

# 기적음관련 해양사고 분석·평가 시뮬레이션 시스템 개발

임정빈\* · 김창경\*\*

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

## Development of Analysis and Evaluation Simulation System for Whistle Sound Related Marine Casualty

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

**요 약** : 이 연구에서는, 인간(해기사)의 두 귀에 주목한 머리전달함수(HRTF)를 이용하여, 기적음과 관련된 해양사고를 분석·평가하기 위한 시뮬레이션 시스템(3D-LSS)을 개발하였다. 해양사고당시 상황을 분석해서 가청화 모델을 구축하고, 3차원을 생성방법과 평가방법을 제시하였다. 개발한 시스템은 GUI 방식의 그래픽과 3차원 음향으로 해양사고 당시의 상황을 묘사하고, 시뮬레이션할 수 있도록 구성하였다. 3D-LSS를 이용하여, 해양사고 중에서 기적음 청취여부를 판단하지 못했던 6가지 사건을 대상으로 실험하였다. 5명의 평가자에 의한 심리음향평가결과, 6가지 사건을 시각적 청각적으로 명확하게 평가할 수 있었기 때문에 3D-LSS의 해양사고 심판보조 장치로서의 활용가능성을 확인할 수 있었다.

**핵심용어** : 해양사고, 심판지원장치, 청취 시뮬레이션 시스템, 청취 모델, 머리전달함수

**Abstract** : This paper describes Three-Dimensional Listening Simulation System (3D-LSS) which is to analyze whistle sound related marine casualties, and is to evaluate the accident situations using 3D sound by Head Related Transfer Function. At first, the three-dimensional listening model from the analysis of accident situations is proposed, and then the reproduction and evaluation methods of 3D sounds are also discussed. The system is designed to explain the accident situations and to simulate the possible situations with GUI based graphics and 3D sound reproduction. The evaluation experiments using 3D-LSS are carried out with six cases that did not know whether it is true or not the blast and listening of the whistle sound between two vessels. As results of psychological assessments by five subjects, the six cases can be analyzed clearly by visual images and audio sounds, thus the usability of 3D-LSS as one of the judgment assistant system of marine casualty is verified.

**Key words** : marine casualty, judgement assistant system, listening simulation system, listening model, Head Related Transfer Function

## 1. 서 론

최근 해양경찰청에 보고된 배타적경제수역(EEZ)에서의 해양경찰 함정배치에 관한 연구보고서(임, 200a)에 따르면, 한-중-일-러 다국간 어업협정 체결로, 다국적 선박 사이의 해양사고 비율이 점차 높아지고 있으며, 이로 인하여 국내 해역에서의 해양사고 관련 국제분쟁 가능성이 높아지고 있다.

한편, 해양수산부의 해양사고분석 연구보고서(임, 2003b; 임, 2004)에 따르면, 제한된 시계에서의 충돌사고 중에서, 한쪽 선박은 기적음을 취명하였으나 다른 선박은 듣지 못하였거나, 양선박 모두 기적음을 취명하였으나 양선박 모두 청취하지 못한 해양사고의 경우, 심판결과 대부분이 그 진위여부를 명확하게 판정하지 못하여 이를 해결하기 위한 방안이 시급히 필요함을 지적하고 있다.

그리고, 해양수산부의 중장기발전계획(해양수산부, 2002a)과

정보화기본계획(해양수산부, 2002b)에 따르면, 해양사고의 과학적 분석과 해양안전심판의 공정성 확보를 위하여 첨단기술을 해양사고 분석 및 판단 과정에 도입할 것으로 보고하고 있다.

이와 같이 최근, 과학적 해양사고 분석 및 판정기법의 중요성이 제기되고 있는 시점에서, 해양사고 심판결과의 국내외 신뢰성 확보를 위한 첨단 해양사고 평가 시스템의 개발이 시급히 요구되고 있다.

이 연구에서는 선교내 음전달 모델과 인간의 두 귀에 주목한 머리전달함수(Head Related Transfer Function: HRTF)를 이용하여 해양사고 전후에 청취자가 '들었을' 3차원음을 생성함으로써, 양선박에서의 기적음 청취환경을 분석할 수 있는 3차원음 청취 시뮬레이션 시스템(Three-Dimensional Listening Simulation System: 3D-LSS)을 개발하였다. 개발한 3D-LSS를 이용하여, 기적음관련 해양사고를 대상으로 기적음 청취여부에 대한 분석실험을 하였다.

\* 대표저자 : 임정빈(중신회원), jbyim@mmu.ac.kr 061)240-7051

\*\* 정회원, navychang@hanmail.com

## 2. 3차원 기적음 가청화 모델

### 2.1 가청화 모델

실세계에서 듣는 음과 동일한 느낌을 줄 수 있는 가공음을 3차원음(three-dimensional sound)이라 한다. Fig.1은 선교에서 해기사가 듣는 타선박의 3차원 기적음 청취 모델을 나타낸다. 이 모델은 타선박의 기적음이 해기사 두 귀에 들리기까지의 전달경로(기적→기적음→공기→선교→해기사 두 귀)를 고려한 것으로서, Fig.2와 같은 해양사고시 양선박의 조우관계를 포함시킨 것이다.

