

초음파 측정법을 이용한 콘크리트 균열보수재의 충진성능 평가에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Evaluation of Injection-ability for Concrete Crack-Repair Materials by using Ultrasonic Pulse Measurement Method.

이 상 현* 이 한 승** 박 성 우***
Lee, Sang Hyun Lee, Han Seung Park, Sung Woo

ABSTRACT

A concrete is easy to happen crack. So it requires crack-repair work to solve quality deteriorations of a building because of cracks. When crack is filled with crack-repair materials, it is difficult to find out how depth it was injected. So in this study we evaluated the injection depth with using indirect and oblique methods, ultrasonic pulse measurement method of NDT. The results of this study showed that both methods are possible to evaluate penetration depth of crack-repair materials and indirect methods is thought to be more useful one than oblique one.

1. 서론

콘크리트는 내진성, 내화성, 내구성은 우수하나 균열발생이 불가피하며, 이로 인한 구조물의 안정성, 내구성, 사용성 저하는 반드시 해결해야할 문제점으로 지적되어지고 있다. 따라서 균열이 발생하게 되면 보수여부를 판단하고, 보수가 필요할 경우 사용성 저하를 막기 위해 균열부위를 보수재로 충전하는 보수시공을 하는 것이 일반적이다. 이 때 보수재의 충전성능을 평가하는 방법¹⁾으로는, 코어채취를 통한 육안확인법과, 적외선 탐사법, Acoustic Emission법등이 적용되고 있다. 하지만 코어채취 방법은 단면결손으로 인한 구조물의 안정성 저하 우려와 재보수의 불편함이 문제시되며, 적외선 탐사법 또는 Acoustic Emission법은 현장적용 및 확인과정에 어려움이 있다. 따라서 비파괴적으로 구조물의 손상없이 보수재의 충전상태를 평가할 수 있는 방법에 대한 연구가 사회적으로 요구되어지고 있으며 이러한 측정방법이 개발된다면 보수공사의 품질향상에 크게 기여할 것이다. 이러한 이유에서 본 논문은 비파괴 검사법(NDT)인 초음파 측정법을 이용하여 콘크리트 균열부위에 충전된 보수재의 충전깊이 측정가능성에 대해 검토하는 것을 목적으로 한다.

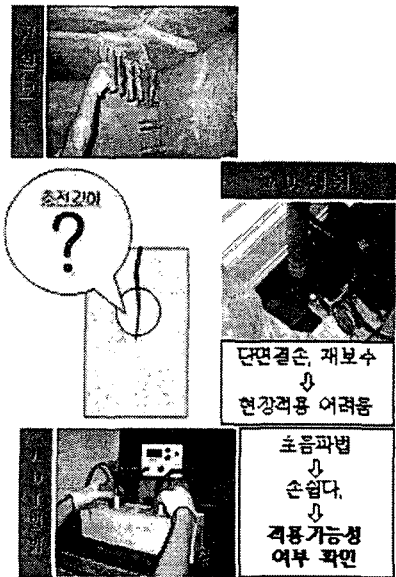


그림 1 연구흐름도

*정회원, 한양대학교 대학원 건축공학과, 석사과정

**정회원, 한양대학교 공학대학 건축학부 조교수, 공학박사

***정회원, 삼성물산(주) 건설부문 기술연구소 재료시험실 수석연구원

2. 연구내용 및 실험개요

2.1 초음파법에 의한 충전성능 평가개요

충전성능평가는 일반 초음파기기를 사용하였다. 초음파 측정기는 발진자에서 나온 초음파가 매질을 통과하여 수신자에 도달할 때까지의 시간을 측정하여 μs 단위로 나타낸다. 단일 매질내에서의 초음파의 도달시간은 식1과 같이 매질의 탄성계수와 밀도에 영향을 받는다^{2),3)}. 따라서 매질이 바뀔 경우에는 E와 ρ 의 변화로 도달시간의 차가 발생하게 된다(그림3.가). 그리고 탐촉자간 매질이 없을 시에는 초음파의 도달시간이 측정되지 않는다. 따라서 매질 내에 공극이 있다면 초음파의 도달시간은 길어지게 된다(그림3.나). 여기에 착안하여 균열부위에 보수재를 주입하였을 경우 충전성능(공극유무)에 따라서 초음파의 도달시간에 차이가 생길 것이며 이를 통해 충전성능을 평가할 수 있을 것이다(그림3.다). 충전성능평가방법은 그림 3과 같다. 콘크리트 모체와 보수재에서의 도달시간을 a, b, 균열이 있는 실험체에서의 도달시간을 c, 충전성능을 달리한 곳에서의 도달시간을 d, e라 했을 때, 도달시간 a-e 사이의 관계는 다음과 같다(c,d,e 실험체 구성재료는 콘크리트이다).

