大 韓 造 船 學 會 論 文 集
第38卷 第1號 2001年 2月

Journal of the Society of Naval Architects of Korea
Vol. 38, No. 1, pp.108-115, February 2000

관내 유속을 고려한 상선의 배기관용 소음기의 성능실험연구

엄재광*, 김사수**

An experimental study on the performance of silencers for exhaust merchant ships considering air flow velocity

Jae-kwang Eom* and Sa-Soo Kim**

요 약

선박의 주기관 및 발전기의 실린더내의 폭발소음은 배기관을 통하여 연돌 상부에서 전파되어 인접한 거주구 상층부 및 bridge wing 등의 소음을 증가시키는 주 요인이 되고 있다. 본 연구에서는 실제의 배기관인 400mm 및 600mm의 지름의 관에 대하여 0m/s 및 32m/s 의 유속에 대하여 25 dB 및 35dB silencer에 대하여 감음 성능을 실험하였다. 관내 유속은 축류 팬에 의하여 발생시켰고 실제 소음기(silencer)를 사용하여 감음 성능을 실측하였다.

Abstract

The noise level of the navigation bridge as well as topside of the superstructure is dominated by the exhaust gas noise of the high-powered main engine and generator engine of special purpose vessels. In the case of the noise radiated from the top of the funnel, the exhaust pipe can be fitted with a silencer to reduce the propagated noise level. This paper is prepared based on an experimental performance test results of the silencers for generator-engine exhaust gas noise with consideration of air velocity. Two silencers were examined to check the performance of noise reduction in cases of air velocity 0m/s and 32 m/s. In the sound reduction test, 400mm and 600mm diameter pipe ducts equipped with an axial fan were used as exhaust gas pipe system in the actual ship. The test procedure and results are presented in detail.

접수일자: 2000년 11 월 4일, 승인일자: 2000년 12월 9일
* 정회원, 삼성중공업(주) 조선플랜트연구소(E-mail:ejk@samsung.co.kr)
* 정회원, 부산대학교 조선해양공학과 정교수

1. 서 론

최근 상선의 건조시 거주구역 소음이 선원 및 선주로부터 적극적으로 낮게 요구받는 경우가 빈번하게 발생하고 있다. 특히 선박의 선장 및 도선사의 지휘구역인 bridge deck의 wing위치에서의 소음이 높은 경우가 빈번히 발생하고 있다. Bridge wing에서의 소음도는 추진기 및 엔진으로부터 전달되는 성분은 거리 및 차폐효과에 의하여 거의 영향을 미치지 못하지만 연돌 상부에 있는 선박용 엔진 및 발전기의 배기음에 의한 소음이 지배적이다. 이러한 배기음이 높게 예상되는 선박에서는 소음기를 배기관 중간에 삽입하여 끝단으로 전파되는 소음을 감소시키는 조치를 하고 있다. 이때 배기음의 소음을 감소시키기 위하여 설치되는 소음기는 80년대까지는 외국제품을 주로 사용하였지만 최근에는 국산으로 대부분 대체되어 사용되고 있으나 유속을 고려한 실험결과가 선박 설계자에게 제시되고 있지 않다. 소음기성능시험은 양쪽끝단의 압력손실 및 소음감소량이 주된 실험항목이며, 온도차에 의한 영향은 배기관이 주로 수직배치이고 지름에 비하여 길이가 짧으므로 실험에 의한 규명보다는 평균온도를 고려하고 있다.

실험에 의한 소음기의 감음 성능 측정방법은 양쪽끝단의 음향 파워를 측정하여 투과 손실(transmission loss)을 계산하는 방법과 특정위치에서 소음기설치 전, 후에 대한 소음도를 측정하여 삽입손실(insertion loss)을 평가하는 방법이 있다. TL을 측정하는 경우에는 소음기 양끝단에 마이크로폰을 설치하여야하고, 관내유속이 빠를 경우에는 측정오차의 발생가능성이 있으나 짧은 시간에 효율적으로 측정할 수 있다. IL측정방법은 하나의 마이크로폰을 설치한 후 소음기를 설치하였을 때와 설치하지 않았을 때 소음도를 측정하므로 설치 및 계측시간이 많이 소요되지만 측정위치를 지배적으로 소음이 전파되는 곳으로 선택하여 수행하면 정확한 성능파악이 가능하다. 본 실험에서는 IL방법에 의하여 측정을 수행하였고, 대상선박의 배기관내의 유속인 32m/s와 15m/s의 유속에 대하여 실선 적용전의 소음기 성능에 대한 실험한 결과이다.

