

# 비파괴법에 의한 선박용 디젤엔진 배기밸브의 열화도 평가에 관한 기초적 연구

## Fundamental Study on Degradation Evaluation of Marine Diesel Engine Exhaust Valve by Nondestructive Test

심규현 · 김현수 · 남기우

K. H. Sim, H. S. Kim and K. W. Nam

**Key Words** : Ultrasonic(초음파), Degradation Time(열화시간), Exhaust Valve(배기밸브), Nondestructive Test(비파괴검사), Marine Diesel Engine(선박용 디젤엔진)

**Abstract** : The ultrasonic method, which is well known as nondestructive test method, is widely used to evaluate the material damage due to degradation. However, this method is just used for measuring the crack size and the thickness loss of the tube. The purpose of this study is to investigate the applicability of the ultrasonic technique for the evaluation of marine diesel engine exhaust valve and to suggest the correlations between the ultrasonic characteristics and valve degradation.

From the evaluation of the results obtained, the technique of using the ultrasonic property was found to be an efficient method to evaluate the degree of marine diesel engine exhaust valve by nondestructive test.

### 1. 서 론

저속 대형 디젤 기관은 대부분 2사이클로서 높은 효율을 위하여 uniflow 소기방식 중 밸브배기공 소기형을 채용하고 있다. 이들 엔진은 열효율을 높이기 위해서 고온·고압의 연소 분위기에서 운전되어 배기밸브는 항상 500℃~600℃ 정도의 고온가스와 접하고 있으며, 특히 최근에 사용되는 연료유가 저질화 됨으로서 배기밸브는 더욱 가혹한 환경에서 사용되고 있다<sup>1)</sup>.

그리고 대형 단일밸브의 사용으로 인한 밸브의 대형화는 밸브 개폐시의 관성력이 증대하고 그 충격에 의하여 시트페이스와 밸브시트의 손상이 발생하기 쉽고 열에 의한 밸브의 단립상태가 불완전하여 손상을 촉진하게 된다. 이와 같이 배기밸브는 엔진부품 중에서 가장 손상이 심한 부품중의 하나이다.

고온에서 사용되는 부품의 경년열화 손상평가에 주로 이용되고 있는 경도법, 전기저항법 등은 측정범위가 매우 제한적이고, 시험결과 산출에 많은 시간과 비용이 요구되며, 측정변수의 해석이 어려워 시험결과에 대한 신뢰성이 낮아 현장적용의 어려움이 수반되고 있다. 따라서 비파괴평가 기법으로 간편한 측정, 높은 측정감도, 측정결과 산출의 신속성 및 신뢰성 향상의 점에서 무한한 잠재력을 가지고 있는 초음파를 이용한 재질열화 평가법이 강력히 요구되고 있다.

현재 초음파 평가기법을 도입한 경년열화 평가는 고온·고압 상태에서 발생하는 크리프 결합검출에만 주로 한정되어 있고, 이와 같은 선박용 배기밸브 재질열화의 정량적 평가에 관한 연구보고는 거의 없는 실정이다<sup>2-12)</sup>.

본 연구에서는 선박용 디젤엔진 배기밸브의 사용시간에 따른 재질의 열화정도를 평가하기 위하여 밸브의 사용시간에 따른 재질의 열화 정도를 평가하기 위하여 초음파의 주파수특성을 이용한 비파괴평가 방법의 적용 및 평가기술의 타당성에 대한 기초적인 연구를 수행하였다.

접수일 : 1999년 6월 14일  
심규현 : 부산 해사고등학교  
김현수 : 부경대학교 대학원 재료공학과  
남기우 : 부경대학교 재료공학부

## 2. 재료 및 실험방법

본 실험을 위하여 선정된 재료는 선박용 디젤엔진 기관에 사용되는 배기밸브(스텝부분 : STR 3, 시트 부분 : STR 37)로서, 상업용 소재이다. 그 화학성분을 Table. 1에 나타내었다. 그리고 배기밸브의 열화특성을 조사하기 위하여 시험재를 Table 2에 나타낸 조건으로 인공시효 열처리시켰다. 사용한 배기밸브(a)와 배기밸브의 스텝부분에서 초음파 시험을 위하여 제작된 시험편(b)의 모식도를 Fig. 1에 나타내었다.