$$\text{도달시간의 비교: } b < e < d < a < c$$

균열부위가 충전이 잘 될 수록 도달시간은 b에 가까워 질 것이며, 충전이 안 될 수록 a 또는 c에 가까워 질 것이다. 균열보수재로는 열팽창계수가 시멘트와 비슷한 무기질계의 보수용 모르타르를 사용하였으며, 콘크리트의 배합강도 및 배합표는 표 1과 같다. 초음파 측정방법은 탐촉자간 위치에 따라 직접법, 사각법, 간접법이 있으며(그림 2) 본 실험에서는 사각법, 간접법을 사용하였다.

$$T_0 = \sqrt{\frac{E}{\rho} \times \frac{1-v}{(1+v)(1-v)}} = \frac{L}{V} \quad (\text{식.1})$$

V=초음파 전파속도 E=동탄성계수
 T_0 = 초음파 도달시간(μs) v=포아송 비
 ρ =매질의 밀도 L=탐촉자 사이의 측정거리(mm)

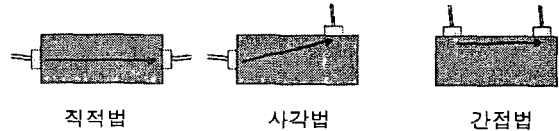
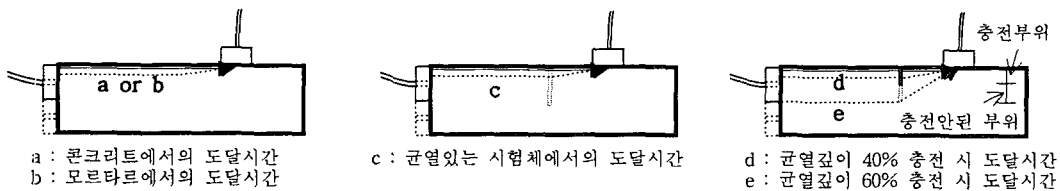


그림 2 초음파 도달시간 측정방법



a : 콘크리트에서의 도달시간
 b : 모르타르에서의 도달시간

c : 균열있는 시험체에서의 도달시간

d : 균열깊이 40% 충전 시 도달시간
 e : 균열깊이 60% 충전 시 도달시간

가. 매질별 초음파 도달시간

나. 균열있는 시험체에서 도달시간

다. 충전깊이별 도달시간

그림 3 충전성능 평가 방법

2.2 실험개요

실험체에 사용된 콘크리트의 배합은 표1과 같고, 실험체는 충전률을 달리하여 표2와 같이 제작했다.

표 1 실험체 배합표

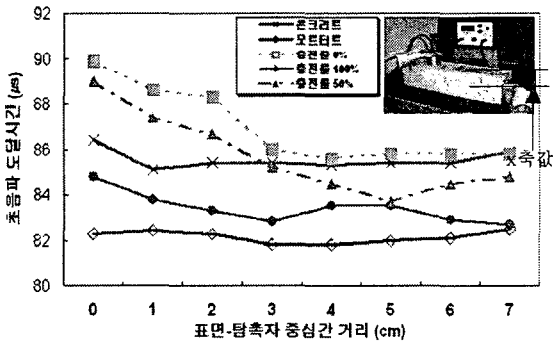
W/C (%)	공기량 (%)	단위 중량 (kg/m ³)					AE제 (g/m ³)
		물	시멘트	플라이애쉬	잔골재	굵은골재	
55	4	157	286	51	845	904	840

