

표면 SH파의 음압 통과율과 에코 안정성에 관한 실험적 검증

이명호*

(논문접수일 2003. 1. 2, 심사완료일 2003. 2. 24)

Experimental Verification on the Stability and Sound Pressure Transmission Coefficient of Surface SH-Wave

Myung-Ho Lee*

Abstract

It is very important to detect and evaluate the surface or subsurface flaws because of their influences on mechanical properties of materials. Rayleigh wave and creeping wave are commonly used for the detection of surface and subsurface flaws. These techniques, however, have following problems. Each amplitudes are remarkably affected by the surface condition and evaluation of echo pattern is usually difficult because shear wave mode propagate in the material at the same time. On the other hand, surface SH-wave which is horizontally polarized shear wave traveling along near surface layer is an attractive technique for the surface or subsurface material characterization and this technique is useful to solve the problems mentioned above. In this paper, The stability and transmission coefficient of SH waves through a viscous fluid layer is theoretically studied and simulated. Its results agreed well with the theoretical expectation for the experimental verification. These experimental results show that viscosity of couplants, thickness of couplant and surface roughness are closely related to transfer efficiency in surface SH angle beam method.

Key Words : Surface SH wave(표면 SH파), Couplant(접촉매질), Transmission coefficient(통과율), Viscous fluid layer(점성유체층), Stability(안정성)

1. 서 론

결함을 존재하는 위치에 따라 분류하면, 표면결함(표면직

하 결함 포함)과 내부결함으로 분류할 수 있고, 이 중 표면 결함이 기계적 성질에 미치는 영향이 상당히 큰 것으로 알려져 있다. 따라서 초음파를 이용한 표면 또는 표면직하의

* 주저자, 서울산업대학교 기계설계·자동화공학부 (myungho@snut.ac.kr)
주소: 139-743 서울시 노원구 공릉동 172번지

결합검출 기술에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 특히, 표면 SH파(horizontally polarized shear wave)를 이용한 기술의 연구가 급속도로 진전되고 있다⁽¹⁻³⁾. 표면파(surface or Rayleigh wave)는 시험체 표면으로부터 1파장 정도의 깊이까지의 범위를 전파하기 때문에 주파수가 높은 경우는 음압이 표면근방에 집중하고 표면에 개구한 결함의 검출에 매우 유효하다. 주파수가 낮은 경우는 표면 아래 수 mm 정도까지 초음파가 전파하고 표면직하의 결합검출이 가능한 것으로 보고되고 있다. 그러나 기본적으로 표면파는 탐상면 상의 장애물이나 요철에 의한 감쇠가 크고 방해에코가 나타날 수 있기 때문에 표면상태의 영향을 받기 쉽다. 크리핑파(creeping wave)는 재료의 자유표면 방향으로 전파하는 종파를 사용하는 탐상법으로 송·수신은 비교적 용이하지만 SV파(vertically shear wave)에 의한 반사파도 동시에 전파하기 때문에 탐상도형이 복잡해져 결합에코의 해석이 어렵다. 결합에서는 에너지의 일부가 연속적으로 SV파로 모드변환하여 전파하기 때문에 감쇠가 현저해진다. 유도 초음파(Lamb wave)는 입자의 진동모드가 복잡하고 시험체의 두께와 주파수 등에 크게 영향을 받으며 박판의 경우에만 적용할 수 있는 한계가 있다.

반면, 표면 SH파는 음파의 진동방향이 탐상면과 평행하기 때문에 표면 상황의 영향을 적게 받고, 다른 모드파가 동시에 존재하지 않기 때문에 표면 및 표면근방의 결합검출 및 재료 특성 평가에 유효한 것으로 보고되고 있다⁽⁴⁻⁵⁾. 표면SH파는 횡파를 직접 시험체중에 입사시키기 때문에 경계면의 영향을 거의 받지 않고 진행한다. 또, 균열로부터 반사의 경우는 모드변환이 일어나지 않기 때문에 탐상파형의 해석이 용이하다.

그리고, SH파는 박판에서 단조로운 분산양식을 가지고 있고, 분산선도상의 주파수 두께축의 전 구간에 같은 속도를 가지는 모드가 존재하여 박판의 탐상에도 SV파와 같이 까다로운 분산양식에 따른 제약을 받지 않는다⁽²⁾. 그러나 SH파가 시험체 내부로 입사하기 위해서는 어느 정도의 전단응력을 발생시킬 수 있는 적절한 점도와 음향임피던스를 갖는 접촉매질을 필요로 한다. 따라서 접촉매질의 선정이 매우 중요한 과제로 부각되었다. 기존에는 특별히 점도가 높은 SH파 전용 접촉매질을 사용하여 주사성이나 작업성이 좋지 않아 충분한 활용이 어려웠으나, 최근에는 작업성이 뛰어난 접촉매질이 개발되어 현장에서의 적용도 가능하다고 보고되고 있으나 충분한 기술적 검토가 미흡하여 실용적인 레벨에서는 해결과제가 많이 남아있다.

