

## 레이더의 안테나 주파수 변화에 따른 콘크리트 두께 측정

임홍철<sup>1)</sup> · 이윤식<sup>1)\*</sup> · 우상균<sup>2)</sup> · 송영철<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>연세대학교 건축공학과 <sup>2)</sup>한국전력공사 전력연구원

(2002년 7월 8일 원고접수, 2003년 3월 21일 심사완료)

### Measurement of Concrete Thickness with Antenna Frequency Variation of Radar

Hong-Chul Rhim<sup>1)</sup>, Yoon-Sik Lee<sup>1)\*</sup>, Sang-Kyun Woo<sup>2)</sup>, and Young-Chul Song<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Dept. of Architectural Engineering, Yonsei University, Seoul, 120-749, Korea

<sup>2)</sup> Korea Electric Power Research Institute, Daejeon, 300-713, Korea

(Received July 8, 2002, Accepted March 21, 2003)

#### ABSTRACT

Ground Penetrating Radar (GPR) is a powerful equipment with a wide range of applications in the nondestructive testing of concrete. It is useful for measuring the depth of concrete and locating steel bars and delaminations embedded in concrete. Among those inspections, it is the basis of detecting the damage of concrete structures to measure the depth of concrete.

The purpose of this study is to measure the thickness of concrete member with antenna frequency variation. For this study, a series of experimental work has been conducted to evaluate the capability of Ground Penetrating Radar (GPR) system in measuring concrete thickness. Three antenna of 900 MHz, 1,000 MHz, and 1,500 MHz were used in the experiments for laboratory size specimens, and 100 MHz antenna has been used for a complex large size specimen.

In all cases, the data acquired from GPR equipment were signal-processed, and the thickness of concrete was successfully measured. Moreover, the concrete depths which can be measured using the each frequency of antenna used in this experiment were found. Also, a foundation could be provided for the possible research for measuring the thickness of concrete using GPR through this research.

**Keywords :** ground penetrating radar (GPR), concrete, thickness, frequency

## 1. 서 론

콘크리트 구조물은 시간이 지남에 따라 노화현상이 발생하고 그로 인하여 내구성 저하가 일어난다. 이 때문에 콘크리트 구조물의 안전성에 관련된 문제가 대두되었고, 안전 진단을 수행하여 구조물의 성능평가를 하고 있다. 구조물 성능평가 방법으로는 각종 비파괴 검사방법이 사용되고 있는데, 그 중 레이더검사가 유용하게 사용된다.<sup>1)</sup> 비파괴 검사의 실시 목적은 크게 두께 측정, 철근 탐사, 공동 탐사 등으로 분류되어진다. 이 중 콘크리트 두께 측정은 기본이 되는 것으로 단순할 지라도 중요한 의미가 있다. 포장도로의 시공 두께, 사용년수 경과후 잔여 두께 측정, 그리고 양면 접근이 힘든 콘크리트 벽체, 기초, 터널 배면의 두께를 측정하는 것에 유용하게 사용될 수 있다.<sup>2)</sup>

기존 연구에서는 두께 측정을 위해 탄성파를 이용한 연구<sup>3)</sup>들이 이루어지거나, 포장두께에 대한 연구, 그리고, FM CW 레이더를 이용한 연구들이 이루어 졌다. 본 논문에서는 Ground Penetrating Radar (GPR)을 이용하여 건축 구조물의 두께를 측정하기 위하여, 900 MHz, 1,000 MHz, 그리고 1,500 MHz의 세 종류의 안테나를 이용한 콘크리트 두께 측정 가능성을 알아보고, 100 MHz의 안테나를 사용하여 원자력 발전소 격납건물 벽체 실물 모형에 대해서 실험하였다. 또한, 일반 상용레이더의 영상을 신호처리하여 향상된 데이터를 그래프를 이용해 콘크리트 뒷표면 위치를 찾아내었다. 그러나 두께 측정 시에는 2차원 영상을 필요로 하지 않아 신호처리된 그래프를 사용하였다.

## 2. 레이더를 이용한 두께 측정

### 2.1 두께 측정 원리

\* Corresponding author  
Tel : 02-2123-2792 Fax : 02-365-4668  
E-mail : yoonlee@uiuc.edu

레이더 (radar)의 측정 원리는 마이크로파 대역의 전자파가 목표물 혹은 매질을 통과할 때, 그 전자파의 투과와 반사가 목표물 혹은 매질의 전자기적 특성과 모양에 영향을 받는 성질을 이용한 것이다. 실측 과정에서는 송신 안테나로부터 탐사하고자 하는 콘크리트 시편에 전자파를 방사하면, 이 전자파는 전자기적 성질이 다른 물질, 예를 들어, 철근, 공동, 또는 시편의 뒷표면 등의 경계면에서 반사되어 수신 안테나에 도달한다. 이 전자파의 반사파형으로부터 매립된 물체의 모양과 재질을 판정하거나 뒷표면까지의 두께를 측정하게 된다.<sup>4)</sup>

즉, 매질의 경계면에서의 전자기파의 반사와 투과는 매질의 전자기적 특성에 직접적인 영향을 받는다. 전자기적 특성이 서로 다른 두 매질의 경계에서 발생하는 전자기파의 반사계수( $\Gamma$ )는 다음과 같다.

