

마이크로스트립 패치 안테나를 이용한 박리 탐사 모델링

Modeling of Debonding Detection Using Microstrip Patch Antenna

임 홍 철* · 이 효 석** · 우 상 균*** · 송 영 철****

Rhim, Hong-Chul · Lee, Hyo-Seok · Woo, Sang-Kyum · Song, Young-Chul

ABSTRACT

With a growing concern about the state of infrastructure worldwide, the demand for the development of reliable nondestructive testing techniques (NDT) is ever increasing. Among possible NDT techniques, microwave method is proven to be effective in fast and non-contact inspection of concrete structures and inclusions inside concrete. It is also found that the microwave method has a potential in detecting the delamination between fiber reinforced polymer (FRP) plate and concrete. On the other hand, ultrasonic method can be another way to find the delamination. In this paper, the research work needed for the development of a reliable microwave method and ultrasonic method is studied in actual measurements of concrete specimens reinforced with FRP. Concrete specimens are made with FRP and artificial delamination inside. A microwave measurement system with horn antennas with high center frequency and broad frequency bandwidth are used to image inside concrete specimens for the detection of debonding between concrete and FRP. Also, the equipment of ultrasonic method which is commercialized are used at the same condition. Both of the results are analyzed in comparison of each other.

Microwave and ultrasonic methods have been used for the detection of debonding between concrete and fiber-reinforced plastic (FRP).

Keywords: modeling, concrete, FRP, debonding.

1. 서 론

최근에는 노후화된 콘크리트 구조물의 보수, 보강 분야의 투자가 급격히 늘어나면서 고강도 신소재인 탄소섬유 (Fiber Reinforced Polimers, 이하 FRP)를 이용한 보강공법이 많은 각광을 받고 있다 (심종성 등 2000년). 탄소섬유는 내구성, 경량성, 내부식성이 뛰어나 뿐 아니라 시공이 간편하여 그 사용이 증가하는 추세이다. 그러나 여러 장점들에도 불구하고 에폭시 수지에 의한 표면부착방법은 보강 단부의 부설시공, 온도의 영향 등으로 에폭시와 콘크리트 사이에 부착성능 저하로 인한 계면박리의 발생이 가장 큰 문제점으로 대두되고 있다. 박리의 발생은 결과적으로 탄소섬유가 충분한 성능을 발휘하기 전에 취성 파괴되어 보강효과를 기대할 수 없게 될 뿐만 아니

* 정회원 · 연세대학교 공과대학 건축공학과 교수 E-mail: hcrhim@yonsei.ac.kr

** 연세대학교 공과대학 건축공학과 석사과정 E-mail: hsyonsei@paran.com

*** 한전전력연구원 과장 E-mail: wskyun@kepri.re.kr

**** 한전전력연구원 부처장

라, 균열자체가 육안으로 식별이 어려워 쉽게 찾아낼 수가 없다 (박중열 등 2002년).

그로 인해 박리 발생 여부를 탐지하는 비파괴 검사에 대한 연구가 각국에서 진행 중인데, 현재 당 연구에 대한 발전 방향이 상대적으로 진행이 늦은 편이다. 따라서 박리 발생 여부를 검사할 수 있는 효과적인 비파괴 검사 기법의 개발이 절실한 상황이다 (Malhotra 등 1991 ; Uchida 등 2000). 특히 섬유보강 구조물에서 일어나는 계면 박리에 의한 균열은 일반 철근 콘크리트 구조물의 균열과는 다른 양상을 나타낸다. 즉, 계면박리에 의한 균열은 초기에는 mm 단위로 매우 미세하게 시작하다 점점 커지며 콘크리트 표면에서 발생하므로 기존 비파괴검사 기법과는 다른 접근이 필요하게 된다. 따라서 최근 연구의 동향은 미세한 균열을 찾기 위한 신뢰성 있는 검사방법의 적용 및 향상된 결과를 얻을 수 있는 분석방법의 개발 위주로 하고 있다 (Feng 등 2002 ; Abu-Khousa 등 2003 ; Bastianini 등 2001). 본 연구에서는 검사의 정밀성과 신뢰성이 우수한 전자파법을 이용한 비파괴 검사 기술을 이용하였다. 특히, 본 연구에는 당연구실에서 개발한 프로그램으로 모델링을 진행한 후, 마이크로 스트립 패치 안테나를 이용하여 박리탐사를 실험하여, 각 결과에 대한 차이를 조사하여 보았다.