이를 극복하기 위해 SH파의 발생을 위한 EMAT

(electromagnetic-acoustic transducer)의 적용⁽⁴⁻⁵⁾이 시도되고 있지만 아직 이 기법 또한 많은 한계를 가지고 있다.

따라서, 본 연구에서는 표면 SH파를 이용한 재료특성 평가시의 점성 유체층에서의 SH 통과율과 안정성을 이론적으로 검토하고 시뮬레이션을 통하여, 이에 근거한 최적시험 조건의 선정을 위한 접촉매질의 점도, 접촉매질 층의 두께, 표면저칠기와 전달효율과의 관계 등을 실험적으로 검증하고자 한다.

2. 관련이론

2.1 표면 SH파 탐상의 특징

일반적으로 초음파탐상은 SV(vertically shear wave)파에 의한 사각탐상시험이 널리 이용되고 있다. 사각탐촉자는 진동자에 종파를 발생하고 재료에 초음파가 입사하는 경우에 횡파로 변환된다. 이 진동방향의 횡파는 SV파라 불린다. 사각탐상에 사용되는 SV파의 탐상가능 범위는 주파수 5MHz의 경우 굴절각 35°~80°정도이다. SH파는 Fig. 1와 같이 탐상면과 평행방향에 진동하는 횡파이며, SH파는 탐

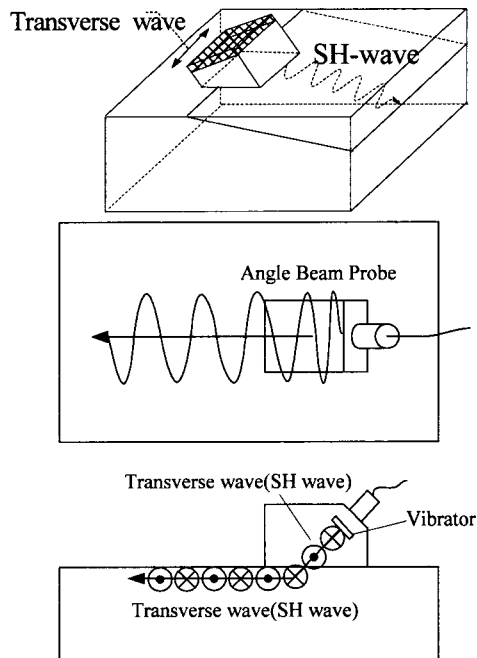


Fig. 1 Incidence of SH-wave and surface SH inspection method

축자의 폭 방향으로 진동하는 횡파진동자를 이용하여 진동 자로부터 발생한 횡파를 높은 점성유체층을 갖는 접촉매질을 통하여 시험체에 전달시킨다. 또 굴절각을 90°에 가깝게 되도록 하면 SH파는 탐상면에 따라서 효율 좋게 전달시킬 수 있다.

2.2 표면 SH의 음압 통과율

Fig. 2와 같이 유체층을 갖는 2개의 고체가 접촉하고 있을 때 그 층에 변위의 방향이 유체층에 평행한 횡파(SH파)가 입사하는 경우를 고려하면 유체에는 전단력이 거의 존재하지 않기 때문에 액체층이 어느 정도 이상 두꺼워지면 횡파의 통과율은 거의 0이 된다. 반면 액체층이 충분히 얇아지면 SH파는 통과하기 시작하고 SH파의 통과율과 액체층의 두께와의 정량적 관계의 정립이 필요하다.

SH파가 통과하는 이유로는 점성에 의해 유체의 내부에도 전단력이 존재한다는 것, 고분자 액체에서는 횡파의 주파수가 높을 때는 탄성 응력도 존재한다는 것, 표면의 요철로부터 유체층을 유체층이 얇아지고 양측의 고체가 접촉할 가능성이 있다는 것 등으로 생각하는 것이 가능하다. 그러나, 고체의 접촉으로부터 주파수가 수 MHz의 초음파를 전달시키기 위해서는 수직탐상에서 접촉매질을 사용하지 않는 경우로의 유추하여, 상당히 강한 힘으로 양측의 고체를 압착할 필요가 있다고 생각된다.

