Bull. Korean Fish. Tech. Soc. 16(2), 1980 漁業技術 16(2), 1980

機關騷音의 水中傳播에 關한 硏究

朴 仲 熙*

The Underwater Propagation of The Noise of Ship's Engine

Jung-hee PARK*

This paper describes the measurement of the underwater noises produced by the engine vibration around the engine room of stern trawler M/S Sae-Ba-Da(2275GT, 3,600 PS) and pole liner M/S Kwan-Ak-San (243 GT, 1000 PS) while the ship is stopping.

The underwater noise pressure level was measured with the underwater level meter of which measuring range is 100 to 200 *dB*(re 1μPa).

A and B denotes the maximum pressure level measured at right beneath the bottom of the engine room, while the main engine of the Sae-Ba-Da revoluted at 750 and 500 rpm, respectively. C denotes that of the main engine of the Kwan-Ak-San revoluted at 350 rpm, and D that of the generator of the Sae-Ba-Da revoluted at 720 rpm. Thus A, B, C and D were set for the standard sound source for the experiment.

The results obtained are as follows:

1. The noise Pressure level at A, B, C and D were 170.5, 165, 153 and 158*dB*, respectively.
2. When the check points distanted vertically 1, 10, 20, 30, 40, 50*m* from the sound source, the underwater noise presure levels were 170.5, 155, 148, 144 and 138 *dB* and the directional angle was 116° in case of A.
3. The sound level attenuated at the rate of 20*dB* per 10^n meters of the horizontal distance from the sound sources.
4. The frequency distribution of the noise was 100*Hz* to 10*KHz* and predominant frequency was 700 to 800*Hz*

緖 論

文明의 發達과 人口增加에 따라 海上에서도 船舶運航이[1,2] 빈번해져 海洋環境騷音[3]에 큰 영향을 미치게 되었다.

오늘날 海洋學者들이나 魚類를 硏究하는 生物學者들에 의해 魚類나 動物들의 發生音에 對한 硏究는 활발해지고 있으나 水中에서의 船舶騷音이 水線面下 船體의 어느 部分에서 音壓準位가 가장 높게 나타나는가, 또 機關의 種類나 馬力 그리고 回轉數에 따라 水中에서의 船舶騷音이 어떻게 달라지는가에 關해

* 釜山水産大學, National Fisheries University of Busan

報告된 文獻은 찾아보기 어려웠다.

水中에서의 船舶機關騷音을 硏究하려는 目的은 첫째로는 漁法과 關聯이 큰 魚類의 生理生態에 미치는 影響에 關한 硏究이며, 둘째로는 海中의 情報를 얻기 위한 것으로, 魚類나 船舶등의 動態를 騷音測定에 의해서 遠隔探知하려는데 있다.

本硏究에서는 이 두가지 目的을 達成하기 위한 基礎資料를 提供하기 위하여, 釜山水産大學 實習船 船尾式트롤선 새바다호(3,600PS)와 채낚기 어선 관악산 1호(1,000PS)를 대상으로 하여, 全速, 半速, 微速時와 機關回轉數가 同一할 때의 각각의 音壓準位가 水中에 傳播되는 特性을 살피기 위해, 船體浸水部에서 音壓準位가 가장 높게 나타나는 位置를 구하여 그 位置를 音源으로 定하고, 그 點의 音壓準位가 垂直 및 水平方向으로 傳播될 때의 音壓의 減衰[4], 吸收係數[5,6], 指向角, 周波數[7]의 分布範圍에 對해 比較 檢討한 結果를 報告한다.

方 法

1. 船 舶

實驗에 쓰인 船舶의 要目은 Table 1과 같다.

