

# 적외선법과 레이더법에 의한 콘크리트 역타시공 이음부위의 충전상태 평가시험

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

박 석 균\*  
Park, Seok Kyun

임 영 수\*\*  
Lim, Young Su

차 은 용\*\*  
Cha, Eun Yong

김 명 모\*\*\*  
Kim, Myoung Mo

### 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.

Several case studies for the inspection of top down construction joints of column in SRC structure using radar and infrared thermography method. The advantages and limitations of these methods for non-destructive inspection in top down construction joints are investigated.

### 1. 서 론

최근 부지에 여유가 없는 시가지나 연약 지반의 공사, 심도가 깊은 지하공사의 시공이 늘어나고 있으며, 이러한 공사에서 노동력의 부족이나 공기 단축의 필요에 따라 역타공법이 사용되는 경우가 많아지고 있다. 이러한 역타시공의 시공이음은 항상 구콘크리트의 하면이 되므로 그밑에 이어서치는 신콘크리트의 블리딩이나 침하에 의하여 이음면은 일체가 되지 않는 것이 보통이다. 이음부 처리에 대한 문제점을 개선하기 위해 여러 공법이 제안되어 사용되고 있으나, 경우에 따라 발생하는 이음부의 공극 상태에 대해서는 그 평가방법이 중요한 현안으로 대두되고 있다.

본 연구에서는 콘크리트 역타 공법의 효과적이고 안정적인 시공을 위해 역타 시공에 따른 이음부위의 콘크리트 충전상태를 비파괴적으로 조사·분석·평가하기 위한 방법에 대해 실험한다. 이를 위해 해당 시공방법의 모의실험을 통하여 결함부와 건전부 시험체를 제작하고, 이에 따른 적외선과 레이더의 복합 비파괴검사를 실시하여 분석한다.

\* 정회원, 대전대학교 토목공학과 교수

\*\* 정회원, 대전대학교 토목공학과, 석사과정

\*\*\* 정회원, 포항산업과학연구원, 선임연구원

## 2. 검사방법의 이론적 배경

### 2.1 레이더법

그림 2.1에서와 같이 전자파를 송신안테나로부터 콘크리트 내부를 향해 방사하면, 전자파는 콘크리트와 전기적 성질이 다른 물질, 예를 들면, 철근, 공동 등의 표면에서 반사되어 다시 콘크리트 표면으로 되돌아오기 때문에 수신안테나로 수신할 수 있다. 전자파를 송신하고부터 수신하기까지의 시간을 측정함으로써 목표물까지의 거리를 측정 할 수 있다.

콘크리트 내부의 전자파의 속도  $V$ 는 다음 식으로 나타낼 수 있다. 반사물체까지의 거리  $D$ 는 그림 2.1에 나타낸 바와 같이 송신시각으로부터 반사파의 수신시각까지의 시간차를  $T$ 라 하면 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$V = \frac{c}{\sqrt{\epsilon}} \quad (2.1)$$

$$D = \frac{1}{2} VT \quad (2.2)$$

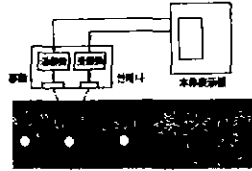


그림 21 콘크리트 레이더 원리도

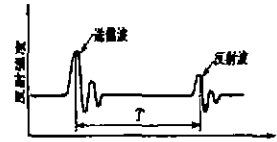


그림 22 반사시간

여기서,  $C$  : 진공중에서의 전자파의 속도 ( $3 \times 10^8 \text{ m/s}$ ),  $\epsilon$  : 콘크리트의 비유전율(比誘電率)

### 2.2 적외선법

적외선 영상장치에 의한 콘크리트구조물의 이상부 검출은 어느 정도의 거리에서 비접촉으로 실시할 수 있기 때문에 넓은 면적을 빠른 시간 내에 검사할 수 있는 유효한 방법이다.