Table 1 Chemical compositions of diesel engine exhaust valve used

	C	Si	Mn	Cr	Co	Mo	Ni	N	Fe
STR 37	0.20	1.00	1.30	21.0	-	-	11.0	0.40	Bal.
STR 3	0.40	2.29	0.36	10.4	-	0.86	-	-	Bal.
Coating Layer	-	16.6	-	28.8	bal.	-	-	-	4.31

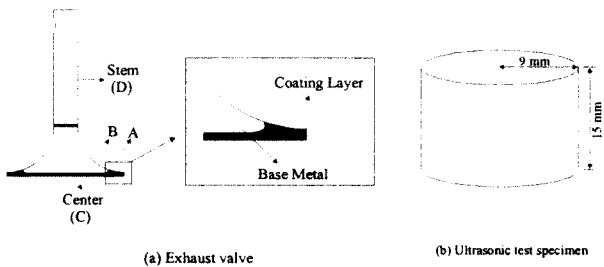


Fig. 1 Schematic diagram of exhaust valve and specimen used

Table 2 Heat treatment conditions of diesel engine exhaust valve used

	Heat treatment (°C/hr)	Cooling condition
H-0.5	1000/0.5	Air
H-1	1000/1	Air
H-2	1000/2	Air
H-3	1000/3	Air
H-5	1000/5	Air
H-24	1000/24	Air
H-48	1000/48	Air
H-72	1000/72	Air

### 2.1 조직관찰

시험편은 Marble용액 (4g CuSO<sub>4</sub>, 20mL HCl, and 20mL water)을 사용하여 부식시킨 후 광학현

미경을 통해 미세조직을 관찰하였다.

### 2.2 경도측정

인공시효 열처리 시간과 밸브부위에 따른 미소 경도값을 측정하기 위하여 500gf의 마이크로 비커스 경도기를 이용하였다. 미세조직을 보면서, 한 개의 시편당 측정횟수를 10회로 실시하여 최대·최소값을 제외한 나머지 값들의 평균을 구하여 각 시편의 경도값으로 하였다.

### 2.3 초음파 시험

탐상면은 표면거칠기에 의한 초음파의 산란을 방지하기 위하여 일정수준 연마하였다. 또한 탐촉자의 접촉압력이나 접촉상태에 따른 영향을 제거하기 위하여 클램프를 사용하였으며, 탐촉자를 일정한 압력으로 고정시켰다. 접촉매질은 점성이나 음향 임피던스, 접촉매질층의 두께 및 온도 등의 영향에 따른 초음파의 변환 특성을 고려하여 독일 Krautkrämer社의 ZG-F 접촉매질을 사용하였다

초음파시험에 사용된 장비로서는 독일 Krautkrämer Branson社의 Model USD 15 디지털 초음파 탐상기와 중심주파수 5MHz의 탐촉자를 사용하였으며, GAGE社의 Model CS2125 고속 A/D변환기를 이용하여 실시간적으로 초음파 신호를 계측하였다. Fig. 2는 본 실험에 사용된 측정시스템의 개략도를 나타내었다.

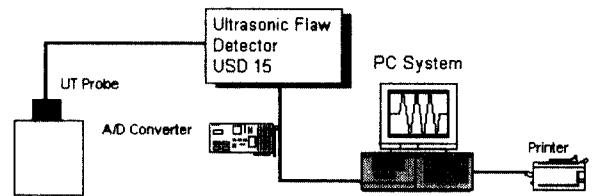


Fig. 2 Schematic diagram for ultrasonic measuring system

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 모재의 조직관찰 및 경도측정

Fig. 3은 본 실험에 사용된 시편(열처리 이전)의 위치에 따른 미세조직(검은부분 : 펄라이트, 흰색부분 : 페라이트)을 나타내었다. 그림에서 A부분은 코팅층과 모재의 접합경계부분으로, 접합에 의하여 조직이 조대해졌다고 판단된다. B부분은 시트부

