

화상분석기를 이용한 경화콘크리트의 기포분포분석에 관한 기초적 연구

Image Analysis of an Air-Void System in hardened concrete

김 기 철*
Kim, Ki-Chul

정 재 동**
Jaung, Jae-Dong

ABSTRACT

Air voids existed in hardened concrete have an important influence on concrete deterioration such as carbonation, freezing and thawing, and corrosion of embedded steel in concrete. Therefore it is very significant to investigate the pore structure of system(size, number and continuity of air voids) to solve the reason caused concrete deterioration.

The purpose of this study is to develop the standard method of measuring air voids which affect properties in hardened concrete using image analyzing system. This paper presents the settlement of rapid and exact experimental method which extracts fine bubbles, calculates the number of air voids, and determines air-void distribution using image analyzing system with computer.

1. 서론

1.1 연구배경 및 목적

주요한 건설재료인 콘크리트의 내부는 미세적으로 스펙지동과같이 많은 공극들이 산재해 있다. 그리고 이러한 모세관공극, 겔공극, 작은기포, 큰기포등으로 이루어진 각종 공극의 존재상태의 변화에 따라 콘크리트구조물의 강도특성, 내구성등이 결정된다. 특히 콘크리트내부의 공극들은 콘크리트의 중성화, 동결융해저항성, 혹은 철근부식의 과정중의 염분침투속도에 밀접하게 관계하므로 경화후의 콘크리트내부 기포조직을 측정하는 것은 콘크리트의 각종 특성, 내구성능등을 판단하는 유효한 지표가 될 수 있다.

본 연구는 경화전후의 콘크리트의 제반 물성에 큰 영향을 미치는 콘크리트의 내부기포의 분포상태를 정량적으로 측정하기 위한 표준적인 수법을 개발하기 위한 실험적 연구이다. 기포분포상태의 판정을 위해 컴퓨터가 인식할 수 있는 미세기포의 추출방법의 개발과 이를 이용하여 직경별 기포의 분포를 산정하여 보다 신속하고 정확하게 실험할 수 있는 방법의 확립을 제시하고자 한다.

1) * 대구대학교 대학원 석사과정

2) ** 정희원, 대구대학교 건축공학과 교수, 공학박사

2. 실험계획

2.1 실험개요

콘크리트내부의 공극을 측정하는 방법에는 N_2 가스흡착법, 수은압입법, ASTM C 457의 리니어트레버스법(이하 ASTM법)등이 있고 N_2 가스흡착법, 수은압입법은 Gel공극이나 Capillary공극 및 미세공극의 측정에 이용된다.

ASTM법은 현미경에 의해 확대된 콘크리트 표면에 나타난 공극의 크기, 갯수등을 육안으로 하나씩 세어서 필요한 계수등을 계산해 내는 방법이다. 그러나 ASTM법은 측정에 많은 시간이 소요되며, 그 결과치 또한 정확성이 떨어져 최근에는 거의 사용하지 않게 되었다.

근년에는 컴퓨터의 발달로 인해 컴퓨터를 이용한 화상분석이 가능하게 되었으며 시간과 노력의 절감과 더불어 그 정밀도도 향상되었다. 화상분석에 의한 콘크리트내의 기포분포측정을 하기 위해서는 우선 절단된 단면을 연마한 후 컴퓨터가 인식하기 쉬운 색 또는 형광물질의 충전재를 기포내에 채워넣어 컴퓨터에 의한 화상처리가 가능하도록 하고, 현미경으로 단면을 관찰한 후 CCD카메라로 컴퓨터에 화상을 입력한 뒤 처리된 화상으로부터 기포의 크기, 양 및 분포상태등을 측정하였다.

본 연구에서는 상술한 화상분석기법의 정확도, 실용성등을 검증하고 표준적인 측정방법을 개발하기 위하여, ASTM에 규정된 방법과의 비교 및 각종의 측정방법들과의 비교를 통하여 그 정확도를 검증하였다.

2.2 사용기기 및 재료

사용된 화상분석기기는 CCD카메라(PANASONIC사제작, gp-KR222), 실체 현미경(서울광학, SLZ-746-10HP), PC(586급) 3부분으로 나누어지며, 실체 현미경에 의해 확대된 화상을 CCD카메라로 촬영한 후 PC로 화상분석을 실시한다. 실체 현미경은 배율이 최소 49배(대물 $\times 0.7$, 접안 $\times 10$, CCD카메라 $\times 7$)에서 최대 350배(대물 $\times 5$, 접안 $\times 10$, CCD카메라 $\times 7$)이다. 49배일 때 현미경의 1시야는 640×480 pixels이고 이는 $8.192\text{mm} \times 6.144\text{mm}$ 의 약 50.33mm^2 의 면적을 가진다.

