

에어 커플드 초음파 기법을 이용한 유리섬유강화 복합재료의 손상 감지에 관한 연구

Study on Damage Detection of GFRP Composite by Air-coupled Ultrasonic Testing

선경호† · 송진섭* · 김진연**

Kyung Ho Sun, Jinseop Song and Jin-Yeon Kim

1. 서 론

유리섬유 강화 플라스틱⁽¹⁾ (GFRP: glass fiber reinforced plastic)은 1942 년 미국에서 처음 개발된 이후로 기존의 금속이나 목재 등을 대체하는 복합재료로 각광받고 있다. GFRP 복합재료의 원재료는 하중을 견디는 요소인 보강재료로 유리섬유로 사용하며, 섬유를 고정시키고 구조적인 모양을 이루기 위해 에폭시 수지를 기지재료로 사용하고 있다. 이러한 GFRP 복합재료는 가볍고 강하며 성형성이 양호하여 항공, 우주, 의료 및 건축자재에 이르기까지 다양한 분야에 응용되고 있으며 풍력발전기의 블레이드 재료로도 많이 사용되고 있다. GFRP 재료는 비강도가 큰 반면 표면결합이 발생되기 쉽고 섬유의 파손 및 기지와와의 박리 (debonding)가 발생되기 쉬운 단점을 지니고 있다. 이러한 결함들을 진단하기 위한 비파괴 방법으로는 초음파, 적외선 열화상 검사 및 x-ray 등이 사용되고 있는데, 그 중 초음파 기법은 비교적 두꺼운 재료의 검사가 가능하고 작업자의 안전 측면에서 다른 두 방법에 대해 각각의 장점을 지니고 있다. 본 연구에서는 풍력발전기 블레이드의 표면 (skin)에 사용되는 GFRP 복합재료의 결함진단을 위해 에어 커플드 (air-coupled) 초음파 기법을 사용한다. 에어 커플드 초음파 기법은 물 대신 공기를 매개체로 사용하는 비접촉 방식으로 복합재가 물에 오염되는 것을 방지할 수 있고 스캔의 속도가 빠르고 검사결과가 접촉 조건의 변화에 무관하다는 장점을 지니고 있다.

2. 에어커플드 초음파 기법을 이용한 GFRP 복합재 진단

에어 커플드 초음파 기법은 항공기에 사용되는 복합재료 구조물들의 검사에 주로 사용되고 있는데 최근에는 램파 (Lamb waves)를 이용하여 풍력발전기 날개 구조에 발생된 결함을 감지하고 이미지를 얻는 사례들이 보고되고 있다^{(2),(3)}. 그림 1과 같이 하나의 에어 커플드 초음파 송신 탐촉자가 판에 대하여 일정 각도를 가지고 초음파를 방사하면 이 방사된 빔 에너지의 일부가 판으로 침투하고 나머지는 반사되어서 공기 중으로 되돌아 가게 된다. 침투된 에너지는 판에 어떤 특정 모드를 가지는 램파를 발생시키고 이 램파가 진행할 때 판에서 공기 중으로 방사되는 음파, 혹은 누설 램파 (leaky Lamb waves)를 또 하나의 수신 탐촉자가 감지하게 된다. 그림 1과 같이 만일 램파가 진행하는 구간에 어떤 결함이 존재한다면 진행하는 램파는 반사 및 산란으로 인해 교란될 것이며, 결함이 있을 때 신호와 비교하여 그 크기와 위상이 달라지게 된다. 이러한 변화를 측정하여 GFRP 판의 C 스캔 이미지를 얻을 수 있으며 이러한 결과를 바탕으로 결함이 있는 위치를 찾을 수 있다.

