

# 기적음에 대한 선박 선교의 음향전달특성

임정빈\*, 김창경\*\*

\*목포해양대학교 해상운송시스템학부, \*\*목포해양대학교 대학원 박사과정

## Acoustic Transfer Characteristic of Ship's Bridge for Whistle Sound

Jeong-Bin Yim\*, Chang-Kyoung Kim\*\*

\*Division of Maritime Transportation System, Mokpo Maritime University, Mokpo 530-729, Korea

\*\*Department Maritime Transportation System, Graduate School of Mokpo Maritime University, Mokpo 530-729, Korea

**요약** : 이 논문은 기적음이 선박 선교에 전달되는 음향전달특성의 측정기술에 관한 것이다. 실습선 '새누리호'를 대상으로 선교 내부에 전달되는 기적음을 선교문 개폐상태에 따라서 B&K 2260D으로 측정된 후, B&K 7830 소프트웨어를 이용하여 주파수특성을 추출하였다. 측정된 주파수 특성을 이용하여 주파수 샘플링에 의한 FIR 필터 설계법으로 128차 FIR 필터를 구축하였다. 그리고, 기적원음과 FIR 필터의 컨볼루션 연산으로 실험음을 생성한 후, 6단계 평가지표를 이용하여 측정된 음향전달특성을 평가하였다. 평가결과, 실험음이 실제 선교에서 듣는 음과 '유사함'을 나타내는  $A_S=3.3\sim 4.7$ 로 나타나서 본 연구에서 개발한 기법이 선교의 음향전달특성 측정기술로서 유효함을 확인하였다.

**핵심용어** : 기적음, 선교의 음향전달특성, 선교문, 음압(SPL), 유한임펄스응답(FIR) 필터

**ABSTRACT** : The paper describes measurement techniques for an acoustic transfer characteristic of ship's bridge stimulated by a whistle sound. The response sounds, according to the opening-shutting conditions of bridge doors for T/S 'SAENURI', are measured by B&K 2260D equipment, and then extracted the frequency responses by B&K 7830 software. To evaluate the measured transfer characteristic, the 128th order FIR (Finite Impulse Response) filters, containing the frequency characteristic, are constructed based on the frequency sampling-based design method. Using evaluation indexes with six scales, psychological assessments by five subjects are carried out with test sounds which are convolved source sound and FIR filters. As results of tests, the test sounds gives  $A_S=3.3\sim 4.7$  which means the psychological sense of 'it is almost similar sound as original ones in a real world', and thus it is clearly seen that the proposed method can be suit for the measurement of an acoustic transfer characteristic of ship's bridge.

**KEY WORDS** : whistle sound, acoustic transfer characteristic of bridge, bridge door, Sound Pressure Level (SPL), FIR filter

### 1. 서론

선박신호장치에는 발광(light), 음향(sound), 전파(waves) 등 다양한 매체가 이용된다. 특히, 음향신호는 안개, 비 등에 의하여 시계가 제한된 경우 Radar와 함께 항해안전을 위한 유용한 정보전달 매체로서 이용되며, Radar 설치의무가 없는 소형선박의 경우는 더욱 유용하다. 이러한 음향신호의 중요성은 국내 연안에 설치된 PTMS(Port Traffic Management System)와 연계하여 생각할 수 있다. PTMS는 근본적으로 선박 Radar나, 음향

신호장치가 그 지역 통항로의 지형이나 기상 특징으로 인하여 제 기능을 다하지 못하기 때문에 설치된다. 그러나, 다도해 지역의 경우, 섬으로 가려진 광범위한 해역 전부를 Radar로 감시하기 불가능하고, 섬지역에서 활동하는 소형선박은 PTMS 지원에 필수적인 AIS(선박자동식별장치) 설치규정이 없으며, 특히, 섬에 가려진 통항로의 경우는 음전달이 불가능한 음향맹목 구간(sound blind sector)이 발생하는 등의 이유로 해양사고 발생가능성이 크게 잠재하고 있다. 이러한 가능성은, 1999년부터 2002년까지의 해양안전심판원 재결서 분석결과에 의한 것인데, 전체 충돌사고의 20.5%가 무중시 발생하고, 초인거리 1마일 미만의 근접사고가 전체 충돌사고의 34.8%로 나타나고 있어 이러한 가능성의 근거를 뒷바침하고 있다. 또한, 음향신호가 선교

\* 중신회원, jbyim@mmu.ac.kr 061)240-7051

\*\* 회원, navychang@hanmail.com

문 개폐여부에 따라 선교내로 전달되는 특징이 크게 변하기 때문에 2002년 7월부터 선교문 폐쇄시 외부 음향신호 청취가 불가능한 선박은 음향수신장치(Sound Reception System: SRS)를 장착토록, SOLAS에 권고되어 있다(임·김·이, 2002; 임, 2003).