이 때문에 Fig. 2와 같이 유체층과 양측 고체와의 경계면이 서로 평행한 평면이 되는 경우를 고려하면 최초로 액체가 전단력이 작용하는 가장 단순한 경우의 뉴턴 유체에 대한 SH파의 통과율을 계산한다. 뉴턴 유체에서는 점성에 의한 전단력만이 발생한다. 이 전단력은 유체의 속도의 구배에 비례하고 그 비례계수를 점성계수라 부른다. 다음에 이 결과를 액체의 강성율이 0이 아닌 경우를 고려하고 액체층

의 상하의 경계면에서는 변위와 응력의 연속성을 가정한다.

2.2.1 접촉매질 층 내에서의 SH파

뉴턴 유체에서는 점성유체에 대한 Navier-Stokes의 식이 성립하기 때문에 xz면내를 진행하는 SH파는 변위의 방향이 y축 방향(Fig. 3의 지면에 수직한 방향)에 한정될 때에는 그 때의 변위속도를 $(\partial u/\partial t) \equiv \dot{u}$ 라 하면

$$\rho \frac{\partial \dot{u}}{\partial t} + \rho \dot{u} \frac{\partial \dot{u}}{\partial y} = -\frac{\partial p}{\partial y} + \eta \left(\frac{\partial^2 \dot{u}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \dot{u}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \dot{u}}{\partial z^2} \right) \quad (1)$$

이 성립한다. 여기서 t; 시간, ρ; 밀도, p; 압력, η; 점성계수이다. 변위가 y축 방향에 일정한 경우에는 $\partial \dot{u}/\partial y = \partial p/\partial y = \partial^2 \dot{u}/\partial y^2 = 0$ 이 되기 때문에

$$\rho \frac{\partial \dot{u}}{\partial t} = \eta \left(\frac{\partial^2 \dot{u}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \dot{u}}{\partial z^2} \right) \quad (2)$$

이 성립한다. 식 (2)는 \dot{u} 를 $\partial u/\partial t$ 으로 바꿔쓰면

$$\rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = \eta \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \quad (3)$$

가 된다. 매질 1의 내부에서의 입사파의 변위는

$$u = \exp[ik_1(x \sin \theta_1 + z \cos \theta_1) - i\omega t] \quad (4)$$

(ω; 각주파수, k₁; 파수, θ₁; 입사각)

로 고려하면 매질 2의 내부의 변위는

$$u = f_0 \exp[ik_1 x \sin \theta_1 + az - i\omega t] \quad (5)$$

로 표현할 수 있고, 식 (3)에 대입하면

$$a^2 = -\frac{i\rho\omega}{\eta} + k_1^2 \sin^2 \theta_1 \quad (6)$$

가 된다. 식 (6)의 우변의 두개 항은 각각 점성과 탄성에 관계가 있는 양을 포함하고 있다. 이 두 항의 크기를 비교하기 위해서는 k₁²와 ρω/η의 비를 계산하면

$$\frac{k_1^2}{\rho\omega} = \frac{\eta k_1^2}{\rho\omega} = \frac{\eta \left(\frac{\omega}{c_1}\right)^2}{\rho\omega} = \frac{\eta\omega}{\rho c_1^2} \quad (\omega = c_1 k) \quad (7)$$

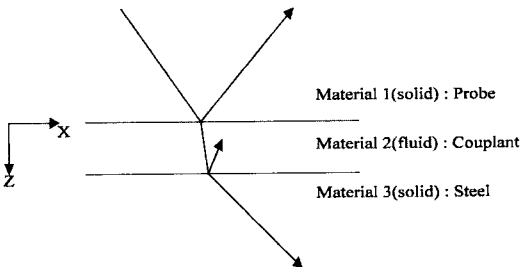


Fig. 2 Reflection and refraction at a solid/solid interface at an oblique angle

가 된다. c_1 은 매질 1의 횡파의 음속을 나타내고 있기 때문에 그 강성율을 μ_1 , 밀도를 ρ_1 로 하면 $c_1 = \sqrt{\mu_1/\rho_1}$ 의 관계가 있다. 따라서 식 (7)은

$$\frac{\eta\omega}{\rho \frac{\mu_1}{\rho_1}} = \frac{\rho_1\eta\omega}{\rho\mu_1} \quad (8)$$

가 된다.