물체의 표면온도는 그 표면을 구성하는 재질, 비열, 열전도율, 열전달율 등의 열데이터의 차이에 의해 온도변화 응답이 다르다. 따라서, 이들 물체의 열데이터가 다른 영역, 즉 콘크리트 이상부와 건전부는 그림2.3과 2.4에서와 같이 열전도율  $\lambda$ 의 차이에 의해 온도차  $\Delta T$ 를 나타낸다.

열전도율  $\lambda$ 는 물질종류 및 그 상태에 따라 정하고, 식(2.3)으로 나타낼 수 있다,

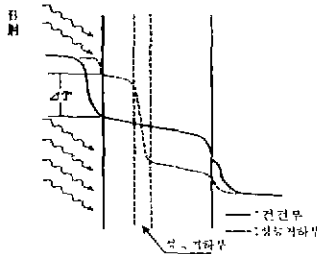


그림 23 온도차가 있는 벽내의 열통과성 모델

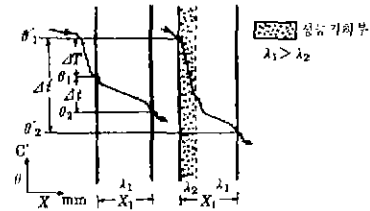


그림 24 건전한 콘크리트와 성능저하(열화)부를 포함한 콘크리트의 열투과모델

$$\lambda = \frac{dQ}{dA} \frac{1}{d\Delta t/dx} [W/(m \cdot K)] \quad (2.3)$$

여기서, Q: 전열량, A: 면적,  $\Delta t$ : 온도차, x: 열이동길이

공기의 열전도율은 낮고, 콘크리트 이상부에는 공기를 포함하는 것이 많기 때문에 그 값은 낮아진다. 건전한 콘크리트와 표면이 성능저하(열화)된 콘크리트의 온도차는 성능저하(열화)부에 공기가 많이 포함됨에 따라 그림 3.17와 같이 열통과를 모델화할 수 있다. 여기서, 평행벽내의 열유속은 식 (2.4)에 의해 나타낼 수 있고, 열전도율의 차이가 표면온도에 영향을 주는 것을 알 수 있다.

$$q = \frac{\lambda}{x} (\theta_1 - \theta_2) \quad (W/m^2)$$

$$\therefore \Delta t = q \frac{x}{\lambda} \quad (2.4)$$

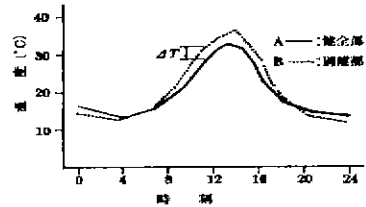


그림 2.5 경시온도변화 모델

여기서, q: 열유속( $W/m^2$ ),  $\lambda$ : 열전도율, x: 벽두께,  $\Delta t$ ,  $\theta_1 - \theta_2$  건전부와 이상부의 온도경시 변화모델을 그림 2.5에 나타내었다. 이것은 1일 동안이라도 건전부와 이상부와의 온도차가 일사량에 따라 영향을 받는 것을 나타내고 있다.

이들 물체의 미약한 온도차  $\Delta t$ 를 적외선 센서에 의해 열 영상정보로서 측정하여, 비파괴·비접촉으로 이상부분을 명료한 패턴(면계측방법)으로 검출할 수 있다.

### 3. 실험

#### 3.1 시험체 제작

본 실험은 SRC(철골 철근 콘크리트)조, 무근 콘크리트조로 나누어, 건전부와 공극부의 형상에 따라 총 4조의 시험체를 제작하였으며, 콘크리트 배합표는 표-3.1과 같다.

표-3.1 콘크리트 배합표

W/C (%)	s/a (%)	단위재료량 (kgf/m <sup>3</sup> )				G <sub>max</sub>	Slump (cm)	공기량 (%)	Total
		W	C	S	G				
64	48	165	258	892	972	25	7.5	4.5	2,287

측정장비로는 임펄스방식의 RC레이더JEJ-60B를 사용하였고, 적외선 장비는 일본 AVIONICS사의 TVS를 사용하였다.