분의 가운데 부분으로서 조직이 상당히 미세함을 알 수 있다. 즉, A부분의 마지막 부분이 B부분의

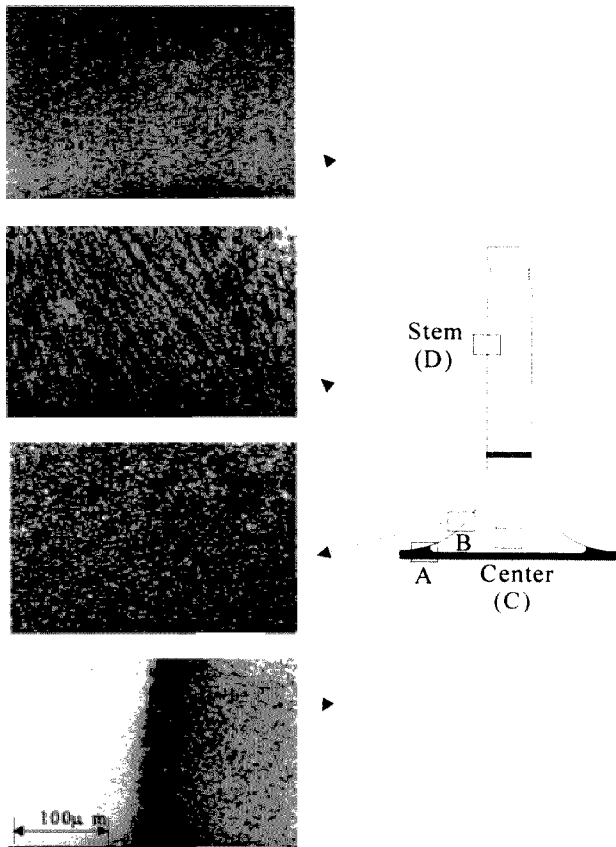


Fig. 3 Microstructure at locations A, B, C and Stem(D) for exhaust valve

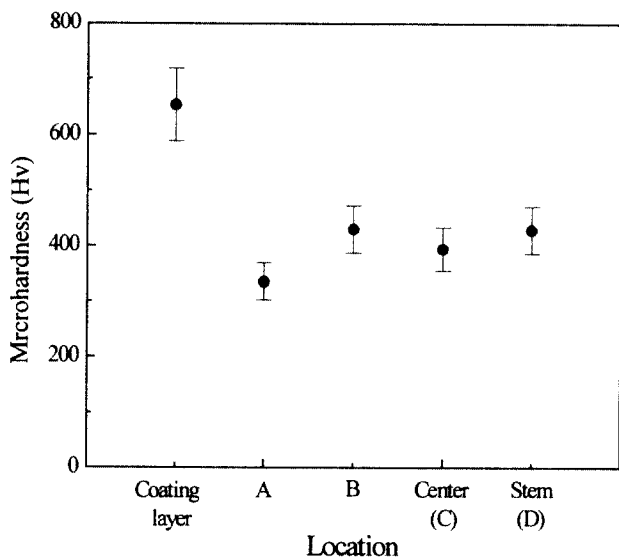


Fig. 4 Microhardness for each part of exhaust valve

시작부분이므로 경계부분에서 멀어질수록 조직이 점차 미세화 되고 있음을 알 수 있다. 센터부분(C)은 밸브시트 부분의 한 가운데 부분으로서 제조공정상의 문제로 인하여 내부조직이 일정한 방향으로 연신되어 있고, 조직자체도 다른 부분에 비하여 조대화 되었음을 알 수 있다. 스템 부분(D)은 열영향을 전혀 받지 않은 B부분과 유사한 형태의 조직을 나타내고 있다.

Fig. 4는 배기밸브 시트부위의 부위별 경도측정값을 나타내는 그래프이다. 코팅층은 코발트(Co)가 주성분으로 이루어져 있으며 경도값은 약 Hv 650 정도로 높게 나타났다. 이것은 배기밸브는 고온에서 사용중에 실린더 헤드부분과 계속 접촉하기 때문에, 고온내마모성을 위한 것이다. A부분은 코팅층과의 경계부분으로서, 코팅층을 접합하는 공정에서 발생하는 열에 의하여 조직이 상당히 조대화져 경도값이 다른 부분에 비해서 낮게 나타나고 있다. B부분은 시트의 가운데 부분으로 약 Hv 450정도이다. 센터부분(C)은 배기밸브의 가운데 부분으로 Hv 400정도로 B부분보다는 다소 낮게 나타났다. 이것은 B부분보다 조직이 조대화하기 때문인 것으로 판단된다. 스템부분(D)는 B부분과 거의 비슷한 Hv 450정도로 나타났다.

