

## 콘크리트 내부의 철근 탐사를 위한 측정과 분석

### Measurements and Data Interpretation for the Detection of Steel Bars inside Concrete

우상균\*, 송영철\*, 이상근\*, 조철희\*\*

\*전력연구원  
대전광역시 유성구 문지동 103-16

\*\*중앙교육원  
서울시 노원구 공릉2동 170-2

#### 요 약

본 연구에서는 콘크리트 내부에 위치한 철근의 탐사성능을 파악하기 위하여, 상용 비파괴 검사 장비를 이용하여 탐사를 수행하고, 각 장비의 특성과 탐사 한계를 도출하였다. 비파괴 검사에는 레이더 장비 2종과 전자기법 탐사 장비 1종을 사용하였다. 철근 탐사에는 직경 13, 16, 19, 25 및 55 mm의 철근을, 그리고 내부결함 탐사에는  $\varnothing 30\text{mm}$ 의 PVC 파이프,  $\varnothing 50\text{mm}$ 의 쉬스관, 나무( $2\times 10\text{cm}$ ), 스티로폼( $2\times 10\text{cm}$ ) 및 물통( $15\times 30\text{cm}$ ) 등을 콘크리트 시편 내에 각기 다른 피복 두께로 매립하여 측정하였다. 또한, 철근의 수평 배근 간격 탐사를 위해 배근 간격을 5~35cm로 나누어 측정하였다. 탐사결과, 레이더법은 콘크리트 내부의 철근 위치와 배근 간격 탐사에 효과적이며, 전자기법은 철근 위치 탐사에 유용한 측정방법으로 분석되었다.

#### Abstract

To determine detection capabilities of locating of steel bars inside concrete, commercially available nondestructive testing(NDT) equipments have been tested. The equipments include two radar systems and one electromagnetic method system. The inclusions are 13, 16, 19, 25 and 55 mm diameter steel bar,  $\varnothing 30\text{mm}$  PVC pipe,  $\varnothing 50\text{mm}$  sheath, wood( $2\times 10\text{cm}$ ), styrofoam( $2\times 10\text{cm}$ ) and water container( $15\times 30\text{cm}$ ) embedded at different cover depths from the surface of concrete specimens. And, the horizontal spacing of steel bars are varied ranging from 5 to 35cm to determine the horizontal spacing of them. Experimental results on various measurement cases are discussed. From this study, it is proved that radar measurements is good to detection of locating and spacing of steel bars and electromagnetic method effective to detection of locating of them.

## 1. 서 론

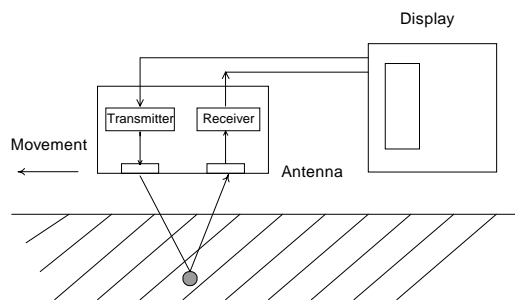
구조물을 안전한 상태로 유지 관리하기 위해서는 구조물을 정밀하게 검사하여 이상 여부를 확인할 수 있어야 한다. 또한, 구조적인 문제가 발생하기 전에 미리 조치를 취하여, 안전한 상태로 구조물을 보전할 수 있도록 하여야 한다. 이를 위해서는 내구성 진단이 필요하며, 그 진단 방법으로 비파괴 검사의 활용도와 그 중요성이 점차 증가하고 있다. 그러나, 비파괴 검사의 중요도에 비해 검사 방법을 보다 정확하고 체계적으로 활용하기 위한 연구는 국내·외적으로 아직 초보적인 단계에 머물러 있다.

따라서 본 연구는 국내에서 현재 사용되고 있는 비파괴 검사 장비의 철근 탐사 성능을 파악하는데 그 목적이 있다. 실험에는 국내에서 활용되고 있는 장비 가운데 가장 많이 사용되고 있는 레이더 장비 2종과 전자기법 장비 1종을 사용하였다. 비파괴 검사 장비의 종류별 특성을 파악하는 것이 본 연구의 목적이므로, 제조 회사나 장비명은 공개하지 않고, 다만 이해를 돕기 위하여 실제 장비의 사진을 본 논문에 실었으며, 측정 결과는 사용된 장비의 평균값을 사용하였다.

