

# 콘크리트의 내구성 추정을 위한 내부 공극구조 분석

## Analysis of Air Voids System for Estimating Concrete Durability

권혁찬\* · 정원경\*\* · 홍승호\*\*\* · 윤경구\*\*\*\*

Kwon, Hyouk Chan · Jeong, Won Kyong · Hong, Seung Ho · Yun, Kyong Ku

### 1. 서 론

콘크리트는 주요한 건설재료로서 현재 광범위한 분야에 쓰이고 있으나 재령이 장기화됨에 따라 콘크리트 구조물의 내구성 저하에 대한 관심이 급증되고 있다. 특히 콘크리트 포장의 경우, 구조물 자체가 외부에 노출되어 동결융해 작용이나 겨울철에 제설용으로 쓰이는 염화칼슘(CaCl<sub>2</sub>)에 의해 표면박리 등이 발생되어 내구성이 저하되는 대표적인 구조물이라 할 수 있다. 이러한 콘크리트의 내구성을 지배하는 주요한 인자로서 콘크리트 내부에 산재하고 있는 많은 공극들은 콘크리트의 강도뿐만 아니라 동결융해 저항성, 투수 특성, 중성화 속도, 표면박리 저항성 등의 내구 특성에도 적지 않은 영향을 끼친다(임정호, 1997). 현재 노후된 콘크리트 구조물은 비파괴 검사, 코어 채취 등을 통하여 강도를 추정하며 이를 통하여 간접적으로 내구성을 평가하고 있다. 그러나, 기존 콘크리트의 강도만을 이용한 내구성 평가는 재료의 복합성 및 영향인자의 최소화로 인하여 보다 정확한 내구성 평가에 한계가 있다 하겠다. 따라서 본 연구에서는 콘크리트 내부에 존재하는 공극의 분포 상태, 크기 및 간격계수를 분석함에 따라 기존 구조물에서 콘크리트의 내구성을 평가할 수 있는 화상분석법을 제시하고자 하였다.

### 2. 실험개요 및 배합 조건

본 실험에서는 경화 콘크리트 내부에 산재되어 있는 공극 구조를 화상분석법을 이용하여 콘크리트 내구성 평가의 기초자료로 활용하고자 하였다. 이를 위한 콘크리트 배합은 내부 공극 구조 및 분포 특성을 분석하고자 AE제의 첨가량(0%, 0.01%, 0.03%)을 각각 달리 하여 제작하였다. 또한 콘크리트 깊이에 따른 특성을 파악하기 위하여 시편의 상부, 중부, 하부를 절단하여 분석하였다. 실험에 사용된 굵은 골재는 최대치수 25 mm, 비중 2.57의 레미콘용 쇄석을 사용하였으며, 잔골재는 비중이 2.6인 천연강모래를 사용하였다. 시멘트는 일반적인 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며 AE제는 E사의 제품을 사용하였다. 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

\* 정회원 · 강원대학교 토목공학과 석사과정(033-250-6240, E-mail : chany0118@nate.com)  
 \*\* 정회원 · 강원대학교 토목공학과 박사과정(033-250-6240, E-mail : wonkyong@hanmail.net)  
 \*\*\* 정회원 · 한국도로공사 콘크리트 포장연구실(031-371-3364, E-mail : HSH373@freeway.co.kr)  
 \*\*\*\* 정회원 · 강원대학교 토목공학과 조교수 · 공학박사 (033-250-6236, E-mail : kkyun@kangwon.ac.kr)

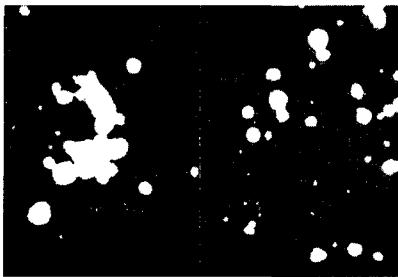
### 3. 화상분석 실험방법

본 연구에 사용된 화상분석 기기는 크게 3가지(현미경, 디지털카메라, 분석장치)로 요약된다. 화상 입력 장치로는 현미경과 디지털 카메라를 사용하였다. 현미경은 국내사의 OSM-1 모델을 사용하였으며, 디지털 카메라는 Nikon 사의 Coolpix 5000을 사용하였다. 분석장치로 사용된 Software는 TDI Scope eye라는 프로그램을 사용하여 분석하였다. 본 연구의 실험과정을 보다 자세히 살펴보면 다음과 같다.

