

콘크리트 내부공극 분석을 위한 행렬간격계수 모델식의 제안

Proposal of Matrix Spacing Factor for Analyzing Air Void System in Hardened Concrete

정원경* 전인구** 김용곤*** 이봉학****
Jeong, Won-Kyong Jun, In-Koo Kim, Yong-Kon Lee, Bong-Hak

ABSTRACT

Air void systems in hardened concrete has an important influence on concrete durability such as freeze-thaw resistance, water permeability, surface scaling resistance. Linear traverse method and point count method described at ASTM is the routine analysis of the air void system that have been widely used to estimate the spacing factor in hardened concrete. Recently, many concretes often have a spacing factor higher than the generally accepted 200-250 μ m limit for the usual range of air contents.

This study is proposed to estimate the matrix spacing factor by calculation of simplicity. The matrix spacing factor needs two parameters that are air content and numbers of air voids in the hardened concrete. Those are obtained from the standard air-void system analysis of the ASTM C 457. The equation is valid for all values of paste-to-air ratio because the estimation of paste content is unnecessary at the using ASTM C 457. The matrix spacing factor yields a similar estimate of the standard spacing factor.

1. 서 론

콘크리트 내부 공극 시스템을 이론적으로 평가하는 방법은 Powers(1949)가 수학적 모델에 의해 제안한 간격계수가 일반적이다. 콘크리트의 간격계수는 시멘트페이스트 내에 분포하는 공극간의 거리로 시멘트페이스트 내에서 수분이 시멘트페이스트 인장응력을 초과하지 않는 응력발생 범위 내에서 인접한 공극으로 이동할 수 있는 최대거리로 설명되어지며, 콘크리트의 내동결성에 대한 기준과 평가 지표로 활용되고 있다. 간격계수는 이론적 가정과 측정과정에서의 오차로 인하여 콘크리트 내 공극간 실제 거리보다 다소 크게 평가되어지는 문제점을 안고 있다(Snyder,1998).

본 논문에서는 콘크리트 내구성 평가에 필요한 공극간의 간격을 실제적인 접근보다 간편하고 단순화된 개념으로 산출하는 새로운 행렬간격계수 모델식을 제안하고자 하였다. 본 연구에서 제안된 행렬간격계수는 기존의 모델식과는 달리 실제 콘크리트 내부 공극간의 거리 산출이 아니며 측정된 최소한

*정회원, 강원대학교 토목공학과 박사과정
* 정회원, 농업기반공사 강릉지사 사업부장
***정회원, 강원대학교 토목공학과 박사과정
****정회원, 강원대학교 토목공학과 교수

의 변수에 의해 공극시스템을 재평가하여 특성치를 부여한 것이다. 이는 기존의 모델식과는 달리 새로운 평가실험이 불필요하며 측정항목의 최소화로 인하여 기존의 연구자료를 활용한 내동결성 및 콘크리트 내부 공극 시스템에 대한 콘크리트 성능변화의 데이터베이스 확보가 가능한 장점을 가지고 있다.

2. 행렬간격계수의 제안

본 연구에서 제안되는 행렬간격계수의 전개에 있어서 기본이 되는 가정은 다음과 같다. 첫 번째, 콘크리트 내 공극은 시멘트페이스트 내에만 존재하며 골재량은 영향을 주지 않는다(Pleau, 1995). 두 번째, 측정된 공극은 단위시멘트페이스트에 행렬관계로 재배열되며 이때 모든 공극은 평균직경과 배열되는 거리가 동일하다(Powers, 1949). 마지막으로 시편전체에서 측정된 공기량은 동일 콘크리트의 시멘트페이스트 내 미소면적에서도 동일하게 분포한다. 행렬간격계수로 특성지어지는 콘크리트 내 공극 구조의 재평가방법은 단위면적당 n 개의 공극수를 갖는 단면의 공기량을 평균공극수로 나누어 $m \times m$ 행렬로 배열한 후 행렬간 거리를 통해 간격계수를 구하는 것이다. 화상분석법을 이용할 경우, 단위면적당(cm^2) 공극수는 측정된 전체면적과 그 과정에서 측정된 모든 공극수를 통해 식(1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\text{단위면적당 공극수 } (n) = \frac{N}{A_t} \quad (1/\text{cm}^2) \quad \dots\dots (1)$$

N = 전체공극수, A_t = 전체면적(cm^2)

측정된 공기량은 식(2)와 같으나, 이를 전체공극수에 대한 평균공극면적으로 바꾸어 계산하고, 공기량이 모든 미소면적에서 동일하다는 가정을 설정하게 되면 공기량은 모든 단위면적당(cm^2) 공극수에 의한 식(3)과 같이 계산될 수 있다.