2. 연구배경 및 내용

마이크로스트립 패치 안테나를 이용한 박리 탐사법은 타 측정 장비에 비해 상대적으로 저렴한 가격 및, 낮은 민감도로 인해 시공 오차 등의 개선 등 여러 가지 장점으로 인하여 콘크리트의 균열탐사에서의 사용이 점차 확대되고 있다. 마이크로 스트립 패치 안테나는 송신용 레이더 안테나에서 전자기파를 구조물에 발신하여 반사되어 오는 전자기파의 분석을 통해 거리 및 균열여부를 분석하는 방법이다. 이 방법은 주파수 대역의 변화를 통하여 해상도와 탐사심도를 조정할 수 있기 때문에 다른 장비에 비하여 적용성이 우수하다 (임홍철 등 2000).

특히 본 연구에서는 박리의 위치가 시편 표면에 가까이 위치하고 크기가 매우 미소하여 높은 이득 및 광대역의 특성을 가진 고주파의 안테나를 사용하여야 더욱 신뢰성 있는 결과가 예상되는데, 이번 실험에 사용된 마이크로 스트립 패치 안테나는 이러한 장점을 모두 만족하였다.

3. 모델링

FRP 보강 구조물의 박리 탐사에 안테나를 적용함에 앞서 전자기파의 컴퓨터 모델링 기법으로 탐색가능한지 알아볼 필요가 있다. 모델링 기법은 유한차분 시간 영역법의 수치적인 해법을 이용하여 FRP로 보강된 콘크리트의 박리 유무에 따른 결과를 비교하여 전자기파를 이용한 방법이 얼마나 효율적으로 적용 가능한지를 판단하는 것이다. 모델링 기법에서 사용하는 입사파는 실제 안테나에서 입사하는 사인파의 유형이며 일반식은 다음과 같다 (임홍철 등 2004년).

$$P(t) = \cos(\omega t) e^{\left(\frac{-2(t-t_0)^2}{T}\right)} \quad (1)$$

T : 펄스 폭(Pulse Width) (초)

t_0 : 시간 이격 (초)

ω : 중심 주파수 (Hz)

또한 각 매질의 전자기적 특성인 유전율은 실험을 통하여 얻은 신뢰성 있는 값을 적용하여야 하며 이는 전

자기파의 속도에 영향을 준다.

선행 연구에서는 실제 안테나에서 나오는 사인파를 이용하여 박리 두께 (5 mm, 3 mm, 1 mm) 변수에 따른 모델링을 수행한 결과 박리유무에 따른 반사파의 신호를 구별하는데 성공하였다. 그림 1은 모델링을 통한 시간 영역에서의 반사파의 양상을 나타내고 있다.

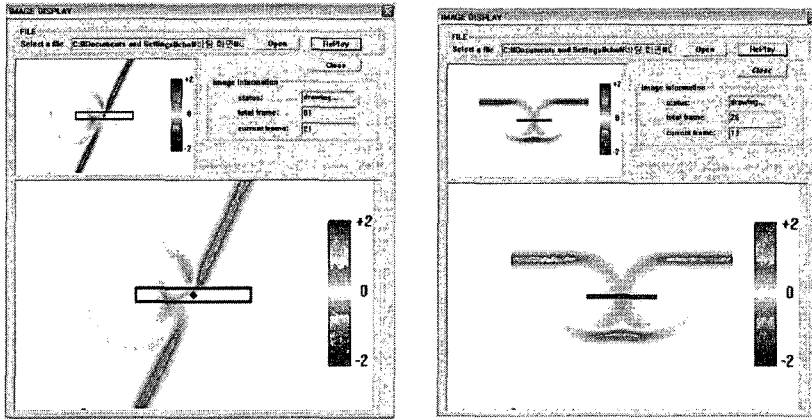


그림 1 모델링을 통한 반사파의 모습 (철근 콘크리트, 플레이트)

실제 실험에서는 원하지 않는 반사파가 많을 것이며 시편의 상태도 균일하지가 않으므로 모델링과는 다른 결과가 예상되나 모델링을 통하여 가능성을 확인하게 되었다.