#### 3.2 실험방법

##### (1) 레이더법

역타시공 구조 부내(기둥)를 모의 하기 위해 SRC조의 내부에 D19의 주철근을 20cm간격으로 배근하고 덮개가 4cm, H형강(30×30×1.5)을 사용 하여 시험체를 제작하였다.

무근 콘크리트조 시험체는 건전부와 결함부로 나누어 실험하였으며, 무근 콘크리트조 결함부는 이음부의 형상에 따라서 인위적으로 공극부분을 만들어 공극이 있는 부위와 없는 부위간의 레이더 화상을 비교·분석 하였다. 역타 콘크리트에서 시공이음이 항상 구콘크리트 하면이 되므로 결함부는 평면형, V형 공극부로 나누어 시험체를 제작하였다. 평면형은 지면에서 30cm의 위치에 결함부를 -형으로 만

또고, V형은 한쪽경사면이 가로25cm 세로10cm 경사 20° 인 결함 공극부를 V형으로 만들어 측정했다. 이상에서 설명한 각 시험체의 형상 및 치수, 실험방향을 그림 3.1에 나타내었다.

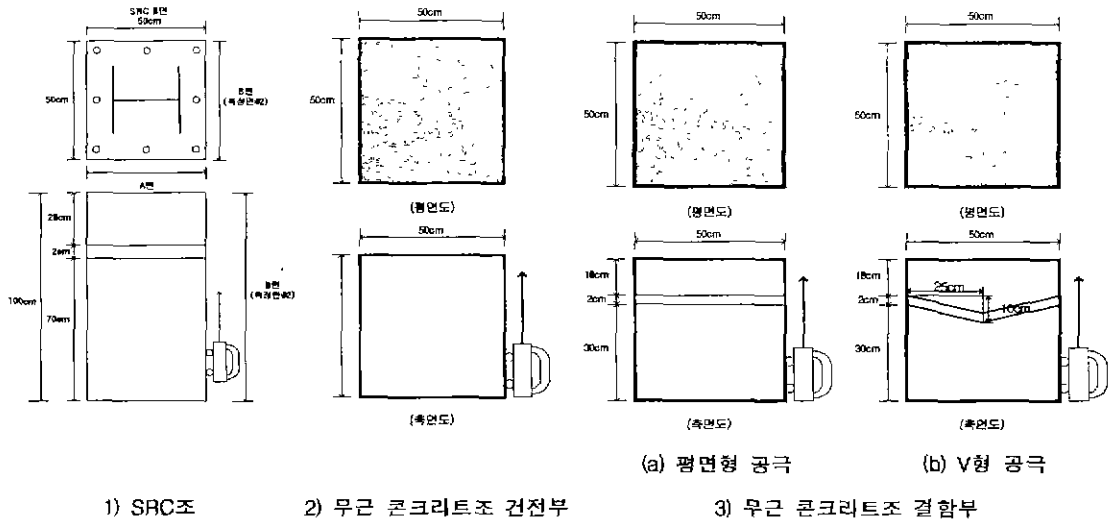


그림-3.1 시험체 레이더측정 개요

(2) 적외선법

공극부 표면을 1~2mm두께의 시멘트 모르타르로 얇게 덧붙여 육안으로는 보이지 않게하고, 시험체에서 240cm 떨어진 곳에서 적외선 카메라로 SRC조의 공극부와 건전부를 촬영하고, 무근 콘크리트조에 대해서도 동일조건하에서 그림 3.2에서와 같이 시험체를 배치하여 측정을 실시하였다.