공시체 절단기는 원형톱날방식(diamond-saw)을 이용하였으며, 공시체의 표면연마는 사포 및 SiC(탄화규소)파우더를 이용하여 연마하였다.

사용된 시멘트는 H사의 보통포틀랜드시멘트를 사용하였고, 골재는 KS L 5100에 규정된 표준사 및 낙동강산 천연세골재와 쇄석을 사용하였으며, 사용 시멘트로서 H사의 1997년 6월생산 보통포틀랜드시멘트를 사용하였다.

2.3 공시체 제작방법 및 표면처리방법

공시체는 시멘트페이스트와 콘크리트의 2종류로 하였으며, 시멘트페이스트 공시체는 W/C 55%, AE제 첨가량 0, 0.02, 0.04%의 조건으로, 콘크리트 공시체는 W/C 55%, s/a 0.48 및 AE제 첨가량 0, 0.01, 0.03%의 조건으로 KS F 2403에 규정된 방법에 준하여 혼합, 제작되었다.

공시체 제작시 경화전 공기량 및 기타 물성이 측정된 시멘트페이스트와 콘크리트공시체는 소정의 양생기간(40°C 온수양생 14일)을 거친 후 절단기를 이용하여 필요부위의 단면을 절단하였으며 절단위치를 그림 1에 나타내었다.

절단된 시편표면의 기포는 주위의 페이스트, 골재등과 광학적 색상, 명암등이 비슷하여 컴퓨터에 인식시키기가 어려우므로 표면처리를 하여 인식이 용이하도록 해야한다. 이 때문에 기포부분을 콘크리트가 가지지 않는 색으로 충전하는 것이 필요하다. 본 연구에서는 충전물질로서 순백색을 갖는 산화아연

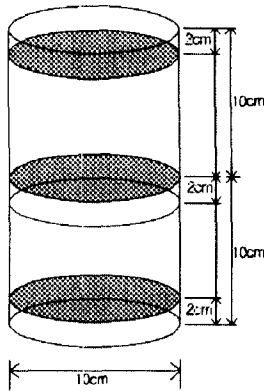


그림 1 시료의 절단위치

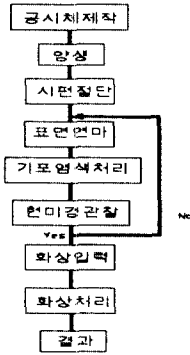


그림 2 실험과정

(ZnO), 유성물감, 도료, 형광물질등의 여러 가지 색상, 명암을 갖는 물질을 검토하였다. 그리고 이러한 형광물질의 접착제(Binder)로서는 고체 파라핀을 사용하였으며, 이것을 녹인후 각종의 충전재를 넣어 실험에 사용하였다.

2.4 측정방법

공시체의 단면에 측정면적을 구획한 grid를 그린 후, (측정구획 1시야 : 8.192×6.144mm - 직경 ϕ 10 cm의 콘크리트 공시체의 경우 총 121의 시야 측정가능) 1시야씩 CCD카메라로 화상을 입력한 후 기포를 구분하기 위한 화상처리(미세한 기포를 정확히 구분하여 컴퓨터가 인식할 수 있도록 입력된 화면상의

명암, 색상 및 모양등을 수정)를 행한 후 각 시야마다의 크기별 공극의 분포, 면적비를 측정하였다.

측정에는 2가지 방법을 사용하였다. 먼저 단면의 전체화상을 이용하여 공기량을 측정한 후, 그리드로 나누어진 단면을 측정하였다. 그러나 단면의 전체화상을 이용한 공기량의 측정은 그 정확도에 있어서 직경 0.2mm이하의 작은 기포들은 인식이 용이하지 않으므로 그리드로 나누어서 단면의 공기량을 측정하는 방법(분할화상측정)이 최종 선택되었다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 ASTM법과의 비교

ASTM C 457의 Linear Traverse법과 본 연구대상인 화상처리 방법의 결과를 비교하여 화상처리방법을 통해 얻어진 데이터의 정확성을 검증하기 위하여, 동일 공시체를 이용하여 ASTM법과 화상처리방법을 동시에 실험하여 그 결과를 비교하였다. 공시체는 기존에 제작된 W/C 60% AE콘크리트를 사용하여 총 20시야에서의 결과를 비교하였다.