Table 1. Dimension of the ships used for the experiment

Item	Sae-BaDa	Kwan-Ak-San
Gross tonnage(*ton*)	2,275.7	243.96
Main engine(PS)	3,600(1,800×2)	1,000
Main engine(rpm)	750	750
Maximum pitch(°)	15	30
Length overall(*m*)	87.9	63
Breadth(*m*)	13.6	8.2
Draft(*m*)	6.0	4.0
Hull	Steel	Steel
Space of engine room(m^3)	2,300	220
Number of cylinder	16	6

2. 測定方法

1978년 8월 23일 북위 33° 47′ 동경 127° 34′에서, 동년 10월 20일 북위 6° 01′ 동경 108° 04′에서, 또 1980년 7월 11일 북위 35° 02′ 동경 129° 12′ 에서, 波浪에 의한 騷音의 影響을 考慮하여, 沿岸으로 부터 수십 마일 떨어진 海底가 平坦하고 水深이 90*m* 이상 되는 곳을 택하여 새바다호와 관악산 1호에 乘船하여 다음과 같이 水中 機關騷音을 測定하였다.

1. 基準音源 및 音壓의 設定

機關騷音이 船體浸水部 어느 곳에서 音壓準位가 가장 높게 나타나는가를 調査하기 위하여, 外舷浸水部 周圍에서 水深 1*m*와 5*m* 층의 水中音壓을 測定한 結果, 機關의 正橫 舷外 水面直下에서 가장 높은 音壓準位를 나타내었으며, 또한 이 位置에서 水中聽音器를 船底로 移動시키면서 音壓을 測定한 結果 機關 바로 아래의 船底外板 바로 밖에서 音壓準位가 가장 높았다. 따라서 이 位置에서의 音壓準位를 Table 2

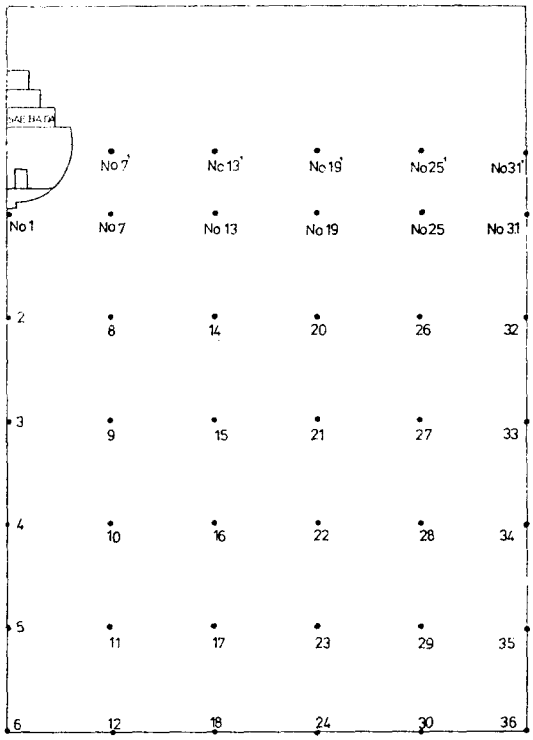

Fig. 1. Showing the check points.

Table 2. Standard sound sources for the experiment

Exp. ship	engine	rpm	MPL(*dB*)	symbol
Saebada	main	750	170.5	A
〃	〃	500	165	B
Kwanaksan	main	350	153	C
Saebada	generator	720	158	D

MPL denotes maximum pressure level at right beneath the bottom of the experimented ships

와 같이 基準音源 및 音壓으로 삼았다. 이 水中音源의 位置를 基準觀測點으로 잡아 水平 및 垂直方向으로 Fig. 1과 같이 觀測點을 잡았다.

2. Filter 試驗

水中音壓計(OKI Underwater sound level meter: model SW-1007, measuring range 100—200 *dB*)의 基準音壓을 140 *dB*로 하여, 水中聽音器를 水深 2*m*에서와 5*m*에 固定하고, 本船의 發電機까지도 完全히 멈추게 하여 고요한 상태에서 각각의 filter 마다 140*dB*가 測定되는가를 試驗하였다. 그 結果 雜音除去用 1 KH_z filter에서만 3.5*dB*이 낮았고 그 외의 filter에서는 正確히 140*dB*를 나타내었다.

Fig. 2는 水中音壓計의 周波數特性을 나타낸 것이다.

