

차량용 피스톤로드의 열처리경도에 따른 초음파특성 평가

임광희^{a*}, 백충걸^a, 정옥수^a, 황용훈^a, 권상혁^a, 김현구^a, 이형호^b, 우용득^a, 장계림^c, 정종안^d

Evaluation of Ultrasonic Characterization of Hardness after Heat Treatment of Piston Rods for Use of Vehicles

K.H. Im^{a*}, C.G. Back^a, O.S. Jong^a, Y.H. Hwang^a, O.S. Jong^a, S.H. Kwon^a, H.G. Kim^a,
H.H. Lee^b, Y.D. Woo^a, G.L. Zhang^c, J.A. Jung^d^a Dept. of Mechanical and Automotive Eng., Woosuk University, Samrae-up, Chonbuk, 565-701, Republic of Korea^b Research Center, Teasan ENG, 878 Palbong-dong, Iksan, Chonbuk, 570-300, Republic of Korea^c Research Center, HiMC, Co. Ltd. 817, Palbuk-dong 2-Ga, Chonbuk, 561-200, Republic of Korea^d Dept. of Mechanical and Automotive Engineering, Songwon University, Gwangju 502-210, Republic of Korea

ARTICLE INFO

Article history:

Received	13	October	2013
Revised	6	December	2013
Accepted	23	December	2013

Keywords:

Ultrasonic
Piston rods
Surface ultrasonic wave
Heated treatment

ABSTRACT

Many techniques are available for destructive and nondestructive measurement of mechanical hardness. The ultrasonic method could be widely applicable as a nondestructive technique. Many studies have examined how changes in the mechanical hardness affect the longitudinal velocity of ultrasonic waves. This approach aims to estimate the overall velocity variations in specimens. However, proper nondestructive examination techniques are needed as effective tools for analyzing the effects of heat treatment on the surface of the specimens. Therefore, in this study, the effect on the hardness of piston rods was nondestructively measured using surface ultrasonic waves. The hardness after heat treatment was investigated at various depths in the specimens, and the velocity of the surface ultrasonic waves was measured with respect to the hardness of the piston rods. In addition, finite element method simulations were performed to confirm the behavior of the waves.

1. 서론

자동차 쇼크업소버용 피스톤로드는 차량의 거동에 따른 충격 및 진동 에너지를 흡수하여 조정 안정성을 유지하고 안락한 승차감을 구현하기 위한 차량의 현가장치의 쇼크업소버 핵심부품이다. 또한 댐퍼의 감쇠력을 조절하는 피스톤을 구속하는 기능을 하고 있으며 최근에는 쇼크업소버의 성능 향상 및 연비 향상 등을 위한 경량화가 필요할 뿐 만 아니라 피스톤로드와 유사한 제조 공법으로 적용

되어진 드라이브샤프트 및 프로펠러 샤프트는 일부 제품에서 절손되어지는 결함 및 런아웃 불량 발생되어지고 있어, 자동차 메이커에서는 중공 피스톤로드의 열처리의 품질을 보증할 수 있는 제조 기술과 비파괴 진단 기술을 절실히 요구되어지고 있다. 특히, 피스톤로드의 표면 경화처리를 위해 고주파열처리 실시한다. 피스톤로드의 표면으로부터 깊이가 1 mm 정도까지 경도를 증가시킬 수 있다. 이 경도 측정을 하기 위해 기계식 로크웰 경도시험기로 실시하여 측정을 하며 이때 경도시험한 피스톤 로드는 폐기처리를 해야

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

Fax: +82-63-291-9312

E-mail address: khim@woosuk.ac.kr(K.H. Im).

한다. 현재 대기업에서는 모든 가공된 피스톤로드의 열처리 건전성에 대한 품질보증을 원하고 있는 실정이다.

이를 위해 비파괴기법인 초음파로써 재료의 물성치 평가를 위해서는 초음파 속도, 감쇄, 공진(Resonance) 등의 파라메타는 일반적으로 적용하는 비파괴기법이다¹⁻³⁾.