표 2 실험체 제작개요

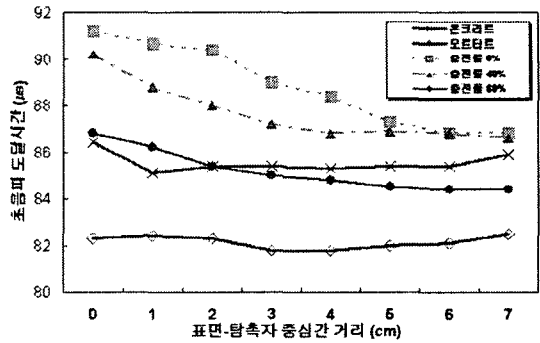
실험체크기 (W×D×L,mm)	균열깊이	보수재 충전깊이	충전률(%)
100×100×400	2cm	0cm	0
		1cm	50
		2cm	100
	5cm	0cm	0
		2cm	40
		3cm	60

3. 실험결과 및 분석

표 2의 실험체와 균열이 없는 단일 콘크리트와 모르타르에서의 탐촉자 위치 변화에 따른 초음파 측정 시간은 그림 4, 5와 같다. 모르타르에서의 도달시간은 콘크리트에서의 도달시간보다 항상 짧다. 이는 콘크리트내 잔골재, 굵은골재, 공극등에 의해 초음파가 매질을 통과하여 진행시 저항을 받기 때문으로 생각되어진다. 또한, 균열부위가 모르타르로 완전충전된 실험체(충전률 100%)에서의 도달시간은 모르타르에서의 시간보다는 길지만 콘크리트에서의 시간보다는 항상 짧음을 알 수 있다(그림 4-가, 5-나). 이는 전달시간이 느린 콘크리트의 일부구간이 전달시간이 빠른 모르타르로 대체되었기 때문이다. 또 충전률이 0%인 실험체의 도달시간은 콘크리트에서의 전달시간보다 항상 긴 것을 확인할 수 있다. 이는 초음파의 전달경로인 매질중 일부가 비어 초음파 전파시 영향을 받기 때문이다(그림 4-가,나, 5-가,나). 하지만 그

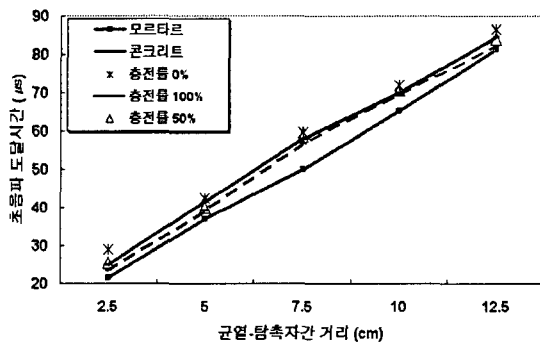


가. 균열깊이 2cm

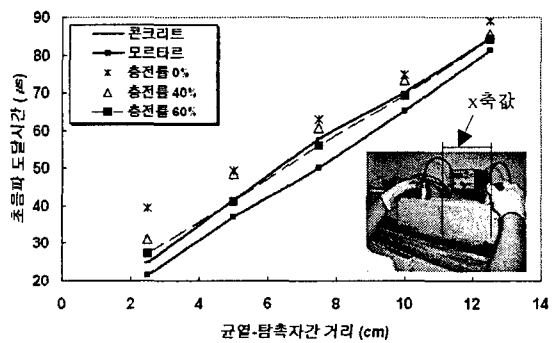


나. 균열깊이 5cm

그림 4 보수재의 충전성능 평가를 위한 초음파 도달시간 (사각법)



