

**쇼크흡소비용 피스톤로드의 열처리 NDE탐상을 위한 자동화시스템 개발**임광희^{a*}, 이형호^b, 김선규^c, 정종안^d, 조영태^e, 우용득^a, 장계림^f, 곽영환^g, 양인영^g**Development of Automatic Ultrasonic System for NDE Characterization on the Heat Treatment in Piston Rods for a Use of Shock Absorbers**Kwang-Hee Im^{a*}, Hyung-Ho Lee^b, Sun-Kyu Kim^c, Jong-An Jung^d, Young-Tae Cho^e
Yong-Deuck Woo^a, Gue-Lin Zhang^f, Young-Hwan Kwak^g, In-Young Yang^g^aDepartment of Automotive Eng., Woosuk University 443, Samrae-ro, Wanju-kun, Jeonbuk-do, 55338, Korea^bResearch Center, Taesan ENG Co., 126, Seogam-ro 3-gil, Iksan, Jeonbuk-do, 55338, Korea^cDivision of Mech. System Eng., Chonbuk Natl. University, 567, Backjedaero Duckjin-gu, Jeonju, Jeonbuk-do, 54896, Korea^dDept. of Mechanical and Automotive Engineering, Songwon University, 73, Songarm-ro, Nam-gu, Gwangju 33209, Korea^eDept. of Manufacturing Design Eng., Jeonju University, 303, Chunjam-ro, Wansan-gu, Jeonju, Jeonbuk-do, 55069, Korea^fResearch Center, HiMC, Co. Ltd. 817, Palbuk-dong 2-Ga, Iksan, Jeonbuk-do, 54842, Korea^gDepartment of Mechanical System Eng., Chosun University Graduate School, 309 Pilmun-daero, Dong-gu, Gwangju 61452, Korea**ARTICLE INFO***Article history:*

Received	20	July	2019
Revised	8	August	2019
Accepted	11	August	2019

*Keywords:*Ultrasonic wave
Piston rods
Surface ultrasonic wave
Heated treatment
Automatic system**ABSTRACT**

In general, piston rods can absorb both the shock and vibration to maintain the stability of moving automotive wheels; a high-frequency heat treatment is performed to guarantee their quality. Appropriate nondestructive techniques are required to monitor the degrees of this treatment. It is possible to quantitatively predict the beam profile behavior and the degree of heat treatment for the outer diameter of the piston rods by measuring the ultrasonic behavior of the rods through an automated ultrasonic system.

The results of this study demonstrated that the specimens underwent this treatment had a longer time-of-flight (TOF) than the specimens without it, indicating that it is possible to lower the surface ultrasound velocity. It was determined that the shock observer piston rod surface particles become both enlarged and oxidized owing to this treatment and that the surface wave velocity is affected by thermal oxidation.

1. 서론

자동차용 쇼크흡수버(댐퍼)는 차륜의 거동에 따른 충격을 흡수하여 편안함 승차감을 제공하고, 접지력을 확보하여 주행안정성을 확보하는 자동차의 부품이다. 이 피스톤로드에는 쇼크나 예기치 않은 외력을 흡수하는 중요한 댐퍼역할을 한다.

이 댐퍼의 감쇠력을 조절하여 성능과 고연비향상을 위한 경량화가 요구될 뿐 만 아니라 결함 및 런아웃 불량감소가 필요하다. 완성차 업체에는 쇼크흡수버중에 하나인 피스톤로드의 표면열처리를 보증할 수 있는 가공기술과 비파괴 검사기술이 필요하다. 제작 시에 쇼크흡수버의 피스톤로드의 표면에 고주파열처리 실시하여 경화를 시킨다. 고주파 열처리 깊이가 1 mm 내외가 된다. 이때 표면

* Corresponding author. Tel.: +82-63-290-1473

Fax: +82-63-290-1681

E-mail address: khim@woosuk.ac.kr (Kwang-Hee Im).

경도측정하기 위해 기계식 경도시험기로 측정한 후에 그 부품은 폐기하는 실정이다.

최근에는 재료의 물성치 평가를 위해서 비파괴기법인 초음파를 이용하여 속도, 감쇄, 공진(resonance)을 이용하여 적용하는 비파괴기법을 활용하고 있다^[1-3]. 비파괴 기법으로는 초음파신호인 펄스를 사용하여 음향 진행방향으로 진행되는 초음파 비행거리(time-of-flight)측정 및 양면(both-sided)이 검사가 가능한 시험편을 가공하여 시험편 두께 및 초음파 속도를 동시에 측정할 수 있는 방법을 제안하였다^[4-11].

한편 현장에서 산업용 파이프 배관에 있어서 내부 부식 및 크랙 등이 발생하여 파이프의 건전성 확보가 중요하다. 국내에서 제작되는 대형 선박은 건조 및 인도과정에서 용접결함 및 도막검사를 실시하며 이때 수작업 검사로 진행한다. 완벽한 검사가 불가능해 선주 신뢰도에 큰 영향을 미친다. 원격제어로 이동하며 자동으로 선체외판 용접부 결함 검사를 수행할 수 있는 수중 및 수상 공용 선체외판 초음파 이중금속 검사시스템을 개발하였다. 이 시스템은 원격제어를 통해 검사대상부위를 관측하고 검사를 수행하여 노후화 이중금속용접 검사시스템과 인공결함에 대한 그 적용사례를 제시하였다^[12].

