

용접크랙검사용 비파괴 초음파탐상 자동화검사장비 개발

채용웅*

Development of Automated Non-Destructive Ultrasonic Inspection Equipment for Welding Crack Inspection

Yong-Yoong Cha^{*}

요 약

본 연구는 다양한 어셈블리 부품의 용접부 내부결함을 검사하기 위한 초음파 탐상 장비 개발에 관한 것이다. 본 연구에서는 초음파 탐상을 위하여 시스템의 모션제어 S/W, 초음파 송수신기 제어, 결함 판정 기준 설정 등의 계측 S/W 등이 설계되었으며, 양품과 불량품의 비교분석을 하기 위하여 용접결함 불량품 샘플워크 등도 제작되었다. 이와 같은 구성으로 이루어진 시스템을 통하여 어셈블리 부품 용접부의 결함 위치 및 깊이에 대한 자동검사 기능을 수행할 수 있었으며, 종전에 전문가에 의해 이루어졌던 용접부의 내부결함에 대한 판단을 시스템이 수행하도록 하였다.

ABSTRACT

This research is related to a development of the ultrasonic detector for an internal defect detection of various assembly part's welding zone. In this research, measurement S/Ws including system's motion control, S/W ultrasonic transmitter/receiver control, defect judgment standard setting, etc. have been designed for ultrasonic detection, and welding defects sample network, etc. were also designed for comparison between products in good condition and defective products. Through this kind of system, automatic detection function can be performed for the depth and the defect location of the assembly parts welding zone, and the system is able to make a judgment of internal defect detection which is used to be performed by an expert in the past.

키워드

Automotive Parts, Non Destructive Test, Sensor, Ultrasonic, Welding Defects,
자동차 부품, 비파괴 검사, 센서, 초음파, 용접 결함,

1. 서론

자동차의 트랜스미션 어셈블리에는 많은 부품이 조립되어 구성된다. 결합부품 중에는 두 개의 부품을 압

입한 후 용접하여 한 개의 복잡한 형상을 가지게 하는 부품들이 있다. 예를 들면 프레스 판금 부품과 기어가공품을 압입 후에 일체형으로 용접하는 제품들이 있다. 이러한 자동차 부품 용접부의 내부결함 검사는

* 교신저자 : 계명대학교 전자공학전공
• 접수일 : 2019. 10. 21
• 수정완료일 : 2019. 12. 18
• 게재확정일 : 2020. 02. 15

• Received : Oct. 21, 2019, Revised : Dec. 18, 2019, Accepted : Feb. 15, 2020
• Corresponding Author : Yong-Yoong Cha
Dept. of Electronic Engineering, Keimyung University,
Email : yychai@kmu.ac.kr

양산라인의 생산 공정에서 필수적 전수검사 항목이다. 지금까지는 제품 형상의 특성상 내부 크랙 확인방법이 없어서 전수검사를 하지 못하고, 제조라인의 전자빔 용접 또는 레이저빔 용접 공정에서 용접한 완성품에 대해서 용접결함 검사를 위해서 완성품을 lot별로 생산시의 초품, 중품, 종품 중에서 임의로 선별하여 검사하였다. 이러한 검사는 제품절단 및 연마, 절단표면 부식 등의 작업을 한 후에 용접의 형태, 깊이, 용접기포 및 미용입 결함 유무 등을 현미경 검사방법으로 공정 중에 검사를 해왔다. 그러나 완성품은 360° 전 둘레 용접 제품의 경우가 대부분인데 이와 같은 경우에 용접전체영역에 대한 결함검사를 하지 못하고 절단 단면 위치에서만 확인하여 제품 출하를 함으로써, 시장에서 고객의 사고 발생 및 고장에 의한クレ임 발생을 초래하여 왔으며, 자동차의 품질 및 신뢰도의 손상을 초래해 왔다. 이에 제품의 절단없이 용접내부의 결함 유무를 생산라인에서 빠른 시간 내에 전수 검사할 수 있는 비파괴검사가 최근에 각광을 받고 있다. 이러한 비파괴검사 방식에는 방사선[1], 펄스정전용력[2], 와전류[3], 초음파[4-10] 등을 이용한 다양한 방식이 알려지고 있으며 본 연구는 초음파를 이용한 비파괴검사 탐상기 개발에 대한 것이다.

