

論文

# 선박신호음 간섭에 따른 해양사고 영향평가기법 개발(1) - 3차원 음장제어 모델 -

임정빈\*, 정중식\*, 박성현\*, 김창경\*\*, 심영호\*\*, 이규동\*\*, 최기영\*\*

\*목포해양대학교 해상운송시스템학부 교수, \*\*목포해양대학교 대학원 해상운송시스템학과

## Development of Evaluation Techniques on Marine Casualties by Ship's Signal Sound Interferences(1) - 3D Sound Field Control Model -

Jeong-Bin Yim\*, Jung-Sik Jung\*, Seong-Hyeon Park\*, Chang-Kyeong Kim\*\*, Yeong-Ho Sim\*\*,  
Ku-Dong Lee\*\*, Ki-Yeong Choi\*\*

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

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

요 약 : 선박 신호음은 공기, 장애물, 외란 등에 의해서 흡수, 반사, 방해되어 확산된다. 이 현상은 기적음원의 방향을 오판하여 발생하는 해양사고의 한 가지 원인이 된다. 이 연구의 최종목적은 선박 신호음 간섭을 분석·평가하는 기법을 이용하여 근본적인 해양사고를 예방하는데 있다. 이 논문에서는 해상환경에 따른 다양한 음향 전달특성을 시뮬레이션하기 위한 3차원 음장제어 모델을 제안했다. 그리고, 가상현실 기반 선박 시뮬레이터를 이용하여 모델의 유효성을 평가했다.

핵심용어 : 해양사고, 선박신호음, 해상음장제어, 선박신호음 간섭민감도, 가상현실 시뮬레이션

ABSTRACT : The ship's signal sound dispersed by air, obstacles, and noises due to absorption, reflection, and disturbances, respectively. It is one of the factors of marine casualties by misjudgment of receiving direction. The last target of this study is to prevent inherent marine casualty using the analysis-evaluation techniques of the interferences of ship's signal sound . In this work, three-dimensional sound field control model is proposed to simulate various sound transmitting characteristics according to sea environments at sea. The efficiency test of the model was carried out using VR-based ship simulator.

KEY WORDS : ship casualty, ship's signal sound, sound field control at sea, Interference Sensitive Map of Ship's Sound Signal( ISM-S<sup>3</sup>), VR-based simulation

### 1. 서 론

1912년 대형 여객선 Titanic 호의 참사를 계기로 해상에서의 인명안전에 관한 SOLAS(Safety Of Life At Sea) 조약이 1974년 IMO(International Maritime Organization)에서 제정되었다. 그 후 여러 차례 개정작업을 거쳐 2002년에 SOLAS 2000 이 수정 발표되었다. 이 조항 중에는 밀폐된 선박에서 외부 음향신호를 청취할 수 없을 경우 신호음수신장치(Sound Reception System: SRS)를 장착토록 권고하는 내용도 있는데, 해양사고 예방에 대한 선박 음향신호의 중요성을 대표적으로

나타내는 예라 하겠다[1].

선박 음향신호에 대한 또 다른 중요성은 각종 해양사고에 대한 '재결서'에 나타나있다. '재결서'는 해양안전심판원에서 해양 사고 당사자들의 진술을 정리한 것이다. '재결서'에 나타난 해양 사고의 공통적 특징은 사고발생이전에 상대선박의 기적음, 엔진소음, 좌초시의 마찰 음 등 어떠한 형태로든 음(소리)을 청취하였다는 것이다. 그러나 이러한 소리가 해양사고와 어떠한 연관성을 갖는지에 대한 연구는 국내외적으로 전무한 실정인데, 그 이유는 해상의 특수환경을 경험한 음향전문가의 부재에도 있고, 해양사고 재판 때 소리라는 사고 단서를 주의 깊게 고려하기 보다는 사고 원인과 그 결과에만 치중하기 때문으로 고려할 수 있다[2]-[10].