초음파 용착기 공구의 수평측정을 위한 초음파 용착기 공구의 수평 측정장치에 있어서, 초음파용착기 공구를 가이드할 수 있는 다수의 가이드바를 형성한 초음파 용착기 공구 수평 측정장치 및 이를 이용한 수평 측정방법을 제시하였다^[13].

현재 국내에서는 파이프에 맞는 비파괴검사기법을 개발하고 있는 중이며 기계부품으로 발전설비인 탱크와 터빈의 용접부 검사를 자동화함과 아울러 일정한 검사 영역을 이동하면서 효과적으로 검사할 수 있을 뿐 만 아니라, 개발 소프트웨어를 이용하여 실시간으로 검사과정의 영상화, 용이한 데이터의 저장, 작업 현장에서 직접 해석, 보고서 작성 및 인쇄가 가능할 수 있도록 한 자동 초음파 탐상장치를 널리 활용을 하고 있는 실정이다^[14].

따라서 특히, 쇼크업서버용 피스톤로드의 대량검사를 위한 자동화 비파괴기법이 요구된다. 비파괴시험인 초음파 실험 시에 쇼크업소버 중에 하나인 피스톤로드를 가공하여 시험편표면에 초음파 트랜스듀서를 사용해 일방향(one-side direction)에서 피치-캐치 모드를 적용하였다. 이때 초음파 자동화 시스템을 구축하기 위하여 피스톤로드의 표면초음파 속도를 측정하고자 시범 시스템을 구축하여 모터가 1회전하여 채널별로 분류되어 메모리에 로딩되고 검사데이터의 디스플레이 및 모터를 자동으로 구동시켰으며 신속 및 정확하게 구현 가능하였다. 또한 피스톤로드에 직접 적용 될 개발된 피스톤 로드 열처리 평가 신호처리 평가 프로그램을 개발하여 피스톤로드의 표면경도를 측정하였다.

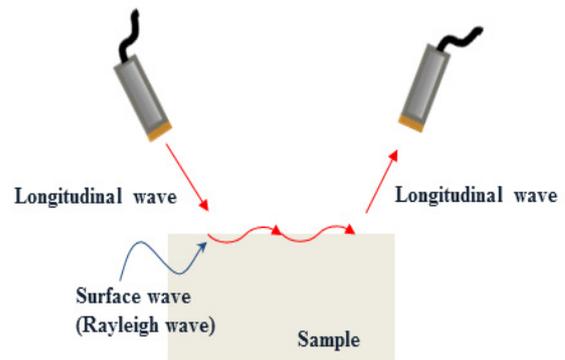


Fig. 1 Ultrasonic experimentation for generating surface waves in UT system

2. 초음파 원리

2.1 표면초음파 발생

본 실험에서 표면파(surface wave: Rayleigh wave)은 Fig. 1에서 나타난 바와 같이 액체 - 고체 경계면에서 초음파가 Rayleigh angle (입사된 초음파가 모든 초음파 에너지가 표면을 따라 Rayleigh 표면파로 변환되어 전파되는 입사각) 근처에 도달 하였을 때, 표면파가 발생하며 그 에너지가 고체 표면에 집중되어 전파하는 파를 말한다^[6].

그리고 표면파 발생 원리는 다음 (1)식과 같이 스넬의 법칙을 적용한다^[6].

$$\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} = \frac{\sin\theta'}{\sin\theta_2} = \frac{\sin\theta''}{\sin\theta_3} \frac{V_1}{V_2} \quad (1)$$

여기에서 θ_1 는 초음파의 입사각, θ_2 는 초음파의 굴절각, θ' 는 초음파의 1차 임계각, θ'' 는 초음파의 2차 임계각이며 V_1 및 V_2 는 매질과 강의 초음파속도이다.

Fig. 1에서 초음파를 입사시키면 종파(longitudinal waves)와 횡파(transverse waves)가 발생하는데 횡파의 임계각(critical angle)을 구하여 표면으로 보내면 표면파가 발생한다. 이때 쇼크업서버 피스톤로드의 고주파열처리깊이가 1 mm 내외이기 때문에 초음파 침투깊이를 결정하기 위하여 주파수를 결정한다^[6].

2.2 표면파 시뮬레이션

본 연구에서는 자동화 초음파시스템을 활용하기 위해서 2차 임계각을 통해 표면파를 발생시켜야한다. 이때 각 재료에 따라 2차 임계각을 구현하는 측면에서 시뮬레이션수행은 중요한 과정이다.