II. 초음파탐상기

초음파 신호를 탐상에 이용하기 위해서는 검사체의 재질, 형태, 검사위치를 고려하여, 신호의 여진과 크기를 결정하여 제작하는데, 여기에서 신호의 여진과 크기는 반비례하기 때문에 사양 선택 시 주의를 요한다. 본 연구에서 사용하고자하는 센서의 사양 및 성능은 검사체의 표면에서부터 1.5~2mm이상의 위치에 있는 1x1mm 결함을 검출할 수 있도록 개발하였다. 그림 1은 본 연구에서 개발한 초음파 장비의 개략도를 나타낸다. 그림에서 보는 바와 같이 초음파 탐상기는 크게 초음파센서, 워크(피시험체)가 놓인 지그의 위치를 결정하는 서보모터, 초음파센서의 출력을 받아 이상 유무를 해석하는 계측장비 및 수조 등으로 구성되어 있다.

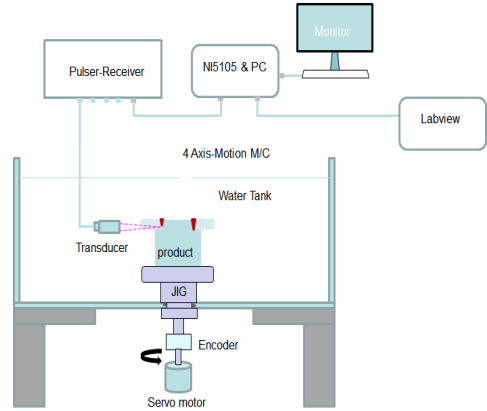


그림 1. 초음파탐상기 개략도
Fig. 1 Schematic diagram of ultrasonic test machine

2.1 초음파센서

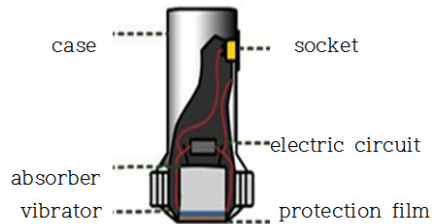


그림 2 초음파 센서의 구조
Fig. 2 Structure of ultrasonic sensor

초음파 장비에서 가장 중요한 것은 초음파 센서이다. 초음파 센서를 탐상에 이용하기 위해서는 전기적 신호로 진동자(압전소자)를 진동하여 발생한 초음파의 여진이 적어지도록 진동자에 흡음재를 장착한다. 그림 2와 같은 구조로 제작하여 케이스에 넣고 진동자에 보호판을 붙여 탐촉자(초음파센서)를 만든다. 초음파 센서의 특성은 진동자와 흡음재 구조 및 재료에 따라 달라지기 때문에 측정하고자 하는 환경에 적절한 초음파 센서를 개발하여야 한다. 본 연구에서 개발한 초음파 센서는 10MHz, 송수신 일체형 구조이다.

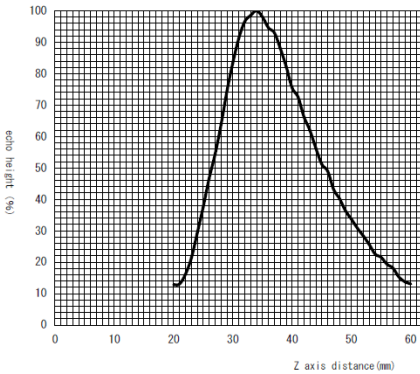


그림 3. Z축 거리에 따른 에코 크기의 특성
Fig. 3 Echo magnitude characteristics according to the distance

사용되는 초음파 센서의 전기적인 사양을 측정한 결과 이번에 샘플로 제작한 센서의 가장 높은 에코의 크기를 가지는 거리는 34mm 지점이며, 전후로 -6dB의 값을 가지는 거리는 각각 27mm, 46mm 이다. 그 특성이 그림 3에 나타나 있다.

2.2 서보모터의 모션제어 S/W

그림 1에서 워크가 놓여있는 지그를 회전시키는 서보모터 제어에 대한 모션제어 흐름도는 그림 4와 같다. 워크를 검사하기 위해서는 각종 신호의 입출력이 필요한데 이를 위해 PLC제어는 필수적이다. PLC와는 TCP/IP 통신을 하는데 정해진 프로토콜에 따라 메인 전원, 챔버의 UP,DOWN 과 Air의 이상유무, 온도 콘트롤러의 출력의 동작 등을 담당한다.

서보제어 구동에 있어서 모션카드를 통해 위치제어 및 속도를 제어하기 위해서는 서보드라이버의 역할이 매우 중요하다. 이를 위해서 고속네트워크(SSCNET-III)로 접속이 가능한 MR-J3를 사용하였다. 이 서보드라이버는 광통신 방식을 채용하여 통신 속도가 빠르고 노이즈 특성도 좋은 제품이다. 또한 현장 및 기구물의 특성상 PC와 드라이버의 거리가 멀어질 수 있는데 이 제품의 경우 광통신 특성으로 인해 최대거리 50M 까지 가능하다.

