

연소관 조립체 접합계면의 평가를 위한 비파괴시험에 관한 연구

박준수* · 송성진* · 김영환* (성균관대) · 임수용** · 윤남균**(국방과학연구소) · 조정표*** (주)한국화이버

Nondestructive testing for the evaluation of adhesive layer in rocket motor case assembly

Joon Soo Park* · Sung-Jin Song* · Young h Kim* · Soo yong Lim** · Nam-Gyun Yun***
and Jung-Pyo Cho***

ABSTRACT

In the present work, ultrasonic testing method has been developed to evaluate adhesive layers in rocket motor case assembly for the reliability of the rocket. The main objective of the present work was to find debonding between steel and rubber layers. The relationship between adhesion ratio and reflected ultrasonic amplitude was calculated by considering reflection coefficient at the interface between steel and rubber layers. It was found that the higher amplitude of ultrasound is reflected for the debonding area, and shown good agreements with experimental results. The ultrasonic C-scan images offers good implements for the determination of debonding area. The nondestructive testing results were compared with the micrography of destructive testing. As results, ultrasonic testing could be utilized for the evaluation of adhesive layer in the rocket motor case assembly.

1. 서 론

휴대용 유도무기의 추진기관에 사용되는 연소관 조립체는 말레이징 강 연소관과 단열 고무, 적층된 내열재(복합재료)로 구성되어 있다. 이러한 이중재료의 접착 계면중에서 강 연소관과 단열 고무사이의 접착계면에 미접착이 존재할 경우에는 추진기관의 작동 중에 화염이 전파되어 연소관의 파손이나 추진기관의 폭발이 발생할 수도 있으므로 철저한 품질보증시험이 요구된다.

그러나 기존에 수행하여 왔던 방사선 투과 시험은 비용이나 검사시간과 같은 현실적인 제약

으로 인하여 미접착의 간격이 방사선 투과시험의 해상력 이하일 경우에는 결함을 검출할 수 없다. 이러한 문제점들을 해결하기 위하여 초음파를 이용한 연소관 조립체의 접착계면 검사 방법을 개발하게 되었다.

초음파탐상시험에 이용되고 있는 장치는 결합으로부터의 반사신호의 파형을 관측하고, 그 전파시간과 진폭정보로부터 결합평가를 하는, 다시 말해 A-scope법에 의한 수동탐상이 주류를 이루어왔다. 이 A-scope표시의 최대결점은 직관성에 의한 결여와 객관적 기록의 결여에 있다. 또 수동탐상의 문제점은 검사 기술자의 기량, 경험에 의한 개인차가 생기기 쉽고, 재현성의 결여등을 들 수 있다. 이러한 문제점을 극복

* 성균관대학교 기계공학부 (Sungkyunkwan University, Dept. of Mechanical Eng.)

** 국방과학연구소 (Agency for Defense Development.) *** Han Kuk Fiber Glass Co.

하기 위해서 초음파 탐상결과와 기록, 결함의 정량화, 가시화가 가능한 자동 초음파 탐상장치가 개발되고있다.

본 연구에서는 C-scan 이미지를 사용하여 제품내 불연속이 존재하는 부위를 그 깊이 및 형태에 따라 발생하는 초음파 진폭에 따른 색상으로 표현하였다. 연소관조립체의 계면 평가를 위한 비파괴탐상을 하였고, 파괴시험을 통하여 비파괴 탐상법의 신뢰성을 확인을 하였다.

2. 연소관조립체에 대한 초음파 모델링

연소관 조립체에 대한 초음파 탐상 시험에 대해 정확한 이해와 적절한 검사조건을 설정하기 위하여 3중 매질에서의 초음파탐상 모델링을 실시하였다.