한편, AIS(Automatic Identification System), VTS(Vessel Traffic System) 등, 첨단 항행원조설비가 등장한 배경은 근본

\*중심회원, jbyim@mmu.ac.kr 061)240-7051  
\*정회원, jsjung@mmu.ac.kr 061)240-7238  
\*정회원, shpark@mmu.ac.kr 061)240-7127  
\*\*학생회원

적으로 레이더(RADAR)가 항행구역의 지형적 특징으로 인하여 상대선박을 탐지하지 못하는 데 기인하며, 이러한 첨단 항행원 조설비 조차 선박 음향신호에 대해서는 유효한 장치가 될 수 없는 관계로 SRS라는 음향수신장치가 등장한 것으로 보여진다.

그러나, SRS는 대형 선박에 국한된 장치일 뿐 정작 해양사고 위험에 노출된 소형선박에 대해서는 SRS가 무의미한 것으로 보여진다. 또한, 대형선박이나 소형선박을 막론하고 음향 맹목구간(Sound Blind Sector)에서는 상대 선박의 신호음 자체가 전달되지 않고, 다도해의 경우 섬에 의해서 선박 음향신호가 다중으로 발생하여 신호음 사이의 간섭이 발생하기 때문에 상대 선박 식별이 불가능한 경우도 있다. 따라서 이러한 음향맹목 구간에서는 SRS가 무용지물이 될 것이며, VTS 만이 유일한 대응수단이 될 것이다. 그러나 VTS 역시 VTS와 통신수단이 없는 소형선박의 경우에는 무의미하다.

따라서 보다 근본적으로 해상교통로에서의 음향 맹목구간을 조사하고, 이 지역에서 발생하는 해양사고의 특징을 분석하여, 선박 신호음 간섭에 따른 해양사고 영향을 과학적으로 평가할 수 있는 새로운 기법 개발이 필요하다.

이 연구의 최종목적은 선박 신호음 간섭이 발생하는 지역에 대해서 선박신호음간섭 민감도(Interference Sensitive Map of Ship's Sound Signal: ISM-S<sup>3</sup>)를 개발하여 해양사고 예방수립의 근거자료를 마련하고, 선박신호음간섭에 따른 항해사의 청취에 미치는 영향을 정량적으로 평가할 수 있는 시스템과 평가 기법의 개발에 있다.

이 연구는 그 내용이 방대하기 때문에 부분적으로 연구내용을 나누어 보고하고자 한다. 우선 이 논문에서는 해상에서 선박 신호음이 어떠한 형태로 전달되는지에 대한 이론적인 모델을 구축하고, 이 모델을 이용하여 항해사가 청취하게 될 자연공간에서의 선박 신호음을 시뮬레이션하여 그 결과를 검토하였다.

## 2. 평가기법 개발절차

Appendix에 평가기법 개발절차를 나타냈다. 개발절차는 A, B, C, D, E 등 5개 부분으로 나누어 수행한다.

A에서는 연구대상 지역에서 1990년부터 2002년까지 발생한 해양사고를 분석하여 통계적 음향맹목구간을 검출한다.

B에서는 해상에서 선박 신호음이 전달되는 이론적 메카니즘을 개발한 후, 전달계수를 계산하여 환경변수(산의 고도, 습도, 기압, 안개 등)에 따른 선박 신호음 특징을 정량적으로 분석한다.

C는 해상에서 실제 선박 기적음을 측정하여 그 특징을 분석한다. 그리고, B에서 도출한 선박 기적음의 이론적 특징과 C에서 도출한 선박 기적음의 물리적 특징을 서로 비교하여 이론적인 선박 기적음 전달계수를 수정한 후, 선박 기적음 전달 이론 모델을 구축한다.

D는 전달 모델과 실제 기적음 및 머리전달함수(Head Related Transfer Function: HRTF)를 컨볼루션 연산(convolution summing)하여 해상에서 들리는 선박 기적음을 생성하는 시뮬레이션 부분이다.