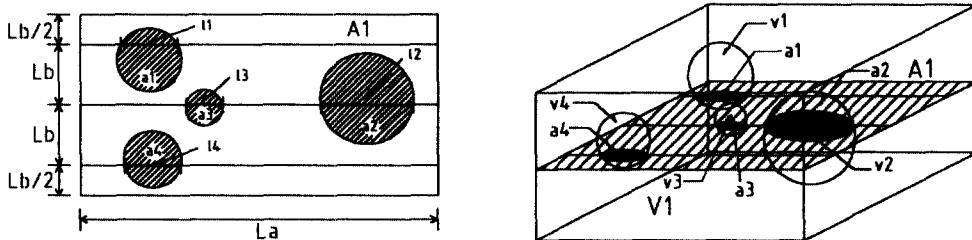


그림 3 리니어트레버스법과 화상분석방법의 비교

$$\text{공기량}(V_a) = \frac{\sum V_n}{V} = \frac{\sum a_n}{A_n} = \frac{\sum l_n}{L_i}$$

V ; 공시체의 체적, V_n ; 기포체적, a_n ; 기포단면적

A_n ; 공시체의 단면적, l_n ; 기포통과직선길이, L_i ; 트레버스 총 길이

표 1 ASTM과 화상해석의 비교(%)

시야	방법	ASTM	화상분석
1		7.89	8.14
2		5.02	5.37
3		3.69	3.77
4		11.92	12.06
5		5.43	4.89
6		8.60	8.25
7		5.09	4.35
8		2.39	2.60
9		6.57	7.33
10		5.08	5.23
11		6.53	6.56
12		3.16	3.45
13		8.86	8.73
14		5.28	5.06
15		5.84	8.09
16		4.67	4.01
17		12.04	11.39
18		4.75	5.29
19		6.29	6.48
20		4.79	4.63
평균		6.18	6.28

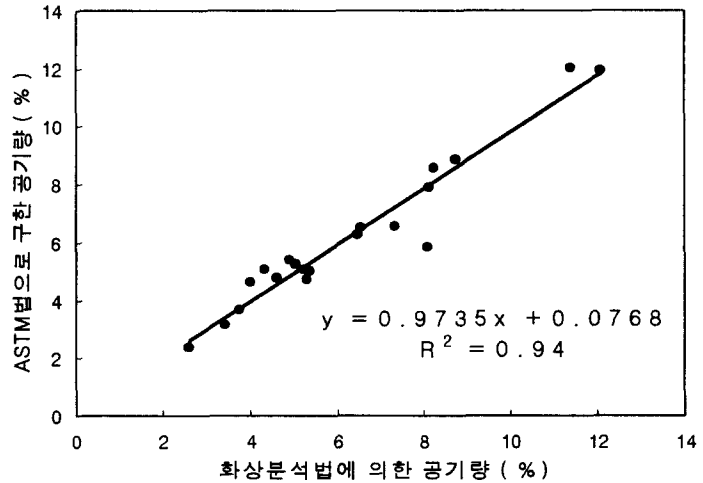


그림 4 화상분석법과 ASTM법의 공기량 관계

절단후 연마된 콘크리트공시체의 단면을 50배로 확대한 1시야 8.19×6.14mm의 화면위에 12개의 평행한 가로직선을 그어(약 0.512mm 등간격으로) 현미경상에서 이 선과 만나는 기포내의 선분과 직선길이의 비로부터 공기량을 환산하는 이러한 Linear Traverse법과 화상처리법(면적비)을 서로 비교하였다.

ASTM법(Linear Traverse법)과 화상처리방법에 의한 20시야의 공기량 분포측정결과는 표 1과 그림 4에 나타난 바와 같다. 표에서 나타난 것과같이 두 방법에 의한 각 시야별 공기량의 평균값은 ASTM법 6.18%, 화상분석법 6.28%로서 근사한 값을 나타내었다. 그리고, 그림에서 나타난 것과 같이 두 방법간에는 상관계수 0.94의 높은 상관관계를 나타내었다.

이는 종래의 ASTM의 Linear Traverse법으로 콘크리트단면의 기포량을 측정했을 경우나 화상분석에 의해 기포량을 구했을 경우가 거의 같은 값을 얻을 수 있다는 것을 알 수 있으며, 이 결과로부터 방법적으로 본 연구대상인 화상처리방법으로 기포분포를 구하여도 실용상의 큰 문제가 없이 사용할 수 있음을 알 수 있다.

