레이더를 이용한 콘크리트내 공동 탐사

Detection of Voids inside Concrete Using Radar

임 홍 철*

Rhim, Hong-Chul

ABSTRACT

Existence of void or delamination inside building foundation or tunneling lining can cause serious problems in structural safety. Therefore, probing of such voids in architectural and civil structures is an important process in evaluating the overall integrity of the structures. In this study, the radar method has been examined in its use in detecting voids inside concrete specimens. The dimensions of the specimens are 1,000 mm (width)×600 mm (height)×140 mm (thickness). A void is embedded inside concrete specimens with the dimensions of 200 mm (width)×600 mm (height) ×50 mm (thickness). Concrete cover depth of 30 mm , 60 mm is studied for comparison. In both cases, the void is located with 1 GHz antenna.

Key words: radar, void, antenna, concrete

1. 서론

사회 간접 자본 시설의 유지와 보수는 국가마다 주요 정책 과제 중 하나이다. 이러한 유지관리 및 보수 분야에서 비파괴검사법이 최근 들어 널리 활용되고 있다[1]. 비파괴검사방법 중 전자기파를 이용한 레이더법은 초음파 검사법과 함께 그 활용도가 늘어나고 있다.

레이더법의 장점은 빛의 속도로 빠르게 검사를 할 수 있고, 작은 에너지를 사용하므로 X-ray 방법에 비교할 때 안전하다는 점이다. 또한, 초음파 방법과 비교하여 비접촉 방식으로 탐사가 가능하기 때문에, 검사속도가 빠르고, 한번에 검사할 수 있는 범위가 넓다. 레이더법의 또 다른 장점은 안테나의 주파수를 변화시켜 해상도와 탐사심도를 사용목적에 맞게 조절할 수 있는데 있다.

이 논문에서는 중심 주파수 1 GHz인 안테나를 이용하여, 콘크리트 시편에 매립된 공동의 위치를 측정하고 그 결과를 분석한다. 개발된 신호처리 기법으로 상용레이더 시스템에서 얻어지는 화상데이터를 향상시켰으며, 공동의 위치를 실제 위치에 가깝게 찾아내었다.

* 정회원, 연세대학교 건축공학과 조교수

2. 이론

레이더에 의한 탐사는 그림 1에서와 같이 콘크리트 표면에서 내부를 향해 전자파를 방사한 후, 반사되어 돌아오는 신호를 처리, 영상화하는 것이다. 이때, 레이더로부터 방사된 전자파는 콘크리트 내에 있는 철근, 공동 등 각기 다른 전자기적 특성을 가진 물질로부터 반사파가 돌아오게 된다[2].

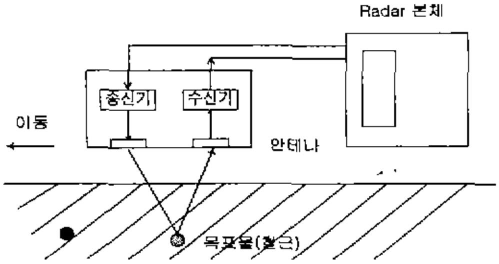


그림 1 레이더 측정 원리도

매질 중에서 전자파의 전파 속도는 파동 방정식에서 유도되며 다음과 같다[3].

$$v = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon\mu}} = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0\mu_0}} \cdot \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_r\mu_r}} = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon_r\mu_r}}$$

여기서, v는 매질에서의 전파속도(m/s), ε_r은 유전상수, c는 진공에서의 전자파의 속도(= 3×10^8 m/s), μ_r는 상대투자율 (relative permeability)을 나타낸다. 콘크리트는 주변 자장에 의해 영향을 받지 않으므로 상대투자율은 공기와 같은 1이 된다. 그러므로 콘크리트 내에서의 전자파의 전파속도는 다음과 같다.

$$v = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon_r}}$$

전자파의 속도로부터 유전상수를 구하면 다음과 같다.

$$\varepsilon_r = \left(\frac{c}{v}\right)^2 = \left(c \cdot \frac{\Delta t/2}{s}\right)^2$$

여기서, Δt는 왕복시간차, s는 전자파의 진행거리를 나타낸다.

3. 실험

공동 탐사를 위한 실험체는 콘크리트로 제작하였으며 배합비는 중량비로 다음과 같다.

물 · 시멘트 : 모래 = 1 : 2.2 : 5.6

실험체의 크기는 1,000 mm (폭)×600 mm (높이)×140 mm (두께) 이며 공동의 크기는 200 mm (폭)×600 mm (높이)×50 mm (두께) 이며 그림 2에 실험체의 형상을 나타내었다

실험체는 공동까지의 피복 두께를 30 mm , 60 mm로 변화시켜서 2 개 제작하였고 공동의 재질은

스티로폼이다.

