

## 초음파법을 이용한 콘크리트 역타시공 이음부 공극의 화상검출특성

### Non-destructive Inspection of Top-Down Construction Joints of Column in SRC Structure using Ultrasonic Method

박석균\*, 백운찬\*\*, 이한범\*\*, 김명모\*\*\*

Park Seok-Kyun\*, Baek Un-Chan\*\*, Lee Han-Bum\*\* and Kim Myoung-Mo\*\*\*

**초 록** 최근 역타시공법 등에 의한 콘크리트 구조물의 시공이 증가 추세에 있다. 이 경우, 자주 발생되는 신·구타설 콘크리트 시공이음부의 공극은 향후 구조물의 구조적인 특성과 내구성 등에 큰 영향을 미치게 된다. 그러나 현재 제안되고 있는 비파괴 검사법으로는 효과적으로 이음부 공극을 평가하기에 많은 한계가 있다. 본 연구에서는 시공이음부의 콘크리트 충전상태를 평가하기 위해 철골철근 콘크리트와 무근 콘크리트 시험체내에 공극을 모의제작한 후, 초음파속도 측정을 실시하고, 화상처리기법을 이용하여 비교적 용이하게 해석 가능한 방법에 대해 검토하였다.

**주요용어:** 역타시공법, 이음부 공극, 초음파 속도법, 화상처리법

**Abstract** The joint treatment of concrete is one of the technical problems in top down construction method. Joints created with the top down construction result in serious weakness from the aspects of both structural and water-barrier function. Ultrasonic method was used for the inspection of top down construction joints of a various column in SRC structure in this study. The advantages and limitations of this method for non-destructive inspection in top down construction joints are investigated. As a result, it has been verified that the semi-direct measurement method is more effective than the other methods for detecting the voids of construction joints using ultrasonic method.

**Keywords:** top-down construction method, construction joint, ultrasonic method, image processing

## 1. 서 론

최근 부지에 여유가 없는 시가지나 연약 지반에서의 구조물 공사, 심도가 깊은 지하에서의 구조물 공사의 시공이 늘어나고 있다. 이러한 공사에서 노동력의 부족이나 공기 단축의 필요에 따라 역타공법에 의한 시공법이 사용되는 경우가 많아지고 있다. 역타공법이란 연약지반 시공에서 안전성이 높은 지하구조물 구축을 위한 시공기술로서, 지하와 지상층을 동시에 시공해나가는 공법이다. 통상의 시공방법으로 지하와 지상 구조물을 시공할 경우

는 기초 지반(지하)을 해당 심도까지 먼저 파낸 후 구조물을 시공한 다음 지상 구조물을 연이어 건설해 나가는 것이 일반적이거나, 본 공법은 지상층을 시공하면서 지하구조물을 역순으로 시공해 나가면서 지상층의 하중을 지지해 나가는 방법이다.

따라서, 이러한 역타공법에 의해 시공된 구조물의 시공 이음부는 항상 구(舊)콘크리트의 아래면이 되므로 그 밑에 이어서 치는 신(新)콘크리트의 블리딩이나 침하에 의하여 이음면은 일체가 되지 않는 것이 보통이다. 이음부 처리에 대한 문제점을 개선하기 위해 여러 공법이 제안

(접수 : 2000. 6. 26) \* 대전대학교 토목공학과 (Dept. of Civil Engineering, Taejon University, Taejon 300-716),

\*\* 대전대학교 대학원, \*\*\* 포항산업과학연구소

되어 사용되고 있으나, 경우에 따라 발생하는 이음부의 공극 상태에 대해서는 그 평가방법이 중요한 현안으로 대두되고 있다. 그러나, 이에 대한 연구는 아직 기초단계로서 초음파검사방법의 경우는 전파속도의 측정선도(線圖)비교에 의한 정상적인 판단에 의하고 있을 뿐, 화상처리기법을 이용한 정량적 해석기법에 대한 연구는 아직 시도되고 있지 않다.

