

초음파 속도법을 이용한 콘크리트 구조물의 균열깊이 측정

Crack Depth Evaluation of Concrete Structures using Ultrasonic Pulse Velocity method

오병환*, 김광수**, 김세훈***
Oh, Byung Hwan, Kim, Kwang Soo, Kim, Se Hoon

ABSTRACT

Ultrasonic pulse velocity method is employed for evaluation of crack depth in concrete structures. Due to the heterogeneous nature of concrete and the indirect transmission arrangement for the transit time measurement through the surface-opening cracks in concrete structures, ultrasonic pulse velocity has so many variations as crack depths and transmission lengths vary.

In this study, ultrasonic pulse velocity method is investigated to evaluate the surface-opening crack depth of concrete slabs, reinforced concrete slabs, reinforced concrete flexural members. the present study gives a modified method for deminishing errors in transit time measurements and show limitations to the evaluation of crack depth in reinforced concrete structures

1. 서론

초음파 속도법은 현재 국내에서 콘크리트 구조물의 균열깊이 측정을 위해서 가장 많이 이용되고 있는 방법이다. 초음파 속도법의 기본 원리는 매질내의 초음파 속도가 일정하다는 가정 하에서 균열이 없는 경우와 균열이 있는 경우의 초음파 도달 시간차에 의해 균열깊이를 추정하는 방법이다. 하지만 초음파 속도법을 콘크리트 구조물의 균열깊이 평가를 위해 적용하면 실제 균열깊이와 측정된 균열깊이 사이에는 상당한 오차가 발생함을 알 수 있다. 따라서 본 연구에서는 국내에서 가장 많이 상용되는 비파괴 초음파 장비인 PUNDIT (Portable Ultrasonic Non-Destructive Digital Indicating Tester)를 사용하여 실험을 통한 콘크리트의 균열 깊이 측정연구를 수행하여 오차원인을 분석하고 오차를 줄일 수 개선 방안을 제시하고자 한다.

2. 연구내용

2.1 개요

일정 매질을 통과하는 초음파의 전파속도는 아래와 같이 동탄성계수와 프와송비, 그리고 밀도에 의해

* 서울대학교 토목공학과 교수, 정회원

** 서울대학교 토목공학과 박사과정

*** 서울대학교 토목공학과 박사과정

영향을 받게 되고 아래의 식(1)과 같은 관계를 갖는 것으로 알려져 있다.

$$V = \sqrt{\frac{E}{\rho} \frac{(1-\nu)}{(1+\nu)(1-2\nu)}} \quad (1)$$

여기서, V = 초음파 전파속도, E = 동탄성계수, ρ = 매질의 밀도, ν = 포아송 비 이다.

초음파속도는 직접법, 사각법, 간접법(표면법)으로 구할 수 있으며, 초음파 속도법으로 균열깊이를 측정할 때 초음파 속도는 주로 간접법에 의해 측정하게 된다. 본 연구에서는 간접법을 통하여 T_0 - T_c 법과 T법을 적용하여 각 방법의 정확성과 오차원인을 분석하였다. 또한 철근의 영향을 고려하기 위하여 시험체를 제작하여 실험을 통하여 오차와 한계를 분석하였다.

2.2 균열깊이 측정법

2.2.1 T_0 - T_c 법

균열의 개구부를 중심으로 하여 동일한 간격으로 종파용 발진자와 수신자를 배치하여 초음파 전파 시간을 측정하면 이 값이 T_c 가 되고, 마찬가지로 균열이 없는 부분에서의 동일한 거리에 대한 전파 시간을 측정하면 이 값이 T_0 가 되어 아래의 식에 의하여 균열깊이를 계산한다.

$$h = \frac{L}{2} \times \sqrt{\left(\frac{T_c}{T_0}\right)^2 - 1} \quad (2)$$

2.2.2 T-법

발진자를 한 곳에 고정시키고 수신자를 일정간격으로 이동시키면서 각 거리에 따른 초음파의 전파 시간을 구한 뒤 이로부터 Fig.2과 같이 전파거리와 전파시간의 관계를 그릴 수 있다. 여기서 T값과 α 값을 구하여 정해진 식으로 균열깊이를 계산한다. 균열깊이 h 는 아래의 식(3)와 같다.

$$h = \frac{T \cot \alpha (T \cot \alpha + 2L_1)}{2(T \cot \alpha + L_1)} \quad (3)$$