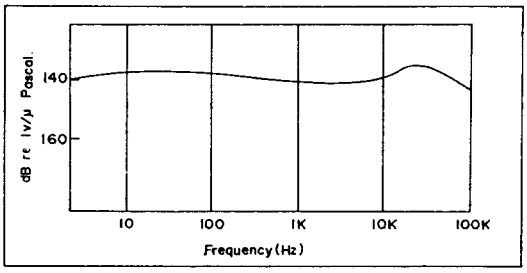

Fig. 2. Frequency characteristics of the underwater sound pressure level meter.

3. 各觀測點에서의 測定

水中音壓計에 雜音除去用 1 KH_z filter를 써서 headphone으로 水中音을 聽取하여, 각 관측점에서의 音壓範圍에 해당하는 range에 맞추어가면서, 그때 그때의 音壓準位를 X—Y recorder로 記錄함과 동시에 錄音器(Sony, cassette—corder: model TC 1045)로 3분간씩 녹음하였다.

水中音壓計의 電源은 UM—1 battery 9*V*로 사용하였고, 音壓準位의 單位는 *dB* re 1μPa.를 사용하였다.

機關騷音이 水中에서 垂直 및 水平距離上에서 傳播減衰되어가는 경향을 調査하기 위해 音源을 基點으로하고 船首方向과 正橫方向으로 10*m*마다 50*m*까지, 또 水平距離線上에서 각각 垂直方向으로 10*m*마다 50*m*까지를 관측점 (check point)으로 定하여 音源別로 측정하였다.

Fig. 3은 水中音壓 測定 裝置의 Block diagram이다.

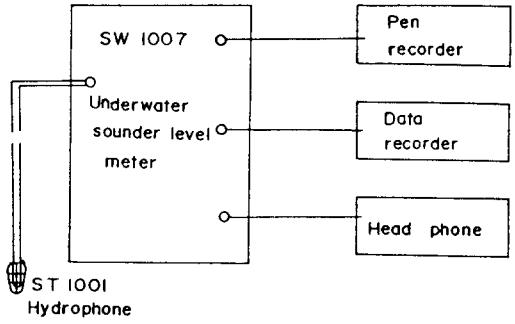

Fig. 3. Block diagram of underwater noise measurement system.

4. 騷音分析

騷音分析은 錄音한 tape를 實驗室에서 無增幅錄音器(Brüel & Kjaer, 7004)로 必要한 부분만 編輯하여, 헤테로다인 周波數分析器(Brüel & Kjaer 2010) 및 準位記錄器(Brüel & Kjaer, 2307)로써, 각 周波數에 대한 音壓準位를 分析하였다.

헤테로다인 주파수 분석기로는 31.6H_z constant band pass filter로 100H_z에서 10KH_z까지의 音壓準位를 구했다. 이때 準位기록기의 기록속도는 16*mm/sec* 이고, 기록지 속도는 1*mm/sec* 였으며 주파수 분석기의 effective averaging time은 3*sec*였다.

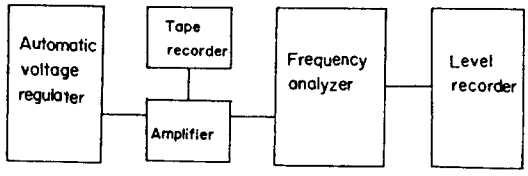

Fig. 4. Block diagram of calibration system for the tape recoder.

結　　果

各 音源에 대한 音壓準位의 測定結果는 音源 A, B의 船首尾線方向의 것은 Table 3, 音源 C의 船首尾線方向과 正橫方向의 것은 Table 4, 音源 D의 船首尾線方向의 것은 Table 5와 같다.