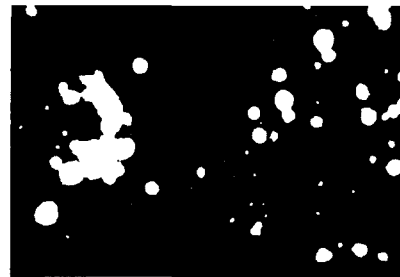
(1) 시편 절단(Specimen Cutting) : 콘크리트 공시체는 위치별 특성을 파악하기 위하여 각각 상·중·하단을 절단하여 분석하였다. 공시체 절단기는 원형톱날 방식(diamond-saw)을 사용하였으며, 이때 시편 표면에 절단 속도로 인한 단차 및 표면 경사가 발생되지 않도록 하였다.

(2) 표면 연마(Polishing)와 표면 처리(Surface Treatment) : 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 실시하였다(ASTM C 457, 1982). 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 1은 프로그램 상에서 화상을 처리하는 과정을 나타낸 것이다.



(a) 화상 처리 전



(b) 화상 처리 후

그림 1. 화상처리 전·후의 비교

## 4. 실험 결과 및 고찰

### 4.1 압축강도 및 공기량 비교

그림 2는 굳지 않은 상태에서 KS F 2421에 의거하여 압력법으로 측정된 공기량과 경화 후 화상분석으로 측정된 공기량을 비교한 것이다. 전체적으로 경화 전, 압력법으로 측정된 공기량이 경화 후 화상분석을 통한 공기량 보다 다소 높게 측정되는 것으로 나타났다. 이는 공시체 제작시 다짐의 영향, 콘크리트 자체의 불균질성, 압력법 시 미세기포의 용해 및 시멘트의 수화반응으로 인한 공극의 감소 등으로 해석되어진다(김기철, 1998). 그러나, AE제 첨가시 경화 후 적절한 공기량 범위( $4\pm 1.5\%$ )를 유지하는 것을 알 수 있었다.

콘크리트의 압축강도 시험은 KS F 2405 시험 방법에 기준하여 실시하였으며, 그 결과는 그림 3과 같다. 이를 살펴보면 AE제의 첨가량이 증가함에 따라 공기량이 증가하여 압축강도가 감소하는 일반적인 경향을 나타내었다(한국콘크리트학회, 2001).