3.2. 공기량 측정방법간의 비교

콘크리트, 모르타르등의 시멘트경화체 공기량 측정방법으로서 공기량 측정기(Air Meter)를 이용한 압력실법과 중량법에 의한 공기량측정법 등이 있다. 본 연구에서는 시멘트페이스트를 이용하여 중량법에 의한 경화전 공기량과 화상처리 방법에 의한 공기량 측정방법을 비교하였다. 화상처리방법에서 전체단면화상측정법은 시편의 전화면을 입력하여 일괄분석하는 방법이고, 분할화상측정법은 50배확대화면을 80개시야로 분할하여 측정한 후 그 합으로서 공기량을 측정하는 방법이다. 실험결과를 표 2에 나타낸다. 그 결과 각각의 측정방법상의 특징에 따른 차이가 나타나고 있으나, AE제의 첨가량의 증가에 따라 공기량은 증가하는 유사한 경향을 나타내고 있다.

여기서, 중량법에 의한 공기량은 화상분석방법중의 전체전면화상측정법의 결과와 거의 유사한 값을 나타내고 있다. 그러나, 50배로 확대한 화면에서 분할 측정된 결과에서는 0.2mm(200μm)이하의 기포는 물론 수μm의 미세기포가 인식, 추출되므로 보다 큰 값으로 나타내어질 가능성이 있다. 전체단면화상측정에 의한 공기량은 화면분해능상 직경 0.2mm이하의 작은 기포는 측정이 용이하지 않으므로 다소 작

표 2 각 방법에 의한 공기량 (%)

측정방법 \ AE첨가량	0	0.02	0.04
증량법	1.76	2.01	2.95
전체화상측정	1.77	2.07	2.93
분할화상측정	1.45	2.06	3.36

은 값들을 나타내고 있다.

그림 5는 상기 페이스트공시체의 화상분석방법에 의한 전체 기포분포상태를 나타낸 것이다. 그림으로부터 AE제의 첨가량이 늘어날수록 전체 공기량은 비례적으로 증가하고 있으며 그 분포에 있어서는 직경 10~700 μ m 정도의 미세기포가 AE제의 증가에 따라 증가하고 있는 경향을 나타내고 있으며 AE제 무첨가에 비해 0.02%, 0.04%첨가한 공시체에서는 700 μ m 이상의 비교적 큰 기포량이 증가하고 있다. 이것은 공시체가 시멘트페이스트로서 기포간의 장애물(잔골재, 굵은골재등)이 없어 미세기포 상호간에 합쳐져 직경이 커진 것으로 추정된다.

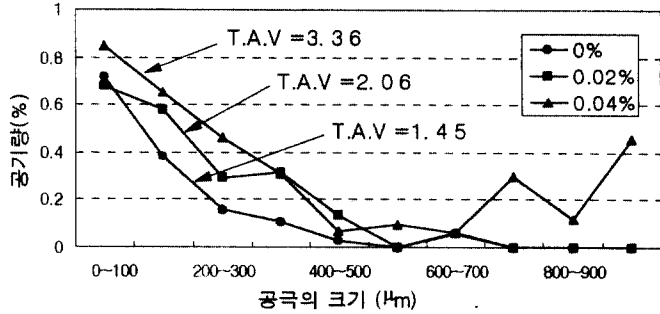


그림 5 공극의 크기별 분포

3.3 콘크리트의 공기량측정

1) 콘크리트의 공기량비교

W/C 55%, s/a 0.48 및 AE제 첨가량 0, 0.02, 0.04%의 조건으로 제작된 콘크리트 공시체의 경화전, 후의 측정방법별 공기량을 표 3에 나타내었다. 여기서, AE제 무첨가와 0.01%첨가 공시체는 서로 유사한 공기량을 나타내고 있으나, AE제 첨가량이 0.03%로 다소 과다 첨가된 공시체에 있어서는 9.2%와 6.27%로 다소 큰 차이를 나타내고 있다.

이러한 이유로서 압력법은 경화전 콘크리트의 공기량을 측정했으므로 과다한 공기량이 공시체 제작시의 다짐과 응결과정중에 외부로 빠져나갔기 때문으로 추정된다.

그리고, 그림 6에 화상분석법으로 측정한 공시체의 직경별 기포분포상태를 나타내었다. 여기서, AE제 첨가량의 증가에 따라 공기량은 전 직경범위에서 증가하고 있고, 특히, 100~400 μ m범위에서의 기포량의 증가가 현저하다. 이것으로 AE제에 의한 연행기포가 이 범위에서 많이 생성됨을 알 수 있다.