Table 3. The underwater noise pressure level at the every check point for the sound source Aand B, on the direction of stern to bow line

Sound source A

Check points(C. P)	Pressure level *dB*	C. P.	*dB*	C. P.	*dB*	C. P.	*dB*	C. P.	*dB*	C. P.	*dB*
1	170. 5	7	148	13	142. 5	19	137	25	135	31	133
2	155	8	150. 6	14	144	20	140. 3	26	138. 6	32	136
3	148	9	146. 2	15	141. 9	21	139. 7	27	138. 6	33	138
4	144	10	143	16	139. 7	22	138. 5	28	136. 5	34	136
5	140	11	139	17	138. 5	23	136	29	133. 8	35	132
6	138	12	138	18	134. 5	24	133. 7	30	132. 7	36	132
					Sound source B						
1	165	7	144. 5	13	137. 8	19	134. 2	25	130. 5	31	138. 5
2	148. 5	8	144. 3	14	138	20	134. 4	26	132. 8	32	130. 5
3	143	9	141. 3	15	137	21	113, 5	27	134	33	132
4	139	10	138	16	134. 9	22	132. 8	28	132	34	131. 2
5	136	11	135. 2	17	132. 6	23	131	29	130	35	129
6	134	12	134	18	130. 5	24	130	30	128. 8	36	127. 8

Table 4. The underwater noise pressure level at the every check point for the sound source C

On the direction of stern to bow line

Check points(C. P)	Pressure level *dB*	C. P.	*dB*	C. P.	*dB*	C. P.	*dB*	C. P.	*dB*	C. P.	*dB*
1	153	7	130	13	123	19	120	25	118	31	117
2	140	8	132	14	127. 5	20	124	26	121	32	118
3	135. 5	9	131	15	128. 5	21	126. 5	27	125	33	122
4	132	10	130	16	129	22	127. 5	28	125	34	124
5	130	11	129	17	127. 5	23	126. 5	29	125. 5	35	124
6	128. 5	12	128	18	127	24	126	30	125	36	123
					On the direction of abeam line						
1	153	7	133	13	132	19	128	25	124	31	123
2	140	8	135	14	132. 3	20	128. 5	26	127	32	125
3	135. 5	9	134	15	135	21	129	27	128	33	127
4	132	10	132	16	133	22	128. 5	28	127	34	126. 5
5	130	11	130	17	131	23	127	29	126. 5	35	125
6	128. 5	12	128	18	130	24	126. 5	30	125	36	124

Table 5. The underwater noise pressure level at the every check point for the sound source D, on the direction of stern to bow line

Check points(C. P)	Pressure level *dB*	C. P.	*dB*	C. P.	*dB*	C. P.	*dB*	C. P.	*dB*	C. P.	*dB*
1	158	7	138	13	132	19	128	25	124	31	123
2	142	8	138	14	132. 3	20	128. 5	26	127	32	125
3	137	9	135	15	135	21	129	27	128	33	127
4	134	10	133	16	133	22	128. 5	28	127	34	126. 5
5	131. 8	11	131	17	131	23	127	29	126. 5	35	125
6	130	12	130	18	130	24	126. 5	30	125	26	124

考　　察

1. 音源 A, C의 船首尾方向의 音壓分布

Fig. 5는 Table 3의 音源 A 및 Table 4의 音源 C의 音壓을 水平距離를 x軸에, 音壓準位를 y軸에 잡아 나타낸 것이다.

