

전자기파를 이용한 모르타르 시편 내 철근탐사

Probing of Steel Bar Inside Mortar Specimens Using Electromagnetic Wave Method

김 우 석^{*} 박 경 현^{**} 임 흥 철^{***}
Kim, Woo-Seok Park, Kyung-Hyun Rhim, Hong-Chul

Abstract

Ground Penetrating Radar (GPR) attached with 1 GHz center frequency antenna has been used to measure a dielectric constant of mortar, and to detect and locate a steel bar embedded inside laboratory size mortar specimens at various depth. Mortar specimens are made for the measurements with the dimensions of 100 cm (width)×100 cm (length)×14 cm (depth). Each specimen has a 13 mm diameter D13 steel bar at 2, 4, 6, 8, 10 and 12 cm depth.

In this paper, results of radar measurements are provided with a sample output, which successfully located the bar. It has been found that the reflected wave of the steel bar interacts with that of surface when the steel bar has the close distance to the surface.

Keywords : radar, mortar, steel bar, reflection coefficient, impedance

1. 서론

마이크로파가 매질 내에서 일정한 속도로 전파, 반사하는 성질을 이용한 레이더를 이용한 검사법은 지하매설물과 콘크리트 구조물 탐사에 적용되고 있다.^(1, 2) 레이더의 콘크리트 적용에 있어서 기초사항으로 유전상수의 측정과 이를 통한 두께 측정이 이루어져야 하는데, 이를 바탕으로 부재 내의 철근이나 공동의 위치를 탐사할 수 있다.⁽³⁾ 이 논문의 목적은 레이더법을 실제 콘크리트 부재에 적용하기 앞서 철근탐사에 관한 기초적인 사항을 제시하는 것이다.

이 논문에서는 1 GHz의 중심주파수를 갖는 안테나가 연결된 레이더를 이용하여 모르타르 시편내의 철근 위치 탐사에 관한 결과를 분석한다. 이를 통하여 피복두께를 달리하는 철근 탐사에 있어서 레이더의 적용성을 알아본다.

2. 전자기파의 이론

2.1 레이더의 측정원리

레이더를 이용한 검사법은 해당 물체 내에 송신된 전자파가 전기적 특성이 다른 물질(철근, 공동 등)의 경계에서 임피던스의 차이에 의해 반사파를 일으키는 성질을 이용해서 그 반사파의 영상을 해석함으로써 조사를 행하는 방법이다.^(4, 5) 콘크리트 표면으로부터 콘크리트 내부를 향해 전자파를 안테나로부터 방사하여, 철근 등으로부터 반사해서 온 신호를 안테나로 수신한 후 콘크리트 내부의 상태를 수직 단면도로서, 본체 표시기에 표시하여 준다.

* 정회원, 연세대학교 대학원 건축공학과 석사과정

** 정회원, 연세대학교 대학원 건축공학과 공학석사

*** 정회원, 연세대학교 건축공학과 조교수, 공학박사

2.2 모르타르의 전자기적 특성

모든 물질은 전자기파의 전계와 자계에 영향을 주는 고유한 특성을 갖는다. 이것을 물질의 전자기적 특성이라고 하고 일반적으로 전도율, 복소유전율, 복소투자율로 나타낸다. 콘크리트나 모르타르와 같이 전기전도성이 없고 자성은 띄지 않는 물질을 유전체 (dielectric material)라고 한다. 유전체는 전도율이 거의 0이고, 강자성체가 아니므로 복소투자율은 진공의 투자율과 거의 같다. 따라서 유전체의 전자기적 특성은 복소유전율로 규정되는데 일반적으로 다음과 같이 나타내며 실수부를 유전상수, 허수부를 loss factor라고 한다.^(3, 5, 7)

$$\epsilon = \epsilon' - j\epsilon'' \quad [\text{F/m}] \quad \text{-----} \quad (1)$$

전자파의 속도는 매질에 따라 다른데, 모르타르 내에서의 전자파의 속도는 다음과 같다.⁽⁵⁾

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad [\text{m/sec}] \quad \text{-----} \quad (2)$$