이와 같이 음향신호는 최첨단 항행원조설비가 등장한 현 시점에서 중요한 정보매체로 작용하고 있다. 특히, 최적 음향항로표지 설치지역을 선정하는 경우나, 최적 PTMS 레이더 사이트 선정, SRS 설계와 개발 및 신호음관련 해양사고 분석·평가 등을 위해서는 선교내에 전달되는 신호음의 전달특성 측정방법 개발이 무엇보다 필요하다.

한편, 관련연구의 국내외 동향을 살펴보면, 이 연구분야는 선박과 음향학이라는 특수분야이기 때문에 잠수함, 소나 등 국방분야에 제한되어 있다. 선박 신호음관련 대표적 연구는 일본 小原昭一郎(1987)이 저술한 음향항로표지 보고서이다. 이 보고서는 현재 우리나라 음향항로표지 기초학습자료로 사용되고 있다(김·이 등, 2002; USCG homepage; USCG, 1996).

국내의 경우는 일부 제한된 분야에서만 연구되고 있는데, Yim 등(1994)에 의한 음향등화기의 FIR 필터설계기법을 시작으로, ARMA 모델을 이용한 전달특성측정(Yim, 1996), HRTF에 의한 3차원 해상음장(임, 1997), 선박조종시물레이터 구현을 위한 해상음 생성(임, 1998a, 임, 1998b) 등이 있다.

이와 같이 선교내 신호음 전달특성에 관한 연구는 국내외적으로 전무한 실정이기 때문에 이 분야의 연구개발이 시급히 요구된다.

## 2. 기적음 전달이론

### 2.1 해상에서 음전달 메카니즘

해상에서 기적음은, 공기와 안개에 의해서 흡수되고, 산, 구름 등에서 반사 및 굴절된다. 해기사를 청취자(Listener)로 정하고, 이 해기사 두 귀 각각에 관한 음향 전달계의 입출력 관계를 Fig.1의 다중경로를 갖는 단일입력-2출력 시스템으로 고려한다(임, 2000).

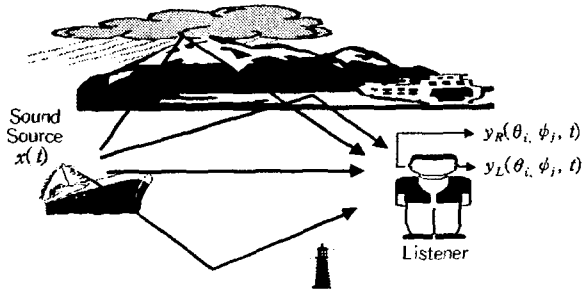


Fig.1. The single input-two output system

청취자와 음원(sound source)  $x(t)$ 를 잇는 선을 기준방위 0도로 두고, 0도부터 360도까지 수평면에서 시계방향으로 돌면

서  $i$ 개로 분할하여  $\theta_i$ 로 나타낸다. 그리고, 청취자를 기준으로 -90도에서 +90도까지의 고각을  $j$ 개로 분할하여  $\phi_j$ 로 나타낸다.  $(\theta_i, \phi_j)$  ( $i=1, 2, \dots, N, j=1, 2, \dots, M$ )의 위치에서 청취자가  $x(t)$ 를 보았을 때, 이 청취자의 왼쪽 귀에 수신된 음향신호를  $y_L(\theta_i, \phi_j, t)$ , 오른쪽 귀에 수신된 음향신호를  $y_R(\theta_i, \phi_j, t)$ 로 나타내면 다음 식(1)의 관계가 성립한다.

$$\left. \begin{aligned} y_L(\theta_i, \phi_j, t) = & x(t) * h_L(\theta_i, \phi_j, t - \tau_{L0})\alpha_{L0} + \\ & x(t) * h_L(\theta_i, \phi_j, t - \tau_{L1})\alpha_{L1} + \\ & \dots \\ & + x(t) * h_L(\theta_i, \phi_j, t - \tau_{Lk})\alpha_{Lk} + \dots \\ y_R(\theta_i, \phi_j, t) = & x(t) * h_R(\theta_i, \phi_j, t - \tau_{R0})\alpha_{R0} + \\ & x(t) * h_R(\theta_i, \phi_j, t - \tau_{R1})\alpha_{R1} + \\ & \dots \\ & + x(t) * h_R(\theta_i, \phi_j, t - \tau_{Rk})\alpha_{Rk} + \dots \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

