

콘크리트 터널 라이닝 배면공동의 깊이 및 두께 변화에 따른 전자파 레이더의 반사파 특성

Reflection Wave Property of Electromagnetic Radar according to Change of Depth and Thickness of Voids under Concrete Tunnel Lining

박 석 균*

Park, Seok Kyun

ABSTRACT

This study aims to detect only voids and estimate the cross-sectional size and thickness of voids using radar. A new method based on radar image processing is carried out with various void sizes and depths. The regression relationship between void size which has different depth and the amplitude characteristics of the radar return is considered in a new method of this research. For the purpose of examining this regression relationship, experiments with change of void depth, surface area and thickness were carried out. Finally, the threshold value for image processing which aims to represent only voids to be fitted size (width) can be obtained. As the results, a proposed method in this study has a possibility of detecting only voids and estimating void size and thickness with good accuracy.

1. 서 론

레이더법에 의한 콘크리트의 비파괴검사는 적용부재에 대하여 제약이 비교적 적고, 측정도 다른 검사 방법 보다 빠르고 간단하기 때문에, 콘크리트 배면 공동의 검출에 최적인 검사방법으로서 각광받고 있다. 그러나 토목 구조물에 대하여 적용하는 경우에는 감쇠 및 산란 등의 영향이 크고, 고주파 성분의 사용이 곤란하기 때문에 분해능도 나빠진다. 특히 공동의 크기나 두께를 분해능이 좋지 않은 저주파수 레이더로 탐사하는 일은 매우 어려운 작업이다. 본 연구는 이와 같은 문제를 해결하기 위해 저주파수 대 레이더를 이용해 공동만을 검출하고 그 크기(두께와 폭)를 추정하기 위한 새로운 방법을 제시하였다.

2. 해석방법

2.1 공동의 크기검출 화상처리방법의 기본 원리 및 개념

배면재료 내의 공동은 공기중의 비유전율값인 1로 간주할 수 있고, 주위 매질은 주로 지반재료로서 공기중의 비유전율값보다는 비교적 큰 차이를 나타내기 때문에 공동과의 경계면으로부터는 비교적 강한 반사파를 얻을 수 있다. 특히, 배면공동 탐사용 레이더의 경우는 보통 600MHz이하의 저주파수를

*정회원, 대전대학교 토목공학과 교수

이용하기 때문에 배면재료 내에 잡석 등 작은 크기의 이물질이 존재하더라도 공동과 같이 비교적 큰 목표물을 검출하는 데에는 큰 지장을 받지 않는다.

일정크기의 공동에 대한 레이더 화상의 기울기 벡터처리 결과인 Fig. 1로부터 알 수 있는 바와 같이, 일정 크기 이상의 벡터만을 나타내면 공동의 바로 위에서 반사된 신호의 기울기벡터 방향은 공동의 상부면에 대해 연직각을 이루고, 이 때의 기울기벡터 크기는 최대치 그룹을 형성하고 있다. 이는 레이더의 안테나 위치가 공동의 바로 위에 진입한 때부터 안테나로부터 수직으로 발신된 신호의 반사경로가 최단거리가 되고, 그 때 직진하는 발·수신 신호의 강도가 최대로 되기 때문이다. 따라서 이들 최대강도 그룹 내의 역치 이상의 신호만을 선택하면(Fig. 3) 공동 바로 위의 범위, 나아가 공동의 크기까지 알 수 있다.