전자파를 이용하는 비파괴 검사에서는 전파속도가 측정시간을 결정하고 이를 통해서 물체에 대한 정보를 판별하기 때문에 매질의 전자기적 특성, 특히 유전상수 (ϵ_r')가 미치는 영향은 중요한 것이라 할 수 있다.⁽⁶⁾ 또한 유전상수는 경계면에서의 반사계수에도 영향을 준다.^(5, 8) 매질의 특성 임피던스 (Z)와 반사계수 (Γ)는 아래와 같다.

$$Z = \sqrt{\frac{\mu_0\mu_r}{\epsilon_0\epsilon_r}} \quad [\Omega] \quad \text{-----} \quad (3)$$

$$\Gamma = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} = \frac{\sqrt{\epsilon_{r1}'} - \sqrt{\epsilon_{r2}'}}{\sqrt{\epsilon_{r1}'} + \sqrt{\epsilon_{r2}'}} \quad \text{-----} \quad (4)$$

3. 시편 및 실험방법

3.1 시편제작

시편은 모르타르로 Table 1과 같이 제작하였으며 배합비는 무게비로 물 : 시멘트 : 모래 = 1 : 2.22 : 5.61 이다. 시편의 크기는 100 × 100 × 14 cm 이다. 시편에는 D13의 철근이 표면에서 중심거리를 기준으로 2, 4, 6, 8, 10, 12 cm의 위치에 배립되어 있다. 여기서의 거리는 표기상의 표현으로 타설시의 오차로 인해 실제와 약간의 차이를 보인다.

Table 1 Mortar Specimens (Unit : cm)

Specimen	1	2	3	4	5	6
Inclusion	D13					
피복두께	d ₁ = 2	d ₂ = 4	d ₃ = 6	d ₄ = 8	d ₅ = 10	d ₆ = 12

3.2 실험장비 및 측정방법

레이더에 1 GHz의 중심주파수를 갖는 안테나를 연결해서 사용하였다. 실험에 사용된 안테나는 송신부와 수신부가 상자 안에 따로 분리되어 있는 형태이다.

실험은 시편의 표면에 안테나를 놓고 이동시키면서 측정하였다.

4. 측정결과

4.1 유전상수

양생기간에 따른 유전상수를 구하면 Table 2와 같다.

Table 2 Dielectric Constant

Curing (week)	1	2	3	4	8
Dielectric Constant	13.88	13.65	13.02	12.75	11.96

표에 나타난 값으로 보아 양생기간이 길어질수록 시편내의 수분의 감소로 유전상수가 감소하는 것을 알 수 있다.

4.2 철근탐사

다음은 양생 8주가 지난 시편 내의 철근을 탐사한 결과중 중심거리 기준 6 cm의 경우이다. 첫번째 그림은 현장에서 직접 얻은 raw data 이고, 두 번째 그림은 신호처리 과정을 거친 data이다. 세로축은 유전상수값을 이용하여 시간축을 거리의 축으로 변환한 것이다. 여기에 사용된 유전상수 값은 11.96이다.

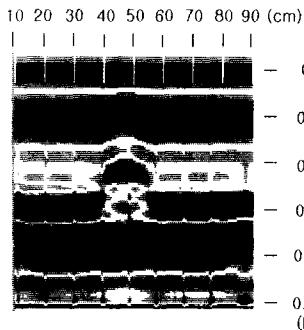


Fig. 1 Raw data (skin-depth 6cm)

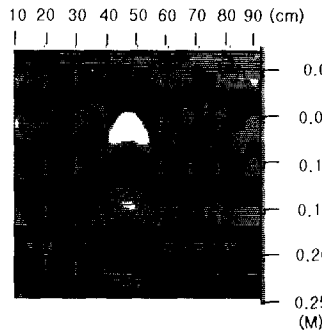


Fig. 2 Processed data (skin-depth 6cm)

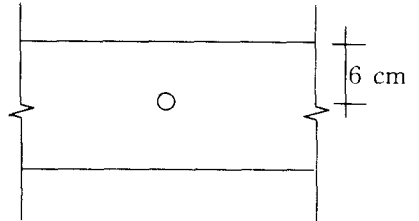


Fig. 3 Section of specimen

raw data에서 철근의 존재는 확인할 수 있으나 철근의 정확한 위치를 판별해 내기는 쉽지 않다.

