

## 모타보트의 소음 측정 및 대책

### The measurement and control of outboard motor

0김 대 홍\* · 이 성 태\*\* · 김 건 인\*\*\*

Kim, Dae-hong Lee, Sung-tae Kim, Gun-in

#### ABSTRACT

In this paper, the sound radiation level of parts of a O.B. Motor was measured and analysed by the measurement method using wave\_guide in reverberation environment. Based on the above measurement results, a noise control was established for engine cover and exhaust silencer and its effects were compared and analysed. The noise control method increased transmission loss by painting GELNAC on the engine cover and extend exhaust pipe to reach under water

#### 1. 서론

호수 강 바다에서 해난구조, 레저, 양식업 및 군사용으로 고무보트의 사용은 날로 증가되고 있으며, 다양한 종류의 O.B.(outboard) motor가 있으나 대부분이 작은 공간에 고출력을 내기 위한 설계로 인하여 소음수준이 갈수록 높아지게 되었다. 해수욕장, 양식장 주변의 소음증가, 운행중 대화의 장애, 기타목적에 있어 소음제어는 중요한 해결과제로 대두되기에 이르렀다.

고무보트의 소음은 전달매체에 따라 수중 방사 소음(Under-water radiated noise), 구조 전달 소음(Structureborne noise), 공기중 소음(Airborne noise)으로 구분할 수 있다. 공기중 소음은 모타 각 부품의 음향특성과 엔진의 형상, 배치, 내부음향 처리 상태에 따라 매우 복잡하고 유동적인 음장(Acoustic field)을 구성한다.

전체 소음을 줄이기 위해서는 높은 음압의 소음을 줄이는 것이 효과적이기 때문에 여러개의 소음원이 동시에 소음을 방사하는 경우 각 소음원으로 부터 방사되는 소음을 정확히 측정하는 것은 소음통제에 있어서 매우 중요하다. 이에 "Reverberation 음장내 다수 소음원의 음파관을 이용한 소음 측정 방법"<sup>(1)</sup>으로 모타보트의 방출 소음을 1/3 octave band 별로 측정을 하였고 각 부품별 소음수준을 측정하였다. 이를 토대로 공기중 소음을 통제하기 위해 음향차폐 방법(Acoustic enclosing)으로서 경량과 작은 부피라는 O. B. motor의 제한적인 면을 고려하여 진동 및 소음 흡음재인 GELNAC을 엔진 커버에 도포 하였고 가장 높은 소음원인 배기구 소음은 알루미늄 판으로 차폐구조를 설계 소음을 차단하였으며 소음대책의 성과를 측정 비교 분석하였다.

#### 2. 이론적 고찰

여러개의 소음원이 동시에 소음을 방출하고 주변에 반사물체가 많은 반사음장 (Reverberation) 내에서

\* 군사과학대학원 무기공학과  
\*\* 군사과학대학원 재료공학과 교수  
\*\*\* 군사과학대학원 무기공학과 교수

는 각 소음원에서 방사된 소음들을 서로 반사되어 경로를 변화시키며, Masking 효과와 간섭을 일으키기 때문에 어느 한 소음원으로 부터 방출되는 소음의 크기와 형태를 측정한다는 것은 상당히 어려울 뿐만 아니라 명확한 해석과 결론을 내리기 힘든 경우가 많다. 이와 같은 측정의 어려움을 해결하기 위해서 청진기와 같은 원리를 이용한 음파관을 사용하여 측정하는 방법이다. 이 방법은 마치 광섬유가 손실없이 빛을 전달하는 것과 같이, 이상적인 경우 음파관 안에서 소리가 손실없이 전달되는 것을 이용하여 측정하는 것이다. 이와 같은 방법은 오래전부터 사용되어 왔으며 이론적인 사항에 있어서도 이미 대부분의 음향학 서적에 “duct”, “pipe”, “sound-guide” 또는 “wave-guide” 등으로 설명되어 있으며 음파관을 이용한 측정방법의 이론적 배경은 다음과 같다.

Structure의 진동이 주변의 공기를 진동시켜 소음을 방출할 때 방출되는 소음의 양과 물체의 진동 정도와의 관계는 아래와 같다<sup>(2)</sup>. 진동체의 표면이 진동수  $\omega$ , 표면의 위치에 따른 위상  $\phi$ , 속도크기  $U$ 로 진동할 때 위상  $\phi$ 를 갖는 위치에서 임의의 시간  $t$ 에 진동하는 속도는

$$\vec{u}(t, \phi) = \vec{U} e^{j(\omega t + \phi)} \quad (1)$$

가 되며, 이와 같은 속도로 진동하는 물체가 주변의 공기를 단위 시간당 진동시키는 부피는 표면적이  $S$  일때, 소음원의 세기  $Q$  ( Source Strength ) 로 나타내는데

$$Qe^{j\omega t} = \int_s \vec{u} \cdot \hat{n} ds \quad (2)$$

이다. 이와 같은 소음원의 세기  $Q$ 는 반사조건, 거리 등의 주변조건이 결정되면 원하는 위치에서의 음압, 음향강도 등으로 변환이 가능하다. 또한 Fig.1 에서와 같이 전체 면적에서 소음을 방출하는 경우 면적을 빗금친 사각형과 같이 작은 면적들로 분할하고 그 분할된 면적 하나하나를 원형으로 표시된 음파관으로 음향방출을 측정하고 빗금친 작은 사각형 면적에서는 원형으로 표시된 부분과 동일한