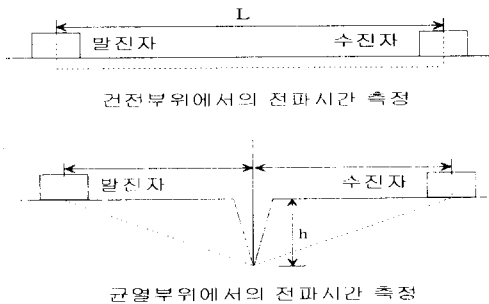


그림 1. T_0 - T_c 법의 적용을 위한 전파시간 측정

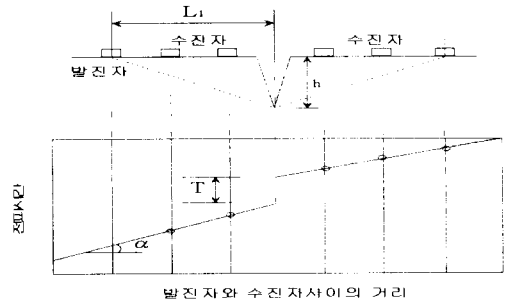


그림 2. T-법 적용을 위한 초음파 전파시간 측정

3. 실험결과 및 분석

3.1 T법

간접법으로 측정된 콘크리트 초음파의 속도의 수정없이 T-법으로 균열깊이를 계산하면 균열깊이를 과대평가하게 된다. 이것은 간접법으로 콘크리트의 전파 속도를 구할 때 진자간 측정거리가 짧은 경우 실제 보다 균열까지 도달하는 시간이 과소평가하게 되므로 균열위치에서 시간차가 과대평가 된다.

3.2 To-Tc법

To-Tc법은 얇은 균열에 대해서는 진자간 거리가 짧으면 균열깊이를 과대평가하고 진자간 거리가 커지면 과대평가 정도가 감소함을 알 수 있다. 그리고 발진자와 수신자 사이의 측정거리가 멀어지면 균열을 과소평가하게 된다. 따라서, To-Tc법의 측정 적정거리는 20cm~50cm가 바람직 한 것으로 나타나고 있다.

3.3 보부재를 통한 철근의 영향 분석

균열이 철근을 통과한 이후 초음파 속도법을 통한 균열측정 가능성을 파악하기 위하여 MTS로 보에 하중을 가하여 균열 진전에 따른 PUNDIT을 통한 균열깊이 측정 시험을 수행하였다. 균열깊이별 초음파 전달 시간의 변화는 그림6을 보면 알 수 있듯이 균열이 철근 깊이 이상으로 발생했을 경우에는 초음파 전달 시간이 일정하게 유지됨을 알 수 있다. 따라서 철근깊이보다 깊은 균열은 철근의 영향으로 인해 균열깊이를 정확히 측정할 수 없음을 알 수 있다.

3.4 인공균열 철근콘크리트 슬래브 부재 실험을 통한 철근의 영향분석

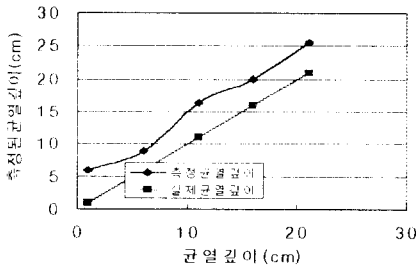
콘크리트내에 철근이 있는 경우 철근이 초음파 속도에 영향을 미치므로 철근의 간격, 철근의 깊이, 균열깊이를 고려하여 균열깊이 측정하여야 한다. 철근의 영향을 받지 않기 위해서는 철근을 통과하여 전달된 시간이 균열 끝단을 통과한 전달시간보다 많이 걸려야 한다. 즉 다음과 같은 조건식이 성립되어야 한다.

$$T_s > T_c$$

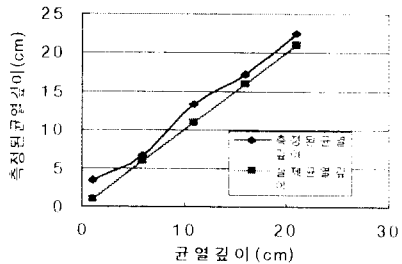
$$\frac{L}{V_s} + 2a\sqrt{\frac{V_s^2 - V_c^2}{V_s^2 V_c^2}} > \frac{2}{V_c} \sqrt{\frac{L^2}{4} + h^2} \quad (4)$$