여기서, 첨자 L, R: 청취자 왼쪽(Left) 및 오른쪽(Right) 귀를 의미하고,  $\theta_i, \phi_j: x(t)$ 에 대한 청취자의 방위각과 고각,  $h_L(t), h_R(t): x(t)$ 와 청취자 왼쪽귀 및 오른쪽귀 사이의 임펄스응답,  $k: 음파의 전달경로 (k=0, 1, 2, \dots)$ ,  $\alpha_{Lk}, \alpha_{Rk}: k$  번째 경로에서  $x(t)$ 와 왼쪽귀 및 오른쪽귀 사이에 형성되는 감쇠계수 ( $\alpha_{L0} = \alpha_{R0} = 1, 0 \leq \alpha_{Lk}, \alpha_{Rk} \leq 1$ ),  $\tau_{Lk}, \tau_{Rk}: k$  번째 경로에서 왼쪽 및 오른쪽 채널의 직접전달음과 반사전달음 사이의 시간차 ( $\tau_{L0} = \tau_{R0} = 0, 0 < \tau_{L1} < \tau_{L2} < \dots < \tau_{Lk}, 0 < \tau_{R1} < \tau_{R2} < \dots < \tau_{Rk}$ ),  $*$ : 콘볼루션 연산.

위의 식(1)에 대한 이산표현을 다음 식(2)와 같이 나타낸다.

$$\left. \begin{aligned} y_L(\theta_i, \phi_j, n) &= x(n) * g_L(\theta_i, \phi_j, n) \\ y_R(\theta_i, \phi_j, n) &= x(n) * g_R(\theta_i, \phi_j, n) \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

여기서,

$$\left. \begin{aligned} g_L(\theta_i, \phi_j, n) &= \sum_{k=0}^{\infty} \alpha_{Lijk} h_L(n - n_{Lijk}) \\ g_R(\theta_i, \phi_j, n) &= \sum_{k=0}^{\infty} \alpha_{Rijk} h_R(n - n_{Rijk}) \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

위의 식(2)와 식(3)을 z변환하면 다음 식(4)와 식(5)로 된다.

$$\left. \begin{aligned} Y_L(\theta_i, \phi_j, z) &= X(z) G_L(\theta_i, \phi_j, z) \\ Y_R(\theta_i, \phi_j, z) &= X(z) G_R(\theta_i, \phi_j, z) \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

여기서,  $z = e^{j\omega}$ .

$$\left. \begin{aligned} G_L(\theta_i, \phi_j, z) &= H_L(\theta_i, \phi_j, z) \sum_{k=0}^K \alpha_{Lijk} z^{-n_{Lijk}} \\ G_R(\theta_i, \phi_j, z) &= H_R(\theta_i, \phi_j, z) \sum_{k=0}^K \alpha_{Rijk} z^{-n_{Rijk}} \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

위의 식(5)의 우측 첫 번째항은 음향경로특성이 모두 배제된 인간의 머리전달함수(Head Related Transfer Function; HRTF)이고, 우측 두 번째항은 감쇠상수  $\alpha$ , 경로차  $n$ 으로 구성된 음

향전달경로특성을 나타낸다. 이 연구에서는 선박신호음 전달특성 측정용 목적으로  $\alpha$  와  $n$  에 관해서만 기술한다. HRTF는 본 저자의 논문(임, 1997; 임, 1998a; 임, 1998b)에 상세히 기술되어 있다. 그리고, 감쇠상수  $\alpha$  는 전달매체의 종류에 따라서 다르다. 여기서는 공기, 안개, 선교문개방, 선교문반개방, 선교문폐쇄 등에 대한 감쇠상수를 각각  $\alpha_A, \alpha_F, \alpha_{DOpen}, \alpha_{DHOOpen}, \alpha_{DClose}$  등으로 정의하여 전개한다.

## 2.2 선교내 전달특성 측정이론

기적 전방에 마이크로폰을 두고 측정한 평균음압은, 다음 식(6)과 같은 음-에너지 밀도로 나타낼 수 있다(A.D.Pierce, 1994; L.L.Beranek, 1996; IEEE Press, 1979).

$$D_{avg} = \frac{|P_{avg}|^2}{\rho_0 c^2} \quad (6)$$

여기서,  $|P_{avg}|$ : 시공간에서 평균한 음압의 rms크기,  $\rho_0$ ,  $c$ : 각각 공기 밀도 및 음속,  $\rho_0 c$ : 공기의 특성 임피던스. 이상기체(ideal gas)에서 음속  $c$ 는 다음 식(7)과 같다.

$$c = \sqrt{\frac{\gamma \cdot P}{\rho_0}} \quad (7)$$

여기서,  $P$ : 대기압 (Pa),  $\gamma$ : 비열비.

음파는 입사각과 동일한 크기의 반사각으로 반사되며, 다시 제2, 제3 등의 반사파를 연속하여 만든다. 통계적 관점에서, 반사파들 사이의 평균자유경로(Mean Free Path, MFP)는 다음 식(8)으로 되고,

$$MFP = \frac{4V}{S} \quad (m) \quad (8)$$

여기서,  $V$ : 공간의 체적,  $S$ : 공간의 총 표면적.