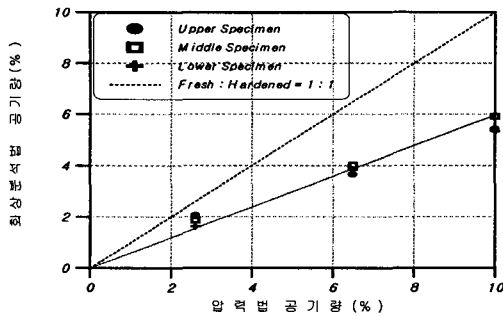


그림 2. 압력법과 화상분석의 공기량 비교

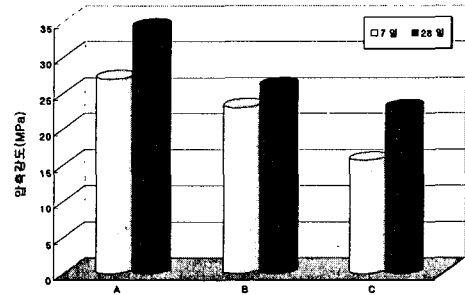


그림 3. 압축강도 시험결과

#### 4.2 공극 직경별 내부 공극 분포

본 연구에서는 공극 직경별로 공극 구조를 파악하였으며 그 결과를 그림 4와 5에 나타냈다. AE제 첨가량 0%와 0.03%를 비교하여 보면, AE제의 첨가량이 커질수록 약 200 $\mu\text{m}$ ~600 $\mu\text{m}$ 의 미세한 공극이 증가하는 것을 알 수 있다. 이를 통하여 AE제 사용에 따른 콘크리트 내부의 연행공기 분포를 확인할 수 있었다. 이러한 연행공기(200 $\mu\text{m}$ ~600 $\mu\text{m}$ )는 동결융해시 콘크리트 내부의 수분이 동결할 때 발생하는 9%의 체적 팽창에 의한 팽창압을 흡수, 완화하여 콘크리트에서의 자유수의 이동을 쉽게 할 수 있어 내압을 완화시켜준다. 그러나, 동일 시편의 경우, 높이에 따른 큰 차이는 확인되지 않았다. 따라서, 노후된 콘크리트의 내구성 평가시 화상분석을 이용한 연행공기의 분포 상태를 통하여 콘크리트의 상태를 합리적으로 분석할 수 있을 것으로 판단된다.

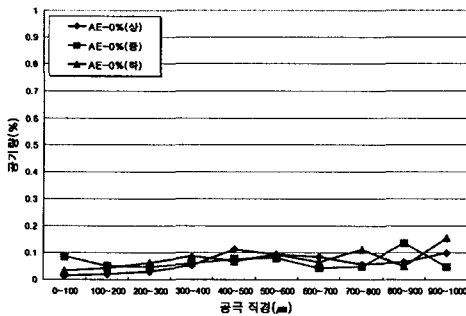


그림 4. 공극 직경별 공기량 분포(AE-0%)

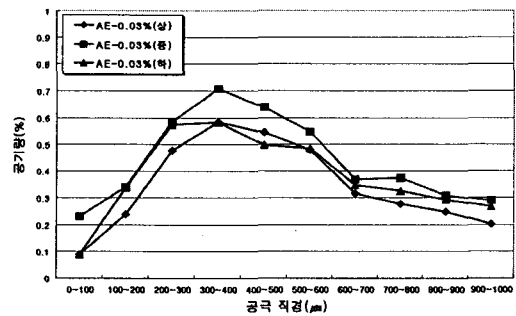


그림 5. 공극 직경별 공기량 분포(AE-0.03%)

#### 4.3 콘크리트 내부의 공극 구조 분석

콘크리트 내부에 분포하고 있는 공기는 콘크리트 타설 시에 생기는 비교적 큰 직경을 갖는 갇힌공기(entrapped air)와 AE제에 의하여 연행되는 미세직경의 연행공기(entrained air)로 나눌 수 있다. 갇힌공기는 연행공기와는 달리 콘크리트 내부에 불규칙적으로 산재하여 균열발생, 강도저하 및 내구성 저하의 원인이 되는 영향인자이다. 따라서, 콘크리트 내부의 갇힌공기량 및 분포상태를 연행공기와 비교하는 것은 큰 의의가 있다할 수 있다. 그림 6을 살펴보면, AE제가 첨가되지 않은 경우에는 1000 $\mu\text{m}$  이하의 미세공극보다 1000 $\mu\text{m}$  이상의 공기가 더 큰 분포상태를 보이고 있다. 그러나, AE제를 첨가할 경우 1000 $\mu\text{m}$  이하의 연행공극이 차지하는 비율이 커지는 것을 알 수 있다. 즉, 보다 내구적인 콘크리트 제조를 위해서는 갇힌공기량을 줄이고 연행공기량을 늘려야 하며, 이를 통하여 기존 구조물의 내구성 저하를 예측할 수 있을 것으로 판단된다.