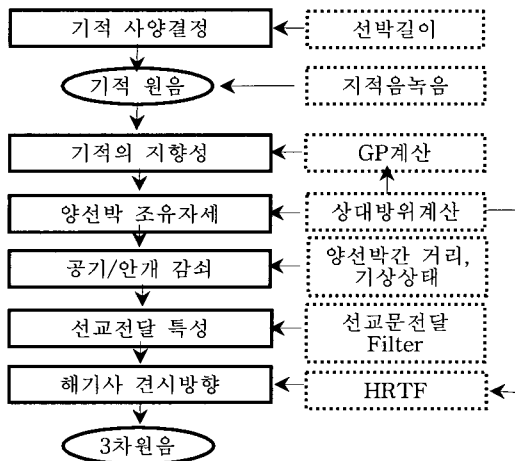


Fig. 1 Three-dimensional sound listening model

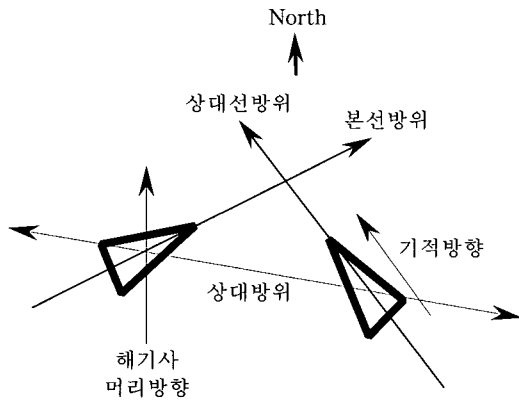


Fig. 2 Two ship's behavior in an accident

Fig.1을 각 단계별로 기술하면 다음과 같다.

- (1) 기적사양 결정: SOLAS에 명시된 선박 길이별 기본 주파수(Hz)와 음압(dB)을 적용하였다.
- (2) 기적원음: 선박에서 실제 측정된 기적음을 이용하였다.
- (3) 기적의 지향성: 기적은 선수방향으로 음압(Sound Pressure Level, SPL)이 가장 크고, 선미쪽으로 이동할 수록 SPL이 작다. 이러한 특성을 방사패턴(Generation Pattern, GP)이라 한다. SOLAS에는 선박길이에 대한 기본 주파수(Hz)

와 SPL(dB), 가청거리만이 명시되어 있고, GP에 대한 언급은 없다(윤, 1996). 다만, USCG 규정(USCG Homepage)에 따르면 GP는 선수방향을 기준으로  $\pm 45^\circ$ 까지는 4dB이내의 감쇠를 허용하고, 그 외의 방향에서는 10dB이내의 감쇠만을 허용하고 있다. 본 연구에서는 이러한 USCG 조항과 SOLAS 조항을 참고하여, 다음 식(1)과 같이 GP 계산에 필요한 기적음 감쇠상수  $\alpha_{GP}(\theta_R)$ 를 코사인함수로 근사계산하였다.

$$\alpha_{GP}(\theta_R) = (|\cos(\frac{\theta_R}{2})| \beta_a) + \beta_b, \quad 0 \leq \theta_R \leq 2\pi \quad (1)$$

여기서,  $\theta_R$ : 본선과 상대선박 사이의 조우관계(Fig.2)에 따른 상대방위,  $\beta_b$ : 선수  $\pm 45^\circ$  이외의 방향에 대한 감쇠상수,  $\beta_a$ : 선수  $\pm 45^\circ$  이내의 감쇠상수.

본 연구에서는 위에서 기술한 조건을 충족하기 위하여 위의 식(1)에서의  $\beta_b = 0.1 (-10dB = 10 \log_{10} \beta_b)$ 로 정하였고,  $\beta_a = 1 - \beta_b$ 로 정하여, 선박의 정선수 방향의  $\alpha_{GP}(0) = 1.0$ 부터 선미 방향의  $\alpha_{GP}(180) = 0.1$ 까지 근사화하였다. Fig.3에 계산결과를 극 좌표로 표시하였다.