Fig. 5에서 두 音源은 모두 垂直距離가 增加함에 따라 音壓이 減衰되어 가는 경향을 보여주고 있으며,

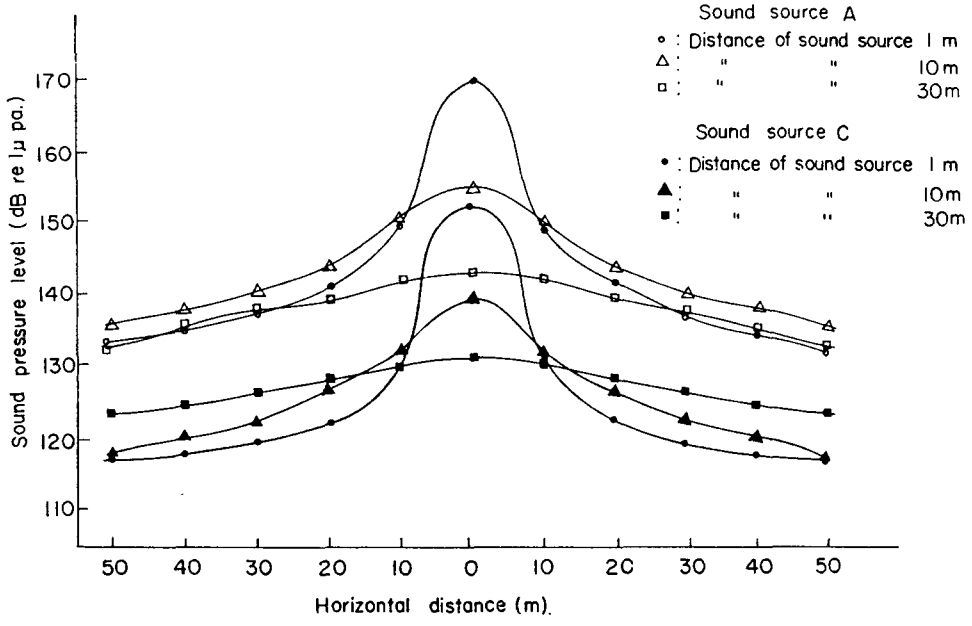

Fig. 5. Curve of the propagation underwater noise pressure level for the engine driving when the vessel was stopping.

音源의 指向軸을 中心으로 하여, 船首尾方向으로 水平距離上에서 垂直距離 1*m*와 10*m*層의 音壓을 比較하면 音源 A, C에서 다같이 水平距離 8*m* 에서 거의 같고, 그 보다 水平距離가 커지면 垂直距離 10*m*層의 音壓이 오히려 높고, 또 垂直距離 1*m*層과 30*m*層의 音壓을 比較하면 音源 A에서는 水平距離 28*m*, 정도에서 양자가 거의 같아지고, 音源 C에서는 水平距離 10*m*에서 垂直距離 30*m*層의 音壓이 垂直距離 1*m*層의 音壓보다 높아졌다.

이와 같은 現象은 機關室 周邊의 船底外板이 指向性을 가진 piston式振動을 하기 때문이라 생각되며, 또한 機關騷音의 音壓은 機關의 馬力과 回轉數에 比例함을 알 수 있다.

2. 等音壓準位 曲線

Fig. 6은 音源A의 垂直距離상에서의 音壓과 水平距離上에서의 等音壓準位曲線을 圖示한 것이다. 이것에서 垂直距離 20*m*層의 音壓準位가 水平方向으로 가장 멀리까지 傳播경향을 나타낸다.

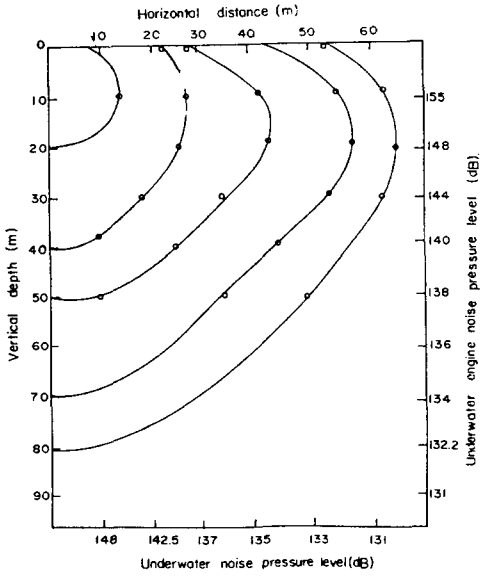

Fig. 6. Relation between underwater equal noise pressure level and directivity distance on the sound direction from vertical line of the sound source A.

各 音源 A, B, C, D에 있어서 水平方向으로 擴張되는 等壓曲線을 比較하기 위하여, 1例로서 135*dB*의 等 壓曲線을 表示하면 Fig. 7과 같다.