### 3.2 열화재의 조직관찰 및 경도측정

Fig. 5에는 인공시효 열처리시간에 따른 조직변화를 나타내었다. 조직사진에서 나타나는 것처럼 인공시효 열처리시간이 증가할수록 결정립이 점차 커지고 있는 것을 알 수 있다. 0.5시간 및 1시간은 Fig. 3에 나타낸 모재의 결정립 크기 및 형태가 비슷하게 나타나고 있다. 그러나 1시간에서 3시간으로 증가할 때 상당한 조직의 변화 및 결정립 크기의 변화가 나타났다. 3시간과 5시간 열처리된 시편에서는 결정립의 차이는 있지만 거의 비슷한 형태의 조직이 관찰되었으나, 5시간에서 12시간으로 열화시간이 증가할 때는 조직이 많이 달라짐을 알 수 있다. 12시간에서 열처리시간이 증가할수록 검은색의 펄라이트 상은 점차 감소하고, 회색부분인 페라이트 상이 점차 증가해서 열화시간이 48시간부터는 페라이트 상만 관찰되었다. 열화시간이 72시간인 시편에서는 결정립이 심하게 조대화되어 있음을 알 수 있다. 이것은 각 시간별로 재료의 열화 정도가 다름에서 기인한 것이라고 판단된다.

즉 본 실험에서 사용한 재료의 경우 1000℃에서 사용되었을 때, 먼저 3시간 사용 후에 재료가 열화된다고 예상할 수 있으며, 12시간 정도에서는 열화