기존 연구를 보면 비파괴 기법인 초음파신호인 펄스를 사용할 때는 음향 진행방향으로 진행되는 초음파 비행거리(time-of-flight)는 그 시험편의 두께 및 속도를 결정하기 위한 요소이다. 이러한 초음파를 이용한 시험편 두께 측정하는 방법은 잘 알려져 있다. 또한 초음파 측정에 있어서 두께를 직접 측정하거나 또는 기계적인 방법으로 측정 할 수 있으며 공진방법(resonance method)을 초음파속도나 두께를 측정할 때 사용을 할 수 있다. 한편 양쪽면(both-sided)이 접근이 가능한 시험편을 상정하여 초음파 속도 및 두께를 동시에 측정 할 수 있는 방법을 개발하였다⁴⁾⁹⁾. 이러한 방법은 수침조나 스쿼터방법을 이용하여 실험실에 직접 적용이 될 수 있다. 가동 중인 터빈의 로터의 경우 키웨이, 디스크 휠 보어, 디스크 휠 도브테일 부위의 경우 접근성의 제한으로 접근이 불가능한 영역의 균열을 검출하고 평가하기 위해 초음파탐상법이 적용되고 있으며, 초음파 탐상법의 경우 주로 펄스-에코법(Pulse-Echo)이 주로 사용되고 있다. 그러나 일반 펄스-에코 법은 형상이 복잡한 터빈 로터의 경우 기하학적 형상으로 균열을 구분하기 어려움이 있으며, 여러 영향 변수들로 인해 결함의 정량적 정보인 크기와 종류를 결정하는 데는 어려움이 많아 결함 검출 및 평가의 정확성을 높이기 위해 초음파 결함신호로부터 결함의 정량적 정보를 얻을 수 있는 균열선단 회절신호(Crack Tip Diffraction), TOFD (Time-of-Flight Diffraction) 적용하고 있다¹⁰⁻¹¹⁾.

파이프 원형 배관에서 발생하는 결함의 종류는 외부 부식 및 균열 등이 발생하여 이 배관의 건전성 확보가 큰 이슈로 부각되고 있다¹¹⁾. 현재 국내에서는 파이프에 맞는 비파괴검사기법을 개발하고 있는 중이다. 특히, 결함방향이 축방향 및 원주방향을 고려하여 진행하고 있다. 사용 중인 PIG 시스템에 적용하고 있는 MFL 검사 기법은 배관 축방향으로 자화시켜 결함을 탐상하고 있다. 이때 자속의 방향과 수직인 방향인 원주방향으로 존재하는 결함과 배관 두께 감소 등의 결함 검출에는 우수하나, 자속 방향과 수평한 축방향의 결함과 응력부식균열의 주요 원인인 코팅 손상 등에 대한 결함 검출능이 떨어져 연구가 진행이 되고 있는 실정이다. 원통형 피스톤로드의 건전성 평가를 하기 위해 기계적인 로크웰방법이나 Eddy current 기법 등이 활발히 이용이 되고 있다. 그러나 피스톤로드의 정량적인 건전성데이터를 얻기 위해서는 피스톤로드의 특성에 맞는 비파괴기법이 요구된다.

한편 기계적 성질이 우수한 SM45C 봉재를 이용하여 마찰용접하여 용접부에 대한 접합특성이나 신뢰성을 고찰하여 마찰압력이

나 신간을 주요변수로 하여 용접변형이나 에너지소모를 최소화하는 연구진행이 되고 있다¹²⁾.

본 비파괴시험인 초음파 실험 시에 피스톤로드를 제작하여 시험편표면에 초음파 탐촉자를 이용해 일방향에서 피치-캐치 모드를 적용하였다.

이때 표면초음파(Surface ultrasonic wave)를 발생하게 하여 피스톤 로드 표면의 초음파를 지나가도록 하며 또한 피스톤로드의 열처리깊이를 고려하여 적절한 주파수를 갖는 초음파 탐촉자를 결정한다. 피스톤로드의 열처리 후에 로크웰경도 값과 표면초음파속도의 상관관계를 고려하였다¹³⁾.

따라서 본 연구에서는 피스톤로드의 일방향 피치-캐치방법인 표면초음파(Surface ultrasonic wave)용 실험장치를 제작하였다. 이를 이용해 피스톤로드의 표면 열처리 경도 값을 비교 및 평가하였으며 또한 안전설계와 초음파 거동측면에서 표면초음파(Surface ultrasonic wave)가 정량적인 빔프로파일(Beam profile) 시뮬레이션을 검토하여 초음파특성 평가 기법을 구현하였다.

2. 원 리

2.1 표면초음파

초음파 탐상시험은 소재, 부품, 기계, 구조물 등의 내재하는 결함을 비파괴적으로 검사하지만 소재의 물성치 특성을 검사 및 평가도 가능하다. Fig. 1(a)는 피스톤 로드에서 초음파송신자(T: transmitter)에서 초음파를 발생시켜 초음파 수신자(R: receiver)에서 수신하게 하는 기법이다. 이때 초음파 탐촉자의 경사각도를 조절하면서 피스톤로드 표면에 발생시켜야 한다.

이 원리는 다음 식 (1)과 같이 스넬의 법칙을 따른다.

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

여기에서 V_1 및 V_2 는 매질과 스틸의 초음파속도이다.

Fig. 1(b)와 같이 초음파를 입사시키면 종파(P)와 횡파(S)가 발생한다.

θ 각을 조절하면 스넬 법칙에 의해 Fig. 1(c) 와같이 종파가 표면으로 진행하는데 θ' 를 제1차 임계각이라 하면 Fig. 1(d)와 같은 θ'' 각으로 조절하면 종파는 표면위로 진행하게 되고 횡파만이 피스톤로드의 표면을 따라 진행하게 된다. 이 초음파를 물성치 비교 평가에 적용할 예정이며 이를 표면초음파라 일컫는다. 또한 θ'' 는 제2차 임계각이라 한다. 이때 피스톤로드의 표면열처리깊이가 1 mm 정도이기 때문에 열처리깊이를 구하여 초음파탐촉자의 주파수를 결정하게 된다.