## 2. 측정 장비의 작동 원리와 특성

### 2.1 레이더 장비

전자기파를 이용한 레이더(Radar)의 측정 원리는, 마이크로파 대역의 전자파가 목표물 혹은 매질을 통과할 때, 그 전자파의 투과와 반사가 목표물 혹은 매질의 전자기적 특성과 모양에 영향을 받는다는 것에 기초를 두고 있다. 실제 측정 과정에서 송신 안테나로부터 탐사하고자 하는 콘크리트 시험체에 전자파를 방사하면, 이 전자파는 전자기적 성질이 다른 물질, 예를 들어, 철근, 공동 또는 내부결함 등의 경계면에서 반사되어 수신 안테나에 도달한다. 이 전자파의 반사파형으로부터 매립된 물체의 모양과 재질을 판별할 수 있다. <그림 1>은 레이더 장비를 이용한 측정 개요를 나타낸 것이다.



<그림 1> 레이더 시스템 개요

이때, 콘크리트중의 전자파 속도 ( $\nu$ )는 콘크리트의 전자기적 재료 특성인 유전상수  $\epsilon_r$ 에 따라 변화한다.

$$\nu = \frac{C}{\sqrt{\epsilon_r}} \text{ (m/s)} \quad (\text{식 1})$$

여기서, C : 진공상태에서 전자파의 속도 ( $3 \times 10^8 \text{ m/s}$ ),

$\epsilon_r$  : 콘크리트의 유전상수

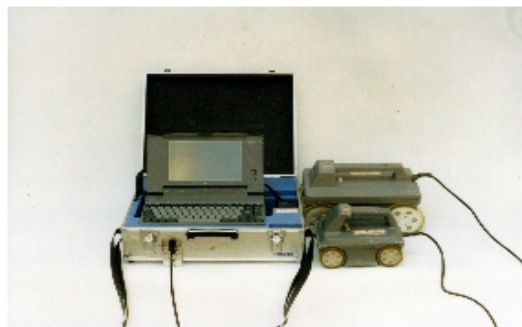
매립된 목표물까지의 거리(D)는 입사파와 반사파의 왕복 전달시간(T)로부터 (식 2)를 이용하여 구할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 D &= \nu \times \left(\frac{T}{2}\right) \\
 &= \frac{C}{\sqrt{\epsilon_r}} \times \left(\frac{T}{2}\right) (m) \quad (\text{식2})
 \end{aligned}$$

레이더법을 이용한 비파괴 검사 장비는 주로, 철근탐사, 공동 탐사, 배관 탐사, 터널 라이닝 배면탐사, 그리고 금속 파이프 탐사 등에 쓰이며, 측정심도는 수 미터에 달한다. <사진 1>과 <사진 2>는 이러한 레이더 측정 기기 가운데 본 연구에 사용된 2개 장비의 실물 모습을 나타낸 것이다.



<사진 1> 레이더 장비 I



<사진 2> 레이더 장비 II

## 2.2 전자기 장비

전자기법(electromagnetic method)의 측정 원리는 탐침(probe)의 양극 사이에 자기장을 발생시켜 되돌아온 자속의 양을 측정하여 철근의 유무를 확인하는 것이다. 철근이 존재하는 경우, 자기장의 세기가 변화하며, 그 변화량은 철근 직경과 탐침으로부터의 거리에 따라 달라진다. 철근을 통과하는 자속의 양은 피복 두께와 철근의 직경에 영향을 받으며, 피복 두께가 얇을수록, 철근 직경이 클수록 더 많은 자속을 통과시켜서 탐사 가능성이 높아진다.

일반적으로 전자기법은 0 ~ 120 mm의 피복두께 내에 있는 철근을 탐사할 수 있으며, 배근 간격이 넓은 철근에 대해서는 좋은 결과를 얻지만, 철근이 조밀하게 배근되어 있거나 주위에 큰 강재가 있는 곳에서는 신뢰성 있는 결과를 얻기 힘들다.

국내에서 사용되고 있는 전자기법 장비는 주로 철근 탐사, 철근 직경 탐사 및 콘크리트 피복 두께 탐사 등에 쓰이며, 측정 심도는 수십 센티미터에 달한다. <사진 3>은 본 연구에 사용된 전자기법 장비의 실물 모습을 나타낸 것이다.