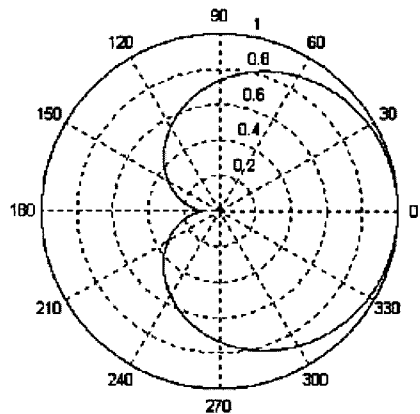


Fig. 3 Polar-plot of  $\alpha_{GP}(\theta_R)$  in the equation (1)

- (3) 양선박 조우자세: Fig. 2에 표시한 양선박 사이의 관계에 삼각함수를 적용하여 조우자세를 구하였다.
- (4) 공기/안개 감쇠: 이론적으로 공기 중에서 음은 거리제곱에 반비례하여 음압이 감쇠하는 것으로 알려져 있으나, 실제 실험에 의하면 환경(기압, 온도, 습도 등)에 따라서 다르고, 주파수 마다 감쇠정도가 다르다. 이 연구에서는 선행연구(임, 2004)에서 개발한 공기필터(이하  $F_A$ 로 표기)와 안개필터(이하  $F_F$ 로 표기)를 적용하였다.
- (5) 선교전달특성: 선행연구(임, 2004)에서 개발한 실습선 '새누리호'의 선교문 개방필터(이하  $F_{DO}$ 로 표기), 선교문 반 개방필터(이하  $F_{DHO}$ 로 표기), 선교문 폐쇄필터(이하  $F_{DC}$ 로 표기)를 이용하여 구성하였다.
- (6) 해기사 견시방향: 인간은 두 귀를 갖고 있기 때문에 음원을 보는 방향에 따라서 두 귀사이의 정보차(시간차, 음압

차 등)가 발생하여 3차원으로 음을 지각한다. 이러한 인간의 두 귀에 관한 전달특성을 머리전달함수(Head Related Transfer Function : HRTF)라 한다. 이 연구에서는 본 저자 등(임, 1998a; 임, 1998b)에 의하여 선행 개발한 HRTF를 이용하였다.

### 2.2 3차원음 생성 방법

Fig.4는 HRTF를 이용한 3차원음 생성원리이다. Fig. 4에서,  $g_L(\theta_i, \phi_j, m)$ 과  $g_R(\theta_i, \phi_j, m)$ 은 각각 Fig. 1에 나타낸 기적음의 방사패턴, 공기와 안개에 의한 감쇠특성, 해기사 머리방향에 따른 HRTF 등을 모두 포함하는 것으로,  $I$  개로 구분한 수평방위각  $\theta_i (i=1, 2, \dots, I)$ 과,  $J$  개로 구분한 고각  $\phi_j (i=1, 2, \dots, J)$ 의 정보를 갖는 수열의 길이  $m$ 의 임펄스응답을 나타낸다.  $u(m)$ 은 어떠한 특성도 갖지 않는 수열의 길이  $m$ 의 순수한 기적원음을 나타낸다.

Fig.4와 같이  $u(m)$ 과  $g_L(\theta_i, \phi_j, m)$  및  $g_R(\theta_i, \phi_j, m)$ 의 콘볼루션 연산을 거치면 사용자는 수평방위각  $\theta_i$ 와 고각  $\phi_j$ 의 공간특성이 포함된 기적음을 듣게된다. 역으로,  $g_L(\theta_i, \phi_j, m)$ 과  $g_R(\theta_i, \phi_j, m)$ 의  $\theta_i$ 와  $\phi_j$ 를 제어함으로서 원하는 3차원 음을 생성할 수 있다(임, 1998a; 임, 1998b).

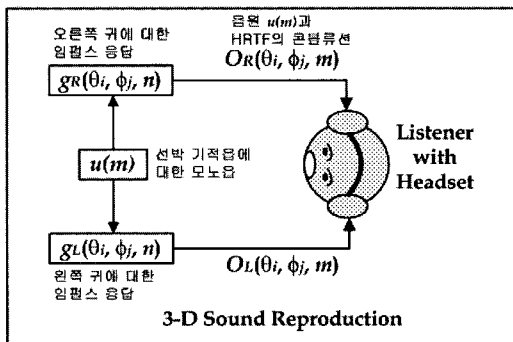


Fig. 4 The principles of 3D sound reproduction

3차원음을 생성하기 위하여 우선, Fig. 1의 순서에 기술한, ‘기적의 지향성’을 고려한다. Fig. 2에 나타낸 바와 같이 본선과 상대선박 사이의 상대방위  $\theta_R$ 에 의해서 결정되는 기적음 감쇠상수  $\alpha_{GP}(\theta_R)$ 를 위의 식(1)로부터 구하고, 이 값을 다음 식(2)와 같이 기적원음  $u(m)$ 에 적용하여  $S_u(m, \theta_R)$ 을 구한다.

$$S_u(m, \theta_R) = u(m) \alpha_{GP}(\theta_R) \quad (2)$$

다음에는 Fig.1의 ‘공기/안개 감쇠’를 고려한다. 다음 식(3)과 같이 양선박 사이의 거리  $l$  (mile)을 변수로 갖고,  $N$ 개의 수열로 구성된 대기필터  $F_{A/F}$  (공기필터  $F_A$  나 안개필터  $F_F$  중에서 선택하여 사용함을 의미)를 위의 식(2)의 결과와 콘볼루션 연산한다. 식(3)에 의해서 기적원음에 대기필터의 특성이 포함된다.

$$S_{A/F}(l, m) = \sum_{n=0}^{N-1} F_{A/F}(l, n) S_u(m-n) \quad (3)$$

여기서,  $N$  필터 수열의 길이.

