

합성개구 레이더법에 의한 콘크리트 내 철근위치 산정

Detecting location of reinforcing bars in concrete using synthetic aperture radar method

박석균*

Park, Seok Kyun

ABSTRACT

Locating reinforcing bars, in particular to know their accurate depths and horizontal distances, is very important in radar inspection of concrete structures. By the way, it is not easy for an accurate depth and horizontal distance estimation of reinforcing bars in concrete structures by the radar test. This problem can be solved by synthetic aperture radar method. To improve the vertical and horizontal resolution of reinforcing bars in concrete, synthetic aperture radar method was examined in this study.

1. 서론

레이더법에 의한 콘크리트의 비파괴검사는 비접촉 주사방식에 의해 진행되므로 다른 검사방법 보다 빠르고 간단하기 때문에, 콘크리트 내부 검사방법으로서 매우 유용한 방법으로 각광받고 있다. 특히 내부 검출대상 목표물이 철근과 같은 강재일 경우에는 입사 전자파가 거의 전반사되므로 강한 반사강도를 얻을 수 있어 검출에 아주 용이하다. 그러나 콘크리트 구조물에 대하여 적용하는 경우에는 감쇠 및 산란 등의 영향이 크고, 분해능이 우수한 고주파수 성분의 사용이 곤란하기 때문에 반사되어 나타나는 신호는 실제 목표물의 크기보다 훨씬 넓게 퍼져 나타나 목표물의 위치를 파악하는데 전문적 지식이 요구된다. 본 연구는 이와 같은 문제를 해결하기 위해 반사되어 얻어진 화상신호에 대해 합성개구법(Synthetic aperture method)법을 이용해 분해능을 향상시키는 방법에 대해 연구하였다.

2. 합성개구법의 원리

그림 1과 같이 측정대상 표면의 수평면을 x 축, 깊이방향을 y 축으로 하는 좌표계를 잡고, 목표물(철근)의 중심위치가 $P_0(x_i, y_i)$ 에 있을 때, 안테나를 x 축상에서 주사하면 목표물로부터의 반사신호가 계속 수신되어 그 신호의 상연(가장자리)은 식(1)의 위에 배치되어진다.

*정회원, 대전대학교 공과대학 토목공학과 부교수

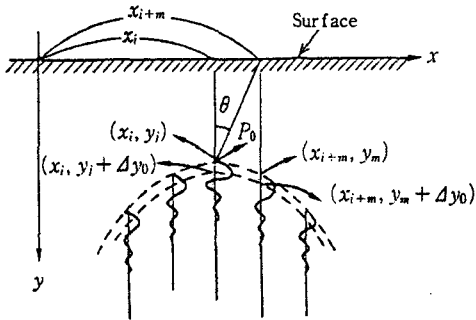


그림 1. 목표물(철근)로부터의 반사신호의 분포

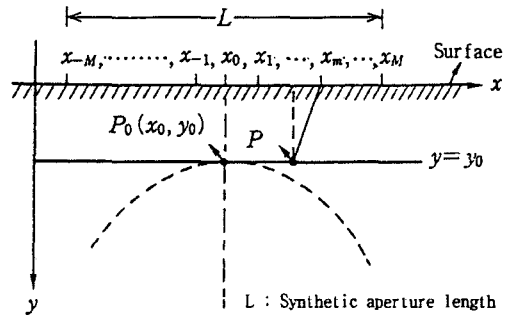


그림 2. 등가안테나 배열

$$y^2 = (x - x_i)^2 + y_i^2 \quad (1)$$

따라서, 식(1) 상에 분포된 신호 $P(x, y)$ 를 식(2)로 가산한다.

$$Q(x_i, y_i) = \sum_{m=-M}^M D_m \cdot P(x_{i+m}, y_m) \quad (2)$$

여기서 D_m 은 가중함수이고, $y_m = \{(x_{i+m} - x_i)^2 + y_i^2\}^{1/2}$ 이다.