특성의 음향이 방출된다고 가정하면 빗금친 부분의 음향방출에너지를 계산할 수 있게 되며 빗금친 면적간의 위상을 고려하여 음향방출을 계산하게 되면 전체면적에서 방출되는 음향에너지를 측정할 수 있다 이와 같은 원리를 이용하여 각부품에서 방출되는 음향에너지를 측정 계산하여 소음통제에 사용하게 된다

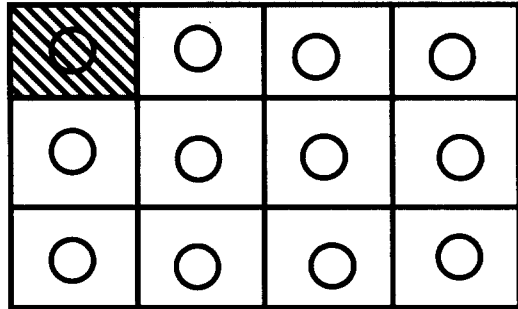


Fig.1 전체소음을 부분소음으로 분할하여 측정하는 방법

반사음장에서 측정을 하기 위해서는 음파관안에 있는 센서에 반사음과 주변 소음을 차단하기 위해서 음파관 벽의 역할이 중요하다. 이상적인 경우 wave-guide 내에서의 소리의 전파는 평면 종파로서 오른쪽 음파관 끝에서 음의 흡수가 완벽하여 반사가 전혀 없다고 하면 무한하게 긴 관으로 간주되고, 동시에 관벽이 강체로 되어 있어 소리 에너지가 손실이 없다고 본다면 음의 파동 방정식이 그대로 적용되며, 오른쪽으로 이동하는 진행파는

$$P(x, t) = Ae^{j(\omega t - kx)} \quad (3)$$

로 간단히 설명된다.

### 3. 실험

#### 3.1 계기의 성능평가 및 검증

사용장비로는 B&K 2230 Sound Level Meter, ACO 6046 Sound Level Meter, B&K 4224 Sound source, Function Generator, 35마력 Outboard Motor(AM-35 & AML-35D), DT21EZ A/D

Board 와 신호 분석프로그램이 내장된 486 Computer 를 사용하였다. 위의 두 소음계는 실험한 결과 동일한 wide band noise에 동일하게 반응하는 주파수 특성을 갖고 있는 것으로 확인되었다.

음파관을 이용 측정하기 전에 먼저 음파관 벽의 특성을 알아야 한다. 음파관의 Transmission Loss 는 음파관 안쪽에 위치한 소음계와 음파관 밖에 위치한 소음계가 동일 주파수 대역에서 얼마만큼의 음압차를 유지하는 가를 검사함으로써 얻어 진다 이러한 Data를 획득하기 위해서 wide band B&K 4224 Sound Source를 사용하였으며, ACO 6046 을 음파관 안에 B&K 2230 을 음파관 밖에 설치하였다. 이때 사용한 음파관은 분무용 비닐 호스로서 16mm 의 내경을 갖고 두께는 5mm 였으며, 내압에 견디는 정도가 100Kg/cm<sup>2</sup> 이었다. 고압력용 호스이면서 3겹으로 형성된 비닐 호스이며 더높은 Transmission Loss를 갖기 위해서 표면에 소음 진동 흡음재인 GELNAC을 표면에 도포하여 측정 하였으며 그 결과는 Fig.2와 같다.

에서 발생하는 소음이 측정하고자 하는 소음원에서 발생하는 신호에 비해 30에서 40dB이상이 되면 30Hz이하에서만 문제가 되고 그 이상의 주파수에서는 신호를 감지하는데 문제가 없다. 따라서 주변 소음의 차이가 30-40dB 이내인 경우에는 측정하고자 하는 소음원의 소음을 포착할 수 있다.

또한 이러한 측정 시스템은 음파관 안에서의 센서 위치에 따른 입력손실이 없었고 음파관을 이용한 고음계 시스템의 각주파수 스펙트럼의 안정성도 확인 하였다<sup>(1)</sup>

