

레이더법과 적외선법을 이용한 콘크리트 시공 이음부 공극의 비파괴검사

박석균^{1)*}

¹⁾ 대전대학교 토목공학과

(2003년 1월 23일 원고접수, 2003년 5월 22일 심사완료)

Non-destructive Inspection of Construction Joints of Concrete Structures Using the Radar and the Infrared Thermography Method

Seok-Kyun Park^{1)*}

¹⁾ Dept. of Civil Engineering, Daejeon University, Daejeon, 300-716, Korea

(Received January 23, 2003, Accepted May 22, 2003)

ABSTRACT

The joint treatment of concrete is one of the technical problems in concrete constructions. Joints created with concrete constructions result in serious weakness in the aspects of both structural and water-barrier function.

The radar and the infrared thermography method have been used for the non-destructive inspection of several construction joints of concrete structures in this study. The advantages and limitations of these methods are investigated for non-destructive inspection on construction joints of concrete columns.

It can be shown that the detecting precision of construction joints using these methods is improved if radar analysis is carried out with a simulation analysis. In case of the infrared thermography method, the shape of construction joints can be also detected when heating is performed before testing. As the result, it has been verified that the construction joints, difficult to be detected by visual inspection, could be inspected effectively in broad areas at short period of time when these two methods are applied.

Keywords : non-destructive inspection, construction joint, radar, infrared thermography

1. 서 론

콘크리트공사에 있어 이어 치기는 콘크리트를 연속 타설할 경우에 발생하는 부득이한 현상 중의 하나이다. 그러나, 이러한 이어 치기 시공을 잘못 실시할 경우는 이음부에 공극층이나 콜드조인트 등의 문제가 발생될 우려가 있다. 특히, 최근에는 부지에 여유가 없는 시가지나 연약지반의 공사, 심도가 깊은 지하공사의 시공이 늘어나고 있으며, 이러한 공사에서 노동력의 부족이나 공기 단축의 필요에 따라 역타공법이 사용되는 경우가 많아지고 있다. 이러한 역타공법의 시공이음은 항상 구콘크리트의 아래면이 되므로 그 밑에 이어 치는 신콘크리트의 블리딩이나 침하에 의해 이음면은 일체가 되지 않는 경우가 발생된다. 이음부 처리에 대한 문제점을 개선하기 위해 여러 공법이 제안되어 사용되고 있으나, 경우에 따라 발생하는 이음부의 공극 상태에 대해서는 그 검사나 평가방법이 중요한

현안으로 대두되고 있다. 또한, 이와 같은 이어 치기에서 뿐만 아니라, 일반 콘크리트시공 등에 있어서도 다짐부족이나 충전불량 등에 의해 내부에 공극층 등이 발생될 우려는 충분히 있다. 한편, 일본에서는 지난 1999년에 신간선 고속철도의 터널 콘크리트 라이닝 박락사고가 3회 연속 발생되어 매스컴의 큰 반향을 일으킨 사고가 일어난바 있으나, 조사결과 2회의 사고가 모두 콘크리트의 시공이음 처리 잘못에 기인한 것으로 밝혀진바 있다. 더구나, 이러한 잘못을 사전에 정기적으로 실시해온 육안검사로는 발견해내지 못해, 이에 대한 비파괴검사기술의 개발 필요성이 절실한 사회문제로 대두되고 있다.

그러나, 이와 같은 이음부 등의 공극층 생성여부 판정을 위한 검사 및 해석방법에 대한 연구는 아직 기초단계로서, 초음파검사방법을 이용해 전파속도의 부위별 1차원 측정선도(線圖)비교에 의한 정성적인 판단에 의하거나, 화상처리기법을 이용한 2차원 정량적 해석기법에 대한 연구가 시도¹⁾되고 있지만, 초음파검사방법을 이용하는 경우에는 측정표면의 연마 및 도포작업 등의 준비작업 및 검사에 상당한 시간이 소요되어 매우 비효율적이다.

* Corresponding author

Tel : 042-280-2325 Fax : 042-284-0109
E-mail : skpark@du.ac.kr

따라서, 본 연구에서는 이와 같은 문제점을 해결하는 것을 목적으로, 콘크리트 시공 또는 타설 이음부의 콘크리트 충전상태를 보다 효율적으로 검사 해석하기 위해 측정표면과 비접촉 주사방식으로 빠른 시간 내에 넓은 면적의 조사가 가능한 레이더법과 적외선법을 이용하여 그 적용 특성을 검토코자하였다. 지금까지 레이더법을 이용한 연구로서는 콘크리트 내부의 철근이나 공동검출을 위해서는 많은 연구가 수행되어 오고 있으나, 시공이음부에 대해 모의해석 및 측정을 겸한 연구는 거의 시도되고 있지 않다. 적외선법에 의한 연구 역시 표면부의 박리나 내부의 공동등을 검출하기 위한 연구는 다양하게 수행되고 있으나, 시공이음부의 형상 및 가열여부에 따른 검출특성에 대한 연구는 거의 시도되고 있지 않다.