마지막으로 E에서는 D의 시뮬레이션 결과와 A부터 C까지의 결과를 종합하여 ISM-S<sup>3</sup>를 작성하고, 선박 신호음 간섭에 따른 근본적인 해양사고 예방 대책을 제시한다.

이 연구에서는 주로 B부분에 대해서 기술하고, 그 결과를 D에서 일부 시뮬레이션한 결과를 나타냈다.

## 3. 음향재생 모델

### 3.1 해상을 전달 메카니즘

해상에 있는 항해사의 두 귀 각각에 관한 음향전달계의 입력력 관계는, Fig.1과 같이 다중 경로를 갖는 단일입력-두개출력 시스템(the single input-two output system with multiple paths)으로 고려할 수 있다[11].

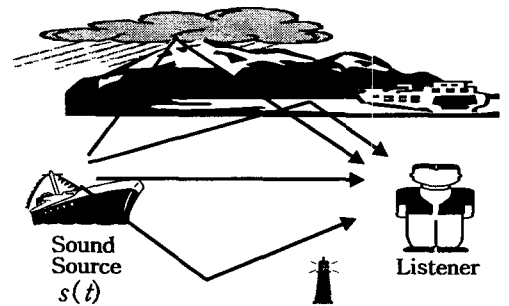


Fig.1 The single input-two output system with multiple paths at sea

Fig.1에서, 청취자(Listener) 위치와 음원  $s(t)$ 을 잇는 선을 기준으로, 0도에서 360도까지의 방위를  $i$ 개로 분할하여  $\theta_i$ 로 둔다. 그리고 청취자와  $s(t)$ 를 잇는 수평면상에서, -90도에서 +90도까지의 고각을  $j$ 개로 분할하여  $\psi_j$ 로 나타낼 때,  $(\theta_i, \psi_j)$  ( $i=1,2,\dots,N; j=1,2,\dots,M$ ) 방향으로 청취자가  $s(t)$ 를 보고 있다면, 이 청취자의 왼쪽 귀에 수신된 음향 신호  $y_L(\theta_i, \psi_j, t)$ 과, 오른쪽 귀에 수신된 음향 신호  $y_R(\theta_i, \psi_j, t)$ 은 다음 식(1)과 같이 나타낼 수 있다.

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

여기서, 첨자  $L, R$ : 청취자의 왼쪽 귀와 오른쪽 귀,  $\theta_i, \psi_j$ :

$s(t)$ 에 대한 청취자의 방위각과 고각,  $h_L(t), h_R(t)$ :  $s(t)$ 와 청취자의 왼쪽 귀 및 오른쪽 귀 채널의 직접전달경로에 대한 임펄스응답,  $k$ : 음파의 전달 경로( $k=0,1,2,\dots$ ),  $\alpha_{Lk}, \alpha_{Rk}$ :  $k$  번째 경로에서  $s(t)$ 와 청취자 왼쪽 및 오른쪽 귀 채널의 감쇠계수( $\alpha_{L0}=\alpha_{R0}=1, 0 \leq \alpha_{Lk}, \alpha_{Rk} \leq 1$ ),  $\tau_{Lk}, \tau_{Rk}$ :  $k$  번째 경로에서  $s(t)$ 와 청취자의 왼쪽 귀 및 오른쪽 귀 채널의 직접전달음과 반사전달음 사이의 시간차,  $*$ : 컨볼루션 연산.

위의 식(1)을 전개하고  $z$  변환하면 다음 식(2)이 된다 [12],[13].

$$\begin{cases} Y_L(\theta_i, \psi_j, z) = S(z) G_L(\theta_i, \psi_j, z) \\ Y_R(\theta_i, \psi_j, z) = S(z) G_R(\theta_i, \psi_j, z) \end{cases} \quad (2)$$

여기서,  $z = e^{j\omega}$ .