음파가 MFP 거리를 이동할 때의 시간  $t_{MFP}$  (sec)는 다음 식(9)가 된다.

$$t_{MFP} = \frac{4V}{cS} \quad (9)$$

음파가 반사면에 부딪히는 횟수가 점점 증가하게 되면, 각 반사면에 동일한 확률로 음파가 입사된다. 따라서, 반사면에서의 평균흡수계수  $\overline{\alpha_{Ab}}$ 은 다음 식(10)과 같이, 반사면적에 따라 무게 가중된 형태로 된다.

$$\overline{\alpha_{Ab}} = \frac{S_1 \alpha_{Ab1} + S_2 \alpha_{Ab2} + \dots + S_n \alpha_{Abn}}{S_1 + S_2 + \dots + S_n} \quad (10)$$

여기서,  $S_1, S_2, \dots, S_n$ : 각 반사표면적,  $\alpha_{Ab1}, \alpha_{Ab2}, \dots, \alpha_{Abn}$ : 각 반사표면의 흡수 계수.

따라서, 반사 재질에 따른 평균 감쇠 계수  $\overline{\alpha_M}$ 은,

$$\overline{\alpha_M} = (1 - \overline{\alpha_{Ab}}) \quad (11)$$

이 된다. 그리고, 초기 음-에너지 밀도를  $D'$  로 두면, 시간  $t$  (sec) 후의 음-에너지 밀도  $D(t)$ 는 다음 식(12)로 된다.

$$D(t) = D' (1 - \overline{\alpha_{Ab}})^{t/t_{MFP}} \quad (12)$$

위의 식(12)에 위의 식(9)을 대입하고,

$$1 - \overline{\alpha_{Ab}} \equiv e^{\log_e(1 - \overline{\alpha_{Ab}})} \text{로 하면, 다음 식(13)으로 되고,}$$

$$D(t) = D' e^{-(cS/4V)[- \log_e(1 - \overline{\alpha_{Ab}})]t} \quad (13)$$

위의 식(13)을 SPL(Sound Pressure Level (dB))로 나타내면 다음과 같다.

$$SPL_{t=t} - SPL_{t=0} = 1.085 \frac{cS}{V} [-2.3 \log_{10}(1 - \overline{\alpha_{Ab}})]t \quad (14)$$

따라서, 반사파는 반사면에 의한 흡수 때문에 위의 식(14)과 같이 감쇠된다. 또한, 음은 반사 표면에서의 흡수뿐만 아니라 공기에 의해서도 흡수된다. 음파가 MFP 경과하는 동안, 공기에 의한 음 에너지 감소를 고려하면, 위의 식(14)은 다음 식(15)으로 나타난다.

$$D(t) = D' e^{-(cS/4V)[- \log_e(1 - \overline{\alpha_{Ab}}) - 4V\alpha_A/S]t} \quad (15)$$

음-에너지가 60(dB) 감소할 때까지의 잔향시간  $T_{60}$ 는,

$$T_{60} = \frac{60V}{1.085c[S[-2.3 \log_{10}(1 - \overline{\alpha_{Ab}})] + 4\alpha_A V]} \quad (16)$$

이 되고, 이 때의 반사횟수  $n(T_{60})$ 은,

$$n(T_{60}) = \frac{T_{60}}{t_{MFP}} \quad (17)$$

이 된다. 따라서,  $T_{60}$  시간 경과 때, 반사음파는  $n(T_{60})$  차까지의 반사파가 형성된다. 위의 식들에 나타나는 공기에 의한 에너지 감쇠 상수  $\alpha_A$ 는,  $\alpha_A = \alpha_{Aa} + \alpha_{Ad}$ 로 계산되는데, 대단히 복잡한 과정을 요하기 때문에 일반적으로 연구보고된 결과를 이용한다(A.D.Pierce, 1994; L.L.Beranek, 1996).

잔향 에너지의 정상상태 값을 고려하면, 제1차 반사직후까지의 rms 평균음압 크기는, 음원이 음향공간에 공급한 총 파워  $W$  (watt)에 대하여 다음 식(18)으로 나타난다.

$$|P_{avg}|^2 = \frac{4\rho_0 c W}{k_R} \quad (18)$$

여기서,  $k_R$ 은 다음 식(19)으로 계산되는 음향공간 상수.

$$k_R = \frac{\overline{\alpha_{Ab}}(S + 4V)}{1 - \overline{\alpha_{Ab}}(1 + 4V/S)} \quad (19)$$

그리고, 제2차 반사 이후의 모든 반사를 고려한 거리  $r$  근처에서의 에너지 밀도는 다음 식(20)이 된다.

$$D_r = \frac{|P_r|^2}{\rho_0 c^2} = \frac{W}{4\pi r^2 c} \quad (20)$$

여기서,  $P_r$ :  $r$  점에서의 rms 음압의 크기.

