

초음파법에 의한 콘크리트 표면 균열 깊이의 측정오차 분석에 관한 연구

Analysis of an Error Accompanying Measured Surface Crack Depth of Concrete Using Ultrasonic Pulse Velocity Method

박 석 균* 최 옥**

Park, Seok-Kyun Choi, Ook

ABSTRACT

Ultrasonic pulse velocity method is applied many times for measuring surface crack depth of concrete in case of diagnosis of concrete structures. By the way, this method has an error accompanying measured surface crack depth of concrete because there are many uncertainty factors. So, it is necessary to study for an error of this method affected by these uncertainty factors. Two error factors(uncertainty factors) are tested and analyzed in this study. One is for an error according to measuring the propagation time of ultrasonic wave and the arrangement distance of transducers. Another is for an error according to positioning the transducer as a distance to surface crack from the transducer.

A

1. 서 론

초음파 전파시간 계측을 통하여 콘크리트 표면에 나타난 균열의 수직깊이를 추정하는 방법은 Tc-To 법, BS법, 수정BS법 등이 제안되어 현재 콘크리트 구조물 진단 시에 많이 사용되고 있다. 그러나, 이들 방법에는 아직까지 불명확한 점이 많아 오차를 수반하고 있어, 이에 대한 고찰이 필요한 실정이다. 그 중, 몇 가지 문제점 또는 분석이 필요한 사항들을 열거하면, ① 초음파 전파시간과 탐촉자 배치거리 오차가 균열깊이 평가결과에 미치는 오차, ② 탐촉자로부터 균열위치까지의 거리로서 탐촉자의 위치 선정이 균열깊이 평가결과에 미치는 영향, ③ Tc-To법, BS법, 수정BS법의 장단점, ④ 실 구조물에서 철근이 계측에 미치는 영향 등을 들 수 있다. 본 연구는 초음파 전파시간 계측에 의해 콘크리트 표면에 발생한 균열깊이를 추정하는 경우의 상기 문제점 중에서, 우선 ①과 ②에 대하여 분석하기 위해 인공 균열을 도입한 공시체를 이용해 시험계측을 실시하고, 그 결과를 분석 정리하였다

* 정회원, 대전대학교 토목공학과 조교수

** 정회원, 한국시설안전기술공단 기술개발지원실 차장

2. 실험

2.1 시험체 개요

본 연구를 위한 시험체의 제원 및 균열깊이를 그림 2.1에 나타내었다. 시험체에는 깊이가 각각 50mm, 90mm, 120mm인 3개의 인공균열을 도입하였다.

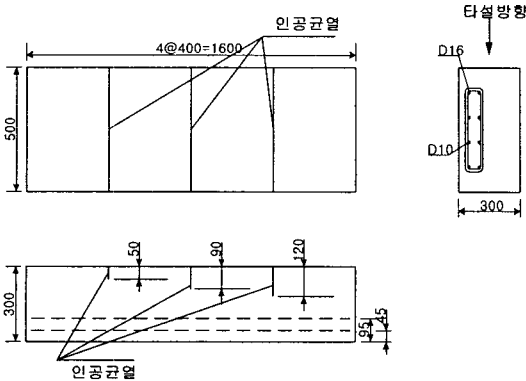


그림 2.1 시험체 제원

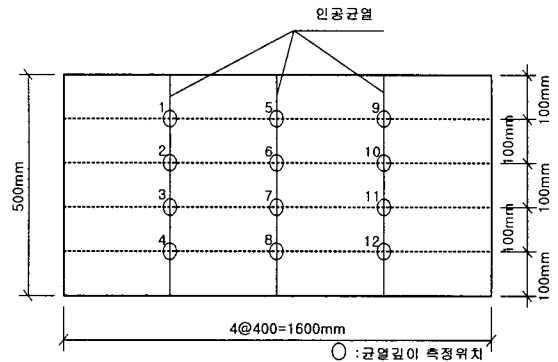


그림 2.2 균열깊이 측정위치

2.2 계측방법 개요

계측은 수신한 초음파 파형을 관찰하여 측정하는 방식이 아닌 기계적으로 파형의 입상을 판단하여 초음파 전파시간을 계측하는 방식으로, 사용한 탐촉자의 중심주파수는 50kHz를 이용하였다.

균열깊이 계측지점은 그림 2.2와 같이 각 균열에 대해 4개소씩으로 하였다.

