의 최소 화소크기가 타당할 것으로 판단되었다.
2. 임계치의 설정값에 따라 동일 공극 직경  $500\mu\text{m}$ 에 대해 면적의 최대차는 약  $0.067\text{mm}^2$ , 부피의 최대차는  $0.034\text{mm}^3$ , 표면적의 최대 오차는  $0.266\text{mm}^2$  그리고 비표면적의 최대차는  $1.99/\text{mm}$  등으로 매우 큰 오차를 발생시킴을 확인할 수 있었다.
3. 분석된 콘크리트 내의 공극은 장비의 분해능에 따라 차이를 보이게 된다. 따라서, 분석장비에 따라 분해능에 차이를 가지며 이러한 분해능의 차이를 구별하지 못할 경우 분석결과에 커다란 오차를 유발하게 될 것으로 판단된다.

#### 참고문헌

1. 김기철, 정재동(1998), "경화 콘크리트 내부의 기포분포상태 분석에 관한 연구", 한국콘크리트학회 가을 학술 발표회 논문집, pp.791-796
2. 권혁찬(2003), "콘크리트의 내구성 추정을 위한 내부 공극구조 분석", 한국도로포장공학회 정기학술 발표회 논문집, pp.125-128
3. 권혁찬(2003), 화상분석법을 통한 경화 콘크리트의 내부 공극 구조 분석, 강원대학교 석사학위논문
4. Pigeon, M. and R.Pleau(1995), "*Durability of concrete in cold climates*", pp. 98-112
5. 한국콘크리트학회(2001), "최신 콘크리트 공학", pp. 110-117
6. ASTM C 457-82a(1982), "*Standard Practice for Microscopical Determination of Air-Void Content and Parameters of the Air-Void System in Hardened Concrete*", ASTM.