

콘크리트 두께측정 장치 개발 및 현장적용

Concrete Thickness Measurement Device Development and Field Application

*주윤종¹, #이원²

*Y. J. Ju¹, #W. Yi(yiwon@ssu.ac.kr)²

¹ 숭실대학교 기계공학과, ² 숭실대학교 기계공학과

Key words : Concrete, Integrity, NDE, Impact Technique, Resonance Frequency

1. 서론

최근 사회가 발전되고 여러 사회 간접자본들의 특수한 형태의 구조물들이 많이 적용됨에 따라 비파괴측정에 의한 구조물의 거동 및 상태를 정량적인 평가할 수 있는 기법이 개발되고 있는 현실이며 콘크리트의 구조물의 붕괴는 엄청난 재산 피해는 물론이고, 인명 피해도 야기 시킬 수 있어서 이들의 안전도 관리가 매우 중요하다.

콘크리트 구조물의 시멘트 및 골재의 관리 상태, 레미콘의 배합조건, 공사 현장까지의 운반 방법 및 시간, 공사 현장에서의 타설 및 양생 조건, 시험방법 등에 의하여 크게 변동되기 때문에 콘크리트 실제의 품질은 관리용으로 사용되는 원통형 표준공시체의 품질과는 반드시 일치하지 않는 것이 보통이다. 또한 현재까지 다양한 구조물 및 실제 건설 중에 있거나 사용되고 있는 콘크리트 구조물에 대한 안정성과 사용상 확보 문제는 그 중요성이 날로 증대되고 있을 뿐만 아니라, 구조물의 노화에 따른 내구성 진단, 건전성 평가, 사용 수명 예측, 손상 열화 원인의 규명, 유지관리 및 보수 보강문제가 현실적으로 대두되리라는 것은 부인 못할 명백한 사실이다. 비파괴평가(Nondestructive Evaluation; NDE)는 구조물 및 재료 등의 건전성(integrity) 및 안전도를 주기적으로 확보하기 위한 보수검사(maintenance inspection) 기술의 한가지이며 콘크리트 구조물의 검사에도 적용된다.

본 연구에서 사용한 충격공진법은 1983년 Sansalone, M.와 Carino, N.J에 의해서 처음으로 개발된 비파괴검사기법으로 충격에 의해 탄성파를 발생시켜 내부의 결함이나 외부표면에서 반사되어 오는 반사파의 공진 현상을 이용한다. 최근 현장에 적용되고 있는 장비의 대부분이 국외에서 들어온 장비이며 수입에 따르는 많은 자금이 중소기업에게 많은 부담으로 작용하고 있기 때문에 국내의 충격공진법의 기술을 이용해서 실제 저가의 장비로 현장에서 손쉽게 구조물의 안전성을 평가할 수 있는 방법을 모색하고자 콘크리트 두께측정 장치를 개발하여 현장에 적용시키는 연구를 실행하였다.

2. 충격-공진 시험의 기본원리

탄성과 충격 공진법은 1980년대에 개발되어 콘크리트 슬래브의 두께 측정, 공동 탐상, 박리검사, tendon과 같은 보강재의 상태 진단, 다짐 불량으로 인한 honeycomb 구조 검출 등과 같은 콘크리트 구조물에 대한 안전도 진단의 수단으로 널리 활용되고 있는 비파괴 시험법이다. 충격 공진 시험법은 초음파 Pulse-echo 시험법으로는 불가능한 재질 내의 산란이 큰 재료에 대하여 적용할 수 있다.

충격 공진 시험법은 탄성파의 공진 현상을 이용하는 방법으로 표면에 부착된 탐촉자에 일정한 주파수를 지닌 진동을 가하여 반사되는 탄성파와 가한 진동 사이에 일어나는 간섭현상을 이용한다. 즉, 탄성파가 반사되어 되돌아오는 시간 δt 가 탄성파의 진동주기 T 의 정수배가 될 경우에는 공진이 일어나서 진폭이 커지고, 그렇지 못한 경우에는 진폭이 작아지게 된다. 따라서 공진이 일어날 조건은