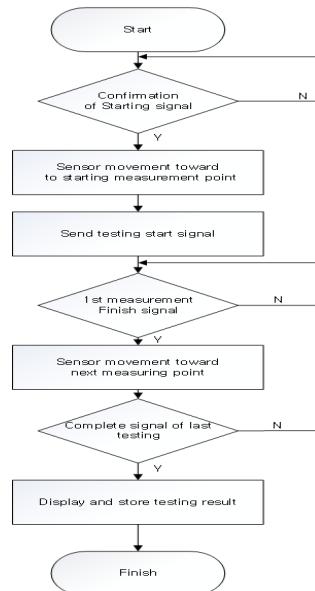


그림 4. 모션제어 시퀀스
Fig. 4 Sequence of motion control

2.3 계측 S/W 설계

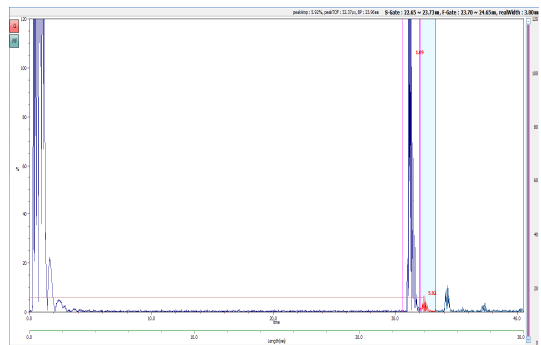


그림 5. 오실로스코프 화면
Fig. 5 Display of oscilloscope

그림 1에 나타난 PC 내부에 AD보드를 내장하여, 초음파센서에서 발사된 초음파신호가 워크에서 반사되어 되돌아온 신호를 받아 음파를 분석할 수도 있도록 하였다. 이것은 물속에서의 음속을 길이로 환산하여 초음파 센서와 측정물체 표면과의 거리를 측정하고 이를 모니터에 디스플레이 하도록 한 것이다. 그림 5

는 이와 같은 형태로 개발된 오실로스코프의 디스플레이 결과를 보이고 있다. 그림 5에서 x축은 수조에 서의 센서와 워크간의 거리를 나타내며 y축은 워크에 서 반사되어 온 신호의 크기를 나타낸다.

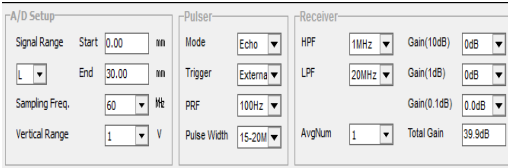


그림 6. 송수신 제어기능 UI
Fig. 6 UI of transceiver control function of UI

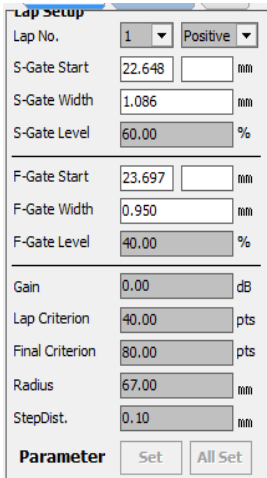


그림 7. 결함 판정 기준 설정 UI
Fig. 7 UI of defect decision standard setting

음파 송수신 장비에서 송신기는 초음파 센서를 진동하기 위한 전기적인 신호의 펄스폭, 주기적인 신호 전송 속도를 설정하는 기능을 갖는다. 여기에서 전기적인 신호펄스폭의 선택에 따라 초음파센서로 전달되는 에너지를 조절할 수 있다. 주기적인 신호 전송 속도는 내부 혹은 외부트리거의 선택에 따라 조정가능하며, 내부트리거의 경우는 일정속도(1회전 속도가 일정)를 선택하여 신호를 발생하며, 외부트리거의 경우는 1회전하는 회전축의 엔코더를 기준으로 신호를 발생하여 좀 더 정확한 위치(각도)에서 측정된 신호의 표현이 가능하다. 초음파 송수신 장비에서는 수신기는 되돌아오는 음파의 신호를 필터링하고, 증폭하는 기능이 있어, 그에 해당하는 제어값들을 설정하는 기능을

갖는다. 그림 6은 이를 위한 제작된 송수신 제어기능을 하는 UI를 나타낸다.