본 연구에서는 콘크리트 역타 공법의 효과적이고 안정적인 시공을 위해 역타 시공에 따른 이음부의 콘크리트 충전상태를 초음파속도의 화상처리기법을 이용해 비교적 용이하게 분석·평가하기 위한 비파괴검사방법에 대해 검토한다. 이를 위해 해당 구조부재 및 시공방법의 모의 실험을 통하여 이음부 형상에 따른 공극종류별 결함부와 건전부 시험체를 제작하고, 초음파의 각 측정방법에 의한 측정을 실시하여 이음부의 충전상태 평가 즉, 공극부의 검출특성을 화상처리기법을 이용해 분석하여 보았다.

2. 초음파법의 이론적 배경

초음파를 이용한 콘크리트 비파괴검사법에는 전파시간 혹은 전파속도를 측정하는 방법과 공진 주파수로부터 탄성계수를 구하는 방법(공진법) 등이 있다. 전파속도 측정에서는 50~100kHz 정도의 공진 주파수를 갖는 발신용 탐촉자를 통해 펄스전압(전기적 신호)을 진동(기계적 신호)으로 바꿔 탄성파를 콘크리트 내에 발생시키고, 이를 수신용 탐촉자로 검출한다. 바로 이 탐촉자간 거리를 측정하고, 발·수신 도달시간을 재측해 나누어줌으로써 전파속도를 구한다.

콘크리트용 초음파 측정법은 탐촉자의 배치형태에 따라 Fig.1에 나타낸 바와 같이 대칭법, 사각법, 표면법으로 나눌 수 있다. 전파속도는 종파(P파)의 전파속도를 구하는 것이나, 표면법의 경우에는 표면파가 측정되기 쉽기 때문에 주의가 필요하다.

3. 실험계획 및 조건

3.1. 시험체 제작 및 실험개요

시험체는 Fig. 2 ~ Fig. 3 에서와 같이 역타시공법에 의해 공사가 시행되는 구조물에서 충전상태에 따라 가장 큰 문제가 되는 구조부재인 기둥을 대상으로 철골철근콘크리트(steel-frame reinforced concrete: SRC)조(평면공극)를 비롯하여, 무결합 무근콘크리트조, 결함 무근콘크리트조(V형, 평면형 공극) 등 4종류를 제작하였다. SRC 조의 치수는 50×50×100(cm)로 모의축소 제작하였고, 무근 콘크리트조의 치수는 50×50×50(cm)로 하였다.

SRC조는 내부에 D19의 주철근을 20cm간격으로 배근 하였으며 피복두께가 4cm이고, H형강의 치수는 30×30×150(cm)이다. 이는 기존의 철근만 있는 콘크리트 시험체에 대해 철골(H형강)이 존재할 때 초음파 측정시 어떠한 영향(간섭)을 보이는가를 비교, 검토할 수 있는 의미도 있는 것이며, 역타시공법이 주로 SRC조 콘크리트 시공으로 실시되는 점을 모의하기 위한 것이다. 또한, 역타시공 콘크리트에서 시공방법에 따른 시공 이음부의 발생 형태를 고려하여 결함부의 무근 콘크리트조는 V형, 평면형 공극으로 나누어 시험체를 제작하였고, SRC조에서는 평면형 공극만을 인공 제작하여 삽입하였다. 삽입 공극은 발포스티로폼을 이용하여 제작하였다. 결함부 무근 콘

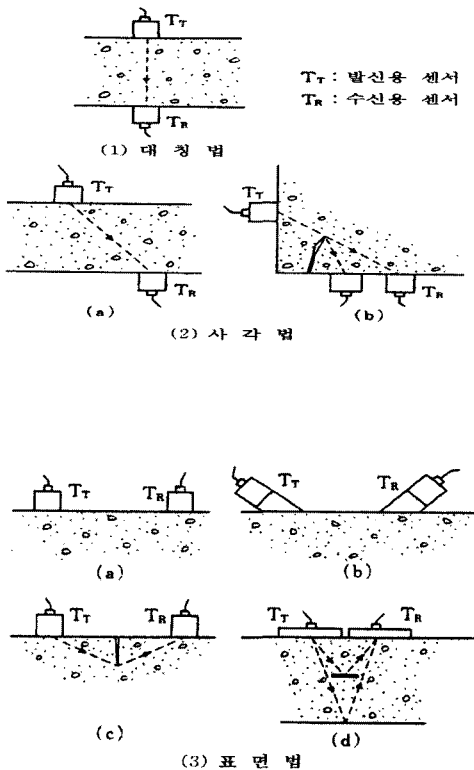
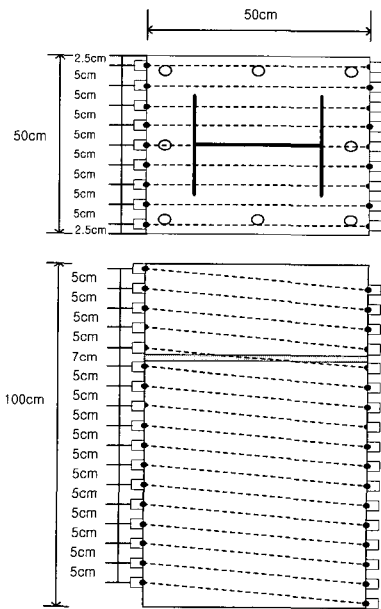