$$\delta t = nT = \frac{n}{f} \quad (n = 1, 2, 3 \dots) \quad (1)$$

와 같이 주어진다. 일반적으로 (1)식의 조건 중에서 $n = 1$ 인

기본 진동모드가 가장 잘 일어나고 공진이 일어나는 주파수 f 를 알면 시험체의 두께는

$$D = c \frac{\delta t}{2} = \frac{c}{2f} \quad (2)$$

와 같이 구할 수 있다. 이때 분해능(Δf)은 깊이에 따라 다르게 되고 측정오차는 다음과 같다

$$\delta D = \frac{c}{2f^2} \Delta f = \frac{2}{c} D^2 \Delta f \quad (3)$$

일반적으로 시험체를 공진시키기 위해서 그에 맞는 주파수를 발생시키는 방법보다는 Fig. 1과 같이 좁은 시간폭의 충격을 표면에 가하면 동시에 여러 주파수 성분이 발생된다. 그 중에서 시험체의 공진 주파수와 맞는 성분만 긴 시간 동안에 지속되면서 공진을 일으키게 되고 표면에 부착된 탐촉자를 사용하여 진동파형을 수신하고 그 신호의 주파수를 분석하여 시험체의 두께, 공극의 유무 등을 판정한다.

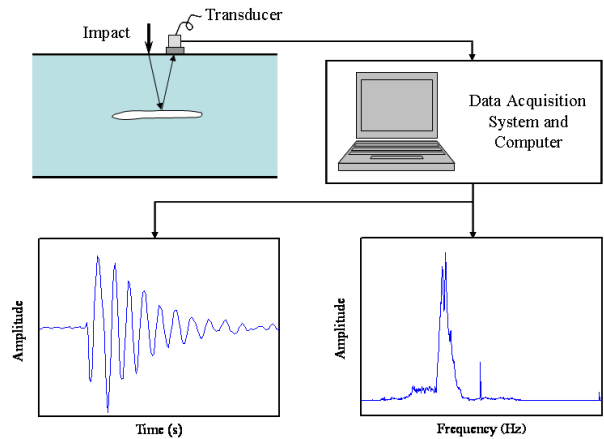


Fig. 1 Impact resonance test principle

3. 충격-공진 시험장치 개발

충격-공진 시험 장치의 구성은 Fig. 1에 개략적으로 나타나 있다. 탄성파의 진동을 수신하여 전기적 신호로 변환하여 전달하기 위한 수신 탐촉자가 필요하며, 이 진동의 전기적 아날로그 신호를 받아들여 디지털 신호로 출력하는 리시버가 기본적으로 구성된다. 그리고 리시버에서 출력된 디지털 신호를 가공 및 처리하여 원하는 데이터로 만들어 정보를 획득하는 컴퓨터 기반의 소프트웨어로 구성된다. Fig. 2은 제품 구성도 이다.

제작된 충격-공진 시험 장비에는 여러 주파수 대역의 탄성파를 수신할 수 있는 광대역 수신 탐촉자가 사용되었다. 탐촉자에서 전달되는 아날로그 신호를 수신하여 처리하는 리시버는 입력되는 신호의 왜곡이나 변형이 최소화 되고 원하는 정보를 획득하도록 신호 증폭기, 임피던스 매칭 회로부분과 A/D보드 등으로 이루어져 있으며, 주파수 필터링이 가능하도록 제작 되었다. 또 시간에 따라 변화하는 동적신호를 변조가 최소가 되도록 신호를 10 μ s 이하의 속도로 연속적으로 계측이 가능하도록 신호

표본추출 속도(Sample rate)가 100kHz 이상이 되도록 제작 하였다.