$$\Gamma = \frac{\eta_2 - \eta_1}{\eta_2 + \eta_1} = \frac{\sqrt{\epsilon_{r1}} - \sqrt{\epsilon_{r2}}}{\sqrt{\epsilon_{r1}} + \sqrt{\epsilon_{r2}}} \quad (1)$$

여기서,  $\eta_1$ 과  $\eta_2$ 는 특성임피던스 (characteristic impedance)를 나타내고,  $\epsilon_{r1}$ 과  $\epsilon_{r2}$ 는 유전상수 (dielectric constant)를 나타낸다. 아래첨자 1과 2는 각각 첫 번째 매질과 두 번째 매질을 가르킨다. 이러한 반사계수의 부호에 따라서 반사파의 위상이 달라지게 된다.<sup>5,6)</sup> 따라서 전자파가 콘크리트 내를 진행하다가 매질이 다른 물질, 즉 뒷표면 공기에 다다르면 반사파의 위상이 틀려지는데, 이 위상을 해석하여 콘크리트의 두께를 측정할 수 있다.

## 2.2 콘크리트의 전자기적 특성

유전상수는 외부의 전기장으로부터 유전체가 에너지를 축적할 수 있는 정도를 나타내는 것이며, 대부분의 고체나 액체에서 1보다 큰 값을 보인다. 그리고 손실요인 (loss factor)은 외부의 전기장에 대해 유전체의 에너지 손실 정도를 나타내며, 일반적으로 유전상수에 비해 아주 작은 값을 가진다. 이 유전상수는 다음 식으로 표현 할 수 있다.<sup>7)</sup>

$$\epsilon_r^* = \epsilon_r - j\epsilon_r' \quad (2)$$

여기서,  $\epsilon_r^*$ : 상대 복소유전율,  $\epsilon_0$ : 자유 공간의 유전율 ( $8.854 \times 10^{-12}$  Farad/meter),  $\epsilon_r$ : 유전 상수,  $\epsilon_r'$ : 손실 요소이다.

콘크리트 내 파의 전파속도와 두께측정을 살펴 볼 때 매질 중에서 전자파의 전파 속도는 파동 방정식에서 유도되며 다음과 같이 표현된다.

$$v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon\mu}} = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0\mu_0}} \frac{1}{\sqrt{\epsilon_r\mu_r}} = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r\mu_r}} \quad (3)$$

여기서,  $v$ : 속도 (m/s),  $c$ :  $3 \times 10^8$  [m/s],  $\mu_r$ : 상대 투자율이다.

콘크리트는 주변 자장에 의해 영향을 받지 않으므로, 상대 투자율은 공기와 같은 1이 된다. 그러므로 콘크리트 내에서의 전자파의 전파속도는 다음과 같다.

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (4)$$

시편의 두께는 앞면의 측정시간과 뒷면에서의 측정시간과의 차이, 즉 콘크리트 시편 내에서의 진행시간에 속도를 곱하여 구할 수 있다. 이때의 시간차는 왕복시간차이므로, 1/2을 곱한 값에 속력을 곱해야 시편의 두께가 된다.

$$D = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}} \times \frac{\Delta T}{2} \quad (5)$$

여기서,  $D$ : 두께 [mm],  $c$ :  $3 \times 10^8$  [m/s],  $\Delta T$ : 왕복 이동 시간 [ns] 이다.<sup>8)</sup>

## 2.3 컴퓨터 모델링에 의한 해석

컴퓨터 모델링을 실험에 앞서 실시하여 콘크리트 안에서 레이더파의 진행과 반사를 예측할 수 있다.

Fig. 1은 100 mm, 150 mm, 200 mm 두께의 콘크리트를 모델링한 그래프이다. Fig. 1에서 시편의 앞 표면은 반사파가 처음 나타나는 지점으로 반사파의 위상 (Amplitude)이 가장 크고, 시편의 뒷 표면은 앞 표면과 반사파의 위상이 반대 부호로 나타나는 지점이 된다.

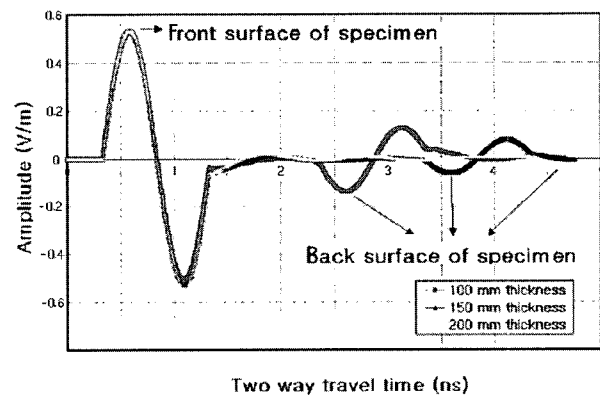


Fig. 1 Thickness measurement modeling

## 2.4 측정 시 고려해야 할 요인

레이더로 두께 측정 시, 중요한 고려 요소는 안테나의 주파수와 콘크리트의 수분 함유상태 등이다. 안테나의 주파수는 주파수가 높을수록 해상도와 분해능은 우수해지지만, 투과 심도가 낮아지는 단점이 있다. 이러한 안테나의 영향 요인을 알아보기 위해 기본시편에 대해서 900 MHz, 1000 MHz, 1500 MHz 의 3 종류의 안테나를 사용하여 탐사성능을 비교하였다.