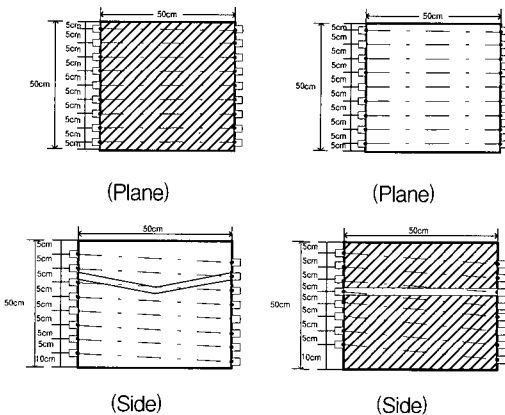
Fig. 1 Types of ultrasonic transducer arrangement



에 의해 측정된 초음파속도값을 화상으로 나타내 출력한 결과를 나타내었다. 화상처리는 Fortner Software사의 "Noesys(Version 1.3.1)"를 이용하여 텍스트파일로 전환한 후, kernel function 등을 이용해 연속된 화상으로 출력 처리하였다. 다음은 각 측정방법 및 시험체 종류별로 얻어진 각 측정결과에 대해 분석 및 고찰해 본다.



a) Steel framed reinforced concrete



b) Non-reinforced concrete [V and Plane type Void]

Fig. 3 Transducer arrangement by semi-direct type

#### 4. 1. 1. 대칭법

##### 1) SRC조

Fig. 4(a)에서와 같이 해당 단면의 초음파 속도분포결과를 보면, 상단의 일부(붉은색 부분)와 일부 양단 모서리부(파란색 부분) 등을 제외한 나머지 콘크리트부분(녹색 부분)은 비교적 균질하게 타설 되었음을 알 수 있으며, 가운데 부분(파란색 부분)은 철골(H형강)부분으로 철골이 초음파속도 측정에 간섭함을 확연히 알 수 있는 부분이다. 즉, 초음파가 콘크리트내를 전파하면서 강재(금속)부를 만나게 되면, 그 때의 전파속도가 콘크리트를 전파할 때보다 훨씬 빨라져 이로부터의 신호가 상대 수신 탐촉자에 먼저 도달되어 초음파속도가 빠르게 나타나게 된다. 따라서, 본 결과로부터 콘크리트 내부의 철골(H형강)의 존재유무를 상대적으로 추정할 수 있음을 알 수 있다.

한편, 공극부에 대한 초음파속도도 상대적으로 낮게 나타남을 알 수 있으나, 본 대칭법에서는 아주 뚜렷하게 나타나지는 않아, 해당 부위가 공극부인지 강도 저하부 또는 타설 불량부인지 정확히 구분되어지기는 어려움을 알 수 있다.

##### 2) 무결함 무근 콘크리트조

Fig. 4(b)에서 보는 바와 같이, 전체적으로 색상의 변화가 없이 일정한 색으로 나타나는 것으로 보아 타설이 불균질하거나 결함부 또는 이물질의 간섭이 없이 비교적 균질하게 타설되어 있음을 알 수 있다.