$$\text{A.C.(\%)} = \frac{\sum_{i=1}^N A_i}{A_t} \times 100, \quad A_D = \frac{\sum_{i=1}^N A_i}{N} \quad \dots\dots (2)$$

$$\text{A.C.(\%)} = \frac{A_D N}{A_t} \times 100 = \frac{A_D n}{1} \times 100 \quad \dots\dots (3)$$

$\text{A.C.(\%)} =$ 공기량, $A_D =$ 공극평균면적, $n =$ 단위면적당 공극수($/\text{cm}^2$)

단위면적당 존재하는 공극수를 동일한 크기의 공극으로 환산하기 위하여 공극의 평균면적을 구한다. 이때, 식.3을 이용하여 측정된 공기량을 단위면적당 공극수로 나누면 식(4)와 같이 단위면적당 동일한 크기로 분포되는 n 개의 공극에 대한 평균면적을 구할 수 있게 된다.

$$D = \sqrt{\left(\frac{4A_D}{\pi}\right)} = \sqrt{\left(\frac{4A.C}{100n\pi}\right)} = \sqrt{\left(\frac{A.C}{25n\pi}\right)} \text{ cm.} \quad (4)$$

측정된 공기량에 대하여 단위면적(cm^2)에 존재하는 동일한 크기로 가정된 직경 D 를 갖는 n 개의 공극을 구하였다. 이러한 n 개의 공극을 $1 \times 1 \text{cm}^2$ 의 면적에 동일한 간격으로 배치하기 위하여 n 개의 공극을 갖는 정방행렬을 구하면 식(5)와 같다. 이때, 정방행렬은 옆 단면의 공극과의 거리를 동일하게 평가하기 위하여 단면의 각 경계부에 추가된 공극행렬로 계산한다. 그러나, 추가된 행과 열은 식5의 공기량과 단위행렬에 영향을 주지 않는다.

$$\text{공극행렬} = \sqrt{n} + 1 \text{ (정방행렬)} \quad \dots\dots\dots (5)$$

이때 배열된 공극의 직경에 의해 차지되는 행과 열의 길이는 식(6)과 같다.

$$\text{공극 행 총길이}(L_v) = (\sqrt{n} + 1) \times D \text{ } \mu\text{m} \quad \dots\dots (6)$$

$$\text{남는 행 길이}(L_L) = 10000 - L_v \text{ } \mu\text{m}$$

$$\text{공극간 행 길이}(L_m) = \frac{L_L}{\sqrt{n} + 2} = \frac{10000 - L_v}{\sqrt{n} + 2} \text{ } \mu\text{m} \quad \dots (7)$$

식(7)의 거리로 각각 배열된 공극의 행렬에서 공극간 거리는 각 공극의 외주에서 서로 인접한 최단 거리이므로 반으로 나누어 평가할 수 있으며, 이를 행렬 간격계수라 한다.

$$\text{M.S.F} = \frac{L_m}{2} = \frac{[(1 - 0.113\sqrt{A}(1 + \frac{1}{\sqrt{n}}))] \cdot 5000}{2(\sqrt{n} + 2)} \text{ cm} = \frac{5000[1 - 0.113\sqrt{A}(1 + \frac{1}{\sqrt{n}})]}{\sqrt{n} + 2} \text{ } \mu\text{m} \dots\dots (8)$$

3. 화상분석방법에 의한 행렬간격계수 산정

콘크리트 내부 공극 구조를 분석하기 위한 방법 중 하나인 화상분석기법은 컴퓨터를 활용한 자동해석기법으로 임의의 시편에 대한 전처리를 과정을 걸친 후 시편표면의 정보를 컴퓨터에 입력하여 필요한 정보를 신속하게 추출할 수 있는 장점을 가지고 있다(권혁찬,2004). 본 연구에서는 화상분석기법을 통해 분석되어진 시편의 정보를 통하여 ASTM C 457의 간격계수 산정식에 의한 결과와 제안된 행렬간격계수 결과값 사이의 상관성을 연구하고자 하였다. 화상분석에 사용된 시편은 모두 67개이며 각기 다른 공기량과 재료변수를 가지고 있다. 화상분석 시편에 대한 규정식 간격계수의 경우 173~1056 μm 까지 분석되었다. 제안된 행렬간격계수를 산정하기 위한 정보는 공극수와 공기량만으로 분석되어졌다. 단위면적당 공극수와 공기량을 변수로 하여 구한 행렬간격계수의 결과는 193~873 μm 로 분석되어졌다. 규정식에 의한 간격계수와 행렬 간격계수에 의한 보다 자세한 상관성을 분석하기 위하여 시편 67개에 대한 상관성 결과를 표 1에 나타내었다. 분석결과 Peterson 상관계수는 두 간격계수에 대하여 0.948로 나타나 두 결과값에 대하여 직선적 상관성이 매우 높은 것으로 분석되었다.

