레이더의 주파수 대역 합성에 따른 콘크리트 내부 탐사

Imaging of Concrete Specimens at Expanded Frequency Bandwidth Using Radar

이 주 희* 임 홍 철**
Lee Ju-Hee Rhim Hong-Chul

ABSTRACT

For imaging of concrete specimens using radar, principles of radar and signal processing are discussed. Experimental data obtained from radar measurement of two different concrete specimens at two different frequency bandwidths of 2~3.4 GHz, 3.4~5.8 GHz and these two frequencies are combined to show better imaging. A signal processing scheme has been implemented to visualize the concrete specimens. Through combined frequency, imaging results of concrete specimens were improved.

1. 서론

건축, 토목 분야에서 콘크리트의 비파괴 연구를 위한 레이더는 Ground Penetrating Radar (GPR)을 사용하며, GPR의 주파수는 100 MHz~1 GHz 까지를 주로 사용하여, 콘크리트의 두께 측정[1], 철근 탐색[2], 지하매설물 탐색 등 실무에서 활발히 사용되고 있다.

본 연구에서는 Inverse Synthetic Aperture Radar (ISAR)를 이용하여, 2개의 주파수 대역 (2~3.4 GHz, 3.4~5.8 GHz)으로 측정한 결과[3]와 주파수 대역을 합성하여 분해능을 높인 2~5.8 GHz 대역으로 신호처리를 한 결과를 분석하였다.

2. 레이더를 사용한 비파괴검사의 기본원리

2.1 레이더의 기본원리

연구에 사용한 레이더인 ISAR는 사용된 파의 형태가 Stepped Frequency Waveform (SFWF)의 형태로 주파수 대역 f1 과 f2 사이에서 일정한 주파수 Δf를 증가시키면서 일정크기의 전자파를 연속적으로 방출하는 레이더이다. 이렇게 방출된 전자파는 측정대상으로부터 반사되어 같은 주파수 대역 내에서 크기 (power)의 변화를

* 정회원, 연세대학교 건축공학과 석사과정
** 정회원, 연세대학교 건축공학과 부교수

가지고 다시 안테나로 되돌아오며, 이들 방출파와 반사파간의 크기의 변화를 통해서 대상을 인식한다. ISAR는 Synthetic Aperture Radar (SAR)의 한 종류로 안테나가 고정되어 있고, 대상물이 회전하는 방식을 사용하는 레이더이다[4].

2.2 Range resolution

레이더의 안테나로부터 방출된 전자파의 진행방향에 대한 거리를 나타내는 것이 range이며, 분해능 (resolution)은 가까이 인접해 있는 2 개 대상물의 식별 가능한 거리로서 분해능보다 더 가까이 위치한 2 개의 물체는 구별할 수 없게 된다. 콘크리트 내에서의 Range resolution (ρ_r)은 식 (2.1)과 같다[5].

$$\rho_{r,conc.} = \frac{c/\sqrt{\varepsilon_r}}{2B} \tag{2.2}$$

여기서, c : 진공에서의 전자파의 속도 (= 3×10^8 m/s)

T : 주파수대역의 전자파의 지속시간 (ns)

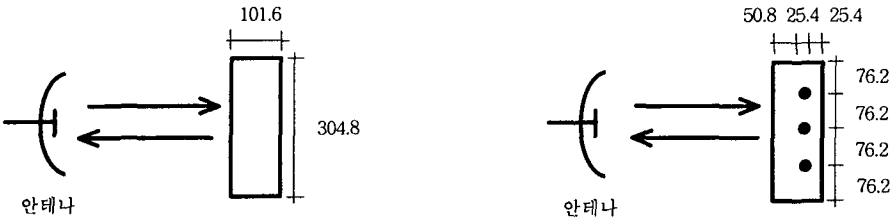
B : 주파수 대역폭 (GHz)

ε_r : 콘크리트의 유전상수

3. 실험 시편 및 실험 장치

3.1 콘크리트 시편

콘크리트 시편은 304.8 mm (Width) × 304.8 mm (Height) × 101.6 mm (Thickness)의 장방형의 것을 사용하였고, 콘크리트 시편은 내부상태에 따라 무근시편, 철근이 있는 시편을 사용하였다.



(a) 무근 콘크리트 시편 (b) 철근이 3개 있는 콘크리트 시편

그림 1 콘크리트 시편 (단위: mm)

3.2 실험장치

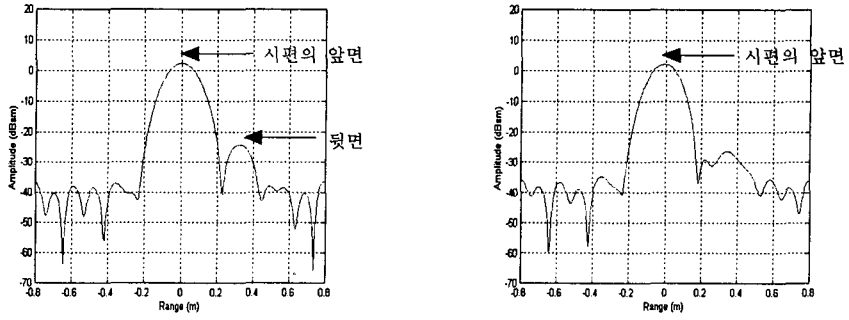
실험은 anechoic chamber 안에서 스티로폼으로 만들어진 turntable 위에 콘크리트 시편을 놓은 후 각도의 증가는 1° 로 하여 시편을 -10° 에서 +10° 까지 회전시켰다. 전자파는 주파수 대역에서 0.1 GHz 씩 증가시키면서 방출하였다.