위의 식(18)과 식(20)을 합친, 모든 잔향에 대한 자승평균압력은 다음 식(21)이 된다.

$$|P|^2 = W\rho_0 c \left( \frac{1}{4\pi r^2} + \frac{4}{k_R} \right) \quad (21)$$

기준 거리를  $r_{REF}$ 로 했을 때의  $SPL_{r_{REF}}$ 와,  $r$  점에서의

$SPL_r$  과의 차  $SPL_{rD}$  는,

$$SPL_{rD} = SPL_r - SPL_{rREF} = 10 \log_{10} \left( \frac{1}{4\pi r^2} + \frac{4}{k_R} \right) - 10 \log_{10} \left( \frac{1}{4\pi r_{REF}^2} + \frac{4}{k_R} \right) \quad (22)$$

이 된다. 따라서, 거리에 따른 음파의 감쇠계수  $\alpha_D$  는, 위의 식(22)으로부터,

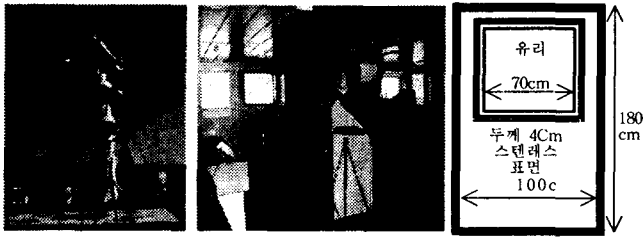
$$\alpha_D = 10^{0.1 SPL_{rD}(r)} \quad (23)$$

이 된다. 위의 식(23)에서,  $r$  점에서의  $SPL_{rD}$  는, 기준 거리  $r_{REF}$  와 실내상수  $k_R$  로 결정되므로,  $(1/4\pi r^2 \ll 4/k_R)$  이 되는 거리  $r$  부터 거리에 독립된 특성이 된다.

### 3. 음향전달특성 측정

#### 3.1 기적음 측정 실험

목포해양대학교 실습선 '새누리호' 기적을 이용하여 다양한 환경에서 기적음을 측정하였다. Fig. 2의 (a)는 콤팩스 데크에서의 기적음 측정을 위한 마이크로폰 설치를 나타내고, (b)는 선교내부에 전달된 기적음 측정장치, (c)는 선교문 구조 등을 나타낸다. 음향측정장비는 독일 B&K의 Investigator Type 2260D를 이용하였다.

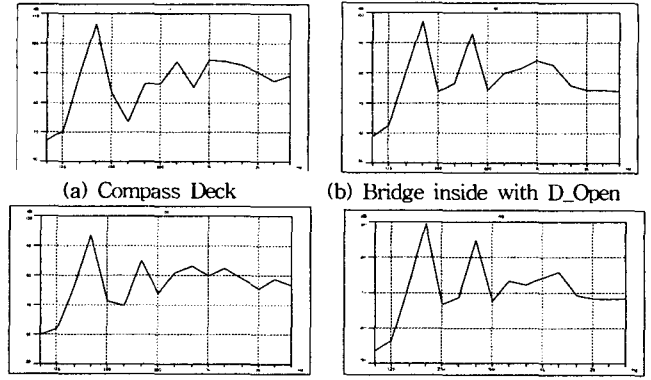


(a) Compass Dk. (b) Bridge inside (c) Bridge door  
Fig. 2. Measurement positions and states at T/S 'SAENURI'

#### 3.2 전달특성 측정

Fig.3는 B&K 2260D를 이용하여 기적음을 측정한 후, 분석 소프트웨어 B&K 7830을 이용하여 추출한 주파수별 SPL(dB)이다. (a)는 기적전방 4m에서 측정된 주파수별 SPL이고, (b)부터 (d)까지는 선교내부에서 측정된 주파수별 SPL로서, 선교문 모두 개방(b), 선교문 좌측개방 우측폐쇄(c), 선교문 모두 폐쇄(d) 등을 각각 나타낸다.

이러한 Fig.3의 SPL과 위의 식(18)부터 식(23)까지의 관계식을 이용하여  $\alpha_{DOpen}$ ,  $\alpha_{DHOpen}$ ,  $\alpha_{DClose}$  등을 계산하였다. 한편, 공기와 안개에 대한 감쇠상수를 측정하는 것은 대단히 어렵기 때문에, A.D.Pierce(1994)와 L.L.Beranek(1996)에 의해 보고된 실험 데이터를 이용하여 주파수별 SPL을 계산한 후,  $\alpha_A$  와  $\alpha_F$  를 구하였다.