이와 같은 배경에 따라, 본 연구에서는 레이더법과 적외선법을 같이 이용하여 시공이음부의 검출특성을 고찰하여 그 적용 가능성을 검토하였다. 먼저, 해당 구조부재 및 시공방법의 모의실험을 통하여 이음부 형상에 따른 공극 종류별 결함부와 건전부 시험체를 제작하고, 레이더법과 적외선법에 의한 측정을 실시하여 이음부의 충전상태 즉, 공극부를 검출코자 하였다. 특히, 레이더법에 대해서는 사전 모의해석방법을 병행하여 측정결과와 비교 해석함으로써 해석정도를 높이는 방식을 이용하였고, 적외선법의 경우는 지하 또는 열원이 없는 실내에서도 활용이 가능할 수 있도록 측정 대상면을 가열하여 결함부의 검출이 보다 용이해지도록 한 방식을 이용하여 검출정도를 향상시켰다.

2. 검사방법의 이론적 배경

2.1 레이더법(해석모델)^{3,7)}

Fig. 1과 같이 유전체가 서로 다른 어떤 매질의 경계면을 평면전자파(평행편파)가 임의각을 갖고 입사할 경우에 대한 전계(電界)는 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$E_I(x, z) = E_0 \left(\hat{x} \cos \theta_I - \hat{z} \sin \theta_I \right) e^{-jk_1(X \sin \theta_I + Z \cos \theta_I)} \quad (1)$$

$$E_R(x, z) = RE_0 \left(\hat{x} \cos \theta_R + \hat{z} \sin \theta_R \right) e^{-jk_1(X \sin \theta_R - Z \cos \theta_R)} \quad (2)$$

$$E_T(x, z) = TE_0 \left(\hat{x} \cos \theta_T - \hat{z} \sin \theta_T \right) e^{-jk_2(X \sin \theta_T + Z \cos \theta_T)} \quad (3)$$

$$k_1 = \omega \sqrt{\mu_0 \epsilon_1} \quad (4) \quad k_2 = \omega \sqrt{\mu_0 \epsilon_2} \quad (5)$$

여기서, 식(1)부터 식(3)은 각각 입사, 반사, 투과파의 전계를 나타내고, E_0 는 일정전계, \hat{x} , \hat{z} 는 각축 방향의 단위벡터, k_1, k_2 는 각 매질의 파수(波數), ω 는 각주파수, μ_0 는 진공의 투자율(透磁率), ϵ_1, ϵ_2 는 각 매질의 유전율(誘電率)을 의미한다.

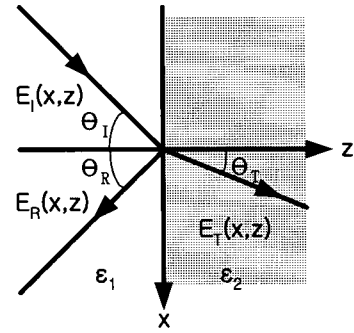


Fig. 1 Incidence of plane wave at dielectric interface

γ 는 복소전파정수로서 정의되며, 전자파의 전파에 관한 감쇠 및 위상정수(α 와 β)는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\alpha = \omega \sqrt{\mu \epsilon / 2} \sqrt{\sqrt{1 + (\sigma / \omega \epsilon)^2} - 1} \quad (6)$$

$$\beta = \omega \sqrt{\mu \epsilon / 2} \sqrt{\sqrt{1 + (\sigma / \omega \epsilon)^2} + 1} \quad (7)$$

여기서, $\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r$, ϵ_0 는 진공의 유전율, ϵ_r 은 매질의 비유전율, $\mu = \mu_0 \mu_r$, μ_r 은 매질의 비투자율, σ 은 도전율(導電率)을 나타낸다. 또, 콘크리트중 또는 지중과 같은 비급속성의 저손실 유전체에서는 $\mu_r = 1$ 로 해도 좋기 때문에 $\mu = \mu_0 (= 1)$ 이 된다.

