

수압을 받는 콘크리트에서의 수분 이동에 관한 실험적 연구

Experimental Study on the Water Penetration of Concrete with Water Pressure

유 조 형*
You, Jo Hyeong

이 한 승**
Lee, Han Seung

강 인 석***
Kang, In Seok

ABSTRACT

The objective of the study is to investigate the depth of penetration of concrete water forced in under pressure. For this purpose, the experiments for the depth of penetration by selecting the factors and levels such as water pressure, pressure time were executed.

The flow of water of concrete examined theoretically and experimentally. As a result, It is found that in the case of low water pressure approximately 0.15Mpa or less, the flow is Darcy seepage flow, the same as flow in an ordinary sand stratum, whereas in the case of high water pressure, the flow is diffused seepage flow accompanied by internal deformation of concrete.

1. 서론

콘크리트는 다공성 재료로써 수분이나 유해한 공기가 자유롭게 출입하여 콘크리트 자체가 성능 저하 되어 내구성이 저하하는 측면도 있으나, 다공성 재료이므로 표면에서 방청제 등의 보수재료를 콘크리트 내부로 침투시키는 경우에는 압력을 가하여 철근위치까지 방청제를 침투시키는 것도 가능하다고 판단된다. 따라서 방청제에 압력을 가하여 콘크리트 내부로 침투시키는 경우에는 그 침투 특성을 명확히 규명하는 것이 필요하다. 일반적으로 콘크리트내로의 수분침투는 저압에서 다르시법칙으로 시간에 따른 침투 깊이를 산정할 수 있으나, 고압이 작용하는 경우에는 다르시법칙이 잘 맞지 않고 침투 확산류 해석 등이 필요하게 된다. 본 연구에서는 이러한 배경 하에 고압을 받는 내압법에 의한 콘크리트의 침투실험을 통해 액체의 평균 침투 깊이를 산정하고, 평균 침투 깊이를 통해 압력과 시간에 따른 확산 계수를 실험적으로 검토하였다.

2. 콘크리트내 수분 고압침투에 관한 이론적 고찰

2.1. 침투 확산류

고압으로 콘크리트에 물을 압입한 경우는, 콘크리트 내부변형이 무시할 수 없기 때문에 고압침투 모델을 적용해야 한다. 즉, 침투과정에서 물과 콘크리트 자체가 탄성변형을 일어난다 라는 조건을 다르시 법칙에 추가하는 것에 의하여 이런 흐름의 기초방정식을 구할 수 있다.

그림 1 에 나타낸 것처럼, 단면 A를 가지는 콘크리트의 측면을 수밀하게 유지하고 한쪽 단면으로부터 상당한 압력 P로 물을 압입 하면, 수압을 가해준 면에서 거리 x에서 미소거리 dx로 떨어진 단면 I 및 II를 생각하면,

* 정희원, 한양대학교 대학원 건축환경공학과, 석사과정

** 정희원, 한양대학교 공학대학 건축학부 조교수, 공학박사

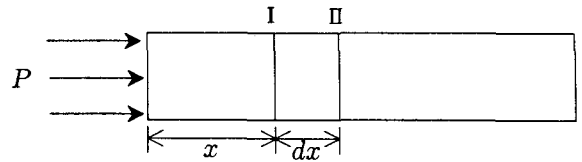
*** 정희원, 토탈인포메이션 과장, 한양대학교 대학원 건축환경공학과, 박사과정

단면 I에서 dt 시간동안 유입된 수량,

$$Q_1 = u(x) A dt$$

단면 II에서 dt 시간동안 유출된 수량,

$$Q_2 = u(x+dx) A dt,$$



I, II 단면간에 잔류하는 수량,

그림 1. 일차원류 해석 모델

$$\Delta Q = Q_1 - Q_2 = -\frac{\delta u}{\delta x} dx A dt \dots\dots\dots(1)$$

ΔQ 에 의해, I, II 단면적의 압력증분 dp는

$$dp = \frac{\delta p}{\delta t} dt = \frac{A Q}{A dx} E = -\frac{\delta u}{\delta x} E dt \dots\dots\dots(2)$$

여기서, E : 물과 콘크리트 자체를 공통으로 생각한 경우의 체적탄성계수

$$\text{다르시의 법칙에서 } \frac{\delta u}{\delta x} = -\frac{k}{w_0} \frac{\delta^2 p}{\delta x^2} \dots\dots\dots(3)$$

고수압에의한 변형의 조건 식 (2)에 의해

$$\frac{\delta u}{\delta x} = -\frac{1}{E} \frac{\delta p}{\delta t} \dots\dots\dots(4)$$