지금까지는 소음기 제작 시에는 관내의 공기흐름이 없는 경우에 대하여 삽입손실을 측정하여 사용하고 있다. 특히 최근 drill ship, FPSO등 전기발전에 의한 특수목적선박이 많이 건조됨에 따라 발전기의 용량이 상선의 경우보다 증대되었고 배기음의 소음 또한 크게 증가되어 고성능 소음기를 사용하여야만 소음을 감소시킬 수 있는 상황이 되었다. 이러한 고성능 소음기의 경우 성능의 신뢰도가 중요하며 이러한 문제점을 좀더 실제적인 상황에 가까운 32m/s 인 경우에 대하여 소음기의 성능을 확인하는 과정이 필요하였다. 이러한 관내 공기흐름을 발생시키는 장치에 의하여 소음기의 성능을 확인 실험한 결과를 소개한다.

2. 소음기의 설계

2.1 선박에 있어서 배기관 소음기에 의한 소음제어가 필요한 장소

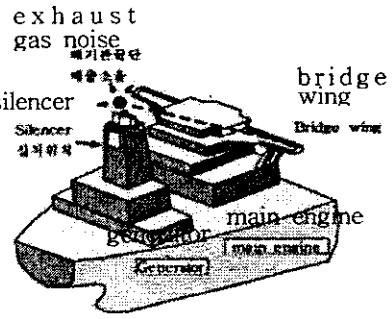


Fig.1 Sound propagation mechanism from gas pipe to navigation bridge wing

선박의 bridge wing에 대한 소음도는 IMO에서 규정하고 있는 기준이하로 유지시켜야할 의무가 있다. 연돌의 상부에 노출된 배기관으로부터 방사되는 소음은 공기를 매질로 하여 거주구로 바로 전달된다. 최근의 엔진 및 발전기의 출력이 증대됨에 따라 폐기관 으로부터 전달되는 소음도가 높아지게 되어 적절한 대책이 없이는 IMO가 허용하는 소음도를 초과할 수 밖에 없고, 특히 유조

선에 비하여 거주구와 연돌 사이의 거리가 비교적 가까운 container선의 대형화로 고출력 엔진과 발전기를 사용함에 따라 배기음의 소음도가 기존 선박 보다 증가하는 상황이다. 또한, shuttle tanker등의 특수 목적선을 많이 건조하는 국내 조선업의 현실을 고려하면 고성능 소음기의 국산화에 의한 선박설계 및 관련방음 조치방법의 정립이 필요하다.

배기관의 소음은 연돌 내부와 외부소음을 고려할 수 있으며, 연돌 내부의 소음은 철판으로 둘러싸여 외부로 전달되고 있으므로 외부로 전달되는 소음은 약 30dB이상 감음 된 후 거주구 등 외부로 전달되고, 배기관의 소음은 주로 외부로 노출된 상부 끝단을 통하여 공기음으로 전파된다. 상선의 경우 IMO에서 규제하는 소음규제 구역인 bridge wing에 대한 소음은 배기관 끝단의 소음도가 지배하게 된다. 배기관 끝단을 통하여 방사되는 소음을 점 음원으로 하고, 자유공간에 있는 경우로 등가 함으로서, 거리 감쇠에 의한 bridge wing에서의 예상 소음도는 식(2.1)과 같이 계산할 수 있다. Bridge wing에서의 소음도 SPL(최병수1991)은 다음과 같다.

$$SPL = PWL - 20\log r - 11 \quad (2.1)$$

PWL : 배기관 끝단에서의 소음파워레벨

r : 배기관 끝단에서 bridge wing까지 거리

이와 같이 계산된 소음도가 IMO 허용치를 초과할 경우 설계자는 소음기를 배기관에 삽입하여 연돌 상부로 방사되는 소음을 감소시키는 설계를 하게 된다. 발전기의 용량이 증가 될수록 소음기의 감음 성능이 좋은 고성능 소음기가 요구되고 있다.