<사진 3> 전자기법 장비

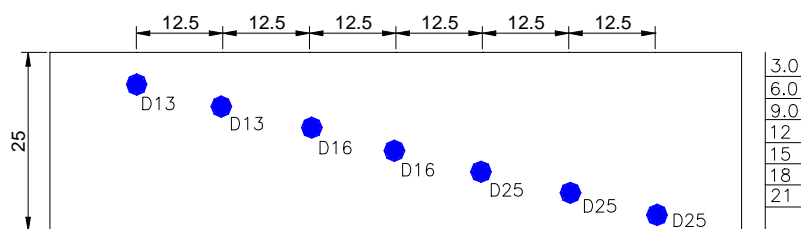
### 3. 시험체 제작

실험은 철근 위치 측정(피복 두께 측정), 수평 철근 간격 및 내부결함 탐사로 나누어 기초시편(4종)과 응용시편을 제작하여 수행하였다. 기초시편의 경우 철근위치 측정을 위한 콘크리트 시험체의 크기는 1,000 mm (길이) × 300 mm (폭) × 250 mm (두께)이며, 피복 두께를 30 ~ 210 mm로 변화시켜 시험체 1개를 제작하였고, 매립된 철근의 직경은 13 ~ 25 mm 이다.

철근의 수평 간격 탐사를 위한 시험체의 크기는 1,000 mm (길이) × 300 mm (폭) × 180 mm (두께)이며, 배근 간격을 50 ~ 150 mm로 변화시켜 시험체 2개를 제작하였고, 매립된 철근의 직경은 13 ~ 25mm 이다.

내부결함 탐사를 위한 시험체의 크기는 1,000 mm (길이) × 300 mm (폭) × 180 mm (두께)이며, 시험체에 매립된 내부결함은 2cm(두께) × 10cm(길이)의 나무 및 스티로폼을 사용하였고, 시험체는 1개를 제작하였다. 기초실험 시험체의 단면은 <그림 2>에 각각 나타내었다.

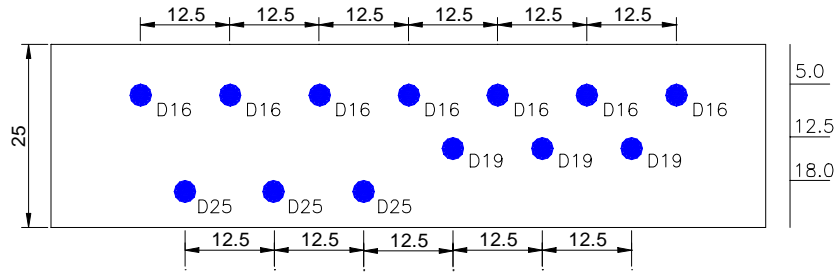
응용시편은 실제 원전 격납 건물의 대표 단면을 선정하여 실물모형을 제작하였으며, 그 제작도면과 실물모형은 <그림 3>에 나타내었다.



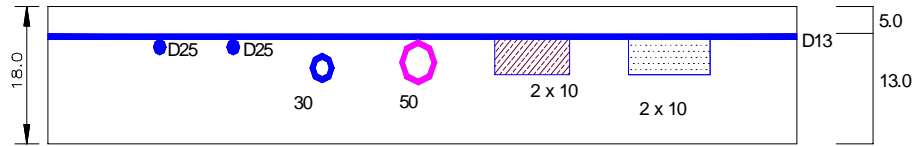
(a) 시편 #1( $\phi$  16, 피복 30~210mm, 간격 125mm)



(b) 시편 #2( $\phi$  13, 피복 30~60mm, 간격 50~100mm)

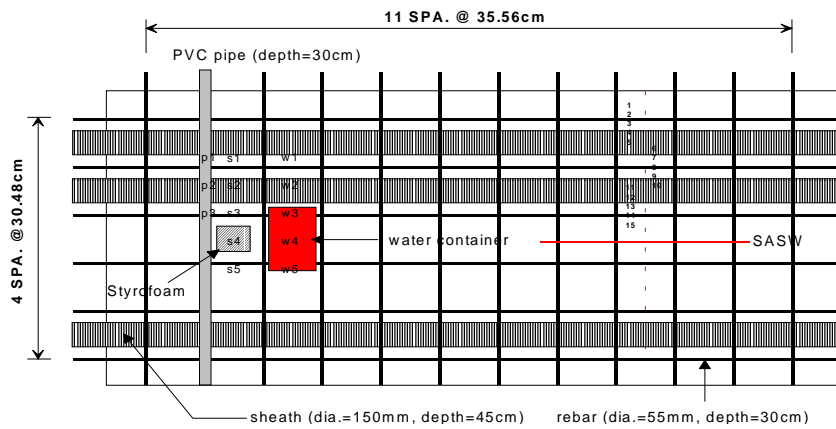


(c) 시편 #3( $\phi$  16~19, 피복 50~180mm, 간격 125mm)