위의 식(2)에서 경로  $k$ 를  $K$ 로 제한하는 경우,  $G_L(\theta_i, \psi_j, z)$ 과  $G_R(\theta_i, \psi_j, z)$ 은 다음 식(3)으로 나타낼 수 있다.

$$\begin{cases} G_L(\theta_i, \psi_j, z) = H_L(\theta_i, \psi_j, z) \sum_{k=0}^K \alpha_{Lijk} z^{-n_{Lijk}} \\ G_R(\theta_i, \psi_j, z) = H_R(\theta_i, \psi_j, z) \sum_{k=0}^K \alpha_{Rijk} z^{-n_{Rijk}} \end{cases} \quad (3)$$

위의 식(3)에서,  $H_L$ 과  $H_R$ 은 청취자의 머리형태에 의해서 결정되는 전달특성으로서, 머리전달함수(Head Related Transfer Function; HRTF)라 부른다. 이러한 HRTF를 정밀도 높게 구하고, 여기에 음원  $s(t)$ 와 청취자 사이에 형성되는 음향 전달경로에서의 감쇠상수  $\alpha$ 와, 경로차  $n$  등을 구하면, 위의 식(3)을 계산할 수 있다. 따라서 위의 식(2)에 나타난 바와 같이 음원  $s(t)$ 가 해상 음향 경로를 통하여 항해사에게 들리는 소리를 이론적으로 재생할 수 있다.

또한, 해상에서의 음향전달 경로는 Fig.1에 나타난 바와 같이 다중 반사경로를 형성한다. 따라서 다중 반사경로에서의 감쇠상수  $\alpha$ 와 경로차  $n$  등을 고려해야 정확한 해상에서의 음향 현상을 이론적으로 구현할 수 있다.

### 3.2 다중 반사경로를 고려한 음장제어 이론

음장(sound field)은 음이 형성되고 전파되는 공간을 의미한다. 이러한 음장을 제어할 수 있어야 원하는 공간에서의 이론적 음 청취현상을 구현할 수 있다. 음장제어를 위해서는 위에서 기술한 다중반사 경로와 각 경로상에서의 감쇠상수  $\alpha$ 와 경로차  $n$  등을 계산해야한다.

이 연구에서는 우선 반사경로 추적을 위하여 음선추적법(Ray

Tracing Method: RTM)과 영상음원법(Image Model Method: IMM)을 혼합한 RTM-IMM 방법을 이용하였다. 다중경로를 통하여 전송되는 음은 다음 Fig.2와 같이, (1) 음원과 청취자 귀 사이의 직접전달특성(DPC), (2) 수면이나, 구름 등에 의한 초기반사전달특성(ERPC) 및, (3) 초기반사 이후의 후기반사전달특성(LRPC) 등으로 구분하여 고려할 수 있다.

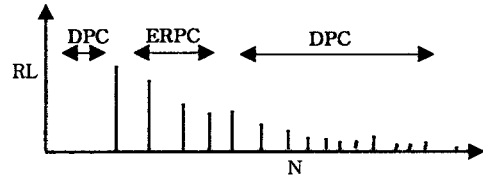


Fig.2 Sound transmitting in a multi path

그리고, 다중 반사경로상에서 음은 공기, 안개, 기압 등에 영향을 받아 감쇠, 흡수, 지연, 주파수이동 등의 현상을 일으킨다. 이러한 다양한 현상을 모두 고려하는 경우 위의 식(1)은 다음 식(4)으로 나타난다.

$$\begin{cases} y_L(\theta_i, \psi_j) = u * \left[ \begin{aligned} &h_L(\theta_i, \psi_j) \cdot \alpha_D \cdot \alpha_A \\ &+ h(\theta_i, \psi_j, p_{ER}) \cdot \alpha_D \cdot \alpha_A \cdot \alpha_M \\ &+ h(\theta_i, \psi_j, p_{LR}) \cdot \alpha_D \cdot \alpha_A \end{aligned} \right] \\ y_R(\theta_i, \psi_j) = u * \left[ \begin{aligned} &h_R(\theta_i, \psi_j) \cdot \alpha_D \cdot \alpha_A \\ &+ h(\theta_i, \psi_j, p_{ER}) \cdot \alpha_D \cdot \alpha_A \cdot \alpha_M \\ &+ h(\theta_i, \psi_j, p_{LR}) \cdot \alpha_D \cdot \alpha_A \end{aligned} \right] \end{cases} \quad (4)$$