#### 4.4 내부 공극간의 간격계수(Spacing factor) 측정

콘크리트의 간격계수는 콘크리트 내부에 산재하고 있는 공극을 동일한 크기와 동일한 간격으로 배분하였

을 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 같다.(Pigeon and Pleau, 1995) 이러한 간격계수는 간접적으로 콘크리트 내구성을 평가하는 지수로 사용되어 지고 있다. 본 연구에서 화상분석에 의해 콘크리트 내부의 공극 구조를 통한 공극간의 간격계수 측정결과는 그림 7에 나타내었다. 그림에서도 확인할 수 있듯이 AE제가 첨가된 콘크리트는  $300 \pm 50 \mu\text{m}$ 의 간격계수로 나타났으며, AE제가 첨가되지 않은 콘크리트는  $600 \pm 30 \mu\text{m}$ 로 측정되었다.

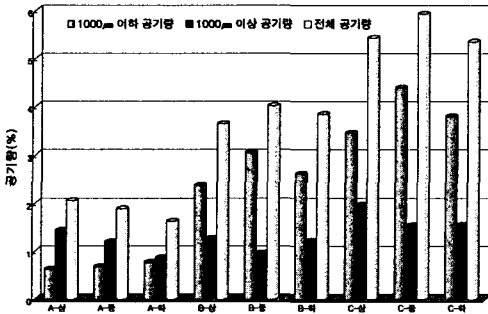


그림 6. 공극 구조 상태 분석 결과

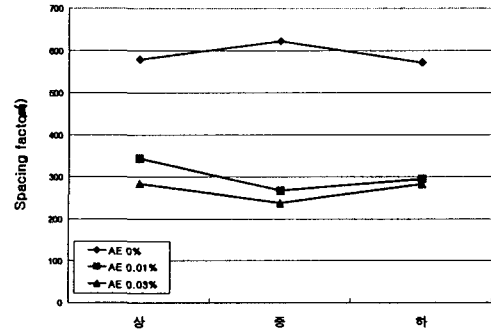


그림 7. 간격계수 측정 결과

## 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. 콘크리트의 공기량은 경화 후 화상분석에 의한 공기량이 경화 전 압력법에 의한 공기량 측정보다 다소 감소되는 경향을 나타내었다. 그러나, AE제 첨가시 경화 후에도 적절한 공기량 범위( $4 \pm 1.5\%$ )를 유지하는 것으로 나타났으며, 깊이에 따른 변화는 미소한 것으로 나타났다.
2. 본 연구에서는 화상분석을 통하여 AE제의 첨가에 따라  $1000 \mu\text{m}$  이하의 미세한 연행공극이 증가하는 현상, 특히 약  $200 \mu\text{m} \sim 600 \mu\text{m}$ 의 공극이 증가하는 현상을 보다 자세히 관찰 할 수 있었다. 이를 통하여 기존 구조체의 공극 분포 특성을 평가할 수 있을 것으로 판단된다.
3. 화상분석 시  $1000 \mu\text{m}$  이하의 공극과  $1000 \mu\text{m}$  이상의 공극으로 구분, 평가하여 기존 구조물의 내구 성능 및 내구성 저하 정도를 예측하는 것이 가능하리라 사료된다.

## 참고문헌

1. 김기철, 정재동(1998), "경화 콘크리트 내부의 기포분포상태 분석에 관한 연구", 한국콘크리트학회 가을 학술 발표회 논문집, pp.791-796
2. 임정호(1997), "플라이애쉬를 사용한 콘크리트의 동결융해 저항성 및 기포조직에 관한 연구", 공학박사 학위논문, pp.72-79
3. Pigeon, M. and R.Pleau(1995), "Durability of concrete in cold climates", pp. 98-112
4. 한국콘크리트학회(2001), "최신 콘크리트 공학", pp. 110-117
5. 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.