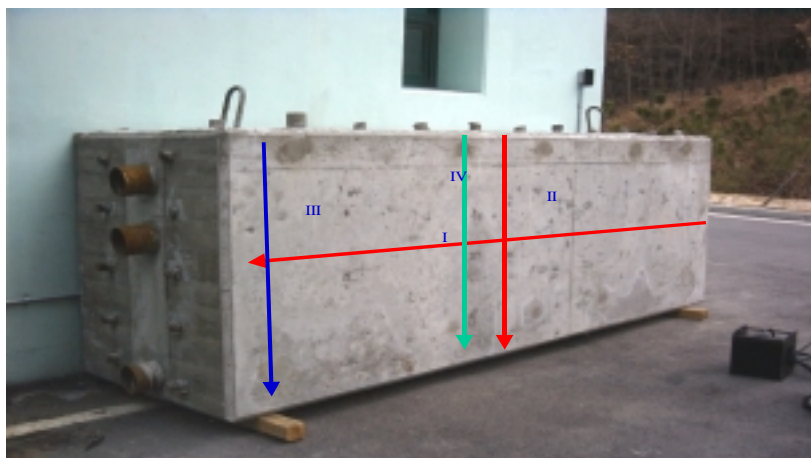


(d) 시편 #4(나무, 스티로폼)

<그림 2> 기초시편 단면도



(a) 원전 격납건물 벽체 단면도



(b) 원전 격납건물 벽체 실물 모형

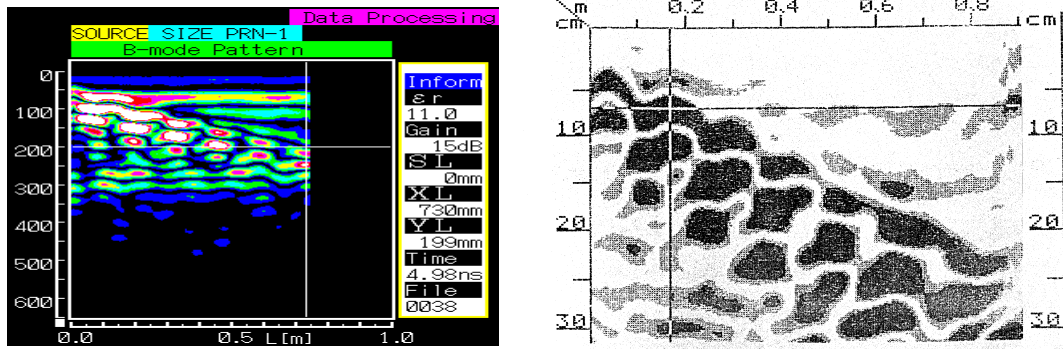
<그림 3> 응용시편 단면도

#### 4. 실험결과 및 분석

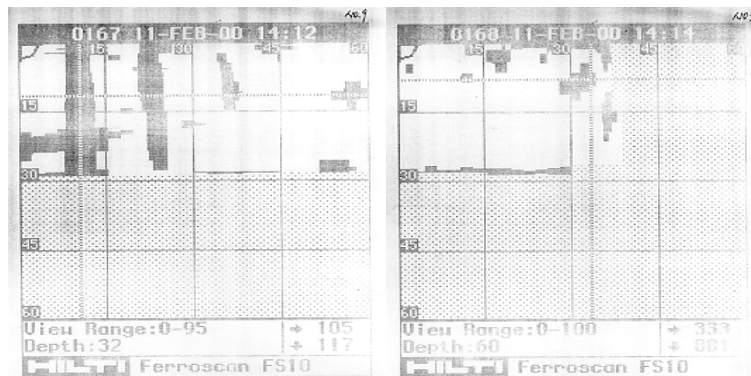
##### 4.1 기초시편

##### 4.1.1 철근 위치 측정

레이더와 전자기법을 이용하여 기초시편의 철근 위치를 탐사한 결과는 <그림 4> 및 <그림 5>와 같다.