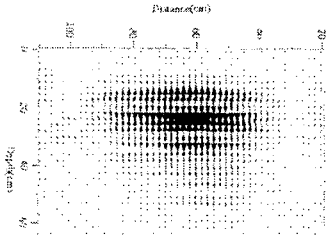


Fig. 1 Gradient vectors for radar image of a void

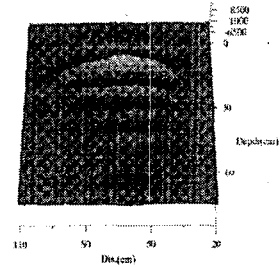


Fig. 2 Three dimensional radar image of a void

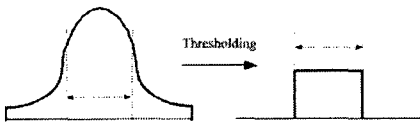


Fig. 3 Concept of thresholding

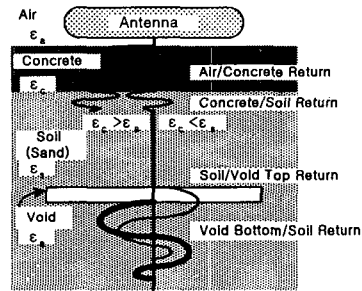


Fig. 4. Behavior of radar returns at multiple boundaries

2.2 공동의 두께 추정방법

측정대상 구조물이 콘크리트와 지반(모래)의 2층 경계 구조물이라고 가정하면, 그 배면공동에 대한 전자파의 반사파형은 Fig. 4에 나타난 바와 같이 제1파형은 공동과 콘크리트표면으로부터의 반사, 제2 파형은 콘크리트 저면과 지반면으로부터의 반사, 제3파형은 지반면과 공동표면으로부터의 반사, 제4파형은 공동저면과 모래면으로부터의 반사 등 총 4종류의 대표적인 반사파형으로 대별된다. 따라서 배면 공동의 두께를 검출하기 위해서는 먼저 제3파형과 제4파형간의 신호구분이 필요하나 600MHz이하의 저주파수대 탐사에서는 이의 신호구분이 곤란하다.

이에 따라 Table 1에 나타난 실험조건에서와 같이 먼저 동일 두께 및 동일 표면적의 공동에 대해서 각 깊이별로 공동으로부터의 레이더 최대반사강도와 변화특성(상관관계)을 검토하였다. 다음으로 상기 조건하에서 동일 깊이 및 동일 두께의 공동에 대해서 공동의 표면적 변화별 상관관계를 분석하였다. 끝으로 동일 깊이 및 동일 표면적 공동에 대해서 공동의 두께특성을 검토함으로써 이들 각 검토항목별 상관관계식을 비례식 원리에 의해 종합하여 식(1)과 같은 일반식을 도출하였다.

$$T_{STC}(cm) = \frac{4020 - R_{m/STC} \cdot \frac{A}{1.6 \times 10^6 B} e^{-0.0378D(cm)}}{49.1} \quad (1)$$

여기서, T_{STC} 는 사용장치 특성하에서의 공동의 추정두께, $R_{m/STC}$ 는 STC처리를 하지 않은 경우의 최

대반사강도, A, B 는 식(2)에 의해 STC처리를 한 경우의 사용 장치의 깊이별 반사신호 특성을 기준으로 하여 공동의 깊이와 최대반사강도와와의 관계식으로 얻어진 계수, D 는 공동까지의 깊이이다.

$$R_{m/STC_i} = Ae^{-BD(cm)} \quad (2)$$

여기서, R_{m/STC_i} 는 STC처리를 한 경우의 사용장치에 따른 최대반사강도이다. STC란 깊은 깊이 탐사시에 전자파신호의 감쇠를 보정하기 위해 설정한 기능으로서 지중탐사형 레이더의 경우는 대부분 이 기능을 보유하고 있다.

참고로, STC 1, 20, 80의 각 등급별 깊이에 따른 신호의 강조특성 비교예를 Fig. 5에 나타내었다. 이 그림으로부터 알 수 있는 바와 같이 동일 탐사결과에 대한 깊이별 신호강도에도 불구하고, 각 STC처리특성(등급)에 따라 깊이별 신호강도가 강조되는 모양이 다르게 나타나고 있기 때문에, 본 기능을 탑재한 장치에서는 그 장치에 맞는 STC처리특성을 식(2)에 의해 구하여 반드시 이의 보정을 하여야 한다.

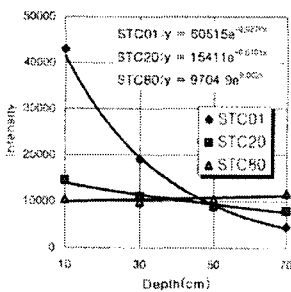


Fig. 5 Relationship between maximum amplitude characteristics of radar return and void depth when STC 1, 20, and 80 are applied

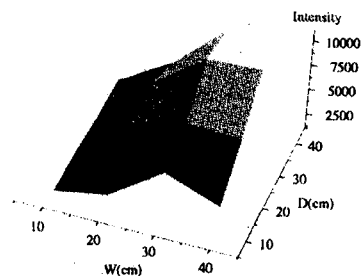


Fig. 6 Relationship between maximum amplitude characteristics of radar return and void surface area

한편, 본 방법은 가로, 세로의 크기가 각각 40cm이상이고, 두께가 10cm이상인 공동에 대한 두께의 추정에 유효하다. 왜냐하면, 본 방법에 의한 실험조건 중 동일 깊이에서의 공동의 표면적 크기별 최대 반사강도의 변화특성(상관관계)을 검토한 Fig. 6의 실험결과에 의하면, 공동의 표면적은 레이더 안테나의 크기에 의하기도 하지만 가로, 세로의 크기가 각각 40cm(또는 직경 40cm)전후 크기 이상에서는 공동에 대한 최대반사강도의 변화가 거의 일정하게 유지되는 것을 알 수 있어, 이 크기 이상의 공동에 대해서는 표면적 변화에 의한 영향을 무시할 수 있으므로 식(1)만으로도 공동의 두께를 추정할 수 있음을 알 수 있기 때문이다.