탄성체와 점성 유체 사이에는 전단력은 각각 탄성체: $\mu \times$ 변위의 구배, 점성유체: $\eta \times$ 변위속도의 구배로 나타낼 수가 있고, 식 (5)와 같은 단일주파수의 파동에서는 변위속도 $= (-i\omega) \times$ 변위가 성립되기 때문에, 점성 유체에서는 전단력은 $-i\omega\eta \times$ 변위의 구배가 된다. 그 결과 식 (8)은 변위의 구배가 같을 때의 점성유체와 탄성체 내부의 전단응력의 비 $\eta\omega/\mu_1$ 과 밀도의 비 ρ/ρ_1 의 역수와의 곱과 같아진다. $\eta\omega/\mu_1$ 는 보통 매우 작은 수로 생각되기 때문에 ρ/ρ_1 은 1에 가까운 수가 되고 식 (8)도 상당히 작게 된다. 따라서 식 (6)은 $a^2 = -\frac{i\rho\omega}{\eta}$ $a = \pm \frac{i-1}{\sqrt{2}} \sqrt{\frac{\rho\omega}{\eta}}$ 가 된다.

a 에는 $\frac{i-1}{\sqrt{2}} \sqrt{\rho\omega/\eta}$ 와 $\frac{-i+1}{\sqrt{2}} \sqrt{\rho\omega/\eta}$ 의 두 개의 해가 나오게 된다. 이 것은 식 (5)가

$$u = A \exp[(i-1)\sqrt{\frac{\rho\omega}{2\eta}}z + ik_1x\sin\theta_1 - i\omega t] + B \exp[(-i+1)\sqrt{\frac{\rho\omega}{2\eta}}z + ik_1x\sin\theta_1 - i\omega t] \quad (9)$$

와 같이 각각의 a 에 대응하는 항의 합으로 해석할 수가 있다.

지수부 z 계수의 허수부 $i\sqrt{\rho\omega/2\eta}$ 의 부호로부터 제1항은 아래방향으로 진행하는 파를 나타내고, 제2항은 위 방향으로 진행하는 파를 나타내는 것을 알 수 있다. 대응하는 실수부의 부호는 각각의 파가 전파함에 따라 감소해 감을 나타내고 있다. 이점으로부터 제2항은 매질 3과의 경계면에서 반사한 파를 나타내고 있다.

2.2.2 뉴튼 유체인 경우의 통과율

식 (7)에 대해서 조사한 바와 같이 k_1 이 $\sqrt{\rho\omega/\eta}$ 과 비교해서 상당히 작다고 하면 매질 1의 내부에서의 횡파의 파장이 λ_1 일 때에 $\frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{\frac{\rho\omega}{\eta}} z \gg k_1 z = \frac{2\pi z}{\lambda_1}$ 가 되기 때문에, z 가 λ_1 에 비해서 상당히 작을 때 $1/\sqrt{2} \sqrt{\rho\omega/\eta} z$ 은

1 보다도 커진다. 이 점은 제1항의 감쇠를 나타내는 $\exp(-\frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{\frac{\rho\omega}{\eta}} z)$ 이 z 가 상당히 작을 때에 이미 0에 가까워지는 것을 나타내고 있다. 제2항도 전파함에 따라서 감소한다. 그 때문에 매질 2의 내부의 파동이 매질 3과의 경계면에서 반사하고 매질 1과의 경계면에 되돌아 올 때에는 최초의 입사파에 비해 상당히 감쇠하게 된다. 매질1과 2의 경계면에서는 제1항에 비해 제2항은 무시하는 것으로 한다. 그 결과 이 경계면에서의 매질 2의 변위 속도와 전단 응력은

$$\begin{aligned} \dot{u} &= -i\omega A \exp[(i-1)\sqrt{\frac{\rho\omega}{2\eta}}z + ik_1x\sin\theta_1 - i\omega t] \\ \tau_{xy} &= \eta \frac{\partial \dot{u}}{\partial z} \\ &= -i\omega \eta (i-1) \sqrt{\frac{\rho\omega}{2\eta}} \\ &\quad \cdot A \exp[(i-1)\sqrt{\frac{\rho\omega}{2\eta}}z + ik_1x\sin\theta_1 - i\omega t] \end{aligned}$$

이 되고, 이들 양의 비로부터 음향임피던스를 계산하면

$$Z_{21} = -\frac{\tau_{xy}}{\dot{u}} = (1-i) \sqrt{\frac{\rho\eta\omega}{2}} \quad (10)$$

가 된다. 매질 1의 입사파는 식(4)로부터

$$\dot{u} = -i\omega u, \quad \tau_{xy} = \mu_1 \frac{\partial \dot{u}}{\partial z} = i\mu_1 k_1 \cos\theta_1 u$$