이것에서 水平方向으로 最大로 擴張된 것은 音源 A에서는 垂直距離 20*m* 層이고, 音源 B, C, D에서는 垂直距離 10*m* 層이다. 따라서 機關騷音에 關한 水中情報를 얻기 위해서는 音源A(170.5*dB*)인 새바다호의 경우 水深 25*m* 層에, 音源C(153*dB*)인 관악산1호의 경우 水深 15*m* 層에 水中聽音器를 設置해야 가장 效果的으로 騷音을 測定할 수 있음을 알 수 있다.

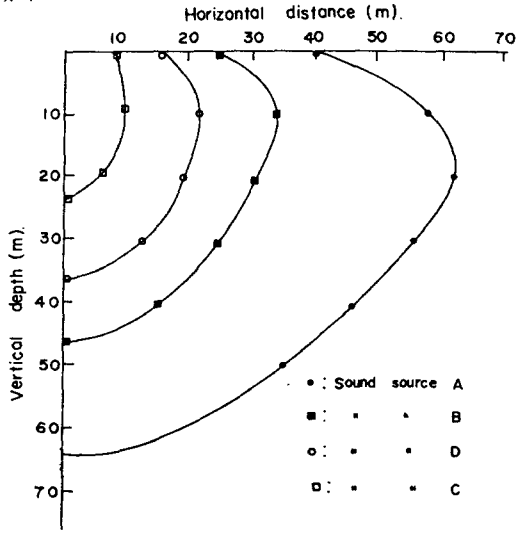

Fig. 7. Curve of the underwater equal noise pressure level 135 *dB* for the sound source A. B. C. and D.

3. 機關騷音의 指向特性

音源을 指標點으로 하여 그 垂直下方의 鉛直線을 0°로 하고, 左右 각각 90°까지의 各 方向에의 角度線上에서 거리 20*m*, 30*m*에 있어서의 音壓分布의 平均값의 一例를 들면 Fig. 8과 같다. 機關騷音은

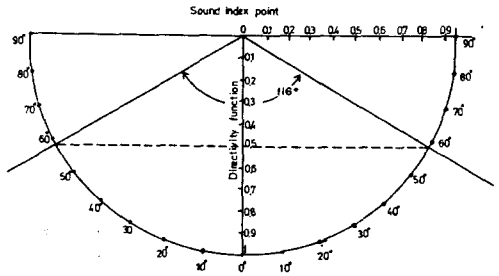

Fig. 8. Directional angle of underwater sound source A.

Fig. 5에서와 같이 音源의 中心軸에서 最大의 音壓을 나타내었는데, 이 最大値를 1로 하여 各方向에 있어서의 音壓의 相對値로써 指向係數를 求하고, 그 半電力點의 角을 指向角으로 삼았다. 그 結果, 새바다호가 116°, 관악산 1호가 120°를 보여, 吃水가 얕은 小型船舶일수록 鈍한 指向性을 가지고 水中音이 放射된다고 생각된다.

4. 垂直·水平方向 傳播音壓減衰

垂直 및 水平方向의 音壓 減衰曲線은 Fig. 9 a, b와 같다.

Fig. 9의 b에서, 水平方向으로 音源 A, B, C, D에서 다같이 거리가 10″배 될 때마다 音壓은 20*dB*씩 減衰하는 경향을 보였으며, Fig. 9의 a에서는 垂直方向으로 20*m* 거리까지는 垂直距離의 10″배에 비례하지 않으나 20*m*이상의 距離에서는 水平方向의 경우와 같이 減衰하였다. 이것은 Suzuki (1980)등의 研究結果와