<그림 4> 레이더법을 이용한 철근 위치 탐사 결과(시편#1)

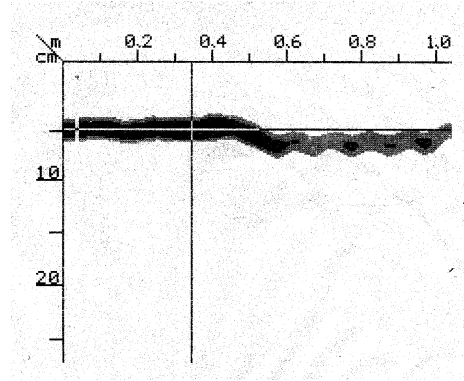
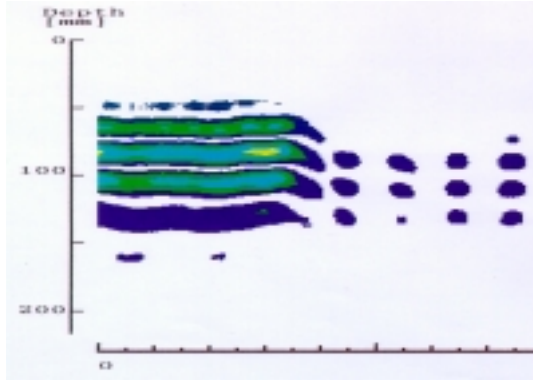


<그림 5> 전자기법을 이용한 철근 위치 탐사 결과(시편 #1)

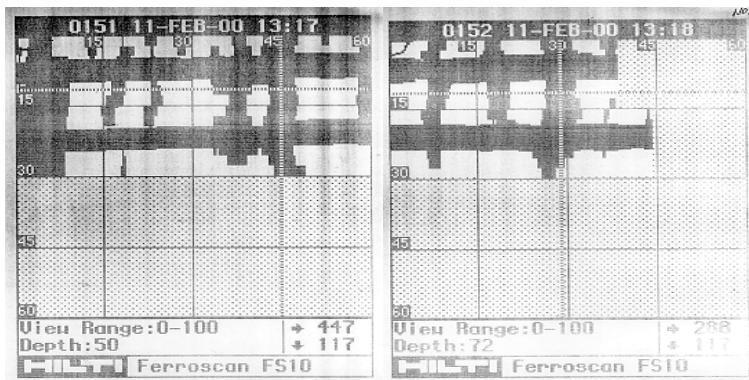
기초시편에 대한 철근 탐사 결과, 레이더법을 이용한 경우 두 장비 모두 약간의 오차는 있었으나, 비교적 정확하게 철근 위치를 찾을 수 있었으며, 장비 I가 장비 II에 비하여 데이터의 신뢰도가 더 높은 것으로 분석되었다. 그러나, 전자기법의 경우 피복두께가 15cm 이상의 경우 탐사가 불가능하며, 데이터의 신뢰도도 떨어지는 것으로 나타났다.

##### 4.1.2 철근 간격 측정

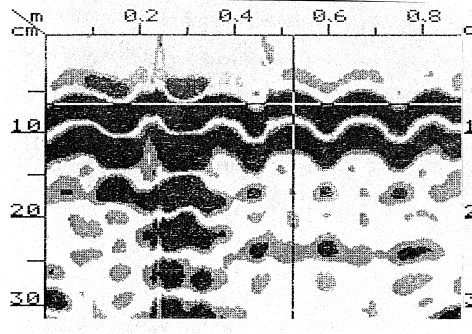
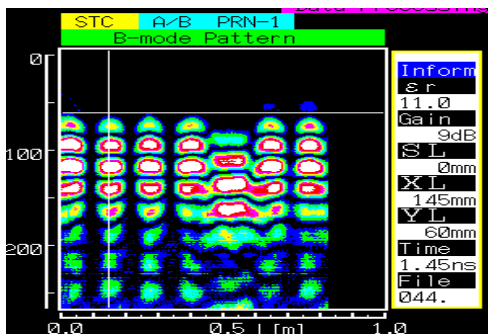
레이더와 전자기법을 이용하여 철근의 배근 간격과 복철근을 탐사한 결과는 <그림 6> ~ <그림 9>과 같다.