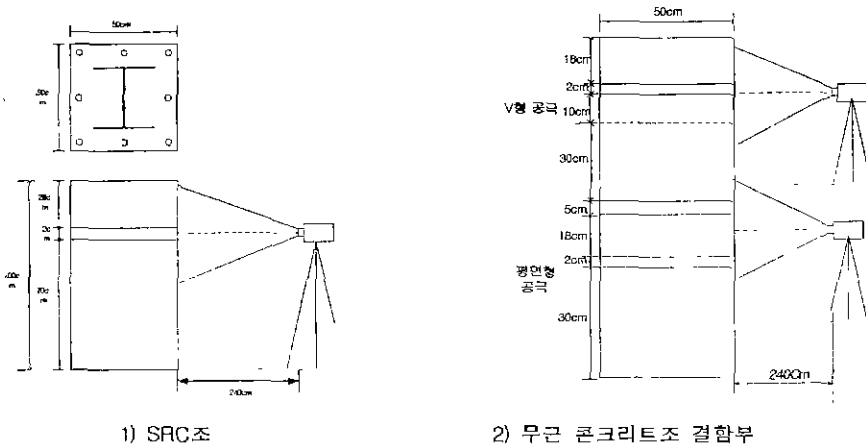
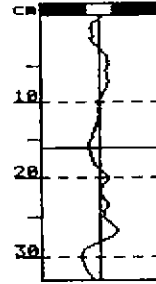
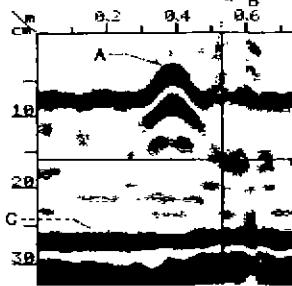
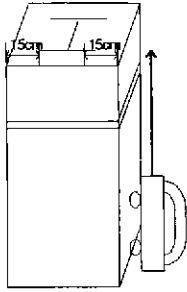


그림-3.2 시험체 적외선측정 개요

#### 4. 결과 및 고찰

##### 4.1 레이더법

레이더에 의한 모의 해석에 관한 사항 중 SRC 시험체에 관한 시험결과를 그림 4.1에 나타내었다. 그림 4.1.2)의 레이더 화상에서 표시한 A부분은 띠철근에 의한 반사신호이고, B부분은 평면형 공극부에



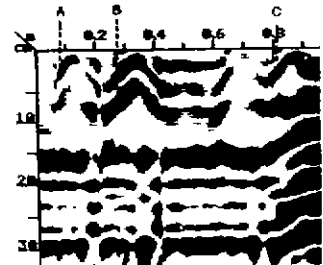
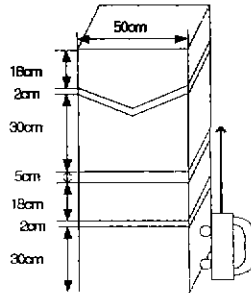
1) SRC에서의 레이더측정개념도

2) SRC에서의 레이더 화상  
그림-4.1 SRC 시험체

3) SRC에서의 반사파형

서오는 반사신호, 그리고 C 부분은 H형강의 철골면으로 부터오는 반사신호이다. 공극부에서의 반사파형은 그림 4.1.3)에 나타냈는데 시작부분이 (+)파형인 것으로 미루어 공극부라는 것을 알수 있다.

무근 콘크리트에서의 실험결과는 그림 4.2에 나타내었다. 무근 콘크리트에서는 하단부터 2cm의 평면형 공극, 5cm의 평면형공극, 상단에 V형 공극을 동시에 레이더로 측정하여 그림 4.2, 2)와 같은 레이더 화상을 도출하였다. 그림에서 A부분은 하단의 2cm 평면형 공극의 반사신호이고, B부분은 5cm의 평면형 공극의 반사신호이며, C 부분은 V형 공극의 반사신호이다. 여기서 주목할 것은 반사신호의 형상이 평면형 공극인 A,B부분과 V형 공극인 C부분이 다소의 차이를 보이고 있다는 것이다.

