

비파괴 검사를 위한 초음파 홀로그래피

황 선 애, 장 성 환, 전 계 석
경희대학교 전자공학과

Ultrasonic Holography for Nondestructive testing

Seon-ae Hwang, Seong-hwan Jang, Kye-suk Jun
Kyung Hee Univ. Electronics

ABSTRACT

In this paper, scanned ultrasonic holography for nondestructive testing is analyzed theoretically and experimented. For constructing the hologram receiver was scanned and image reconstruction is achieved by computer through the data. An alluminum sample which includes the flaw and is 4 Cm X 4Cm X 4Cm in size was chosen.

1. 서 론

홀로그래피는 두 파동의 간섭에 의해 선복과 위상을 기록하고 기록된 정보로 부터 참조 파동에 의해 다시 파동을 재생시키는 기술이다.

음향파는 고체 내부를 투과 할 수 있으므로 음향 홀로그래피는 1960년대 Thurstone 에 의해 처음 발표된 이래 비파괴 검사나 의료 진단, 지질 및 수중 탐사등에 응용되어 왔다.

본 논문에서는 음향 홀로그래피를 비파괴 검사에 응용하기 위하여 원통형의 flaw 를 포함한 4 Cm X 4Cm X 2 Cm 크기의 알루미늄을 실험의 샘플로 택하였고, 중심 주파수 5 MHz인 초음파 변환자를 Receiver 로서 스캔한 후 얻은 데이터를 이용하여 컴퓨터로 영상을 재생하였다.

2. 홀로그래피의 제작 과정

음향 변환자에서 나온 음파를 물체에 조명하면 음파는 물체에서 산란된다. 물체에서 산란되어 온 파와 기준파는 중첩되는 부분에서 간섭을 일으킨다. 이 때 두 신호를 각각

$$V_1(x,y) = a_1(x,y) \cos [\omega t + \phi_1(x,y)] \quad \text{---(1)}$$

$$V_2(x,y) = a_2(x,y) \cos [\omega t + \phi_2(x,y)] \quad \text{---(2)}$$

$$V(x,y) = V_1(x,y) + V_2(x,y) \quad \text{---(3)}$$

이 된다. 그림 1. 은 기본적인 음향 홀로그래피 기록 과정의 구성도이다. 두 음파의 간섭이 일어나는 평면을 변환자가 v 의 속도로 스캔하면서 square-law detector 로서 수신한다. 지역 통과 필터를 가진 최종 출력은

$$y(t) = \frac{1}{2} \{ a_1^2(vt,y) + a_2^2(vt,y) + 2 a_1(vt,y) \cdot a_2(vt,y) \cos [\phi_1(vt,y) - \phi_2(vt,y)] \} \quad \text{---(4)}$$

이 되어 위상을 기록함을 알 수 있다.

기존 음파대신 변환자에 인가했던 전기 신호를 참조파로 이용하여 수신된 신호와 곱할 경우 도 식 (5)와 같이 물체에서 전해져온 음파의 위상은 보존된다.

$$y(t) = \frac{1}{2} a_1 a_2(x,y) \cos [\phi_1(x,y) - \phi_2] \quad \text{---(5)}$$

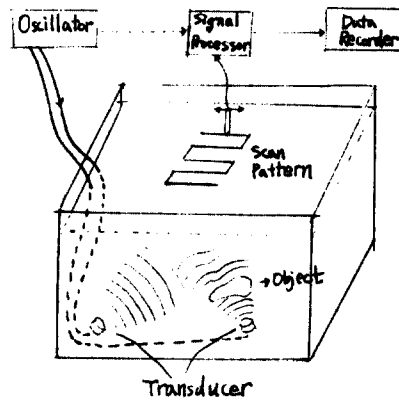


그림1. 초음파 홀로그래피 기록 장치

3. 영상의 재생

단일 파장의 Source를 갖는 임의의 x - y 좌표계 system에서, 홀로그래프 aperture 내의 복소 필드 분포를 $f(x,y,z)$ 라 할 때, $f(x,y,z)$ 의 푸리에 변환상은 각각

$$F(x,y,z) = \iint f(x,y,z) \exp[-2\pi j(ux + vy)] dx dy \quad \text{-----}(6)$$

$$f(x,y,z) = \iint F(u,v,z) \exp[2\pi j(ux + vy)] dx dy \quad \text{-----}(7)$$

와 같이 표현할 수 있다.

