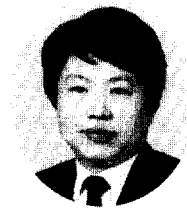


특 집

비파괴 시험에 의한 R/C 구조물의 평가

비파괴 시험법의 분류 및 특성

Characteristic Classification of Nondestructive Testing Methods



심 중 성*

1. 서 론

비파괴 검사 또는 비파괴 시험(Non Destructive Test : NDT)이라 함은 재료나 제품 또는 구조물 등의 검사 혹은 시험대상물을 손상없이 조사 대상물의 성질, 상태 또는 내부구조를 알아보기 위한 조사기법 전체를 일컫는다. 금속재료로 구성된 제품이나 구조물에 대한 비파괴 시험법은 시험방법 및 적용방법이 이미 규격화 또는 표준화 되어있는 실정이나, 콘크리트의 경우에는 금속재료와 비교할 때 상대적으로 비파괴 시험법의 그 적용 시도 자체가 매우 늦었다. 콘크리트의 경우가 금속재료보다 비파괴 시험법의 적용이 늦어진 가장 큰 이유로는 콘크리트 재료는 매우 비균질성(nonhomogeneous composite material)이라는 점을 들 수 있다. 뿐만 아니라, 콘크리트 구조물의 경우에는 콘크리트의 배합, 타설 및 양생 과정에서의 숙련도(workmanship)의 차이에서 발생하는 불확실성의 변화폭이 매우 크기 때문에 비파괴 시험법의 콘크리트에의 적용은 보다 많은 연구가 필요할 수 밖에 없었다고 본다. 최근 ASTM

(American Society of Testing and Materials) 또는 ISO(International Standard Organization) 등에서 콘크리트에 적용되었던 비파괴 시험법에 관한 그 동안의 연구결과를 근거로 표준화 작업을 시두르고 있으나, 아직까지는 금속재료의 그것과 비교해 볼 때 미흡한 실정이다.

현재까지 개발되어 콘크리트에 적용되는 비파괴 시험법은 적용목적에 따라 크게 두가지 유형으로 분류될 수 있다. 첫번째 범주는 콘크리트의 강도 추정을 목적으로 하는 비파괴 시험방법이며, 또 다른 범주는 콘크리트 강도이외의 물성 또는 상태를 조사하기 위한 목적을 가진 비파괴 시험방법을 들 수 있다. 첫번째 범주에 속하는 것으로는 표면타격법, 관입저항법, 인반법, 코어 채취법 등을 들 수 있으며, 콘크리트의 함수량, 밀도, 무게, 균열, 공극 또는 절근의 위치, 직경, 부식정도 등을 조사 목적으로 하는 두번째 범주에 속하는 시험법으로는 진위측정법, 전기저항법, 자기법, 직외선법, 초음파법, 전자파법, 방사선법, 공진법 등을 들 수 있다. 본 특집기사에서는 현재까지 개발된 비파괴 시험의 적용 목적 및 장비의 작동원리를 간단하게 소개하고자 하며, 각각의 방법에 대한 장점 및 단점을 사용자 측면에서 기술함으로써

* 심희원, 한양대학교 토목공학과 부교수

그 특징을 서술하고자 한다.

본 기사에서 다루게 될 비파괴 시험법의 기술 순서는 조사대상 구조물의 입장에서 볼 때 사용 장비가 조사대상 구조물의 국부적인 파괴를 요구하는 방법을 우선 분류하여 기술하였으며, 이어서 접촉식 방법 및 비접촉식 방법 순으로 나열하였다.

2. 국부 파괴법

본 절에서는 콘크리트 제품이나 구조물의 물성 또는 상태를 조사하기 위한 시험법중, 시험을 위해서는 반드시 대상물의 국부적인 파괴를 요구하는 시험법을 소개하고자 한다.