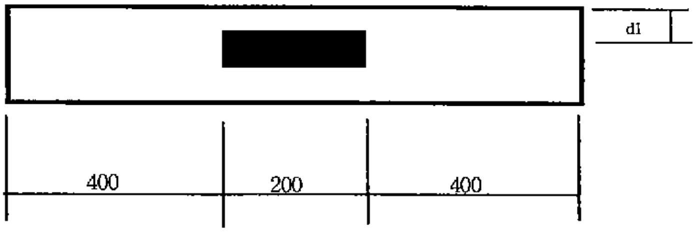
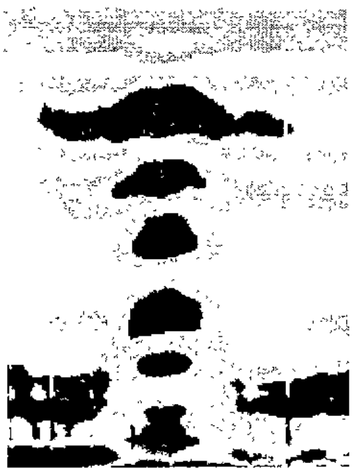


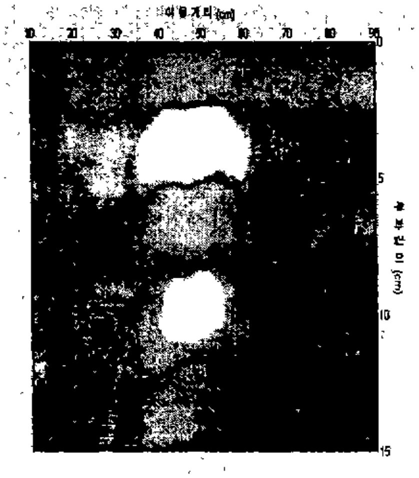
그림 2 공동 탐사를 위한 콘크리트 시편(d1 : 30 mm 와 60 mm)

4. 실험 결과

아래 그림 3 과 4 는 실험체의 실험결과이다. (a)는 레이더 본체에 측정시 표시되는 raw data이며 (b)는 신호처리과정을 거친 데이터이다.



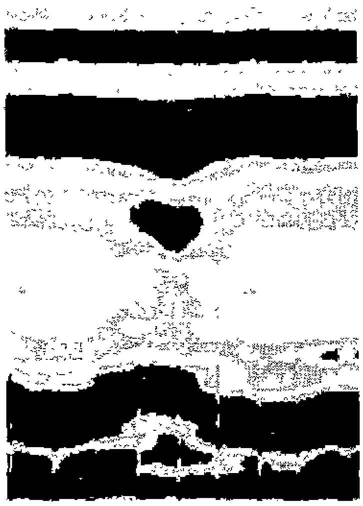
(a) 피복 30 mm (Raw data)



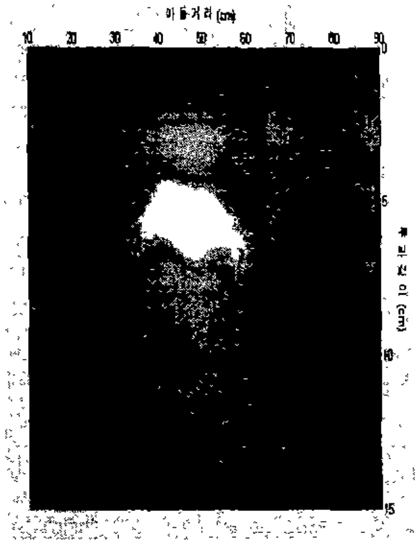
(b) 피복 30 mm (신호처리)

그림 3 피복 30 mm 실험 결과

피복 30 mm의 실험체의 결과는 일반 상용 레이더 화상으로는 Ringing 의 영향으로 공동 탐사가 불가능하나 60 mm의 경우는 대략적으로 탐사가 됨을 알 수 있다. 신호처리한 (b)는 공동의 형상을 잘 나타내고 있다. 그러나 피복 30 mm의 경우 깊이 10 cm 에 작은 공동이 있는 것처럼 보이고 피복 60 mm의 경우는 공동의 크기가 실제보다 작게 나타나고 있다.



(a) 피복 60 mm (Raw data)



(b) 피복 60 mm (신호처리)

그림 4 피복 60 mm 실험 결과

5. 결론

1 GHz의 중심주파수를 가진 레이더를 이용하여, 콘크리트 시편 내에 매립된 공동을 탐사한 결과, 그 존재여부와 위치를 모두 확인하였다. 상용 레이더에서는 확인하기 힘든 공동의 정확한 위치를 신호처리 과정을 거친 영상에서 확인할 수 있었다. 다만 피복 깊이가 얕은 경우 Ringing 현상과 피복 깊이가 깊어지는 경우 공동의 크기가 작아지는 것에 대해서 추후 연구가 진행되어야 할 것이다.

감사의글

본 연구는 한국과학재단 (KOSEF)에서 설립한 서울대학교 지진공학 연구센터 (KEERC)로부터 연구비를 지원 받았고, 교육부의 1996년도 이공계 대학연구소 기자재 첨단화 지원사업에 따라 연세대학교 공과대학 건축과학기술연구소 비파괴구조연구실이 보유하고 있는 실험 장비를 사용하였다.

참고 문헌

1. "건축 토목구조물의 비파괴검사방법," 한국 콘크리트학회지, 제10권, 제2호, 1998, pp. 5-64.

2. Johnson R.C., *Antenna Engineering Handbook*, McGraw-Hill, New York, 1993, pp. 1477.

3 Ulaby, F.T., Moore, R.K. and Fung, A.K., "Microwave Remote Sensing Active and Passive,