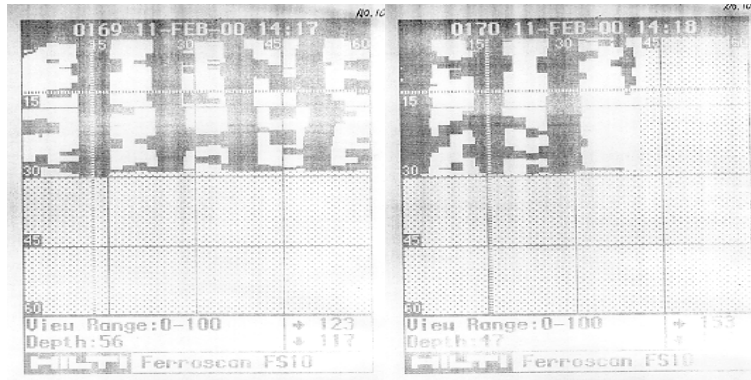
<그림 6> 레이더법을 이용한 철근의 배근 간격 탐사 결과(시편 #2)



<그림 7> 전자기법을 이용한 철근의 배근 간격 탐사 결과(시편 #2)



<그림 8> 레이더법을 이용한 복철근 탐사 결과(시편 #3)

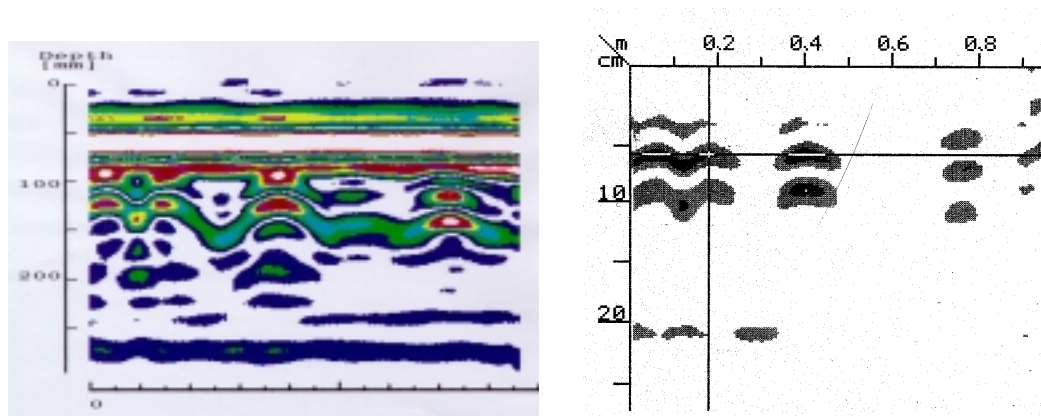


<그림 9> 전자기법을 이용한 복철근 탐사 결과(시편 #3)

기초시편에 대한 철근의 배근 간격 탐사 결과, 레이더법을 이용한 경우 5cm 간격 이하로 배근된 철근은 하나의 띠 형태로 나타나 탐사가 불가능하였고, 5cm 이상의 경우 정확하게 배근 간격을 탐지할 수 있었다. 전자기법의 경우 5cm 간격 이하로 배근된 철근의 탐사는 가능하지만, 레이더의 신뢰도가 떨어지는 것으로 나타났으며, 5cm 이상의 경우 정확하게 배근 간격을 탐지할 수 있었다. 그러나, 복철근 탐사의 경우, 레이더 및 전자기법 모두 탐사가 불가능한 것으로 나타났다.

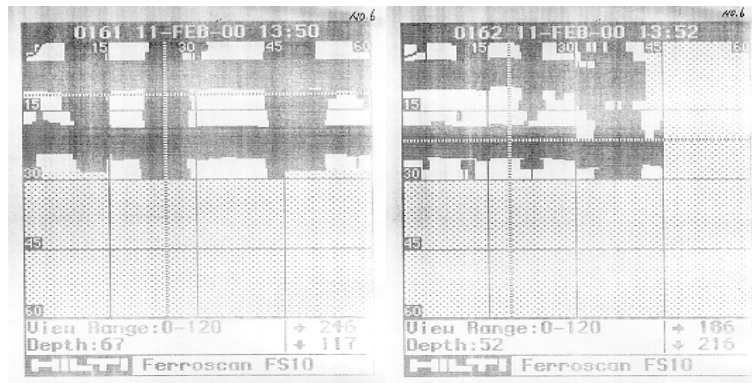
#### 4.1.3 내부결함 탐사

레이더와 전자기법을 이용하여 콘크리트 내부의 내부결함을 탐사한 결과는 <그림 10> 및 <그림 11>과 같다.