2.1 관입저항법

총을 사용하여 탐침을 콘크리트내에 관입시킨 후 침투깊이를 측정함으로써 콘크리트의 압축강도 및 균질성을 평가하는 방법이다. 장비가 간단하여 작동하기 쉬우므로 작은 훈련으로도 현장에서 쉽게 작동할 수 있고 시험체에 손상을 입히지 않는다는 장점이 있으나, 정확한 콘크리트 강도를 제시하지 않을 수 있고 탐침을 제거하기 어려워 콘크리트의 표면에 손상이 남을 수도 있다는 단점이 있다. 대표적인 예로서 Winsor Probe Test 및 Pin Penetration Test를 들 수 있다.

2.2 인발법(Pull-Out Test)

머리부분을 크게 한 기구를 콘크리트에서 뽑아 내는데 필요한 힘을 측정함으로써 콘크리트의 압축 또는 인장강도를 알 수 있는 방법이다. 이 방법은 현장 콘크리트의 강도를 비교적 정확하게 제시하며, 시험을 실시하는 기술수준이 낮아도 되므로 현장 의뢰인에 의해서도 쉽게 사용될 수 있다는 장점이 있으나 시공중에 인발시험기구를 사진에 삽입해 놓아야 하고 뽑혀진 콘크리트 덩어리에 대한 최소한의 보수가 필요하다는 단점이 있다.

2.3 Pull-Off Test

원형 강탐침이 콘크리트에 접촉된 후 휴대용 기

구를 사용하여 콘크리트가 파괴 될 때까지의 인장력을 측정함으로써 콘크리트의 압축강도를 예측하는 방법이다. 기계가 간단해 높은 기술을 가진 사람이 필요하지 않고, 장비가 저가라는 장점이 있으나, 표준 시험절차가 아직까지 통용되지 못하고 있고 실적이 제한되어 있으며 보수가 필요하다는 단점이 있다.

2.4 코아시험법

원통형 코아를 구조물로 부터 채취하여 적절한 크기로 시험체를 다듬질한 후 압축강도, 인장강도, 또는 정적 탄성계수를 측정하는 시험법으로서 현장콘크리트의 강도 및 품질을 가장 신뢰성있게 결정하며 채취된 시험편을 파괴전 후에 콘크리트의 화학적 검사를 위한 시료로서 사용할 수 있다는 장점이 있으나, 구조물에 주는 손상이 상대적으로 크며 이에 대한 보수가 필요하다는 단점이 있다.

2.5 Fiber Optics

유안만으로는 볼 수 없는 구조물의 내부를 유연한 광학섬유, 렌즈, 조망기기로 이루어진 fiber optics 장비를 이용하여 관찰하는 방법으로 균열이나 천공구멍에 삽입되어 집안경을 통해 콘크리트의 균열, 팽창 또는 골재부착상태 등을 조사할 수 있다. 이 방법은 장비의 취급과 작동이 쉽고 멀리 떨어진 조사 대상의 경우에도 선명한 상을 제공하며 카메라를 연결해 사진을 찍을 수도 있고 호

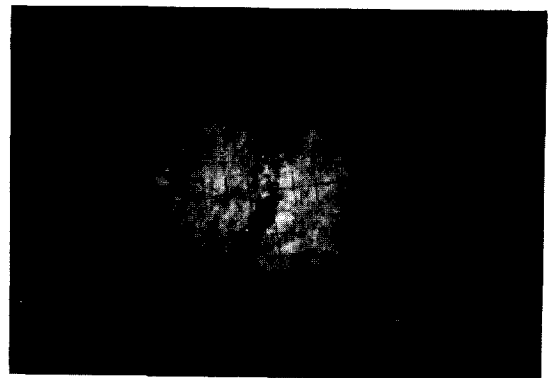


사진 1 Fiber Optics에 의해 발견된 내부균열

스가 유연하므로 여러 방향을 볼 수 있다는 장점이 있다. 그러나 장비가 고가이고 만족한 접근을 하기 위해서는 대상물에 많은 친공이 필요하다는 단점이 있다. 사진 1은 fiber optics 장비를 사용하여 조사된 균열을 사진으로 남긴 결과의 예이다.