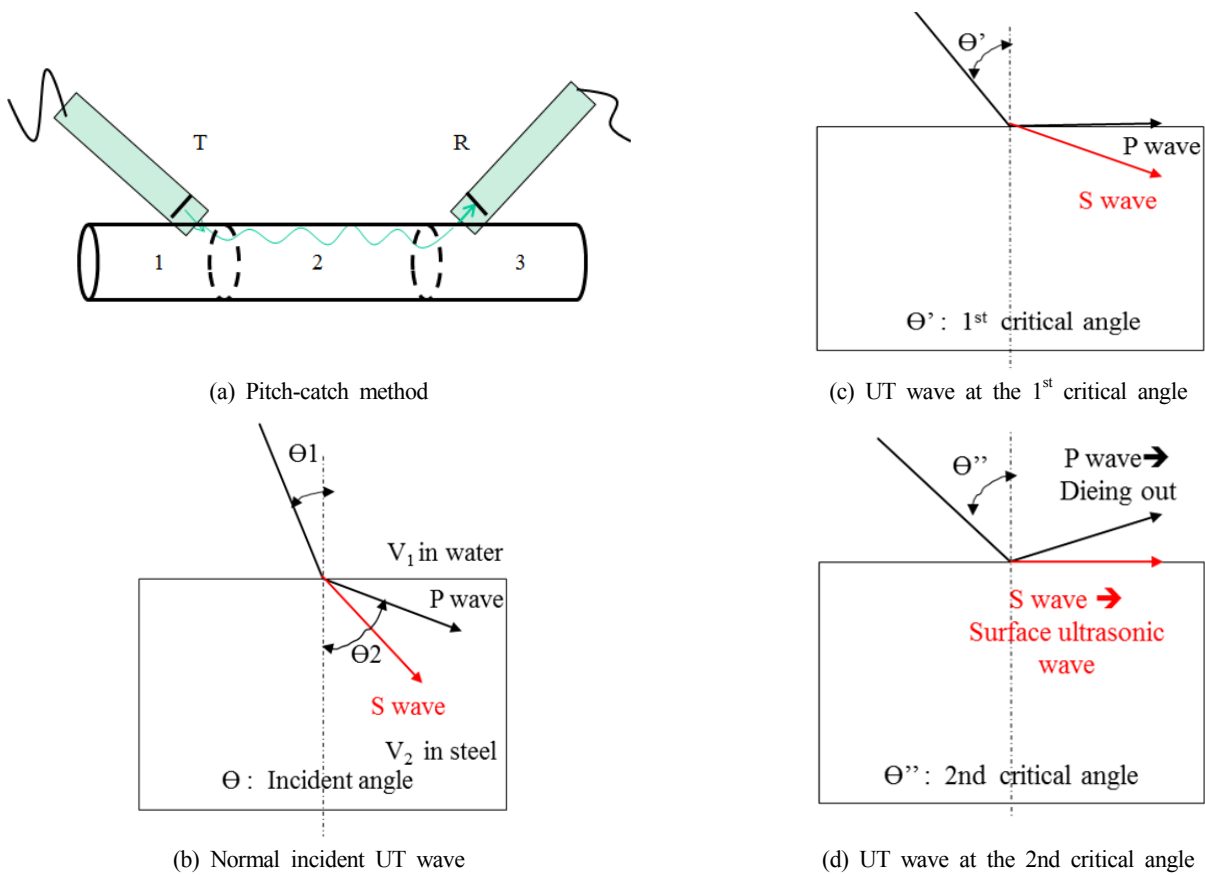


Fig. 1 Schematic diagram and generation principle for the surface ultrasonic wave

Table 1 Piston rods under the high-frequency treatment

Samples	Rockwell hardness (H _R V)	Transducers (MHz)	Diameters (mm)	others
A	20 (non treated)	2.25, 5	18.2	
B	32	"	18.2	
C	38	"	18.2	
D	44	"	18.2	

3. 실험

3.1 시험편

피스톤로드는 차량의 거동에 따른 충격 및 진동에너지를 흡수하여 조정 안정성을 유지하는 측면에서 0.01 mm 이상의 정밀도가 있어야 하고 또한 내구력측면에서는 피스톤로드의 표면이 열처리가 요구된다. 이 피스톤로드의 크기는 지름이 18 mm이고 길이는 390 mm이다. 특히, 피스톤로드의 표면 열처리를 하기위해 고주파 열처리(High frequency treatment)을 통해 표면에서 대략 1.0 mm 전후(고주파 유도 가열)까지 표면 열처리를 수행하는 부품으로, 고주파 유도 가열 및 냉각의 불균형에 따른 열처리 취성(입계)