4. 실험 내용 및 결과

4.1 시험체 제작

두께 50 mm, 가로 600 mm, 세로 600 mm 장방형 무근 모르타르 시편을 그림 2와 같이 상태가 다른 4구역으로 나누어 제작하였다. 콘크리트 강도는 28일 압축강도 21 MPa로 제작하였고 수중양생 하였다. 또한 스티로폼은 공기와 유전율이 같으므로 인위적인 박리의 발생으로 볼 수 있다. Zone 1 및 Zone 2는 무 보강 콘크리트 시편을, Zone 3 및 Zone 4는 탄소섬유 보강된 콘크리트 시편을 나타내고 있다. 그림 3과 같이 인위적인 박리두께를 5, 10, 15 mm로 하여 시편을 제작하였으며 FRP 및 에폭시의 두께는 각각 1.5 mm, 3 mm로 제작하였다.

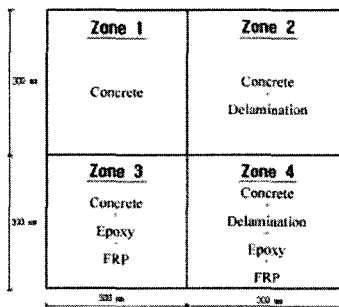


그림 2 시험체 평면도

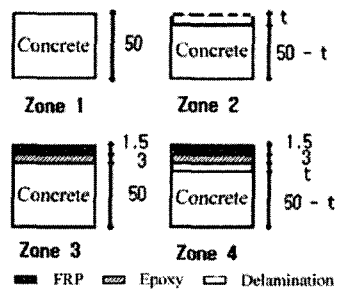


그림 3 시험체 단면도

4.2 안테나를 이용한 실험

본 연구에서는 안테나가 시편내부로 많은 에너지를 방사시켜야 하고 동시에 표면에 있는 2 cm 이내의 균열을 탐지하여야 한다. 본 연구에서는 중심주파수 15 GHz, 대역폭 1 GHz의 성능을 가진 마이크로스트립 패치 안테나를 사용하였다. 박리의 미세한 크기로 인하여 주파수 대역을 높게 잡아야 하지만, 주파수가 높아질수록 투과 성능의 효율성이 떨어지는 문제점이 발생하고 측정매질인 FRP가 고주파로 올라갈수록 전자기파를 흡수하는 특성을 가지고 있으므로 이러한 문제점을 고려하여 15 GHz의 적절한 주파수를 선택하였다. 또한 대역폭이 1 GHz 정도의 광대역의 특성을 가지므로 노이즈에 대한 감쇠능력을 가질 수 있게 되었다.

실험 데이터 획득은 안테나와 연결된 Network Analyzer장비를 이용하였는데 이 장비는 안테나의 반사파의 신호를 분석하는 역할을 하게 된다. 또한 이 장비에 있는 time gating 기능을 사용하였는데 이 기능은 시간영역을 세분화해서 측정할 수 있게 한다. 박리 발생 위치가 표면부근에서 이루어지므로 미세한 시간 단위에서의 분석이 효과적이므로 이 기능은 필수적이고도 중요한 역할을 하게 된다.

4.3 측정 결과

이번 실험에서는 신호의 식별을 최대화하기 위하여 시간영역을 최소화시켜야 한다. 즉 시편 앞면과 시편 뒷면의 두께가 60 mm 정도로 얇기 때문에 시편의 앞면에서 nano second 단위의 시간영역에서 신호를 분석하는 것이 효과적이라고 판단되었다. 따라서 먼저 시간영역에서 시편의 표면에 해당하는 포인트를 찾는 작업을 하였다.

스티로폼의 유전율은 공기의 유전율과 같고 FRP 및 콘크리트의 유전율을 알면 약산식으로 도달시간을 구할 수 있다.

실험에서 전자파의 시편 통과 시간은 대략 0.8 ns 정도가 된다. 즉 1 ns 이내에서의 신호를 분석해야 하므로 시간단위를 확대해서 해석할 필요가 있다. 따라서 Network Analyzer의 time gating 기능을 사용하여 시편의 보강 구역을 해당 시간범위 (1.0 ns ~ 2.0 ns) 로 확대하여 나타내었다. 그림 4는 15 mm 박리를 가진 시편 중 보강되지 않은 구역을 나타내고 있고 (Zone 1, Zone 2), 그림 5는 같은 시편의 FRP로 보강된 구역 (Zone 3, Zone 4)에서의 신호를 보여주고 있다.