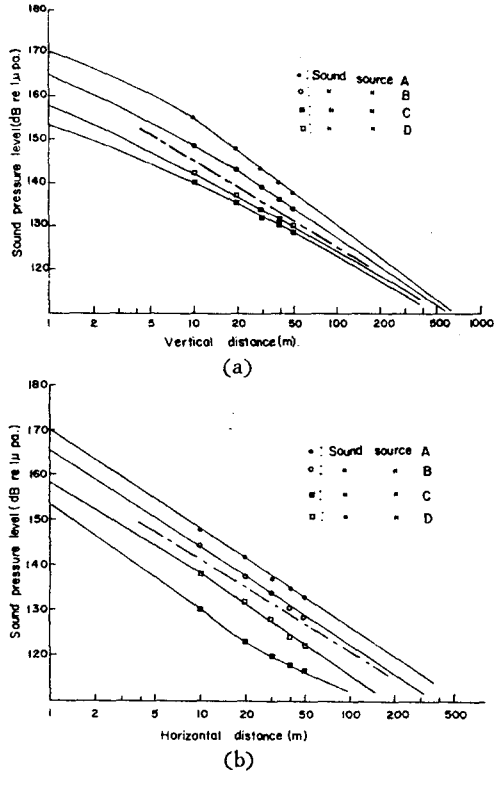

Fig. 9. Relation between underwater engin noise pressure level and distance from sound source A, B, C and D.
a: Noise pressure level of the vertical propagation
b: Noise pressure level of the horizontal propagation

거의 같은 경향을 보였다.

5. 吸收係數

海水中에서 音波가 吸收되는 경향은 吸收係數로서 表示할 수 있으며, Tnorp(1965)는 水中音의 吸收係數 α를 다음과 같이 表示하였다.

$$20logP_x=20logP_1-20log\left(\frac{x}{x_1}\right)-\alpha x$$

但, P_x: xm에서의 音壓,

P_1:1m에서의 音壓

x :音源으로 부터의 거리

x_1 : 音源으로부터 1m인 거리

本 實驗의 測定値를 上記式에 代入하여 計算한 結果를 Fig.10과 같이 片對數方眼紙에 表示하였다. 이것에서 音源 A,B,C,D는 다같이 音源에서의 距離 5, 10, 20, 40, 60, 100m에서 吸收係數가 各各 2.7, 1.9, 1.2, 0.7, 0.5, 0.4로서 音源으로부터 멀어질수록 減少하는 경향을 보였다.

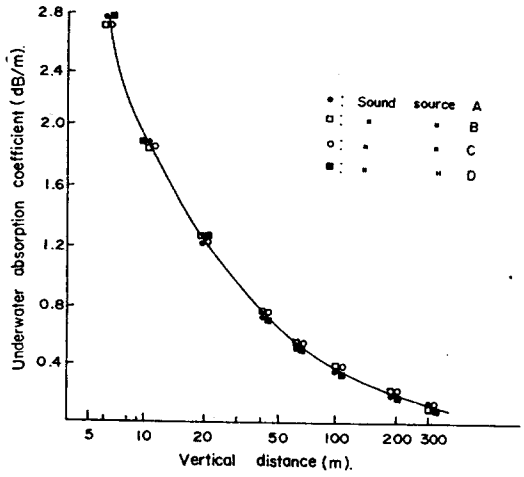

Fig. 10. Underwater absorption coefficient on the vertical distance for the sound sources A, B, C, and D.

6. 周波數分析

Fig.11은 音源이 A 일때 機關室下部 外板의 指標點에서 垂直距離 10,20,40,50m에서 測定한 機關騷音 스펙트럼이다.

이것에서 機關騷音의 周波數 範圍는 어느 경우나 100H_z~10KH_z였고, 中心 周波數는 700~800H_z 였으며, 最大音壓은 機關室舷側 水深 1m에서 135dB, 5m에서 150dB이었으며, 機關室下部 外板의 指標點에서

