

경화콘크리트 내부의 기포분포상태 분석에 관한 연구

Image analysis of an air void system in hardened concrete

김 기 철*
Kim, Ki-Chul

정 제 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 연구의 배경 및 목적

콘크리트의 물성중에서 가장 중요한 콘크리트의 강도가 내부공극의 양, 크기에 좌우되는 것은 강도이론의 기본이 되는 사실이며, 주된 내구성능저하의 요인인 동해의 정도, 중성화속도, 투수·투기성능 또한 내부 기포분포 상태가 좌우하고 있으므로, 경화 후의 콘크리트 내부의 기포조직을 측정하는 것은 콘크리트의 각종특성, 내구성능을 판단하는 유효한 지표가 될 수 있다.

본 연구에서는 경화 전후의 콘크리트의 제반 물성에 큰 영향을 미치는 콘크리트의 내부기포의 분포상태를 정량적으로 측정하기 위한 표준적인 수법을 개발하기 위한 연구로서, 화상분석기를 이용하여 AE제에 의해 연행된 기포의 분포상태를 측정하고 그 분포특성을 밝히는데 목적이 있다.

* 대구대학교 대학원 석사과정

** 정회원, 대구대학교 건축공학과 교수, 공박

2. 실험계획

2.1 실험개요

콘크리트 동결융해저항성에 가장 중요한 역할을 하는 AE제에 의해 연행된 콘크리트내의 미세기포를 화상분석법을 이용하여 기포의 크기, 양 및 분포상태 등을 측정하고 리니어트레버스법과 비교하여 화상분석기를 이용한 본 측정방법의 정확성을 검증하고, 또 본 화상분석법을 이용하여 T.C. Powers가 제안한 기포간격계수를 구하였다.

2.2 사용기기 및 재료

사용된 화상분석기기는 CCD카메라(PANASONIC사제작, gp-KR222), 실체 줌 현미경(서울광학, SLZ-746-10HP), PC(586급) 3부분으로 나누어지며, 실체 줌 현미경에 의해 확대된 화상을 CCD카메라로 촬영한 후 PC로 화상분석을 실시한다. 실체 줌 현미경은 배율이 최소 49배(대물×0.7, 접안×10, CCD카메라×7)에서 최대 350배(대물×5, 접안×10, CCD카메라×7)이다. 49배일 때 현미경의 1사야는 640×480pixels이고 이는 8.192mm×6.144mm의 약 50.33mm²의 면적을 가진다.

공시체 절단기는 원형톱날방식(diamond-saw)을 이용하였으며, 공시체의 표면연마는 암석연마기와 SiC(탄화규소)과우더를 이용하여 연마하였다.

사용한 시멘트로서 S사의 1998년 5월 생산 보통포틀랜드시멘트를 사용하였고, 골재는 낙동강산 천연 잔골재와 쇄석을 사용하였다.

Table.1 Properties of Cement

Specific Gravity	Setting time		Fineness (cm ² /g)		
	Initial(min)	Final(hr)			
3.17	251	6:30	3340		
Compressive Strength(kg/cm ²)					
σ_3		σ_7			
206		298			
σ_{28}		372			
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	SO ₃	lg. loss
21.7	5.5	3.3	2.7	2.1	1.4

Table.2 Physical Properties of Aggregate

	G _{max} (mm)	Specific Gravity	Absorption (%)	F.M.
Fine aggregate	5	2.50	2.43	2.85
Coarse aggregate	25	2.69	0.77	-

Table.3 Physical Properties of Chemical Admixture

State	Color	Specific Gravity	Component
liquid	brown	1.02±0.02	lignin sulphonate

2.3 공시체의 제작 및 배합

Table.4 Mixture Proportions of Concretes

Spec. No.	W/C (%)	S/A (%)	AE agent (%)	C (kg/m ³)	W (kg/m ³)	S (kg/m ³)	G (kg/m ³)	air (%)	slump (cm)
400-1	40	42	0	500.0	200.0	662.8	970.3	1.2	8
400-3			0.01					3.5	10.5
400-5			0.02					5.3	12
400-7			0.03					7.2	14

