

SH파를 이용한 용접부 품질평가의 실험적 검토

(Experimental Verification for Quality Evaluation of Welded Parts using SH Waves)

안형근, 박익근, 이철구, 허인호

서울산업대학교 생산공학부 기계공학과

1. 서론

용접부의 초음파 탐상에서는 대개의 경우 횡파에 의한 경사각 탐상시험이 이용되고 있다. 일반적으로 경사각 탐상시험에 사용되는 횡파는 SV파라 불리는 파로서 진동자에서 종파가 발생되고 재료에 초음파가 입사하여 횡파로 변환된다. SV파에 의한 경사각 탐상법은 용접부의 결함검출에 많은 성과가 있었고 용접 이음의 품질향상에 크게 기여하였다. 하지만, 최근 건축철골에 많이 이용되고 있는 L형이나, 덧붙임 T이음에서 루트부의 I형 용입불량을 SV파로는 검출하기가 곤란하고, 형상에코와 결함에코의 식별이 불가능한 사례가 보고되고 있다[1]. 또한, 현장 용접부 하부 프랜지의 스크랩 부 부근에서는 용접결함 발생의 가능성이 크나 SV파 경사각 탐상으로는 검출할 수 없다. 용접부 이외에 철도차량의 차축의 균열검출에 차축으로부터 차륜을 분해하지 않고 정도 좋게 탐상하는 것이 수직탐상법이나 SV파 경사각 탐상법으로는 곤란하였다. 이와 같은 문제를 해결하기 위해 SH파를 이용한 경사각 탐상법을 이용하는 방안이 나오게 되었으며, 그 중 표면 SH탐상법은 실용적인 탐상 방법으로 자리잡아 가고 있다[2-5].

본 연구에서는 SH파 탐촉자를 이용한 T형, Y형 이음용접부의 결함검출과 박판의 점(spot) 용접부의 품질평가에 대한 유용성을 실험적으로 검증하고 향후 SH 초음파 탐상법에 대한 비파괴 검사 기준을 정립하기 위한 기초데이터를 확보하고자 한다.

2. SH파의 특징

일반적으로 경사각 탐상에 이용되고 있는 횡파는 진동양식에 따라 SV파와 SH파로 나누어진다. Fig.1은 SV파와 SH파의 전파양식을 보여주고 있다. SH파는 Fig.1(b)와 같이 탐상면과 평행한 방향으로 진동하며 진행하는 횡파로서, 탐촉자의 폭 방향으로 진동하는 횡파진동자를 이용하여 진동자로부터 발생한 횡파를 높은 점성의 접촉매질을 통하여 시험체에 전달시킨다. SH파 탐상의 특징으로는 1) 표면 SH파 탐상법에서는 표면(표면직하 포함) 결함검출에 유리하며 2) 탐촉자의 주사에 문제(접촉매질의 문제)가 있으며 3) 사용실적이 적고 해명되지 않은 현상이 발생한다. 4) 결함크기(높이)를 추정할 수 있는 경우가 있으나, 결함위치(깊이)는 추정이 곤란하고 5) 진동자로부터 횡파가 썩기를 전파하여 S/N비가 낮다. 6) 접촉매질의 문제로 재현성이 높은 데이터를 얻기 힘들다. 7) SH파는 재료에 입사하기전 탐촉자에서 횡파를 발생시켜 재료에 횡파가 입사된다. 탐촉자에서는 종파가 발생되어 입사시 횡파로 바뀌는 SV파는 박판에 가진될 때 종파와 횡파가 동시에 존재하게 되며, 재료내부를 진행하면서 종파와 횡파의 속도가 변하며 진행한다. SH파는 재료내에서 횡파만이 존재하므로 아주 간단한 분산양식을 나타낸다[6]. 따라서, 박판에서의 탐상시 모드의 변환에 큰 주의를 기울이지 않아도 된다. Fig.2에서는 주파수-판두께(fd)에 따른 SV파와 SH파의 위상속도와 군속도에 대한 분산선도를 나타내고 있다.

