

다층 후판 복합재 패널의 결함 검출을 위한 C-Scan 이미지 보정기법

조 현* · 송성진**

Enhancement of Ultrasonic C-scan Images for Inspection of Multi-layered Composite Panels

Hyun Cho* · Sung-Jin Song**

ABSTRACT

One of the serious problems that make the flaw identification in a multi-layered thick composite panel more difficult is the interference effect of the upper layer. To take care of such a problem, here we propose an image enhancement approach that can get rid of such an interference effect to ultrasonic C-scan images by a normalization of the acquired signals by a reference signals, and demonstrate its performance in the experiments. Specifically, three specimens with artificial flaws are prepared and ultrasonic C-scan images are acquired experimentally to eliminate the undesired interference effect. Great successes are observed in the present study demonstrating the high potential of the proposed algorithm as a practical image enhancement tool in many practical situations.

초 록

초음파를 이용한 다층 후판 복합재 패널의 비파괴 검사에서 상층부의 신호간섭효과는 결함판정을 보다 어렵게 만드는 중대한 요인으로 작용한다. 이러한 문제를 해결하기 위해, 본 연구에서 초음파 C-Scan 이미지에 영향을 미치는 복합재 상층 패널의 신호간섭을 제거할 수 있는 이미지 향상기법을 제안하였다. 이는 수집된 초음파 수신신호를 보정신호를 이용해 정규화하고 그 결과 신호를 C-Scan 이미지로 재구성하는 기법으로 본 논문에서는 이미지 향상기법의 제안과 그 실험적 성능검증에 대하여 논하였다. 복합재 상층 패널의 계면효과를 제거하기 위해 인공결함을 내재시킨 세 개의 결함시험편을 제작하고, 이들 시험편에서 C-Scan 이미지를 실험적으로 획득하였다. 그리고, 개발된 이미지 보정기법을 적용하였는데, 제안된 기법이 이미지 개선알고리즘으로 실용적 적용성이 충분함을 입증하는 결과를 얻었다.

Key Words: Ultrasonic C-scan(초음파 C 스캔), Image(영상), Enhancement(개선), Multi-layer(다층), Composite Panel(복합재 패널)

* 성균관대학교 대학원 기계설계학과
** 성균관대학교 기계공학부
연락처, E-mail: impegasus@nate.com

다층 후판 복합재 패넬을 검사하기 위한 비파괴 시험기법 중, 일반적으로 수침형 초음파 검사가 폭넓게 활용되고 있다. Fig. 1에 본 연구에서 검사에 활용한 복합재 패넬과 수침 검사 개략도를 보였다. 그림에서와 같이, 고무, 알루미늄 평판, Ceramic 평판이 5개의 층을 이루는 복합재 판을 물속에 담그고 수침형 초음파 탐촉자를 사용해서 피검체에 초음파 빔을 수직 입사시켜 반사된 신호를 수집하게 되면, 계면에서의 다중 반사신호를 무시할 경우, 6개의 반사 신호군(F_1 : 표면 반사신호, B_1 : 저면 반사신호, E_1, E_2, E_3, E_4 : 4개의 계면 반사신호)을 얻을 수가 있다. 하지만 피검체 재질 자체의 감쇄가 심하고 재질간의 음향 임피던스 차가 큰 대부분의 복합재 검사환경에서, 이러한 신호들을 수집하기란 쉽지 않은 일이고, 계면에 존재하는 결함을 판정하기란 더욱 어려운 일이 될 수밖에 없다.

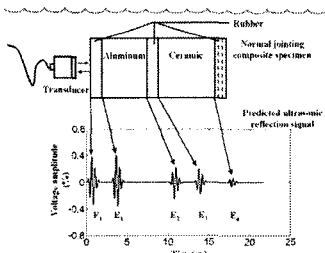


Fig. 1 An ultrasonic pulse-echo testing of a five layered composite panel in an immersion set-up and reflection signals to be acquired.

결함 판정을 보다 어렵게 하는 문제 중 하나는 복합재 패넬 밖을 감싸고 있는 고무 층의 신호간섭효과이다. 복합재 패넬 전체를 감싸고 있는 표피 고무층의 경우 음향학적 물성치가 전체적으로 균일하지 않은 것이 일반적이다. 따라서 이들 고무층을 투과하는 초음파 빔의 에너지는 부위에 따라 달라지고, 이러한 에너지 변화는 경계면에서 반사한 신호를 후처리하여 생성하게 되는 초음파 C-scan 이미지에 직접적인 영향을 미치게 된다.

이러한 문제를 해결하고자 본 연구에서는 초음파 C-scan 이미지에 영향을 미치는 간섭효과

를 제거하는 이미지 보정기법을 제안하고 그 성능을 실험적으로 검증하였다.