2.2 소음기 설계시의 삽입손실 계산

1)소음기의 설계

배기관용 소음기의 구조는 공명형 구조와 공동형 소음기 구조의 조합형태로 구성하여 각각의 방법에 의한 이론적인 투과손실을 계산하고, 추가로 감음 효과를 얻기 위하여 공명형과 공동형의 조합된 소음기 내부구조에 흡음재를 부착한 구조를 기본으로 한다. 이러한 복합된 구조를 갖는 소음기의 예상되는 삽입손실은 공명형 소음기에 의한 설계투과 손실과 공동형 소음기에 의한 설계 투과손실 그리고 흡음재에 의한 설계투과손실의 합으로 생각할 수 있다.

본 논문에서 성능시험 후 실선에 설치한 silencer는 상기 세 가지 구조의 복합형으로서 공동형 소음기구조에 의한 13-15dB의 감음과 흡음재에 의한 7-12dB 감음 그리고 공명형 소음기 구조에 의한 감음 10-15dB를 목표로 설계하였다. 일반적으로 박용소음기는 세 가지 감음성능이 복합되어 나타난다고 할 수 있다. 공명형과 공동형 그리고 흡음처리 등 주파수 특성을 고려한 상세한 조합방법은 설계 노하우라고 할 수 있다. 소음기 설계시 소음기 구조에 따른 삽입손실 계산은 일본음향학회의 설계지침에 의하여 수행하였다 (일본음향학회 1983).

2)실용소음기

실제 박용 배기관 소음기는 공명형과 공동형을 조합하여 만들고, 내부에 이중공명 및 흡음재 처리를 하게되므로 감음 효과를 이론적으로 정밀하게 계산하는 수고보다는 고유한 단면 구조를 실험적으로 개발하여 실제 성능 시험을 통하여 최종적인 성능을 확인 보증하는데 주력하고 있다. 이러한 소음기의 성능 시험은 관내 공기의 흐름이 없는 경우에 대하여 약식으로 수행되고 있으나 본 실험에서는 관내유속을 발생시키는 장치를 만들어 소음기의 성능시험을 수행하였다.

3. 소음기 성능시험

3.1 소음기 성능시험 장치구성

성능시험장치의 구성은 Fig.4와 같이 구성 하였으며 sensor위치는 그림과 같이 3곳으로 하였다 시험에 사용된 silencer는 25dB (Ø400mm 35dB(Ø600mm) 2종류이며 실험사진은 Fig.5에 타내었다.

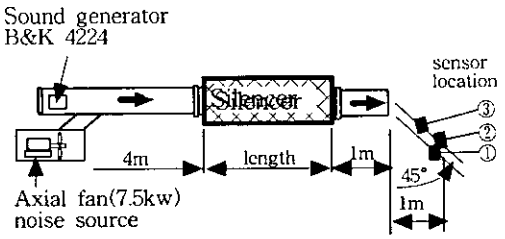
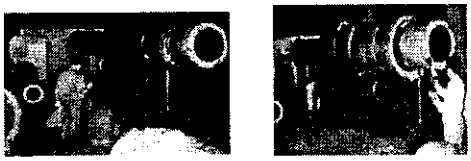
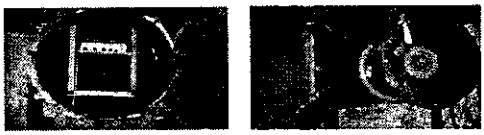


Fig. 4 Schematic diagram of sound reduc facility for the silencer



a)without silencer b)with silencer

Fig. 5 The scene of sound reduction test



a)B&K4224 b)axial fan

Fig. 6 The photograph of sound genera axial fan

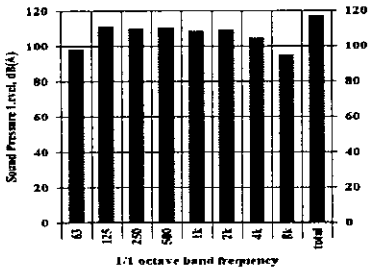


Fig. 7 B&K4224 Noise Source Level (1/1 octave)

관내 유속이 0m/s인 경우와 32m/s인 경우에 대하여 각각 소음 감소정도를 실험하였다. 실험에 사용된 소음원 및 축류팬의 설치 후 사진은 Fig.6과 같다. 성능시험에 사용된 소음원의 특성은 Fig.7, 8에 나타내었고, 측정당시의 암소음은 Fig.9에 나타내었다.