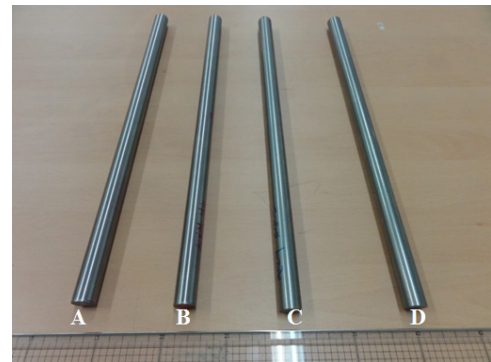


Fig. 2 Piston rods for thr surface UT testing

파면 과다에 의한 크랙 발생을 해소할 수 있는 열처리 조건 및 가열 코일의 최적화에 의한 고주파 열처리 기술을 적용하였다. Fig. 2는 본 연구에서 이용될 피스톤로드를 나타냈으며 시험편명을 A, B, C, D로 나타냈다.

3.2 표면 초음파지그

Fig. 4는 피스톤로드의 표면초음파 속도를 측정하기위한 지그이다. 기존 초음파 탐촉자를 직접 피스톤로드에 접촉을 하여 측정을

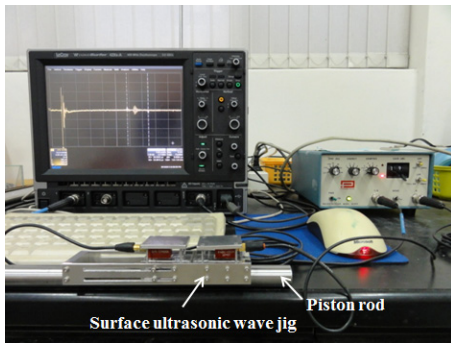


Fig. 3 Ultrasonic system for measuring the surface ultrasonic wave speed on the piston rods

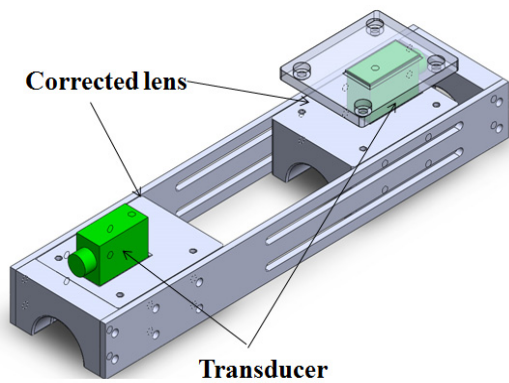
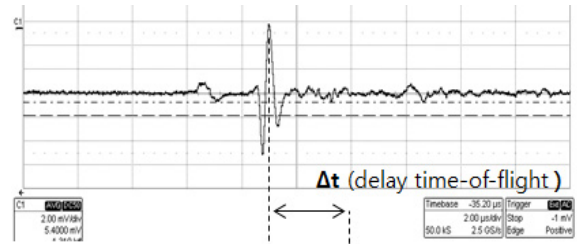


Fig. 4 Ultrasonic jig for measuring the surface ultrasonic wave speed on the piston rods

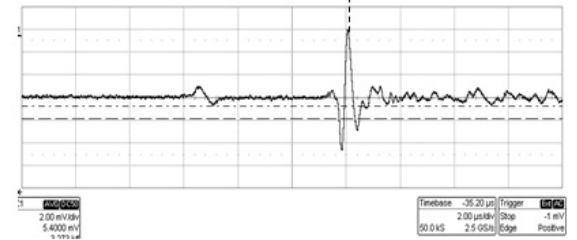
하면 파형의 진폭이나 불안정성으로 인해 어려움이 있다. 먼저 피스톤로드가 원형으로 이루어져 있기 때문에 원통표면에 맞는 플락시글라스(Plexiglass)를 사용하여 교정렌즈(Corrected lens)용으로 정밀가공하였다. 이는 초음파 감쇄가 현저히 줄어들기 때문이다. 또한 이 지그는 손쉽게 이동을 할 수 있을 뿐 만 아니라 피스톤로드의 360도 전면을 측정할 수 있는 장점도 가지고 있다. 초음파 탐촉자가 상이한 경우에는 교정렌즈만 가공하면 쉽게 이용이 가능하다.

3.3 실험장치 및 방법

Fig. 3은 실험장치를 나타냈다. 실험 방법은 직접 접촉식인 평면형 트랜스듀서를 이용하였으며, 파나메트릭사의 5073PR인 스파이크 전압펄서/리시버를 이용하여 초음파를 발생시켰다. 시험편에 의한 RF파형을 Oscilloscope (Wave Surfer (42Xs-A))에서 획득하고 컴퓨터에서 저장하였다. 오실로스코프에서 2개의 펄스에코우파는 독립적으로 이동이 가능하며 스크린상에서 에코우파를 저장 및 비교하여 측정하는데 매우 편리하다. 이때 초음파속도를 구하기 위하여 Fig. 5는 시험편에 피치-캐치를 이용하여 초음파 속도를 측정할 전형적인 예이다. 유사한 파형을 갖은 기준 시험편의