여기서,  $\alpha_D$ : 거리에 따른 음파의 감쇠계수,  $\alpha_A$ : 공기에 의한 음파의 감쇠계수,  $\alpha_M$ : 반사면 재질에서 음파의 흡수에 대한 감쇠계수,  $u$ : 음원.

이러한  $\alpha_D, \alpha_A, \alpha_M$  등의 음장제어 요소는 다음과 같이 계산하였다.

### 3.3 음장 제어 요소 계산

선박에서 발생하는 기적음을 하나의 점 음원으로 간주하고, 점 음원에서 방사된 음파는 모든 방향으로 진행하며, 반사로 인하여 혼합음장(diffuse sound field)을 형성한다고 가정한다. 이 때, 청취자 위치에 마이크로폰을 두고 측정된 평균음압은, 다음과 같은 음-에너지 밀도로 나타낼 수 있다[13].

$$D_{avg} = \frac{|P_{avg}|^2}{\rho_0 c^2} \quad (\text{watt-sec} / \text{m}^3) \quad (5)$$

여기서,  $|P_{avg}|$ : 평균음압의 rms 크기,  $\rho_0, c$ : 각각 공기밀도 및 음속,  $\rho_0 c$ : 공기의 특성임피던스.

이상기체(ideal gas)에서의  $c$ 는 다음 식(6)이 된다.

$$c = \left( \frac{\gamma \cdot P}{\rho_0} \right)^{1/2} \quad (m/s) \quad (6)$$

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(7)으로 나타난다.

$$MFP = \frac{4V}{S} \quad (m) \quad (7)$$

여기서,  $V$  : 방의 체적,  $S$  : 방의 총 표면적.

그리고, 음파가 MFP 거리를 이동할 때의 시간  $t_{MFP}$ 는 다음 식(8)이 된다.

$$t_{MFP} = \frac{4V}{cS} \quad (sec) \quad (8)$$

음파가 반사면에 부딪히는 횟수가 점점 증가하게 되면, 각 반사면에 동일한 확률로 음파가 입사된다. 따라서, 반사면에서의 평균 흡수계수  $\overline{\alpha_{Ab}}$ 은 다음 식(9)과 같이, 반사 면적에 따라 무게 가중된 형태로 된다.

$$\overline{\alpha_{Ab}} = \frac{S_1 \alpha_{Ab1} + S_2 \alpha_{Ab2} + \dots + S_n \alpha_{Abn}}{S_1 + S_2 + \dots + S_n} \quad (9)$$

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,

$$\overline{\alpha_M} = (1 - \overline{\alpha_{Ab}}) \quad (10)$$

이 된다. 이 연구에서는 반사면 재질에서의 음파의 흡수에 대한 감쇠계수  $\alpha_M$ 으로 적용하였다.

그리고, 초기의 음-에너지 밀도를  $D'$ 로 두면,  $t$ 초 후의 음-에너지 밀도  $D(t)$ 는 다음과 같다.

$$D(t) = D' (1 - \overline{\alpha_{Ab}})^{t/t_{MFP}} \quad (11)$$

위의 식(11)에 위의 식(8)을 대입하고,  $1 - \overline{\alpha_{Ab}} \equiv e^{-\log_e(1 - \overline{\alpha_{Ab}})}$ 로 하면, 위의 식(11)은,

$$D(t) = D' e^{-(cS/4V)[- \log_e(1 - \overline{\alpha_{Ab}})]t} \quad (12)$$

이 되고, 식(12)을 SPL(dB)로 나타내면 다음과 같다.