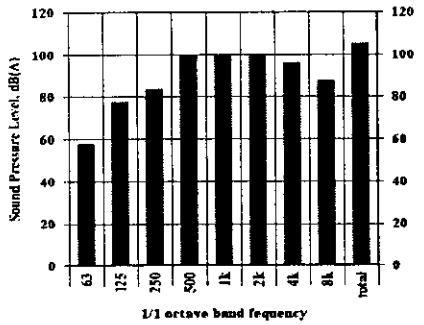


Fig. 8 Axial fan noise source(1/1 octave)

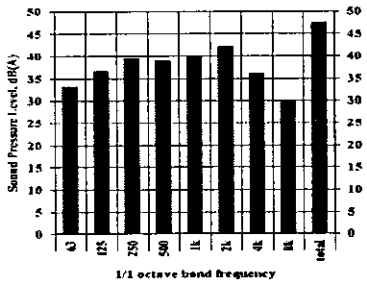


Fig. 9 Background noise levels during reduction test(1/1 octave)

3.2 성능 시험방법 및 성능시험결과

3.2.1. 25dB 소음기성능시험 방법

실선의 지름 400mm의 배기관에 설치하기 위하여 지름과 길이가 760mm×2900mm인 소음기에 대하여 실험하였다. 관내의 공기 속도가 0m/s인 경우 Fig.10과 같이 소음기가 설치되지 않은 조건에서 소음원 쪽에 설치된 noise generator(B&K 4224)에 의하여 소음을 발생시킨 후 ①②③위치의 소음도 측정 후, 소음기를 설치한 조건에서 ①②③위치의 소음도를 다시 측정하여 감음 성능을 확인하였다. 또한 관내의 공기 속도가 32m/s인 경우 Fig.11과 같이 관내에 축류팬을 설치하여 공기속도를 32m/s로 유지시킨

후 위와 같은 실험을 반복 수행하였다. 이때의 소음원은 팬의 자체소음으로 하였다.

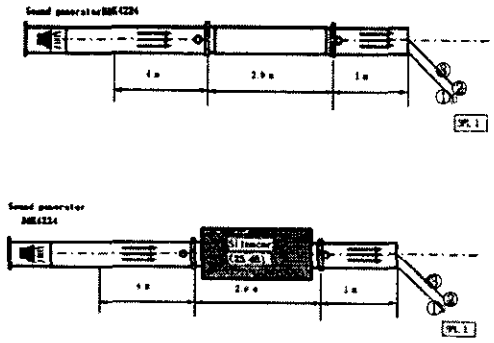


Fig. 10 Case 1 : Sound reduction test fac 25dB silencer with V=0m/s

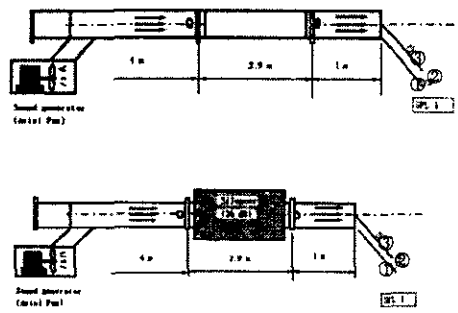


Fig. 11 Case 2 : Sound reduction test fac 25dB silencer with V=32m/s

3.2.2 25dB 소음기성능실험 결과

소음기의 성능을 파악하기 위하여 소음기설치 전후에 대한 소음을 측정하였다. 측정 sensor를 한 곳으로 하였을 경우에 대한 sensor의 위치에 따른 측정오차를 감소시키기 위하여 측정 위치 3곳을 정하여 각각 소음을 측정하고, 측정위치별 소음측정결과를 Table1~3에 정리하여 나타내었다.