(a) Compass Deck (b) Bridge inside with D\_Open  
(c) Bridge inside with D\_HOpen (d) Bridge Inside with D\_Open  
Fig. 3. Measured SPL(dB) at T/S 'SAENURI'

#### 3.3 전달필터 구현

주파수 샘플링에 의한 FIR 필터 구현방법을 이용하여  $\alpha_{DOpen}$ ,  $\alpha_{DHOpen}$ ,  $\alpha_{DClose}$ ,  $\alpha_A$ ,  $\alpha_F$  등으로부터 필터를 구성하였다. 필터는 다음 식(24)와 같이  $n$  차 FIR 필터의  $n+1$  계수가  $z$ 의 내림차순으로  $b(z)$  함수를 구성토록 설계하였다.

$$b(z) = b(1) + b(2)z^{-1} + \dots + b(n+1)z^{-n} \quad (24)$$

이 때, 차단주파수  $\omega_0$  (rad/sec) 이하 크기는 1이 되고,  $\omega_0$ 와  $\pi$  사이는 0이 되기 때문에 임펄스응답  $h(n)$ 은 다음 식(25)으로 주어진다.

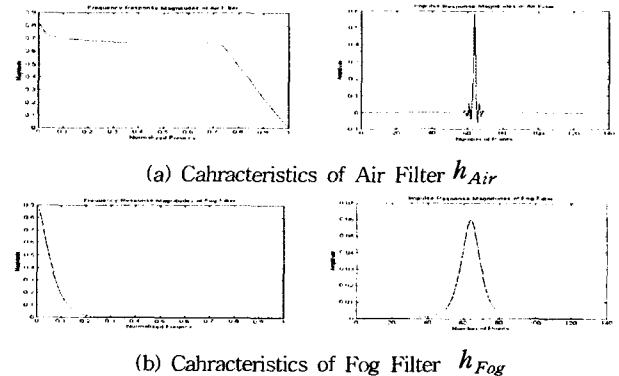
$$h(n) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} H(\omega) \epsilon^{j\omega n} d\omega = \frac{\omega_0}{\pi} \sin c \left( \frac{\omega_0}{\pi} n \right) \quad (25)$$

$h(n)$ 은 싱크함수를 갖는 무한수열이기 때문에 다음 식(26)과 같은 Hamming 창을 적용하여 유한수열로 구성하였다.

$$w[k+1] = 0.54 - 0.46 \cos \left( 2\pi \frac{k}{n-1} \right), \quad k=0, \dots, n-1 \quad (26)$$

그리고, 임펄스응답을 수열의 중앙부분에 위치시켜서 선형위상 FIR 필터로 구현하였다(IEEE Press, 1979).

Fig.4는 구현한 FIR 필터들의 주파수특성(각 그림 좌측)과 임펄스응답(각 그림 우측)을 나타낸다. (a)는 공기필터  $h_{Air}$ , (b)는 안개필터  $h_{Fog}$ , (c)는 선교문 개방필터  $h_{DOpen}$ , (d)는 선교문 반개방필터  $h_{DHOpen}$ , (e)는 선교문 폐쇄필터  $h_{DClose}$  등을 각각 나타낸다.



(a) Characteristics of Air Filter  $h_{Air}$   
(b) Characteristics of Fog Filter  $h_{Fog}$

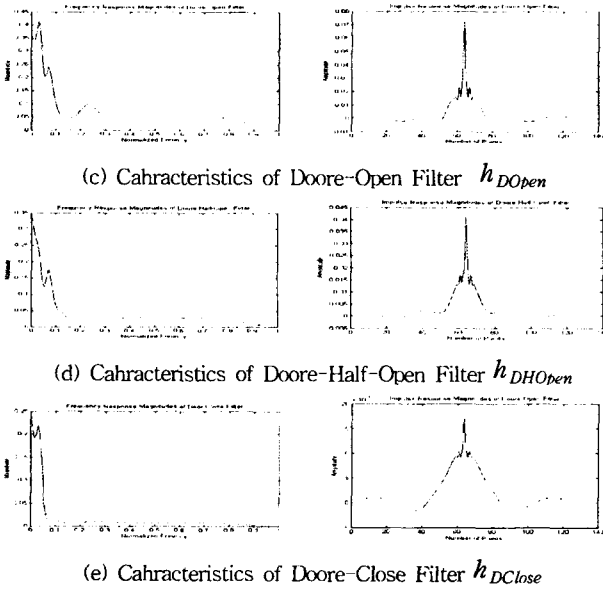


Fig. 4. Frequency and Impulse responses of FIR filters

#### 4. 전달필터 평가실험

##### 4.1 실험방법

실험을 위하여 Fig.4의 FIR 필터들과 기적원음을 다음 식 (27)의 컨볼루션 연산으로 Fig.5와 같이 생성하였다.

$$s(k) = \sum_j x(j) h(k+1-j) \quad (27)$$

여기서,  $h$ 는  $n$ 개의 계수를 갖는 FIR 필터 중 하나를 의미하고,  $x(j)$ 는  $m$ 개의 수열을 갖는 기적원음.