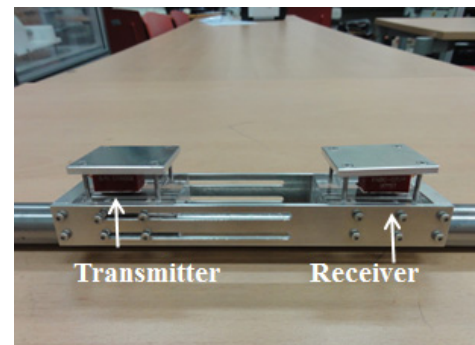


(a) Initial surface ultrasonic wave

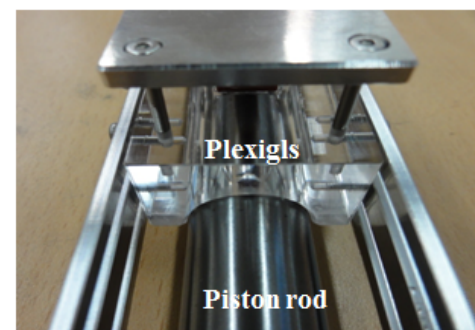


(b) Surface wave ultrasonic wave after some moving

Fig. 5 Typical example when measuring the surface ultrasonic wave speed on the piston rods (5 MHz, 10 mm movement)



(a) Jig overview for generating surface ultrasonic wave



(b) Plexiglas jig on the piston rods

Fig. 6 Over view of jig for generating the surface ultrasonic wave speed on the piston rods

지연 주행시간(Δt : Delay time-of-flight signal) 신호를 측정하여 시스템 상에 저장한 것이다. 이때 Fig. 5(a)와 같이 표면초음파를 측정할 다음 일정거리를 이동하게 되면 Fig. 5(b)와 같이 지연주행

시간인, Δt 시간이 발생하게 된다. 이때 지연주행시간과 이동거리를 일면 표면초음파속도를 측정할 수 있다. 이때 5 MHz 초음파 탐촉자를 활용하여 피치-캐치 모드로 하였으며 지연주행시간을 구하기 위한 이동거리는 10 mm이다.

Fig. 6에서 보이는 것과 같이 사용된 초음파 탐촉자는 2.25 MHz, 5 MHz 주파수를 갖는다. 초음파탐촉자를 지지하기가 어렵기 때문에 Fig. 6(a)와 같이 표면초음파 탐촉자를 쉽게 고정할 수 있을 뿐 만 아니라 스크류로 충분히 고정할 수 있어 시험하는데 탄력적이면 재현성도 매우 우수하다. 이때 초음파 지연주행거리를 측정하는데 피스톤로드의 여러 곳에서 가능하기 때문에 충분히 평균데이터를 획득할 수 있다. 또한 Fig. 6(b)를 보면 피스톤로드위에 플락시글라스(Plexigls)를 사용했기 때문에 초음파 감쇄나 빔퍼짐 등을 최소화 하였다. 또한 감쇄 등이 크게 발생 하지 않도록 탐촉자가 수신가능한 범위를 찾았으며 초음파신호 측정 시에 노이즈 등이 많이 포함하고 있으므로 100번 평균하여 획득하여 평가하였다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1 피스톤로드 로크웰경도

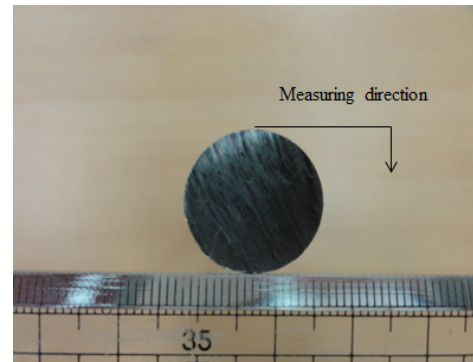
피스톤로드 표면이 고주파열처리가 되기 때문에 경도변화한다. 이때 표면과 내부의 경도가 차이가 발생한다. 이 깊이방향을 케이스깊이(Case depth)라 한다. 이때 케이스깊이에 따라 경도측정을 실시하였다.

Fig. 7(a)는 피스톤로드의 단면사진을 나타냈으며 경도측정방향은 화살표방향으로 0.1 mm간격으로 측정을 하였다. Fig. 7(b)는 피스톤 로드 단면의 로크웰경도(Hardness) 값과 케이스 깊이(Case depth)인 0.1 mm 간격으로 측정값의 상관관계를 나타냈다. 이때 0.1부터 0.7 mm 까지는 경도값이 크게 변화는 없지만 0.8 mm가 되면서 다소 감소하였으나 최소 케이스 깊이인 1 mm까지는 고주파열처리의 영향부인 경로 판단된다.