##### 3) 결합 무근 콘크리트(평면형, V형 공극)조

Fig. 4(c),(d)에서 보는 바와 같이, 양쪽 모두 중앙의 공극부(붉은색·노란색부분)가 확실하게 보이며 그 외에 전체적으로는 상단의 일부분((c)의 노란색부분)을 제외하고 콘크리트가 균질하게(녹색부분) 타설되어 있음을 알 수 있다. 그리고, 평면형, V형 공극의 형태에 따른 영향은 평면형 공극에서보다 V형 공극의 경우가 훨씬 주변 신호와의 차이가 뚜렷이 발생되고 있다. 이는 그만큼 대칭형 측정법의 경우에 있어 V형 공극이 평면형 공극보다 해당 탐촉자의 측정개소 수에 따른 결합부의 영향을 상대적으로 많이 받기 때문인 것으로 사료된다.

#### 4. 1. 2 사각법

##### 1) SRC조

Fig. 5(a)에서 보는 바와 같이 시험체에 설치한 '—'자형 공극부가 뚜렷이 나타남을 알 수 있어 대칭법에서와

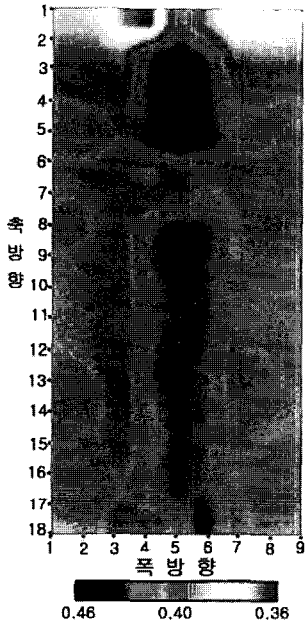
는 달리 해당부분에 공극(결함)부가 존재함을 알 수 있다. 사각법에서는 철골부분(파란색부분)도 역시 확실히 나타나, 철골(H형강) 등 이질 재료의 영향이 있더라도 역타시공법에 의해 발생하는 이음부 공극의 검출에 훨씬 유리함을 알 수 있다.

2) 결함 무근 콘크리트(평면형, V형)조

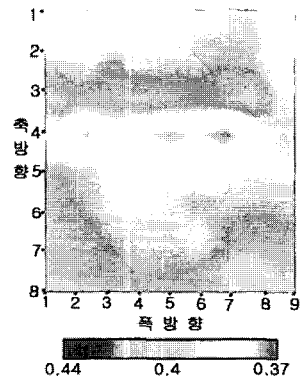
Fig. 5(b),(c)에서 보는 바와 같이 이 경우 역시 공극부가 뚜렷이 나타나 검출이 대칭법에서보다 훨씬 유리함을 알 수 있다. 그리고, 평면형, V형 공극의 형태에 따른 영향은 일부 구간에서 속도의 차가 나타나긴 하였으나, 형태까지를 식별하기는 곤란함을 알 수 있다. 따라서, 앞에서의 대칭형 측정법에서의 공극 형태별 차이와 대비할 경우, 상대적인 결함의 형태를 대략적으로는 추정할 수 있을 것으로 사료된다.

5. 결 론

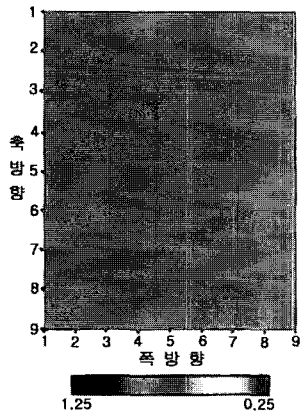
이상의 초음파속도법과 화상처리기법을 이용해 콘크리트 역타시공 기동모의 시험체에 대한 이음부 상태를 조사하기 위한 본 연구에서 얻어진 결론을 정리하면 다음과 같다.