본 연구에서 관심이 있는 연소관 조립체 초음파탐상을 물-강체-고무의 3중 매질로 가정할 수 있으며 이들에서의 반사 투과는 Fig. 1의 모식도와 같다. 음압이 P_i 이고 매우 짧은 시간 폭의 초음파가 입사되고, 고무층에서 초음파가 전부 흡수되어 steel로 돌아오는 초음파가 없다고 가정한다면, 각각 반사되는 반사파의 음압은 다음과 같이 주어진다.

$$\begin{aligned} P_0 &= R_{12}P_i \\ P_1 &= T_{12}T_{21}R_{23}P_i \\ &\vdots \end{aligned}$$

따라서 응답함수 $h(t)$ 는 다음과 같이 주어진다.

$$\begin{aligned} h(t) &= R_{12} \\ &+ \sum_{k=1}^{\infty} T_{12}T_{21}R_{21}^{k-1}R_{23}^k \delta(t-t_0-2kd/C_2) \end{aligned}$$

여기서, t_0 는 초음파 탐촉자와 시편사이의 거리와 탐촉자 내의 지연시간을 포함하는 초음파 시험 설정에 의해 정해지는 상수이며, d 는 steel의 두께이다.

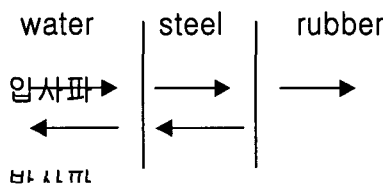


Fig.1 Reflection and transmission at the 3 layered media

초음파가 steel 내를 왕복하는 시간을 $t_d=2d/C_2$ 라 하면, $t_d=0.22\mu s$ 로서 이는 입력파의 펄스 폭에 비하여 매우 작은 값이기 때문에 각각 반사되는 파를 분리하기가 어려운데, 이는 이론적으로 예측되는 펄스-에코 신호에서도 같이 나타났으며, 따라서, 도착하는 하나 하나의 에코를 분석하기는 어렵다.

이러한 문제를 극복하기 위해서는, 스틸과 고무의 접촉도에 따라서 R_{23} 의 값이 달라지고 따라서 전체적으로 진폭이 달라지는 현상을 이용하면 가능할 것으로 판단된다. 이를 위하여 Z_3 의 값을 고무의 경우에 비하여 0%부터 100%까지 바꾸면서 수신되는 초음파 신호를 구하였고, 이와 같이 하여 얻어진 초음파 에코의 진폭을 구하여 Fig. 2에 나타내었다. 여기서 Z_3 의 값이 0%인 경우 완전 미접합을 나타내며, Z_3 가 100%인 경우는 완전접합상태를 나타낸다.

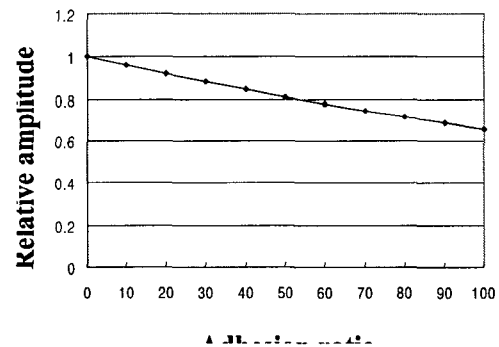


Fig.2 The relationship between adhesion ratio and reflected ultrasonic amplitude.

3. 실험

본 연구에서는 앞서의 이론적으로 고찰한 모델링 결과를 실제 실험과 비교한다. 또한 연소관 조립체에 대한 결과를 C-scan 기법을 이용하여 결과를 표시하였으며, 실제 실험 결과를 파괴 분석하여 비교하였다.

3.1 대비시험편에 대한 초음파시험

초음파시험의 계면 접합력의 판별을 하기 위해 Fig.3과 같이 대비시험편을 제작하였다. 대비

시험편은 연소관 조립체 제조 공정과 동일하게 하였으며, Fig. 3에서 A 부위는 steel만 있는곳, B, C, D는 각각 고무층의 두께가 25%, 50%, 70%인 부위이다. 이 대비시험편에 대하여 A-scan 및 C-scan을 실시하였고, 또한 방사선 투과 시험을 실시하였다.