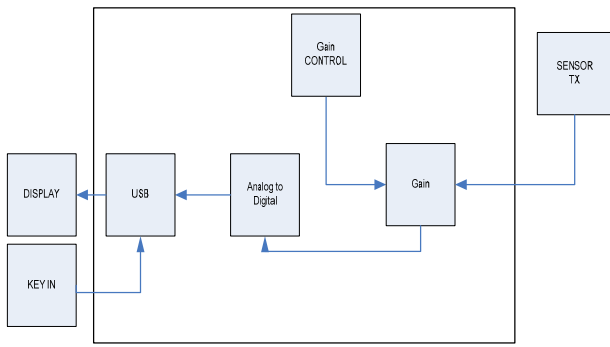


Fig. 2 Product configuration

4. IPC 거더 콘크리트 철근 현장 적용 결과

충격-공진 시험을 이용하여 콘크리트 구조물의 두께측정을 수행하였다. 구조물은 Fig. 3의 건설 중인 교량의 IPC 거더 (Incrementally Prestressed Concrete Girder)로 위치에 따라 두께가 다른 구조물에서 두께가 다른 여러 부분의 측정점을 선택하여 두께측정을 수행하였다. 구조물의 위치에 따라 음속의 편차는 발생할 수 있지만, 보통의 콘크리트의 음속인 3,500m/s로 설정하여 검사를 진행하였으며, Fig. 4와 같이 구조물의 두께를 측정하기 위해서 충격 원(볼, 망치)을 사용하여 벽체에 충격을 가하고 그 진동 신호를 광대역 압전형 탐촉자를 사용하여 수신하였다. 진동신호는 10 μ s 간격으로 총 4096개의 파형을 수신하였으며, 주파수 스펙트럼을 통한 공진 주파수에 대한 데이터를 함께 취득하였다.



Fig. 3 Thickness measurements taken concrete structures



Fig. 4 Concrete thickness measurement using impact resonance test

충격-공진 시험결과 취득된 공진 신호를 주파수 스펙트럼을 이용하여 각각의 주파수 성분으로 분리하고 공진이 가장 크게 일어난 주파수대역을 선택하여 공진을 일으킨 깊이를 측정하였다. Table 1은 충격-공진 시험법을 통한 두께 측정결과와 실제 측정위치의 두께를 나타내고 있다. 각 두께에서 측정은 5회 이상 반복하여 평균값을 산출하고 검사체의 실제 두께와의 오차를 계산하였다. 두께측정 결과 약 2~5% 정도의 오차를 보였으며, 이 오차는 충격-공진 시험 시 설정된 콘크리트의 음속 3500m/s와 실제 검사체의 음속과의 차이로 발생된 것으로 판단된다. 즉, 콘크리트 구조물과 동일한 대비시험편을 이용하여 검사체의 음속을 측정하여 충격-공진 시험에 적용하면 좀 더 정확한 두께측정이 가능할 것으로 보인다.

Table.1 Impact resonance test results of thickness measurement

실 두께(mm)	측정두께 (mm)	오차(mm)	오차(%)
200	210.1	10.1	5
226	233.5	7.5	3.3
280	290.8	10.8	3.8
293	299.4	6.4	2.2
400	416.7	16.7	4.2
464	475.5	11.5	2.5

5. 결론

본 연구에서는 충격-공진 시험을 이용하여 콘크리트 구조물의 두께측정 장치를 개발하였고 현장적용결과 콘크리트 두께 및 내부 공동구에 대한 정확한 위치와의 오차는 거의 없는 것으로 확인되었다. 초음파 탐촉자를 개발하였으며, 개발된 탐촉자의 경우 기존 국외에서 개발된 제품에 비해 성능면에서 문제가 없음을 확인할 수 있었다. 약간의 문제점들만 보완이 되면 국내 수익화 사업으로 산업체에서는 충분한 실현 가능성이 있을 것으로 사료되며, 외국의 제품에 비해 성능이나 품질 면에서 비교 우위를 갖추게 되어 외국에서 고가의 장비 수입 대체 효과를 가져 올 수 있을 것이라 사료된다.

후기

본 논문은 “2008 산학 공동기술개발지원사업” 지원으로 수행되었음.

참고문헌

1. Lin, Y., Sansalone, M., and Carino, N. J., "Impact Echo Response of Concrete Shaft" Geotechnical Testing Journal, GTJODJ, 14.2, 121-137, 1991
2. Kweon G. C. and Kim Y. R., "Determination of Asphalt Concrete Complex Moulus with Impact Resonance Test," Transportation Research Record 1970, 151-160, 2006
3. 김영환, 구자용, 김병극, 김영길, 임우혁, 최재우, "콘크리트구조물에 대한 초음파 탐상법 개발-3차년도," 과학기술처 특정연구개발사업, 한국표준연구소, 1998
4. 박석균, 임홍철, "전자파를 이용한 콘크리트 구조물의 비파괴 검사," 콘크리트학회지 제 10권2호 특집 : 건축구조물의 비파괴 검사방법, 1998.4
5. 이종득, "콘크리트 구조물 비파괴 검사," 일광, 1996.4