### 3.2 측정

#### 3.2.1 O.B motor표면의 음장 분석

O.B. motor의 음장을 분석하기 위해서 motor의 각 부품을 싸고 있는 케이스 표면에서 소음이 방출되

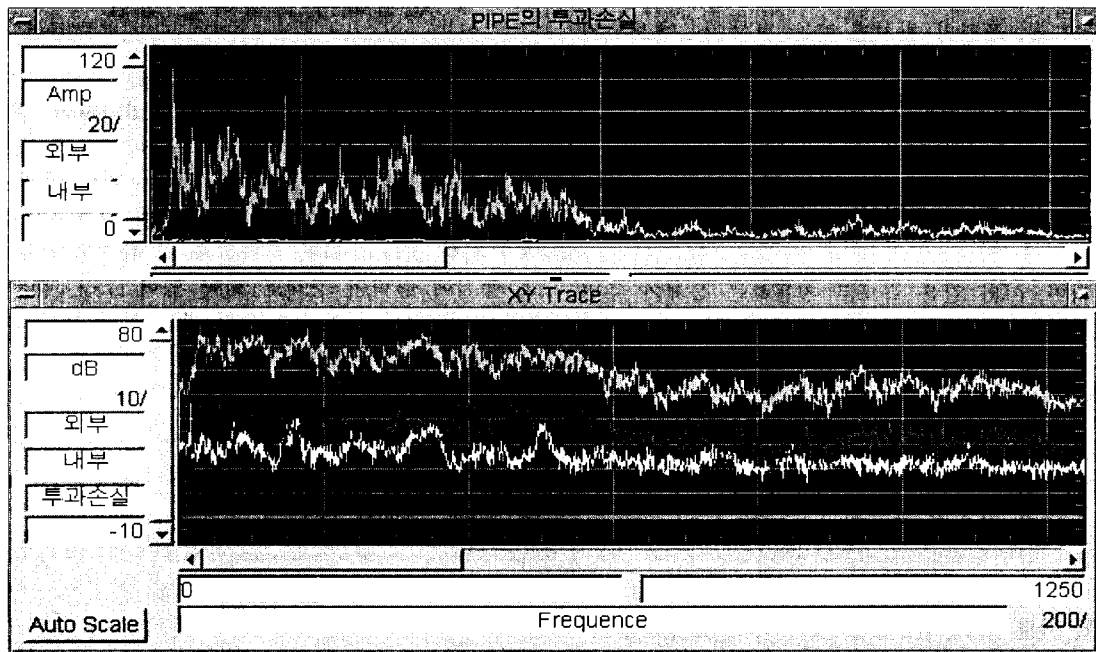
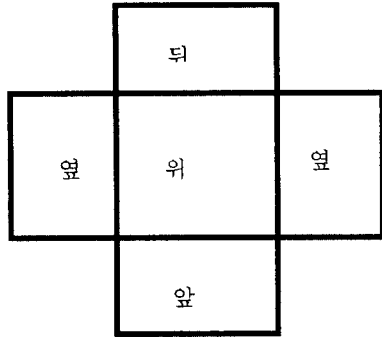


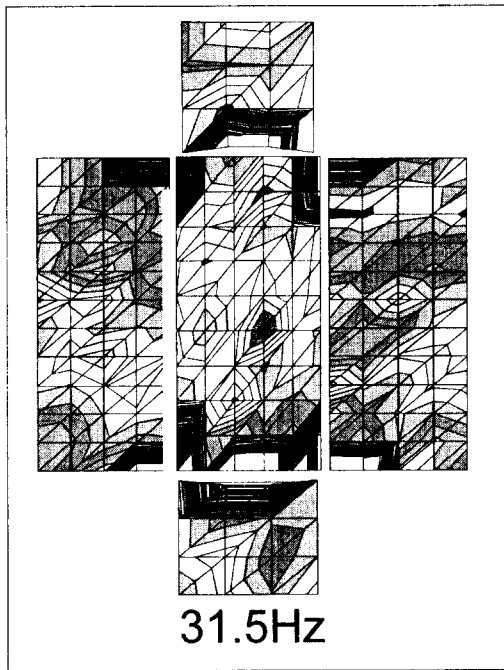
Fig.2 음파관 벽의 투과손실

그림에서 보는 바와 같이 wide band noise의 소음이 비닐 음파관의 벽을 통과하며 대부분 차단이 되어 있음을 보여주고 있고 30Hz 이상에서 30에서 40dB 의 높은 투과손실이 있음을 알 수 있다. 주변

므로 그표면에 mash를 설정하고 개발한 시스템으로 각 포인트를 측정하였다. 이때엔진상태는 전진 중속이며 케이스의 펼친 그림과 척도는 다음과 같으며 188개 각 포인트에서 20Hz-250Hz 대역을 1/3



octave band 로 17 band의 값을 측정하였고 각 중심 주파수별 dB값을 케이스 표면에 색으로 나타내었다. 중심주파수가 31.5Hz인 저주파 영역의 음장은 Fig.3 과 같이 분포되었다



**Fig.3 엔진 커버의 음장분포(31.5Hz)**

Fig.3-5에서 사용된 주파수별 dB값의 분포는 표.1 과 같이 서로 다른 색으로 나타내었다.

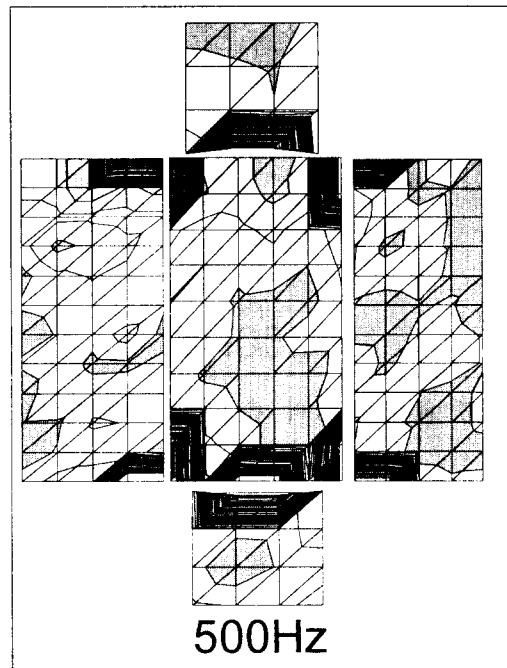
Fig.3에서와 같이 저주파 영역에서는 motor자체의 진동 모드에 의해 중앙은 낮은 음장이 분포되었으며 중앙에서 벗어날수록 음압이 높으며 motor의 거치대가 설치되어 motor자체가 적게 진동하고 있