3. 분석 및 결과 고찰

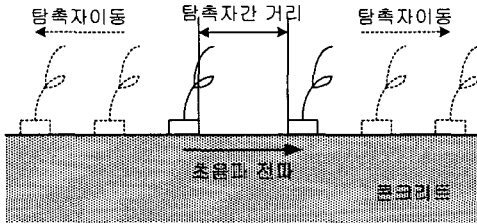
여기서는 가장 일반적이라 생각되는 2.2에 의한 계측결과를 바탕으로 Tc-To법을 이용하여 콘크리트의 초음파 전파속도에 의해 철근영향이 없는 시험체의 균열깊이를 추정하는 때의 오차에 대해 검토하였다.

3.1 측정오차 요인

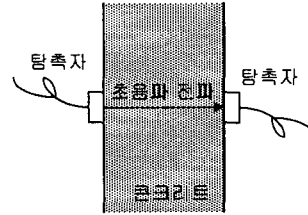
Tc-To법을 이용하여 초음파(P파) 속도를 매개로 균열깊이를 추정하는 경우, 초음파전파속도(Vc)의 계측→균열간(탐촉자와 균열간 거리 a) 초음파 전파시간(t) 계측→균열깊이 추정이라는 절차를 밟게 되지만, 이 측정 과정에서 각각 오차를 발생시킬 가능성이 있다. 이를 정리하면 표 2.1 및 그림 2.3~그림 2.6과 같이 된다.

표 2.1 각 계측과정에서의 오차요인

계측과정	오차요인
콘크리트의 초음파전파속도(V_c)를 구한다.	그림 2.3의 방법으로 V_c 를 구하지만, 얻어진 V_c 에는 오차가 포함된다.(V_c 오차)
균열을 사이에 두고 탐촉자를 배치하고, 균열을 우회해서 전파하는 초음파 전파시간을 계측한다.	탐촉자를 미리 정해진 위치에 설치하지만, 그림 2.4에 나타낸 바와 같이 설치위치에는 몇 가지 오차가 포함된다.(a 오차)
초음파 전파경로를 가정해서 균열 깊이(y)를 계산하여 구한다.	초음파 전파경로를 그림 2.5에 나타낸 바와 같이 균열선단에서 회절해 도달한다고 가정하고 있지만, 다른 경로를 전파할 가능성이 있다. 즉, 초음파 전파경로의 가정에 문제가 있다.(전파경로 가정의 잘못)
	균열~탐촉자간을 탐촉자 앞면에서 취하든가, 탐촉자 중심에서 취하든가 다양한 가정을 할 수 있지만(그림 2.6), 이 가정이 실제와 다를 가능성이 있다.(탐촉자 기준점 가정의 잘못)



시험체 표면을 전파하는 P파를 포착해 V_c 를 구하는 방법



투과하는 P파로부터 V_c 를 구하는 방법

그림 2.3 V_c 의 오차

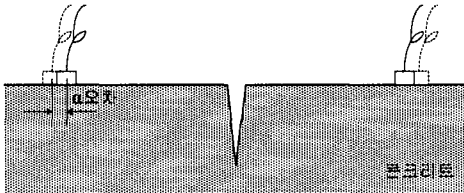


그림 2.4 탐촉자 설치위치의 어긋남

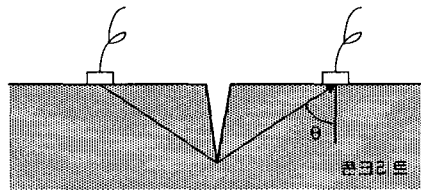
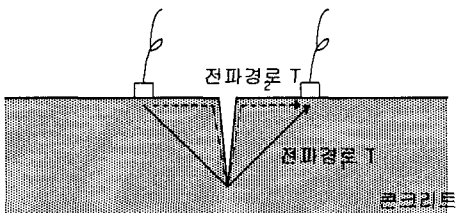
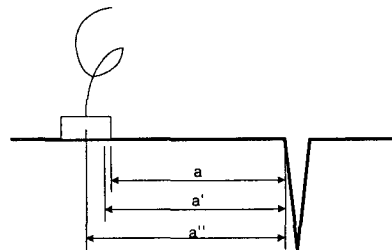


그림 2.7 θ 의 정의



초음파 전파경로는 T_1 (--선)으로 가정하고 있지만, T_2 (-선)의 경로로 전파한 초음파를 계측하고 있을 가능성이 있다.