따라서 쇼크업서버용 피스톤로드에 표면초음파를 발생시키기 위해서는 초음파탐촉자의 임계각을 구하여 발생시킬 수 있다. 이

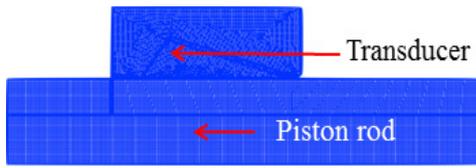
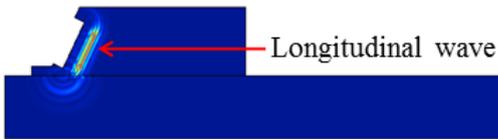
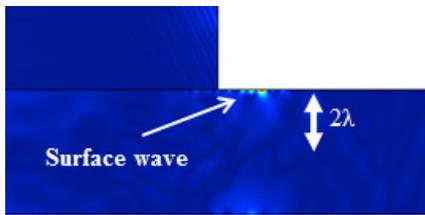


Fig. 2 Simulation configuration for generating surface ultrasonic wave



(a) Surface wave generation (2 μsec)



(b) Surface wave generation (10 μsec)

Fig. 3 Simulation modeling for the surface UT wave for the piston rods

때 초음파를 피스톤로드 표면에 발진하여 초음파거동을 분석하기 위해서 FEM (finite element method)를 이용하면 시뮬레이션을 수행하였다.

본 연구에서 FEM패키지를 이용하여 구조용강 등방성재료로 상정하여 표면과 거동을 구현하기 위해 초음파 탐촉자를 2.5 MHz를 이용하였다. 한방향에서 초음파를 피치캐치모드로 모델링을 하였다. Fig. 2는 쇼크업서버용 피스톤로드에 2.5 MHz 초음파를 발생시켜 표면과 발생여부를 확인하기 위해 수행하였다. 여기에서 COMSOL FEM 소프트웨어를 사용하였다. Fig. 3은 쇼크업서버용 피스톤로드에 표면과 발생거동을 나타냈다. Fig. 3의 (a) 및 (b)는 초음파가 발생한 후 2.0 μs 및 10.0 μs 후의 시뮬레이션을 구현하였다. 특히, Fig. 3(a)에서는 화살표방향에서 종파가 발생하며 하단부분은 피스톤로드로 하였다.

3. 실험시스템 및 측정

3.1 시험편

쇼크업서버중에 하나인 피스톤로드는 차륜의 충격 및 진동에너지를 흡수하는 댐퍼 측면에서 0.01 mm 이상의 정밀도가 필요하다. 피스톤로드의 내구력을 유지하기 위해서는 표면경화처리가 절실히 요구된다. 이 피스톤로드의 외경은 18 mm이고 최종길이는 ~390 mm이다. 여기에서 피스톤로드의 표면을 경화시키기 위해

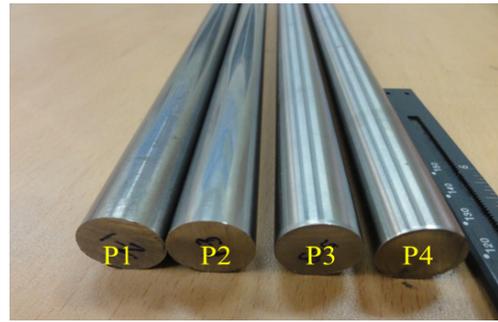


Fig. 4 Piston rods for the surface UT testing

Table 1 Piston rods under the high-frequency treatment

Samples	Rockwell hardness (HRV)	Transducers (MHz)	Diameters (mm)	others
P1	20 (non treated)	2.25	18.2	
P2	32	"	18.2	
P3	38	"	18.2	
P4	44	"	18.2	

표면에 고주파열처리(high frequency treatment)을 실시한다. 고주파 열처리후에 표면에서 대략 1.0 mm 전후까지 경화된다. 특히, 피스톤로드의 표면 열처리를 수행 시 과다에 의한 크랙 및 산화발생을 최소화 할 수 있는 최적화 조건을 구현하였다. Fig. 4는 본 연구에서 이용될 피스톤로드를 나타냈으며 시험편명을 P1, P2, P3, P4로 나타냈다. 그리고 Table 1은 시험편별로 특성을 나타냈다. 이 시험편은 참고문헌과 동일하다^[6].

3.2 자동화 초음파시험을 위한 지그

Fig. 5는 표면초음파를 이용해 피치캐치모드 기법을 나타냈다. 실험시에 초음파는 송신기(transmitting transducer)에서 발생하여 수신기(receiving transducer)에서 수신한다.

3.3 초음파 실험장치 및 방법

Fig. 5에 나타난 바와 같이 실험지그를 제작하였다

실험 방법은 수침조에서 사용되는 평면형 트랜스듀서를 이용하였으며, 파나메트릭스사의 5073PR인 스파이크 전압펄서/리시버를 이용하여 초음파를 발생시켰다. 시험편에 의한 RF파형을 소프트웨어를 제작하여 초음파시그널을 획득하고 컴퓨터에서 저장하였다. 오실로스코프의 한 기능으로 2개의 펄서 에코우파는 독립적으로 이동이 가능하며 스크린상에서 에코우파를 저장 및 비교하여 측정하는데 매우 편리하다. 이때 초음파속도를 구하기 위하여 Fig. 1과 같이 시험편에 피치-캐치를 이용하여 초음파 속도를 측정한다. 유사한 파형을 갖은 기준 시험편의 지연 주행시간(Δt : delay time-of-flight signal) 신호를 측정하여 시스템 상에 저장한다.