측정 물체의 특정부분 결함유무를 계측하기 위해, 초음파 파형에서 계측하고자하는 위치를 설정하는 방법이 기존의 장비에서는 오실로스코프 사용법을 숙지한 사용자만이 어렵게 설정이 가능하였다. 그러나 본 연구에서 새로 개발한 탐상기에서는 PC내 오실로스코프 화면에서 게이트 선을 만들어 사용자가 쉽게 원하는 지점(Length)에 게이트의 크기와 위치를 조정 가능하도록 하였다. 이것은 용접부에 나타난 결함의 사이즈를 기준으로 화면에 표시되는 결함수를 환산함으로써 판정하고자하는 기준을 설정하고, 이에 따라 용접 상태의 합격, 불합격 여부를 자동으로 판정할 수 있도록 한 것이다. 그림 7은 이러한 판정기준을 설정하기 위한 UI를 나타낸다.

III. 시제품 및 마스터 워크제작

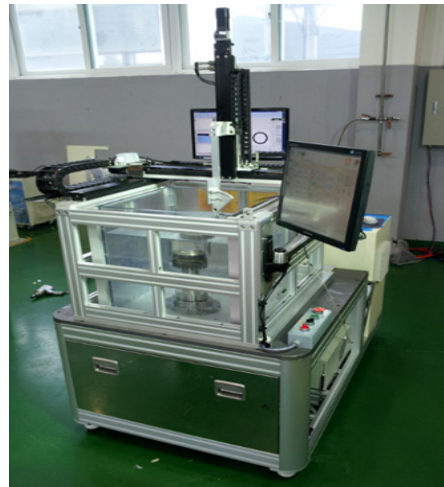


그림 8. 초음파탐상기
Fig. 8 Ultrasonic test machine

그림 8은 개발된 초음파탐상기이다. 사진에서 워크는 수조안에 위치해 있으며 우측에 보이는 모니터를 통해 전체적인 시스템의 제어 및 결과에 대한 모니터링이 이루어진다.

3.1 결함 사이즈 측정용

본 연구에서 사용 중인 초음파센서의 최소 집속경이 0.8pi 라는 점을 감안하여, 측정 가능한 홀 결함의 사이즈의 측정 결과를 파악하기 위해 여러 사이즈의 홀 결함을 가진 샘플워크를 제작하였다. 이 샘플을 결함용 사이즈 세팅용 마스터 워크라 하며, 측정을 원하는 최소 사이즈의 결함이 40% 이상 나타나도록 계인을 조정한다. 이때, 노이즈의 증폭도 감안하여, 측정 불가능한 최소사이즈를 정한다. 그림 9는 제작된 샘플워크를 이용하여 일반적으로 사용 중인 계인으로 측정된 홀 결함의 초음파 탐상 결과를 나타낸다. 그림에서 (a)는 워크에서의 홀의 크기를 나타내며, (b)는 샘플워크의 홀의 크기에 따른 스캐닝된 디스플레이 화면을 나타내고, (c)는 그 디스플레이된 화면을 확대한 것이다. 여기에서는 1.0pi 이상의 결함을 측정할 수 있는 정도의 계인으로 설정한 것이며, 0.8pi 이상의 결함을 측정하기 위해서는 현재 계인에서 2dB 정도 증폭하고, 0.5pi 이상의 결함을 측정하기 위해서는 7~8dB 정도 증폭하면 측정이 가능하나 이 때, 노이즈가 함께 증폭 되므로, 노이즈의 상태를 체크해서 측정 가능 여부를 결정해야 한다.

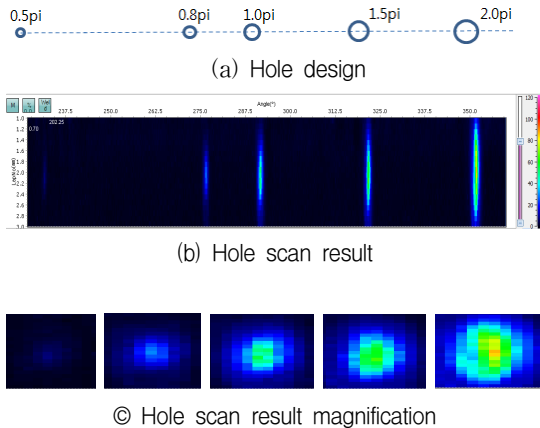


그림 9. UST 탐상
Fig. 9 UST inspection

3.2 깊이 측정용

워크의 용접 깊이에 해당하는 위치기준으로 용접 깊이가 변화를 예측할 수 있는 점검용 미용접 라인을 표현할 수 있는 샘플워크를 제작하였다. 이것을 마스

터 워크라고 하며, 용접하고자하는 깊이 기준으로 다양한 깊이를 비교할 수 있도록 결함을 설계 하고 제작하였다. 용접은 두 금속을 맞대어 열과 압력을 가해 고체 사이에 직접 결합되도록 접합시키는 것인데, 이때 용접의 양에 따라 두 금속이 맞대어 있던 면(압입면)의 길이가 다르게 되는 점을 이용하여, 용접의 깊이를 예상하게 된다. 용접의 깊이는 본 초음파 탐상기로 남은 압입면의 길이를 측정하여 연산할 수 있다. 그림 10은 그 설계와 제작한 마스터 워크 사진이며 그림 11은 초음파 탐상 스캔결과이다.