그림 2.5 전파경로 가정의 잘못



탐촉자~균열간에서의 거리로서 a , a' 혹은 a'' 의 어디를 잡아야하는지가 명확하지 않다. 즉, 탐촉자의 기점이 명확하지 않다.

그림 2.6 탐촉자 기준점의 잘못

3.2 계측시점에서의 오차가 균열추정 오차에 미치는 영향

오차요인은 계측시점의 오차에 귀속시켜야 할 것(V_c 오차, t 오차(본 연구에서는 고려하지 않음), a 오차) 과 가정 그 자체에 문제가 있는 것(전파경로 가정의 잘못, 탐촉자 기준점의 잘못)으로 크게 나눌 수 있다. 여기서는 계측시점에서의 오차가 균열깊이 추정결과에 어떠한 영향을 미치는가에 대해서 검토하였다. V_c , a , t 의 오차를 각각 δV_c , δa , δt 라 하면 식 (1)로부터 각 오차에 대해서 영향을 정식화할 수 있다.

즉, 균열깊이 추정치(y 및 그 오차 δy)는

$$y = \sqrt{\left(\frac{V_c t}{2}\right)^2 - a^2} = f(V_c, t, a) \quad (1) \quad \delta y = -\frac{\partial f}{\partial V_c} \delta V_c + \frac{\partial f}{\partial t} \delta t + \frac{\partial f}{\partial a} \delta a \quad (2)$$

가 된다. 위 식에서 미분계수는 다음과 같이 된다.

$$\frac{\partial f}{\partial V_c} = \frac{t^2 V_c}{4y} = \frac{t}{2 \cos \theta}, \quad \frac{\partial f}{\partial t} = \frac{t V_c^2}{4y} = \frac{V_c}{2 \cos \theta}, \quad \frac{\partial f}{\partial a} = -\frac{a}{y} = -\tan \theta \quad (3)$$

식 (3)을 보면 알 수 있는 바와 같이 각 오차요인의 영향은 탐촉자 위치관계에 따라 다름을 알 수 있다. 특히, 탐촉자가 균열깊이에 비해 꽤 떨어져 있는 경우, 입사각 θ 가 커서 계측시점에서의 미소한 오차가 균열깊이 추정치에 큰 오차로 나타남을 알 수 있다. 즉, 균열깊이에 비해 탐촉자 간격이 넓은 경우, θ 가 커지면서 오차가 커짐을 알 수 있다. 이로부터 정확한 균열깊이를 구하는 경우에는 정확한 콘크리트의 초음파 전파속도를 구하는 것과 균열에 대해 탐촉자 간격을 너무 넓지 않게 하는 것이 중요하다.

3.3 균열-탐촉자간 거리의 가정 잘못이 미치는 영향

균열-탐촉자간 거리 오차도 앞서 기술한 바와 같이 균열깊이 추정오차로 이어진다. 이 때문에 탐촉자가 면접촉 형식인 것이면서 탐촉자의 면적이 큰 경우, 탐촉자의 어느 위치에서 기점을 취할 것인가를 명확히 할 필요가 있다. 시판되고 있는 측정기기의 탐촉자 크기는 각각 계측기기에 따라 다르지만, 여기서는 시험체 표면과 면 접촉하는 직경이 50mm인 것을 이용하였다. 또한, 콘크리트 시험체 표면의 요철(凹凸)의 영향을 최소화하기 위해 그리스를 도포하여 균일한 접촉상태가 되도록 계측시점에서도 주의를 하였다. 탐촉자의 어느 위치를 기점으로 취하는가에 따라 균열-탐촉자간 거리는 다르고, 최대 25mm의 탐촉자 위치 오차가 발생하게 된다. 여기서는 실측결과를 바탕으로 탐촉자의 어느 위치가 기점이 되는가 검토하였다.

탐촉자의 기점을 탐촉자 앞면, 앞면으로부터 9mm, 탐촉자 중앙으로 3가지 가정을 하여 각각에 대해 균열깊이를 추정하였다. 이 결과를 그림 2.8(탐촉자 기점을 탐촉자 앞면에 설정한 경우), 그림 2.9(탐촉자 기점을 앞면으로부터 9mm 탐촉자 중심측에서 벗어난 곳에 설정한 경우), 그림 2.10(탐촉자 기점을 탐촉자 중심에 설정한 경우)에 나타내었다. 탐촉자 기점을 탐촉자 앞면으로부터 탐촉자 중심방향으로 움직임에 따라 균열깊이 추정치는 실제값에 비해 작아진다. 또한, 균열깊이를 구할 때, 평방근 안이 부(負)의 수가 되어 허수값으로 되는 경우도 증가한다. 따라서, 여기서 이용한 계측장치에 대해서는 탐촉자의 기점을 탐촉자 중심으로 설정하는 것은 타당하지 않고, 탐촉자 앞면으로부터 9mm내측에 들어오는 것으로 하는 것이 바람직함을 알 수 있다.