$$SPL_{t=t} - SPL_{t=0} = 1.085 \frac{cS}{V} [-2.3 \log_{10}(1 - \overline{\alpha_{Ab}})]t \quad (13)$$

따라서, 반사파는 반사면에 의한 흡수 때문에 위의 식(13)과 같이 감쇠된다. 또한, 음은 반사 표면에서의 흡수뿐만 아니라 공기에 의해서도 흡수된다. 음파가 MFP 경과하는 동안, 공기에 의한 음 에너지 감소를 고려하면, 위의 식(13)은 다음 식(14)으로 나타난다.

$$D(t) = D' e^{-(cS/4V)[- \log_e(1 - \overline{\alpha_{Ab}}) - 4\alpha_A/S]t} \quad (14)$$

이 때, 음-에너지가 60(dB) 감소할 때까지의 잔향시간  $T_{60}$ 는 다음과 같다.

$$T_{60} = \frac{60V}{1.085c[S(-2.3 \log_{10}(1 - \overline{\alpha_{Ab}})] + 4\alpha_A V)} \quad (sec) \quad (15)$$

이 때의 반사횟수  $n(T_{60})$ 은,

$$n(T_{60}) = \frac{T_{60}}{t_{MFP}} \quad (16)$$

이 된다. 따라서,  $T_{60}$ 시간 경과 때, 반사음파는  $n(T_{60})$ 차까지의 반사파가 형성된다.

한편, 공기에 의한 에너지 감쇠상수  $\alpha_A$ 는,  $\alpha_A = \alpha_{Aa} + \alpha_{Ad}$ 로 계산된다. 공기의 경우,  $\alpha_{Aa} = 4.24 f^2 \times 10^{-11} (m^{-1})$ 으로 정해져 있다. 그리고,  $\alpha_{Ad}$ 의 계산에는 주파수와 온도, 절대 습도, 대기압 등을 변수로 하는 복잡한 과정을 요한다. 이 연구에서는 주파수에 따른  $\alpha_{Ad}$  값은 1950년 Knudsen과 Harris[13]에 의해 보고된 결과를 이용하였다.

잔향 에너지의 정상상태 값을 고려하면, 제1차 반사 직후까지의 rms 평균음압의 크기는, 음원이 실내에 공급한 총 파워  $W(watt)$ 에 대하여 다음 식(17)으로 나타난다.

$$|P_{avg}|^2 = \frac{4\rho_0 c W}{k_R} \quad (17)$$

여기서,

$$k_R = \frac{\overline{\alpha_{Ab}(S+4V)}}{1 - \alpha_{Ab}(1+4V/S)} \quad (18)$$

그리고, 제2차 반사 이후의 모든 반사를 고려한 거리  $r$  점에서의 에너지 밀도는 다음 식(19)이 된다.

$$D_r = \frac{|P_r|^2}{\rho_0 c^2} = \frac{W}{4\pi r^2 c} \quad (19)$$

여기서,  $P_r$ :  $r$ 점에서의 rms 음압의 크기.

위의 식(17)과 식(19)을 합친, 모든 잔향에 대한 자승 평균 압력은 다음 식(20)이 된다.

$$|P|^2 = W\rho_0 c \left( \frac{1}{4\pi r^2} + \frac{4}{k_R} \right) \quad (20)$$

기준 거리를  $r_{REF}$ 로 했을 때의  $SPL_{r_{REF}}$ 와,  $r$ 점에서의  $SPL_r$ 과의 차  $SPL_{rD}$ 는,

$$SPL_{rD} = SPL_r - SPL_{r_{REF}} = 10 \log_{10} \left( \frac{1}{4\pi r^2} + \frac{4}{k_R} \right) - 10 \log_{10} \left( \frac{1}{4\pi r_{REF}^2} + \frac{4}{k_R} \right) \quad (21)$$

이 된다. 따라서, 거리에 따른 음파의 감쇠계수  $\alpha_D$ 는,

$$\alpha_D = 10^{0.1 SPL_{rD}(r)} \quad (22)$$

이 된다. 위의 식(21)에서,  $r$ 점에서의  $SPL_{rD}$ 는,  $r_{REF}$ 와  $k_R$ 로 결정되므로,  $(1/4\pi r^2 \ll 4/k_R)$ 이 되는 거리  $r$ 부터 거리에 독립된 특성이 된다.