또한, 전자파의 진행속도는 콘크리트의 수분 함유상태에 따라 영향을 받게 된다. 콘크리트 속에 수분을 많이 함유하고 있을 경우, 전자파의 진행 속도가 느려진다. 일반적인 콘크리트의 유전상수는 4 ~ 15 의 값을 가진다.

## 3. 두께 측정 실험 및 결과

### 3.1 실험 장비

기본시편 및 간섭시편에는 레이더에 900 MHz와 1000 MHz 그리고 1500 MHz의 중심주파수를 갖는 안테나를 연결해서 사용하였다. 그리고, 복합시편에는 100 MHz의 중심주파수를 갖는 안테나를 연결해서 사용하였다. 실험에 사용된 안테나는 송신안테나와 수신안테나가 상자 안에 따로 분리되어 있는 형태이다. 수신안테나에서 받은 반사파는 본체 제어부에 저장되고 여기서 측정된 데이터는 신호처리를 위한 데이터 분석용 프로그램에서 분석된다.

### 3.2 측정방법

기본시편 및 간섭시편의 실험은 시편의 표면에 안테나를 가만히 놓고 1초간 측정하였다. 매질의 변화에 따른 수신파의 변화를 통해 시편의 앞면과 뒷면을 찾아낼 때, 파의 감쇠로 인하여 뒷면은 찾아내기가 어렵다. 이것을 보완하기 위하여 Fig. 2에서와 같이 뒷표면에 철판을 부

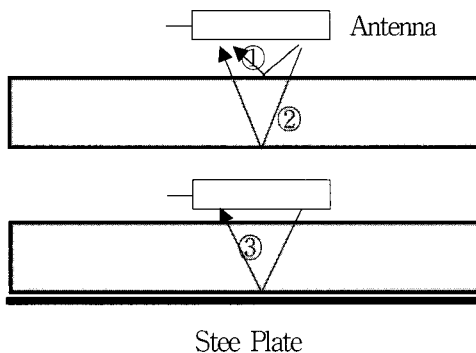


Fig. 2 Method of measuring dielectric constant

착하였다. 철판은 전자기파에 대하여 전반사를 일으키므로, 철판을 댄 경우와 그렇지 않은 경우의 신호의 차이값 (② - ③)을 구하면 뒷표면까지의 도달시간을 알 수 있다. 시편의 앞표면은 ①번 반사파의 도달시간을 통해 알 수 있다. 복합시편의 실험은 이미 뒷표면에 철판이 부착되어 있기 때문에 시편 표면에 4곳의 측정영역을 정한 후 안테나를 놓고 각각 1초간 두께를 측정하였다.

### 3.3 기본 시편 두께 측정 및 결과

기본 시편은 5개를 제작한 후 두께를 측정하였으며, 시편의 배합비 (물 : 시멘트 : 잔골재)는 1 : 2.22 : 5.61 이다. 시편의 단면은 길이 900 mm × 폭 600 mm 의 크기에 두께를 100 mm, 150 mm, 200 mm, 250 mm, 그리고 300 mm 로 변화시켜 가면서 실험을 진행하였다.

Fig. 3과 Fig. 4은 900 MHz 안테나를 사용하여 측정된 실험결과이다. 매질의 변화에 따른 파형의 변화를 통해 앞표면에서 뒷표면까지의 도달시간을 알아낼 수 있다.

Fig. 5의 그래프는 1,000 MHz 안테나를 사용하여, 콘크리트 시편 뒷면에 철판이 없는 경우와 있는 경우를 측정된 결과이다. 두께가 얇은 콘크리트를 측정하였을 때는 철판이 있는 경우와 없는 경우 뒷표면에 있어서 측정값이 분명히 차이가 나지만, 콘크리트 두께가 두꺼워질수록 두 경우의 차이가 반사파 크기의 감쇠로 인하여 분별이 어려워짐을 알 수 있다. 따라서 이 경우는 Fig. 6의 신호처리를 이용하여 뒷면을 찾아 낼 수 있다. Fig. 7과 Fig. 8 는 1,500 MHz 안테나를 사용한 실험 결과로서, 900 MHz, 1,000 MHz 안테나를 사용한 결과와 비교할 때, 투과 깊이가 작아지는 것을 알 수 있다. 1,500 MHz 안테나를 사용한 경우에는, 신호처리를 하더라도 두께 150 mm 정도까지만 투과가 가능한 것으로 나타났다. 결과적으로 세 안테나 모두 앞표면 신호를 정확히 찾아낼 수 있었다.

Fig. 3, Fig. 5, Fig. 7을 이용하여 각 시편의 앞표면을 찾아내며, 파의 감쇠로 인해 뒷표면을 찾아내기 어려운 경우에 철판이 있는 경우와 없는 경우의 차이값을 나타내는 Fig. 4, Fig. 6, Fig. 8을 이용하여 뒷표면을 찾아내도록 한다. 측정값을 분석하고 두께를 알고 있는 경우의 시편 앞표면과 뒷표면의 시간차를 구해 속도를 구하고 이 값을 식 (4)에 대입하여 유전상수 값을 구한다. 그리고 구해진 유전상수 값을 평균하여 식 (5)에 대입하면 두께를 찾아 낼 수 있다.