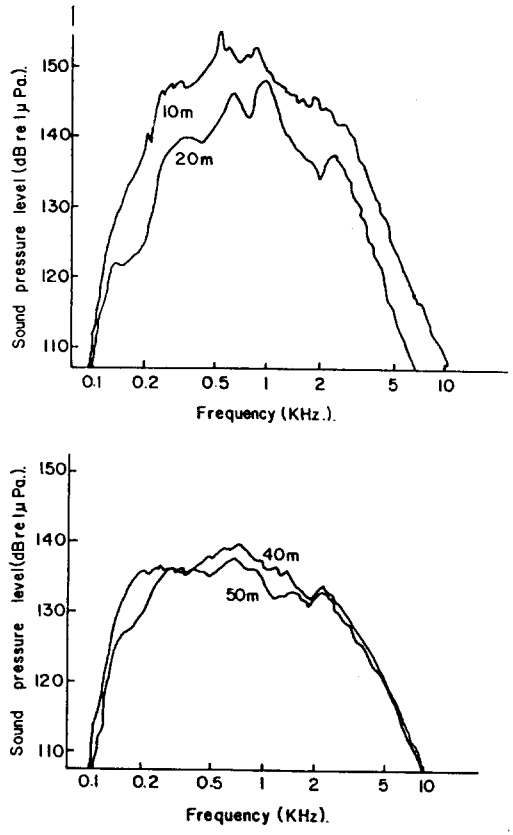

Fig. 11. Relation between sound pressure level and frequency on the vertical distance from the sound source A.

垂直距離 10,20, 40, 50m에서의 音壓準位는 각각 155, 148, 140, 138dB이었다.

要 約

船尾式트롤선형인 새바다호(3600PS)의 主機關을 全速回轉(750rpm)과 半速回轉(500rpm) 시킬 때, 드發電機(550KVA)를 全速回轉(720rrm) 시킬 때, 그리고 채낚기 어선형인 관악산1호 (1,000PS)의 主機關을 微速回轉(350rpm) 시킬 때, 船底 바로 밑에서의 機關騷音을 각각 A,B,D,C를 音源으로 삼고, 이 音源의 水中船底音場의 中心點의 位置와 指標點의 音壓準位를 求하여, 垂直 및 水平距離上에 傳播되는 音壓準位를 測定하여 機關騷音의 指向性, 指向角, 傳播音壓減衰, 吸收係數, 周波數 등을 測定, 比較한 結果는 다음과 같다.

1. 機關騷音의 水中音源中心은 機關室垂直下의 船底外板下部였고, 音源 A,B,D,C의 音壓準位는 각각

170.5, 165, 153, 158*dB*이었다.

2. 指向性은 円形 Piston振動과 같고, 指向角은 새바다호가 116°, 관악산 1호가 120°였다.

3. 音壓準位의 等壓分布曲線은 새바다호가 垂直距離 20*m*, 관악산 1호가 10*m*層에서 最大水平擴張을 하였다.

4. 傳播音壓減衰는 距離 10*m*배마다 音壓準位가 약 20*dB*씩 減衰되었다.

5. 音源A인 경우 吸收係數는 垂直距離 5, 10, 20, 40*m*에서 각각 2.709, 1.917, 1.239, 0.158이었다.

6. 機關騷音의 周波數範圍는 100H_z～10KH_z였고, 中心周波數는 700～800H_z였다.

參 考 文 獻

1. Park, J. H. (1977): Underwater distribution of vessel noise. Bull. Korean Fish. Soc. 10 (4), 227-235.
2. Park, J. H. (1979): Distribution of vessel noise in the Sae-Ba-Da. Bull. Korean Fish. Soc. 12(3), 125-130.
3. Knudsen, V. O., R. S. Alford and J. W. Enling. (1948): Underwater Environmemnt noise. Japan. Mar. Res., 7, 410-415.
4. Suzki, H., E. Hamada., K. Saito., Y. Maniwa and Y. Shirai. (1980): Underwater sound produced by ships to influence marine organisms. Bull. Japan. Navi. Soc. 63, 25-31.
5. Thorp, W. H. (1965): Deep ocean sound attenuation in the sub and low kilocycle-per-second region. Bull. Japan. Acous. Soc Am., 38, 648-653.
6. Hashimoto, T. (1953): Characteristics of ultrasonic wave transmitted vertically in the sea water. Bull. Japan Fishing vessel. Soc. 1, 70-76.
7. Yoon, G. D. (1980): Underwater noise of fishing gear in operation. Bull. Korean Fish. Soc. 12(4), 217-224.