

팽창재를 혼입한 시멘트 경화체의 팽창모델

Expansion Model of Cement Paste using Expansive Additive

박선규*

野口貴文**

김무한***

Park, Sun Gyu Noguchi Takahumi Kim, Moo Han

ABSTRACT

Development of high-strength concrete and improved durability has brought new opportunities to the construction industry. However, some attention was given to characteristics of such concrete, in particular with respect to their cracking sensitivity. It has been argued and demonstrated experimentally that a low water/cement ratio concrete undergoes shrinkage due to self-desiccation. This so-called autogenous shrinkage cracking is a major concern for concrete durability. One possible method to reduce cracking due to autogenous shrinkage is the addition of expansive additive. Tests conducted by many researches have shown the beneficial effects of addition of expansive for reducing the risk of shrinkage-introduced cracking.

This paper aimed at forecasting deformation of high strength cement paste with expansive additive for early age.

1. 서론

최근 건축생산현장에서 많이 사용되어 지고 있는 고강도·고성능콘크리트는 강도 및 내구성 측면에서는 우수한 공학적 특성을 가지고 있는 반면, 초기재령에 있어서 시멘트의 급속한 수화반응으로 인한 자기수축 균열이 문제시 되고 있다. 초기재령에서 발생하는 자기수축 균열은 콘크리트 구조물의 미관 및 내구성에 있어서 유해한 영향을 미치기 때문에, 이를 저감시키는 것은 중요하다. 이러한 자기수축균열 저감방법의 한방법으로서 팽창재의 혼입에 의한 수축보상이 있는데, 지금까지의 연구결과에 의하면 유효한 것으로 알려져 있다¹⁾. 이러한 팽창재에 의한 시멘트 경화체의 자기수축 저감량을 정량적으로 평가하기 위해서는 팽창재 혼입에 따른 시멘트 경화체의 팽창량을 예측할 수 있는 팽창모델이 필요하다.

따라서, 본 연구에서는 팽창재의 혼입에 의한 시멘트 경화체의 팽창모델을 구축한 후, 이를 실험·실증적으로 평가하였다. 또한, 본 연구에 사용된 팽창재는 초기 재령의 자기수축 저감을 목적으로 초기재령에서 빠른 팽창력을 발휘하는 에트링가이트-석회 복합계를 대상으로 하였다^{2),3)}.

* 정회원, 기술신용보증기금 대전기술평가센터, 팀원·공박

** 정회원, 동경대학교 대학원 건축학전공, 조교수·공박

*** 정회원, 충남대학교 건축공학과, 교수·공박

2. 팽창제를 혼입한 시멘트 경화체의 팽창모델

2.1 수학적 기초

팽창제에 의한 시멘트 경화체의 팽창모델을 구축하는데 있어서 Fig.1에서 나타난 바와같이 공간배치를 고려하였다. 즉 시멘트경화체 내에서 팽창제 입자는 초기상태부터 시멘트 입자에 둘러싸여진 입방체 중에 존재하는 것으로 모델화 하였다. 시멘트 경화체의 팽창은 팽창제의 팽창에 의한 현상으로 이를 수학적으로 표현하기 위해 동방성재료의 2차원상의 응력 변형해석을 참고하여 식(1), (2), (3)과 같이 계산하였다^{4),5)}.

$$u = \frac{1-\nu}{E} \cdot \frac{a^2 p_1 - b^2 p_2}{b^2 - a^2} r + \frac{1+\nu}{E} \cdot \frac{a^2 b^2 (p_1 - p_2)}{b^2 - a^2} \cdot \frac{1}{r} \quad (1)$$

$$\sigma_r = \frac{a^2}{b^2 - a^2} \left[\left(1 - \frac{b^2}{r^2} \right) p_1 - \left(\frac{b^2}{a^2} - \frac{b^2}{r^2} \right) p_2 \right] \quad (2)$$

$$\sigma_\theta = \frac{a^2}{b^2 - a^2} \left[\left(1 + \frac{b^2}{r^2} \right) p_1 - \left(\frac{b^2}{a^2} + \frac{b^2}{r^2} \right) p_2 \right] \quad (3)$$

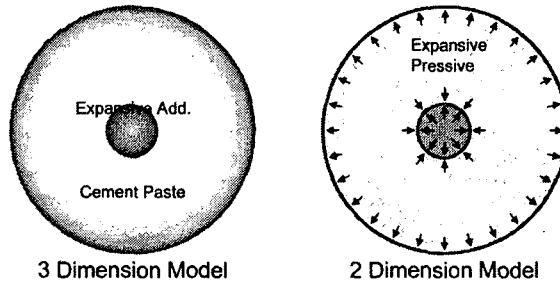


Figure 1 Schematic representation of expansion model

2.2 시멘트 경화체의 팽창모델

시멘트 경화체의 팽창은 팽창제가 수화하면서 발생하는 현상으로 Fig.2, Fig.3과 같이 팽창제의 수화에 의한 팽창력과 시멘트 경화체의 저항이 힘의 균형을 이루면서 일어나는 것으로 시멘트 경화체의 응력 및 변형을 식(4), (5)와 같이 모델화하였다. 여기에서 주의해야할 점은 시멘트 경화체가 소정의 강도를 갖지 않으면, 팽창제가 수화하여 시멘트 경화체를 팽창시키려고 해도 팽창은 일어나지 않는다는 것이다. 즉, 시멘트 경화체가 경화하기 전이나 경화가 시작되어 소정의 강도를 발휘하기 전에는 팽창제가 아무리 팽창력을 발휘한다고 하여도 시멘트 경화체는 팽창하지 하지 않으며 팽창제에 의한 팽창력을 시멘트 경화체가 흡수하게 된다. 본 연구에서는 이러한 현상에 대하여 시멘트 경화체의 크리프를 고려하여 식(6)과 같이 모델화 하였으며, 시멘트 경화체의 크리프에 대한 예측은 C-CBM⁶⁾을 이용하였다.

