

초음파SH사각탐상에 의한 박판의 결함검출능에 관한 실험적 검증 (Experimental Verification on the Detectability of Thin Plate by Ultrasonic SH-Wave Angle Beam Testing)

김 현목*, 박 익근*, 이 철구*, 이 의중**
* 서울산업대학교 비파괴평가기술연구소
** 한국비파괴검사(주)

1. 서언

본 연구에 앞서 전 보[1]에서는 필렛 용접힐부의 표면결함 검출능에 관한 실험적 검증에서 표면SH파탐상법은 음파의 진동방향이 탐상면과 평행하기 때문에 표면상황의 영향이 적고 다른 모드파가 동시에 존재하지 않기 때문에 표면 및 표면근방의 결함검출 및 평가에 유효함을 제시하였다. 표면SH파탐상자에 의한 표면결함 검출의 검출능과 정량적평가의 유용성을 실험적으로 검증하기 위해 표면SH파탐상자의 지향성, 거리진폭특성 등을 측정하고 시험체의 표면에 가공한 깊이가 다른 슬릿형 결함, 경사슬릿형 결함 등의 거리진폭특성, 용접부의 표면 균열결함에 대한 표면SH파탐상의 결함검출능을 조사하고 향후 초음파탐상시험에 의한 표면 및 표면부근의 비파괴검사 기준 제시를 시도하였다.

건축철골에 많이 이용되고 있는 L형이면 덧붙임 T이음의 루트부의 용입불량이나 용접부의 하부 프랜지 부근의 형상(방해)에코와 결함에코는 식별이 어려운 사례가 보고되고 있으며, 철도 차량의 차축의 균열검출에 차륜을 분해하지 않고 고정밀도로 탐상하는 것은 수직탐상법이나 SV파(vertically polarized shear wave) 사각탐상법으로는 기하학적으로 한계가 많다. 이와 같은 문제를 해결하기 위해 최근 SH파(horizontally polarized shear wave) 사각탐상법의 적용이 검토되고 있다.[1] 그 중에서도 표면SH초음파탐상법에 의한 표면 또는 표면직하 결함검출 기술 개발에 관한 연구가 급속도로 진전되고 실용적인 탐상방법으로 검증되고 있다.[3] 또한, 표면 SH파에 의한 박판의 탐상에 관한 유효성에 대해 판두께 6mm 정도의 이면 덧붙임 완전용입이음의 탐상은 가능하였으나 더 얇은 박판의 탐상에 대한 연구나 실험에 대한 기초자료는 거의 확보되어 있지 않다.[5] 표면SH파는 횡파를 직접 시험체중에 입사

시키기 때문에 경계면의 영향을 거의 받지 않고 진행한다. 또, 균열로부터 반사의 경우는 모드변환이 일어나지 않기 때문에 탐상파형의 해석이 용이하다. 그러나, SH파는 횡파를 직접 시험체중에 입사시키기 때문에 초음파의 입사에 주의할 필요가 있고 적절한 점도와 음향임피던스를 갖는 접촉매질의 사용 등 최적의 탐상조건의 선정과 실험적 검증이 매우 중요하다.

본 연구에서는 박판의 SH사각탐상에 대한 최적시험조건을 선정하기 위해 접촉매질의 점도, 접촉매질 층의 두께, 표면거칠기의 영향, 판두께 영향 등에 대해 조사하고, 표면SH파탐상에 의한 박판의 결함 검출능을 실험적으로 검증하여 그 유용성 유무를 조사하고 향후 초음파탐상시험에 의한 표면 및 표면부근의 비파괴 검사 기준을 제시하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

본 연구에서 사용한 실험장치의 구성도는 전보 [1]와 동일하다. Table 1은 본 실험에 사용한 접촉매질을 나타내고 있으며, Nichigou Acetylene Co., Ltd제의 횡파 전용 접촉매질을 사용하였다. 실험에 사용한 시험편은 기본적인 장비의 교정을 위해 STB-A1, STB-A2 표준시험편을 사용하였다.