한편, 매질중에서 전자파는 $+z$ 방향으로 위상속도 $v_p(\omega/\beta)$ 로 지수함수적으로 감쇠되면서 전파(투과)한다. 이 경우, 위상속도 v_p 는 다음과 같이 전개된다.

$$v_p = \frac{\omega}{\beta} = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}} \sqrt{\frac{2}{\sqrt{1 + (\sigma / \omega \epsilon)^2} + 1}} \quad (8)$$

그러나, 저손실 유전체와 고주파수대에서는 $(\sigma / \omega \epsilon)^2 \ll 1$ 이라 생각할 수 있으므로 식(9)와 같은 관계가 되고, 파장 λ_p 도 같은 형식으로 나타낼 수 있어 자유공간에서의 파장 λ_0 의 $1/\sqrt{\epsilon_r}$ 이 된다. 여기서, c 는 빛의 속도, f 는 중심주파수이다.

$$v_p \approx c / \sqrt{\epsilon_r} \quad (9)$$

$$\lambda_p = v_p / f = \lambda_0 / \sqrt{\epsilon_r} \quad (10)$$

한편, 상기식에서 전계의 연속성과 입사각과 반사각의 일정한 경계조건을 적용하여, 방정식을 해석하고, 다음과 같이, 유전율이 다른 매질간의 경계면에서의 반사계수 R 과 투과계수 T 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$R = \frac{\eta_2 \cos \theta_T - \eta_1 \cos \theta_I}{\eta_2 \cos \theta_T + \eta_1 \cos \theta_I} \quad (11)$$

$$T = \frac{2\eta_2 \cos \theta_I}{\eta_2 \cos \theta_T + \eta_1 \cos \theta_I} \quad (12)$$

$$\eta_1 = \sqrt{\mu_0 / \epsilon_1} \quad (13)$$

$$\eta_2 = \sqrt{\mu_0 / \epsilon_2} \quad (14)$$

여기서, η_1, η_2 는 각 매질의 임피던스이고, θ_I, θ_T 은 입사각과 투과각을 나타낸다.

따라서, 식 (11), 식(12)와 식(13), 식(14)로부터, i 층부터 $i+1$ 층까지의 입사에 대한 일반식이 다음과 같이 얻어진다.

$$R_i = \frac{\sqrt{\epsilon_i} \cos \theta_T - \sqrt{\epsilon_{i+1}} \cos \theta_I}{\sqrt{\epsilon_i} \cos \theta_T + \sqrt{\epsilon_{i+1}} \cos \theta_I} \quad (15)$$

$$T_i = \frac{2\sqrt{\epsilon_i} \cos \theta_T}{\sqrt{\epsilon_i} \cos \theta_T + \sqrt{\epsilon_{i+1}} \cos \theta_I} \quad (16)$$

한편, 레이더 반사신호로부터 물체간의 식별이 가능한 거리 분해능은 식(17)로부터 구할 수 있다.

$$t = \frac{2D}{v_p} = \frac{2D\sqrt{\epsilon_r}}{c} = \frac{D\sqrt{\epsilon_r}}{15} \quad (17)$$

여기서, t (nanoseconds)는 반사파 사이의 시간차 (pulse separation), D (cm)는 비유전율이 ϵ_r 인 매질에서의 반사파 사이의 거리(분해능)을 나타낸다.

식(17)로부터 예를 들면, 레이더의 중심주파수가 1GHz 이고 콘크리트의 비유전율을 9로 가정하면 분해능은 약 5cm가 되어 실제 공극 두께는 5cm 이상이 되어야만 식별이 가능하게 됨을 나타낸다. 본 연구에서 제작된 시공이음부 공극의 두께는 2cm로서 이 크기(5cm)보다 작아 중심주파수가 1GHz이하의 레이더를 사용할 경우 공극의 두께까지를 검출하는 것은 곤란할 것으로 판단된다. 따라서, 본 연구에서는 레이더 탐사의 경우 공극의 두께검출까지를 고려하는 것은 대상 외로 하였다.

또한, 해석대상 시스템을 선형시불변(線形時不變)이라 가정하면, 시스템 출력 $y(t)$ 는 식(18)과 같이 입력 $x(t)$ 와 시스템에 단위 임펄스를 가한 때의 응답 $h(t)$ 와의 컨볼루션에 의해 나타낼 수 있다. 여기서, τ 는 적분변수이다.

$$y(t) = \int_0^t x(\tau)h(t-\tau)d\tau = x(t) * h(t) \quad (18)$$

$$y(nT) = \sum_{m=0}^n x(mT) \delta(t-nT) \quad (19)$$

한편, $h(t)$ 가 임펄스에 대한 응답이기 때문에 본 시스템은 식(19)와 같이 전개시킬 수도 있다. 여기서, nT 는 출력신호의 샘플링주기, m 은 응답신호의 구간이다.

2.2 적외선법

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 Fig. 2와 Fig. 3에서와 같이 열전도율 λ 의 차이에 의해 온도차 ΔT 를 나타낸다. 열전도율 λ 는 물질 종류 및 그 상태에 따라 정하고, 식(20)으로 나타낼 수 있다.

$$\lambda = \frac{dQ}{dA} \frac{1}{d\Delta t/dx} [W/(m \cdot K)] \quad (20)$$

여기서, Q 는 전 열량, A 는 면적, Δt 는 온도차, x 는 열 이동길이를 나타낸다.

공기의 열전도율은 낮고, 콘크리트 이상부에서는 공기를 포함하는 경우가 많기 때문에 이상부를 이동하게 되면 열전도율은 낮아진다.