일반적으로 유전상수 값은 코어 채취를 통하여 얻을 수 있지만, 본 실험에서는 미리 알고 있는 시편의 두께를 이용하여 유전상수 값을 계산하는 방법을 사용하였다.

식 (4)를 이용하여 유전상수를 구하면 Table 2과 같다. 유전상수 측정 시 양생에 따른 유전상수의 변화를 알기

위해 1주 단위로 측정하였다. 콘크리트 시편의 두께는 Table 1와 Table 2 값들을 통해서 계산된 유전상수의 값들을 식 (5)에 대입하여 구할 수 있다. 시편제작이 동시에 이루어 졌고, 보관 상태도 동일하므로 이 유전상수 값들의 평균값을 이용하여 두께 계산에 적용하였다.

Table 1 Two way travel time

Thickness	Two way travel time $\Delta T$ (ns)		
	900 MHz	1,000 MHz	1,500 MHz
100	1.89	1.98	1.97
150	2.83	2.96	2.95
200	3.80	3.95	-
250	4.75	4.95	-
300	5.69	-	-

Table 2 Dielectric constant

Thickness	Dielectric constant		
	900 MHz	1,000 MHz	1,500 MHz
100	8.04	8.82	8.77
150	8.01	8.76	8.72
200	8.12	8.78	-
250	8.12	8.82	-
300	8.09	-	-

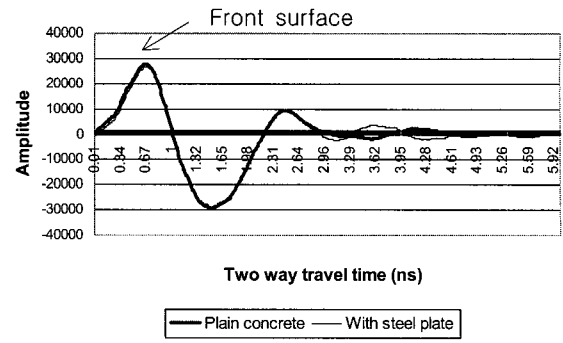


Fig. 5 Result of measuring 150 mm thick specimen with 1,000 MHz antenna

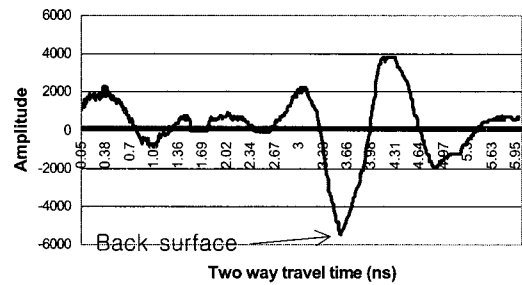


Fig. 6 Signal processed result after measuring 150 mm thick specimen with 1,000 MHz antenna

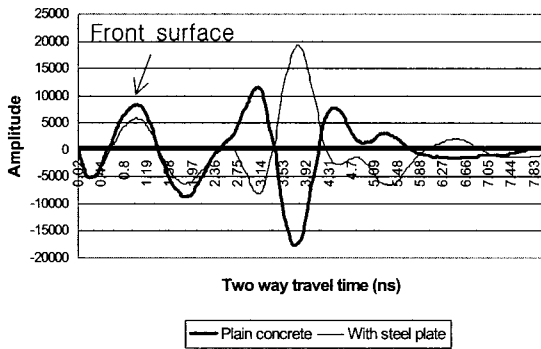


Fig. 3 Result of measuring 150 mm thick specimen with 900 MHz antenna

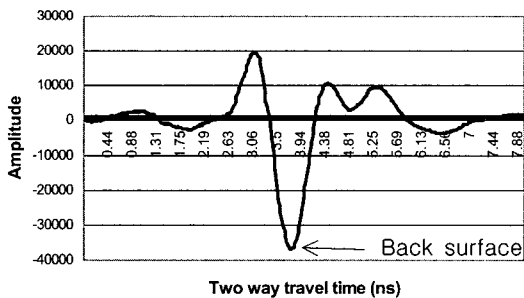


Fig. 4 Signal processed result after measuring 150 mm thick specimen with 900 MHz antenna

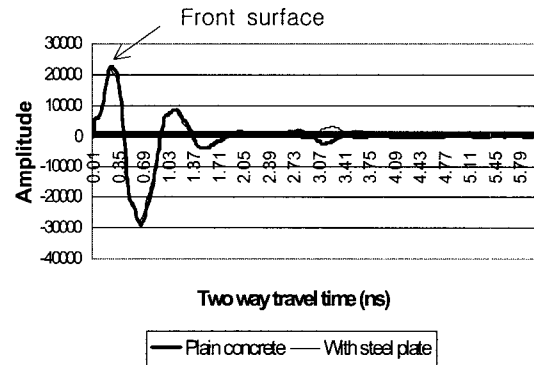


Fig. 7 Result of measuring 150 mm thick specimen with 1,500 MHz antenna

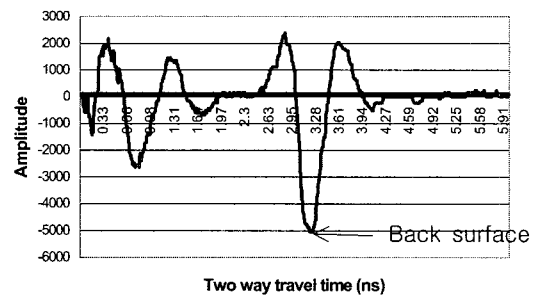


Fig. 8 Signal processed result after measuring 150 mm thick specimen with 1,500 MHz antenna