2. 실험

Figure 2는 결함의 위치와 크기를 고려해 복합재의 층간계면에 인공결함을 삽입한 3개의 시험편 치수를 보인 것이다. 보이는 바와 같이, 다양한 크기의 인공결함을 알루미늄-고무 경계와 고무-세라믹 경계에 삽입하였다. Fig. 1에서 보인 것과 같이, 초음파 빔은 알루미늄 층 표피고무 바깥에서 입사하기 때문에, 첫 번째 계면 반사신호(E_1)는 알루미늄 층과 표피고무 사이의 계면에서 발생한다. 광대역 타입의 2.25MHz 수침형 초음파 탐촉자를 본 연구를 위해 직접 개조한 초음파 C-scan 시스템에 장착하여 실험을 수행하였다[1].

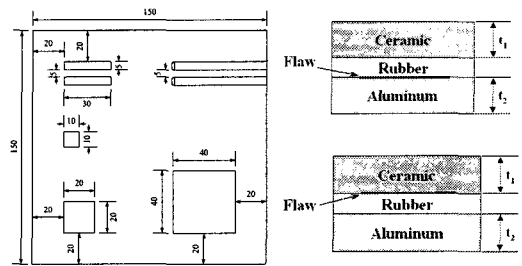


Fig. 2 Specimens with artificial flaws fabricated in the interfaces between layers.

Figure 3은 실험을 통해 알루미늄-고무 계면 (Fig. 3 (a))과 고무-세라믹 계면 (Fig. 3 (b))에서 획득한 반사신호를 이용해 얻은 초음파 C-scan 이미지를 보인 것이다. Fig. 3 (a)는 알루미늄 쪽에 결함이 있는 시험편에 대한 C-scan 결과로 두 번째 에코 (E_2)에 gate를 설정한 결과 결함부위가 주위부분보다 진폭이 커지며, 세 번째 에코 (E_3)에 gate를 설정한 결과 결함부위가 주위부분보다 진폭이 작아짐을 보여준다. 이러한 결과는 이론적 예측결과와 아주 잘 일치하는 것이다[2].

고무-세라믹 계면에 인공결함을 가공한 경우에는 Fig. 3 (b)에서와 같이 두 번째 에코 (E_2)에

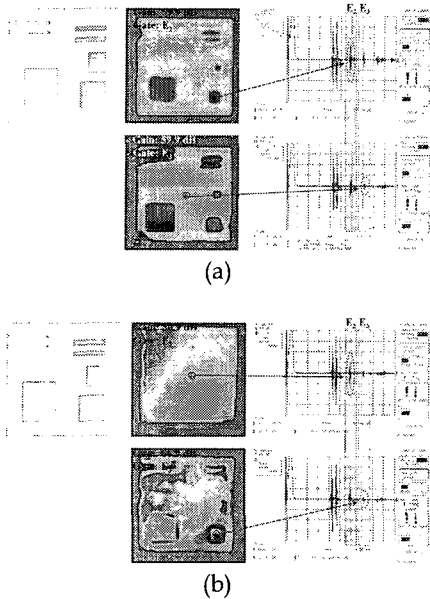


Fig. 3 The ultrasonic C-scan images acquired experimentally from the specimens having deliberate flaws (a) in the aluminum/rubber interface, (b) in the rubber/ceramics interface.

gate를 설정한 결과에서는 결함부위를 판정하기 어렵지만, 세 번째 에코 (E_3)에 gate를 설정한 결과로는 결함부위를 구별할 수 있다. 이 결과 역시 이론적 예측결과와 아주 잘 일치하는 것이다 [2]. 하지만, 고무 내에서의 감쇠의 영향으로 E_3 에코는 S/N비가 낮아 뚜렷한 결함 영상을 얻기가 어려웠다.

여기서 주목할 사실 하나는, E_2 , E_3 에코를 이용해 구성된 스캔 이미지가 전체적인 배경색상 변화측면에서 상당히 유사한 패턴을 보인다는 것이다. 간접효과로 생기는 이러한 결과는 실용적인 많은 경우에 있어 검사결과 이미지 분석에 어려움을 끼치는 요인으로 작용한다.

3. 초음파 C-Scan 이미지 개선

Figure 4 (a), (b)는 표피 고무의 음향학적 물성변화가 극히 심한 시험편에 대하여 E_2 , E_3 에코에 게이트를 설정하고 얻은 초음파 C-Scan 이

미지이다. 이 이미지의 중앙 우측부분 수직방향 전체에 걸쳐 결함처럼 보이는 부분이 있지만 Fig. 2와 동일한 형상의 인공결함을 가공한 것이다. 사실, 이처럼 “결함처럼 보이는 영역”은 표피고무의 음향학적 물성변화가 너무 커서 나타나는 현상이다.

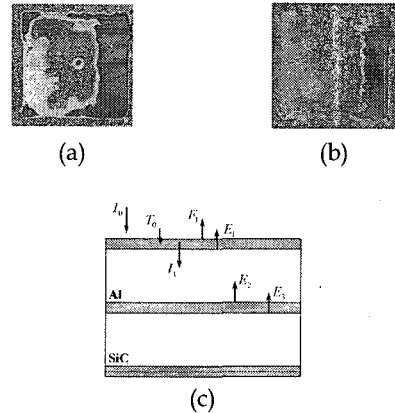


Fig. 4 C-scan images constructed from (a) E_2 echoes and (b) E_3 echoes acquired from a specimen having the outside rubber with an extreme variation in its acoustical property, and (c) definition of waves in the specimen.