이 그래프에서 시편 표면 (1.6 ns ~ 1.8 ns) 부근에서 다른 부위보다 그래프 파형의 차이가 크게 보이고 있다. 박리에 의한 시간의 이동은 명확하게 나타나지 않고 있지만 Magnitude의 차이가 심하게 나타남을 알 수 있다. 따라서 박리의 크기에 대한 정보는 정확히 알아낼 수는 없으나 박리 유무에 대한 구별은 찾아낼 수 있다.

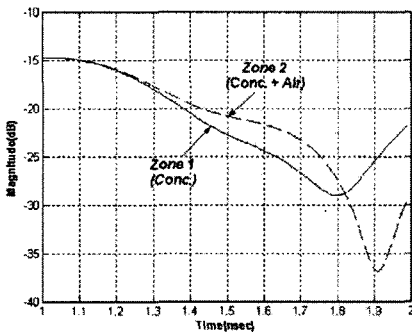


그림 4. 무보강 구역 측정 결과

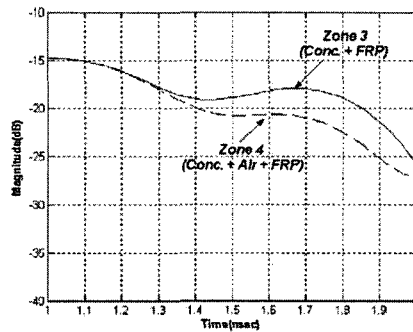


그림 5. 보강 구역 측정 결과

5. 결론

기초 실험을 통한 FRP 보강판의 박리검사에 대한 연구 결과는 다음과 같다.

- 1) 검사법으로는 안테나를 이용한 전자파법을 사용하였으며 중심 주파수 15 GHz, 대역폭 1 GHz의 성능을 가진 마이크로 스트립 패치 안테나를 사용하였다.
- 2) 인위박리시편을 이용하여 측정된 결과 시간영역에서 5 mm 박리의 유무를 구별하는데 성공하였다.
- 3) 박리유무에 따른 시간 이동은 보이지 않아 균열의 크기는 구할 수 없었으나 Magnitude의 차이에 의해 박리 위치에 대한 정보는 얻을 수 있었다.
- 4) 측정결과에 대한 명확한 분석을 위해서는 안테나의 성능을 높이는 방법이 가장 효과적일 수 있다. 하지만 대역폭이 증가 할수록 민감도가 높아 지게 되어 실제 실험에 있어서도 노이즈조차 측정 될 수 있다는 단점이 존재 하므로 각 여러 실험으로 인해 각 조건에 적합한 대역폭을 찾아내는 것이 필수적이라 할 수 있겠다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부가 출연하고 한국전력연구원에서 지원한 2005년도 전력산업기술개발사업의 연구비 지원에 의하여 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

- 박중열, 조홍동, 한상훈 (2002년) 탄소섬유판으로 보강된 철근콘크리트 보의 보강방법 에 따른 휨성능 개선, 대한토목학회논문집 제 22권, 제4-A호, pp. 895~903.
- 심중성, 김규선 (2000년) 건설분야에서의 FRP 사용, 콘크리트학회지 제12권 6호, pp.37~43.
- 임홍철, 남연수 (2004년) 콘크리트 보강재 박리 검사를 위한 전자파 모델링, 한국전산구조공학회 논문집, 제 17권, 제3호, pp. 261-269.
- 임홍철, 박기준, 이승재 (2000년) 콘크리트내의 철근 및 공동 탐사를 위한 측정과 분석, 한국비파괴검사학회지, Vol. 20, No. 4, pp. 305-313.
- Abu-Khousa, M. Saleh, W. and Qaddoumi, N. (2003) Defect imaging and characterization in composite structures using near-field microwave nondestructive testing techniques, Composite Structures Vol 62, pp. 255-259.
- Bastianini, F. Tommaso, A.D. and Pascale, G. (2001) Ultrasonic non-destructive assessment of bonding defects in composite structural strengthenings, Composite Structures Vol 53, pp. 463-467.
- Feng, M.Q. Flaviis, F.D. and Kim, Y.J. (2002) Use of Microwaves for Damage Detection of Fiber Reinforced Polymer-Wrapped Concrete Structures, Journal of Engineering Mechanics, pp 172~183.
- Malhotra, V.M. and Carino, N.J. (1991) CRC handbook on nondestructive testing of concrete, CRC Press.
- Uchida, M. Ohtsu, M. Tsuji, N. and Okamoto, T. (2000) Evaluation of Crack Detection in Reinforced Concrete Structure using Ultrasonic, JSCE No.662, vol. 49, pp.223_230.