

CFRP 복합소재의 결함 검출을 위한 탄소섬유 방향에 따른 전자파 반사 특성 분석

Analysis of Reflection Characteristics of Millimeter-wave at Caron Fiber Directions of CFRP composites

*양승환¹, #김기복¹, 오현근¹, 김건우¹, 최남경¹, 강진섭²

*S. H. Yang¹, #K. B. Kim(kimkibok@kriss.re.kr)¹, H. G. Oh¹, G. W. Kim¹, N. K. Choi¹, G. S. Kang²

¹한국표준과학연구원 안전측정센터, ²한국표준과학연구원 전자파센터

Key words : Non-contact NDT, Composites, Electromagnetic wave, Reflection coefficient, Fiber direction

1. 서론

탄소섬유강화 플라스틱(CFRP) 복합소재는 고강도와 고탄성 특성을 보이면서도 경량이기 때문에 자동차, 건물, 항공기 등의 다양한 구조물 재료로 활용되고 있고 기존 건물의 보강 또는 유지보수의 재료로도 각광받고 있다. 그럼에도 불구하고 복합소재에 존재하는 결함은 구조물의 안전과 직결된다. 지금까지 CFRP의 결함 검출을 위해 초음파¹, 열화상² 등과 같은 다양한 기술들이 연구되었다. 특히 CFRP는 탄소 성분 함량이 높아 전기전도성이 크기 때문에 전기저항 방법을 이용한 결함 검출 연구가 수행되고 있다³. 하지만 기존의 방법들은 완전 접촉 또는 거의 접촉된 상태에서 결함 검출을 수행하는 것으로 완전한 비접촉 방식은 아직까지 활발히 연구되고 있지 않다. 최근 테라헤르츠(THz) 기술을 이용한 완전 비접촉식 결함 검출이 시도되고 있지만⁴ 장비가 고가이고 구조가 복잡하다는 단점이 있다.

본 연구는 밀리미터파를 이용하여 비접촉 방식의 CFRP 결함검출 기술을 개발하기 위한 선행 연구로써 CFRP 소재의 전자파 반사 특성을 분석하기 위하여 수행되었다.

2. 이론

CFRP 복합소재는 일반적으로 탄소섬유가 직물형태로 배열되어 있기 때문에 탄소섬유 방향에 따라 전기전도성이 달라지는 특성이 있다. 따라서 전자파를 CFRP 표면에 입사시킬 경우 전자파의 전기장 방향과 탄소섬유 방향에 따라서 반사특성이 달라질 수 있다. 탄소섬유의 방

향에 따른 CFRP의 전기전도율(σ)은 다음 식(1)과 같이 표현된다⁵.

$$\sigma(\theta) = \sigma_0 \cos^2 \theta + \sigma_1 \sin^2 \theta \quad (1)$$

여기서 θ 는 전기장 방향과 탄소섬유 방향 사이의 각도이고 σ_0 와 σ_1 은 탄소섬유 길이방향과 직각 방향의 전기전도율이다. 이 때 σ_1 의 경우 일정한 값을 보이지만 σ_0 의 경우 위치 별로 상이할 수 있다. 따라서 탄소섬유 방향에 영향을 받는 θ 는 전자파 반사 특성에 영향을 주게 된다.

3. 재료 및 방법

실험에 사용된 CFRP 복합소재는 탄소섬유가 8겹으로 된 $[0^\circ_2/90^\circ_4/0^\circ_2]_s$ 형태이고, 크기는 가로, 세로가 각각 20 cm, 두께가 2.5 mm 였으며 탄소섬유 재료는 CU125NS였다.

실험 장치는 회로망 분석기(E8361C, Agilent, USA)와 V-band 혼안테나(HNR-V25-00, 3J, USA)로 구성되었고 혼안테나에서 발생한 전자파가 시편에 수직으로 입사하도록 위치시킨 후 혼안테나와 시편 사이의 거리는 10 cm로 설정하였다(Fig. 1a). 전자파의 전기장 방향과 CFRP 탄소섬유 방향이 평행할 때를 0° 로 하고 30° , 60° , 90° 로 각도를 변경하면서 총 10 cm 길이의 반사계수 변화를 측정하였다(Fig. 1b).