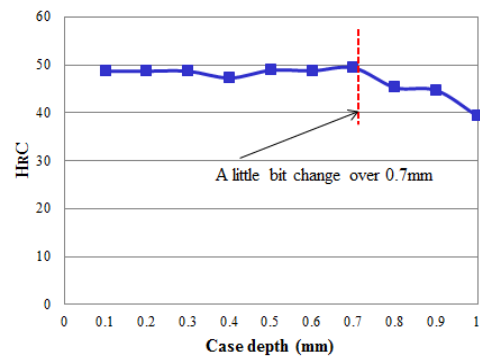
4.2 표면초음파와 로크웰경도

피스톤로드는 고주파열처리가 이루어지기 때문에 표면만 경도변화를 가져오게 된다. 특히, 이 열처리는 고주파 유도 가열을 통해 표면에서 1.0 mm 구간 (고주파 유도가열)까지 표면 열처리를 수행하는 부품으로, 고주파 유도 가열 및 냉각의 불균형에 따른 열처리 취성(입계) 과면 과다에 의한 크랙 발생을 해소할 수 있는 열처리 조건 및 가열 코일의 최적화에 의한 고주파 열처리 기술이 적용되었다 (태산ENG Co. Ltd.). 표면초음파는 재료의 표면을 따라 진행하기 때문에 경도값에 따라 표면초음파속도와 상관관계를 나타낼 수 있다.

본 연구에서 표면초음파 탐촉자의 주파수를 2.25 MHz와 5.0 MHz 2가지를 사용을 하였으며 로크웰경도값이 다른 피스톤로드를 4가지종류를 사용하였다. Fig. 8은 2.25 MHz 주파수를 갖는 초음파탐촉자를 이용해 표면초음파속도와 로크웰경도와의 상관관계를 나타냈다. 고주파열처리가 되지 않은 피스톤로드의 표면초음파속도는 대략 2.98 mm/ μ s정도 나타났으며 로크웰경도값이 제일



(a) Measuring Rockwell hardness every step of 0.1 mm for the outer side of the piston rod



(b) Relation between Rockwell hardness and case depth of the piston rod

Fig. 7 Crosssection and Rockwell hardness over case depth in the piston rods

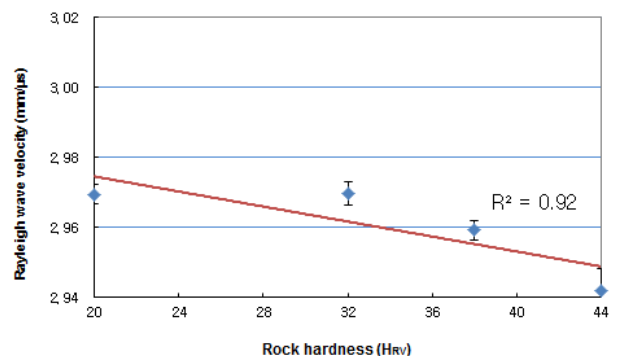


Fig. 8 Relation between Rockwell hardness and surface wave velocity on the piston rods using transducers with 2.25 MHz

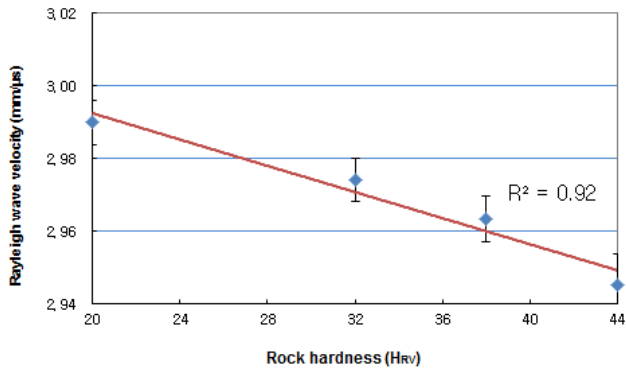


Fig. 9 Relation between Rockwell hardness and surface wave velocity on the piston rods using transducers with 5.0 MHz

Table 2 Specifications on piston rods under the surface ultrasonic wave speed

Ultrasonic transducers (MHz)	Rockwell hardness (HRV)	Surface ultrasonic wave speed (mm/μs)	λ (wave length, mm)	Others
2.25	20(A)	2.969	1.237	
	32(B)	2.969	1.234	
	38(C)	2.959	1.231	
	44(D)	2.942	1.226	
5.0	20(A)	2.975	0.602	
	32(B)	2.972	0.595	
	38(C)	2.960	0.591	
	44(D)	2.946	0.589	

높은 피스톤로드는 2.94 mm/μs 정도 나타났다. 대략 0.7% 정도 감소한 것으로 나타났다. 각각 데이터를 100번 평균하여 측정 후 표면초음파속도값에 표준편차를 적용해 나타났다. Fig. 9은 5.0 MHz 주파수를 갖는 초음파탐촉자를 이용해 표면초음파속도와 로크웰경도와의 상관관계를 나타냈으며 고주파열처리가 되지 않은 피스톤로드의 표면초음파속도는 대략 2.97 mm/μs 정도 나타났으며 로크웰경도값이 제일 높은 피스톤로드는 2.94 mm/μs 정도 나타났다. 2.25 MHz 초음파 탐촉자를 이용한 것 보다 2배정도인 1.7% 정도 크게 감소한 것으로 나타났다. 이는 피스톤로드의 표면에 고주파열처리 과정에서 입자들이 확대와 스틸의 열적특성상 표면 초음파속도에 영향을 미쳤다고 사료된다. 또한 2.25 MHz 초음파탐촉자를 사용하는 것보다 5.0 MHz 초음파탐촉자를 사용하는 경우가 표면초음파속도의 감소폭이 크게 나타났다.