가 되기 때문에

$$Z_1 = -\frac{\tau_{xy}}{\dot{u}} = \frac{\mu_1 k_1}{\omega} \cos\theta_1$$

가 되고, $c_1 = \sqrt{\mu_1/\rho_1}$ 과 $\omega = c_1 k_1$ 을 대입하면

$$Z_1 = \rho_1 c_1 \cos\theta_1 = \sqrt{\rho_1 \mu_1} \cos\theta_1 \quad (11)$$

가 된다. 식 (6)의 경우와 같이 식 (10)과 식 (11)을 비교하면, Z_1 에 비해서 Z_{21} 은 상당히 작다고 생각할 수가 있다. 그 때문에 매질1과 2의 경계면에서의 입사파의 반사율은 거의 1이 되고 이 경계면에서의 변위

$$2 \exp[ik_1(-d) \cos\theta_1] \text{ 와}$$

$$A \exp[(i-1)\sqrt{\frac{\rho\omega}{\mu}}(-d)]$$

의 연속성으로부터

$$A = 2 \exp[(i-1)\sqrt{\frac{\rho\omega}{2\eta}}d - ik_1 d \cos\theta_1]$$

가 된다. $k_1 d \cos\theta_1$ 를 무시할 정도로 작다고 하면

$$A = 2 \exp[(i-1)\sqrt{\frac{\rho\omega}{2\eta}} d] \quad (12)$$

가 성립된다.

매질2와 3의 경계면에서는 매질 2에 대해

$$\begin{aligned} \dot{u} &= -i\omega(A+B) \exp[ik_1 x \sin \theta_1 - i\omega t] \\ \tau_{zy} &= \eta \frac{\partial \dot{u}}{\partial z} = -i\omega \eta (i-1) \sqrt{\frac{\rho\omega}{2\eta}} \\ &\quad \cdot (A-B) \exp[ik_1 x \sin \theta_1 - i\omega t] \\ Z_{23} &= -\frac{\tau_{zy}}{\dot{u}} = (1-i) \sqrt{\frac{\rho\eta\omega}{2}} \frac{A-B}{A+B} \\ &= Z_{21} \frac{A-B}{A+B} \end{aligned} \quad (13)$$

가 되고, 매질 3에 대해서는 매질 1의 식 (11)과 같이

$$\begin{aligned} Z_3 &= \rho_3 c_3 \cos \theta_3 = \sqrt{\rho_3 \mu_3} \cos \theta_3 \\ \theta_3 &= \arcsin\left(\frac{c_3}{c_1} \sin \theta_1\right) \\ (\rho_3, c_3, \theta_3 : \text{매질 3에 대한 밀도, 음속, 입사각}) \end{aligned} \quad (14)$$

가 성립한다. 식 (13)과 식 (14)를 $Z_{23} = Z_3$ 에 대입해서 B를 A로서 표시하면

$$B = \frac{Z_{21} - Z_3}{Z_{21} + Z_3} A$$

가 된다. 이 결과를 식 (9)에 대입하면 $z=0$ 일 때

$$\begin{aligned} u &= (A+B) \exp[ik_1 x \sin \theta_1 - i\omega t] \\ &= \frac{2Z_{21}}{Z_{21} + Z_3} A \exp[ik_1 x \sin \theta_1 - i\omega t] \end{aligned}$$

가 된다. 식 (10)과 식 (11)의 경우와 같이 Z_3 에 비해서 Z_{21} 은 상당히 작다고 가정하고, 분모의 Z_{21} 을 무시하면

$$u = \frac{2Z_{21}}{Z_3} A \exp[ik_1 x \sin \theta_1 - i\omega t]$$

가 되고, 통과율은

$$W = \frac{2Z_{21}}{Z_3} A$$

가 된다. 마지막으로 식 (12), 식 (14)과 식 (10)으로부터

$$W = \frac{(1-i)\sqrt{8\rho\omega\eta}}{\rho_3 c_3 \cos \theta_3} \exp[(i-1)\sqrt{\frac{\rho\omega}{2\eta}} d] \quad (15)$$

가 성립된다. 절대값을 데시벨(dB)로 나타내면

$$\begin{aligned} 20 \log_{10} |W| &= 20 \log_{10} \left(\frac{4}{\rho_3 c_3 \cos \theta_3} \right) \\ &\quad + 10 \log_{10} (\rho\omega\eta) - 8.69 \sqrt{\frac{\rho\omega}{2\eta}} d \end{aligned} \quad (16)$$

가 된다.

2.3 점탄성 유체 경우의 통과율

점탄성 유체에서는 식 (1)의 p에 전단력이 포함된 것으로 한다. 그 결과 식 (3)의 우변에

$$\mu = \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \quad (\mu : \text{장성율})$$

을 부가하는 것을 고려한다. 그 결과 η 는 $\eta + i\mu/\omega$ 로 치환한다. 실제로 SH 파를 이용해서 초음파탐상법을 할 때에는 수온과 같은 점성이 극단적으로 높은 매질이 사용된다. 식(8)의 $\eta\omega/\mu_1$ 를 μ_1 이 $2.52 \times 10^9 Pa$ (유기 글라스), ω 는 $2\pi \times 5MHz$, η 가 $10Pa \cdot s$ 와 $100Pa \cdot s$ 의 경우를 가정하면, 0.125과 1.25가 된다. 그 때문에 η 가 $100 Pa \cdot s$ 일 때는 식 (7)은 1을 초과한다.