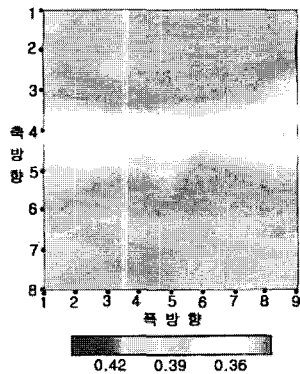
(a) SRC [Plane type void]



(c) Non-reinforced concrete [Plane type void]



(b) Non-reinforced concrete [no void]



(d) Non-reinforced concrete [V type void]

Fig. 4 Contour diagram of ultrasonic velocity by direct arrangement of transducer ( $\times 1000(\text{m/s}) = \text{ultrasonic velocity}$ )

(1) 이음부 공극(결합)의 식별은 대칭법을 사용할 때보다 사각법을 사용할 경우가 구조부재의 형식(SRC조, 무근콘크리트조)에 관계없이 공극의 발생여부를 효과적으로 판정할 수 있음을 알 수 있었고, 철골 철근이 매설된 조건에서도 공극(결합)의 검출이 가능함을 알 수 있었다. 특히, 철골(H형강)이 매설되어 있는 부분의 초음파속도

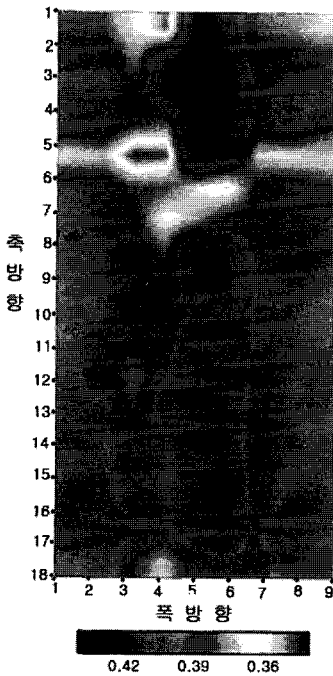
분포차가 대칭법과 사각법의 측정법에 관계없이 비교적 뚜렷이 나타나(더 빠르게 나타남), 간접적으로 철골(H형강)의 존재여부를 확인할 수 있었다.

(2) 평면형, V형 공극의 형태에 따른 영향은 일부 구간에서 속도의 차가 나타나긴 하였으나, 형태까지를 식별하기는 곤란함을 알 수 있었다. 그러나, 대칭법과 사각법을 병용해 공극 형태별 차이와 대비할 경우, 상대적인 결합의 형태 차(평면형 여부)를 대략적으로는 추정할 수 있을 것으로 사료된다.

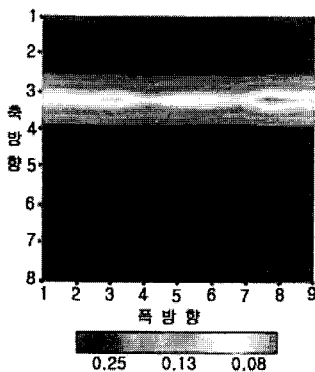
(3) 따라서, 이상의 연구결과를 바탕으로, 역타시공법에 의해 타설된 콘크리트 구조물에 발생되기 쉬운 이음부 공극의 판정에 초음파검사법이 유효하고, 화상처리기법에 의해 측정 데이터를 해석할 경우, 보다 효과적이고 용이하게 결합부 등의 판정이 가능함을 알 수 있었다.

**참고문헌**

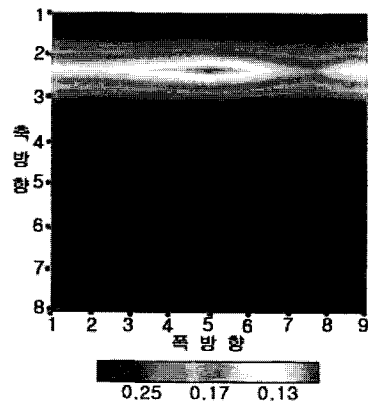
[1] 박석균, “콘크리트 비파괴검사 실용화 연구(1)”, 쌍용중앙연구소 연구보고서, 1988.  
 [2] 박석균 외, “토목기술강좌-토목구조물 설계 및 유지관리(II)-”, 대한토목학회, Vol. 6, No.2, 2000. 3  
 [3] 魚本健人 外, “コンクリート構造物の非破壊検査”, 森北出版株式会社.  
 [4] 大津政康, “コンクリート工學における非破壊試験法の現状”, 콘크리트工學, Vol.31, No.12, 1998. 6



(a) SRC [Plane type void]



(b) Non-reinforced concrete [Plane type void]



(c) Non-reinforced concrete [V type void]

Fig. 5 Contour diagram of ultrasonic velocity by semi-direct arrangement of transducer ( $\times 1000(m/s)$ =ultrasonic velocity)