<그림 10> 레이더법을 이용한 콘크리트 내부의 내부결함 탐사





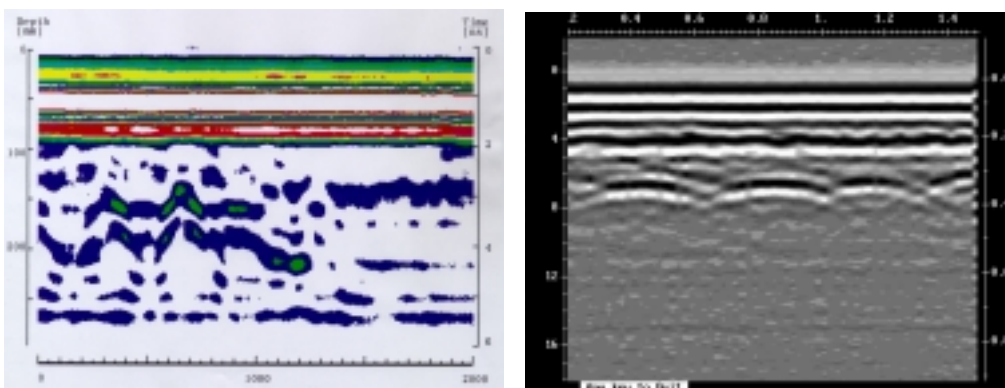
<그림 11> 전자기법을 이용한 콘크리트 내부의 내부결함 탐사

기초시편에 대한 콘크리트 내부의 내부결함 탐사 결과, 레이더법을 이용한 경우 두 장비 모두 PVC 파이프와 나무는 탐사가 불가능하였으며, 쉬스관과 스티로폼은 철근과 비슷한 형태로 나타나, 내부결함이 있는 경우 그 재질 및 철근과의 구별이 어려운 것으로 분석되었다. 전자기법의 경우도 쉬스관을 제외한 다른 물질은 비슷한 결과를 나타내어 철근과의 구별이 불가능한 것으로 파악되었다.

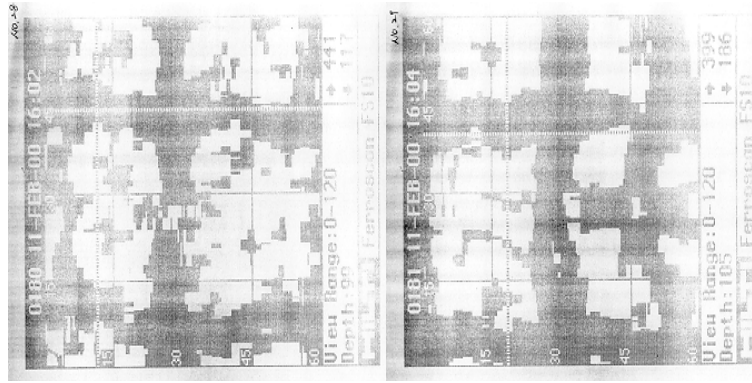
## 4.2 응용시편

### 4.2.1 철근 위치 및 간격 측정

레이더와 전자기법을 이용하여 응용시편의 철근 위치를 탐사한 결과는 <그림 12> 및 <그림 13>과 같다.



<그림 12> 레이더법을 이용한 철근 위치 및 간격 탐사 결과



<그림 13> 전자기법을 이용한 철근 위치 및 간격 탐사 결과

응용시편에 대한 철근 탐사 결과, 레이더법을 이용한 경우 두 장비 모두, 비교적 정확하게 철근 위치를 찾을 수 있었으나, 피복두께가 20cm 이상일 경우 데이터의 신뢰도가 떨어지며, 25cm 이상일 경우 탐지가 불가능한 것으로 나타났다. 그러나, 전자기법의 경우 피복두께가 15cm 이상의 경우 탐지가 불가능하며, 데이터의 신뢰도도 떨어지는 것으로 나타났다.