그리고 Fig. 6은 피스톤로드의 360도 전면을 특성평가를 평가를

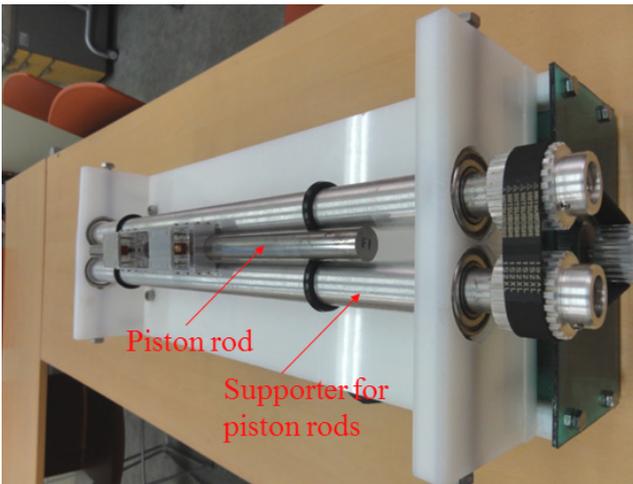


Fig. 5 Supports for measuring the surface ultrasonic wave speed on the piston rods

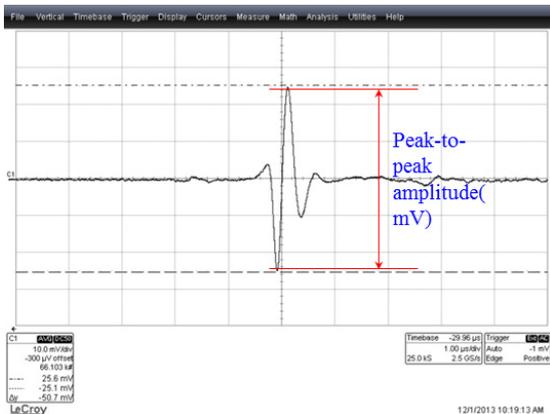


Fig. 6 Measurement method of peak-to-peak amplitude for the surface ultrasonic wave speed on the piston rods

위해서 피크 대 피크 진폭(peak-to-peak amplitude)을 측정하는 방법이다. 이때 피스톤로드의 각도별로 측정을 통하여 전면의 진폭의 프로파일을 구축할 수 있다. 표면초음파를 이용한 속도측정방법은 먼저 표면파를 측정하고 초음파 탐촉자를 이동하면 지연주행시간인, Δt 시간이 발생하게 된다. 이때 지연주행시간과 이동거리를 알면 표면초음파속도를 측정할 수 있다. 이때 2.5 MHz 초음파 탐촉자를 활용하여 피치-캐치 모드로 하였다. 그리고 초음파 탐촉자가 수신 가능한 범위를 찾았으며 초음파신호 측정 시에 노이즈 등이 많이 포함하고 있으므로 100번 평균하여 데이터를 얻었다.

4. 결과 및 고찰

4.1 피스톤로드의 초음파 특성

Fig. 7은 로크웰 경도값이 다른 피스톤로드의 초음파 피크 대 피크 진폭값을 5° 간격으로 나타냈다. 피스톤로드 P1은 열처리 하

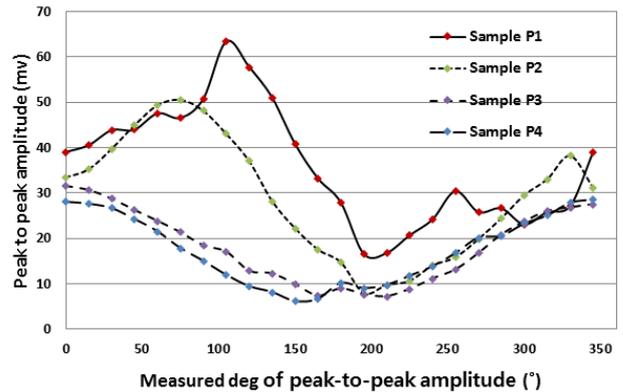


Fig. 7 Relationship between measured degree and peak-to-peak amplitude for the piston rods

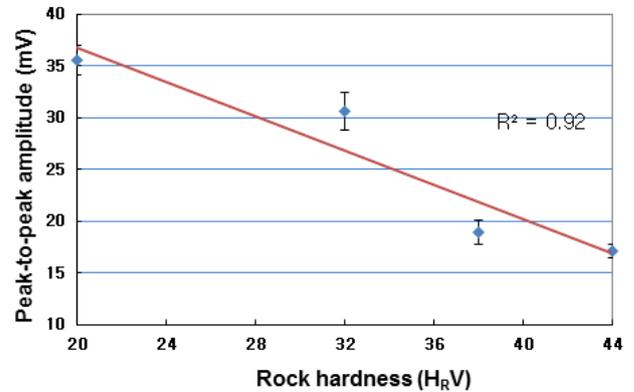


Fig. 8 Relationship between mean Rockwell hardness and mean peak-to-peak amplitude for the piston rods

지않은 경우인데 진폭이 전체적으로 높게 나타났다. 피크대 진폭이 0°에서는 나머지 시험편보다 높게는 나타났으나 50°를 넘어서는 오히려 시험편 P2보다 낮게 나타났고 300°가 넘어서도 낮게 나타났다.

