

전자파 모델링을 이용한 콘크리트 내 철근탐사

Application on the Modeling Results of GPR Wave Propagation through Concrete Specimens for Rebar Detection In Concrete Specimens

남 국 광*
Nam, Guk-kwang

임 홍 철**
Rhim, Hong-Chul

ABSTRACT

The radar method is becoming one of the major nondestructive testing (NDT) techniques for concrete structures. Numerical modeling of electromagnetic wave is needed to analyze radar measurement results and to study the influence of measurement parameters on the radar measurements. Finite difference-time domain (FD-TD) method is used to simulate electromagnetic wave propagation through concrete specimens. In the experiments, three concrete specimens are made with the dimensions of 100 cm (length) \times 100 cm (width) \times 14 cm (depth). Three specimens had a D16 steel bar at 8, 10, 12 cm depth.

Keywords : Radar, Modeling, Nondestructive Testing, Concrete, Steel bar

1. 서 론

콘크리트 구조물의 안전진단에 대한 관심과 요구가 높아지고 있어 비파괴 검사에 대한 관심 역시 증대되고 있다. 콘크리트를 이용한 건축 구조물의 성능은 시간이 지남에 따라 여러 요인들에 의해 저하되기 때문에 콘크리트 건물의 안전도뿐만 아니라 내구성 진단, 사용수명 예측, 손상원인의 규명, 유지관리 및 보수·보강 문제가 현실적으로 대두되며 구조물에 손상을 가하지 않고 그 내부를 검사하기 위해서 비파괴 검사가 필요하며 이에 대한 많은 연구가 필요한 실정이다.

전자기파를 이용한 비파괴 검사법인 레이더(RADAR)법은 전자기파가 매질 속을 일정한 속도로 직진하는 성질을 이용하여 탐지하려는 물체가 반사하는 pulse를 감지함으로써 콘크리트의 두께와 내부결함, 철근의 위치 탐색이 가능한 시험법으로 많이 사용되고 있다⁽¹⁾.

그러나, 레이더법을 이용하여 실험시 외부 원인에 의하여 실험결과에 많은 영향을 준다. 이러한 요인들이 실제 레이더 측정결과에 어떤 영향을 미치는지를 명확히 하기 위해서는 전자파의 전파를 모델링하고 시뮬레이션을 통해 분석하는 기법의 개발이 필요하다. 또한, 모델링을 통해 전자파가 검사대상물체인 콘크리트 안에서 진행하는 모습을 영상화 할 수 있다면 이는 레이더 실측자료

* 연세대학교 건축공학과 석사과정

** 정희원·연세대학교 건축공학과 부교수

를 분석하는데 많은 도움을 줄 수 있다.

레이더법을 이용하여 전자파의 전파모델링연구는 활발이 진행하고 있다. 그러나 보통 Gaussian pulse를 사용하여 모델링을 많이 하였다. Gaussian pulse는 실제의 레이더파와 파형이 다르며 이리하여 결과 그래프도 같지 않다. 본 연구에서는 실제 레이더파와 가장 비슷한 사인파를 입사파로 하여 전자파의 진행을 시각화 할 수 있는 유한차분 시간영역법(Finite difference-time domain method, 이하 FD-TD법)을 사용하여 모델링하였다.

실제 실험결과 그래프는 판독하기 어렵다. 콘크리트 내의 철근 탐사 실험을 모델링화 하여 실제 실험결과 그래프 판독능력을 향상 하려고한다.

2. 철근위치 탐사 실험

2.1 실험체

철근위치 탐사 실험체는 3개를 제작하였으며 각각의 시편에는 수평 방향으로 철근이 매립되어 있다. 시편 크기는 1000 mm(길이) × 1000 mm(폭) × 140 mm(두께)이다. 매립한 철근의 직경은 16mm이다.

표 1. 실험체

실험체	매립물	실험체 표면에서 철근 중심까지의 거리 [cm]
실험체 1	D16 철근	8
실험체 2	D16 철근	10
실험체 3	D16 철근	12

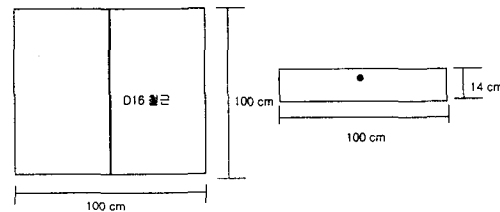


그림 2.1 실험시편 입면과 단면 도

2.2 실험 장비

레이더에 1 GHz의 중심주파수를 갖는 안테나를 연결해서 사용하였다. 1 GHz 안테나는 안테나 상자 내부에 송신 안테나와 수신안테나가 따로 분리되어 있는 형태이며, 수신안테나에서 받은 반사파는 본체 제어부에 저장되고 여기서 측정된 데이터는 신호처리를 위한 데이터 분석용 프로그램에서 분석된다⁽²⁾.