식(4)를 식(3)에 대입시키면,

$$\frac{\delta p}{\delta t} = \frac{kE}{w_0} \frac{\delta^2 p}{\delta x^2} = \beta^2 \frac{\delta^2 p}{\delta x^2} \dots\dots\dots(5)$$

식(5)은, 일차원의 고압 침투류의 압력에 관한 기초방정식이고, 열전도나 농도확산의 경우와 같은 형태의 미분방정식이기 때문에. β^2 을 콘크리트중의 침투류 확산계수라고 정의한다. 식(5)을 초기조건 $p(x,0) = 0$, 경계조건 $p(0,t) = P$, $p(l,t) = 0$ (여기서, l: 물의 침투부 길이) 하에서 계산하면,

$$p(x,t) = p(1 - \frac{x}{l}) - P \sum_{i=1}^n \frac{4}{n\pi} (\sin \frac{n\pi}{l} x) e^{-\frac{n^2 \beta^2}{12} t} \dots\dots\dots(6)$$

식(6)을 이용하여 확산계수 β^2 를 구하기 위해서는, 물의 침투부 길이 l을 n개의 소구간으로 분할하여 각 분할점에 있어서 수압의 측정치가 필요하게 된다. 그러나, 짧은 공시체에 있어서는 실제로 불가능하기 때문에 다음의 방법이 생각되어 지고 있다. 즉, 초기 조건 $p(x,0) = 0$, 경계조건 $p(0,t) = P$, $p(\infty,t) = 0$ 이라면, 식(6)의 해는 여오차함수로 된다. 이러한 것은, 다르시 침투류의 경우 장소적인수압분포가 직선이 되지만, 침투 확산류의 경우는 여오차 함수곡선에 따르는 것을 나타내고 있다.

$$p(x,t) = \text{Perfc}(\frac{x}{2\beta\sqrt{t}}) = \frac{2P}{\sqrt{\pi}} \int_{\frac{x}{2\beta\sqrt{t}}}^{\infty} e^{-\lambda^2} d\lambda \dots\dots\dots(7)$$

식(7)은 침투깊이 x, 시간 t에서의 해가 되므로, 소정시간 t 후의 침투깊이 x의 시험값을 사용하여, 침투깊이 x(침투선단부)에서의 압력 $p = P_f$ 을 정하는 것으로 확산계수를 구할 수 있다. 이와 같은 방법으로 확산계수를 구하면 식 (8)과 같이 정의 할 수 있다.

$$\beta_0^2 = \alpha \frac{D_m^2}{4t\xi^2} \dots\dots\dots(8)$$

여기서, β_0^2 : 초기확산계수 (mm^2/s) α : 보정계수 ($\alpha = t^{3/7}$)
 t : 수압을 가한 시간 (s) ξ : 수압과 관계된 계수 ($P_f = 0.15MPa$)
 D_m : 평균침투깊이 (mm)

3. 콘크리트의 평균침투깊이 실험 및 결과

본 실험에서는 그림 3과 같은 중공원통형 공시체(Φ15 X 30 cm, 중앙직경 2 cm)를 제작하여, 공시체 상하면에 고무 패킹을 대어 누수를 방지시킨 상태에서 중공에서 내부로 1.5 MPa의 수압을 가하였다. 일정 시간 동안 가압 후 할렬 하여 침투 깊이를 측정하였다.

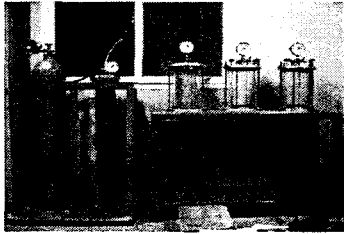


그림 2, 내압식 투수시험기

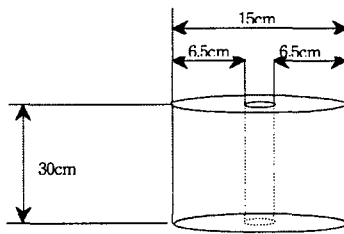


그림 3, 중공원통형 공시체



그림 4, 할렬된 공시체모습

표 1. 배합 및 침투 시험 결과

공시체 구분	배 합								실험결과		
	W/C (%)	잔골재율 (%)	단위수량 (kg/m³)	중량(kg/m³)					가압시간 (h)	압축강도 (kgf/cm²)	침투 깊이 (mm)
				시멘트	F/A	잔골재	굵은골재	A.D			
1	50	41.7	157.2	293	22	867.8	897	6.3	100	240	38
2											43
3											45
1	55	42.8	178	240	16	744	996	5.12	100	210	50
2											49
3											54

100시간 동안 일정 수압 1.5.MPa으로 가압하여 얻은 평균 침투깊이를 식(8)에 대입해 확산계수를 구할 수 있다.