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	-

2.2 실험방법

표면SH파탐촉자의 입사점은 탐촉자의 중앙 눈금을 입사점으로 하였으며, 측정범위의 조정 방법은 STB-A1 표준시험편의 25mm면을 이용하여 측정범위를 조정한다.[1] SV파와 종파에 사용되는 접촉매질은 SH파를 시험체에 전달시킬 수 없고 어느 정도 이상의 점성을 가진 횡파전용의 접촉매질이 요구된다. SH파를 시험체에 전달시킬 경우, 시험체의 표면조도, 탐촉자의 접촉면적, 접촉매질의 점도(시험온도) 및 탐촉자에 가해진 하중 등이 영향을 미친다. 접촉매질의 점도에 따른 영향은 탐촉자에 부가하중을 1.4kg으로 하고, 접촉매질의 점성에 따른 전달효율의 관계를 검토한다. 탐촉자는 5C10×10A90-SH, 5C10×10A60-SH, 2Z10×10A90-SH이며 SV파와의 비교를 위해 MWB60-2, MWB60-4를 사용하였다. 시험온도는 26℃, 시험편은 두께 25mm, 폭50mm, 길이 200mm, 표면조도는 4.2 μ mRmax, SV탐촉자에서는 두께 25mm의 저면에코를, 또 표면SH파탐촉자에서는 거리 40mm의 단면에코높이를 측정했다. 접촉매질 층 두께와 전달효율의 영향을 파악하기 위한 실험방법은 스트레인 박막을 이용하여 접촉매질 층의 두께를 조절하였으며, 탐촉자의 부가하중 3kg, 접촉매질은 SHN-20을 사용하였다.

표면SH파탐상시 표면조도에 따라 적당한 점성을 가진 접촉매질의 선정이 중요하다. 표면조도와 전달효율의 관계를 실험적으로 검증하기 위해 실험에 사용한 시험편은 표면조도가 서로 다른 8 종류의 시험편을 사용하였다. 시험편의 표면조도는 기계가공에 의해 제작하고, 그 표면조도는 4.2, 37, 57, 98, 128, 157, 191, 211(μ mRmax)이다. 반사원으로서 $\phi 4 \times 4$ mm의 수직구멍을 가공했다. 시험편의 크기는 두께 25mm, 폭50mm, 길이 200mm이다. $\phi 4 \times 4$ mm 수직구멍으로부터의 에코높이를 거리 40mm에서 측정했다. 탐촉자에는 5kg의 하중을 부가하고 에코높이가 충분히 안정된 후에 측정하였다. 표면조도 211 μ mRmax 정도까지 $\phi 4 \times 4$ mm 수직구멍의 에코가 검출 가능한 접촉매질은 SHN-20이기 때문에 실험에서는 SHN-20을 사용하였다.

표면SH파가 재료의 표면을 투과할 때 판 두께에 따라 그 특성은 달라진다. 판 두께 효과 실험은 판 두께가 다른 14개의 스테인레스 판을 제작하여 사용했다. 접촉매질은 SHN-20을 사용했으며, 판두께 효과는 단면에서 탐촉자와의 거리를 10mm로 일정하게 했을 때의 판두께와 에코높이의 관계를 조사하였다.

박판의 검출능 실험에 사용한 접촉매질은 SV사각탐촉자는 머신유, SH파탐촉자는 시험편의 표면 상태를 고려하여 SHN-20을 사용하였다. SV파의 경우는 $\phi 0.5 \sim 1.5$ mm 관통 종구멍의 에코높이를 측정하고, SH파에서는 $\phi 0.5 \sim 1.5$ mm 관통 종구멍을 탐상하고, 탐촉자거리를 반사원에서 20mm, 40mm, 60mm, 80mm, 100mm 일 때의 에코높이를 측정하여 거리특성을 조사하였다.