3. 철근위치 탐사 모델링

3.1 입사파 (Incident wave)

본 연구에서는 레이더(GPR) 모델에 많이 이용하는 사인파를 입사파로 사용하였다. 전자기파

모델링에 사용되는 사인파는 식 3.1이다.

$$f(t) = \sin(2 \times \pi \times f \times t) \quad (\text{식 3.1})$$

여기서, f : 주파수

t : 전자파의 진행 시간

식 3.1을 유한차분 시간영역법에 사용하기 위해서 변형하여 식 3.2와 같다.

$$f(t) = \sin\left(\frac{2 \times \pi \times t}{\beta \times \Delta t}\right) \quad (\text{식 3.2})$$

여기서, $\beta \cdot \Delta t$: decay

Δt : 시간간격 (sec)

f, t : 동상

그림 3.1은 유한차분 시간영역법 프로그램 상에서의 사인파를 시간영역에서 그린 그래프다. 모델링시 사용한 주파수는 1GHz이며 유전상수는 8.32를 사용하였다. 그것은 실제 실험 시편과 같게 하기 위해서다⁽³⁾.

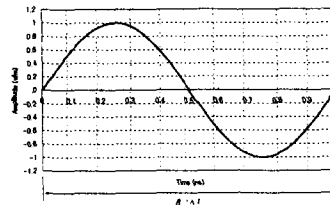


그림 3.1 프로그램 상에서의 사인파

3.2 계산영역 (Computational domain)

본 연구에 사용된 FORTRAN 컴파일러의 특성상, 프로그램 수행시 총 메모리 크기가 256MB를 넘어서는 안된다. 3차원 모델링시, x축, y축, z축의 공간간격이 동일할 경우 전체 계산영역은 191 cells × 191 cells × 191 cells (전체셀개수=6,229,504개)까지 해석할 수 있다. x축, y축, z축의 공간간격이 불 동일할 경우 전체 계산영역은 192 cells × 191 cells × 191 cells (전체 셀개수=7,004,352개)까지 해석할 수 있다. 경계에서 나타나는 에러 요인을 없애기 위해서는 시편을 계산영역 중앙에 위치시키며 시편 양끝에서 경계까지 시편 길이의 1/2만큼 여유를 뒀야 한다⁽⁴⁾.

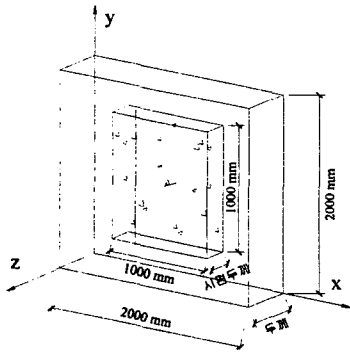


그림 3.2 계산영역과 시편의 위치

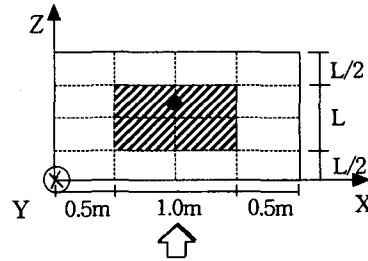
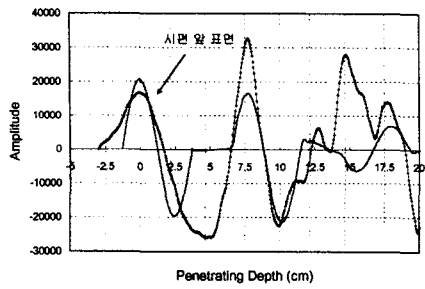


그림 3.3 z축을 축소시킨 계산영역

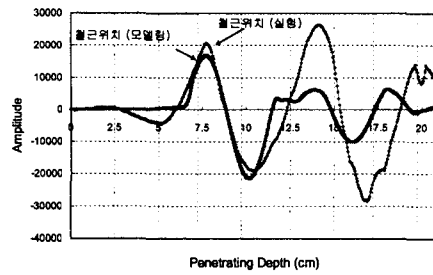
4 결과 분석

전자파는 매질이 변할 때 서로 다른 전자기적 특성으로 인하여 반사가 일어난다. 이 반사파를 수신해서 철근위치를 탐사할 수 있다. 실험에서는 공기에서 콘크리트로 변할 때의 파형을 확인하여 앞 표면을 찾아내고, 철근위치는 철근이 있는 경우와 그렇지 않은 경우의 파형을 비교하여 뒤 표면을 찾아내었다. 즉, 철근이 있는 경우는 전반사가 일어나게 되므로, 철근이 유무의 차이값을 봤을 때, 가장 큰 값을 가지는 시점이 시편의 뒷면이라고 할 수 있다. 모델링에서는 첨예 peak 점이다. 본 연구에서는 실제 실험에 동등한 조건을 고려하여 시편크기와 콘크리트 상수들을 같게하고 같은 주파수 1GHz를 사용하여 모델링하였다.