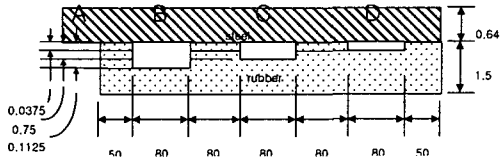
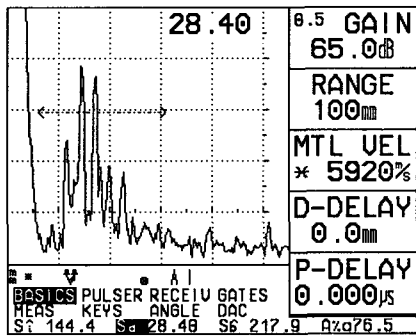
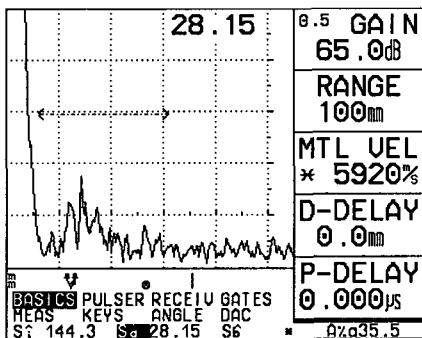


Fig. 3 Schematic diagram of reference specimen

4. 결과 및 논의



(a)

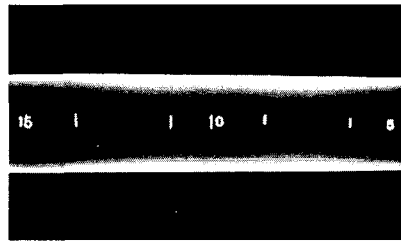


(b)

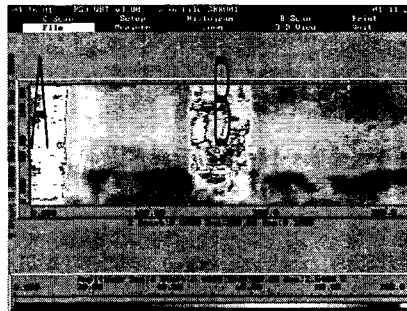
Fig. 4 A-scan results for (a) steel plate only and (b) steel and rubber layer with good bonding.

Fig. 4는 대비시험편에서 철만 있는 부분과 철과 고무층이 잘 접합된 부분에서 얻은 A-scan 신호이다. 보이는 바와 같이 고무가 부착된 경우가 부착되지 않은 경우에 비하여 진폭

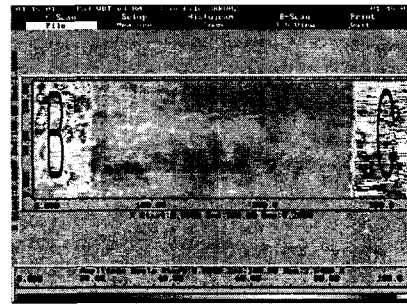
이 크게 줄어들었음을 알 수 있다. A-scan 신호에서 각각의 에코 신호가 분리되지 않지만 진폭의 변화로 접착계면의 상태를 평가할 수 있다. 초음파 시험에서 진폭을 이용하여 평가를 할 경우에는, 표면 조도 및 평편도와 같은 시험체 표면의 상태, 접촉 매질의 간격이나 입사각의 미세한 변화와 같은 접촉 상태 등 진폭에 미치는 영향이 매우 많아서 재현성이 떨어질 수 있다.



(a)



(b)



(c)

Fig.5 (a) Radiography, (b) and (c) C-scan images for the reference specimen.

이러한 경우에는 C-scan 영상에 의해 결함 여부를 판정할 수 있다. 이 대비 시험편을 대상으로 C-scan과 방사선 투과시험을 수행한 결과를 Fig. 5에 나타내었다. 고무가 정상에 비하여 25%, 50%가 있는 경우에는 C-scan 이미지에서 결함으로 판독 되지만 (B, C 부분), 75%인 경우

에는 정상부위와 구별하기가 어려웠다. 이는 고무가 75%인 경우에는 제조과정에서 가열 및 가압을 거치면서 스틸과 접합이 되었기 때문으로 판단된다. 동일한 부위에 대한 방사선 투과 시험을 하였을 경우에는 떨어진 부분을 찾지 못했는데, 이는 25%, 50%가 떨어졌다기 보다는 접촉 상태에 있다고 판단된다. 따라서, 초음파 시험으로 분리된 부분과 접촉부분을 포함한 미접합 부위를 훌륭하게 찾아낼 수 있다.