**Table 3** Thickness measurement using dielectric average value ( $\epsilon_r = 8.46$ )

Thickness (mm)	900 MHz	
	Calculated value (mm)	Error (%)
100	97.34	2.66
150	145.75	2.83
200	195.70	2.15
250	244.64	2.14
300	303.34	1.11

**Table 4** Thickness measurement using dielectric average value ( $\epsilon_r = 8.46$ )

Thickness (mm)	1,000 MHz	
	Calculated value (mm)	Error (%)
100	101.97	1.97
150	152.44	1.63
200	203.43	1.72
250	254.93	1.94

**Table 5** Thickness measurement using dielectric average value ( $\epsilon_r = 8.46$ )

Thickness (mm)	1,500 MHz	
	Calculated value (mm)	Error (%)
100	101.46	1.46
150	151.93	1.27

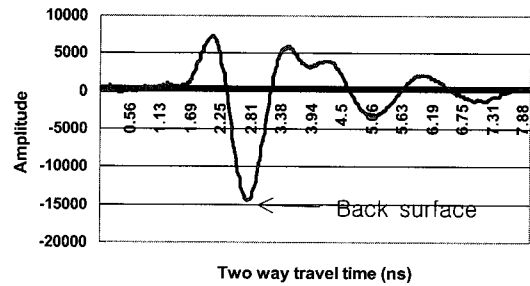
세 개의 안테나를 이용하여 각각의 시편의 두께를 측정했을 때의 측정값과 오차율을 Table 3, 4, 5에 나타냈다. 측정에 사용된 안테나로 측정할 수 없는 두께에 대해서는 측정값을 표기하지 않았다.

900 MHz 안테나 측정치의 오차율이 다른 안테나로 측정한 값의 오차율보다 조금 크지만 300 mm 두께의 모르타르까지 측정할 수 있었고, 1,500 MHz의 안테나로 측정하였을 경우에는 오차율은 줄었지만 측정가능 두께가 150 mm까지였다. 1,000 MHz의 안테나로 측정하였을 때는 측정가능 두께가 250 mm 까지였고, 오차율은 다른 두 안테나의 결과의 중간치였다.

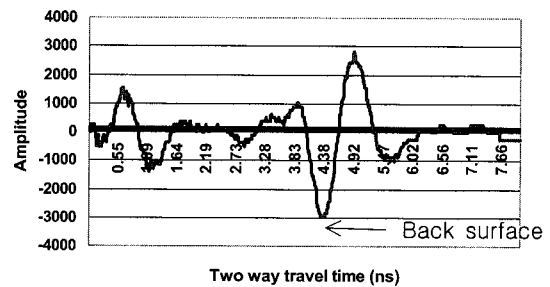
결과적으로 저주파로 갈수록 투과 깊이가 깊어지는 반면에 분석의 정확도는 떨어지고, 고주파로 갈수록 투과 깊이가 알아지지만 해상도가 높아져서 좀 더 정확한 깊이를 측정할 수 있다는 것을 알 수 있다.

### 3.4 철근 간섭 시 두께 측정 및 결과

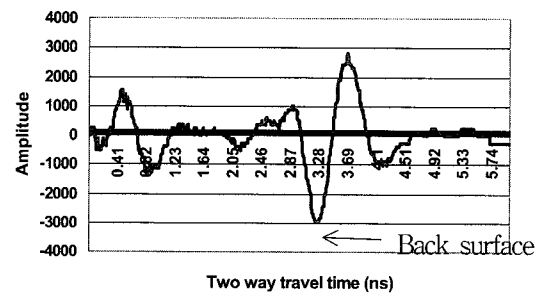
레이더로 두께를 측정하는데 있어 철근의 영향을 알아



(a) 900 MHz antenna



(b) 1,000 MHz antenna



(c) 1,500 MHz antenna

**Fig. 9** Results of measuring thickness with antenna variation

보기 위해 철근이 매립된 시편을 제작하여 두께 측정을 실시하였다. 시편의 제조에 사용된 모르타르의 배합비 (물 : 시멘트 : 잔골재)는 1 : 2.22 : 5.61 이고, 시편의 크기는 길이 1000 mm × 폭 1000 mm × 두께 140 mm 이며, 모르타르 내부에 직경 19 mm의 철근을 피복두께 (d1) 30 mm로 매립하여 제작하였다.

Fig. 9는 원신호를 신호 처리한 것으로 이를 통해 철근이 매립된 시편의 경우 뒷면을 찾아내는데 어려움은 없었다. 실험 결과에서 보는 바와 같이, 뒷면에 부착된 철판에 의한 신호와 철판이 없는 경우의 신호를 명확하게 구분해 낼 수 있었고, 그 두 신호의 차이를 통하여 뒷면을 정확하게 찾아낼 수 있었다. 결과적으로 철근 간섭은 두께 측정에 있어 큰 영향을 주지 않는 것으로 나타났다.