표 3 콘크리트의 공기량(%) (W/C 0.55)

측정방법 \ AE제 (%)	압력법 (경화전)	화상분석법 (경화후)
0	3.0	2.85
0.01	5.2	4.97
0.03	9.2	6.27

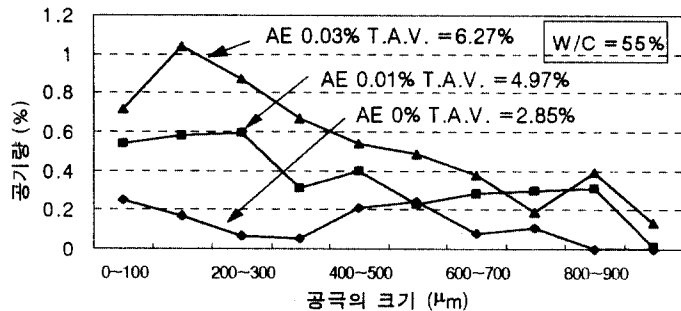


그림 6 콘크리트의 공기량비교(W/C 55%)

2) 공시체부위별 공기량 비교

동일 콘크리트에 있어서도 다짐, 성형의 과정중에 기포가 이동되기도 하고 소실되기도 하므로, 상태에 따라서는 시료의 절단위치에 따라 기포조직이 다를 수 있으므로, $\phi 10 \times 20\text{cm}$ 크기의 공시체에 있어서 높이별 기포분포 상태를 비교하였다.

그림 7은 W/C 55%, AE제 첨가량 0.03%인 콘크리트공시체의 상, 중, 하부의 기포분포량을 비교한 결과이다. 그림에 나타난 바와 같이 여기에서도

AE제 첨가에 따른 100~400 μm 범위에서의 기포량의 증가가 나타나고 있으며, 전공기량(T.A.V.)의 비교에 있어서는 각 부위별로 공기량의 차이가 크게 나타나 상부는 하부의 약 2배정도의 공기량을 나타내고 있다.

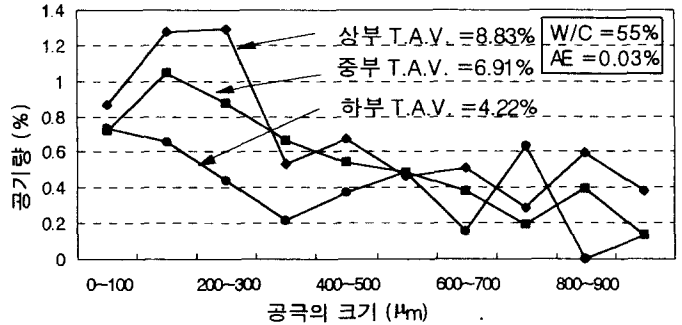


그림 7 공시체의 상중하 공기량 비교

7. 결론

본 연구는 화상분석법을 이용한 기포분포분석의 기초적인 연구로서 표면처리과정 및 화상분석의 방법적 검토, 화상분석을 이용한 ASTM법과의 비교, 공기량측정법 간의 비교 및 실제 공시체에의 적용을 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 시료의 제작 및 표면처리의 과정에서, 공시체표면의 연마상태가 측정결과에 큰 영향을 미치며 양호한 측정을 위해서는 연마제로서 SiC파우더 600번이상을 사용한 2시간이상의 연마가 필요하다.
2. 시료표면의 기포부를 증진하는 증진제로서 산화아연과 여러 가지색의 물감과 형광물질 등으로 실험해 본 결과, 흰색의 유성물감, 순백색의 산화아연과 파라핀으로써 처리된 시료가 인식이 가장 용이하며, 표면처리를 하기전에 시편표면을 검은색 수성잉크로 미리 발라두면 더욱 식별이 용이하다.
3. 화상분석시 단면의 전체화상을 이용한 공기량측정은 0.2mm이하의 미세기포의 인식이 용이하지 않으며, 50배이상으로 확대함으로써 10 μm 정도 크기의 기포식별이 가능하였다.
4. ASTM C 457의 Linear Traverse법과 본 화상분석법의 측정결과는 서로 유사한 값을 나타내어, 화상분석법을 이용한 기포분포측정법도 실용상 큰 문제없이 사용할 수 있을 것으로 사료된다.

◇ 본연구는 한국표준과학연구원의 지원에 의하여 수행되었습니다.

참 고 문 헌

1. ASTM C 457 82a : Standard Practice for Microscopical Determination of Air-Void System in Hardened Concrete, ASTM annual book of ASTM Standards.
2. 原田克己, 地頭蘭 博, 仁木孟伯 : 画像解析装置を用いた硬化コンクリート中の気泡組織測定方法, セメント・コンクリート No.471, May 1986 p22~29
3. 김생빈 : 고강도콘크리트의 동결융해저항에 미치는 기포조직의 영향, 콘크리트학회지, 제4권 1호, 1992.3, p89~95