3. 실험조건

본 연구를 위한 시험체의 예는 Fig. 7과 같고, 실험조건은 Table 1과 같다.

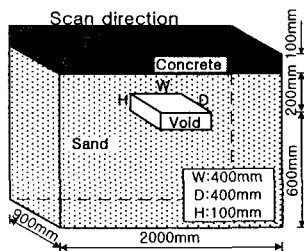


Fig. 7 Example of experimental condition

Table 1 Experimental design for estimation of void size(W, D and H are defined in Fig. 8) and thickness

	Void conditions (Unit: cm)	
	Fixed factor	Variable factor
Change in void depth	W40, D40, H10	Depth 10,30,50,70
Change in void surface area	Depth30, H10	D10,20,30,40
	W10	D10,20,30,40
	W40	W20,30,40
	D10	W20,30,50
	D40	D20
	W20	D30
Change in void thickness[H]	W30	D50
	W50	
	Depth30,	H10,20,30
	W40, D40	

본 실험에서는 지중탐사형 레이더인 GPR(Ground Probing Radar)을 사용하였다. 주파수 범위는 20MHz~1GHz의 광대역이고 중심주파수는 600MHz이다.

5. 결과 및 고찰

이상의 처리수준에 따라 측정결과 중에서 대표적인 경우를 선정해 화상처리를 실시한 결과를 Fig. 8에 나타내었다.

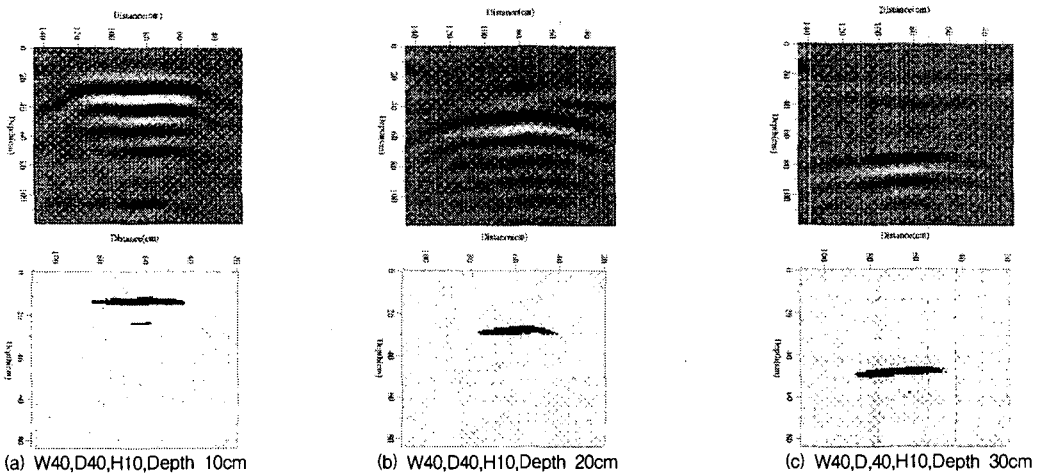


Fig. 8 Radar images removed surface wave(up) and results of image processing(down)

이상의 각 조건별 화상처리기법을 이용하여 공동의 크기(폭)를 검출한 결과를 Table 2에 나타내었다.

Table 2 Results of detection of a void size (width) by image processing for each condition (unit : cm)

	Experimental Conditions	Void size (Width)	Results	Relative error	Average error
Change in void depth	W40, D40, H10	40	40	0	-1.5
	Depth10	40	36	-4	
	30	40	39	-1	
	50	40	39	-1	
Change in void surface area	W10, D40, H10	10	-	-	+3.5
	W20, D40, H10	20	23	+3	
	W30, D40, H10	30	34	+4	
Change in Void thickness	W40, D40, H20	40	34	-6	-4.0
	W40, D40, H30	40	37	-3	

6. 결 론

(1) 본 연구에서 제안된 기법을 이용하면 레이더 탐사화상으로부터 공동의 크기만을 화상 상에 나타내는 것이 가능하다. 각종 크기의 모의 공동에 대해 공동의 깊이변화별, 수평면적별, 두께별로 실험한 후 공동만의 크기를 검출한 결과, 전체 상대오차의 평균이 -1.4cm(절대 평균치는 2.6cm)로 나타났다.

(2) 두께 추정방법에 의한 검출결과도 가로, 세로 각각 40cm의 일정 수평면적 크기 이상의 공동에 대해서 10~70cm의 깊이와 10~30cm의 두께 범위의 공동에 대해 검출한 결과, -2.0~+1.5cm의 오차 범위를 나타내었다.

감사의 글

본 연구의 일부 결과는 한국과학기술원 스마트사회기반연구센터(SISTeC)의 연구비 지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.