피스톤로드 P2의 피크 대 피크 진폭인 시험편 P1에 비해 50°와 300° 근방에서는 다소 높게 나타났으나 전체적으로 피크 대 피크 진폭이 급격하게 감소하였다. 그리고 피스톤로드 P3의 피크 대 피크 진폭이 시험편 P2에 비해 급격히 감소하였으며 피스톤로드 P4의 피크 대 피크 진폭값이 시험편 P3에 비해 전체적으로 감소하였다. 그리고 각 시험편의 피크 대 피크 진폭값이 변이가 크게 나타났다. 이때 고주파열처리를 통해 시험편을 가공하면 피스톤로드의 위치 및 길이방향으로 경도값이 다소 차이가 난다. 이 차이는 피크 대 피크 진폭에 민감하게 반응하여 진폭값이 변이가 클 결과 판단 된다.

Fig. 8은 Fig. 7의 값을 평균치를 이용하여 로크웰경도값에 따른 피크 대 피크 진폭값을 비교 하였다. 여기에서 시험편의 로크웰경도값은 평균값은 활용하였다. 로크웰 경도 값이 증가함에 따라 피크 대 피크 진폭값이 감소하였다. 특히 열처리되지 않은 20 H_RV

Table 2 Variation of peak-to-peak amplitude for the function of angles of piston rods

Samples (H _R V, samples)	Peak-to-peak amplitude (mV)				others
	1	2	3	Average	
20 (P1)	34.02	36.91	35.72	35.55	2.25 MHz
32 (P2)	29.20	30.01	32.62	30.61	"
38 (P3)	18.61	19.71	18.11	18.81	"
44 (P4)	16.25	17.13	17.82	17.07	"

시험편 P1인 경우에 비해 32 H_RV 시험편 P2의 경우가 값이 급격하게 감소함을 확인 할 수 있었다. 나머지는 시험편경우는 피크 대 피크 진폭값이 크지 않음을 볼 수 있었다. 이는 쇼크옵서버 피스톤로드의 표면에 고주파열처리중에 표면 입자들이 확대와 스틸의 열적특성상 초음파 피크 대 피크대 진폭값에 영향을 미쳤다고 사료된다. 초음파 특성을 파악하기 위하여 피크 대 피크 진폭을 측정하기 위하여 Table 2에서 보는 바와 같이 고주파열처리가 되지 않은 시험편 P1과 고주파 열처리가 되어진 P2, P3, P4 시험편을 사용하였다. 이때 피크 대 피크 진폭은수집모에서 초음파의 피치 캐치 모드로 표면초음파를 획득하여 측정 및 비교하였다. 수집 초음파탐촉자는 2.25 MHz이며 크기는 12.7 mm이며 1, 2, 3은 3회의 실험횟수이며 average는 평균진폭값이다.

4.2 자동화 초음파시스템

피스톤로드의 표면초음파 속도를 측정하고자 시범 시스템을 구축하여 모터가 1회전하여 채널별로 분류되어 메모리에 로딩되고 검사데이터의 디스플레이 및 모터를 자동으로 구동 시킬 수 있어서 신속 및 정확하게 구현 가능하였다. 따라서 피스톤로드에 직접 적용 될 개발된 피스톤 로드 열변형 평가 신호처리 평가 프로그램을 개발하였다.

Fig. 9에서 보는 바와 같이 모터구동모듈(motion driving

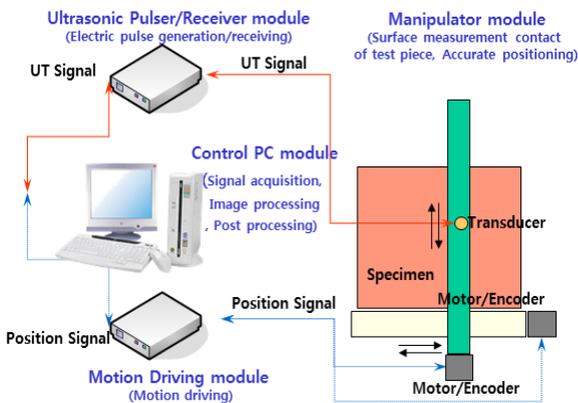


Fig. 9 Reconstruction of ultrasonic inspection system for defects in the piston rods

module)은 초음파 탐촉자를 구동하기 위한 모듈로 기존 자동 초음파 탐상장치의 기구부와 구동제어기(motion controller)를 대체한 모듈이 된다. 기존 자동 초음파탐상시스템은 초음파 탐촉자 이송 기구, 기구 드라이빙 모듈, 초음파 송수신 모듈 및 신호수집 모듈로 구성되어 있다. 특히 Fig. 9에서 보는바와 같이 모터구동 모듈은 시초음파 탐촉자의 이송기구에 의한 이송펄스기 이루어지도록 하는 역할을 하며 초음파 송수신 모듈(ultrasonic pulser/receiver module)은 전기적 펄스를 수신하여 아날로그 후처리 후 신호수집 및 후처리 모듈로 전송하는 역할을 하며 기구모듈(manipulator module)은 시험편 표면 접촉유지 및 정확한 위치표정역할을 하며 제어모듈(control PC module)은 신호수집 및 후처리과정이며 초음파신호를 디지털화 및 하드웨어를 제어한다. 초음파 송수신 모듈은 피검체 내부로 진행시킬 초음파를 발생시키기 위한 전기펄스를 출력하고, 초음파 탐촉자가 수신한 초음파 반사신호를 입력받아 디지털 가공한 후 제어모듈로 전송하고 초음파 모듈은 전자기 용 펄서/리시버와 AD보드로 구성된 독립모듈 형태를 유지 할 수 있다. Fig. 10은 쇼크옵서버용 피스톤로드의 검사를 위한 소프트웨어 구동 흐름도를 나타냈다.