는 앞쪽에서 음장이 낮으며 뒤쪽의 음장이 높음을

78	81	51	54
75	78	48	51
72	75	45	48
69	72	42	45
66	69	39	42
63	66	36	39
60	63	33	36
57	60	30	33
54	57	27	30

**표.1 방사소음의 음압별 구분**

볼 수 있다. 다음으로 중간 주파수 대역의 중심 주파수가 500Hz인 곳의 음압분포는 Fig.4 와 같다.



**Fig.4 엔진 커버의 음장분포(500Hz)**

그림에서와 같이 이주파수 대역에서는 전반적으로 저주파보다는 소음 수준이 줄었으며 윗면에서 앞쪽이 중간 보다 3dB정도 일정부분이 높으며 이는 이 위치 바로 밑에 있는 Flywheel의 영향으로 판단되며 양쪽 뒤쪽으로 주변보다 월등히 많은 소음이 방출되는 영역이 있는데 이는 이곳에 위치한 엔진소음의 영향으로 판단된다. 다음으로 고주파 영역 중 1250Hz 대역에서의 음압분포는 Fig.5와 같으며, 이곳에서도 마찬가지로 Flywheel과 엔진쪽의

소음이 다소 크나 그 크기가 상대적으로 줄었으며 전반적으로도 방출되는 소음의 크기는 저주파보다 적음을 알 수 있다. 그러나, 연료 주입량과 엔진의 rpm을 일정하게 통제하는 시스템이 없어 엔진 상태가 계속해서 일정한 소음만을 낸다고 볼 수는 없었다.

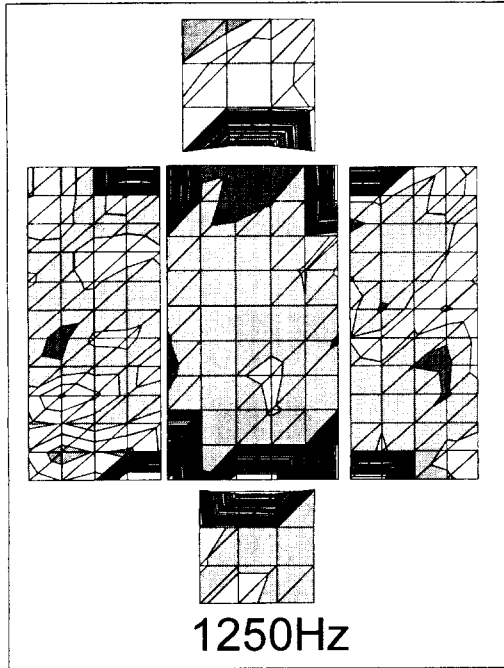


Fig.5 엔진 커버의 음장분포(1250Hz)

여러 소음원에서 소음이 발생하는 경우 효과적인 소음 통제를 하기 위해서는 고음압의 소음원부터 통제를 해야하며 따라서 각 소음원의 소음 방사 수준을 알아야 할 필요가 있다. 부품 중에서 소음이 클 것으로 판단되고, 음파관의 내경으로 측정하기 용이한 11곳을 선정 음파관을 이용 time domain에서의 rms값과, frequency domain에서 1/3 octave band로 dB 값을측정을 하였으며 이때 엔진상태를 idling상태와 저속, 중속의 상태로 측정을 하였다. 먼저 각 부품의 time domain에서의 rms값은 Fig.6과 같으며 방출되는 소음의 크기는 배기소음, 흡기소음, 엔진소음 순으로 나타났으며, 저속보다는 idling 상태가 소음수준이 높았다. 또한 엔진이 가속되어 중속일 때는 흡.배기구와 엔진의 소음레벨이 높아졌다. 특히 배기구에서는 다른 곳보다 8dB나 높은 음압을 방출하는 것을 알 수 있었다. 소음레벨이 높은 3곳의 소음특성을 주파수와, 엔진상태별로 1/3 Octave Band로 측정하여 Fig.7, 8, 9에 나타내었다.

그 결과 carburetor에서는 그림에서와 같이 1000Hz 대역에 있어서 모든 상태에서 공히 높은 소음이 방출되고 있으며 200-1000Hz에서는 idling 상태가 높은 소음을 내고 있으며, 중속일때는 30Hz와 300Hz 1000Hz에서의 소음레벨이 높았다.

engine에서는 idling상태에서 비교적 넓은 주파수 대역에서 많은 소음을 내고 있으며 엔진의 상태도 idling 상태에서 불안정했었다. 속도가 올라가면서 소음도 많이 방출되는 것을 볼 수 있다.