3. 실험결과 및 고찰

Fig. 1은 접촉매질의 두께가 0.05mm일 때의 접촉매질의 점성과 전달효율의 관계를 나타낸다. 접촉매질의 점성이 높아지면 에코높이는 높아지고 점성이 낮아지면 에코높이는 낮아짐을 알 수 있다. Fig. 2는 접촉매질의 두께와 전달효율의 관계를 나타낸다. 에코높이는 접촉매질의 막 두께가 얇을수록 높아진다. 또 접촉매질의 종류에 따라서 접촉매질의 두께와 에코높이의 관계는 다르고 점성이 높을수록 영향이 적음을 알 수 있다. 그러나, 접촉매질의 점성이 높으면 탐촉자와 시험편 사이의 접촉매질 층의 간격이 증가하기 때문에 일정한 전달효율을 얻기 위해서는 탐촉자의 하중 부가시간을 길게 해야 한다. Fig. 2에 의하면 SV사각탐촉자(MWB60-4)의 경우는 접촉매질 층의 두께에 따른 영향은 거의 받지 않으나, SH사각탐촉자의 경우는 영향이 큼을 알 수 있다.

Fig. 3은 표면조도와 전달효율의 영향을 나타내고 있다. SV사각탐촉자(MWB60-4)는 200 μ mRmax까지 영향을 거의 받지 않으나 SH사각탐촉자의 경우 100 μ mRmax까지는 영향이 적으나 그 이상에서는 현저하게 영향을 받으며 주파수 5MHz가 2MHz보다 비교적 영향을 많이 받는 것으로 나타났다. 따라서 SH파탐상에서는 표면조도에 따라 영향을 많이 받으므로 접촉매질의 선정이 SV파탐상보다 중요하다.

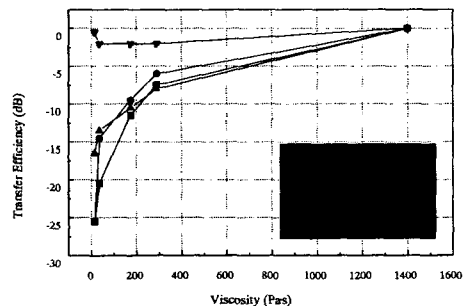


Fig. 1 Relationship between viscosity of couplants and transfer efficiency

표면 거칠기가 100 μ m이하 일 때는 SHN-20정도의 접촉매질을 선정하고, 그 이상일 때는 SHN-30이상의 접촉매질을 사용해야 표면 거칠기의 영향을 줄일 수 있다

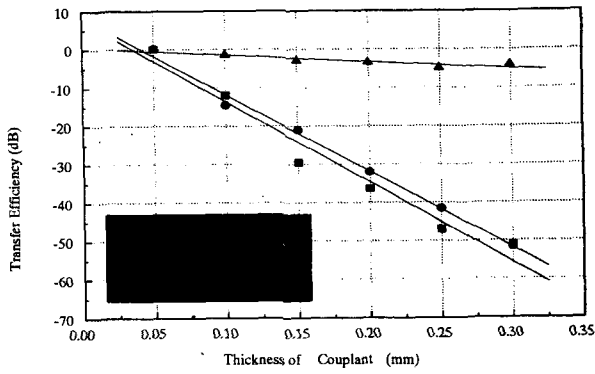


Fig. 2 Relationship between thickness of couplant (SHN-20) and transfer efficiency

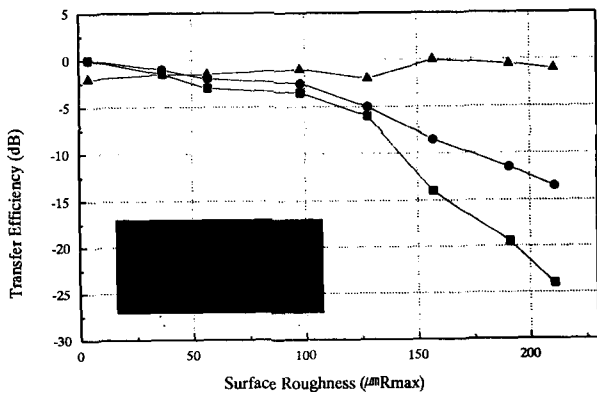
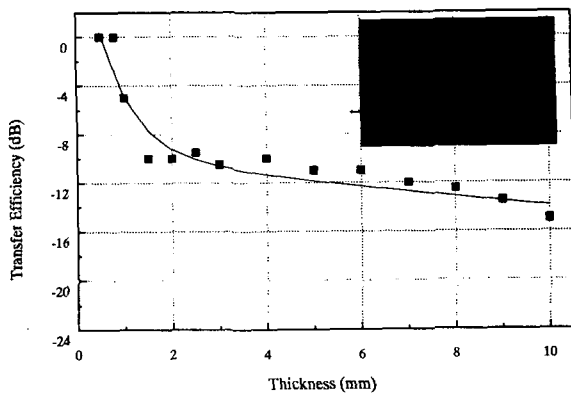
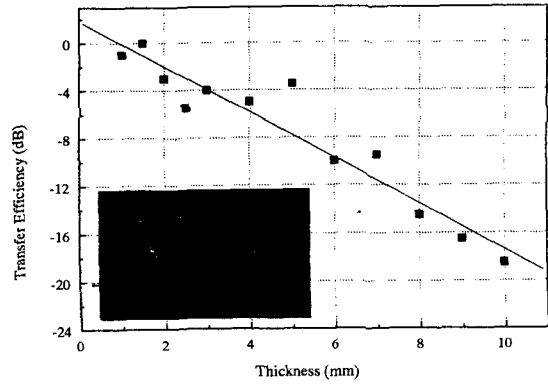