Fig.1의 그 다음 과정으로서 ‘선교전달특성’을 고려하기 위하여. 다음 식(4)와 같이 위의 식(3)의 결과와 선교문 필터  $F_{Door}$  ( $F_{DO}$ ,  $F_{DHO}$ ,  $F_{DC}$ 에서 선택 사용함을 의미)를 콘볼루션 연산한다. 식(4)에 의해서 기적원음에 선교문의 전달특성이 포함된다.

$$S_{Door}(m) = \sum_{n=0}^{N-1} F_{Door}(n) S_{A/F}(m-n) \quad (4)$$

최종적으로 Fig.1의 마지막 단계인 ‘해기사 견시 방향’을 고려하기 위하여, 수평방위각  $\theta_i$ 와 고각  $\phi_j$ 의 공간에 있는 해기사 머리방향의 HRTF인,  $g_L(\theta_i, \phi_j, m)$ 과  $g_R(\theta_i, \phi_j, m)$ 을 위의 식(4)의 결과와 콘볼루션 연산한다.

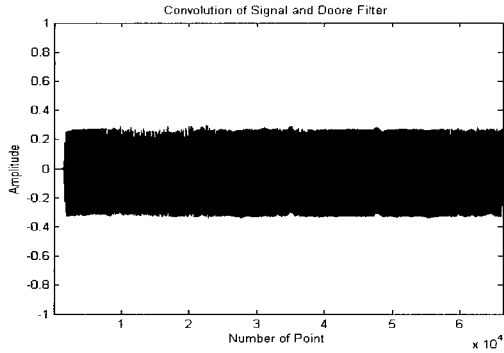
$$\left. \begin{aligned} O_L(\theta_i, \phi_j, m) &= \sum_{n=0}^{N-1} g_L(\theta_i, \phi_j, n) S_{Door}(m-n) \\ O_R(\theta_i, \phi_j, m) &= \sum_{n=0}^{N-1} g_R(\theta_i, \phi_j, n) S_{Door}(m-n) \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

위의 식(5)에 의해서 Fig.4에 나타낸 3차원 기적음이 최종 생성된다.

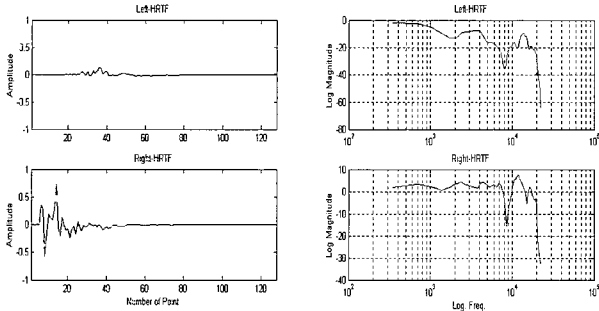
### 2.3 3차원음 생성결과

Fig. 5는 위의 식(2)부터 위의 식(5)까지를 통하여, 상대선박 기적이 본선 선수미 정면으로 향한 경우(따라서, 위의 식(1)에서  $\alpha_{GP}(0) = 1.0$ )에 대해서, 기적음이 공기중에서 1마일 이동하면서 동시에 안개에 의해 감쇠된 후(위의 식(3)에서  $F_{A/F} = F_A(1, n) + F_F(1, n)$ ), 선교문이 폐쇄된 경우(위의 식(4)에서  $F_{Door} = F_{DC}$ ), 해기사가 수평방위각 60도, 고각 0도로 기적을 바라보고 있는 상황에서의 3차원음(위의 식(5)에서  $g_L(60, 0, n)$ 과  $g_R(60, 0, n)$ ) 생성결과를 예로 나타낸다. Fig. 5(a)는 HRTF와의 콘볼루션 전단계까지의 결과이고, Fig. 5(b)는 HRTF(60, 0)의 임펄스응답(좌측 그림들)과 주파수 스펙트럼(우측 그림들)을 예로 나타냈고, Fig. 5(c)는 Fig. 5(a)와 Fig. 5(b)의 콘볼루션결과를 나타낸다.

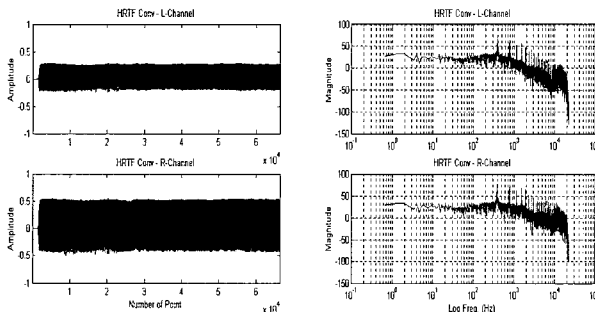
한편, 인간의 청각은 음압을 일정 비율로 증가시키는 경우, 주어진 음압이 비례하여 증가했다고 느끼지 않는다. 이러한 현상은 이미 음향학에 잘 알려진 것으로, 90dB를 청취한 청취자에게 100dB를 들려주는 경우 10dB만큼 음압이 증가했다고 느끼지 않는다는 것이다. 따라서, 음향학 분야에서는 3차원음을 평가하는 경우에 직접 인간이 음을 듣고 주관적으로 평가하는 주관평가방법(Psychophysical Assessment Method: PAM)을 이용한다(임, 1998a; 임, 1998b).