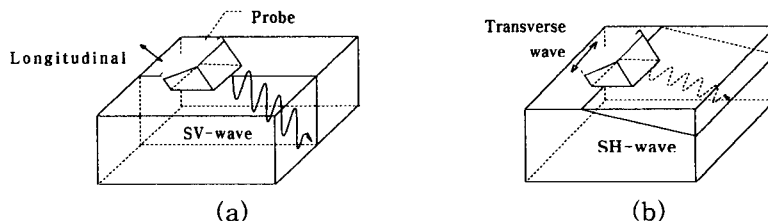


Fig.1 Incidence of (a) SV wave (b) SH wave

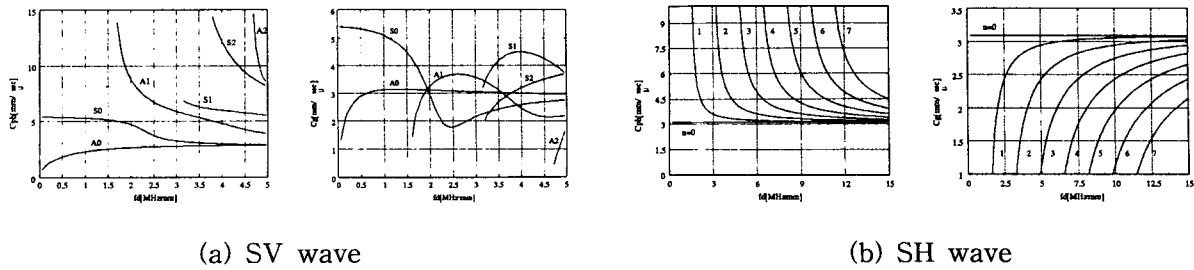


Fig.2 Phase velocity and group velocity dispersion curve for aluminum plate

3. 실험장치 및 방법

3.1 실험장치

본 연구에서 SH파에 의한 펄스반사식 초음파 계측시스템으로는 디지털초음파탐상기(Kraut-Kraumer, USD-15)를 사용하였으며, 초음파 탐촉자는 Japan Probe사의 5C10×10A90-SH, 5Z5×5A90-SH, 2Z10×10A90-SH, 5C10×10A60-SH 및 KrautKraumer사의 MWB-60° 4MHz를 사용하였다. 탐촉자에 수신된 초음파 파형은 초음파 탐상기에 A-scan mode로 표시되고 이 수신된 초음파 신호는 컴퓨터와 RS232C 방식으로 인터페이스 되어 A-scan 표시되며, 초음파 탐촉자에 수신된 초음파 파형은 디지털스토리지 오실로스코프(Lecroy, 9374M)에 RF-signal로 표시되어 초음파 파형의 실시간 계측에 의해 스펙트럼해석, 음속이나 감쇠 등의 측정이 가능한 계측시스템을 구축하였다. 접촉매질은 시험체에 탐촉자의 접촉압력이나 접촉상태, 접촉매질의 점성이나 음향임피던스, 접촉매질층의 두께 및 온도들의 영향에 따라 SH파의 변환특성이 달라질 수 있기 때문에 접촉매질로는 Nichigon Acetylen사의 SHN-0, 10, 20, 30, 40 황과 전용 접촉매질을 사용하였다. SH파를 이용한 측정의 경우에 검사자가 약 5kg 무게의 힘으로 압력을 가하여 에코를 안정시키면서, 기존의 SV파의 탐상과 같은 방법으로 측정하였으며, 측정시 주사속도는 SH파를 안정시키면서 주사할 수 있는 속도(접촉매질 SHN-10 사용시)를 실험적으로 측정하여 6mm/s의 속도로 측정하였다. 주사시 접촉매질의 선정은 점도가 너무 높지 않으면서 SH파를 효과적으로 입사시킬 수 있고, 파의 안정속도가 빠른 특성을 가지고 있는 점도의 접촉매질을 선정하였으며, 이보다 낮은 점도의 접촉매질은 파의 안정속도에 비해 파의 전달효율이 너무 낮아 SHN-10을 접촉매질로 선정하여 사용하였다.