제어 모듈은 실시간 운용되면서 각종 제어신호를 발생시키고, 신호처리와 이미지처리, 결과저장 등 후처리를 담당하도록 기반 플랫폼을 제공하며 초음파 모듈과 모터구동모듈을 통해 들어온 이동신호와 초음파 신호를 가공하고, 각 모듈에 적절한 제어신호를 내보내는 역할을 담당한다.

검사자에게 실시간으로 A-scan 이미지를 제공하고 저장된 데이터의 후처리를 통해 A-scan에 근거한 초음파A-scan 이미지를 제공 할 수 있다. 여기에서 A-scan 데이터는 오실로스코프에서 측정할 수 있는 시간 및 진폭을 이미지로 구현한 것이다.

Fig. 11은 쇼크옵서버 피스톤로드를 직접 비행주행시간(time-of-flight: TOF) 및 진폭을 측정할 수 있는 전체적인 소프트웨어이다.

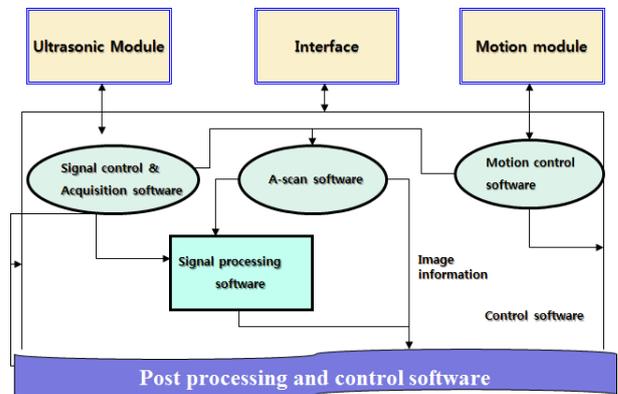


Fig. 10 Flow chart for software program for defects in the piston rods

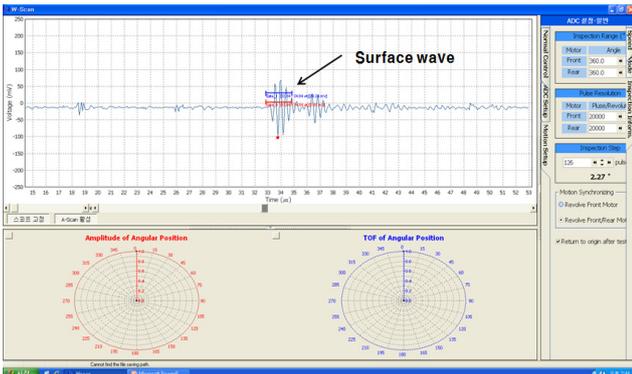


Fig. 11 Software for automatically measuring surface ultrasonic waves on the piston rods

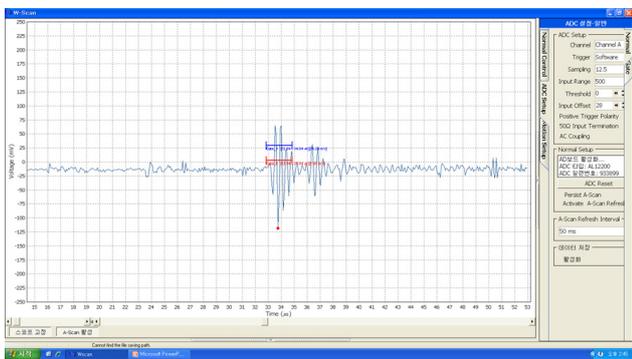


Fig. 12 Software for controlling A/D board in scanning the piston rods

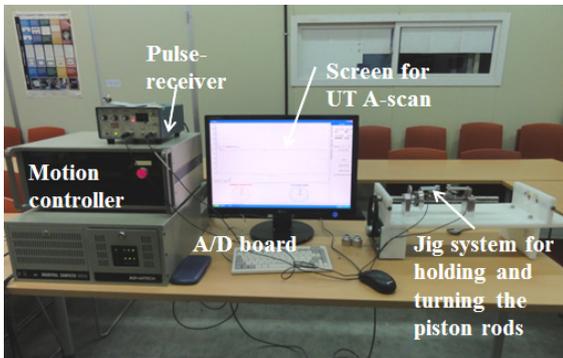


Fig. 13 Schematic system for the heat treatment in piston rods

Fig. 12은 A/D보드 및 모터를 구동하기 위한 소프트웨어이다. Fig. 13은 피스톤로드의 TOF 및 진폭을 360° 방향으로 측정할 수 있는 구축된 표면 초음파 시스템을 나타냈다. 실험 방법은 직접 접촉식인 평면형 트랜스듀서를 이용하였으며, 파나메트릭스사의 5073PR인 스파이크 전압펄서/리시버를 이용하여 초음파를 발생시켰다. 시험편에 의한 RF과형을 NI A/D보드를 사용하였으며 motion controller를 이용하여 5상 스텝모터를 구동하였다. 그리고 Fig. 5에서 보는 바와 같이 피스톤로드를 지지하기 위한 Jig를 개발하여 활용하였다.