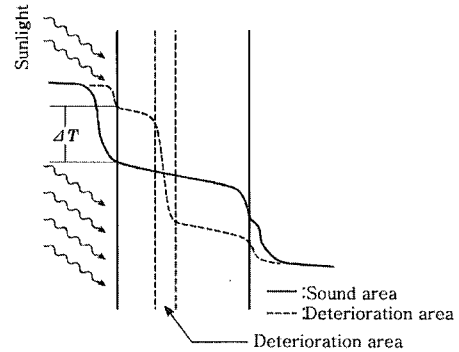


Fig. 2 Heat transfer pattern of concrete wall with sound and deterioration area²⁾

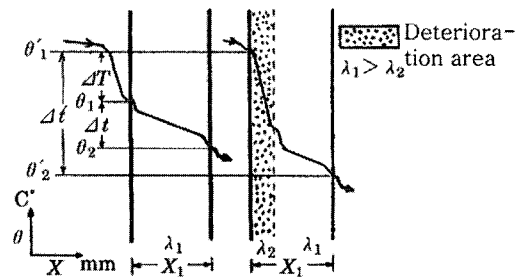


Fig. 3 Heat transfer model of concrete wall with sound and deterioration area²⁾

건전부 콘크리트와 결합부 콘크리트의 온도차는 결합부에 공기가 많이 포함됨에 따라 Fig. 3과 같이 열통과를 모델화할 수 있다. 여기서, 평행 벽 내의 열 유속은 식 (21)에 의해 나타낼 수 있고, 열전도율의 차이가 표면온도에 영향을 주는 것을 알 수 있다.

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

$$\therefore \Delta t = q \frac{x}{\lambda} \quad (21)$$

여기서, q 는 열유속(W/m^2), λ 는 열전도율, x 는 벽두께, Δt 는 $\theta_1 - \theta_2$ 를 나타낸다. 건전부와 이상부의 온도경시 변화모델을 Fig. 4에 나타내었다. 이것은 1일 동안이라도 건전부와 이상부(결합부)와의 온도차가 일사량에 따라 영향을 받는 것을 나타내고 있다. 이들 물체의 미약한 온도차 Δt 를 적외선 센서에 의해 열 영상정보로서 측정하여, 비파괴·비접촉으로 이상부분을 면계측 방법으로 검출할 수 있다.

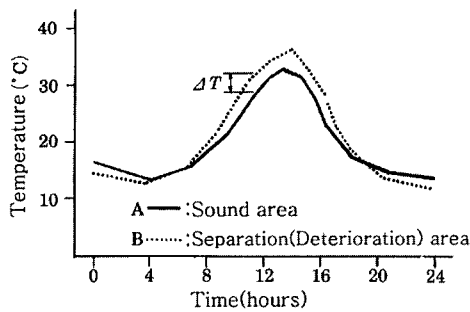


Fig. 4 Temperature change model in process of time²⁾

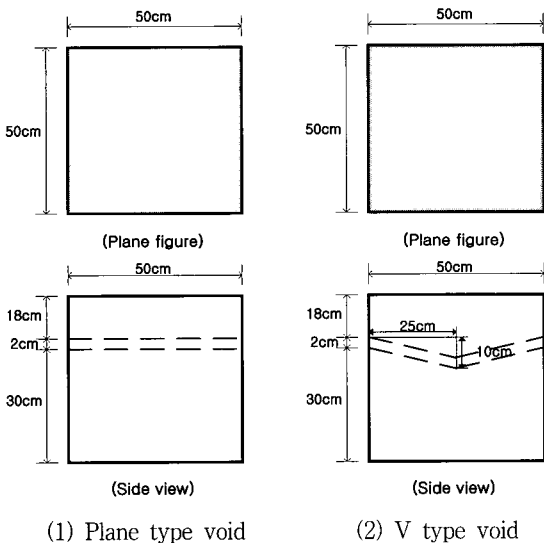


Fig. 5 Section diagram of test specimens

3. 실험

3.1 시험체 제작

본 연구에서 검토대상으로 한 콘크리트 부재는 기둥으로 하였다. 무근콘크리트 기둥을 모의부재로 하여 이음부의 형상에 따라서 인위적으로 평면형과 경사형의 공극 형태를 만들어 시험체를 제작하였다^{5,6)}. 시험체내의 평면형 공극은 지면에서 30cm의 위치에 공극부를 스티로폼을 이용해 “-”형으로 만들고, 경사형은 한쪽 경사면이 가로 25cm, 세로 10cm로서 경사각 20° 인 공극부를 “V”형으로 만들어 실험하였다. 이들 공극의 두께는 2cm로 하였고, 배치형태는 Fig. 5~7에서와 같다.