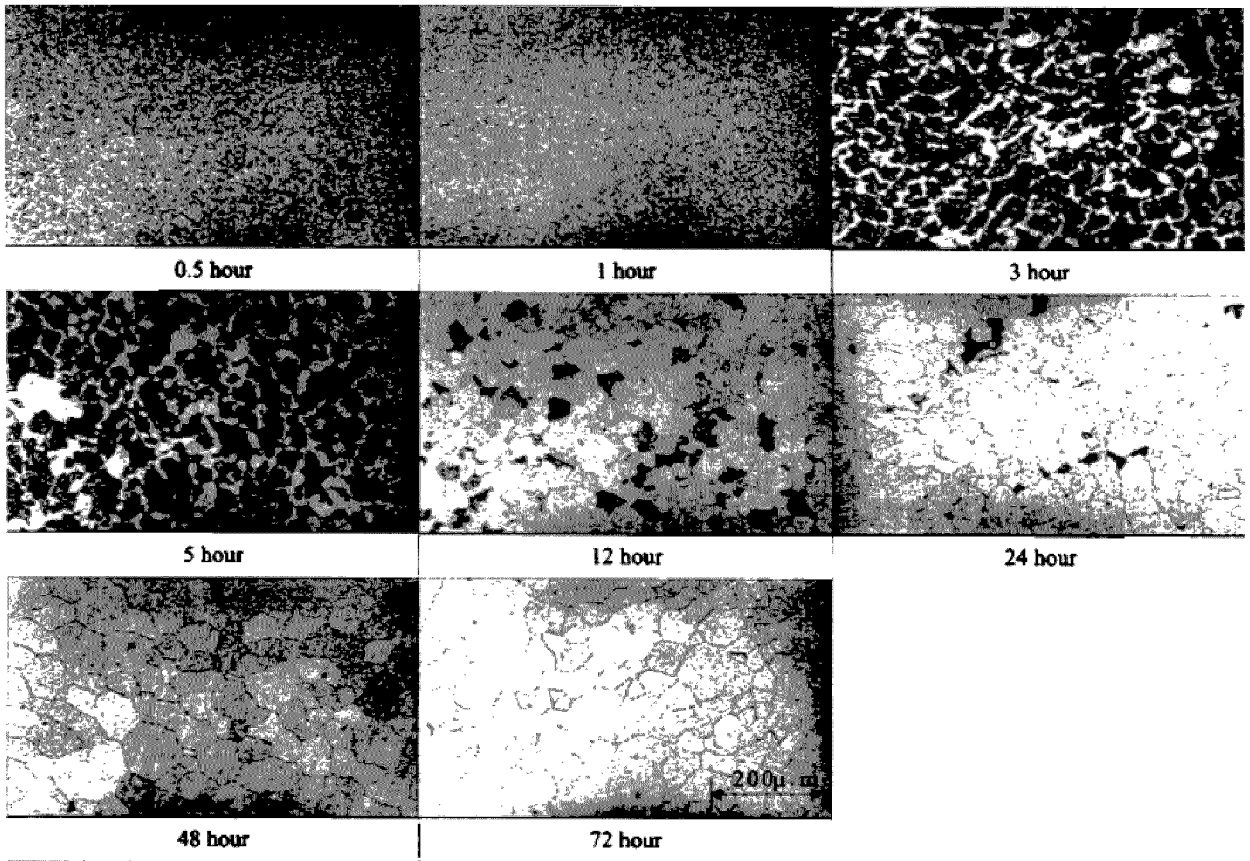


Fig. 5 Microstructure with different degradation time

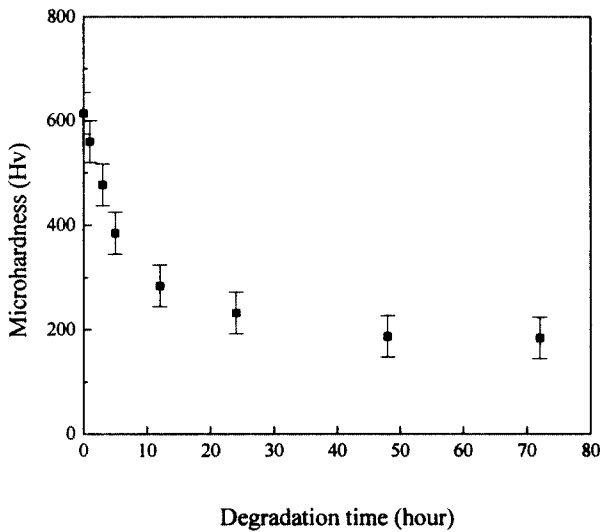


Fig. 6 Microhardness profile according to degradation time

정도가 심하다는 것을 예상할 수 있다.

Fig. 6에 열화시간에 따른 경도값의 변화를 나타내었다. 먼저 모재의 경도값(스텝부분)과 비교해

보면, 열처리 후 경도값이 증가함을 알 수 있다. 이것은 밸브가 제품화되어 출시될 때 어닐링 처리를 하여 출시되기 때문에, 열처리 후 공랭시킴으로 인하여 경도값이 상승한다고 판단된다. 3시간 열화된 시편이 모재의 시편과 경도값이 비슷하게 나타났다. 3시간 미만의 열화처리를 실시한 시편이 모재보다 경도값이 높게 나타난 것은, 결정립 크기가 증가함으로써 감소하는 경도값보다 열처리에 의해 증가하는 경도값이 더 크기 때문인 것으로 판단된다. 그리고 3시간 이상 열화처리를 실시한 시편은 열처리에 의해 증가하는 경도값보다 결정립 크기의 증가에 의해 감소되는 경도값이 더 크기 때문에 경도값이 감소된다고 판단된다.

전체적으로, 열화시간이 증가할수록 점차 경도값이 감소함을 알 수 있다. 그러나, 열화시간이 48시간 이상일 때는 경도값이 거의 일정하게 나타나고 있는데, 이것은 열화시간이 48시간 이상의 시간에서는 조직의 조대화 정도가 거의 없고, 거의 일정한 수준으로 계속되고 있기 때문인 것으로 판단된다.