3. 접촉식 방법

지난 수십년 동안 가장 널리 사용되고 있는 비파괴 시험법은 조사대상물을 해치지 않고 표면에 서만 접촉함으로써 대상물의 강도, 또는 균질성, 균열, 풍화 등의 물성을 간접적으로 예측해대거나, 내부상태를 조사해내는 시험법들이다. 본 절에서는 이들의 작동원리 및 특성을 소개하고자 한다.

3.1 표면타격법

스프링향을 받는 질량이 콘크리트의 표면을 타격한 후 튕겨진 거리를 측정함으로써 콘크리트의 강도 또는 균질성을 평가할 수 있는 방법으로서 장비가 가볍고 다루기 쉬우나 결과값이 콘크리트의 표면조건에 많은 영향을 받으므로 정확한 강도 예측치는 주지 못하는 단점이 있다. 대표적인 예로서 슈미트 해머(schmidt hammer) 시험법을 들 수 있다.

3.2 Acoustic Impact법

대상구조물을 연장으로 타격할 때 발생하는 음파를 측정함으로써 구조물에 대한 감쇠특성과 현재 구조물에 생긴 결함을 알아내는 시험법으로 콘크리트의 균열, 박리, 균질성을 조사하고 철근의 위치를 발견하는데 사용된다. 장비를 휴대하기 쉽고 작동하기 쉽다는 장점이 있으나 결과값이 시험 대상의 형상과 크기에 많은 영향을 받는다는 단점이 있다.

3.3 초음파법

모든 파는 매질의 밀도에 따라 그 진단속도가 다르다는 원리를 이용한 방법으로써 콘크리트 표

면에 위치한 발진자에서 발진된 초음파가 콘크리트 매질을 통해 인접한 수신자로 되돌아오는 시간을 측정함으로써, 콘크리트의 균질성, 품질, 압축 강도, 탄성계수 등을 예측하는 방법이다. 장비가 비교적 싸고 작동하기는 쉬우나, 발진자 및 수신자와 콘크리트 사이의 밀착정도가 중요하고 결과값의 해석이 어려워 전문기술과 훈련이 필요하다. 또 밀도, 골재량, 수분량의 변화와 철근의 존재가 결과값에 영향을 미친다는 단점이 있다.

3.4 자기법

콘크리트에 매입되어 있는 철근은 자기장에 영향을 미친다는 원리를 이용해 철근의 피복두께, 크기, 위치 등을 탐지하는데 사용되는 방법이다. 휴대가 가능하여 철근의 시공정밀도를 검사하거나 콘크리트에 배치된 철근을 탐지해 콘크리트 코아채취 위치를 결정하는데 널리 사용되고 있다. 그러나 콘크리트에 철근이 과다 배치되거나 철근망이 있는 경우에는 해석하기 힘들고 일정두께 이상의 덮개를 갖는 경우에는 그 결과값을 신뢰할 수 없다. 대표적인 장비로는 pachometer, cover meter, 또는 R meter 등을 들 수 있다.

3.5 전위법

철근과 콘크리트간의 전위차를 측정하여 전위도를 작성함으로써 철근의 부식정도를 평가하는 시험으로서, 장비의 휴대가 가능하여 야외측정이 쉽고 신뢰성있는 정보를 제공한다는 장점이 있다. 그러나 반드시 철근에 접근해야만 한다는 어려움과 시험체의 염분량과 온도에 따라 결과값이 변할 수 있다는 단점이 있다.

3.6 Acoustic Emission법

균열의 성장 또는 소성변형이 일어나는 동안 발생하는 급격한 에너지 발산으로 음파가 발생하는데 이 음파를 대상구조물의 표면에 설치된 센서를 통하여 포착함으로써 구조물의 거동을 감시하는 방법으로서 재하시험시 병용에 좋고 파괴가능한

지역에의 설치가 가능하며 장비를 휴대하고 작동하기에 편리하다는 장점이 있다. 그러나 장비를 운용하기에 비용이 많이 들고 구조물에 가해지는 하중으로 인해 균열이 성장할 때만 적용할 수 있으며 시험을 계획하고 결과값을 해석하기 위해 광범위한 지식이 필요하므로 전문가가 필요하다는 단점이 있다. 현재까지는 실험실에서의 적용만으로 한정되어 있을 뿐 실적이 부족한 상황이어서 더 많은 연구가 필요한 방법이다.