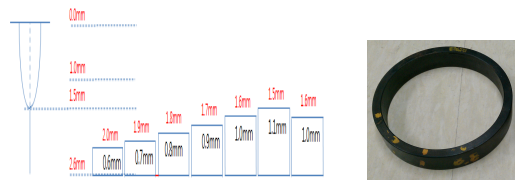


그림 10. 깊이 설계 및 마스터워크 사진
Fig. 10 Depth design and picture of master work

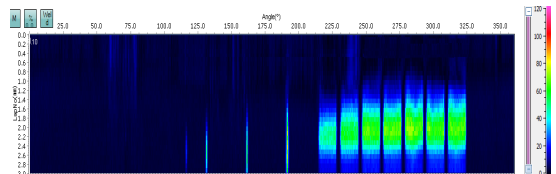


그림 11. 초음파 탐상 스캔결과(깊이)
Fig. 11. Scan result(depth) of USR

IV. 결 론

본 연구를 통하여 용접크랙 검사용비파괴 초음파탐상 자동화 검사장비 및 장비 검사용 마스터 워크를 개발하였다. 그 결과 개발 검사대상 제품의 초음파검사 영역 설계 작도 기술을 확보하였으며, 검사 대상 제품의 검사방안 및 표준화 (캘리브레이션)용 지그 설계 및 제작기술을 확보할 수 있었다. 뿐만 아니라 스캔검사 및 다양한 검사방법에 의한 검출 신호 데이터의 의미, 판단 기술, 검사제품의 형상, 특성 대상별로 필요한 센서의 설계 및 제작사양 결정방법 등을 확보할 수 있었다. 이외 에도 자동화 모션 제어와 계

측제어 프로그램간의 상호 통신, 설치 유지보수의 능력 확보와 다양한 시험기술과 데이터 분석 등의 기술을 축적할 수 있었다.

References

- [1] K. Kim, "Detection of Flaws in Ceramic Materials Using Non-Destructive Testing," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 5, no. 3, June 2010, pp. 321-326.
- [2] B. Whang, "The Measurement System of Space Charge Distribution in Polymer Dielectric Materials by the PEA Method," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 7, no. 6, Dec. 2012, pp. 1403-1411.
- [3] L. Janousek, K. Capova, N. Yusa, and K. Miya, "Multiprobe inspection for enhancing sizing ability in eddy current nondestructive testing," *IEEE Trans.* vol 44, no. 6, May. 2008, pp. 1618-1621.
- [4] Y. Park, "A study of Water Level Control System," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 5, no. 5, Oct. 2010, pp. 504-508.
- [5] J. Choi, "Study on the Development of Multi-Agents Position Tracking System Using Ultrasonic Transducers," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 8, no. 5, June 2013, pp. 725-731.
- [6] J. Choe, W. Cho, and I. Choy, "Ultrasonic Distance Measurement Method Based on Received Signal Model," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 12, no. 1, Feb. 2017, pp. 53-60.
- [7] T. Kim, N. Ko, and S. No, "Particle Filter SLAM for Indoor Navigation of a Mobile Robot Using Ultrasonic Beacons," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 7, no. 2, Apr. 2012, pp. 391-399.
- [8] K. Yoon, "Improved Localization Algorithm for Ultrasonic Satellite System," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 6, no. 5, Oct. 2011, pp. 775-781.
- [9] I. Choy, H. Jung, B. Yoo, and U. Kim, "Power Supply of Ultrasonic Phased Array for Focus Control of Acoustic Pressure," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 14, no. 1, Feb. 2013, pp. 137-146.
- [10] Y. Ko and W. Lee, "A Study on the Development of High-intensity focused Ultrasound Device for the Beauty Treatment Health Care," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 11, no. 12, Dec. 2016, pp. 1259-1264.

저자소개



채용웅(Yong-Yoong Chai)

1985년 8월 서강대학교 졸업 (공학사)

1991년 4월 Oklahoma State Univ. 졸업(공학석사)

1994년 12월 Oklahoma State Univ. 졸업(공학박사)

계명대학교 전자공학과 교수

※ 주 관심분야 : 초음파, DC-DC컨버터