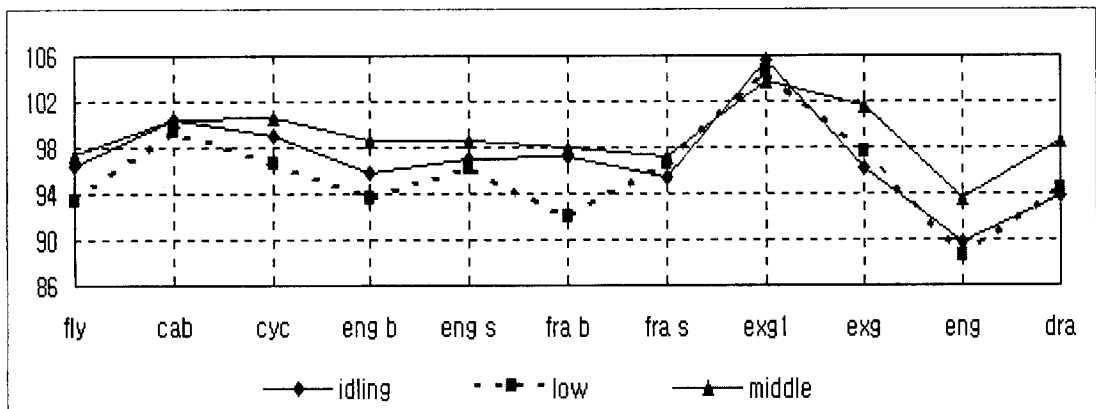


Fig.6 부품별 방사 소음의 음압

### 3.2.2 각 부품별 방사 소음 측정

소음기의 배기소음은 200-500Hz에서 엔진상태와

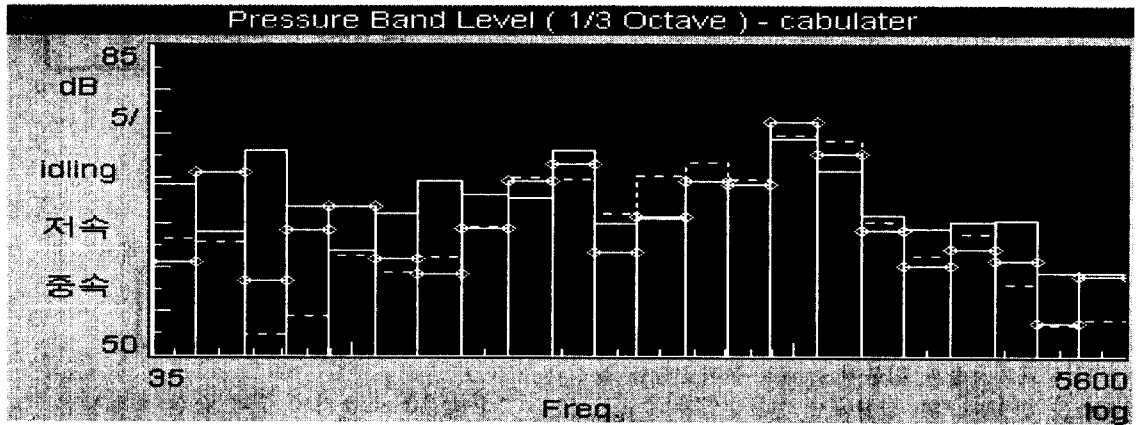


Fig.7 엔진 상태별 carburetor의 방출 음향 특성

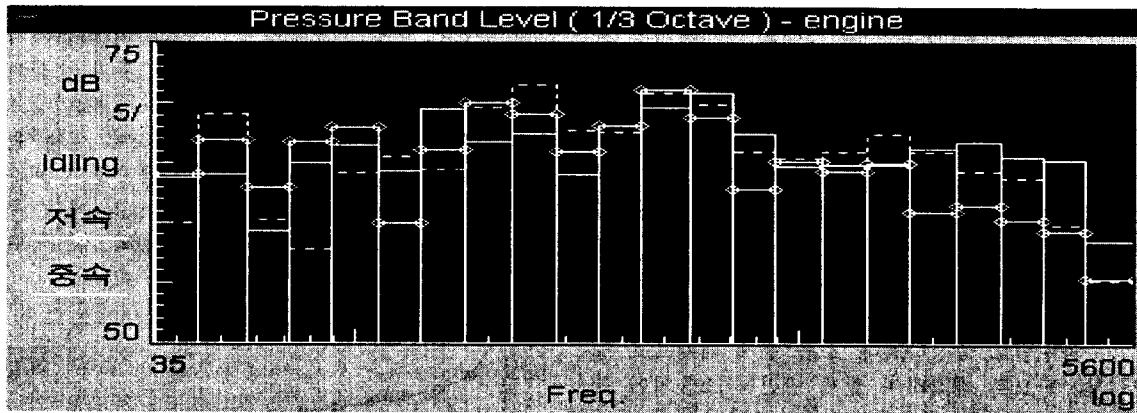


Fig.8 엔진 상태별 엔진표면의 방출 음향 특성

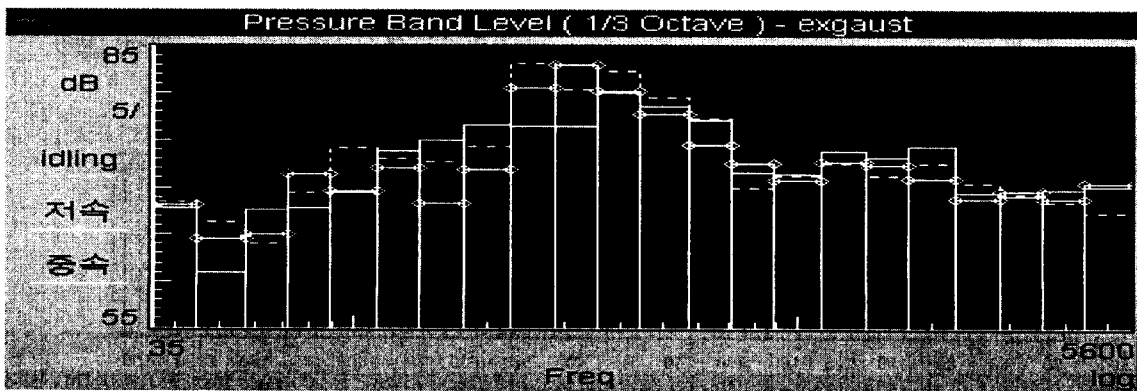


Fig.9 엔진 상태별 소음기의 방출 음향 특성

관계없이 높은음압을 방출하는 것을 알 수 있으며 idling 중속 저속 상태순으로 높다 따라서 고음압 소음 원인인 배기소음부터 소음을 통제해야하며 특히 200-500Hz 대역을 통제해야 한다. 다음으로 흡기소음은 1000Hz 대역을 통제해야 하며, 엔진근처의 커버에서는 500-600Hz의 대역을 차단해야 함을 알 수 있었다.

### 3.3 대책 및 효과

위 측정에서 얻은 결론을 바탕으로 소음을 줄이기 위해서는 배기소음과 더불어 case의 투과손실을 높여야함을 알았다. 위 실험에서 연료주입량과 rpm 상태를 일정하게 유지하기가 어렵기 때문에 엔진차체에서 방사되는 소음을 직접 측정 비교하여서는 그 차을 효과를 판단할 수 없기 때문에 먼저 다음과 같은 방법으로 소음기와 case의 음향특성을 분석하였다.