(a) Filtered whistle sound by Air+Fog+DoorClose



(b) Impulse response (the Left) and frequency spectrum (the right) for  $g_L(60,0,n)$ ,  $g_R(60,0,n)$ , respectively.



(c) Convolution result of (a) and (b)

Fig. 5 Example of 3D sound reproduction

2.4 3차원음 평가방법

PAM을 적용하기 위하여 Table 1의 의미를 갖는 6단계 평가지표를 이용하였다. 이러한 평가지표는 측정코자하는 목적에 따라서 다른데, 이 연구에서는 해양안전심판원 재결서를 대상으로 기적음 청취여부에 대한 진위여부를 규명하기 위하여 기적음원에 대한 상대크기로 정하였다(임, 1998a; 임, 1998b).

Table 1 Meaning of six scales

Scales	Meanings
0	청취불가
1	거의 청취 불가할 정도로 미약하나 들림
2	청취 가능하지만, 대단히 미약함
3	기적원음 보다 대단히 약하지만, 청취 가능함
4	기적원음 보다 다소 약하지만, 아주 잘 들림
5	기적원음과 동일하게 들림

Table 1을 이용하여 측정된 평가척도(scales)는 다음 식(6)으로 계산하여 평가값을 산출하였다.

$$A_{SF} = \frac{\sum_{n_L=1}^{N_L} \sum_{n_R=1}^{N_R} SD(n_L, n_R)}{N_L N_R} \quad (6)$$

여기서,  $SD(n_L, n_R)$ :  $n_L$ 번 청취자가  $n_R$ 번째 응답한 0부터 5까지의 평가척도값,  $N_L$ : 실험에 참가한 청취자 수,  $N_R$ : 청취자 1인당 실험반복수.

평가환경은, 헤드폰(Headphone)을 사용하고, 청취자는 승선 경험이 1년이상인 해양계대학교 4학년 남학생 5명, 기적원음원과 3차원음은 22.05kHz 샘플링 및 생성, 실험전 기적원음을 학습시켜서 판별능력을 배양한 후, 1인당 5회 반복하여 척도 측정.

3. 가청화 시뮬레이션 시스템 개발

3.1 시스템 구성

Fig. 6는 시스템 개발절차를 나타낸다. 모든 프로그램은 GUI(Graphical User Interface) 방식으로 개발하여 사용자가 쉽게 사용할 수 있도록 하였고, 프로그램은 공학전용 도구인 MATLAB6.1을 사용하였다. Table 2에 3D-LSSS의 기능을 정리하였다. 3D-LSS는 3개의 메인모듈과 5개의 세부모듈로 구성하였다.

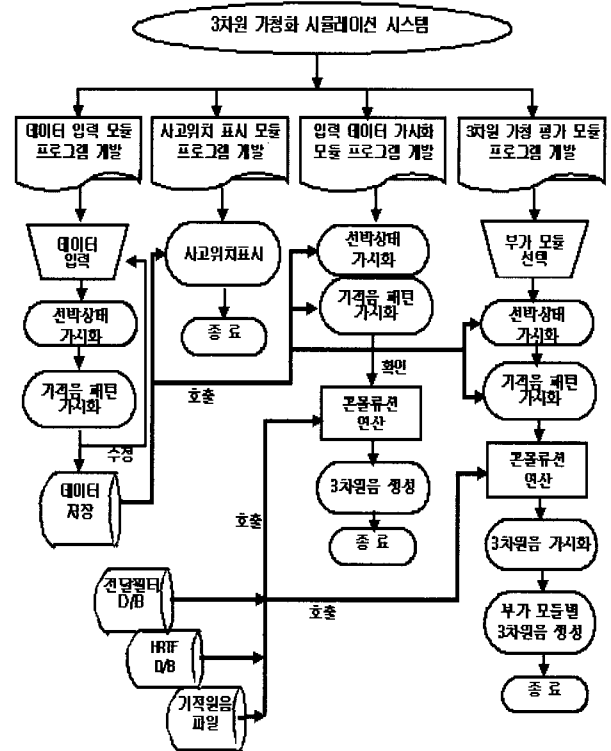


Fig. 6 Implementation procedure of 3D-LSS

Table 2 Functions of 3D-LSS modules

메인 모듈		기능	
데이터 입력	GUI 방식 해양사고 데이터 입력 및 입력확인기능		
사고상태표시	해도에 사고위치에서 양선박 조우자세 표시		
데이터입력 결과 가시화	데이터 입력 결과를 그래픽과 음향으로 제시		
3차원음평가	세부 모듈	기능	
	원음생성	기준음 생성	
	거리평가	거리변화에 따른 3차원음 변화 평가	
	본선방위변화평가	본선 선수미방위 변화에 따른 3차원음 변화평가	
	상대선방위변화평가	상대선 선수미방위 변화에 따른 3차원음 변화평가	
머리방향변화평가	본선 해기사 머리방향 변화에 따른 3차원음 변화평가		