Table 1 Summary of the measured Insertion Loss at sensor location ①

A) Sound generator with air velocity of 0m/s, Noise Source : Sound generator B&K4224

Sound Pressure Level	Total dB(A)	1/1 Octave analysis, Hz								
		31.5	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
without silencer	93.1			73.	75.7	86.6	87.7	88.1	81.7	64.3
with silencer	61.1	33.6	49.0	53.4	51.3	52.1	77.8	54.1	51.9	39.8
Noise Reduction	32.0			20.1	24.4	34.5	9.9	34.0	29.8	24.5

B) Fan operating noise with air velocity of 32 m/s, Noise Source : Axial Fan

Sound Pressure Level	Total dB(A)	1/1 Octave analysis, Hz								
		31.5	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
without silencer	103.1			74.5	81.2	96.6	97.9	98.4	94.2	86.1
with silencer	71.4		43.6	58.2	58.3	64.7	59.2	63.2	66.6	60.7
Noise Reduction	31.7			16.3	22.9	31.9	38.7	35.2	27.6	25.4

Table 2 Summary of the measured Insertion Loss at sensor location ②

A) Sound generator with air velocity of 0 m/s, Noise Source : Sound generator B&K4224

Sound Pressure Level	Total dB(A)	1/1 Octave analysis, Hz								
		31.5	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
without silencer	93.7	-	53.0	73.8	75.2	87.3	88.8	88.3	79.1	59.9
with silencer	60-61)	35.9	45.9	54.8	50.9	51.9	49.0	57.2	53.8	38.1
Noise Reduction	32.7		7.1	19.8	24.3	35.4	39.8	31.1	25.3	21.8

B) Fan operating noise with air velocity of 32 m/s, Noise Source : Axial Fan

Sound Pressure Level	Total dB(A)	1/1 Octave analysis, Hz								
		31.5	63	125	25	500	1k	2k	4k	8k
without silencer	101.2	-	52.7	75.5	81.0	97.7	98.4	97.5	92.0	81.9
with silencer	70.9	42.1	44.6	56.5	57.2	65.1	58.0	63.0	67.6	59.3
Noise Reduction	30.3		8.1	19	23.8	32.6	40.4	34.5	24.4	22.6

Table 3 Summary of the measured Insertion Loss at sensor location ③

A) Sound generator with air velocity of 0 m/s, Noise Source : Sound generator B&K4224

Sound Pressure Level	Total dB(A)	1/1 Octave analysis, Hz								
		31.5	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
without silencer	96.7	-	55.6	78.0	79.8	90.4	93.2	92.5	82.4	63.9
with silencer	65.7 d	33.4	45.9	59.1	54.2	54.0	52.2	64.0	59.9	45.4
Noise Reduction	31.0		9.7	18.9	25.6	36.4	41	28.5	22.5	18.5

B) Fan operating noise with air velocity of 32 m/s, Noise Source : Axial Fan

Sound Pressure Level	Total dB(A)	1/1 Octave analysis, Hz								
		31.6	63	125	25	500	1k	2k	4k	8k
without silencer	104.8	66.4	57.9	76.7	84.3	99.1	100.	100.	94.4	84.2
with silencer	78.1	66.4	72.5	74.0	73.3	71.1	64.1	68.3	76.2	68.4
Noise Reduction	26.7			2.7	11.0	28	36.4	31.8	18.2	15.8

3.2.3. 35dB Silencer 성능실험 방법

35dB 소음기는 지름600mm의 선박의 배기관에 설치할 목적으로 지름 및 길이가 960mm×5,400mm의 치수를 갖는 silencer이다. 실험과정은 25dB 소음기의 경우와 동일하다. 관내의 공기속도는 0m/s 및 실선에서의 유속조건에 가까운 15m/s인 경우에 대하여 실험하였다

3.2.4 35dB 소음기성능시험 결과

Table 4 Summary of the Insertion Loss of Silencer measured at sensor location ①

A) Sound generator with air velocity of 0 m/s, Noise Source : Sound generator B&K4224

Sound Pressure Level	Total dB(A)	1/1 Octave analysis, Hz								
		31.5	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
without silencer	93.8			77.9	77.4	87.2	88.7	88.3	82.6	66.7
with silencer	62.6	30.0	41.1	55.1	78.6	49.9	50.5	54.2	50.3	38.0
Noise Reduction	31.2			22.8	-1.2	37.3	38.2	34.1	32.3	28.7