4. 측정 데이터의 신호처리를 통한 영상화

레이더를 통해서 얻은 데이터의 영상화를 위해서 주파수영역에 대한 측정 데이터를 역퓨리에변환(Inverse Fourier Transform)[6]하여 시간영역에 대해서 변환시킨 후 range에 대해서 표현하였다. 스펙트럼 누수(spectral leakage)를 방지하기 위하여 일종의 가중함수인 Hamming Window를 사용하였다.

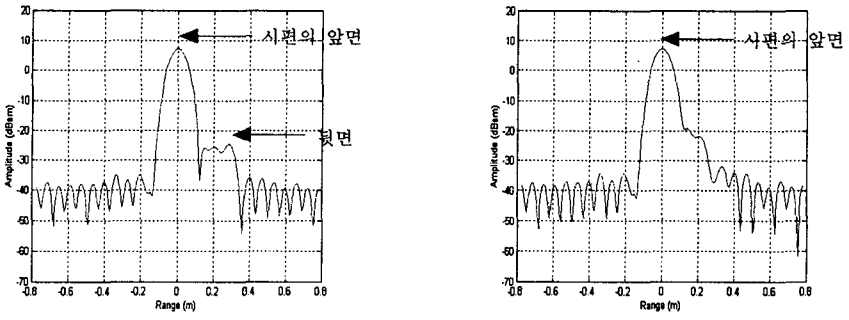
5. 주파수 대역별 신호의 영상화결과 분석

2~3.4 GHz 대역의 영상화 결과를 보면 무근 콘크리트 시편(그림 2.(a))의 경우 시편의 뒷표면을 볼 수 있으나, 철근이 있는 콘크리트 시편(그림 2.(b))은 철근을 탐지 못함을 알 수 있다. 이것은 레이더에서 얻은 데이터가 적어 충분한 분해능을 제공하지 못하기 때문이다. 3.4~5.8 GHz 대역의 영상화 결과는 무근 콘크리트 시편(그림 3.(a))은 시편의 뒷표면이 확인이 되었으나, 철근이 있는 콘크리트 시편(그림 3.(b))의 경우는 철근의 면적이 작아 철근에서의 전자파의 반사가 적고 분해능이 충분치 않기 때문에 철근을 탐지 할 수 없었다.



(a) 무근 콘크리트 시편 (b) 철근이 3개 있는 콘크리트 시편

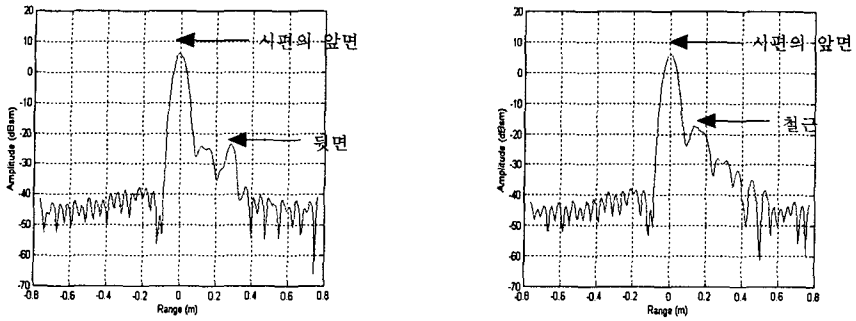
그림 2 2~3.4 GHz 대역의 영상화 결과



(a) 무근 콘크리트 시편 (b) 철근이 3개 있는 콘크리트 시편

그림 3 3.4~5.8 GHz 대역의 영상화 결과

분해능을 높이고자 주파수 대역을 합성한 2~5.8 GHz 대역의 영상화 결과를 보면 무근 콘크리트 시편의 시편의 뒷면(그림 4.(a))과 철근이 있는 콘크리트 시편의 철근(그림 4.(b))이 모두 확인이 됨을 알 수 있다.



(a) 무근 콘크리트 시편 (b) 철근이 3개 있는 콘크리트 시편

그림 4 2~5.8 GHz 대역의 영상화 결과

6. 결 론

(1) 주파수 대역을 합성한 2~5.8 GHz 대역에서는 콘크리트 시편의 두께를 확인했으며, 철근의 존재를 파악할 수 있었다.

(2) ISAR를 이용한 콘크리트의 비파괴 검사에 필요한 주파수 대역은 적정한 투과 능력과 해상도를 가질 수 있는 2~5.8 GHz 대역임을 확인하였다.

본 연구는 한국과학재단(KOSEF)에서 설립한 서울대학교 지진공학 연구센터(KEERC)로부터 연구비의 일부를 지원 받았고, 연세대학교 공과대학 건축과학기술연구소 비파괴 구조실험실이 보유하고 있는 교육부 지원 이공계대학 첨단 기자재를 사용하였다.

참고 문헌

1. 임홍철, 이지훈, 손병오, "레이더를 이용한 콘크리트의 두께 측정과 유효 측정 범위 설정에 관한 연구," 한국비파괴검사학회지, Vol. 20, No. 4, pp. 296-304, 2000.
2. 임홍철, 김우석, "레이더를 이용한 콘크리트 시편 내 수평 배근 간격 탐사," 한국지진공학회 논문집, Vol. 4, No. 2, pp. 65-71, 2000.
3. Hong C. Rhim and O. Buyukozturk, "Wideband Microwave Imaging of Concrete for Nondestructive Testing," ASCE Journal of Structural Engineering, Vol. 126, No. 12, pp. 1451-1457, 2000.
4. Dean L. Mensa, "High Resolution Radar Cross-Section Imaging," Artech House, Inc., 1995.
5. James A. Scheer and James L. Kurz, "Coherent Radar Performance Estimation," Artech House, Inc., 1993.
6. Alan V. Oppenheim, "Signals & Systems," Prentice Hall., 1991.