3.2 데이터 입력 모듈 작동결과

Fig. 7은 3D-LSS의 ‘데이터 입력 모듈’ 작동결과이다. 화면상단 좌측에 양선박 자세를 나타냈고, 화면상단 우측에 위의 식(1)로 계산한 기적의  $\alpha_{GP}(\theta_R)$ 를 나타냈으며, 그림 하단에 12개의 데이터 입력창이 나타난다. 사용자가 12종류의 데이터를 모두 입력한 후, ‘GO’ 버튼을 누르면, 즉시 그 결과가 Fig. 7 과 같이 나타난다.

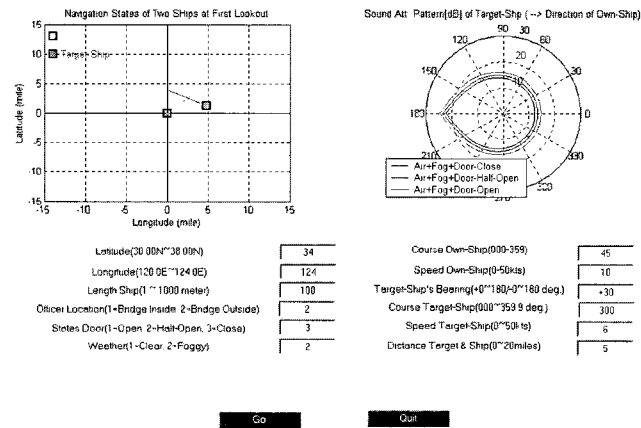


Fig. 7 Operating result of Data Input Module

Fig. 7 화면상단 우측에 극좌표(polar-plot)으로 나타낸 GP 특성의 경우, 상대선박을 기준으로한 본선까지의 상대방위를 녹색 화살표로 나타냈고, 기적음이 공기(Air)와 개방된 선교(Door-Open)를 통하는 경우의 감쇠특성(붉은색 타원), 기적음이 공기(Air)와 반개방된 선교(Door-Half-Open)를 통하는 경우의 감쇠특성(파랑색 타원), 기적음이 공기(Air)와 완전폐쇄된 선교(Door-Close)를 통하는 경우의 감쇠특성(검은색 타원) 등을 병행하여 나타냈다. 극좌표 원은 상대선박의 선수미 방위를 기준으로 반시계방향으로 000부터 360까지를 나타내고, 여러개의 동심원을 이용하여 음압의 감쇠(dB)를 나타냈다. 이 극좌표를 이용하면 상대선박 기적음이 본선에 도달할 때의 음 감쇠

(dB)를 쉽게 알 수 있다.

3.3 사고상태 표시 모듈

Fig. 8의 모듈은 DEM(Digital Elevation Model) 자료를 이용하여 대한민국 해역을 나타내고, 이 해역에 사고당시의 지점과 양선박의 방위 및 거리, 등을 나타냈다. 이 모듈을 이용하여 사고해역과 사고당시 양선박 자세를 쉽게 알 수 있다.

3.4 데이터 입력결과 가시화 모듈

Fig. 9는 입력한 데이터를 호출하여 가시화한 결과로서, Fig. 7에 추가하여 기적원음 파형(우측 상단)과 생성한 3차원음 파형(우측 하단)을 나타냈다. ‘Create 3D Sound’ 버튼을 누르면 해당 사건에 대한 3차원음을 청취할 수 있다.