### 3.5 공동 간섭 시 두께 측정 및 결과

철근 시편과 같이 하나의 시편을 세 가지 안테나를 이용하여 각각 측정하였다. Fig. 11에서 사용된 공동시편의 크기는 길이 1000 mm × 폭 600 mm × 두께 140 mm이며, Fig. 10에서 처럼 모르타르 시편 내부에 두께 (d2) 50 mm인 스티로폼을 피복두께 (d1) 30 mm로 매립하여 제작하였다.

앞표면은 파형 분석을 통해 쉽게 찾아낼 수 있지만, 뒷표면에서 반사되어 오는 신호는 판독해내기가 어렵다. 그 이유는 고주파의 안테나인 경우, 파가 공동 내부를 통과할 때, 그 영역을 완전히 통과하지 못하고 산란되어 버리기 때문이고 또한 시편 두께에 비해 공동의 두께가 상대적으로 두꺼워서, 시편 뒷면 까지 링잉이 생기기 때문인 것으로 생각된다. 차이값의 그래프를 볼 때 그 값이 최소인 부분이 보이긴 하지만, 이는 그래프를 보면 철판유무에 의해 생기는 차이값이 아니라는 것을 알 수 있다.

공동이 시편내에 포함되어 있는 경우에는 공동에 의해서 생기는 링잉현상의 영향을 받지 않을 정도로 충분한 두께가 확보된다면, 두께를 측정하는데 별 어려움이 없으리라고 예상된다. 다만 공동의 경우 유전상수가 콘크리트를 통과 할 때에는 달라지므로 두께를 계산할 때 이에 대한 고려가 있어야 할 것으로 사료된다. Fig. 11은 원신호를 신호처리하여 뒷표면을 찾은 것이다.

### 3.6 복합 시편 두께 측정 및 결과

복합 시편은 원자력 발전소 격납건물 벽체 모형 시편을 사용하였다. 이 시편 안에 있는 공동의 위치와 크기가 사전에 공개되지 않은 상태로 실험이 진행되었다. Photo 1은 복합 시편의 실물 사진이다. 시편의 크기는 길이 4,200 mm × 폭 1,800 mm × 두께 1,200 mm 이다. 이 시편의 뒷표면에는 실제 원자력 발전소 격납건물처럼 철판이 이미 부착되어 있다.

Fig. 12에서 보는 바와 같이 20 cm 간격으로 격자(grid)를 나누고, a, b, c, d 4부분에 대하여 두께 측정을 수행하였으며, 안테나는 100 MHz 를 사용하였다. 그 이유는 이 시편의 경우 두께가 매우 두꺼워 900 MHz, 1,000 MHz, 그리고 1,500 MHz 등의 고주파수 안테나는 파의 감쇠가 심하여 두께 측정을 할 수 없었다.

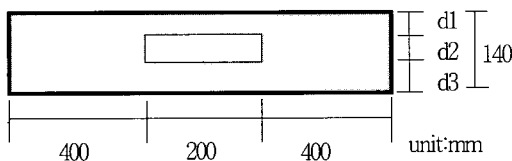
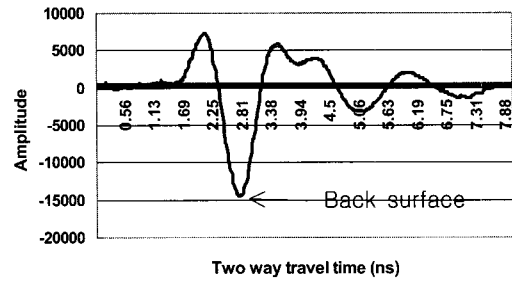
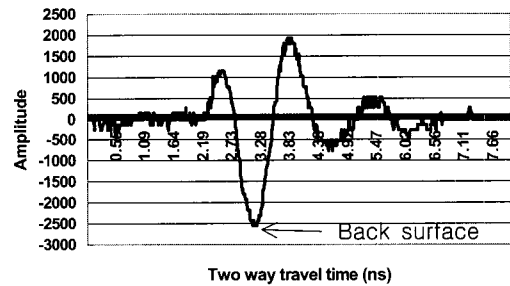


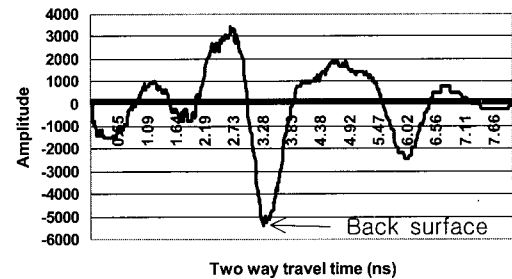
Fig. 10 Section of specimens with a delamination