그런데 식(1)은 수신신호의 상면 이후의 진동파형(그림 1의 링링)에 대한 동위상점은 나타내고 있지 않기 때문에 이대로는 초점이 흐트러진다. 그래서 수신파형이 지속되고 있는 구간에서도 서로 같이 가산(加算)이 되는 다음 처리를 한다.

$$Q(x_i, y_i + n \cdot \Delta y_0) = \sum_{m=-M}^M D_m \cdot P(x_{i+m}, y_m + n \cdot \Delta y_0) \quad (n=0, 1, \dots, N) \quad (3)$$

여기서, Δy_0 는 분할 폭이고, $N\Delta y_0$ 는 신호지속구간이다. 이 계산을 전체(i, j)의 조합에 대해서 실행하면 수속도가 개선된다.

식(3)에 기초한 신호처리에서 수평분해능 r_0 는 최대가 되고 식(4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$r_a = \frac{\lambda y_i}{2L} \quad (4)$$

여기서, λ 는 전파매질 내에서의 파장이고, L 은 합성개구길이이다.

또한, 식(3)의 합성개구처리에 의해 얻어지는 수평분해능은 그림 2에 나타낸 바와 같이 폭 L 에 걸쳐 x 축상에 배열된 $(2M+1)$ 개의 안테나군의 초점을 목표물 P_0 의 위치에 맞춘 때의 분해능과 등가이다.

지금 안테나 1개에 의한 왕복 수신패턴을 $D(x)$ 라 하고, 내부의 $P(x, x_0)$ 에 점 목표물이 있다고 가정하면, $x = x_m$ 에 있는 안테나의 수신전계는 식(5)와 같이 나타낼 수 있으며, 이 식에 비례한다.

$$E_m(x) = D(x_m - x) e^{-jk\sqrt{(x_m - x)^2 + y_0^2}} \quad (5)$$

여기서, $k = \sqrt{\epsilon_r} k_0$ (ϵ_r : 비유전율), $k_0 = 2\pi/\lambda_0$ (λ_0 : 대기중의 파장)이고, P_0 점에 초점을 맞추기 위해 식(6)에 의해 위상보상을 해주면 합성개구는 식(7)로 나타낼 수 있다.

$$e^{jk\sqrt{(x_m - x_0)^2 + y_0^2} - y_0} \quad (6)$$

$$E(x) = \sum_{m=-M}^M D_m \cdot E_m(x) \cdot e^{2k(\sqrt{(x_m-x_0)^2+y_0^2}-y_0)} \quad (7)$$

3. 실험개요

철근검출을 위한 레이더 측정은 그림 3에 나타낸 철근콘크리트 상판에 대해 안테나 방향을 종방향과 횡방향으로 하여 실시하였다. 철근콘크리트 상판의 전체 크기는 종방향 길이가 2m, 횡방향 길이가 1.5m, 두께는 20~24cm이고, 중앙부에서 주철근D13, 배근D10을 이용하였다. 상세배근조건 등은 그림 3에 나타내었다. 레이더는 모노싸이클 펄스방식의 보우타이형 안테나를 이용하였고, 얇은 깊이(15cm) 탐사용과 깊은 깊이(40cm) 탐사용 안테나 2종을 각각 사용해 측정하였다.

표 1. 콘크리트 배합

W/C (%)	S/a (%)	Slump (cm)	Air (%)	G _{max}	Unit weight(kg/m ³)			
					W	C	S	G
64	48	7.5	4.5	25	165	258	892	972

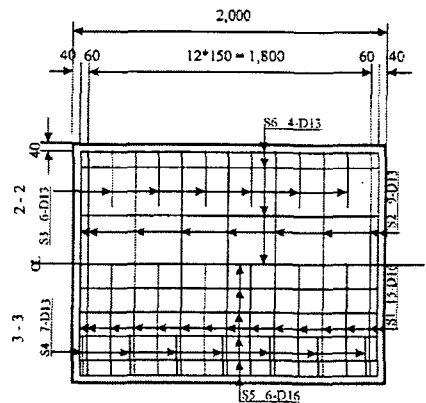


그림 3. 철근콘크리트 시험체의 배근조건

또한, 레이더 측정결과로부터 본 연구의 계산방법을 적용하기 위해 측정결과를 해석용 컴퓨터의 텍스트 모드로 데이터 변환하여 각종 계산 및 화상처리를 실시하였다. 화상변환S/W는 미국SPYGLASS사의 SPYGLASS TRANSFORM(Version 3.0 for Macintosh)을 이용하였다. 사용 시험체의 콘크리트 배합은 표 1과 같다.