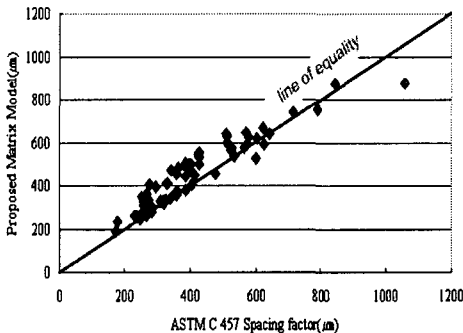


그림 1. 간격계수와 행렬계수간의 비교분석

표 1. 규정식과 행렬간격계수의 상관성

		Standard S.F	Matrix S.F
Standard S.F	Pearson Correlation	1	.948(**)
	Sig. (2-tailed)	.	.000
	N	67	67
Matrix S.F	Pearson Correlation	.948(**)	1
	Sig. (2-tailed)	.000	.
	N	67	67

4. 결론

본 연구는 콘크리트 공극구조를 정의하고 평가함에 있어서 기존의 방식에서 다루지 않았던 단위공극수를 이용하여 관찰된 모든 공극은 시멘트페이스트 내에만 존재한다는 가설을 기초로 2차원 평면에서 동일 공극으로 환산 한 후 행렬개념을 이용하여 간격거리를 제안하였다. 제안된 식에서의 측정변수는 공기량과 전체공극수이며 이는 콘크리트 내부 공극 분석에 사용되고 있는 화상분석법을 사용할 경우 매우 용이하고 정확하게 구할 수 있게 된다. 제안된 행렬간격계수에 대한 연구결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 콘크리트 내부 공극 구조에 대한 특성을 규정짓는 간격계수를 구하기 위해서는 공기량, 시멘트페이스트, 비표면적, 공극수 등의 변수를 측정하여야 한다. 그러나, 본 연구에서 제안된 행렬간격계수의 경우 측정변수를 공기량 및 공극수로 하여 실대실험에서의 측정에서 발생가능한 오차를 감소시켰다.

2. 행렬간격계수에서 공극의 분포는 단위면적(cm^2) 분포되는 공극수에 의해 결정되며 이때 분포되는 공극수는 정방행렬 형태로 배열되며 행렬분포 시 모든 행과 열간의 거리는 동일하게 유지되어야 한다. 또한, 근접 단면의 공극간의 간격을 고려하여 공극배열 시 행과 열에 추가적인 공극을 배열한 후 행렬간 거리를 구한다. 이렇게 배열된 공극의 행렬에서 공극의 외주간 거리의 반을 행렬간격계수로 정의한다.

3. 행렬간격계수와 규정식과의 상관성을 분석하기 위하여 콘크리트 시편 67개에 대하여 화상분석을 실시하였다. 내부 공극 구조를 달리한 콘크리트 시편 67개의 규정식과 행렬간격계수를 비교분석한 결과, 두 결과값에 대한 상관성은 0.948로 매우 높게 측정되었으며, 공기량 분포에 따른 규정식과 행렬간격계수의 변화는 동일한 것으로 나타났다. 행렬간격계수를 이용할 경우 규정식과 같은 의미로의 공극구조분석이 가능할 것으로 판단되었다.

4. 본 연구에서 제안된 행렬간격계수에 대한 수치해석결과, 공기량 변화와 행렬간격계수, 공극직경 변화와 행렬간격계수 변화의 결과를 얻었다. 이러한 공기량과 공극수에 따른 행렬간격계수의 예상치를 활용한다면 콘크리트 내부 공극구조의 정량적 표현과 각 조건에서의 내구성 지수를 알 수 있다면 내구성 예측에 대한 또다른 표현이 가능할 것이다.

참고문헌

1. Powers T. C[1949], "*The Air Requirement of Frost-Resistant Concrete*", Research Laboratories of the Portland Cement Association, Vol. 29.
2. 권혁찬(2003), 화상분석법을 통한 경화 콘크리트의 내부 공극 구조 분석, 강원대학교 석사학위논문
3. Pigeon, M. and R. Pleau(1995), "*Durability of concrete in cold climates*", pp. 98-112
4. Snyder, K.A[1998], "*A Numerical Test of Air Void Spacing Equations*", Volume 8, Issue 1, pp. 1-44.
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.