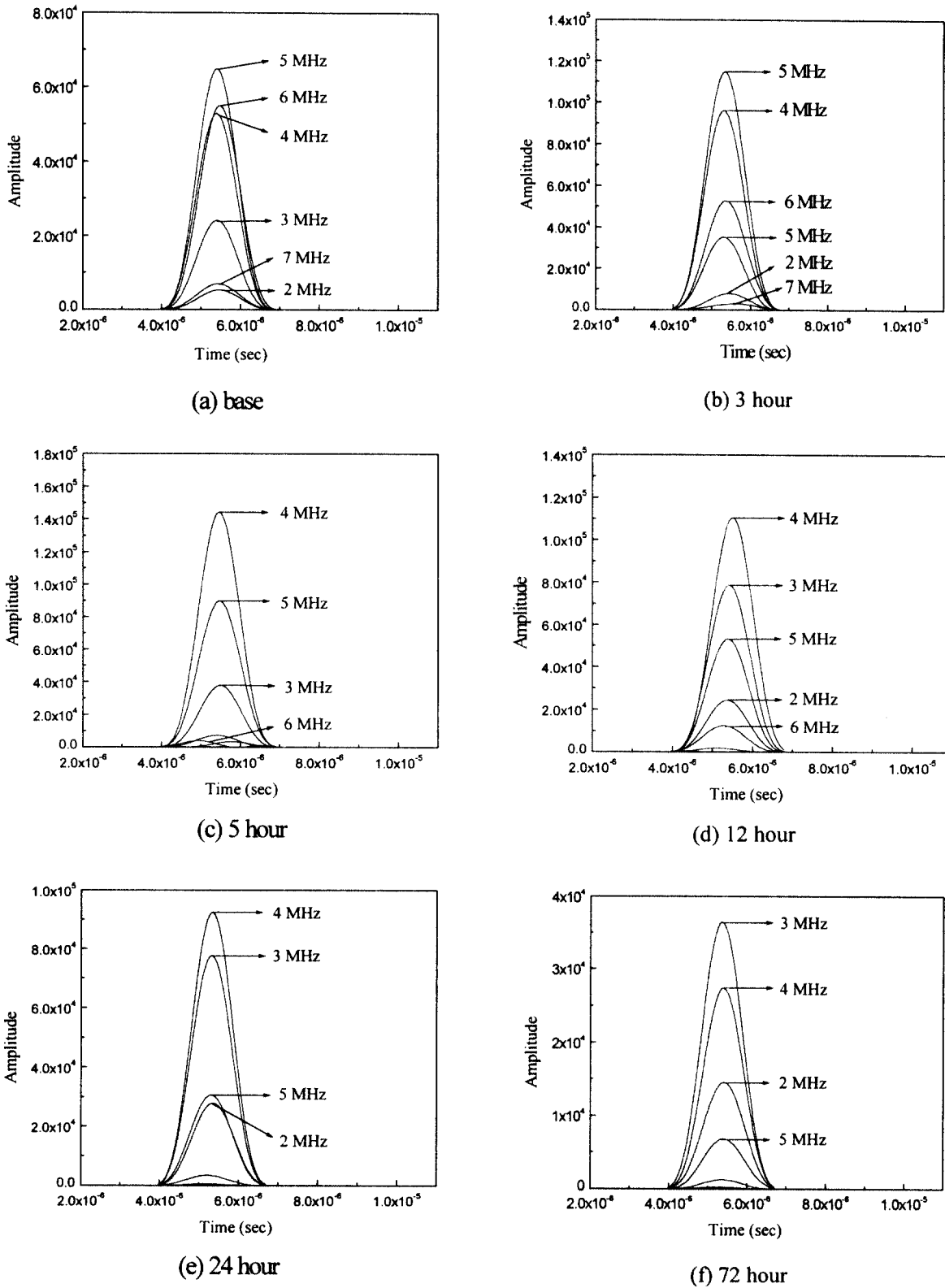


Fig. 7 Full frequency components of back echo according to degradation time

### 3.3 저면 에코 주파수 분석

본 실험에서는 각 시험편의 제1 저면에코의 높이를 탐상기의 CRT 화면의 80%로 일정하게 조정한다

후, 제1 저면에코의 주파수 변화를 시간-주파수 해석법을 이용하여 분석하였다. 주파수가 높을수록 열화 손상에 따른 결정립의 조대화 및 석출물 등에

의한 산란 및 감쇠의 영향을 받기 쉽다. 보통 초음파 펄스는 어느 유한의 대역폭을 가지며 그 대역에 포함된 여러 종류의 주파수 성분으로 구성되기 때문에, 재료의 조직변화에 따른 에코 파형에 포함된 각 주파수 성분은 영향을 받기 쉽다. 따라서, 에코 파형에 포함된 각 주파수 성분의 조직변화에 따른 영향을 조사하기 위하여, 모재와 3시간, 5시간, 12시간, 24시간 및 72시간 동안 인공 열화시킨 시험편의 제1 저면에코를 기준으로 각 주파수 성분의 변화를 측정하였다.