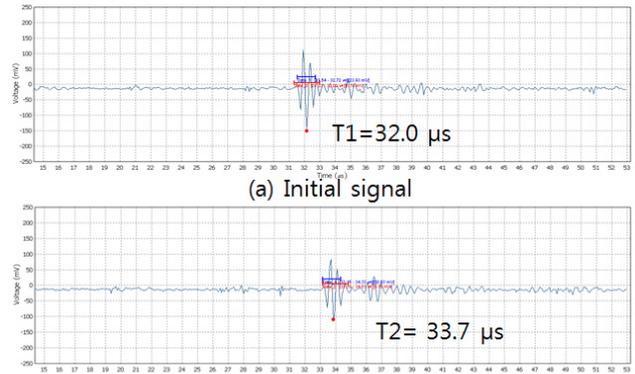
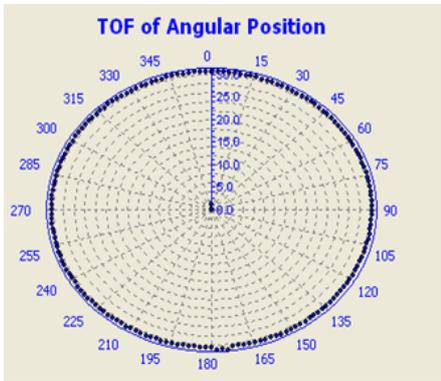
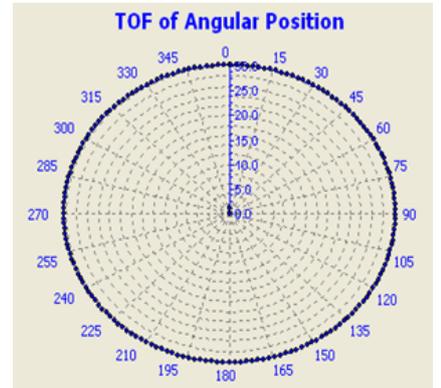


Fig. 14 Measuring surface wave in piston rods using the developed software



(a) HRV=20



(b) HRV=32

Fig. 15 Measuring 360 degree TOF amplitude in piston rods with different hardness (20 and 32) using the developed software

4.3 피스톤로드 자동화초음파시험

Fig. 13에서 보는 바와 같이 개발 된 표면 초음파 시스템을 검증 을 하기 위해 표면초음파속도를 Fig. 14와 같이 측정을 하였다. Fig. 14(a)은 처음 초음파신호이고 Fig. 14(b)는 5 mm 이동한 후 초음파 신호이다. 이때 표면 초음파 속도를 구한 결과는 2.9 μs/mm이다.

따라서 기존 참고문헌^[6]과 실험결과와 일치하여 적용가능하였다. Fig. 15는 H_RV 값이 20 및 32인 피스톤로드의 360° 방향으로 TOF값을 나타냈다. 이때 360도 프로파일데이터를 확인 할 수 있는 장점을 가지고 있다. 이때 H_RV 값이 20와 32인 피스톤로드의 데이터스텝을 2.0° 간격으로 나타냈다.

Fig. 15(a)와 (b)를 비교해 보면 피스톤로드의 360° 방향으로 전체적인 프로파일 데이터를 확인 할 수 있다. Fig. 15(a)은 열처리 하지 않은 시험편 P1의 경우이며 Fig. 15(b)은 열처리를 한 시험편 P2의 경우이다. 이때 시험편의 표면초음파의 비행주행시간(TOF) 기준으로 하여 A-scan 이미지를 구현하였다. 2가지 그림을 같은 척도로 절대값으로 나타냈다. 이 2가지를 비교해보면 Fig. 15(a)보다 Fig. 15(b)가 비행주행시간이 대략 0.5 μs 정도 길게 나타났다. 길게 나타나면 같은 조건하에서 표면초음파속도를 구하여 보면 초음파속도가 낮게 나타난다. 이는 쇼크업서버 피스톤로드의 표면에 강화시키기 위한 열처리로 인해 표면입자들이 조대하고, 로드스틸의 열적특성인 산화로 인해 표면파속도에 영향을 미쳤다고 사료된다.

5. 결론

일반적으로 쇼크업서버용 피스톤로드의 경화처리를 위해 고주파열처리 실시한 후에 경도측정하기 위해 기계식 로크웰 경도시험기를 사용하였다. 경도측정 후에는 피스톤로드의 폐기를 한다. 따라서 피스톤로드의 전수검사가 요구측면에서 다음과 같은 결론을 얻었다.

피스톤로드의 전면 프로파일 초음파 거동을 측정하기 위해서 자동화 초음파시스템을 이용하여 피스톤로드의 전면을 정량적인 진행 빔프로파일(*beam profile*) 거동예측과 열처리정도를 예측 가능하였다. 또한 피스톤로드의 로크웰 경도 값이 증가함에 따라 표면 초음파의 피크 대 피크 진폭값이 감소하였다. 특히 열처리되지 않은 20 H_RV 의 경도값을 갖은 시험편 P1인 경우에 비해 32 H_RV 의 경도값을 갖은 시험편 P2의 경우가 값이 급격하게 감소함을 확인 할 수 있었다. 이는 쇼크업서버 피스톤로드의 표면에 고주파열처리중에 표면 입자들이 확대 및 표면산화가 진폭값에 영향을 미쳤다고 사료된다.