아울러, 서로 이동하는 두 선박사이에서 발생하는 도플러효과를 다음 식(23)과 같이 고려하였다.

$$f_L = f_s \left( \frac{v + v_L}{v - v_s} \right) \quad (23)$$

여기서,  $v_s$ :음원의 이동속력,  $v_L$ :관측자의 이동속력,  $f_s$ :음원의 주파수,  $f_L$ :수신 음파의 주파수.

#### 4. 실험 및 평가

실험을 위하여 Fig.3의 가상현실기반 항해시뮬레이터 [15],[16]를 개발한 후, 여기에 개발한 음장제어 모델을 이용한 3차원 음향을 부가하여 실험하고 평가하였다.

Fig.4의 (a)는 100Hz~1KHz의 주파수성분을 포함하고 있는 기적음을 나타내고, (b)는  $\theta = 45^\circ$ ,  $\phi = 0^\circ$ 에 대한 HRTF를 나타내며, (c)는 기적음과 HRTF를 컨볼루션 연산한 결과를 나타낸다.

이 실험에서는, Fig.4와 같은 방법으로  $\phi = 0^\circ$ (즉, 고각 0도)에 대해서 5도 간격으로 0도부터 180도까지 측정된 HRTF 36개를 이용하여 기적음을 재생한 후 실험하였다. 실험환경은, 안개가 낀 상태를 가정하여 온도와 습도, 기압 등을 변화시키면서 실험하였고, 장소는 부산항입구로 정하였다. 기적음은 2분을 넘지 않는 간격으로 장음 1회의 무중신호(선박의 항해안전을 위하여 안개 중에 울리는 기적소리)를 이용하였다.