본 실험에 사용한 시험편으로는, 기본적인 장비의 교정을 위해 STB-A1, STB-A2 표준시험편을 사용하였고, Sonaspection사의 초음파 탐상시험용 T형, Y형이음 용접부와 맞대기 용접부에 용입불량 및 루트크랙, 표면 크랙 등의 인공결함을 내재한 시험편을 사용하였으며, 박판에서의 용접부 품질평가를 위하여 점(spot) 용접 시험편을 이용하여 검사하였다. 점 용접재료는 알루미늄과 아연도금 강판을 사용하여 이중재의 점 용접 시험편을 제작하였고, 재료의 두께는 0.8mm이며, 가압력은 350kgf로 하였다. Table1은 점 용접 시험편의 용접 조건을 나타낸 것이다.

Table1. weld conditions of spot weld specimen

specimen No.	Current (kA)	Time (cycle)	Pressure (kgf)
A1	10	10	350
A2	11	10	350
A3	12	10	350
A4	13	10	350
A5	14	10	350

3.2 실험방법

경사각 SH파 탐촉자는 일반 SV파의 경우와 마찬가지로 입사점과 실측굴절각을 측정하여 측정범위를 조정하였고, 표면 SH파 탐촉자는 탐촉자의 앞 끝단을 입사점으로 하여 STB-A1 표준시험편의 25mm면을 이용하여 측정범위를 조정하였다. 탐상시 결함길이의 측정에는 6dB drop법을 사용하였다. Sonaspection사에서 제작한 용접시험편들을 이용하였고, 루트크랙, 표면크랙 및 용입부족 등에 대하여 경사각 SH, SV, 표면 SH탐촉자를 이용하여 결함지시길이를 측정하고, 결함에코들을 비교하였다.

경사각 탐촉자(SH, SV)의 경우 1스킵(skip)거리에서 T형, Y형 이음용접부의 루트부를 탐상하여 루트크랙과 용입부족 등의 결함을 탐상하였다.

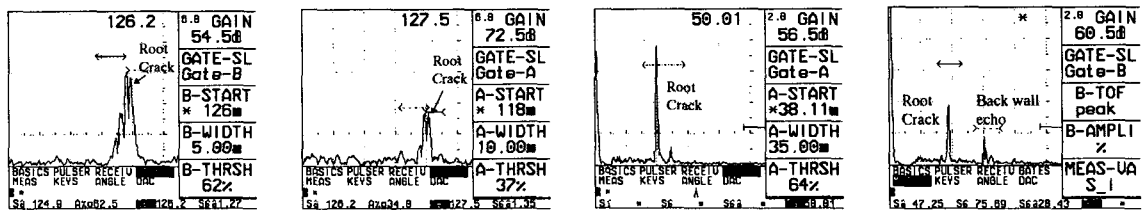
박판 점 용접부의 품질평가를 방법으로 pitch-catch법을 이용하였다. 초음파가 점 용접 너겟(nugget)부를 통과하여 이음판으로 전달되는 효율은 디지털 초음파 탐상기를 통해 수신된 신호를 디지털 오실로스코프(Lecroy, 9374M)로 전송하여 나타난 RF-signal의 음압을 측정하였다.