다시 말해, 표피고무 우측영역은 좌측에 비해 입사된 초음파 음압을 보다 많이 투과시켜서, 이후에 나타나는 계면에서 반사되는 음압이 상대적으로 크게 나타나기 때문이다. 이처럼 오해의 소지가 있는 현상을 보정하기 위해, 이미지 개선 알고리즘을 여기 제안한다.

여기 제안한 이미지 개선 알고리즘의 기본 개념은 E_1 에코로 E_2 , E_3 에코를 각각 정규화한 후에 초음파적 후처리를 하는 것이다. 즉, 두 번째 계면에서 얻은 초음파 신호(E_2)를 첫 번째 계면에서 얻은 초음파 신호(E_1)로 정규화함으로써, 표피의 물성변화를 고려한 E_2 에코 게이트의 C-Scan 이미지를 얻을 수 있는 것이다. E_3 에코 게이트에 대해서도 동일한 과정을 반복함으로써 보정된 C-Scan 이미지를 얻을 수 있다.

E_2 , E_3 에코로부터 정규화된 반사에너지 C_2 , C_3 는 각각 Eq. 1과 같다.

$$C_2 = \frac{E_2^2}{I_0 T_0 - E_1^2} \quad (1)$$

$$C_3 = \frac{E_3^2}{I_0 T_0 - E_1^2}$$

여기에서, Fig. 4 (c)에 보인 바와 같이 I_0 는 표피 고무층에 입사한 초기 입사파의 음압세기, T_0 는 물과 고무경계에서의 투과계수이다.

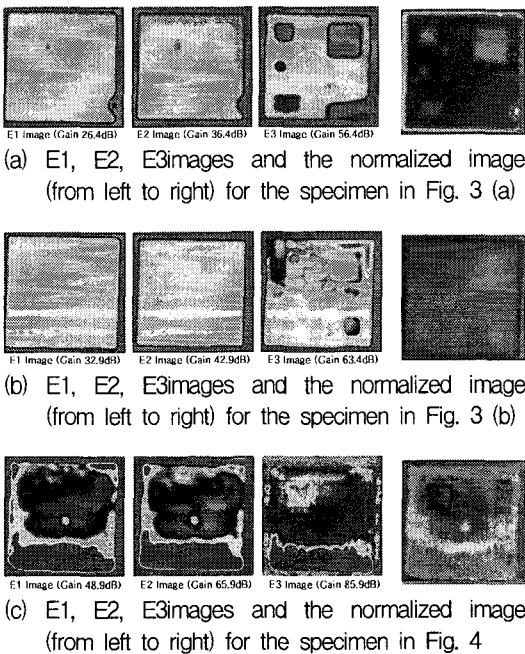


Fig. 5 Result of image enhancement by the normalization

Figure 5는 Fig. 3, 4에서 언급한 시험편을 포함한 3개의 인공결함 가공 복합재 시험편에서 수집한 초음파 C-Scan 신호를 Eq. 1에 따라 정규화하여 재처리한 C-Scan 이미지이다. 그림에서

보이듯이 제안된 이미지 보정 알고리즘이 표피 고무층의 음향학적 물성변화 때문에 생긴 간섭효과를 효과적으로 상쇄하고 있음을 알 수 있다. 이렇게 보정된 이미지를 이용하면, 실험을 통해 직접적으로 얻은 본래의 C-Scan 이미지에 비해 보다 손쉽게 결함판정을 할 수 있다.

4. 요약

다층 후판 복합재 패널의 비파괴검사에 있어 패널 상층부의 물성변화로 인한 간섭효과는 결함판정을 어렵게 만드는 중대한 문제 중 하나이다. 패널 상층부의 음향학적 물성을 균일하게 유지하는데 한계가 있는 복합재 검사환경에서 빈번히 피할 수 없는 문제점으로 대두된다. 이러한 문제를 해결하고자 본 연구에서는 보정신호를 이용해 본래의 신호를 정규화함으로써 초음파 C-Scan 이미지에 생기는 간섭효과를 제거할 수 있는 이미지 보정 알고리즘을 제안하였다. 실증시험을 통해 제안된 이미지 보정 알고리즘이 실용적인 이미지 개선 기법으로 많은 실용적 상황에서 높은 적용성을 가질 수 있음을 확인하였다.

참고문헌

1. 송성진, 김영환, 조 현, "차세대 보병 장갑의 비파괴 검사공정 기술개발 최종보고서," (주)한국화이바. 2001
2. Ultrasonic Testing of Materials: 4th Fully Revised Edition, Josef Krautkramer, Herbert Krautkramer, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg NewYork London Paris Tokyo Hongkong Barcelona, 1990