평가에 참여한 피실험자는 1년간 상선에서 승선실습을 마친 해양계대학 4학년 5명을 대상으로 하였다. 실험결과, 해상에서

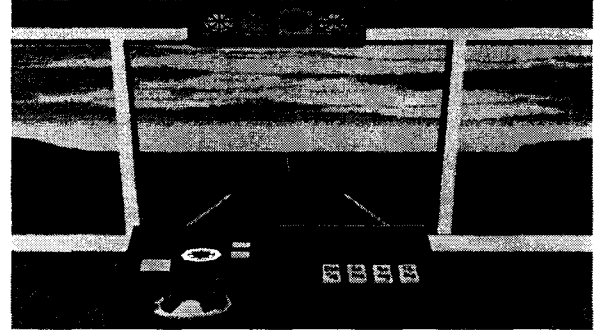


Fig.3 VR-Based navigation training simulator

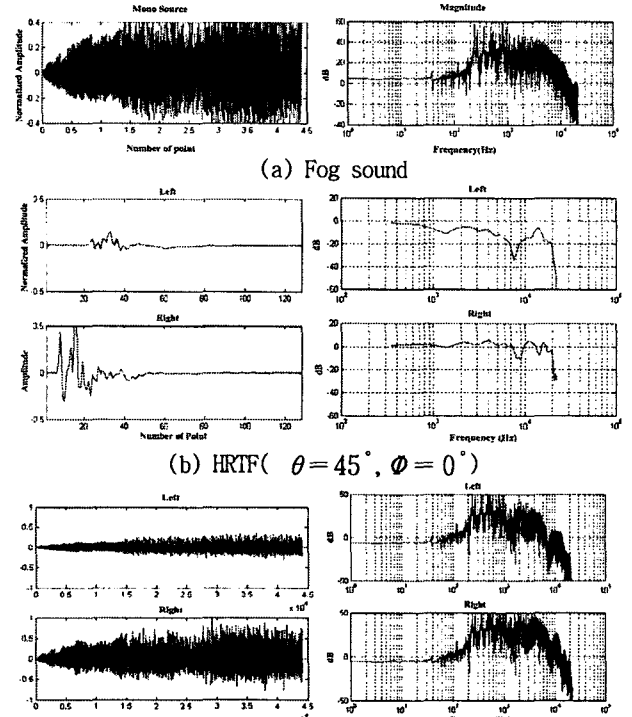


Fig.4 Example of 3-D sound reproduction

듣는 것과 유사한 음이 생성됨을 확인하였다.

### 5. 결론

해상에서의 다양한 기상환경을 고려하고 다중반사 경로를 고려한 음장재생 이론과 구현방법을 개발하였다.

가상현실 기반 선박 시뮬레이터를 이용한 청취자의 주관평가가 실험결과, 개발한 음장재생 모델이 해상에서 발생하는 선박 기적 음을 어느 정도 자연스럽게 생성할 수 있음을 알았다.

그러나, 잔향감의 부족과 다중반사효과의 저감 현상 등이 나타났기 때문에 보다 모델의 정밀도를 향상할 예정이다.

### 후 기

이 논문은 2003년도 해양수산부 해양한국발전 프로그램에 의하여 지원되었음. (MOMAF-2003)

### 참 고 문 헌

[1] 임정빈, 김현라, 이규동, " SOLAS 2000 규정에 따른 선박용 음향수신장치의 요구사항 고찰," 2002년도 한국음향학회 학술발표대회 논문집, 제21권 제1(s)호, pp. 411-414, 2002.5  
 [2] 나송진, 김상수, 박진수, 정재용(2003), "해양사고 조사모델의

개발에 관한 연구," 한국항해항만학회 2003 춘계공동학술대회 논문집, 제27권, 제1호, pp.42-50  
 [3] 중앙해난심판원(1994), 1994년 해난심판사례집(1993.1-12)  
 [4] 중앙해난심판원(1995), 1995년 해난심판사례집(1994.1-12)  
 [5] 중앙해난심판원(1996), 1996년 해난심판사례집(1995.1-12)  
 [6] 중앙해난심판원(1997), 1997년 해난심판사례집(1996.1-12)  
 [7] 중앙해난심판원(1998), 1998년 해난심판사례집(1997.1-12)  
 [8] 중앙해양심판원(1998), 1999년 해난심판사례집(1998.1-12)  
 [9] 중앙해양심판원(1999), 2000년 해난심판사례집(1999.1-12)  
 [10] 중앙해양심판원(2000), 2001년 해난심판사례집(2000.1-12)  
 [11] 임정빈, 머리전달함수 모델링에 의한 3차원 음장 재생에 관한 연구, 부경대학교 박사학위논문, 1997. 2  
 [12] 임정빈, " 가상현실 선박조종 시뮬레이터 구현을 위한 3차원 음장생성(I): 머리전달함수 모델링," 한국항해학회지 제22권(제3호), pp.17~25, 1998. 9.  
 [13] 임정빈, " 가상현실 선박조종 시뮬레이터 구현을 위한 3차원 음장생성(II): 음장제어," 한국항해학회지 제22권(제3호), pp.27~34, 1998. 9.  
 [14] Leo L. Beranek, *Acoustics*, Acoustical Society of America, 1993Ed., New York, pp.285~331, 1996  
 [15] Jeong-Bin Yim, "Virtual Reality Ship Simulator," Proc. of CIN-KIN Joint Symposium '2000, China, 2000.8  
 [16] 임정빈(2003a), 가상현실 모델링 기법을 적용한 해양안전 사고 예보 시스템 개발, 2003년도 해양한국발전프로그램(KSGP) 연구개발사업 연구보고서

선박신호음 간섭에 따른 해양사고 영향평가기법 개발(1)  
 -3차원 음장제어 모델-

Appendix