이때 길이 방향에 따른 반사계수 변화가 적고 공진 주파수를 명확하게 확인할 수 있는 각도를 결함 검출에 적합한 각도로 결정할 수 있다. 최종 목적인 결함을 검출하려고 할 때 결함 위에서 전자파의 왜곡이 발생하는 현상을 이용해야 하는데 결함이 없는 경우에도 전자파 반사 특성이 균일하지 않다면 결함을 검출할

수 없게 된다.

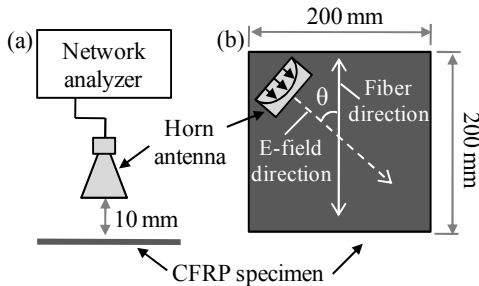


Fig. 1. (a) Experimental set-up and (b) the description of angle between the fiber and the E-field direction

4. 결과 및 토의

밀리미터파에 대한 CFRP 시편의 반사계수 변화를 측정한 결과 Fig. 2와 같은 변동분포를 확인하였다. 탄소섬유 방향과 전기장의 각도가 커질수록 공진주파수는 불명확해지고 반사계수의 변동 영역이 확대되었다.

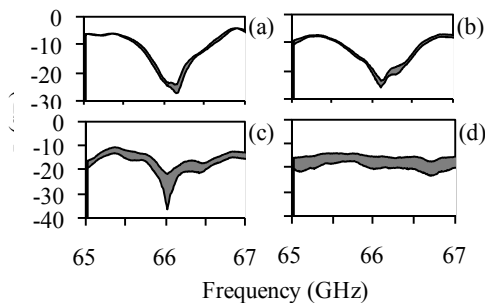


Fig. 2. Fluctuation distribution of the reflection coefficients on the CFRP specimen at (a) 0°, (b) 30°, (c) 60° and (d) 90° of the angle from the fiber direction

이와 같은 결과는 이론에서 살펴본 바와 같이 탄소섬유 방향에서는 전기전도율이 균일하기 때문에 이 방향과 전기장 방향을 일치시킬 경우 ($\theta=0^\circ$) 전자파의 반사가 안정적으로 나타나 공진주파수가 명확하게 확인되고 반사계수의 변동폭이 크지 않았다. 반면 탄소섬유 방향과 직교하게 탐사를 할 경우 ($\theta=90^\circ$) 전자파가 전기전도율이 서로 다른 탄소섬유들을 지나가기 때문에 전자파의 반사특성에 영향을 주어 공진

주파수가 명확하게 나타나지 않을 뿐만 아니라 측정주파수 영역별로 반사계수의 변동폭이 상대적으로 크게 나타났다.

5. 결론

본 연구는 전자파를 이용하여 CFRP복합소재의 결함 검출을 비접촉으로 수행하기 위한 선행연구로써 CFRP의 탄소섬유 방향이 전자파의 반사 특성에 영향을 준다는 것을 보여주었다. 특히 전자파의 전기장과 탄소섬유 방향이 평행할 때 반사계수 특성이 잘 나타나 향후 전자파를 이용한 결함 검출에 탄소 섬유 방향의 영향을 고려해야 할 것으로 판단된다.

후기

본 연구과제는 한국표준과학연구원의 차세대 전자파 측정표준 기술 사업(사업번호:12011016)의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. H. Tsuda, "Ultrasound and damage detection in CFRP using fiber bragg grating sensors," Composites Science and Technology, 66(5), 676-683, 2006.
2. R. J. Ball, D. P. Almond, "The detection and measurement of impact damage in thick carbon fibre reinforced laminates by transient thermography," NDT & E International, 31(3), 165-173, 1998.
3. N. Angelidis, P. E. Irving, "Detection of impact damage in CFRP laminates by means of electrical potential techniques," Composites Science and Technology, 67(3-4), 594-604, 2007.
4. K.-H. Im, D. K. Hsu, C.-P. Chiou, D. J. Barnard, I.-Y. Yang, J.-W. Park, "Terahertz radiation study on FRP composite solid laminates," AIP Conference Proceedings, 1430(1), 1192-1199, 2012.
5. K. W. Tse, C. A. Moyer, S. Araj, "Electrical conductivity of graphite fiber-epoxy resin composites," Materials Science and Engineering, 49(1), 41-46, 1981.