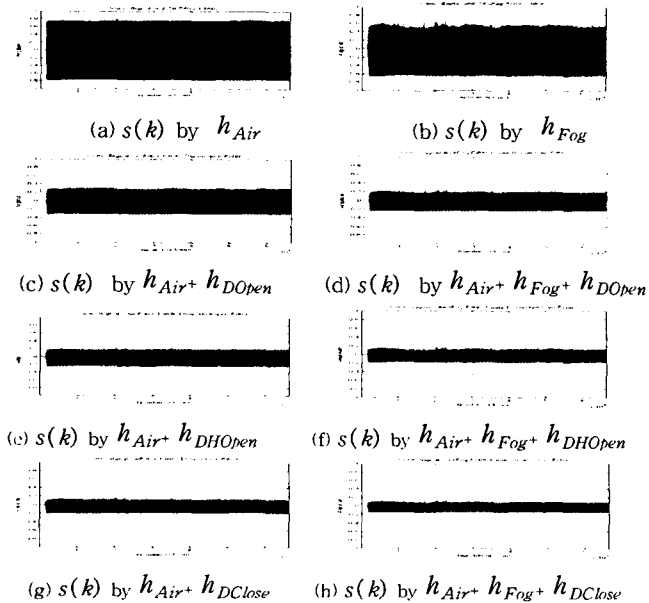


Fig.5. Convolution results with FIR filters

Fig.5에서, 선교문을 점차 닫음에 따라서 그리고, 안개에 의해서 기적음의 감쇠가 현저하게 발생함을 알 수 있다. 따라서,

시계가 제한되고 선교문이 폐쇄된 경우, SOLAS 2000에 권고된 SRS의 중요성을 알 수 있다.

Fig.5에 대한 평가는, 인간을 대상으로하는 심리학적 평가방법(Psychological Assessment Method: PAM)을 이용하여 선교문 개폐 여부에 따라 실제 현장에서 들리는 음과 Fig.5와 같은 실험음을 Table 2와 같은 의미를 갖는 Fig.6의 6단계 평가지표를 이용하여 평가하였다.

Table 2. Meaning of six scales

Scales	Meanings
0	현장 기적음과 완전히 다르며 기적음이 아니다
1	현장 기적음과 완전히 다르지만 기적음인 것 같다
2	현장 기적음과 다르지만 기적음처럼 들린다
3	현장 기적음과 다소 유사할 뿐이다
4	현장 기적음과 거의 유사하다
5	현장 기적음과 동일하다

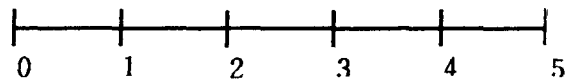


Fig.6. Evaluation index with six scales

Fig.6의 평가지표를 이용하여 측정된 후, 다음 식(28)로 평균을 숫자로 표현하여 평가하였다.

$$A_S = \frac{\sum_{n_L=1}^{N_L} \sum_{n_R=1}^{N_R} SD(n_L, n_R)}{N_L N_R} \quad (28)$$

여기서,  $SD(n_L, n_R)$ :  $n_L$ 번 청취자가  $n_R$ 번째 응답한 평가척도,  $N_L$ : 실험에 참가한 청취자 수,  $N_R$ : 청취자 1인당 실험반복수.

평가환경은 다음과 같다. (1) 청취는 헤드폰(Headphon:)을 사용하고, 청취자는 승선경험이 1년이상인 해양계대학교 4학년 남학생 5명, (2) 기적음원과 실험용음은 22.05kHz 샘플링 및 생성, (3) 실험전 선교에서 측정된 다양한 기적원음을 들려주어 학습시켜서 판별능력을 배양한 후, 1인당 5회 반복하여 척도측정.

##### 4.2 실험결과

Table 3는 Fig.5에 나타난 8가지 실험음에 대한 청취자의  $A_S$ 를 나타낸다.

Table 3. Test results

자극음 청취자	a	b	c	d	e	f	g	h
$A_S$	4.70	4.14	4.14	3.92	3.70	3.60	3.72	3.32

실험결과, 청취자들은 '현장기적음과 다소유사할 뿐'임을 나타내는  $A_S=3.0$ 부터 '거의 유사함'을 나타내는  $A_S=4.0$ 의 범위 내에서 반응을 보이고 있다. 이 결과는 FIR 필터들이 실제상황

을 유사하게 묘사할 정도로 구현되었음을 나타내는 것으로 개발한 선교문 음향전달특성 측정방법이 유효함을 나타낸다.

한편, 안개필터의 추가와 선교문 폐쇄에 따라서  $A_S$  값이 감소하고 있는데, 그 이유는 실제 현장에서는 선교문을 닫는 경우, 외부음이 선교 자체를 가격하여 발생하는 혼합음장(diffused sound-field)이 발생하는데, 본 연구에서는 이러한 혼합음장을 고려하지 않았으며, 콘볼루션 연산을 빠르게 하기 위하여 FIR 필터를 128차로 제한하였기 때문으로 보인다. 필터 차수를 256, 512, 1024 등으로 증가시킨 경우, 점차  $A_S$  값이 증가함을 추가 실험에서 알 수 있었다. 그리고, 혼합음장을 고려하기 위해서는 대단히 복잡한 계산과정과 다양한 반사재질 등의 특성계수가 필요하다. 이와 같은 분야는 실내전달특성의 실용화를 위한 연구이기 때문에 향후 지속적으로 연구할 예정이다.