이는 5.0 MHz 초음파탐촉자의 파장길이가 0.6 mm이기 때문에 Fig. 7(b)에서 나타난바와 같이 고경도의 고주파열처리 영역이내이다. 순수 고주파열처리 영역내에서 표면초음파속도의 영향을 평

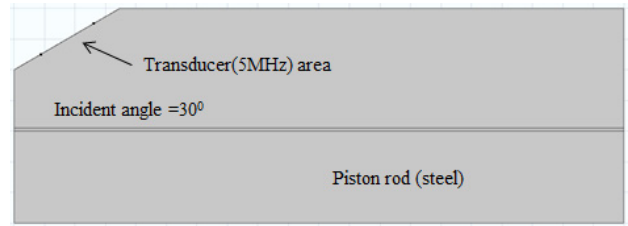


Fig. 10 Simulation configuration for generating surface ultrasonic wave

가 할수 있기 때문이다. 그러나 2.25 MHz 초음파탐촉자의 경우는 파장길이가 대략 1.23 mm 이기 때문에 피스톤로드의 고주파열처리부분과 비열처리부분과 같이 동시에 표면초음파가 진행을 한다.

이 때문에 일부의 비열처리 부분이 표면초음파속도에 영향을 미치기 때문에 대략 1.0% 정도로 차이가 나타났다.

따라서 5.0 MHz 초음파탐촉자를 사용하면 고주파열처리된 피스톤로드의 순수 열처리영역이내에서 표면초음파가 진행하기 때문에 열처리에 따른 경도값에 따라 차이가 크게 나타나기 때문에 적용 및 응용이 매우 높다고 판단된다.

그리고 Table 2에는 2.25 및 5.0 MHz 주파수를 갖는 초음파탐촉자의 제원을 나타냈다.

4.3 시뮬레이션

본 연구에서는 차량용 피스톤로드표면에 표면초음파를 발생시키기 위해서는 초음파탐촉자의 최적입사각을 찾아 조절하면 가능하다. 이때 표면초음파 거동을 평가하기위해서 초음파 전파는 FEM (Finite Element Method)를 이용하면 시뮬레이션을 할 수 있다.

본 FEM패키지를 이용하여 완전 등방성 재료 가정하여 피스톤로드 표면에 표면초음파 거동을 구현하기 위해 초음파 탐촉자를 5 MHz를 이용하여 일방향에서 피치캐치 방법으로 모델링을 하였다. Fig. 10은 피스톤로드에 5 MHz 초음파를 발생시켜 피스톤로드에 표면초음파 발생여부를 확인하기 위해 수행하였다. 이때 FEM 소프트웨어는 COMSOL Version 4.3b를 사용하였다. 스틸의 영계수는 $21 \times 10^{10} \text{ pa}$ 이며, 포와송비는 0.29이며, 밀도는 $7,850 \text{ kg/m}^3$ 이며, 종파속도는 5,890 m/s, 파장길이는 0.60 mm이다. 입사초음파는 등방성재료에 투과하는 것을 $(1 - \cos(2\pi ft/3)) \cos(2\pi ft)$ ($t \leq 3.0/f$)로 가정하여 구현 하였다. 모델형상은 임의의 크기를 갖는 종파 전파를 이용하였다. 메시는 $\frac{\lambda}{10}$ (λ : 파장) 기준으로 설정하였으며 FEM 모델링과 사각형 메시를 생성하기 위해 $\frac{\lambda}{10}$ 로 하여 노이즈 수준을 낮추었다. 그리고 Fig. 11은 피스톤로드에 표면초음파 발생거동을 나타내기 위해 FEM 시뮬레이션을 각각 나타냈다. Fig. 11의 (a), (b), (c) 및 (d)는 초음파가 발생한