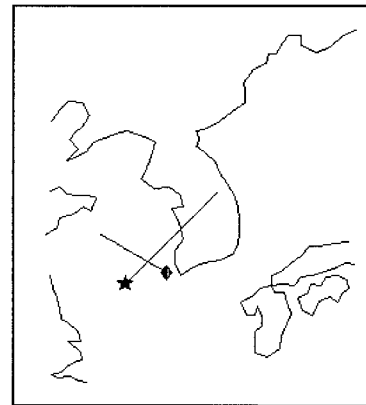


Fig. 8 Operating result of Event Visualization Module

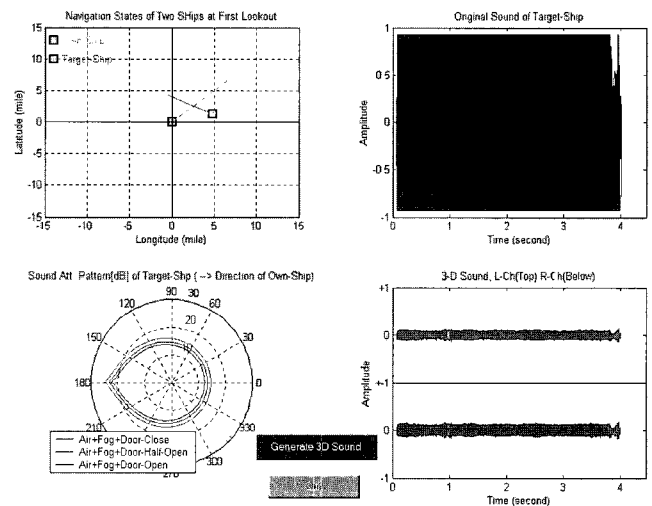


Fig. 9 Operating result of Data Visualization Module

3.5 3차원음 평가 모듈

3차원음 평가 모듈은 다양한 상황의 시뮬레이션 기능이다. Fig. 10은 이 모듈의 실행결과로서, 3개의 가시화 창과, 우측 하단에 5개 시뮬레이션(Table 2)기능을 나타냈다.

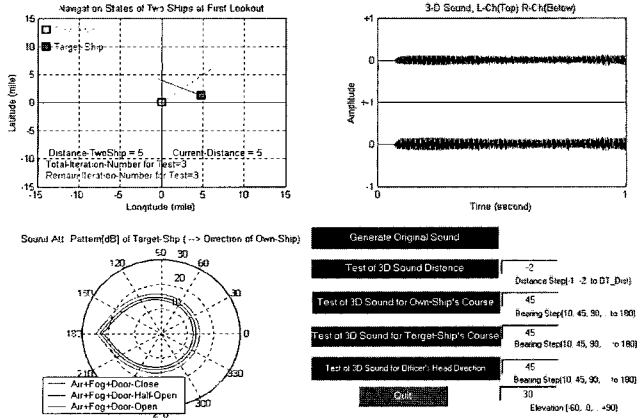


Fig. 10 Operating result of 3D Sound Evaluation Module

### 4. 시스템 분석 및 평가

#### 4.1 시나리오 작성

개발한 3D-LSS를 평가하기 위하여 해양안전심판원 재결서와 해양수산부 홈페이지(www.momaf.go.kr)에 게시된 '2003년 주요충돌사고' 중에서 시계가 제한된 경우의 기적음관련 6가지 사건(Table 3)을 발췌한 후, 중요 사항을 Table 4와 같이 정리하였다(임, 2003; 임, 2004). 여기서, 기적음은 사고당시 보다는 사고발생 전 양선박의 취명여부가 사고판정에 중요한 정보이기 때문에, Table 4에는 양선박이 최초로 시인한 당시의 기록을 정리하였다. Table 4에서, 신호음(A)과 신호음(B)는 각각 선박 A와 B에서 행한 신호음 발생유무를 나타내는데, 모두 숫자 0 으로서, 안개가 낀 상태임에도 불구하고 기적을 취명하지 않고 있다. 이러한 상황들에 대해서 개발한 3D-LSS를 이용하여 다양한 분석을 시도하였다.

Table 3 The six cases of collision accidents

번호	사고 원인
1	서해병해역에서 경계소홀로인한 충돌사고
2	충남 태안군에서 안개시 경계소홀로인한 충돌사고
3	남해 맹골수도부근에서 시계제한 상태에서 운항부적절로 인한 충돌사고
4	일본 헤이군 수도부근에서 무중경계소홀로 충돌
5	대전해수욕장 부근에서 제한시계 상태에서 무중경계소홀로 충돌
6	양쪽 선박 모두 기적음을 발하였는데, 양쪽 선박 모두 듣지 못하였다. 1982년 10월 12일 대법원 판결(82추1)에 나타난 사건

Table 4 Numeric data extracted from the six cases

번호	대상선박톤수		최초시인 당시 상황										
	A	B	년	월	일	B상대방위	A-B거리	침로(A)	속력(A)	신호음(A)	침로(B)	속력(B)	신호음(B)
1	1,957	2,864	3	3	21	+18	5	54	11.0	0	265	12.2	0
2	7.93	7.31	2	5	18	+0	0.5	220	10.0	0	80	0.0	0
3	199	11,314	2	8	4	-10	8	315	10.5	0	156	13.2	0
4	4,066	-	3	6	22	0	2.5	87	11.5	0	270	10	0
5	5.38	4.99	3	5	21	-	3	165	2	0	270	10	0
6	-	-	-	10	12	-	-	-	-	0	-	-	0

참고 : '대상선박톤수' 단위는 ton, '년'에서 1=2001년, 2=2002년, 3=2003년, '월'과 '일'의 경우, 각각 해당 월과 일, 'B상대방위'에서, +는 우현, -는 좌현, 'A-B거리'는 A선과 B선 사이 거리(mile), 속력단위는 knots, 방위단위는 degree

#### 4.2 실험결과 분석

Fig. 11은 Table 4의 6가지 사건에 대한 3D-LSS 작동 결과이다. Fig. 11과 같은 결과를 5명의 평가자에게 들려준 후, 위의 식(6)의  $A_{SF}$ 를 구하여 각 사건을 분석하였다.