4. 실험결과 및 고찰

T형, Y형 용접부의 루트크랙, 용입부족 결함의 길이 측정 결과를 Table2에 나타내고 있다. SH 60° 탐촉자를 사용한 결과와 SV 60° 탐촉자를 사용한 결과가 잘 일치하였다. 결함지시길이는 대체로 일정한 값을 나타내었다. 그러나, 접촉매질의 점성과 주사속도의 문제들을 고려해 볼 때 SH과 경사각 탐상은 유용성 있는 탐상방법이라 하기 어렵다고 사료된다. 반면, 표면 SH탐촉자를 사용한 루트크랙의 탐상 결과는 경사각 탐촉자로는 측정하기 어렵고, 신호의 분별이 어려운 결함의 탐상에 유용함을 알 수 있었다. T4672시편의 용입부족 결함지시길이의 차이가 나는 것은 결함부와 루트부 사이를 잇는 완만한 경사부에 대해 표면 SH파에서는 건전부의 신호를, 경사각 초음파는 결함지시 신호를 나타내기 때문이다. 루트크랙과 용입부족 결함의 경사각 SV, 경사각 SH, 표면 SH파에 의한 탐상결과를 Fig.3에서 나타내고 있다. Fig.3(a)(b)에서 나타난 것과 같이 루트크랙의 경우 경사각 탐촉자(SV, SH 모두)를 사용한 경우 결함지시의 구분이 어렵고, 탐상시 상당한 주의를 갖지 않으면 루트부의 신호만으로 간주하고 지나칠 수 있다. 반면 표면 SH파의 경우 Fig.3(c)에 나타난 것과 같이 크랙의 신호를 확실하게 확인할 수 있다. Fig.3(d)는 T형 이음용접부에서 표면 SH파로 얻은 결함과 저면 신호이다. 저면과 루트크랙의 신호를 명확하게 구분할 수 있는 것을 알 수 있다.

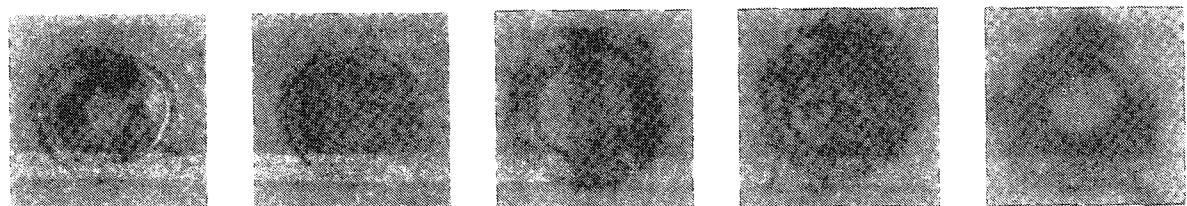
Table2. Results of Sizing of defects (mm)

sonaspection specimen : Y4674			
Probe	5Z5×5A90 SH	5Z10×10A6 0 SH	MWB 60 4MHz
Flaw No.			
No.1 Root Crack	27	27	26
sonaspection specimen : T4672			
Probe	5Z5×5A90 SH	5Z10×10A6 0 SH	MWB 60 4MHz
Flaw No.			
No. 1 Root Crack	27	26	26
No. 2 Imcomplete root penetration	27	31	31



(a) MWB 60° 4MHz (b) 5Z10×10A60SH (c) 5Z5×5A90SH(Y-weld) (d) 5Z5×5A90SH(T-weld)

Fig.3 A-scan display for weld defect indication(Root crack)



(a) (b) (c) (d) (e)

Fig. 4 C-scan image for spot weld parts

Fig.4는 박판 점 용접부의 C-scan 결과를 나타내고 있다. 용접전류 11kA인 (b)에 비해 용접전류 10kA의 경우 접합상태가 좋지 않은 것을 확인할 수 있으며, (c)(d)(e)순으로 점점 용접상태가 나빠진 것을 나타내고 있다. Fig.5는 Fig.4에서 나타난 각 용접부에 대해 표면 SH파를 이용하여 전달효율에 따른 RF-signal을 나타낸 것이다. Fig.4에서 나타난 접합상태에 따라 전달효율이 잘 맞는 것을 확인할 수 있다. Fig.6은 각 시편에 대하여 전달된 음압에 따라 표시된 최대 피크(peak)를 탐상기상의 80%에 맞췄을 때의 음압값들을 측정하여 나타낸 것이다. Fig.4, 5, 6에 나타난 바와 같이 점 용접부의 접합상태에 따른 표면 SH파의 에너지 전달 효율을 이용하여 점 용접부의 품질평가가 가능할 것이라고 본다.