Fig. 3 Relationship between surface roughness and transfer efficiency (couplant: SHN-20)



(a) 2Z10 \times 10A90-SH Probe



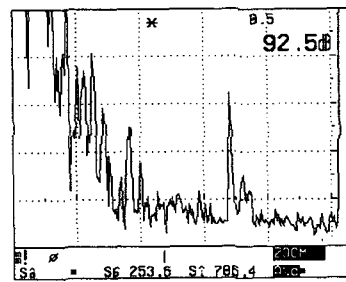
(b) 5C10 \times 10A90-SH Probe

Fig. 4 Thickness effect of corner echo by surface SH wave detection

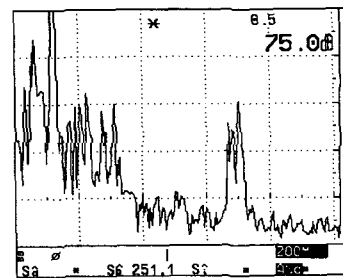
Table 2 Value of detecting gain at 60% of full scale on CRT in detection

Specimen d	STS 1mm Plate				STS 2mm Plate			
	0.5	0.8	1.0	1.5	0.5	0.8	1.0	1.5
MWB70-2	×	×	×	×	×	×	×	×
MWB60-2	×	×	×	×	×	×	×	×
MWB45-2	×	×	×	×	47.0	47.5	46.0	45.0
MWB70-4	×	×	×	76.0	56.5	57.5	57.0	53.0
MWB60-4	×	×	×	74.0	51.5	56.5	54.5	52.5
MWB45-4	×	×	48.5	50.0	44.0	49.0	42.5	41.0

× : Not detected



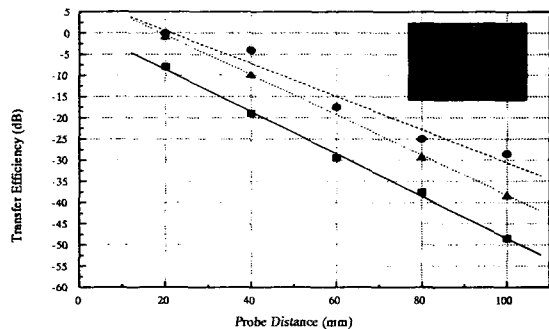
(a) Thickness of specimen = 1mm



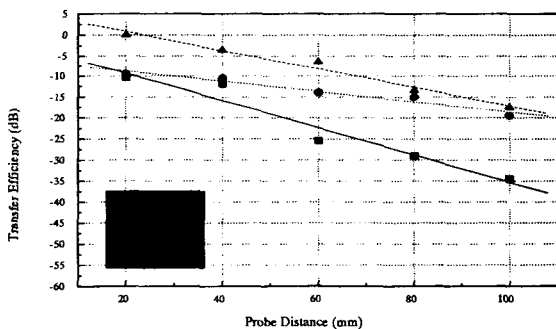
(b) Thickness of specimen = 2mm

Fig. 5 Echo height of $\phi 0.5\text{mm}$ from 100mm by surface SH wave's detection