또한, 공극부의 세로측 표면은 육안으로는 보이지 않도록 1~2mm두께의 시멘트 모르타르로 얇게 덧붙여 처리해 두었다. 이는 일반적으로 현장에서 시공이음부에 공극이 발생되어 있더라도 거푸집 면을 따라 모르타르액이 스며들어 공극부가 쉽게 육안 상으로는 노출되지 않는 점을 함께 고려해 모의하기 위한 것이다.

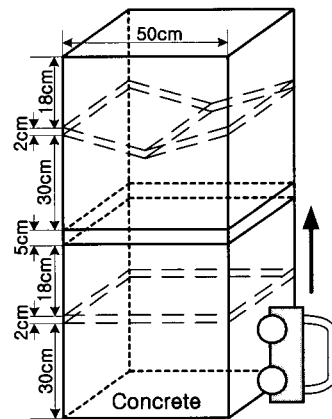


Fig. 6 Radar test condition (--- : void)

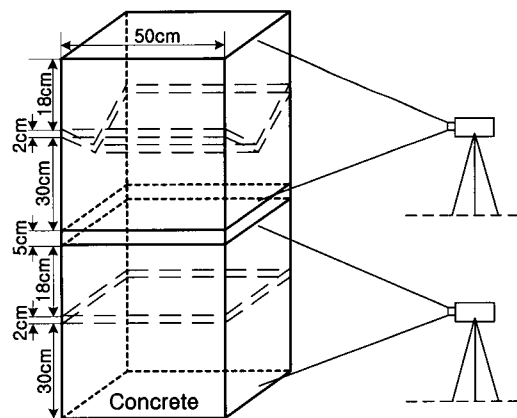


Fig. 7 Thermography test condition (--- : void)

Table 1 Concrete mix condition

W/C (%)	S/a (%)	Unit content (kgf/m ³)			
		W	C	S	G
64	48	165	258	892	972
Gmax		Slump(cm)		Air(%)	Total
25		7.5		4.5	2,287

이상에서 설명한 각 시험체의 형상 및 치수를 Fig.5에 나타내었으며, 사용된 콘크리트의 배합조건은 Table 1과 같다.

3.2 측정장비

측정장비로는 레이더의 경우는 일본무선사의 임펄스 방식 RC레이더(JEJ-60B)를 사용하였고, 적외선의 경우는 일본 AVIONICS사의 TVS를 사용하였다.

3.3 측정방법

각 검사방법별 측정은, 레이더 장비를 이용한 경우는 Fig. 6에, 적외선 장비를 이용한 경우는 Fig. 7에 각각 나타낸 바와 같이, Fig. 5의 시험체를 높이 방향으로 2단으로 포개어 놓고 측정을 실시하였다. 이 때 포개어 놓은 시험체의 사이에는 두께 5cm의 스티로폼을 끼워 넣었다. Fig. 7의 적외선 장비를 이용한 측정은 시험체 세로 측 표면부에서 수직방향으로 240cm 떨어진 곳에 카메라를 두고 촬영을 실시하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1 레이더법

레이더법에 의한 측정결과를 Fig.8에 나타내었다. Fig.6에서와 같이 아래로부터 위로 안테나를 이동하며 측정하여 순차적으로 2cm 두께의 평면형 공극(A), 두 시험체 사이에 끼워 넣은 5cm 두께의 스티로폼(B), 2cm 두께의 V형 공극(C)의 측정화상을 도출하였다. Fig.8에서 A부분은 2cm 두께의 평면형 공극의 반사신호이고, B부분은 5cm 두께로 두 시험체 사이에 끼워 넣은 스티로폼의 반사 신호이며, C 부분은 2cm 두께의 V형 공극의 반사신호이다. 이들 신호는 각 공극으로부터의 첫 번째 반사신호의 위상이 +를 나타내고 있어(레이더 탐사장비의 A스캔 모드에서 확인), 해당 반사매질이 콘크리트보다 비유전율이 낮은 성질의 재료임이 확인되어 공극으로부터의 반사신호임을 알 수 있었다. 한편, 여기서 주목할 만한 사실은 반사신호의 형상 즉, 경사정도가 평면형 공극인 A, B부분과