이때 f 는 모든 source-free 공간에서 Helmholtz 의 방정식

$$(\nabla^2 + k^2) f(x,y,z) = 0 \quad \text{-----}(8)$$

을 만족해야 한다.

(8)식에 (6)을 대입하면

$$\iint \left\{ \frac{\partial^2}{\partial z^2} + [k^2 - (2\pi u)^2 - (2\pi v)^2] \right\} F(u,v,z) \exp(2\pi j(ux + vy)) du dv = 0 \quad \text{-----}(9)$$

의 관계가 성립하며, (9)식의 해는

$$F(u,v,z) = F^+(u,v) \exp \left[jkz \sqrt{1 - \left(\frac{2\pi u}{k}\right)^2 - \left(\frac{2\pi v}{k}\right)^2} \right] \quad \text{-----}(10)$$

이 된다. 그러므로 $F(u,v)$ 와 $F(u,v,z)$ 와의 관계로부터, x-y 평면에서 z 만큼 떨어진 거리만큼 전파된 필드의 분포를 알 수 있다. 즉

$$f(x,y,z) = \iint F(u,v) \exp \left[jkz \sqrt{1 - \left(\frac{2\pi u}{k}\right)^2 - \left(\frac{2\pi v}{k}\right)^2} \right] \exp[j2\pi(ux + vy)] dudv \quad \text{-----}(11)$$

으로 나타낼 수 있다.

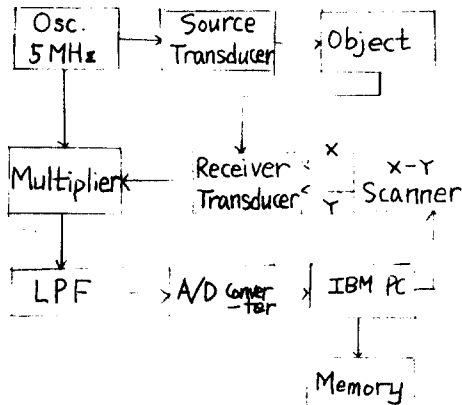


그림2. 전체 시스템의 블록 선도

4. 실험 및 고찰

본 실험에서는 중심 주파수 5 MHz 인 두 개의 입전 변환자를 각각 source 와 receiver 로 하였고, source 로 물체를 조명하고 receiver 로 물체의 표면을 스캔하면서 물체에서 전해져 오는 신호를 수신하였다. IBM PC 로 제어되는 스캐너 Unidex III-a 에 receiver 를 부착하여 스캔 면적 3 X 3 Cm, 샘플링 갯수 128 X 128 step 으로 스캔하였다. 물체에서 산란되어 온 신호와 기준 신호인 전기 신호는 multiplier 와 LPF 를 거쳐 IBM PC 의 distribution channel 에 의해 A/D 변환된 후 PC에 입력된다. 그림 2 는 시스템 블록도이고 그림 3 은 실험 장치의 모습이다. 입력된 2 차원 위상정보가 홀로그래프이 되며, 이 데이터로부터 영상재생 알고리즘에 의하여 모니터에 디스플레이하였다.

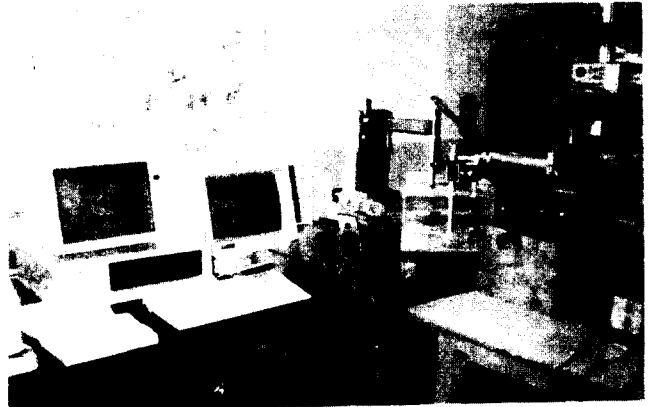
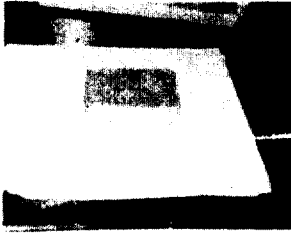