가. 균열깊이 2cm

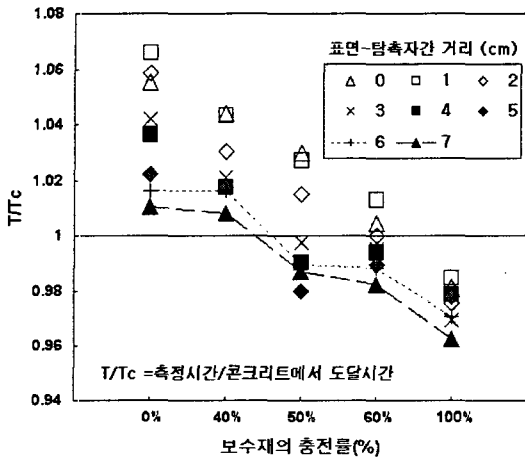


나. 균열깊이 5cm

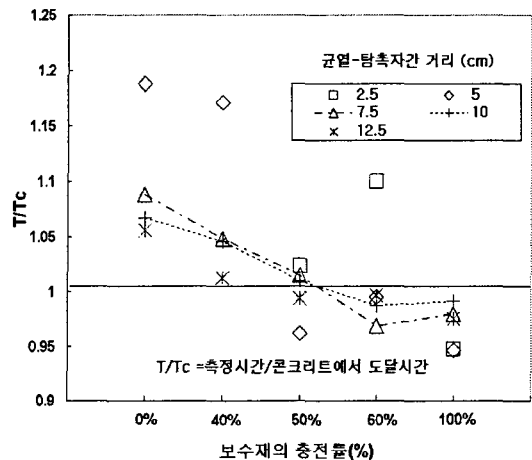
그림 5 보수재의 충전성능 평가를 위한 초음파 도달시간 (간접법)

의 충전률에 대해서는 콘크리트 모체, 모르타르에서의 도달시간과 측정된 시간과의 관계과 그래프상 x값 변화, 즉 탐촉자의 위치 변화에 따라 도달시간이 콘크리트에서의 시간보다 길거나 작게 나온다. 전술한 이론적 가정에 근거하면, 충전률 50%에서의 도달시간은 콘크리트보다 빨라야하나 그림, 5-가의 x=0에서의 실제 도달시간은 콘크리트보다 길게 나와 이 지점에서만의 도달시간측정으로는 충전률 50%라고 예측하기 힘들다. 그림 6은 탐촉자 위치별 콘크리트 모체에서의 도달시간을 기준으로 보수재의 충전상태별 도달시간을 상대적인 비로 나타낸 값이다. 0%, 40%, 100% 충전시에는 도달시간이 기준값의 상단, 하단에 몰려 탐촉자 위치에 관계없이 충전성능을 평가할 수 있으나 충전률 50%, 60%는 기준값을 중심으로 측정값이 양쪽으로 나뉘어져 있어 충전성능여부를 결정하기 힘들다. 따라서 충전성능 평가를 위해서는 탐촉자의 위치를 옮겨가며 측정할 필요가 있으며 성능평가 방법은 다음과 같다.

모르타르내 도달시간 < x축 전구간에서 초음파 도달시간 < 콘크리트 도달시간 ⇨ 100% 완전 충전 상태
 콘크리트 도달시간 < x축 전구간에서 초음파 도달시간 ⇨ 균열부의 0 - 40% 충전 상태
 x축 일부구간에서 초음파 도달시간 < 콘크리트 도달시간 ⇨ 균열부의 50 - 60% 충전 상태



가. 사각법에 의한 측정



나. 간접법에 의한 측정

그림 6 보수재의 충전성능 평가를 위한 초음파 도달시간

4. 결론

초음파 측정법을 이용하여 균열보수재의 충전성능의 평가가능성에 대하여 검토한 결과는 다음과 같다.

- 1) 모재와 보수재, 균열의 충전부에서의 초음파의 도달 시간을 측정, 이 도달시간의 비교를 통해 균열보수재의 충전성능을 평가할 수 있다고 판단된다.
- 2) 사각법, 간접법 모두 충전된 보수재의 충전성능 평가가 가능하며, 도달시간 측정을 통한 충전성능 평가면에서는 그래프상 데이터 구분이 쉽게되는 사각법이, 그리고 현장적용측면에서는 탐촉자가 한면에 놓이는 간접법이 보다 유용할 것으로 판단된다.

참고 문헌

1. 한국건설기술연구원, “건축구조물 보수·보강 공법의 성능평가에 관한 연구”, pp.390-400, 200, 11.
2. 임홍철, 김연수, 이상균, 송영철 “초음파를 이용한 콘크리트 시편의 피복두께 이하에 위치한 균열깊이 탐사”, 한국구조물진단학회, 제6권, 제4호, pp.181-188, 2002, 10.
3. 오병환, 김광수, 김세훈 “초음파 속도법을 이용한 콘크리트 구조물의 균열깊이 측정”, 1999년도 한국콘크리트학회 가을학술발표회 논문집 제11권 2호, pp.659-662, 1999, 11.