위의 조건을 만족하는 L의 범위는 식(5)과 같다.

$$\frac{2(aV_c - V_s\sqrt{a^2 - h^2})}{\sqrt{V_s^2 - V_c^2}} < L < \frac{2(aV_c + V_s\sqrt{a^2 - h^2})}{\sqrt{V_s^2 - V_c^2}} \quad (5)$$



(a) 속도 보정전 균열깊이



(b) 직접법으로 속도보정후 균열깊이

그림 3. A1부재의 실제균열깊이와 측정된 균열깊이의 비교

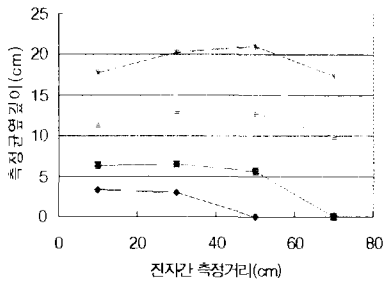


그림 4. 균열깊이 변화에 따른 A1 부재의 균열깊이 측정결과

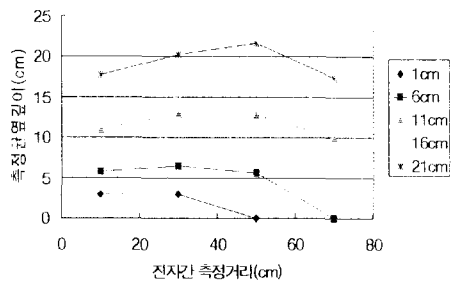


그림 5. 균열깊이 변화에 따른 A3 부재의 균열깊이 측정결과

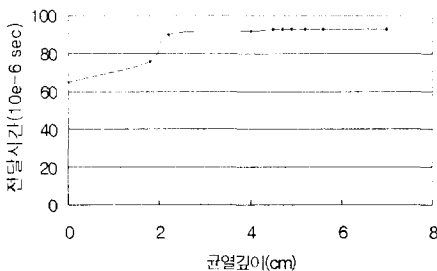


그림 6 D5 부재의 균열깊이에 따른 초음파 전달 속도

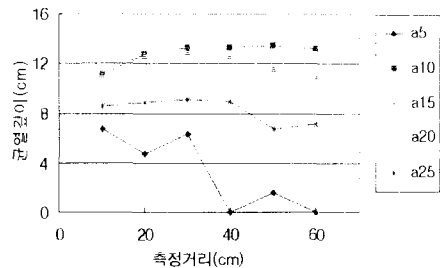


그림 7 C2(균열깊이 9cm)부재의 진자간 거리에 대한 철근위치에 따른 균열측정값

4. 결론

본 연구에서는 실험연구를 통하여 콘크리트 구조물의 균열깊이 측정에 가장 많이 이용되고 있는 초음파 속도법의 오차원인을 분석하고 오차를 줄일 수 있는 방법을 제시하였다. 또한 초음파 속도법 적용시 철근의 영향을 분석하여 초음파 속도법의 한계를 실험을 통하여 확인하였고 철근깊이 이하의 균열깊이 측정시의 측정가능한 진자간 거리를 제시하였다. 본 연구는 국내현장에서 많이 사용되고 있는 초음파 속도법의 보다 정확하고 합리적인 적용에 유용하게 사용될 것으로 사료된다.

참고문헌

1. Elvery, R.H. "Non-destructive testing of concrete and its relationship to specification", Concrete J. Vol.5, No.5, May 1971, pp.137-141
2. British Standard Institution, BS 4408. Recommendations for non-destructive methods of test for concrete. Part 5: 1974, Measurement of the velocity of ultrasonic pulses in concrete, London, pp.20
3. Chung, H.W. "Effects of embedded steel bars upon ultrasonic testing of concrete", Magazine of Concrete research, Vol. 30, No. 102, March 1978, pp.19-25
4. Knab, L.I., Blessing, G.V., Clifton, J.R. "Laboratory Evaluation of Ultrasonics for Crack Detection in Concrete, ACI journal. Vol. 80, January-February 1983, pp.17-27
5. Andrea Benedetti, "ON the Ultrasonic Pulse Propagation into Fire Damaged Concrete", ACI Structural Journal, V.95, No.3, May-June 1998