본 연구에서는 중심주파수가 100 kHz인 Ultrason⁽⁴⁾사의 에어커플드 탐촉자를 이용하여 인공결함이 가

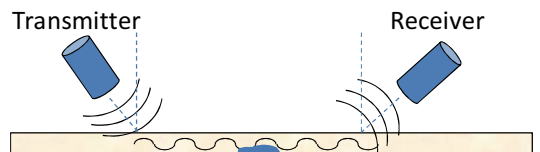


Fig. 1 에어 커플드 초음파 탐촉자를 이용한 램파의 발생 및 수신

† 교신저자; 정희원, 한국기계연구원

E-mail : sunkh@kimm.re.kr

* 한국기계연구원

** Georgia Institute of Technology

공된 GFRP (오웬스 코닝 DB830, 2AX, 10-ply) 시편에 대하여 초음파 실험을 수행하였다. 그림 2(a)는 제작된 복합재 시편으로 두께가 8 mm인 GFRP 시편에 깊이가 4 mm인 원형 결함 (ϕ 5, 15, 25, 35, 45 mm)을 가공하였다. 두께가 8 mm인 GFRP 복합재의 A0 램파의 위상속도가 주파수 100 kHz에서 약 1500 m/sec 이므로 입사 및 수신각을 스넬의 법칙 (Snell's law)에 의해 14° 로 결정하였다. 그림 2(b)는 설치된 에어커플드 탐촉자를 나타내며 탐촉자와 판 사이의 거리는 약 2 cm 이고 판 내에서 램파의 전파거리는 약 10 cm 이다. 본 실험에서는 충분한 신호대 잡음비를 얻기 위해서 Ritec Inc.의 광대역 RF 수신기 (BR-640A)⁽⁵⁾ 두 대를 직렬로 연결하여 각각 40 dB씩 증폭하도록 하여 모두 80 dB를 증폭하였다. 수신 신호는 그림 2(c)와 같으며 ϕ 15, 25 mm인 결함에 대하여 0.5mm 스텝 크기로 C-scan한 결과가 그림 2(d)에 나타나 있다. 흰색 원들은 실제 구멍들의 위치를 표시한 것으로 C-scan 이미지로부터 결함의 위치를 쉽게 발견할 수 있음을 볼 수 있다. 원형의 결함들이 이미지 상에서는 램파의 굴절 효과 (refraction effect)로 인해 긴 타원 모양으로 나타나고 있으나, 이는 실제 블레이드에서 발생하는 결함은 불규칙적인 것이므로 이러한 효과는 작아질 수 있다.

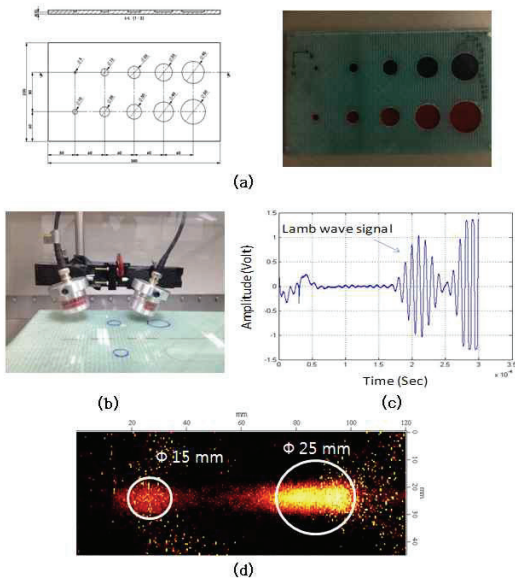


Fig. 2 (a) 제작된 GFRP 결함 시편, (b) 시편 위에 설치된 송, 수신 에어커플드 탐촉자, (c) 수신된 누설 A0 모드 램파의 신호, (d) C-scan 이미지

3. 결 론

본 연구에서는 에어 커플드 초음파 기법을 이용하여 유리섬유강화 복합재료 판에 발생하는 결함들을 탐지하는 연구를 수행을 하였다. 램파를 발생시키기 위한 실험장치를 구성하였으며 복합재료 판에 신호를 발생시키고 수신하여 재료 내부에 발생된 결함을 감지할 수 있음을 증명하였다. C-scan 결과 얻은 이미지를 통해 결함의 유무 및 위치를 정확하게 찾아낼 수 있으며, 본 에어 커플드 초음파 기법은 복합재의 빠른 스캔이 필요한 경우에 적합한 기법임을 확인 할 수 있었다.

후 기

본 연구는 지식경제 기술혁신사업 (과제명: 5MW 급 해상풍력발전용 블레이드 손상감지 및 공력성능 운영관리를 위한 로봇 기술개발)의 결과이며, 본 연구에 필요한 설비 사용을 지원해 주신 원자력연구원의 주영상 박사님과 실험들에게 감사드립니다.

참 고 문 헌

- (1) E. J. Barbero, "Introduction to Composite Materials Design", Taylor and Francis Group, New York, NY, 1999.
- (2) E. Jasiuniene, R. Raisutis, R. Sliteris, A. Voleisis, A. Vladisaukas, D. Mitchard, M. Amos, "NDT of wind turbine blades using adapted ultrasonic and radiographic techniques," Insight, Vol. 51, pp.477-483, 2009.
- (3) D. Roach, S. Neidigik, R. Duvall, T. Rice, "Rapid flaw detection in wind turbine blade assemblies using phased array ultrasonics." 2012 Wind Turbine Blade Workshop Presentation Material. Sandia National Lab.
- (4) <http://www.ultrangroup.com/Transducers/NonContact/Planar.aspx>
- (5) <http://0000fda.previewcohosting.com/products.htm>