#### 4.2.2 내부결함 탐사

응용시편에 대한 내부결함 탐사 결과, 레이더 및 전자기법 모두 탐지가 불가능한 것으로 나타났다. 이것은 응용시편 내부의 내부결함이 피복두께보다 깊은 위치에 설치되었기 때문인 것으로 분석되며, 특히 철근 배면에 설치된 것은 탐사가 불가능한 것으로 나타났다.

### 5. 결 론

본 연구를 통하여 얻은 결론은 다음과 같다.

- 1) 철근 위치 탐사결과, 기초시편의 경우 레이더 및 전자기법 모두 비교적 정확하게 철근을 탐사할 수 있는 것으로 나타났으나, 전자기법은 피복두께가 15cm 이상의 경우 탐지가 불가능하며, 데이터의 신뢰도도 떨어지는 것으로 나타났다. 응용시편의 경우 레이더법은 철근의 탐지가 양호하였으나, 피복두께가 20cm 이상일 경우 데이터의 신뢰도가 떨어지며, 25cm 이상은 탐지가 불가능한 것으로 분석되었다.
- 2) 기초시편에 대한 철근 배근 간격 탐사 결과, 레이더법을 이용한 경우 5cm 간격 이하로 배근된 철근은 하나의 띠 형태로 나타나 탐사가 불가능하였고, 5cm 이상의 경우 정확하게 배근 간격을 탐지할 수 있었다. 전자기법의 경우 5cm 간격 이하로 배근된 철근의 탐사는 가능하지만, 데이터의 신뢰도가 떨어지는 것으로 나타났으며, 5cm 이상의 경우 정확하게 배근 간격을 탐지할 수 있었다. 그러나, 복철근 탐사의 경우, 레이더 및 전자기법 모두 탐사가 불가능한 것으로 나타났다. 응용시편의 경우 레이더 및 전자기법 모두 철근의 배근 간격을 양호하게 탐지할 수 있었다.
- 3) 콘크리트 내부의 내부결함 탐사 결과, 레이더법을 이용한 경우 두 장비 모두 PVC 파이프와 나무는 탐사가 불가능하였으며, 쉬스관과 스티로폼은 철근과 비슷한 형태로 나타나, 내부결함이 있는 경우 그 재질 및 철근과의 구별이 어려운 것으로 분석되었다. 전자기법의 경우도 쉬스관을 제외한 다른 물질은 비슷한 결과를 나타내어 철근과의 구별이 불가능한 것으로 파악되었다.

- 4) 본 연구를 통하여, 레이더법은 콘크리트 내부의 철근 위치 및 배근 간격 탐사에 효과적이고, 전자기법은 철근의 위치 탐사에 유용한 측정방법으로 판별되었으며, 그 측정한계는 피복 두께의 경우 25cm 이하, 배근 간격은 5cm 이상이고, 내부결함의 탐사는 불가능함을 알 수 있었다.

## 감사의 글

본 연구는 과학기술부 원자력중장기 연구개발사업의 지원 하에 이루어진 것으로 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

- 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, pp. 422-431, October 1990.
- 2) "건축 토목 구조물의 비파괴 검사방법," 한국콘크리트학회지, 제10권, 제2호, pp. 5-64, 1998.
- 3) Rhim, H. C. and Buyukozturk, O., "Electromagnetic Properties of Concrete at Microwave Frequency Range," ACI Materials Journal, Vol. 95, No. 3, pp. 262-271, May-June 1998.
- 4) 박석균, 임홍철, "전자파를 이용한 콘크리트 구조물의 비파괴검사", 콘크리트학회지, 제10권, 2호, pp. 27-39, 1998.
- 5) 윤재진, "구조물 진단의 이론과 실제", 기문당, 1999.
- 6) Buyukozturk O. and Rhim, H. C. "Modeling of Electromagnetic Wave Scattering by Concrete Specimens," Cement and Concrete Research, Vol. 25, No. 5, pp. 1011-1022, 1995.
- 7) Rhim, H. C. and Park, K. H., "Imaging of Steel Bars Embedded inside Mortar Specimens for Nondestructive Testing," KCI Concrete Journal, Vol. 12, No.1, pp. 139-144, January 2000.
- 8) 임홍철, 김우석, "레이더를 이용한 콘크리트 시편내 수평 배근 간격 탐사 (Measurement of Horizontal Rebar Spacing in Concrete Specimens Using Radar)," 한국지진공학회 논문집, 제4권, 제2호, pp. 65-71, 2000년 6월.