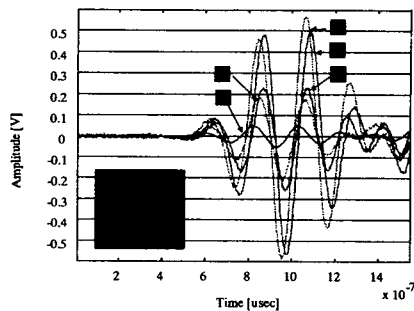


Fig.5 RF-signal through spot welded parts

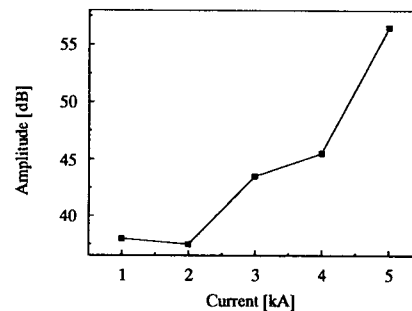


Fig.6 Amplitude of 80% peaks

5. 결론

- (1) 표면 SH파를 이용하여 기존의 SV파로는 검출할 수 없는 영역의 용접부 결함이나, 발생 신호가 복잡하여 결함과 루트부의 반사신호를 구별하기 곤란한 용접부의 결함을 확실하고 정확하게 측정할 수 있으므로, 이런 용접부의 탐상을 위한 표면 SH 초음파 탐상법의 표준화를 위한 기초적인 데이터를 확보하였다.
- (2) 경사각 SH파 탐촉자를 이용한 용접부 탐상은 결함의 검출 및 지시길이의 측정이 가능하였으나, SV파 탐촉자의 이용시와 비교할 때, 파의 안정을 위한 시간적 제약으로 인한 느린 탐상속도와 안정을 위한 가압력이 필요하다는 점에서 그 유용성이 떨어진다고 판단된다.
- (3) 표면 SH파를 이용한 박판의 단일 겹치기 점 용접의 품질검사가 가능함을 실험적으로 검증하였다. 어떤 재질의 점 용접부에 대하여 기준이 되는 용접점에 대한 에너지 전달효율을 측정하고, 다른 점 용접부에서의 에너지 전달효율과 비교함으로써 점 용접부의 품질검사가 가능할 것이다.

참고문헌

1. やさしい : SH探像法について, 日本非破壊検査, 48-9(1999), pp 624-625
2. 横野泰和, 南 康雄, 迎 静雄, 加藤光昭, 西尾一政 : 表面下の穴陥の検出に関する基礎的検討(第2報)-超音波探傷試験に関する検討-, 非破壊検査, 39-11(1990), pp937-943
3. 高橋雅和 : 表面およびその近傍を伝播する波に関する実験的検討, 非破壊検査, 42-8(1993), pp 448-454
4. 戸田裕己, 外山和男, 失壁正樹, 中涌 亨, 東材一弘, 福岡 和 : 鐵道車兩用車軸のフレットイグ疲勞き製の表面SH波による定量評価, 非破壊検査, 40-3(1991), pp 158-164
5. 横野泰和, 南 康雄, 迎 静雄, 加藤光昭, 西尾一政 : 表面SH波による表面下きずの定量評価に関する検討, 平成6年度日本非破壊検査協會春季大會講演概要, (1994), pp 1-6
6. Joseph L. Rose : Ultrasonic Wave in Solid Media, cambridge, (1999), pp 241-261
7. 박 익근, 이 철구 : 초음파에 의한 필렛 용접힐부의 표면결함 검출능에 관한 실험적 검증, 대한용접학회지, 18-1(2000), pp 46-51
8. 박익근, 이철구, 이의중, 김현묵 : 초음파 SH사각탐상에 의한 박판의 결함결출능에 관한 실험적 검증, 2000년도 특별강연 및 춘계학술발표대회 개요집, (2000), pp 279-286