B)Fan operating noise with air velocity of 15 m/s, Noise Source : Axial Fan

Sound Pressure Level	Total dB(A)	1/1 Octave analysis, Hz								
		31.5	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
without silencer	105.2			77.7	83.6	99.7	100.1	99.4	96.1	87.8
with silencer	69.8			55.3	57.2	64.6	62.1	64.7	62.3	53.8
Noise Reduction	35.4			22.4	26.4	35.1	38.0	34.7	33.8	34.0

Table 5 Summary of the measured Inserti of IL35dB Silencer at sensor location ②

A) Sound generator with air velocity of 0 m/s, Noise Source : Sound generator B&K4224

Sound Pressure Level	Total dB(A)	1/1 Octave analysis, Hz								
		31.5	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
without silencer	94.5	-	53.9	79.3	77.8	88.9	92.5	89.8	81.1	63.1
with silencer	69.8	24.5	41.4	55.5	52.3	49.5	48.3	56.2	48.5	32.9
Noise Reduction	34.7		12.5	23.8	25.5	39.4	44.2	33.6	32.6	30.2

B)Fan operating noise with air velocity of 15m/s, Noise Source : Axial Fan

Sound Pressure Level	Total dB(A)	1/1 Octave analysis, Hz								
		31.5	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
without silencer	105.3	-	55.6	77.6	83.8	101.	100. 5	99.8	94.3	83.7
with silencer	70.2	-	42.4	56.5	54.7	62.3	59.3	66.7	64.0	53.0
Noise Reduction	35.1		13.2	21.1	29.1	39.5	41.2	33.1	30.3	30.7

Table 6 Summary of the measured In Loss of IL35dB Silencer at sensor location ③

A) Sound generator with air velocity of V=0m/s, Noise Source : Sound generator B&K

Sound Pressure Level	Total dB(A)	1/1 Octave analysis, Hz								
		31.5	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
without silencer	99.3	-	59.6	83.9	82.8	91.6	95.8	94.7	85.6	66.2
with silencer	64.0	24.5	46.1	60.4	55.1	52.5	51.1	61.5	54.0	34.9
Noise Reduction	35.3 dB		13.5	23.5	27.7	39.1	44.7	33.2	31.6	31.3

B)Fan operating noise with air velocity of V=15m/s, Noise Source : Axial Fan

Sound Pressure Level	Total dB(A)	1/1 Octave analysis, Hz 31.5	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
without silencer	109.5	53.6	60.7	83.3	87.1	105.	104.	104.	98.6	88.4
with silencer	74.0	53.9	51.0	59.2	59.6	66.6	61.8	71.2	69.3	58.5
Noise Reduction	35.5		9.7	24.1	27.5	39.1	42.8	33.3	29.3	29.9

4. 성능평가결과

관내유속을 고려한 소음기의 실선에 적용하기 위한 성능 평가결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 25dB 소음기의 성능평가

25dB 소음기에 대한 소음성능 측정결과 중에서 ISO2922의 권장 측정위치에 가까운 ②번 위치에 대한 측정결과를 평가하였다.

2) 35dB 소음기의 성능평가

35 dB 소음기에 대한 소음성능 측정결과 중에서 25dB 소음기에 대한경우와 동일한 위치에 대한 결과를 대표값으로 평가하였다.

3) 측정위치 별 감음도 측정결과요약

측정위치별 계측조건과 측정결과를 비교 정리하면 Table7과 같다.

Table 7 Summary of the measured insertion loss

Silencer kind	Fan operation	location①	location②	location③	area	air velocity
25dB Silencer (400A)	×	32 dB	32.7dB	31.0 dB	0.1257m²	V= 0m/s
	○	31.7 dB	30.3 dB	26.7 dB		V=32m/s
35 dB Silencer (600A)	×	31.2dB	34.7dB	35.3 dB	0.2874m²	V= 0m/s
	○	35.4dB	35.1 db	35.5 dB		V=15m/s

5. 결론 및 고찰

소음기의 성능시험과 실선적용을 위한 성능확인 과정을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

① 본 실험에서 유속을 고려하여 성능시험을 수행한 결과 관내 유속이 0m/s일 때보다 32m/s일 때 소음기 감음 성능이 2-3dB 낮게 확인되었다. 동일한 조건에서 유속변화에 의한 흡음성능 차이는 배기의 유속이 빠른 특수선의 방음 설계의 검토사항중의 하나로 사료된다.