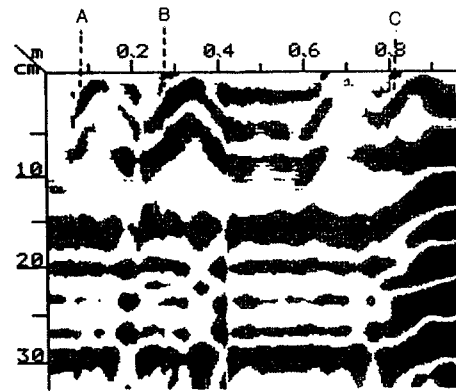
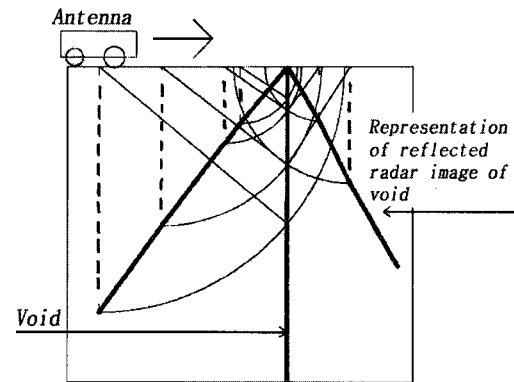
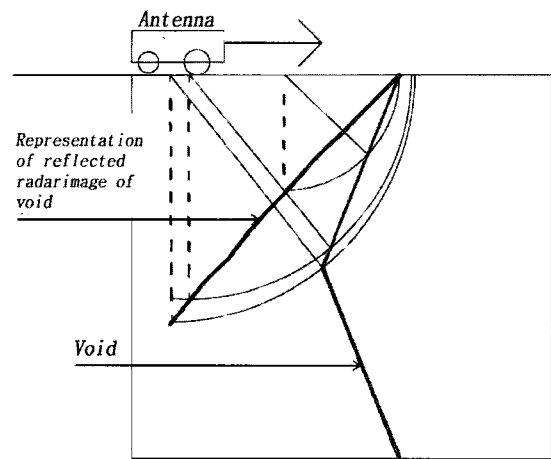


Fig. 8 Tested result of radar image according to Fig.6



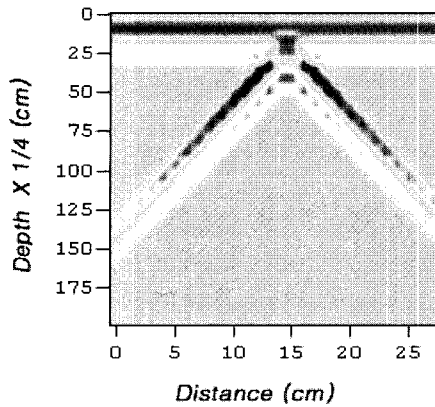
(1) Plane type void



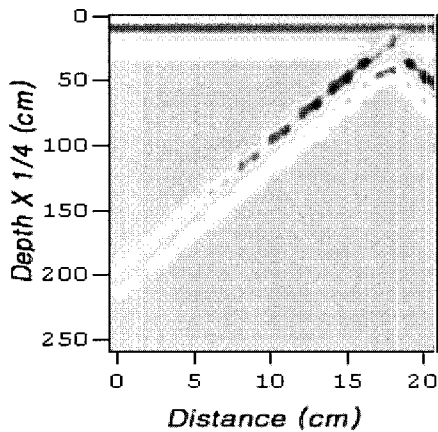
(2) V type void

Fig. 9 Representation of reflected radar image of vertical void

V형 공극인 C부분이 서로 다소의 차이를 보이고 있음을 알 수 있다. 이의 특성을 규명하기 위하여, 2.1절에서 언급한 해석모델을 배경으로 다음과 같이, 계산에 의한 모의



(1) Radar image of plane type void

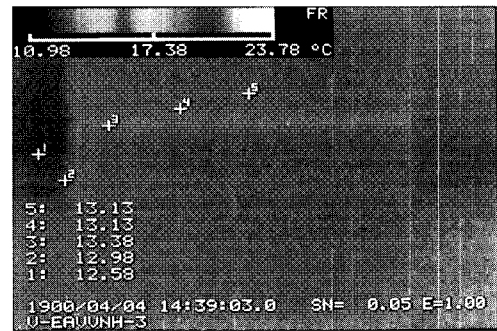


(2) Radar image of V type void

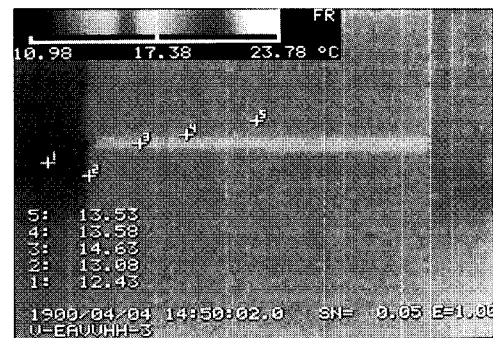
Fig. 10 Results of simulation analysis of Fig.9 when fc (central frequency) of radar is 600MHz

해석을 실시하여 보았다.