공시체는 W/C 40%, AE제 첨가량 0, 0.01, 0.02, 0.03의 조건으로 KS F 2403에 규정된 방법에 준하여 제작되었으며, 경화전 공기량을 측정하고, 소정의 양생기간을 거친 후 절단기를 이용하여 필요부위의 단면을 절단하고 화상분석이 용이하도록 표면을 처리한 후에 화상분석기를 이용하여 관찰하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 ASTM법과의 공기량 비교

경화콘크리트의 기포량을 관찰하는 방법에는 ASTM C 457에 규정되어 있는 수정포인트카운트법과 리니어트래버스법이 있다. 본 연구에서는 이 중 리니어트래버스법과 화상분석과의 비교를 통하여 화상 분석의 실용성을 검증하기 위해 동일 공시체에서 두 가지 방법을 이용하여 공기량을 구하고 그 결과를 비교하였다.

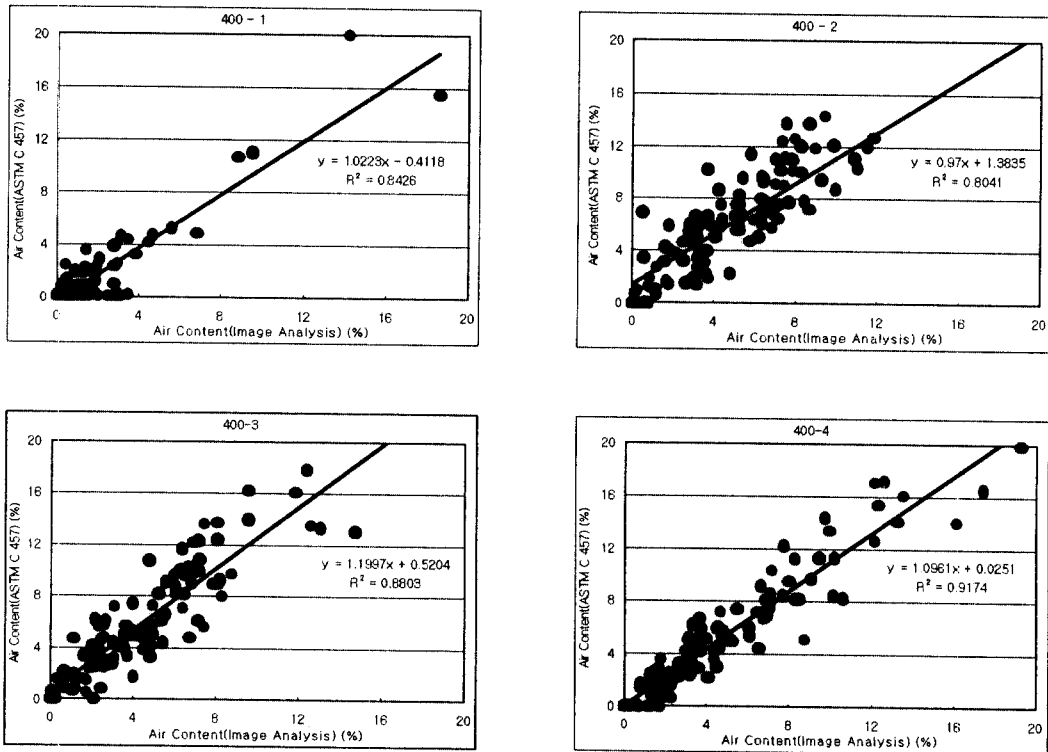


Fig.1 Test Result of Linear Traverse Method and Image Analysis

공시체는 공기량 1%, 3%, 5%, 7%(경화전 공기량 측정)의 4종류를 가지고 실험하였으며, 공시체의 배율은 105배이고, 120시야를 측정하였으며 리니어트래버스법은 ASTM C 457에서 요구되는 선의 길이 2286mm(골재최대치수 19mm)를 만족하였다. Fig.1은 측정된 120시야에서 리니어트래버스법으로 구한 공기량과 화상분석법으로 구한 공기량과의 비교를 나타낸 것이다. 측정결과 리니어트래버스법으로 구한 공기량과 화상분석법으로 구한 공기량은 높은 상관관계를 나타내며 화상분석법으로도 공기량을 정도 높게 측정할 수 있음을 알 수 있다.