다음은 균열과 탐촉자 간격을 탐촉자 앞면에서 재어서 50mm간격으로 300mm까지 설정하여 계측을

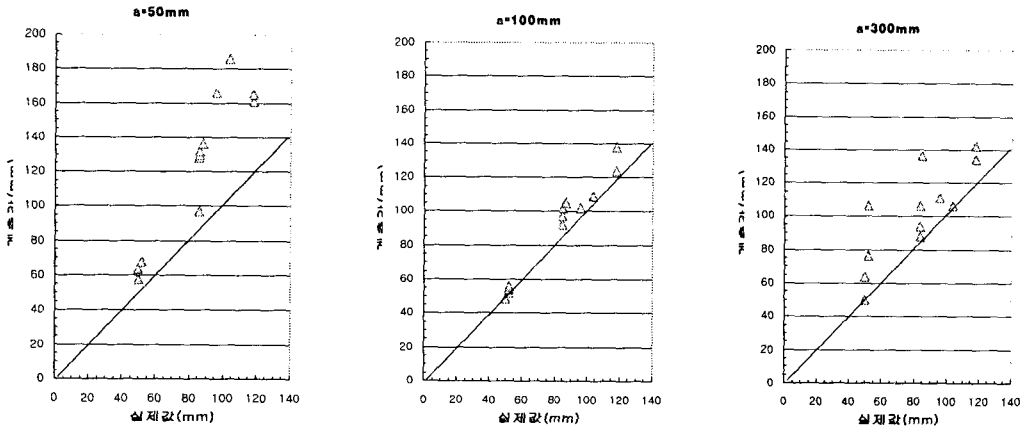


그림 2.8 균열깊이 추정치와 실제값의 관계(기점은 탐촉자 앞면)

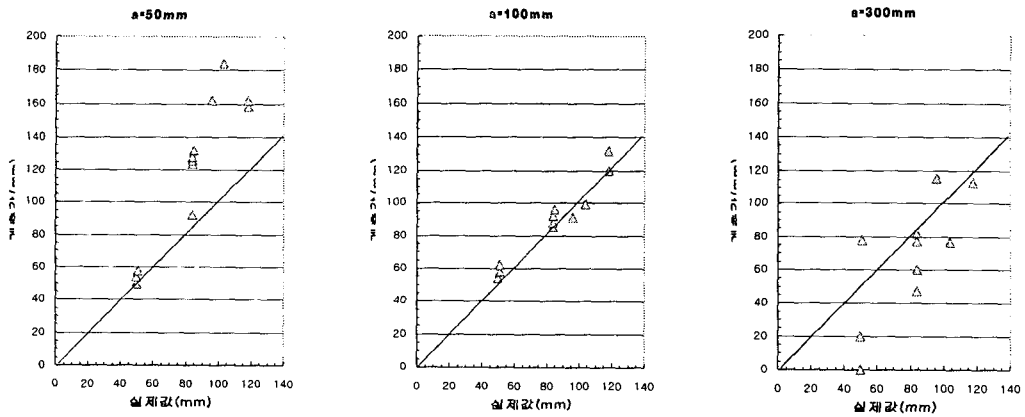


그림 2.9 균열깊이 추정치와 실제값의 관계(기점은 앞면으로부터 9mm중앙으로)