3. 실험장치 및 방법

3.1 실험장치

본 연구에서 사용한 실험장치의 구성도는 Fig. 3과 같다. 시험편은 두께 25mm, 폭 50mm, 길이 200mm이며, 표면조도는 $4.2\mu m R_{max}$ 이다. 표면조도와 전달효율의 관계를 측정하기 위해 제작한 시험편은 표면조도가 서로 다른 8종류 ($4.2, 37, 57, 98, 128, 157, 191, 211 \mu m R_{max}$)로 하였다. 반사원은 $\phi 4 \times 4mm$ 의 수직구멍을 가공하였다. 실험에 사

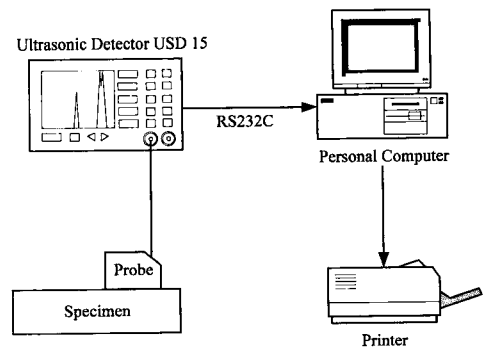


Fig. 3 Schematic diagram of experimental apparatus

Table 1 The couplants used for experiments

Manufacturer of couplants	Type	Viscosity at 20°(Pa.s)
Nichigou Acetylene Co., Ltd	SHN- 0	14
	SHN-10	36
	SHN-20	175
	SHN-30	290
	SHN-40	1,400
KrautKramer Co. Ltd	ZG-F	-
	Machine Oil	-

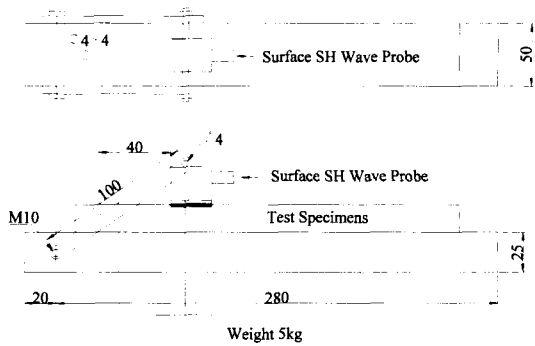


Fig. 4 Tool to test weight on surface SH wave probes

용한 초음파 탐촉자는 5C10×10A90-SH, 5C10×10A60-SH, 2Z10×10A90-SH이며 SV파와의 비교를 위해 MWB60-2, MWB60-4를 사용하였다.

본 실험에 사용한 접촉매질은 Table 1과 같이 Nichigou

Acetylene Co., Ltd제의 소니코트 SHN 0, 10, 20, 30, 40의 황파 전용 접촉매질을 사용하였다. 기본적인 장비의 교정에는 STB-A1, STB-A2 표준시험편을 사용하였으며, Fig. 4는 실험에 사용한 치구를 나타내고 있다.

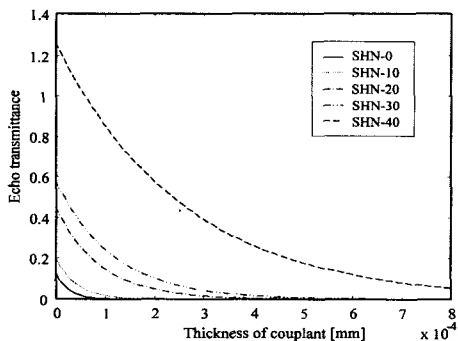
3.2 실험방법

표면SH파탐촉자의 입사점 측정은 탐촉자의 중앙 눈금을 입사점으로 하였으며, 측정범위의 조정방법은 STB-A1 표준시험편의 25mm면을 이용하여 측정범위를 조정한다. 시험온도는 26℃, 탐촉자에 가한 하중은 5 kg을 부가하고 에코높이가 충분히 안정된 후 측정하였으며 안정화되는 시간을 파악하였다. SH파를 시험체에 전달시킬 경우, 시험체의 표면조도, 접촉매질의 점도(시험온도) 및 탐촉자에 가해진 하중 등이 영향을 미친다. 이 접촉매질의 점도에 따른 영향은 접촉매질의 두께가 0.05mm일 때의 접촉매질의 점성과 전달효율의 관계를 검토한다. 접촉매질 층 두께와 전달효율의 영향을 파악하기 위한 실험방법은 접촉매질 점도의 영향에 관한 실험과 동일하다.