$$p_0 = \frac{(\delta_A + \delta_B)}{a} \cdot \frac{1}{\frac{1}{E_B} \left(\frac{b^2 + a^2}{b^2 - a^2} + \nu_B \right) - \frac{1}{E_A} (1 - \nu_A)} \quad (4)$$

$$u_a = p_0 \times \left[\frac{E_b}{a} \cdot \frac{[(b/a)^2 - 1]}{[(1 + \nu) \cdot (b/a)^2 + (1 - \nu)]} \right] \quad (5)$$

$$u_a = p_0 \times \left[\frac{E_B}{(1 + \phi)} \cdot \frac{1}{a} \cdot \frac{[(b/a)^2 - 1]}{[(1 + \nu) \cdot (b/a)^2 + (1 - \nu)]} \right] \quad (6)$$

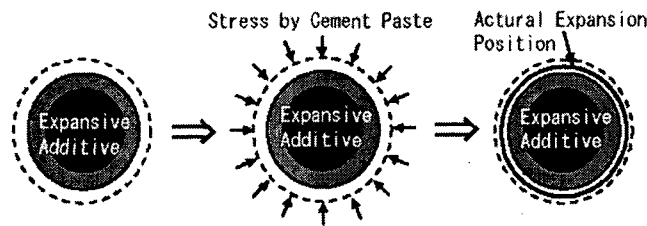


Figure 2 Schematic representation of expansion model in cement paste

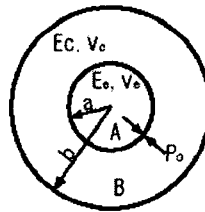


Figure 3 Schematic representation of balanced stress

3. 팽창모델의 검증

실험에 사용한 재료로서 시멘트는 보통포틀랜드 시멘트, 팽창재는 Table 1에 나타난 바와 같이 에 트링가이트-석회 복합체를 사용하였다. 팽창재의 첨가량은 시멘트질량에 대하여 4%로 하였으며, 시멘트 경화체의 자기수축 시험은 응결이후에 재령 1, 3, 7일에 다이알 게이지 방법으로 변형량을 측정하였다. 물시멘트비는 30%로 하였으며, 재료의 온도 및 시험조건은 20℃로 하였다.

Fig.4는 본 연구에서 제안한 모델에 의한 예측 및 실험결과를 나타낸 것으로, 전체적으로 예측치가 실험치 보다 작은 값을 갖는 것으로 나타났다. 이는 팽창재의 수화반응에 관계된 것으로, 팽창재만의 있을 경우 팽창재의 수화반응속도는 시멘트가 존재하는 경우에서의 수화반응이 다르기 때문인 것으로 판단되며, 시멘트의 여러성분이 있을 경우에 대한 팽창재의 수화반응에 대한 연구가 계속적으로 필요 할 것으로 판단된다.

Table 1 Properties of expansive additive

Blain (cm ² /g)	S.G (g/cm ³)	Ig.Loss (%)	Compound ratio (%)			
			f-CaO	C ₄ AF	Anhydrite	Other
2,800	3.16	1.6	51.8	20.3	27.4	0.5

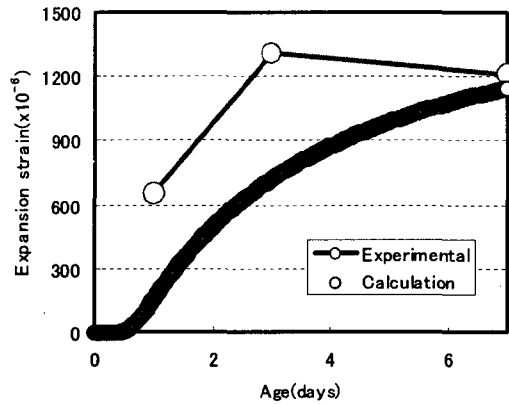


Figure 4 Calculation of expansion and shrinkage strain of cement paste

4. 결론

본 연구에서 제시한 팽창재에 의한 시멘트 경화체의 팽창모델에 대한 실험·실증적인 검증결과, 본 연구의 모델을 이용하여 팽창재를 첨가한 시멘트 경화체의 팽창량을 정량적으로 예측할 수 있을 것으로 사료되며, 정확한 예측을 위하여 시멘트가 존재하는 상태에서의 팽창재의 수화반응에 대한 추가적인 연구가 계속적으로 필요할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 日本コンクリート工學協會, 콘크리트의自己收縮委員會報告書, 2003
2. 박선규, 野口貴文, 김무한, 에트링가이트-石灰 複合系 膨脹材의 水和反應 모델에 關한 研究, 콘크리트학회 논문집, Vol.17, pp 581-586, 2005. 8
3. 盛岡 実 외, 膨脹材의 水和反應と材料設計, セメント協會論文集, No.54, pp.111-116, 2000
4. 岡村 甫, 膨脹콘크리트複合モデル化 について, セメント技術年報, pp.303-305
5. 中原一郎, 材料力學(下卷), 養賢堂, 1981
6. 丸山一平, マイクロメカニクスに基づくコンクリートの時間依存性, 東京大學學位論文, 2003