② 지름 400mm, 600mm의 배기관의 경우 관내유속이 V=15m/s 와 V=0m/s일 때의 삽입손실을 비교하면 15m/s범위에서는 감음 성능의 변화가 거의 없음을 확인하였다.

③ 소음기 성능시험시 소음계의 위치는 관의 직경이 큰 경우에는 중심에서 45° 방향으로 1m 떨어진 위치와 관의 외경에서 45° 방향으로 1m 떨어진 위치에서 측정한 경우에 대하여 평균을 취할 필요가 있다고 사료된다. 소음계의 마이크로폰과 관의 외면이 이루는 각도에 의하여 소음기에 의한 감음 정도의 측정오차가 발생할 수 있다. 본 실험에서는 ISO2922의 측정 시 권고사항에 가까운 계측위치②번에서의 계측 값을 대표 값으로 하였다.

④관내유속을 고려한 박용 배기관용 소음기의 국산제품에 대한 감음특성 확인은 향후 국내의 대용량 컨테이너선은 물론, 특수선 건조 시 요구되는 35dB이상의 고성능 소음기에 의한 방음설계 가능성을 확인하였다.

⑤실험 결과 31.5Hz 및 63Hz에서의 소음기설치 전후에 대한 소음도 변화가 불균일하게 나타난 것은 측정당시 인접공장의 작업상황에 따라 민감하게 변화되는 것을 알 수 있었다. 주로 500Hz 이상의 주파수에서 감음량이 중요한 선박용 소음기에서는 문제되지 않지만, 낮은 주파수 성분의 감음이 필요한 경우 별도의 주의 깊은 실험이 필요하다고 사료된다.

⑥향후, 실제선박에 있어서 배압(back pressure) 및 온도차에 의한 영향 등을 고려한

고성능 소음기에 대한 연구와 개발이 추가된다면 소음기의 국산화 뿐 아니라, 수출 등의 발전가능성을 기대할 수 있다고 판단된다

참 고 문 헌

- 정의봉, 김봉준, 김재호 2000 "로터리 압축기 내부 소음해석," 박용기관학회지 Vol. 24, No. pp.247-253
- 홍기운, 남정길, 최재성 1998 "4 실린더기관 흡기계의 최적설계에 관한 연구," 박용기관학회지, Vol 22, No.6
- 최병수 1991 "선박진동• 소음제어지침," 한국선급
- 日本音響學會 1983 "振動騷音對策 ハンド ブック," 集文社
- 이원복 1992 "기계설계편람," 대광서림, pp. 517-531
- NTNF 1975 "Noise Control in Sh Norwegian Council for Technical and Scientific Research
- E. Bruakk, M. A. Nilsson 1981 "Noise Prediction Experiences," DNV
- Raymond W. Fischer, C.B. Burroughs and D.L. Nelson 1983 "Design Guide for Shipboard Airborne noise control," SNAME Technical and Research Bulletin No 3-37
- 김석원, 김재승, 김극천 1990 "도파관 이론을 이용한 고체소음 전달해석," 대한조선학회논문집 Vol. 29, No.2, pp.78-86
- 엄도재 1990 "국내 조선업의 당면과제," 대한조선학회논문집 Vol 29, No.2, pp.104-105
- 김사수, 신구균, 이홍기 1993 "선박소음예측 프로그램 개발에 관한연구," 대한조선학회논문집 Vol. 28, No.2, pp.293-306
- 강현주, 김재승 1992 "SEA이론을 이용한 고체음 전달해석에 관한 연구," 대한조선학회 논문집 Vol 29, No1, pp. 113-122
- 강현주, 김현실, 김재승, 한성용, 이영철 199 "SEA를 이용한 선박 소음해석 개발(I)," 대한조선학회지 Vol.31, No.1, pp. 133-141
- ISO 1975 "Acoustics Measurement of n emitted by vessels on inland water-way harbours," ISO Standard 2922

〈엄재광〉