그림3. 실험 장치

영상재생의 알고리즘은 다음과 같다.

- (1) 스캔 평면 ($z = 0$) 에서 field $f(x,y,z)$ 를 측정한다.
 - (2) $f(x,y,0)$ 의 spectrum 값 $F(u,v,0)$ 를 얻기위해 푸리에 변환을 한다.
 - (3) 얻어진 spectrum 값에 backward propagation 항 $\exp[-jkz \sqrt{1 - f - f}]$ 을 곱하여 z 만큼의 거리차가 있는 평면에서의 spectrum 분포 $F(u,v,z)$ 를 얻는다.
 - (4) $F(u,v,z)$ 의 역 푸리에 변환을 하여 원하는 재생파면 $f(x,y,z)$ 를 얻는다.
 - (5) 재생 파면의 크기 $|f(x,y,z)|$ 를 plot 한다.
- 그림 4는 재생된 영상을 모니터에 나타낸 것이다.



- 5] Ezio Camatini, " Optical & Acoustical Holography " Prenum press 1972
- 6] Joseph W. Goodman , " Introduction to Fourier Optics " McGraw Hill
- 7] B.P.Hilderbrand , B.B.Brenden , " An Introduction to Acoustical Holography " , Prenum Press 1972

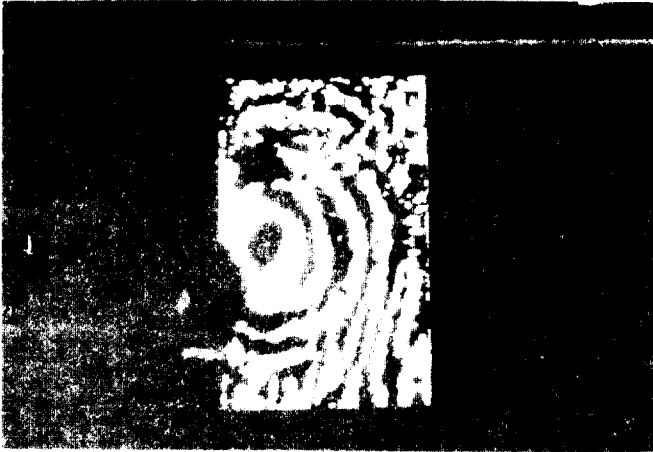


그림 4. 사용된 샘플과 홀로그램

5. 결 론

초음파 변환자의 스캔 방법을 이용하여 음향 홀로그램을 구성하였으며 backward propagation factor 에 의한 컴퓨터 계산에 의해서 영상을 재구성하여 비파괴 검사가 응용하였다. 기계적인 스캔 방법을 이용한 data acquisition 방법은 샘플의 대상, 크기, rate 등의 범위가 넓고, 데이터의 디지털 처리등을 할수 있는 장점이 있으나 모터진동에 의한 Noise 발생과 방대한 데이터량으로 인해 처리시간이 긴단점이 있다. 앞으로 다중 홀로그램에 의한 3 차원 영상의 재현과 Noise 제거에 대한 연구가 계속되어져야 하겠다.

참 고 문 헌

- 1] Glen Wade , " Acoustic Imaging " , Plenum Press, Newyork
- 2] A.F.Methrell, H,El-Sum , " Acoustical Holography " Vol 1. Plenum Press, NewYork , 1969
- 3] Gordon S. Kino " Acoustic Wave " Prentice Hall
- 4] Lawrence E. Kinsler , " Fundamentals of Acoustics " John Willy & Sons