실제 연소관 조립체에 대하여 초음파 탐상 실험을 하여 얻은 C-scan의 대표적인 이미지를 Fig. 6에 나타내었다.

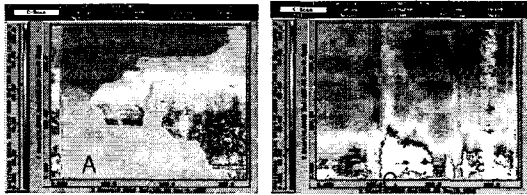


Fig. 6 Typical C-scan images for the rocket motor case assembly.

그 결과로 커다란 미접합 부위를 발견하였는데 C-scan의 결과에 대한 신뢰성을 확인하기 위하여 파괴시험을 하였다. 다이아몬드 커터를 사용하여 0.3mm/s의 속도로 연소관 조립체를 절단하고, 그 단면을 현미경으로 관찰하였다. 대표적인 단면사진을 Fig. 7에 나타내었다. Fig. 7 (a), (b), (c)는 각각 Fig. 6의 A, B, C 부위로서 A 부위가 초음파 진폭이 가장 작고, C 부위가 가장 크다. Fig. 7에서 보인 바와 같이 초음파 진폭이 작은 부위는 접합이 잘 되었으며 (C)와 같이 초음파의 진폭이 큰 부위는 접합이 전혀 되지 않았다. 따라서 초음파의 진폭은 steel과 rubber 계면의 접합상태를 잘 나타내주고 있음을 알 수 있었다.

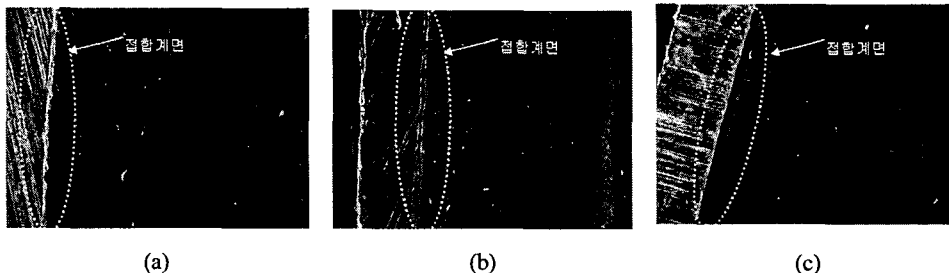


Fig. 7 Microphotographies of the crosssectional at the position (a) A, (b) B, (c) C in Fig. 6.

5. 결론

본 연구에서는 연소관 조립체에 대한 계면의 건전성을 평가하기 위한 비파괴시험을 하였다.

첫째 연소관 조립체에 대한 초음파 탐상 시험에 대한 정확한 이해와 적절한 검사조건 설정을 위해서 3중 매질에서의 초음파 탐상을 모델링하였다. 이론적인 모델링은 실제 연소관 조립체의 초음파탐상 결과와 매우 잘 일치하였다.

둘째 연소관 조립체에 고무가 정상에 비하여 25%, 50% 그리고 75%가 있는 경우에 대하여 비파괴시험을 하였다. 방사선 투과 시험에서는 떨어진 부분을 찾지 못하였다. 초음파 C-scan 이미지에서 25%, 50%인 경우에 결함으로 판독되지만 75%인 경우에는 정상부위와 구별하기가 어려웠다. 이 경우에는 제조과정에서 가열 및 가압을 거치면서 스틸과 접합이 되었기 때문으로 판단된다.

셋째 실제 연소관 조립체에 대한 초음파 탐상을 통해 얻은 C-scan 이미지와 파단 시험 결과가 잘 일치하였다.

참고 문헌

- 1) J. Krautkramer and H. Krautkramer, Ultrasonic Testing of Materials, 4th Edition, New York: Springer-Verlag, 1990
- 2) Schmerr, Fundamentals of Ultrasonic Nondestructive Evaluation, Plenum Press, New York, 1998
- 3) 이상호, "항공용 복합재료에 대한 음향방출의 활용," 한국비파괴검사학회지, Vol. 21, No 3, pp. 313-318, 2001