3.2 콘크리트의 공기량 측정

3.2.1 콘크리트의 공기량 비교

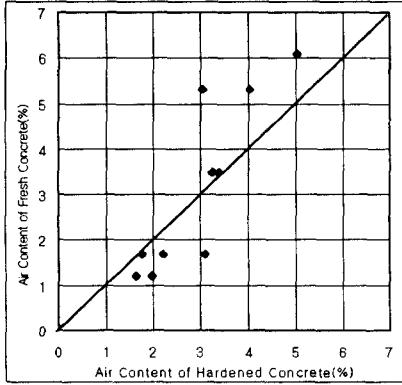


Fig.2 Test Results of Pressure Method and Image Analysis Method

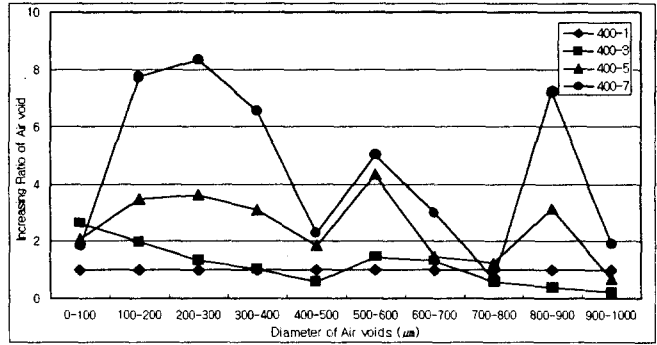


Fig.3 Size Distribution of The Diameter of Air voids

Fig.2는 경화하지 않은 콘크리트의 공기량 측정법인 압력법에 의해서 측정한 공기량과 경화한 콘크리트의 공기량 측정법인 화상분석법을 비교한 것으로서 경화전 공기량이 많은 경우에는 경화후 공기량이 다소 줄어드는 경향을 나타내고 있다. 이와같이 경화전과 경화후가 일치하지 않는 것은 공시체 제작시 다짐의 영향이거나, 콘크리트 자체의 불균질성, 압력법에서는 미세기포가 물속에서 녹거나, 화상분석에서는 시료의 표면처리가 잘 되지 않았거나 하는 등의 이유라고 생각된다. 특히, 화상분석시에는 시료의 표면처리에 주의하지 않으면 안 된다.

콘크리트의 내부에는 콘크리트의 타설시에 생기는 갇힌공기(Entrapped Air)와 AE제에 의해 연행된 기포(Entrained Air)있으며 AE제가 첨가되면 일반적으로 20~200 μ m 사이에 분포된 구상(球狀)기포가 증가하게 된다.

Fig.3은 화상분석법으로 측정한 공시체의 직경별 공기량 증가율을 나타낸 것이다.(400-1 기준) 여기에서 AE제의 첨가량이 증가함에 따라 공기량은 증가하고 있으며 특히 100~400 μ m의 공극이 증가하고 있다. 이것은 사용한 AE제의 공기연행특성을 잘 보여주고 있다. 향후 이러한 화상분석 방법을 이용하여 각종 AE제의 공기연행특성을 분석할 수 있을 것으로 생각된다.

3.2.2 공시체부위별 공기량 비교

콘크리트 공시체중의 공기량은 공시체의 제작시의 다짐, 성형의 과정에서 기포의 이동이나, 생성, 소멸하거나, 높이에 따라 또는 골재의 분포에 따라 달라질 수 있다. 그래서 $\phi 10 \times 20$ cm 공시체를 상·하로 나누어 비교하였다.