#### 3.3.1 소음기의 음향 특성

소음기를 motor에서 분리하여 소음기 입구에 Fig.10 과 같이 speaker와 ACO 6046 소음계를 설치하고 소음기 출구에는 B&K 2230 소음계를 설치하고 Sweep Function Generator 주파수와 음압을 일정하게 유지하며 음압차를 1/3 octave band의 중심 주파수별로 측정하였다. 소음 통제 대책으로 알루미늄 판으로 제작하여 실제 엔진의 소음기에 착탈이 가능하도록 하였다. 원리는 소음차단시 열려있는 부분이 있으면 Fig.11과 같이 전체 투과손실은 급격히 감소하게 된다. 따라서 배기구의 열려있는 부분이 넓으면 그만큼 소음 차단의 효과는 감소한다. 따라서 기존의 소음기 배기가스를 공기중이

아닌 수중으로 통과시키는 방법이며 이때 스피커와

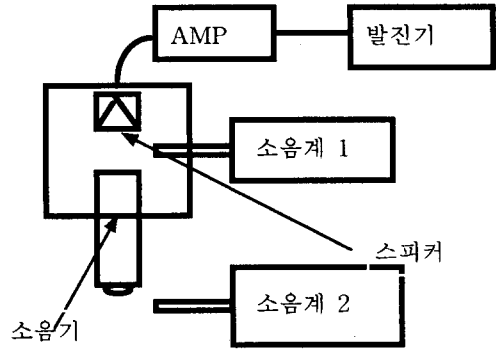


Fig.10 소음기의 투과 손실 측정방법

소음계가 있는 곳에는 밀폐를 잘시켜야 한다. Fig.12는 소음기의 음향특성을 측정한 결과인데 빗금친 영역은 소음기 자체의 음향특성이며 다른영역은 소음기에 차폐구조를 했을 경우의 투과 손실이다. Fig.9 에서와 같이 차음의 효과는 30dB이상으로 효과가 더 좋아졌다. 그러나 ,motor에 실제 설치시 배기가스가 공기중으로 다시 나오므로 그효과가 감소될 것으로 예상되며 실제로 motor에서 측정하여 효과가 있음을 확인하였고 엔진의 가동에도 무리가 없었다.