Fig. 4는 탐촉자거리를 일정하게 한 경우의 판 두께와 단면에코높이의 관계를 나타내고 있다. 탐촉자 2Z10 \times 10A90-SH의 경우 에코높이는 판 두께가 0.5mm에서 2mm가 되면 에코높이는 10dB 정도 떨어지지만 그 이상에서는 에코높이의 저하는 상당히 적다. 탐촉자 5C10 \times 10A90-SH의 경우 0.5mm에서 10mm까지의 두께에서 에코높이는 두께가 증가할수록 에코높이는 저하한다. SH파가 판내를 전파하는 경우 판내의 SH파의 전파밀도가 판두께가 얇을수록 높아지기 때문에 단면의 에코높이가 높아진다.



(a) 1mm STS Plate with SDH



(b) 2mm STS Plate with SDH

Fig. 6 Distance amplitude characteristic of detection by surface SH wave

박판의 결함검출능 실험에서는 SV사각탐촉자로 탐상한 결과 Table 2와 같이 나타났으며, 이 결과 MWB45 탐촉자를 제외한 다른 SV사각탐촉자로는 박판의 결함검출에는 한계가 있는 것으로 나타났다. 반면, 표면SH파탐촉자로 탐상했을 때, $\phi 0.5\text{mm}$ 의 관통종구멍을 충분히 검출할 수 있었다. Fig. 5는 $\phi 0.5\text{mm}$ 관통종구멍의 탐상도

형을 나타내고 있다. Fig. 6은 박판의 $\phi 0.5\text{mm}$, $\phi 1.0\text{mm}$, $\phi 1.5\text{mm}$ 의 관통종구멍의 거리특성을 나타내고 있다. 반사원이 $\phi 1.5\text{mm}$ 의 경우 20mm에서 100mm가 되면 에코높이는 1mm 박판에서는 에코높이가 37.5dB이 떨어지고 2mm 박판에서는 에코높이가 17.5dB 떨어졌다. 반사원이 작을수록 에코높이는 떨어지고 1mm 박판 보다는 2mm 박판이 반사원의 크기에 영향이 적었다.

4. 결론

초음파탐상시험에 의한 표면 및 표면근방 결함 검사방법의 검사기준 제시를 위해 SH사각탐상에서 최적시험조건 선정과 박판의 결함 검출능을 실험적으로 검증한 연구결과는 다음과 같다.

1) SH사각탐상의 최적 시험조건 설정을 위한 기초실험에서 접촉매질의 점도, 접촉매질 층의 두께, 표면거칠기는 초음파의 전달효율에 영향이 큼을 알 수 있었다.

2) 표면SH파탐촉자로 스테인레스박판의 $\phi 0.5\text{mm}$ 의 관통종구멍을 충분한 탐상감도로 검출할 수 있었으며, 판두께 1~2mm의 박판에서 표면SH파탐촉자를 사용하였을 때의 결함검출능, 거리특성, 판두께 효과 등을 실험적으로 검증하고 기초 데이터를 확보하였다.

참고문헌

- 1) 박익근, 이철구 : 초음파에 의한 필렛 용접 일부의 표면결함검출에 관한 실험적 검증, 대한용접학회지 제 18권 제 1호, (2000), pp 46-51
- 2) 横野泰和, 南康雄 : 表面下の穴陥の検出に關する基礎的検討(第2報) - 音波探傷試験に關する検討, 非破壊検査, 39(11), (1990), pp 937-943
- 3) 高橋雅和 : 表面およびその近傍を伝播する波に關する實驗的検討, 非破壊検査, 42(8), (1993), pp 448-454
- 4) 戸田裕己 : 鐵道車兩用車軸のフレットイグ疲勞き裂の表面SH波による定量的評價, 非破壊検査, 40(3), (1991), pp 158-164
- 5) 高橋雅和 : SH波探触子による薄板の探傷に關する基礎實驗, 第5回超音波による非破壊評價シンポジウム講演論文集, (1998), pp 43-50
- 6) 横野秀和, 南康雄 : 表面SH波の特性と表面きずの検出に關する検討, 平成5年度日本非破壊検査協會春季大會講演概要, (1993), pp 101-102