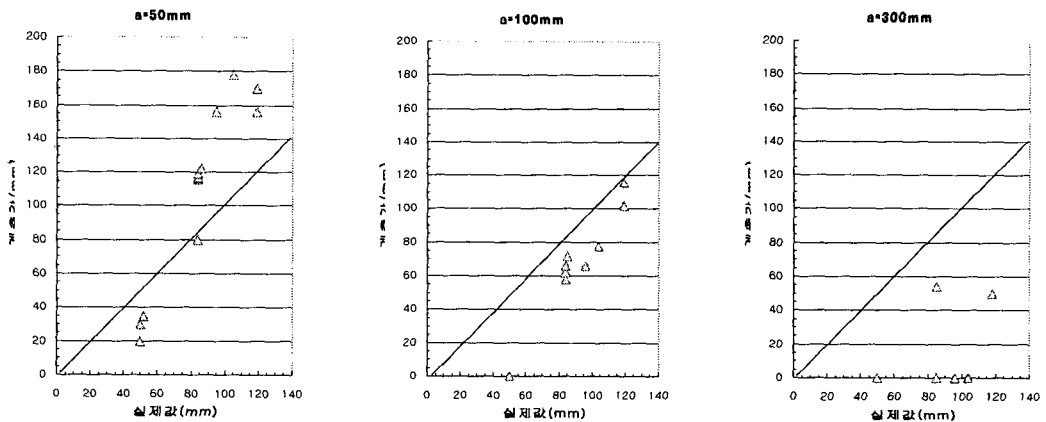


그림 2.10 균열깊이 추정치와 실제값의 관계(기점은 탐촉자 중앙)

실시하고 균열깊이를 추정한 결과 중, 일부 결과(50mm, 100mm, 300mm)를 그림 2.8~그림 2.10에 나타내었다. 이로부터, 50mm에서는 어느 경우도 꽤 오차가 커서 정확한 계측이 되고 있지 않음을 알 수 있다. 한편, 300mm인 경우도 전반적으로 오차가 커지고 있음을 알 수 있다. 후자의 경우는 입사각 θ 가 큰 경우에서 균열깊이 추정오차가 커지기 때문으로 사료된다. 전자의 경우, 즉 균열과 탐촉자간 거리가 50mm에서는 초음파 전파경로의 가정에 문제가 있었던 것으로 사료된다.

3.4 초음파 전파경로 가정 잘못의 영향

그림 2.5에 나타낸 바와 같이 초음파 전파경로는 T_1 을 가정하고 있지만 조건에 따라서는 T_2 의 경로를 따를 가능성이 있다. 이 이외에도 다양한 전파경로를 가정할 수 있지만 여기서는 간단히 상기 두 가지 경로를 상정하는 것으로 하였다. 실험조건에서 설정한 측정점 1~12에서 균열-탐촉자간 거리를 50mm~300mm까지 50mm간격으로 변화시킨 때의 초음파 전파시간 실측결과와 T_1 및 T_2 의 경로를 가정한 때의 전파시간 이론치를 비교한 결과, 균열깊이를 50mm로 설정한 측정점 1~4에서는 실측치와 T_1 의 경로를 따른 경우의 이론치는 잘 대응하고 있지만, 균열깊이를 90mm, 120mm로 설정한 측정점 5~12에서는 탐촉자~균열까지의 거리가 50mm인 경우 경로 T_2 를 가정해서 구한 이론치에 대응하고 있음을 알 수 있다. 즉, 균열 탐촉자 간격을 50mm 정도로 설정하면, 균열깊이를 추정할 때 가정하는 초음파 전파경로를 따르는 것을 잘 포착할 수 없고, 표면을 전파해서 도달하는 초음파를 포착하고 있음을 알 수 있다. 단, 측정점 8에서의 계측결과를 보더라도 알 수 있는 바와 같이 포착된 초음파는 T_1 의 경로를 전파한 것이라 할 수 있고, 수신된 초음파가 어느 경로를 따른 것인가를 미리 확실하게 판단하는 것은 곤란하다 할 수 있다.

이상의 고찰로부터 균열깊이보다도 수십mm이상 작은 거리밖에 탐촉자를 떨어뜨리지 않은 경우는 표면을 전파해서 도달하는 초음파를 포착하기 쉽기 때문에 주의가 필요하다고 할 수 있다.

4. 결론

(1) 균열깊이에 대해 탐촉자-균열사이의 거리를 50mm정도로 너무 작게 하면, 균열깊이를 추정할 때 가정한 경로를 따르지 않는 초음파 전파시간을 계측할 우려가 있으며, 균열깊이에 비해 탐촉자 간격을 너무 크게(탐촉자-균열사이의 거리가 300mm 이상)하면, 균열깊이 추정 시에는 오차를 포함하기 쉽다.

(2) 탐촉자의 직경이 50mm인 경우에는 탐촉자의 기점을 탐촉자 중심으로 설정하는 것보다 탐촉자 앞면으로부터 9mm내측에 들어오는 것으로 하는 것이 실제 균열깊이를 추정함에 있어 더 양호한 결과를 나타내었다.

참 고 문 헌

1. 콘크리트 및 강재 비파괴 시험 평가·검증방안 연구보고서, 한국시설안전기술공단, 2002. 12