4. 비접촉식 방법

본 기사의 2절에서 언급되었던 비파괴 시험법들은 조사대상물을 부분적으로 파괴시킨다는 의미에서는 비파괴 시험법이라고 할 수 없지만, 조사대상물 전체에 대한 영향이 적으므로 넓은 의미에서의 비파괴 시험종류에 포함되어 왔다. 이에 비해 3절에서 언급되었던 비파괴 시험법들은 조사방법이 모두 대상구조물을 접촉해야만 가능한 방법들이다. 본 절에서는 최근에 개발되어 실제 구조물에 적용되고 있는 비파괴 시험법중 조사대상 구조물을 접촉하지 않고도 조사가 가능한 비접촉식 비파괴시험방법들에 대한 언급을 하고자 한다.

4.1 전자파법

이 글의 2절에서 언급되었던 비파괴 시험법들하여 콘크리트 내의 공극, 박리, 또는 구조체의 두께를 검사하는 방법으로 깊이에 관계없이 조사대상 구조물의 한쪽면만 노출되어도 시험이 가능하다.

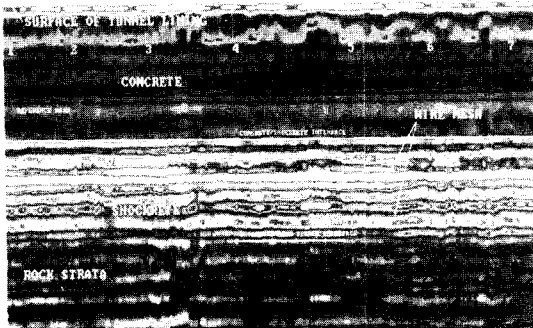


사진 2 Radar법에 의해 조사된 터널의 라이닝 및 시공상태

다. 그러나 조사단면에서 얻어내는 화상을 기록으로 남길 수 있다는 장점이 있으나 장비가 고가이고 절단이 존재하면 공극의 발견가능성이 매우 줄어들고 시험절차가 아직 개발중이라는 단점이 있다. 이 방법은 일명 radar법이라고도 불리운다. 사진 2는 터널의 라이닝 및 숏크리트 시공상태를 조사한 결과를 화상으로 남긴 예이다.

4.2 적외선법

구조물에서 발산하는 적외선을 탐지하여 콘크리트 내의 균열, 박리, 내부공극 등을 알아내는 방법이다. 콘크리트의 결함을 찾아내는데 비교적 정확한 방법으로 넓은 지역에도 빠르게 적용할 수 있다는 장점이 있으나, 특별한 전문기술과 고가장비를 필요로 하는 단점이 있다. 이 방법은 표면과 내부의 온도차가 높을 때에 특히 효과적이며, infrared thermography방법으로도 불리운다. 사진 3은 콘크리트 내의 결함을 적외선 탐사장비로 조사한 결과를 화상정보로 남긴 예이다.



사진 3 적외선법에 의해 탐지된 내부 콘크리트의 화상정보

4.3 방사선법

X선 또는 γ 선 등의 방사선의 흡수율은 시험체의 두께와 밀도에 영향을 받는다는 원리에 근거해 절단의 상태, 위치, 크기와 콘크리트의 밀도, 진진

성, 단면재질, 두께 등을 조사하는 방법이다. 내직 결함을 찾을 수 있고 광범위한 재료에 적용이 가능하며 영구자료가 필름에 보관되고 장비휴대가 가능하다는 장점이 있다. 그러나 장비가 고가이고 X선 또는 γ 선 등의 방사선 발생장치의 안전성에 대한 신뢰성 확보문제 및 반드시 조사대상물의 양쪽에서 접근해야 한다는 점, 그리고 방사선을 이용해서 얻은 결과에 대한 판독전문가를 필요로 한다는 단점이 있다.