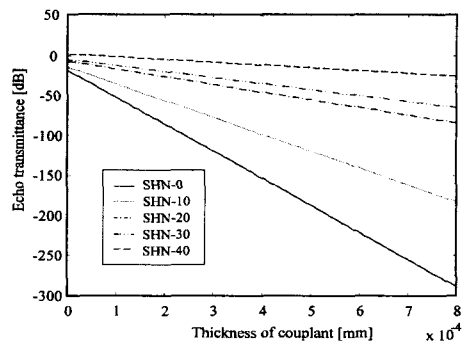
표면저칠기의 영향에 관한 실험에는 $\phi 4 \times 4$ mm 수직구멍으로부터의 에코높이를 거리 40mm에서 표면조도 211 μ m Rmax 정도까지 측정하였다.

4. 실험결과 및 고찰

Fig. 5는 각각 다른 밀도와 점성을 가지는 접촉매질들에 대하여 중심주파수가 5MHz인 SH파의 통과율을 시뮬레이션한 결과이다. Fig. 5 (a)는 각 접촉매질에 대하여 접촉매질의 두께와 SH파의 통과율과의 관계를 나타내고 있다.



(a)



(b)

Fig. 5 Simulation results of echo transmittance on couplants

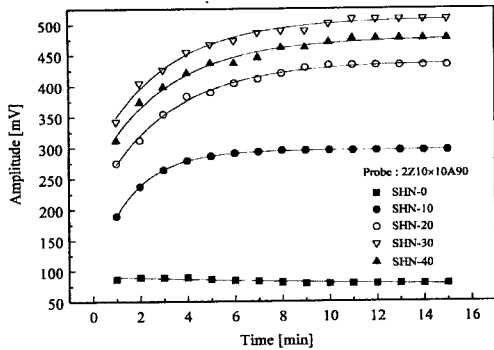


Fig. 6 Stability of echo amplitude(2Z10x10A90-SH)

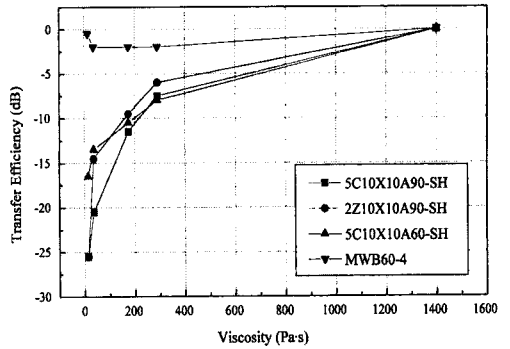


Fig. 7 Relationship between viscosity of couplants and transfer efficiency

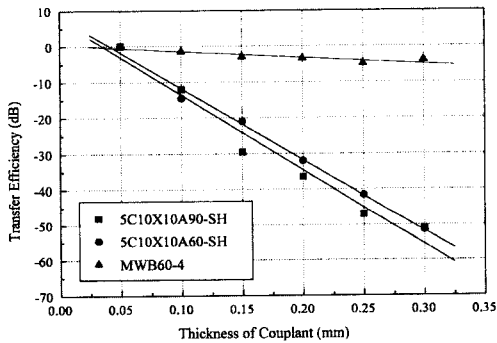


Fig. 8 Relationship between thickness of couplant and transfer efficiency

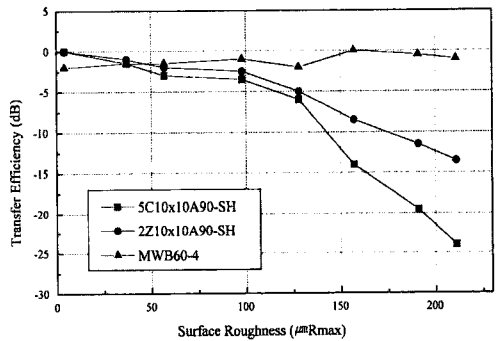


Fig. 9 Relationship between surface roughness and transfer efficiency

Fig. 5 (b)는 (a)에 나타난 통과율을 데시벨(dB)로 나타낸 것이다. 두 그림으로부터 접촉매질의 점성이 증가함에 따라 통과율은 향상되고, 접촉매질의 두께가 줄어들면 통과율이 증가하는 것을 확인할 수 있다.

Fig. 6은 2Z10x10A-90-SH 탐촉자의 접촉매질에 따른 에코의 안정시간을 나타내고 있다. 이 접촉매질의 경우 다른 것에 비해 감도가 다소 떨어지긴 하지만 에코 안정화 시간이 5분 정도로 충분히 활용적인 측면에서 유용한 것으로 판단되어 본 실험에서는 에코의 안정화 시간을 5분으로 하였다.