레이더로부터 발생된 신호는 일정 빔폭으로 퍼져나가 전파되어 목표물로부터 반사해 되돌아오기 때문에 이들 신호에 의해 얻어진 화상은 실제 목표물의 형상과는 다르다. 즉, Fig. 9와 같이 평면형과 V형 단면을 갖는 공극에 대한 레이더 측정결과는 일정 빔폭으로 퍼져나간 신호 가운데 먼저 물체로부터 반사되어 돌아오는 신호부터 화면상에 표시되어, 화면상에는 가는 점선의 궤적과 같이 왕복 전파된 신호의 시간차로서 깊이(시간) 축에 표시되기 때문에, 최종적으로는 경사진 굵은 실선과 같이 레이더의 화상이 표시된다⁴⁾. 따라서 Fig.9 (1)의 평면형 공극부분은 Fig. 9(2)의 V형 공극부분과 비교하여 화상처리부분의 각도가 좀더 급하게 표시됨을 알 수 있다. 또한, 이 과정에서 레이더와 공극간의 위치에 의한 레이더의 접근거리(반사거리)와 방향(각도) 등에 따라 그 신호강도도 함께 변화하게 된다. Fig.10은 600MHz의 중심주파수를 갖는 레이

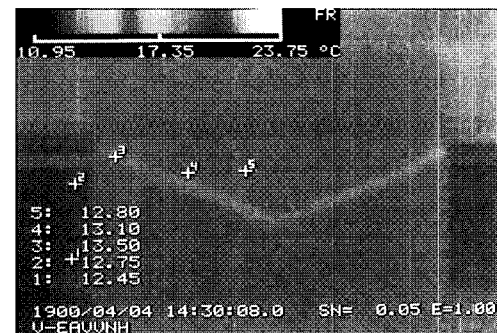


(1) Before heating

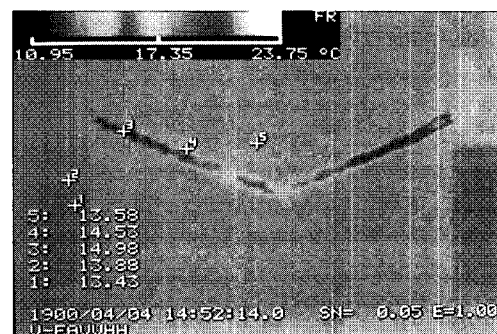


(2) After heating

Fig. 11 Test results of thermography image in case of plane type void according to Fig.7



(1) Before heating



(2) After heating

Fig. 12 Test results of thermography image in case of V type void according to Fig. 7

더에 대해 해석모델에 의해 계산된 결과를 화상처리하여 나타낸 것이다. Fig. 10 (1)이 Fig. 8의 A(평면형 공극)부분을, Fig. 10 (2)가 Fig. 8의 C(V형 공극)부분을 모의하여 계산한 결과이다. 이들 모의 해석결과는 콘크리트 매질을 비유전을 9로서 균일하다고 가정하여 계산된 이상적 결과를 나타낸 것으로, 실제 측정결과와는 많은 차이를 보이고 있지만, 반사화상의 중심 세력부의 형상은 계산결과와 유사한 경향을 나타내고 있다. 이에 따라, 측정결과만으로는 공극의 형태까지를 식별하기가 곤란하였으나, 모의해석과 병행할 경우 해석 정도를 향상시킬 수 있음을 알 수 있다.

4.2 적외선법

적외선법에 의한 측정은 시공부재가 지하 또는 실내에서 시공되는 경우를 상정해, 일사광에 노출되지 않는 실내에 시험체를 두어 실시하였다. 이에 따라, 앞의 2.2절의 Fig. 4에서와 같이 가장 양호한 측정조건인 일사광에 최대한 노출되는 조건(건전부와 결합부의 온도차가 가장 심하게 나타남)하에서의 측정이 곤란하여 결합(공극)부의 검출이 용이하지 않다. 본 연구에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 1500 W 용량의 복사형(파라볼라형) 전기히터를 열원이 시험체의 일정 표면적 각 위치에 식(21)의 Δt 가 최대가 되면서 균등하게 도달될 수 있는 거리(여기서는 열원으로부터 100 cm)에 두고 측정하였다. 또한, 현장 조건에 따라 사전에 열화상 상에서 시공이음부 공극의 두께를 식별할 수 있게 Δt 를 조정하여 설정하여 두면 공극의 두께까지도 식별할 수 있다.

이에 대한 측정결과 중 대표 결과를 Fig. 11, 12에 나타내었다. 여기서 Fig. 11은 평면형 공극에 대하여 히터로 가열하기 전과 가열한 후의 결과를 나타낸 것이고, Fig. 12는 동일조건하의 V형 공극에 대하여 가열하기 전과 가열한 후의 결과를 각각 나타낸 것이다.

이상의 결과로부터 일사광이 작용하지 않는 조건에서는 가열한 후가 가열하지 않은 경우의 결과보다 건전부와 결합부의 온도차가 크게 나타남이 입증되어 공극의 검출가능성이 보다 명료해짐을 알 수 있다. 이 경우, 가열조건으로는 측정 대상면에 골고루 열량이 전달되도록 히터의 열원을 측정 대상면의 크기(면적)에 따라 열원거리를 적절히 조절하여 사용하면 되고, 열량은 뚜렷한 기준을 설정해 놓기보다는 측정조건에 맞게 건전부와 이상부의 식별이 최적이 되게 조절하면 된다. 따라서, 육안으로는 검출이 곤란한 시공이음부의 공극에 대해서도 본 측정방법을 이용할 경우, 충분히 공극이 검출 가능함을 알 수 있다.