(a) 900 MHz antenna



(b) 1,000 MHz antenna



(c) 1,500 MHz antenna

Fig. 11 Results of measuring thickness with antenna variation

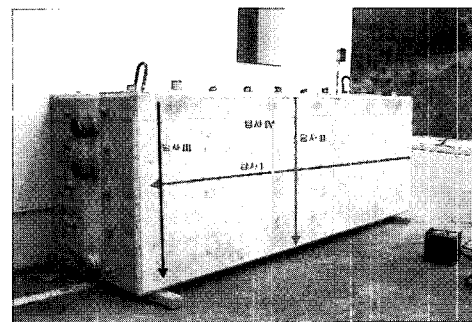


Photo 1 Mock-up specimen of quarantine building wall of nuclear power plant

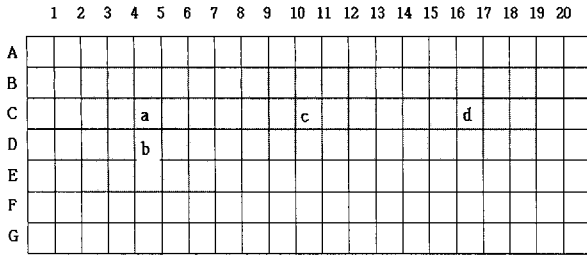


Fig. 12 Measured area

Fig. 13는 복합시편을 통과한 후 반사한 신호를 받은 것인데, 앞표면과 뒷표면을 명확히 확인할 수 있다. 뒷표면은 철판에 의한 신호의 전반사로 신호처리를 하지 않은 상태에서도 뚜렷이 나타났다.

Table 6은 전자기파가 시편 내부를 통과할 때 걸린 시간을 나타내고 있다. 뒷면까지의 도달 시간을 볼 때 a와 b가 유사하고, c와 d가 유사함을 보이는데, 이것은 측정구간 a와 b는 내부에 공동이 포함되어 있는 영역이고, c와 d는 그렇지 않은 영역이기 때문인 것으로 판단된다. 파형을 보더라도 a와 b의 그래프는 이전 실험에서 언급되었던 공동영역으로 인한 파의 산란이 나타나는 것을 확인할 수 있다. a와 b 부분은 내부에 공동이 포함되어 있으므로 c와 d 부분에 대해서 유전상수를 계산하였다. 시편의 두께를 알고 있으므로 식 (4)에 대입하여 유전상수를 구하였다.

두께 계산 시 내부에 공동이 포함되어 있는 경우에는, 공동이 포함된 부분과 그렇지 않은 부분으로 나눠서 다른 유전상수의 값을 적용하였다. 콘크리트에 대한 유전상수 값은 c, d 값의 평균값을 이용하도록 하며, 이 유전상수의 평균값을 이용하여 두께를 계산하면 Table 8과 같다.

Table 6 Two way travel time  $\Delta T$ (ns)

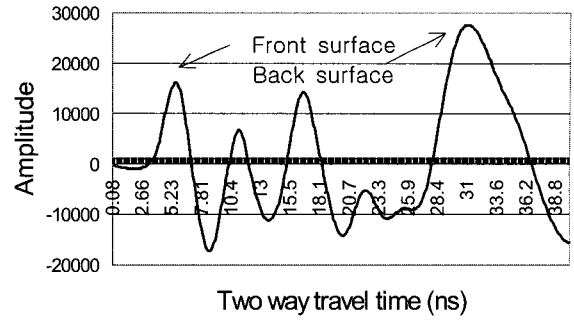
Area	a	b	c	d
Front surface	5.59	5.59	5.63	5.55
Back surface	31.06	30.55	28.79	28.44
$\Delta T$	25.47	24.96	23.16	22.89

Table 7 Dielectric constant

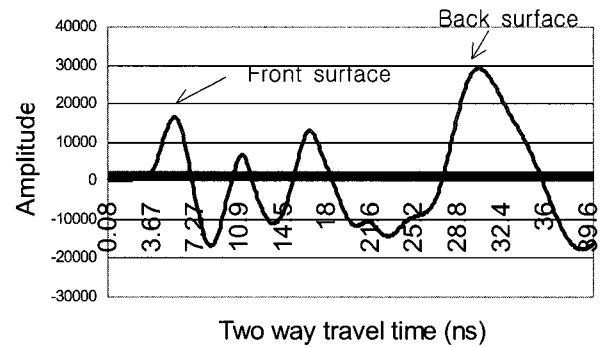
Area	a	b	c	d
Dielectric constant	-	-	8.38	8.19

Table 8 Thickness measurement using dielectric average value ( $\epsilon_r = 8.29$ )

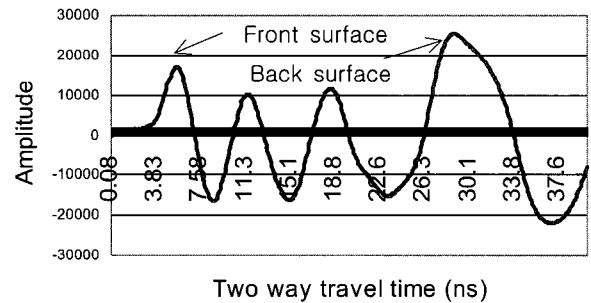
Area	c	d	Note
Calculated Value (m)	1.21	1.19	Real thickness : 1.2 m
Error (%)	0.83	0.83	