Fig. 7은 각 시험편의 제 1 저면에코를 시간-주파수 해석법으로 분석한 결과이다. (a)의 모재는 주파수 성분의 진폭이 5MHz, 6MHz 및 4MHz의 순으로 나타나고 있다. (b)의 3시간 열화재는 4MHz 성분이 6MHz 성분보다 높게 나타나고 있다. 3시간 열화재까지는 5MHz 성분이 높게 나타나고 있으며 4MHz 성분이 5MHz 성분과 거의 비슷한 수준까지 상승되었음을 알 수 있다. (c)의 5시간 열화재부터는 4MHz 성분이 5MHz 성분을 추월하여 가장 높게 나타나고 있으며, (d)의 12시간 열화재는 3MHz 성분이 5MHz 성분보다 높게 나타나고 있다. 열화시간이 길어질수록 저 주파수 대역 성분들의 진폭이 높게 나타나 열화시간이 72시간인 경우(h)에는 3MHz 성분이 가장 높게 나타나고 있다. 이것은 열화에 따른 조직의 조대화와 결정립계의 석출물 등에 의하여 고주파 성분의 감쇠가 저주파보다 더 크게 일어나기 때문이라고 판단된다.

#### 4. 결론

본 연구는 선박용 디젤엔진 배기밸브재를 열화시켜, 열화시간에 따른 초음파 신호의 주파수특성을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 열화시간이 증가할수록 점차 경도값이 감소함을 알 수 있다. 특히, 열화시간이 48시간 이상일 때는 경도값이 거의 일정하게 나타나고 있는데, 이것은 열화시간이 48시간 이상에서는 조직의 조대화가 더 이상 진행되지 않기 때문인 것으로 판단된다.
- 2) 초음파 신호의 각 주파수 성분의 진폭변화를 측정된 결과, 열화손상이 클수록 고주파 성분의 감쇠가 크게 나타남을 알 수 있었다.
- 3) 초음파의 주파수 특성을 이용하여 선박용 디젤엔진 배기밸브 소재의 열화손상 정도를 정량적으로 분석 가능하였으며, 다양한 비파괴 검사법을 적용하면 보다 신뢰성 있는 열화특성 평가가 가능할 것으로 기대된다.

#### 참고문헌

1. 박인태, 전익효, 왕지석, 이춘만, "대형 디젤 기관의 배기밸브 기술전망", 韓國船舶機械學會誌, 第18卷, 第1號, pp. 1~10, 1994
2. Kyungshik Cho, Hongkeun Chang and Jihong Park, "Proceeding of Int. Workshop on NDT & SAFETY '96", pp. 241~247, 1996
3. Raymond R. Dalton, "Materials Evaluation", pp. 264~268, 1974
4. 김창곤, 김상태, 조정식, "초음파에 의한 열분해관의 침탄열화도 진단", 비파괴검사학회지, 제18권, 제5호, pp. 381~387, 1998
5. 이진찬, 오정환, 남기우, 이주석, "열화된 SUS 강의 시간-주파수 해석에 의한 비파괴평가", 비파괴검사학회지, 제19권, 제4호, pp. 270~276, 1999
6. C. H. Chen and J. C. Guey, "On the Use of Wigner Distribution in Ultrasonic NDE", Review of Progress in Quantitative Evaluation, Vol. 11A, 1992
7. 武捨貴昭, 川浦淳一, "ウィグナー分布とその超音波非破壊評価への應用", 日本非破壊學會, 第4卷, 第9号, pp. 587~591, 1991
8. 井上裕嗣, "エコー波形のウェーブレット分析による超音波の速度と減衰", 非破壊検査, 46(3), pp. 206~213, 1997
9. Kyungshik Cho, Hongkeun Chang and Jihong Park, "Proceeding of Int. Workshop on NDT & SAFETY '96", pp. 241~247, 1996
10. Raymond R. Dalton, "Materials Evaluation", pp. 264~268, 1974
11. Jeff Koay, Julius Frankel, Stephal C. Schroeder and Pankaj, "Signal Detection and Noise Suppression Using a Wavelet Transform Signal Processor: Application to Ultrasonic Flaw Detection", IEEE Transaction on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control Vol. 44, 1. 1997
12. M. A. Malik, X. M. Jin and J. San iie, "Joint Time-Frequency Processing of Ultrasonic Signals", Review of Progress in Quantitative Nondestructive Evaluation, Vol. 15, 1996