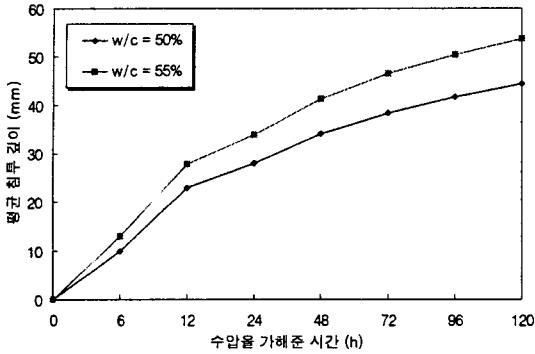
표 2. 콘크리트의 확산계수 계산

공시체 구분	W/C (%)	확산계수 ($\times 10^{-8} m^2/s$)	α 보정계수($\alpha=t^{3/7}$)	$4t$ 가압시간 (s)	ξ (수압과 관계된 계수)	D_m (침투깊이)
1	50	17.83	240.58	1,440,000	1.163	38
2		22.83	240.58	1,440,000	1.163	43
3		25.01	240.58	1,440,000	1.163	45
1	55	30.88	240.58	1,440,000	1.163	50
2		29.65	240.58	1,440,000	1.163	49
3		36.01	240.58	1,440,000	1.163	54

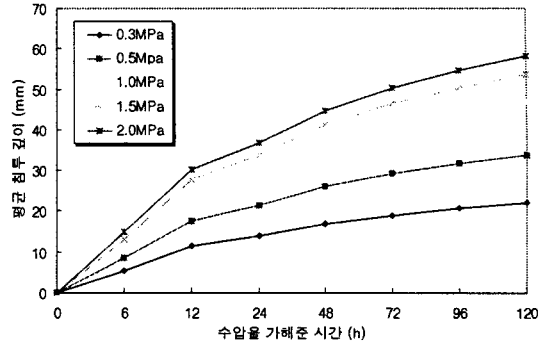
식(8)에 대입하여 계산한 결과 W/C가 50%이고 압축강도가 평균 240kgf/cm² 일 때의 계산된 평균 확산 계수는 $21.89 \times 10^{-8} m^2/s$ 이고, W/C가 55% 이고 압축강도가 평균 210kgf/cm² 일 때의 계산된 평균 확산 계수는 $32.18 \times 10^{-8} m^2/s$ 가 되는 것을 알 수 있다.

4. 결과 분석

그림 5는 실험을 통해 얻어진 일정시간 100시간동안의 침투 깊이로부터 구한 평균 확산 계수를 통해 추정된 w/c와 가압 시간에 따른 평균 침투 깊이의 변화를 보여준다. 그림과 같이 w/c가 높은 것이 침투가 더 잘 되는 것을 볼 수 있다. 그림 6은 수압을 0.3MPa에서 2.0MPa까지 변화 시키면서 압력에 따른 평균 침투 깊이의 변화를 추정한 것이다.



주) 수압 1.5MPa으로 가압
주어진 확산계수로 시간별 침투 깊이 변화 추정
그림 5. w/c 에 따른 평균 침투 깊이의 변화



주) 수압을 0.3MPa에서 2.0MPa까지 변화 시키면서 가압,
확산 계수는 w/c가 55%일 때의 $32.18 \times 10^{-8} m^2/s$ 값으로 계산
그림 6. 수압과 평균 침투 깊이와의 관계

5. 결론

콘크리트에 고압을 가하여 수분의 침투를 평가하기 위해서는 물체의 변형을 고려한 침투 확산류가 더욱 정밀하다고 판단되며, 수압을 가한 경우의 콘크리트 내부 수분침투는 콘크리트 침투 실험을 통해 얻어진 평균 침투깊이로 확산계수를 정량적으로 계산한 후, 압력의 크기, 가압시간을 종합적으로 판단함으로써 콘크리트 내에서의 물의 침투 성능을 정밀 해석할 수 있다고 판단된다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부 우수연구센터육성사업 지원으로 수행되었음 (# R11-2005-056-04003-0)

참고문헌

1. 村田二郎 著 “콘크리트의 수밀성과 콘크리트 구조물의 수밀성 설계” p.5~p.33
2. 김영수 외 1인, “염화물 함유 콘크리트의 투수성에 관한 연구”, 대한 건축학회 학술발표 논문집 제15권 제2호 1995. 10
3. Jiro Murata 외 3인, “Study on Watertightness of Concrete”, ACI Journal / March-April 2004