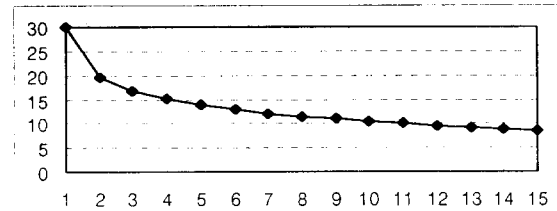


Fig.11 개구면적에 따른 투과손실 감소

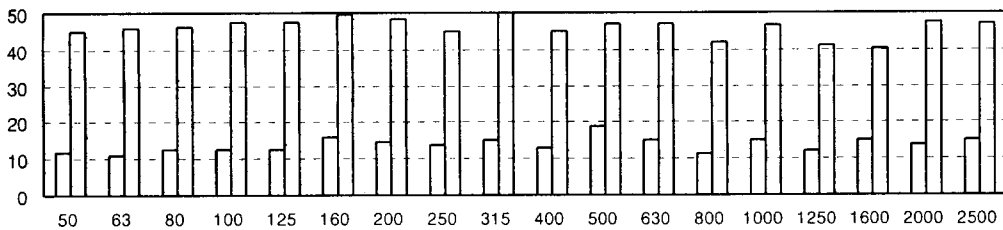


Fig.12 소음기와 그 대책의 효과

### 3.3.2 엔진 커버의 음향특성

커버의 음향특성은 2가지 방법으로 측정 했다. 첫째는 밖에서부터 안으로 음이 투과되면서의 손실을 측정하였다. 커버 측면 안쪽에 ACO 6064소음계를 설치한 다음 외부에서 B&K 4224 Sound Source wide band 100dB의 음을 방출하면서 음압차를 측정하였다. 그 결과를 Fig.14에 나타냈으며 같은 방법으로 소음cover와 커버에 GELNAC을 도포한 후에도 같은 조건에서 측정을 하여 Fig.15, Fig.16에 나타내었다. Fig.14와 같이 case의 특성은 200Hz미만의 저주파는 거의 손실없이 투과되며 700Hz와 1400Hz에서 투과손실이 급격히 떨어지며 이는 밖에서 안으로 투과된음이 커버내에서 공명을 일으킨 것으로 판단되었다. 커버의 전반적인 투과손실은 20-30dB 수준이다. GELNAC을 도포했을 경우 Fig.15와 같이 나타났으며 700Hz와 1400Hz에서 투과 손실이 감소되며 오히려 음향특성이 커버 자체보다도 좋지가 않았다. 따라서 소음 진동 흡음재인 GELNAC을 도포하는 것은 예상만큼의 효과는 없었다.

임피던스의 결합에 의해 차단 효과가 감소하는 대역도 발견되었다. 이와 같은 것은 Fig.15에서 실험한 결과와 잘 일치하는 것이다.

## 4. 결론

본 논문에서는 O.B motor의 소음을 측정하기 위해서 음파관을 이용한 측정 방법으로 소음 측정이 어려운 반사음장에서 여러 소음원들이 동시에 소음을 방출할때에 측정을 원하는 각부품들의 소음레벨 표면에서 방출되는 음량을 측정하였으며, 음향특성을 분석하였다. 방사 소음에 대한 대책으로 배기소음을 줄이기 위해 소음기 위에 GELNAC을 도포한 알루미늄 케이스로 차폐하여 수중으로 배기가스를 배출하는 방안을 강구하였으며 그 효과를 확인 검증하였다. 엔진 커버 소음 진동재인 GELNAC을 도포하여 소음방출을 차단하려 하였으나 일부 저주파의 주파수에서는 차단 효과가 있었으나, 특정 주파수에 있어서는 주파수, 차단재의 두께, 음향 임피던스의 결합에 의해 차단 효과가 감소하는 대역

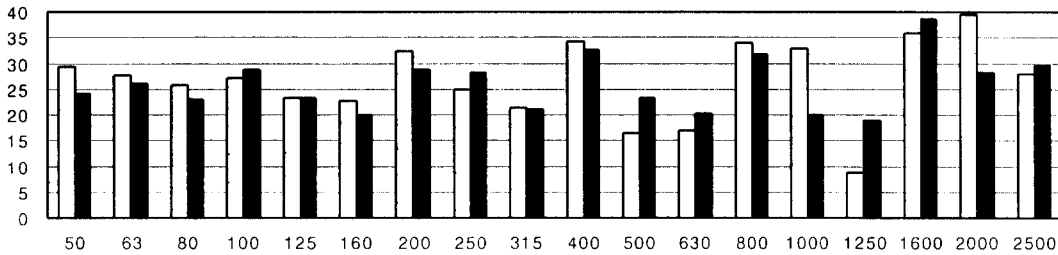


Fig.13 GELNAC 처리 전후의 투과손실 성능 분석

현재 사용중인 방지 커버의 음향특성은 Fig.16,과 같으며 저주파 영역 200Hz미만에서는 투과손실이 거의 없지만 그이상의 고주파 영역에서는 20dB의 투과손실이 있었다.

둘째는 커버 안에서 밖으로의 투과손실을 측정하기 위하여 커버 안에 소음계와 speaker 를 설치하고 외부에 소음계를 설치하여 내부와 외부의 음압차를 측정하였으며 그결과는 Fig.13과 같다

빛금친 부분이 GELNAC을 도포 하기전 커버 투과 손실이며, 흰 막대는 GELNAC을 도포한후의 투과 손실이며 일부 저주파에서는 차단효과가 있으나 특정 주파수에 있어서는 주파수, 차단재의 두께, 음향

도발견되었다

## 참고 문헌

- (1) 이성태 “ Reverberation 음장내 다수 소음원의 음파관을 이용한 소음 측정 방법 ” 한국 소음 진동 공학회 논문집 pp 275-285,1996
- (2) L. E. Kinsler et al “Fundamentals of Acoustics ” , 3rd Edition John Wiley & Sons, 1982