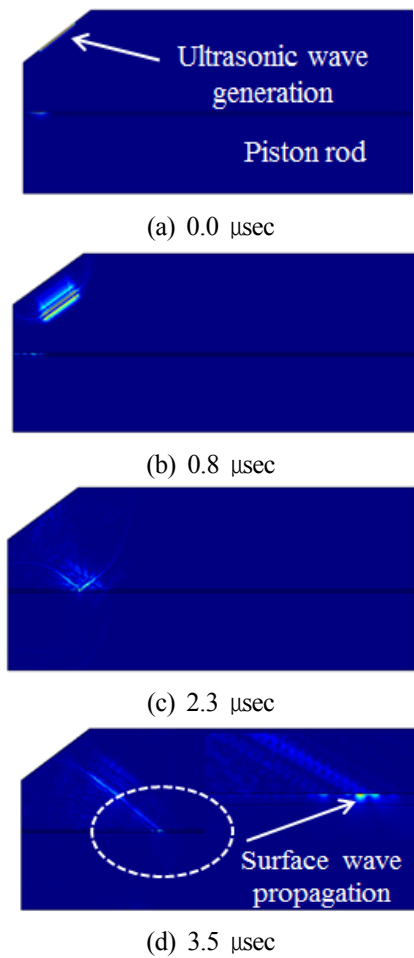


Fig. 11 Simulation for generating surface ultrasonic wave using transducers with 5.0 MHz

후 0.0 μ s, 0.8 μ s, 2.3 μ s 및 3.5 μ s 후의 시뮬레이션을 나타냈다. 특히, Fig. 11(a)에서는 화살표방향에서 종파 초음파가 발진하게 하였으며 밀부분은 피스톤로드로 가정하였다.

Fig. 11(b)는 초음파가 발생하였고 Fig. 11(c)는 초음파가 피스톤로드에 접촉하고 있으며 이때 모드변환(Mode conversion) 발생하여 Fig. 11(d)와 같이 표면 초음파가 발생함을 확인 할 수 있었으며 여기에서 원형 점선을 확대하여 화살표방향에 표면초음파의 거동을 나타냈다.

5. 결론

고주파열처리된 피스톤로드는 차량의 거동에 따른 충격 및 진동에너지를 흡수하여 조정 안정성을 유지하고 안락한 승차감을 구현하기 위한 차량의 현가장치의 쇼크업소버 핵심부품으로 열처리의 품질을 보증할 수 있는 제조기술과 전수 검사 측면에서 비파괴 진단기술이 절실히 필요하다.

특히, 피스톤로드의 표면 경화처리를 위해 고주파열처리 실시한다. 이는 경도측정을 하기 위해 기계식 로크웰 경도시험기를 활용하여 측정 후 피스톤 로드 of 폐기 및 전수검사가 요구측면에서 결론을 다음과 같다.

- (1) 피스톤로드를 제작하여 표면초음파를 시험편표면에 발생시키기 위하여 실험과 시뮬레이션을 통하여 최적의 시험조건을 구현하였다.
- (2) 고주파열처리 후 피스톤 로드 of 로크웰경도 정도여부를 평가하기 위해 케이스 깊이를 0.1 mm 간격으로 1.0 mm까지 측정하였다. 이때 0.7 mm까지는 크게 변화는 없었지만 0.8 mm 이상에서는 다소 감소하였지만 1.0 mm 까지도 대략 로크웰경도 40정도가 나타났다.
- (3) 피스톤로드 of 표면 열처리 정도를 평가하기 위해서는 표면초음파 of 파장(λ)를 고려하여 초음파탐촉자 of 주파수를 결정해야한다. 특히, 고주파열처리된 안정적 깊이는 대략 0.7 mm 인 것을 고려하면 0.7 mm이내 파장을 갖는 5.0 MHz 주파수를 초음파 탐촉자 of 적합하다고 판단된다.
- (4) 초음파가 진행할 때 2.25 MHz 초음파탐촉자 of 경우는 파장 길이가 대략 1.23 mm 이기 때문에 피스톤로드 of 고주파열처리부분과 비열처리부분과 같이 동시에 진행하여 대략 1.0% 정도로 차이가 나타났지만 5.0 MHz 초음파탐촉자를 사용하면 순수 열처리영역이내에서 표면초음파가 진행하기 때문에 2배 정도인 1.7%차이가 발생했다.
- (5) 초음파 거동측면에서 피스톤로드 of 표면초음파(Surface ultrasonic wave)가 정량적인 진행 빔프로파일(Beam profile) 시뮬레이션을 검토하여 초음파활용이 가능하였다.

후 기

이 연구는 우석대학교 LINC 사업단의 산학협력공동기술개발에 의해 지원 받았음.

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] Gruber, J. J., Smith, J. M., Brockelman, R. H., 1988, Ultrasonic Velocity C-scans for Ceramic and Composite Material Characterization, Mater Eval 46 90-96.
- [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, Doctorate Thesis, 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] Min, B. H., Choi S. H, Kang, J. S., Lee, H. H., Min, T. K., 2008, A Study on the Friction Welding of SM45C/SM20C-Pipe Which Used in the Light Piston-Rod, Journal of the Korean Society of Machine Tool Engineers 17:4 42-50.
- [13] Park, J. W, Im, K. H., Hsu, D. K., Jung, J. A., Yang, I. Y., 2012, Pitch-catch Ultrasonic Study on Unidirectional CFRP Composite Laminates Using Rayleigh Wave Transducers, J. of Mechanical Science and Technology 26:7 2147-2150.