신호처리를 거친 data는 noise와 ringing 현상이 상당히 제거된 것을 알 수 있으며, 흰색으로 보이는 부분은 임피던스의 차이에 의해 반사파의 에너지가 커지는 것으로 철근의 위치가 흰색으로 나타나 그 위치를 비교적 정확히 판별할 수 있었다.

이상에서의 분석방법을 통해 철근의 위치를 구해보면 Table 3과 같다. 여기서 actual location은 제작상의 오차를 반영하여 단면상에서 실제로 측정된 거리이다.

Table 3 Result of Measurement (Unit : cm)

actual location	2.5	4.1	5.6	8.4	10.1	11.9
measured location	2.84	4.12	5.45	8.76	9.85	11.64
오차 (%)	13.6	0.5	2.7	4.3	2.5	2.2

오차는 실험체의 표면에서 가까운 2 cm의 경우를 제외하고는 모두 5 %미만으로 나타났다. 2 cm의 경우는 표면과 철근의 거리가 너무 가까워서 간섭이 일어나 오차가 커진 것으로 보인다.

5. 결론

- (1) 모르타르 시편 내 철근의 존재여부와 위치를 모두 확인하였다. raw data의 영상에서는 확인하기 힘든 철근의 정확한 위치를 신호처리를 거쳐 확인하였다.
- (2) 안테나로부터 송신된 전자파는 철근에 이르러 임피던스의 차이에 의해 반사하게 되고 그 반사파를 수신하여 분석해보면 철근의 위치를 알 수 있다.
- (3) 신호처리 과정을 거친 data로 철근의 위치를 확인하였으나 매립깊이가 증가하면서 noise도 증가하는 것을 보인다. 이는 반사파가 감쇄하는 것과 뒤표면과 철근의 위치가 가까워서 철근에 의한 반사파와 뒤표면에 의한 반사파가 서로 중첩하여 나타나는 영향으로 보인다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단(KOSEF)에서 설립한 서울대학교 지진공학연구센터(KEERC)로부터 연구비를 지원 받았고, 교육부의 1996년도 이공계대학연구소 기자재 첨단화 지원사업에 따라 연세대학교 공과대학 건축과학기술연구소 비파괴구조연구실의 보유 장비를 사용하였다.

참고문헌

- 1) 한국콘크리트학회, "콘크리트 구조물의 비파괴 검사 및 안전진단", 1995.
- 2) Johnson, R.C., "Antenna Engineering Handbook", 1993.
- 3) Bungey, J.H., Shaw, M.R., Millard, S.G. and Thomas, C., "Radar Testing of Structural Concrete", Proceedings of 5th International Conference on Ground Penetrating Radar, June 12-16, Kitchener, Ontario, Canada, 1994.
- 4) 이종득, "콘크리트 구조물 비파괴 검사", 1996.
- 5) Cheng, D.K., "Field and Wave Electromagnetics", 1989.
- 6) Fruhwirth, R.K. and Schmöller, R., "Some Aspects on the Estimation of Electromagnetic Wave Velocities", Proceedings of 6th International Conference on Ground Penetrating Radar, September 30-October 3, Tohoku University Faculty of Engineering, Sendai, Japan, 1996.
- 7) Halabe, U.b., Sotoodehnia, A., Maser, K.R. and Kausel, E.A., "Modeling the Electromagnetic Properties of Concrete", ACI Materials Journal, Vol. 90, No. 6, November-December 1993.
- 8) Ulaby, F.T., Moore, R.K. and Fung, A.K., "Microwave Remote Sensing and Surface Scattering and Emission Theory", 1992.