일단, 이 연구에서는 128차 FIR 필터의 경우에도 실제 기적음과 유사한 환경을 만들 수 있는 것으로 연구결과 나타났기 때문에, 해양사고 당시 기적음 진술의 허위여부를 판단할 수 있는 가청화 시뮬레이터 개발에 적용할 예정이다.

## 5. 결 론

선박의 선교에 전달되는 기적음의 음향전달특성 측정에 관하여 연구하였다. 연구결과는 다음과 같다.

(1)  $A_S$ 가 3.3~4.7을 나타내어 개발한 선교내 음향전달특성 측정방법이 유효함을 입증하였다.

(2) 주파수별 음압(SPL)을 이용한 FIR 필터 구축방법을 개발하고, 실험음 생성방법을 제안하였다.

(3) 시계가 제한된 날씨에 선교문이 모두 폐쇄된 경우, 선교내 기적음 청취 음압(dB)이 급속히 감소하는 실험결과로부터, SOLAS 2000에 권고된 SRS의 중요성을 확인하였다.

한편, 해상에서 선박 기적음 청취에 영향을 미치는 것은 안개와 선교문 뿐만 아니라, 기적자체의 특성, 양선박의 자세, 청취자 머리방향 등 대단히 다양하기 때문에 이를 모두 고려할 수 있는 시뮬레이션 시스템을 향후 개발할 예정이다.

## 후 기

이 논문은 2003년도 해양수산부 해양한국발전 프로그램(KSGP21)에 의하여 지원되었음.

## 참 고 문 헌

[1] 김정화, 이백열, 배현기, 박순종, 김천덕, 임정빈(2002), "DIFAR Sonobuoy의 시간영역에서의 음원방향 추정," 한국음향학회 학술대회논문집, 제21권 제1(s)호, pp.241-244

[2] 박영철(2002), COLREG 1972 개정에 관한 보고서, 2002006 /IMO

[3] 임정빈(1997), 머리전달함수 모델링에 의한 3차원 음장 재생에 관한 연구, 박사학위논문

[4] 임정빈(1998a), "가상현실 선박조종 시뮬레이터 구현을 위한 3차원 음장생성(I): 머리전달함수 모델링," 한국향해학회지 제22권(제3호), pp.17~25.

[5] 임정빈(1998b), "가상현실 선박조종 시뮬레이터 구현을 위한 3차원 음장생성(II): 음장제어," 한국향해학회지 제22권(제3호), pp.27~34.

[6] 임정빈(2000), 몰입형 선박 시뮬레이터에서의 3차원음향 구현, 한국과학재단 연구신청서

[7] 임정빈, 김현라, 이규동(2002), "SOLAS 2000 규정에 따른 선박용 음향수신장치의 요구사항 고찰," 한국음향학회 학술발표대회 논문집, 제21권 제1(s)호, pp.411-414

[8] 임정빈(2003), 가상현실 모델링 기법을 적용한 해양안전사고 예보시스템 개발에 관한 연구, 해양수산부 KSGP21 과제보고서

[9] 한국선급(2000), 항해안전에 관한 SOLAS 협약 제5장의 개정에 대한 소개

[10] 小原昭一郎(1987), 음향향로표지기술(일서)

[11] A.D.Pierce(1994), Acoustics, Acoustical Society of America, New York, pp.250-312

[12] IEEE Press(1979), Programs for Digital Signal Processing, New York, Algorithm 5.2

[13] IMO Resolution, MSC.86(70) Annex 1: Recommendation on Performance Standards for Sound Reception Systems, <http://www.hq.navy.mil>

[14] J.B.Yim(1994), "Approximation of FIR Inverse-Filter for OSS Equalizer by Median Moving Average," Proc. of WESTPRAC-V, Part 1 of 2, pp.493~498

[15] J.B.Yim(1996), "Lower-order ARMA Modeling of Head Related Transfer Functions for Sound-Field Synthesis System," J. Acoust. Soc. Korea, Vol.15, No.3(E), pp.35~41

[16] L.L.Beranek(1996), Acoustics, Acoustical Society of America, 1993 Ed., New York, pp.285-331

[17] USCG Homepage, ANNEX III: INTERNATIONAL TECHNICAL DETAILS OF SOUND SIGNAL APPLIANCES, <http://www.navcen.uscg.gov>

[18] USCG(1996), An Interactive Test of Mariner Competence, Report No CG-D-04-97