Fig.4에서 알 수 있듯이 상부는 하부보다 전 범위 걸쳐서 더 많은 공기량을 나타내었고, 이것은 공시체의 다짐 및 성형후 각 재료의 비중차이에서 발생하는 분리(Bleeding)에 의해 나타난 것으로 사료되며, 이 때문에 상·하부의 공기량 차이를 없애기 위한 고려가 필요할 것임을 보여주고 있다.

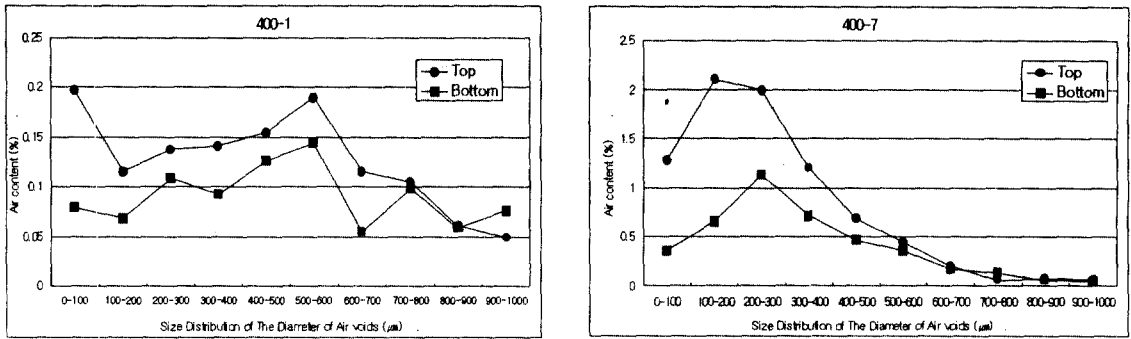


Fig.4 Air void Size Distribution of Top and Bottom of Concrete

3.2.3 기포간격계수의 측정

AE제를 사용한 AE콘크리트에서는 콘크리트의 동결융해에 의한 파괴작용에 대해 높은 저항성을 갖는데 이는 콘크리트중의 수분이 동결하면서 발생하는 팽창압력을 흡수, 완화하여 콘크리트에서의 자유수의 이동을 쉽게 할 수 있어 내압을 완화시키기 때문이다.

AE제를 첨가하여 제조한 공기연행 콘크리트에서 내동결융해성에 있어서 중요한 인자는 연행된 기포의 형태외에도 기포 크기, 분포, 기포의 비표면적(α : 단위기포 체적당 기포의 표면적)과 기포간격계수(L : 기포간의 거리)이며 일반적으로 기포가 작을 때 α 값은 크고 L값은 작게되며, 기포간의 거리가 가까울수록(기포간격계수가 작을수록) 동결시의 팽창압력의 분산이 용이하여 동결융해저항능력이 향상된다.

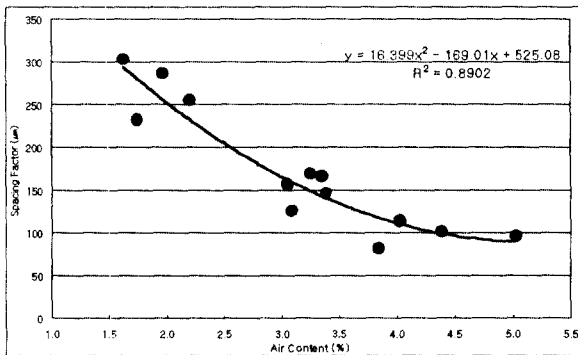


Fig. 4 Relationships between Spacing Factor and Air void Content

Table.5 Test Result of Air void System

	Paste ratio	Air void Content (%)	P/A	Specific Surface (mm^2/mm^3)	Spacing factor L (μm)
400-1	0.359	2.0	18.210	28.853	286
400-3	0.357	3.4	10.383	44.451	145
400-5	0.345	3.0	11.324	43.367	156
400-7	0.338	3.3	10.116	43.144	147

T.C. Powers는 동결융해작용에 대한 저항성을 기포간의 간격계수(間隔係數)에 의해 설명하고 있으며 ASTM C 457 에서는 이 간격계수를 0.008in(0.2mm)로 규정하고 있다.