4. 측정 및 해석결과

상기의 시험체에 대해 목표물인 철근을 대상으로 한 레이더 측정결과와 최종 해석결과를 화상으로 나타낸 결과를 각각 그림 4~그림 7에 나타내었다. 이들 측정결과에서 알 수 있는 바와 같이 실제 측정결과에서는 철근의 정확한 위치를 찾아내기가 어려웠지만, 본 합성개구법을 이용하여 처리한 결과 철근 위치에 대한 분해능이 향상되어 정확한 위치를 파악하는 것이 가능함을 알 수 있다.

5. 결론

측정된 레이더 화상을 통해 실제 철근위치해석을 위한 본 연구방법은 사용 안테나 등의 특성에 따른 사전 변수 특성 등을 파악할 경우, 철근의 실제위치(깊이, 수평위치(피치)) 검출에 유효한 방법으로서 그 적용이 가능할 것으로 판단된다.

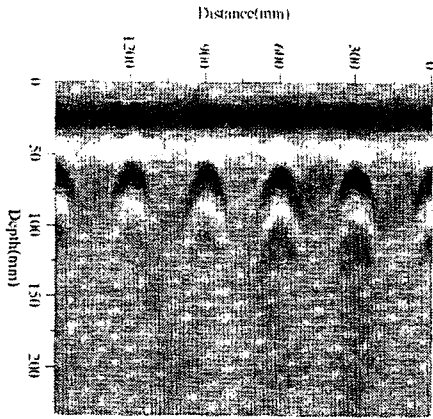


그림 4. 레이더화상 (증방향, 15cm 깊이용)

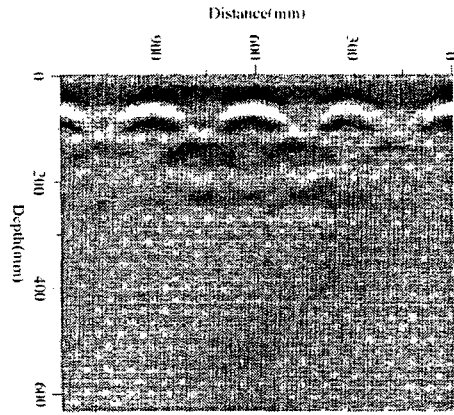


그림 5. 레이더화상 (횡방향, 40cm 깊이용)

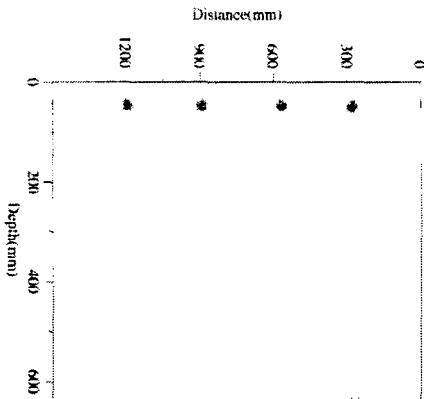


그림 6. 레이더화상 (증방향, 15cm 깊이용)

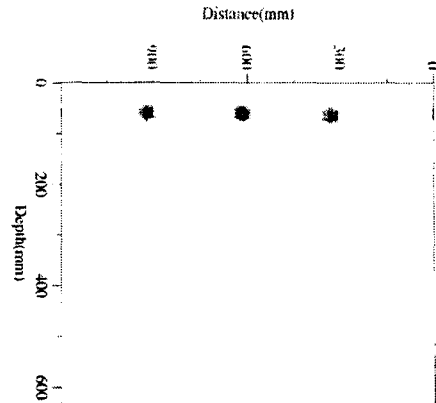


그림 7. 레이더화상 (횡방향, 40cm 깊이용)

감사의 글

본 연구의 일부는 한국건설교통기술평가원의 산학연 공동연구개발사업에 의해 수행된 것으로 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Arai I. and Suzuki T., Subsurface radar, Proc. of ISNCR-84, pp.679~684, Oct.1984
2. 박석균, 魚本健人, 일반화 Hough변환을 응용한 콘크리트 레이더 화상 내 실제 철근위치의 검출해석, 한국 콘크리트학회 논문집, 2000.2