5. 결 론

이상에서와 같이, 레이더와 적외선의 각 측정방법에 의해 콘크리트 시공 이음부의 충전상태 즉, 공극부의 검출특성을 검토하여 본 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 레이더법의 경우는 측정결과만으로는 시공이음부의 각 공극으로부터의 반사신호만을 확인할 수 있었으나, 각 공극의 형태에 따른 분명한 식별해석은 곤란하였다, 그러나, 본 연구에서 제안된 사전 모의해석방법을 병행하여 측정결과와 비교 해석할 경우, 공극의 형태까지도 역으로 추론해 볼 수 있어 해석정도를 높일 수 있었다.
- 2) 적외선법의 경우는 일사광이나 열원이 없는 지하 또는 실내에서 해당 시공이음부의 공극부를 적외선법으로는 명확히 식별하기 곤란한 경우에도 측정 대상면에 대한 가열기법을 이용할 경우, 육안으로는 검출이 곤란한 시공이음부의 공극부의 검출이 보다 용이해짐을 알 수 있었다.
- 3) 따라서, 본 연구에서 적용된 레이더와 적외선을 이용한 해석방법은 육안으로는 검출이 곤란한 콘크리트 시공 이음부의 공극을 검출하는데 유효하며, 이들 양 방법을 조합할 경우, 해당 공극의 형태까지도 검출할 가능성이 있음을 확인할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 한국과학기술원 스마트 사회기반시설 연구센터(SISTeC)의 연구비 지원에 의한 연구의 일부로서 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Seok-Kyun Park and Taketo Uomoto, "Radar Image Processing for Detection of Shape of Voids and Location of Reinforcing Bars in or under Reinforced Concrete," *Insight* (The British Institute of NDT), Vol.39, No.7 July 1997, pp.488-492.
2. 日本非破壊検査協會編, "コンクリート構造物の非破壊試験法", 養賢堂株式會社, 東京, 1994, pp.73-95.
3. Seok-Kyun Park and Taketo Uomoto, "Verification of Simulation of Radar Response on Subsurface Objects in Concrete," *Journal of JSCE*, No.538/V-31, May 1996, pp.95-104.

4. S.K Park and T. Uomoto, "Simulation Analysis of Radar Responses with Frequencies on Voids in Concrete," *The ICCMC/IBST 2001 International Conference*, ICCMC/IBST, Hanoi, Vietnam, March 2001, pp.336-342.
5. 박석균, 임영수, 차은용, 김명모, "적외선법과 레이더법에 의한 콘크리트 역타시공 이음부위의 충전상태 평가 시험", *봄학술발표회논문집*, 한국콘크리트학회, 제12권 1호, 2000, pp.799-804.
6. 박석균, 임영수, 차은용, "콘크리트 이음부 균열의 형태에 따른 레이더 신호해석 및 검출특성", *가을 학술발표회논문집(II)*, 한국콘크리트학회, 제12권 2호, 2000, pp.1309-1312.
7. David M. Pozar, "Microwave Engineering," Addison-Wesley Publishing Company, Massachusetts, 1990, pp.1-67.

요 약

콘크리트 시공 이음부는 콘크리트 시공시 발생하는 기술적 문제들 중의 하나이다. 이 시공 이음부는 콘크리트의 구조적 측면뿐만 아니라 누수 등의 중대한 결함을 초래하게 되는 요인으로 작용한다.

본 연구에서는 이러한 콘크리트 구조물의 시공 이음부를 비파괴적으로 검사하기 위해 레이더법과 적외선법을 이용하였다. 대상부재로서는 콘크리트 기둥을 선정하여 본 방법들의 적용에 따른 여러 가지 형태의 시공 이음부의 검출특성에 대하여 검토하였다. 그 결과, 레이더법의 경우는 해석모델에 의한 모의해석을 실시하여 실제 측정치와 비교하여 해석할 경우, 시공 이음부에 대한 검출 정도를 보다 향상시킬 수 있음을 알 수 있었다. 또한, 적외선법의 경우는 빛의 작용을 받지 못하는 실내조건 하에서도 측정 표면부를 사전 가열하여 측정하면 결함의 형상까지도 뚜렷이 식별하여 검출 가능성을 알 수 있었다. 따라서, 이들 두 방법을 병행할 경우, 육안으로는 검사가 곤란한 콘크리트 시공 이음부에 대해 빠른 시간내에 넓은 대상의 구조물에 대해 효율적인 검사가 가능성이 입증되었다.

핵심용어 : 비파괴검사, 시공 이음, 레이더, 적외선