화상분석에 의한 콘크리트의 기포간격계수측정은 다음의 식에 의한다.

$$\alpha = \sqrt{\frac{6\pi}{a}}$$

$$i) \frac{P}{A} \leq 4.342 \text{ 일 때, } \bar{L} = \frac{P}{Aa}$$

$$ii) \frac{P}{A} > 4.342 \text{ 일 때, } \bar{L} = \frac{3}{a} \left[1.4^3 \sqrt{\frac{P}{A} + 1} - 1 \right]$$

P= 콘크리트중의 시멘트페이스트의 비율(용적비)

A= 콘크리트중의 공극의 용적의 비율

\bar{a} = 기포면적의 평균치

Fig.5는 화상분석기로 측정된 공기량과 기포간격계수의 관계를 나타내고 있다. AE제 공기량이 증가함에 따라 기포간격계수는 감소하고 있으며 그 상관계수도 0.89로 비교적 높게 나타나고 있다.

4. 결론

본 연구는 화상분석법을 이용한 기포분포분석을 위하여 경화전 공기량측정법인 압력법, 경화후 공기량 측정법인 ASTM C 457의 리니어트레버스법과의 비교를 통해 화상분석법에 의한 공기량측정방법의 실제적용을 검토하기 위한 연구로서 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. ASTM C 457의 리니어트레버스법과 본 화상분석법의 측정결과로부터 이 두 방법은 높은 상관관계가 있으며, 이로부터 화상분석법으로 공기량을 측정할 수 있다는 것을 나타내고 있다.
2. 압력법과 화상분석법에 의한 공기량의 차이는 콘크리트의 자체의 불균질성, 압력법에서는 미세기포가 물속에서 녹거나, 화상분석에서는 시료의 표면처리가 잘 되지 않았거나 하는 등의 이유라고 생각된다. 특히, 화상분석시에는 시료의 표면처리에 더욱 유의한다면 보다 정도 높은 공기량을 얻을 수 있을것으로 생각된다.
3. AE제의 첨가에 따라 전 범위의 공기량이 증가하지만, 특히 100~400 μ m의 공극이 증가하고 있고 이것은 이 AE제의 공기연행특성을 보여주고 있으며, 이 후에 화상분석을 이용하여 각종 AE제의 공기연행특성을 분석할 수 있을 것으로 생각된다.
4. 콘크리트의 상·하 공기량 비교에서는 상부는 하부보다 전 범위에 걸쳐서 더 많은 공기량을 나타내었고, 이것은 상·하부의 공기량 차이를 없애기 위한 고려가 필요할 것임을 보여주고 있다.
5. 공기량이 증가함에 따라 기포간격계수는 감소하고 있으며, 화상분석시에는 표면처리의 좋고 나쁨이 기포간격계수에 커다란 영향을 미칠 수 있기 때문에 표면처리에 더욱 신중을 기할 필요가 있다.

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. M.Pigeon, R.Pleau : Durability of Concrete in Cold Climates, E&FN SPON, 1995, p98~112, p163~164
3. 原田克己, 地頭蘭 博, 仁木孟伯 : 畫像解析裝置を用いた硬化コンクリート中の氣泡組織測定方法, セメント・コンクリート No.471, May 1986 p22~29
4. 小長井宣生, 大橋 猛, 根本任宏 : 氣泡斷面積測定による硬化コンクリートの 氣泡パラメータの 解析理論, 土木試験所月報 No.396, 1986, p2~8
5. 김생빈 : 고강도콘크리트의 동결융해저항에 미치는 기포조직의 영향, 콘크리트학회지, 제4권 1호, 1992.3, p89~95
6. 정재동 : 콘크리트재료공학, 보성각, 1998 p105~108