4.4 공진법

두 반사면 사이에서 공진 조건을 일으켜 현상에서 공극과 박리를 발견하는데 사용한다. 콘크리트의 내부를 빠르고 쉽게 조사할 수 있고 얼마간의 깊이까지도 관통 가능하지만 음파의 범위에서 작동하므로 초음파에 관한 해결책이 없다는 점과 아직 개발중이라는 단점이 있다.

5. 결 언

콘크리트에의 비파괴 시험법의 적용시기는 급속재료에서의 그것보다 매우 늦은 감이 있었으나, 최근에 이르면서 연구, 개발 중인 콘크리트 비파괴 시험법은 급속재료에 적용되고 있는 방법과 유사한 단계로까지 발전되고 있다.

본 특집기사에서는 현재까지 개발되어 실 구조물에 적용되고 있는 콘크리트 비파괴 시험법을 시험장비의 적용기법에 따라 크게 3가지 유형으로 분류하였으며, 그들은 각각 국부파괴법, 접촉식 방법 및 비접촉식 방법으로 명명하였다. 이 글 2절에서 4절에 이르기까지 언급되었던 각각의 비파괴 시험법의 작동원리 및 특정 언급에서 알 수 있듯이 초기에는 조사대상물을 국부적으로 파괴하거나, 접촉함으로써 콘크리트의 강도 또는 기타 물성을 혹은 내부상태를 조사하는 방법이 사용되고 있었으나, 최근에 이르면서 비접촉 방법인 진자파, 적외선 또는 방사선 등을 이용하는 조사방법이 출현하고 있다.

본 특집은 “비파괴 시험에 의한 R/C 구조물의

평가”라는 주제로 준비되었으며, 5가지 세부 토픽을 기획하였다. 본 기사에서는 비파괴 시험법의 분류 및 각각의 기법에 대한 특성만을 개략적으로 설명하였으나, 두번째 및 세번째 기사에서는 콘크리트 재료 및 구조물의 내구성 측면에서의 조사 및 평가방법에 대해 보다 상세한 내용을 다루도록 기획하였으며, 실 구조물에의 적용현황 및 앞으로의 전망에 대해서는 토목구조물 및 건축구조물로 나누어 실무에 종사하시는 회원분들께 기고를 부탁드렸다. 바라건대 본 특집이 국부 파괴법에서 비접촉식 비파괴 시험방법으로까지 날로 발전해가고 있는 콘크리트 구조물의 비파괴 시험분야에 관심이 있으시던 회원들께 소중한 정보 제공의 기회가 되었으면 한다.

참 고 문 헌

1. Carino, N.J., and Malhotra, V.M., "Handbook of Nondestructive Testing of Concrete," CRC, 1991.
2. Carino, N.J., and Sansalone, M., "Impact-Echo : A New Method for Construction Materials," Nondestructive Testing and Evaluation for Manufacturing and Construction, Hemisphere Publishing Corporation, New York, 1990.
3. ACI Committee 364 "Guide for Evaluation of Concrete Structures Prior to Rehabilitation," ACI Material Journal, American Concrete Institute, 1993.
4. Long, A.E., and Murray, A., "Pull-Off Partially Destructive Test for Concrete," In Situ/Nondestructive Testing of Concrete, SP-82, American Concrete Institute, pp. 327-350, 1984.
5. Malhotra, V.M., "Testing Hardened Concrete : Nondestructive Methods, Monograph" Vol. 9, American Concrete Institute, pp.204, 1976.
6. 심종성, "콘크리트 구조물의 유지관리를 위한 최근 연구동향", 건설안전, 6월호(pp. 24~27), 7월호(pp. 52~56), 1990.
7. 심종성, "최근 콘크리트 구조물의 열화진단 및 보수에 관한 국내 현황", 콘크리트 학회지, 제2권, 제1호, pp. 22~30, 1990년 12월. 