Fig. 7은 접촉매질의 두께가 0.05 mm일 때의 접촉매질의 점성과 전달효율의 관계를 나타낸다. 접촉매질의 점성이 높아지면 에코높이는 높아지고 점성이 낮아지면 에코높이는 낮아짐을 알 수 있다.

Fig. 8은 접촉매질 층의 두께와 전달효율의 관계를 나타낸다. 에코높이는 접촉매질의 막 두께가 얇을수록 높아진

다. 또 접촉매질의 종류에 따라서 접촉매질의 두께와 에코 높이의 관계는 다르고 점성이 높을수록 영향이 적음을 알 수 있다. Fig. 8에 의하면 SV사각탐촉자(MWB60-4)의 경우는 접촉매질 층의 두께의 영향은 거의 받지 않으나, SH 사각탐촉자의 경우는 영향이 큼을 알 수 있다.

Fig. 9는 표면조도와 전달효율의 영향을 나타내고 있다. SV사각탐촉자(MWB60-4)는 200μmRmax까지는 영향을 거의 받지 않으나 SH사각탐촉자의 경우 100μmRmax까지는 영향이 적으나 그 이상에서는 현저하게 영향을 받으며 주파수 5MHz가 2MHz보다 비교적 영향을 많이 받는 것을 알 수 있으며 이는 고주파수에 의한 파장의 영향으로 사료된다.

5. 결론

본 연구에서는 표면 SH파를 이용한 재료특성 평가시의 점성 유체층에서의 SH 통과율과 안정성을 이론적으로 검

토하고 이에 근거한 최적시험조건의 선정을 위한 접촉매질의 점도, 접촉매질 층의 두께, 표면거칠기와 전달효율과의 관계 등을 실험적으로 검증한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 점성 유체층에서의 SH 통과율을 이론적으로 검토하고 접촉매질에 대해 시뮬레이션을 한 결과 접촉매질의 점성이 증가함에 따라 통과율은 향상되고, 접촉매질의 두께가 줄어들면 투과율이 증가하였다. 이는 실험적 검증 결과와 잘 일치함을 알 수 있다.
- (2) 표면 SH파의 접촉매질에 따른 에코의 안정화 시간은 적어도 5분 이상 필요함을 알 수 있었다.
- (3) 사각탐촉자의 경우 $200\mu\text{m}$ Rmax까지는 표면거칠기의 영향을 거의 받지 않았으나, SH-탐촉자의 경우 $100\mu\text{m}$ Rmax 이상에서는 현저한 영향을 받는 것을 알 수 있었다.

후 기

이 논문은 서울산업대학교 교내 학술연구비에 의하여 연구되었음.

참 고 문 헌

- (1) Park, I. K., Park, U. S. and Kim, H. M., 2000, "Nondestructive Evaluation for Degraded 2.25Cr-1Mo Steel through Surface SH-Wave", *Proceedings of the KSME 2000 Fall Annual Meeting A*, pp. 280~285.
- (2) Park, I. K. and Ahn, H. K., 2001, "A Study on the Application and Dispersion Characteristics Analysis of Surface SH-Wave Mode", *Proceedings of the KSMTE 2001 Spring Annual Meeting*, pp. 61~65.
- (3) Park, I. K. and Ahn, H. K., 2001, "Time-Frequency Analysis of Lamb Wave Mode", *Journal of KSMTE*, Vol. 10, No. 1, pp. 133~140.
- (4) Rose, J. L. and Zhao, X., 2001, "Anomaly Throughwall Depth Measurement Potential with Sheared Horizontal Guided Waves", *Materials Evaluation/Oct*, pp. 1234~1238.
- (5) Abduljabbar, A. and Datta, S. K., 1983, "Diffraction of Horizontally Polarized Shear Waves by Normal Edge Cracks in a Plate", *Journal of Applied Physics*, Vol.54, pp. 461~472.
- (6) Rose, J. L., and Zhao, X., 2001, "Defect Characterization Using SH Guided Waves", *Review of Progressive in QNDE*, Vol. 20, pp. 142~148.
- (7) Wilcox, P., Lowe M., and Cawley P., 2000, "Lamb and SH Wave Transducer Arrays for the Inspection of Large Areas of Thick Plates", *Review of Progressive in QNDE*, Vol. 19, pp. 243~251.
- (8) Salzburger, H. J., 1999, "Guided Shear Horizontal (SH) Waves - Examples of the Practical Use of Their Benefits for New NDE-Applications", *Review of Progressive in QNDE*, Vol. 18, pp. 321~326.