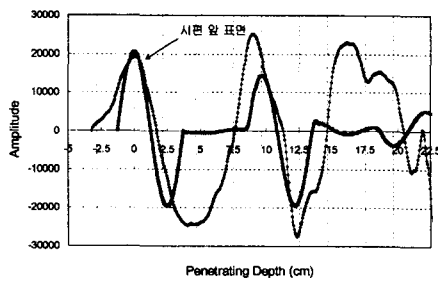
그림 3.4는 철근위치가 변화할 때 실험결과와 모델링결과 비교를 나타내고, 그림 3.5는 철근 유무의 차이값을 실험결과와 모델링결과 비교이다. 그림3.4에서는 두 결과의 파형이 비슷한 것을 확인할 수 있고, 그림 3.5에서는 모델링결과를 이용하여 실제 실험에서 탐사 한 철근위치를 쉽게 찾아 낼수 있다.



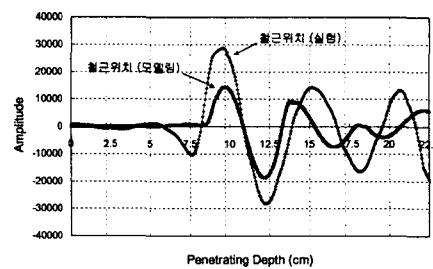
(a) 철근깊이 80 mm



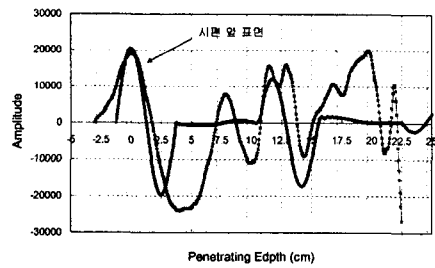
(a) 철근깊이 80 mm



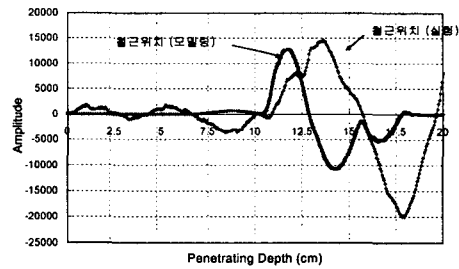
(b) 철근깊이 100 mm



(b) 철근깊이 100 mm



(c) 철근깊이 120 mm



(c) 철근깊이 120 mm

그림 3.4 모델링결과와 실험결과 비교

그림 3.5 철근 유무 차이값의 모델링결과와 실험결과 비교

표 2 철근위치 탐사 결과

철근 깊이 (mm)	모델링 결과 (mm)	실험 결과 (mm)	Error (모델링)	Error (실험)
80	77	77.5	3.75%	3.13%
100	97.65	95.7	2.35%	4.30%
120	118.15	136.46	1.54%	13.72%

5. 결론

- (1) 전자기파 모델링 하여 실제 철근위치 탐사 실험에서 철근위치 찾는 데와 그래프 판독능력 향상에 큰 도움을 줄 수 있다.
- (2) 모델링시 철근의 시편 내에서 깊이가 크면 모델 결과는 더 정확해진다.
- (3) 실험결과는 철근 깊이가 가 크을수록 에러도 커진다. 철근 깊이가 120mm일 때 에러는 크게 늘어 난 것을 알 수 있다.

6. 감사의 글

본 연구는 한국과학재단 (KOSEF)에서 설립한 서울대학교 지진공학연구센터 (KEERC)로부터 연구비를 지원받았고, 교육부의 이공계대학연구소 기자재 첨단화 지원사업에 따라 연세대학교 공과대학 비파괴 구조 연구실이 보유하고 있는 첨단기자재를 사용하였다.

참고문헌

1. O. Buyukozturk & H. C. Rhim, "Modeling of Electromagnetic Wave Scattering by Concrete Specimens", Cement and Concrete Research, Vol. 25, No. 5, 1995, pp. 1011~1022
2. H. C. Rhim and K. H. Park "Imaging of Steel Bars Embedded inside Mortar Specimens for Nondestructive Testing" KCI Concrete Journal, Korea Concrete Institute, Vol. 12, No. 1, pp. 139~144, 2000
3. A. Taflov, *Computational Electrodynamics: The Finite Difference Time Domain Method*, Artech House, Boston · London, 599 p., 1995
4. 임홍철, 조운범, "유한차분 시간영역법을 이용한 콘크리트의 두께측정과 철근위치 탐사를 위한 전자기파 전파 모델링", 한국전산구조공학회 논문집, 제 12 권, 제 4 호, 1999년 12월, pp. 639~648