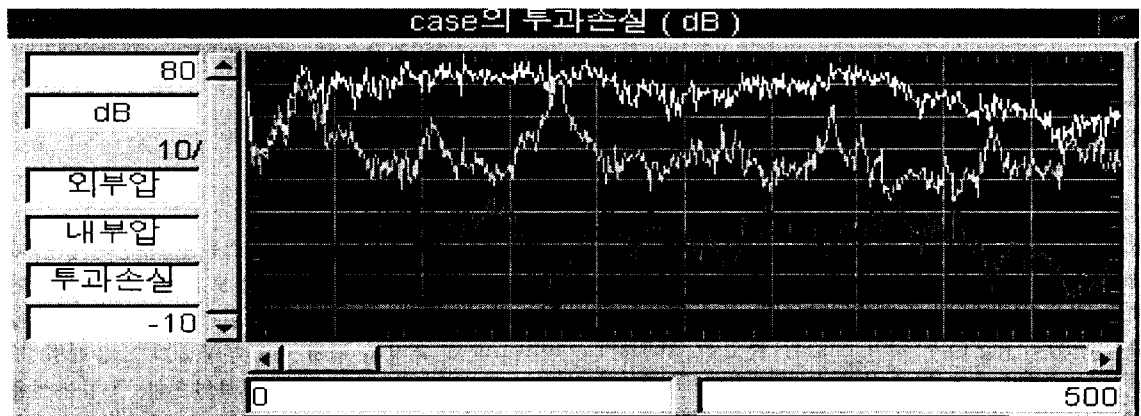


Fig.14 wide band noise대역에서 case의 투과손실 성능 분석

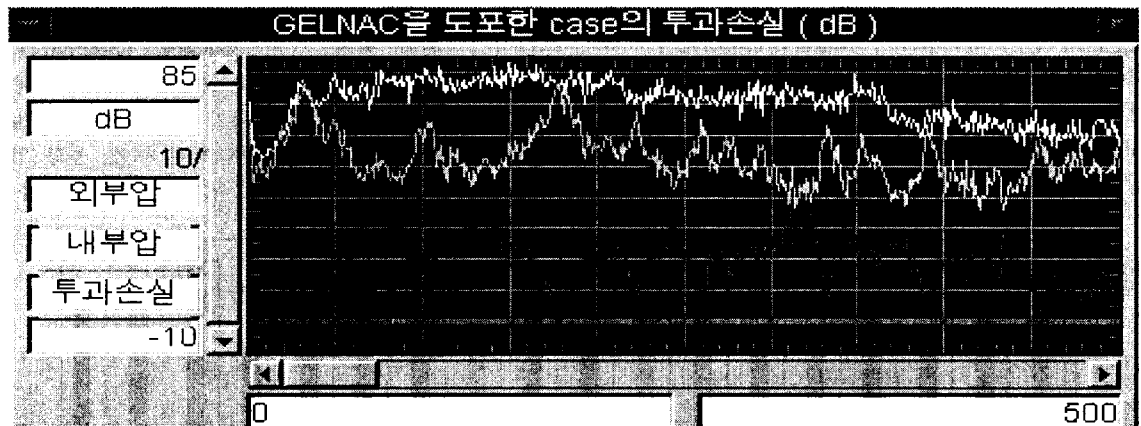


Fig.15 wide band noise대역에서 GELNAC 처리한 case의 투과손실 성능 분석

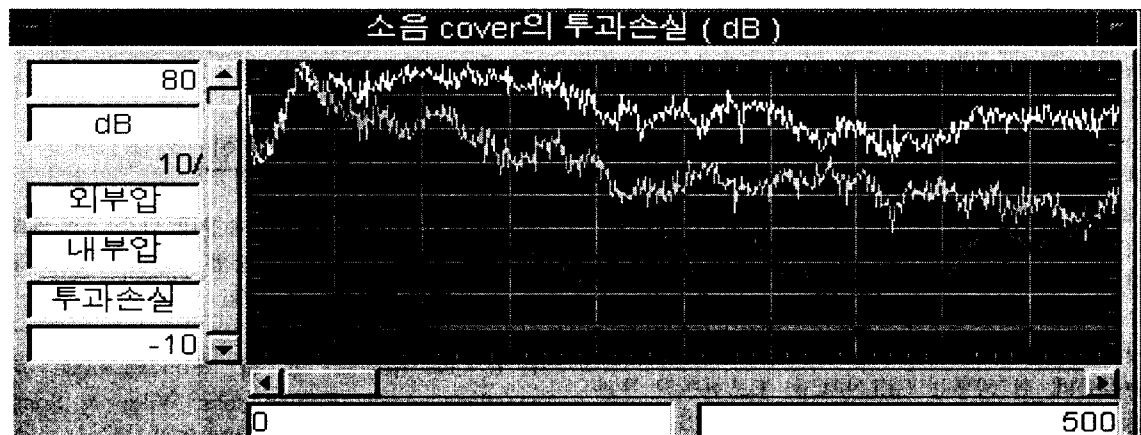


Fig.16 wide band noise대역에서 소음 cover의 투과손실 성능 분석