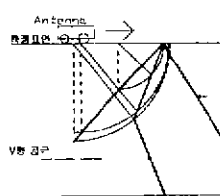


1) 레이더측정 개념도

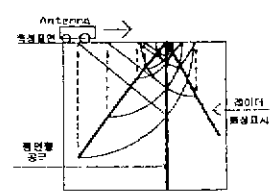
2) 레이더화상

그림-4.2 무근콘크리트 시험체

레이더로부터 발생된 신호는 일정 빔폭으로 퍼져나가 전파되어 목표물로부터 반사해 되돌아오기 때문에 이들 신호에 의해 얻어진 화상은 실제 목표물의 형상과는 다르다. 즉, 그림 4.3과 같이 평면형과 V자형 단면을 갖는 공동에 대한 레이더 탐사결과는 실선으로 표시된 바와 같이 돌아오지만, 화면상에는 가는 점선의 궤적과 같이 왕복



1) 평면형



2) V형

그림-4.3 공극 형태별 레이더 반사 화상 표시개념

전파된 신호의 시간차로서 깊이 측에 표시되기 때문에, 최종적으로는 굵은 실선과 같이 레이더의 화상이 표시된다. 따라서 그림 4.2, 1)의 A, B(평면형공극)부분은 C(V형 공극)부분과 비교하여 화상처리부분의 각도가 좀더 급하게 표시됨을 알 수 있다. 다시말해 레이더와 공동간의 위치상에서 가장 가까운 경로에 따라 반사된 신호의 강도가 가장크게 나타나게 되는데, 이는 공동에 대한 레이더의 접근 거리와 방향에 따라 그 크기(신호강도)가 변화함을 의미한다.

#### 4.2 적외선법

적외선법에 의한 측정은 역타공법에 의한 시공부재가 주로 지하에 위치하는 관계로 일사광에 노출되지 않는 실내조건에 시험체를 두어 실시하였다. 이에 따라 가장 양호한 측정조건인 직사광에 최대한 노출되는 조건하 (건전부와 결합부의 온도차가 가장 심하게 나타남)에서의 측정이 곤란하여 결합(공극)부의 검출이 용이하지 않다. 본 연구에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 전기히터를 열원이 시험체 표면에 최대한 균등하게 도달될 수 있는 거리에서 가열한 후 측정을 실시하여, 가열하지 않은 경우와 병행하여 측정을 실시하였다.

이에 대한 측정결과 중 대표 결과를 그림 4.4, 4.5, 4.6에 나타내었다. 여기서 그림 4.5는 무근콘크리트 조건하의 평면형 공극에 대하여 히터로 가열하지 않은 경우의 결과를 나타낸 것이고, 그림 4.5와 그림 4.6은 동일조건하의 V형 공극에 대한 가열하지 않은 경우와 가열한 후의 결과를 각각 나타낸 것이다.

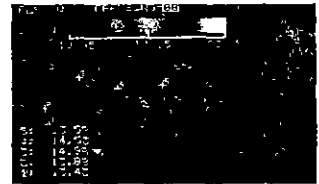


그림- 4.4 평면형 공극부 (가열전)

그림- 4.5 V형 공극부(가열전)

그림- 4.6 V형 공극부(가열후)

이상의 결과로부터 가열한 후가 가열하지 않은 경우의 결과보다 공극의 검출가능성이 보다 명료함을 알 수 있었고, 거푸집 속 면으로 흘러든 극히 얇은 층의 페이스트나 모르타르에 가려 육안으로는 검출이 곤란한 공극에 대해서도 본 측정방법을 이용할 경우, 충분히 공극이 검출가능함을 알 수 있다.

#### 5. 결 론

이상의 결과로부터 레이더법의 경우는 모의해석기법을, 적외선법의 경우는 가열기법을 효과적으로 적용할 경우, 역타시공에서 문제가 되는 이음부의 공극상태 평가에 보다 유효하고 적절하게 이용할 수 있음을 알 수 있었다.

#### 참 고 문 헌

1. 박석균, "레이다 탐사에 의한 小空洞의 단면형상 복원방법에 관한 연구" 콘크리트학회지 1999
2. "토목학회 기술간좌 (토목구조물 설계 및 유지관리(II))", 대한 토목학회 Vol. 6, No.2, 2000.3
3. 小林英雄, 亀田龍吉, "逆打ち工法による処理" 日本セメント協会
4. 小西昭臣, "地下外壁の逆打ち" 日本セメント協会 1995.10