쇼크업서버용 피스톤로드의 표면초음파 속도를 측정하고자 시범 시스템을 구축하여 모터가 1회전하여 채널별로 분류되어 메모리에 로딩되고 검사데이터의 디스플레이 및 모터를 자동으로 구동시킬 수 있도록 피스톤 로드 신호처리 평가 프로그램 개발이 가능하였다.

이어서 시험결과 고주파 열처리한 시험편이 열처리가 되지 않은 시험편보다 비행주행시간이 길게 나타나 표면 초음파속도가 낮게

나타난다. 이는 쇼크업서버 피스톤로드의 표면에 강화시키기 위한 열처리로 인해 표면입자들이 조대하고 로드스틸의 열적특성인 산화로 표면파속도에 영향을 미쳤다고 사료되며, 쇼크업서버용 피스톤로드의 최적의 경도기법을 FEM 시뮬레이션을 통하여 구현하였으며 추후 대량생산하는 생산라인에 직접적용이 가능하다고 판단된다.

후 기

본 과제는 2019년 한국산업단지공단(Human Resources Development Service of Korea (HRD Korea))의 생산기술사업지원사업인 이전기술사업에 의해 지원을 받았음.

본 과제 관련하여 기술이전부분인 중소기업청과 우석대학교 LINC의 결과물을 일부활용하였음.

References

- [1] Jeong, J. A., Hsu, D. K., Im, K. H., 2011, One-Sided Nondestructive Evaluation of Back-Side Wedge By Using Ultrasonic Sound, Journal of the Korean Society of Machine Tool Engineers, 20:6 773-777.
- [2] Goebble, K., 1980, Structure Analysis by Scattered Ultrasonic Radiation, Research Techniques in Nondestructive Testing, 4:4 30-38.
- [3] Hsu, D.K., Thompson, D. O., Thompson, R. B., 1986, Evaluation of Porosity in Aluminum Alloy Castings by Single-Sided Access Ultrasonic Backscattering, Review of Progress in QNDE, 5 1633-1642.
- [4] Im, K. H., Zhang, G. L., Choi, S. R., Ye, C. H. Ye, Ryu, J. S., Lim, S. H., Han, M. G., Hsu, D. K., 2011, One-Sided Nondestructive Evaluation of CFRP Composites By Using Ultrasonic Sound, Journal of the Korean Society of Machine Tool Engineers, 20:1 47-52.
- [5] Im, K. H., Hsu, D. K., Sim, J. G., Yang I. Y., Song S. J., 2003, On Fiber Orientation Characterization of CFRP Laminate Layups Using Ultrasonic Azimuthal Scanners, Journal of the Korean Society for Nondestructive Testing, 23:6 566-576.
- [6] Im, K. H., Back, C. G., Jong, O. S., Hwang, Y. H., Kwon, S. H., Kim, H. G., Lee, H. H., Woo, Y. D., Zhang, G. L., Jung, J. A., 2014, Evaluation of Ultrasonic Characterization of Hardness after Heat Treatment of Piston Rods for Use of Vehicles, Journal of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers, 23:1 48-55, <http://dx.doi.org/10.7735/ksmt.2014.23.1.048>.

- [7] Hsu, D. K., Allan Ayres, M., Guangda, M., Guangwen, M., 1994, Simultaneous Determination of Ultrasonic Velocity, Plate Thickness and Wedge Angle Using One-Sided Contact Measurements, *NDT & E International*, 27:2 75-82.
- [8] Hsu, D. K., Margetan, F. J., 1992, Analysis of Acousto-ultrasonic Signals in Unidirectional Thick Composites using the Slowness Surfaces, *Journal of Composite Materials*, 20:4 1050-1061.
- [9] Barnard, B. J., Peters, J. J., Hsu, D. K., 2005, Towards a Generic Manual Scanner for Nondestructive Inspection, *Review of Progress in QNDE*, 24 1669-1676.
- [10] Cho, S. H. 2010, A Study on MFL and EMAT Techniques for Intelligent Pig System for Inspection Gas Pipelines, A Thesis for a Doctorate, Sungkyunkwan University, Republic of Korea.
- [11] Silk, M. G., 1984, The Use of Diffraction Based Time-of-flight Measurements to Locate and Size Defects *British Journal of NDT* 26:1 208-213.
- [12] Ryu, S. W., Yoon, K. B., Jeon, G. M., Seong, U. H., 2016, Automatic Inspection Technology for Small Bore Penetration Nozzle in High Radiation Area of Nuclear Power Plant, *Journal of the Korean Society for Nondestructive Testing* 36:6 504-509.
- [13] Seo, J. S., Seo, O. S., 2008, Horizontal Measurement Device of Ultrasonic Welder Tool and Horizontal Measurement Method, KR Patent: 10-0851416.
- [14] DaeHanGumSa Co. Ltd., 2009, Automatic Ultrasonic Flaw Detector, KR Patent: 10-0884524.