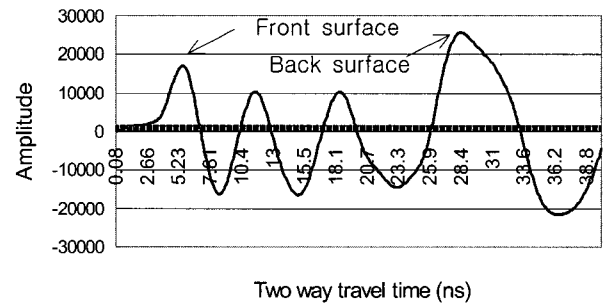
(a) Area a : 2 - 7, BCD



(b) Area b : 2 - 7, CDE



(c) Area c : 8 - 13, BCD



(d) Area d : 14 - 19, BCD

Fig. 13 Results of measuring thickness of mock-up specimen

900 MHz, 1 GHz 그리고 1.5 GHz의 안테나를 사용하여 모르타르 시편의 두께를 100mm, 150 mm, 200 mm, 250 mm, 그리고 300 mm 로 바꾸어서 모르타르 시편의 두께를 측정하였다. 또한 공동이 매립된 시편과 철근이 매립된 시편에 대해서도 두께를 측정하였다. 이러한 모든 실험에서 모르타르 시편의 두께를 측정할 수 있었고, 두께 측정의 가능성을 모두 확인하였다. 또한 응용시편에 대한 두께 측정에 있어서도 100 MHz 안테나를 사용하여 두께를 정확하게 측정할 수 있었다. 시편 뒷면에 철판을 대었을 경우 그렇지 않았을 경우보다 뒷표면을 확인하는 것이 용이하였고, 더욱이 두 경우의 차이값을 구하는 신호처리 과정을 거치면 뒷표면의 위치가 선명하게 나타났다.

#### 감사의 글

본 연구는 한국과학재단(KOSEF)에서 설립한 지진공학연구소(KEERC)와 한국전력공사 전력연구원(KEPRI)으로부터 연구비를 지원 받았고, 교육부의 1996년도 이공계 대학연구소 기자재 첨단화 지원사업에 따라 연세대학교 공과대학 건축과학기술연구소 비파괴구조연구실이 보유하고 있는 실험 장비를 사용하였습니다.

1. Chong, K. P., Scalzi, J. B., and Dillon, O. W., Overview of Nondestructive Evaluation Projects and Initiative at NSF," *Journal of Intelligent Materials, System and Structures*, Vol. 1, 1990, pp.422-431.
2. 임홍철, 이지훈, 손병오, "레이더를 이용한 콘크리트 두께 측정과 유효 측정범위 설정에 관한 연구", *비파괴검사학회지*, Vol. 94, No. 5, 1997. 1., pp.396-408.
3. 김영환, 이세경, 김호철, "탄성과 충격 공진법에 의한 기초 콘크리트 두께 측정", *콘크리트학회지*, Vol. 3, No. 3, 1991. 9., pp.121-128.
4. 이종득, "콘크리트 구조물의 비파괴검사", 일광, 1996.
5. D. K. Cheng, "*Field and Wave Electromagnetics*," Addison Wesley, 1989.
6. R. K. Fruehwirth and R. Schmöller, "Some Aspects on the Estimation of Electromagnetic Wave Velocities," *Proceedings of 6th International Conference on Ground Penetrating Radar*, September 30-October 3.
7. O. Buyukozturk and H. C. Rhim, "Modeling of electromagnetic Wave Scattering by Concrete Specimens," *Cement and Concrete Research*, Vol. 25, No. 5, 1995, pp.1011-1022.
8. 임홍철, 정성훈, "비파괴 시험을 위한 콘크리트의 전자기적 특성의 측정", *한국콘크리트학회지*, 제12권 3, 2000. 6., pp.115-123.

#### 요 약

Ground Penetrating Radar (GPR)은 콘크리트 비파괴 검사에 널리 쓰이는 장비이다. 이것은 콘크리트의 두께를 측정하고 콘크리트에 매립된 철근이나 공동을 탐사하는데 유용하다. 이 중에서 콘크리트의 두께를 탐사하는 것은 콘크리트 구조물의 손상을 측정하는데 있어서 기본이 되는 것이다.

이 연구의 목적은 콘크리트 구조물의 GPR의 안테나 주파수를 다양하게 적용하여 두께 측정 가능성을 알아보는 것으로 기본 시편, 철근 시편, 공동 시편, 그리고 복합시편을 제작하여 실험을 실시하였다. 두께 측정에 사용된 안테나의 주파수는 100 MHz, 900 MHz, 1,000 MHz, 1,500 MHz 4개의 안테나를 사용하였는데, 900 MHz, 1,000 MHz, 1,500 MHz 3개의 안테나는 기본 시편, 철근 시편, 공동 시편을 탐사하는데 사용하였고, 100 MHz는 복합시편을 측정하는데 사용하였다.

상용 장비에서 얻어진 데이터를 신호 처리하여 모든 시편에 대해서 두께를 성공적으로 측정하였고, 각 안테나 주파수에 대해서 두께 측정 가능 깊이를 파악하였다. 또한, 이 실험을 통해 GPR의 콘크리트 두께 측정 가능성에 대한 더 많은 연구를 위한 토대를 마련하였다.

**핵심용어** : GPR, 콘크리트, 두께, 주파수