Accident No.1 : 이 사건은 양선박 거리 5마일, 선교문 개폐여부는 알 수 없고, 기상은 안개가 낀 상태이다. Fig. 11(a)는 3D-LSS를 이용하여 선교문이 모두 폐쇄된 최악의 경우를 가정한 실험결과로서, 주관평가 결과  $A_{SF}=1.2$ 로 나타났다. 이 값은  $A_{SF}=1.0$ (거의 청취 불가능할 정도로 미약하나 들림)에 근접한 결과로서, 양선박이 거리 5마일에서 기적음을 취명하였더라도 양선박 모두 기적음 청취는 다소 힘든 상황임을 의미한다. 이러한 열악한 상황임에도 불구하고 미약하게 기적음이 전파된 것은 Fig. 11(a) 좌측 상단의 선박 조우관계와 좌측 하단의 기적 GP 특성에 나타난 바와 같이 기적의 방향이 거의 본선 정면으로 향해있기 때문에 지향성에 따른 감쇠없이 기적음이 본선으로 전파되기 때문으로 해석된다. 따라서, Accident No.1의 경우, 안개로 인하여 시정이 제한된 상태에서 양선박 모두 기적을 취명하지 아니한 것은 잘못이지만, 5마일에서 기적음을 취명했다라도 양선박 모두 기적음을 듣기는 힘들었을 것으로 해석된다.

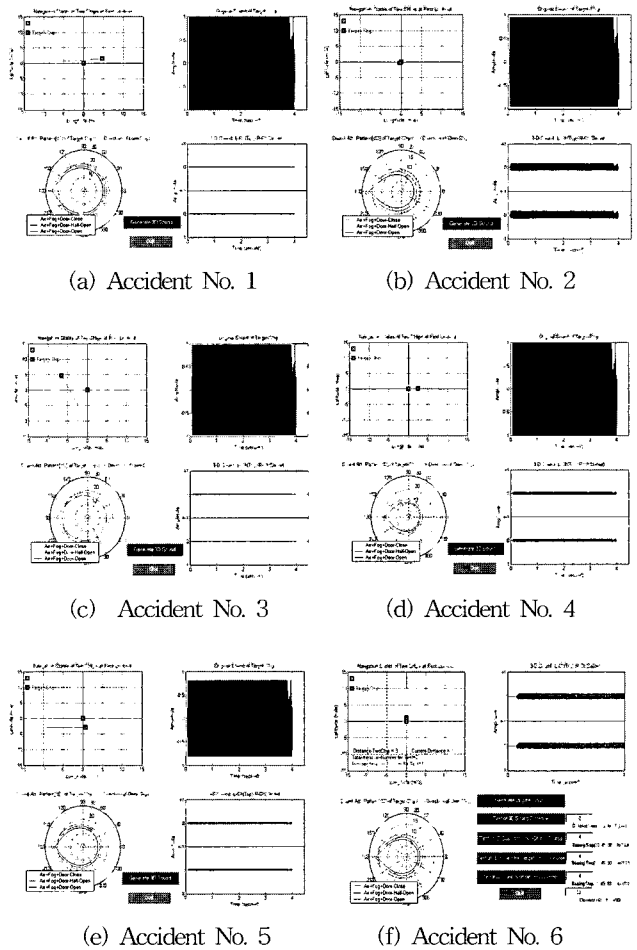


Fig. 11 Operating results of LSS-3DS for each accidents

Accident No.2 : 이 사건은 양선박 모두 10톤 이하의 소형선박으로서, 선박간 거리가 0.5마일 이격된 매우 근접된 상황이고, 선교문 개폐여부는 알 수 없고, 안개가 끼어서 시정이 제한된 상태이다. 선교문이 폐쇄된 최악의 상태로 두고, 3D-LSS로 평가한 결과를 Fig. 11(b)에 나타냈고, 주관평가결과  $A_{SF}=3.7$ 로서,  $A_{SF}=4.0$ (기적원음 보다 다소 약하지만, 아주 잘들림)에 근접한 값이다. 따라서, 양선박이 거리 0.5마일에서 기적음을 취명하였다면, 양선박 모두 기적음 청취가 가능한 상황임을 나타내고 있다. 이 상황의 근거는 3차원음 파형에서도 알 수 있는데, Fig. 11(b) 우측 하단에 나타난 3차원음 파형의 크기가  $\pm 0.4$ 에 형성되어 있다. 이 값은 우측 상단에 나타난 기적원음의 최대 크기를  $\pm 1.0$ 으로 했을 때의 상대 크기를 의미하는 것으로, 이 정도의 크기를 갖는 3차원음은 해기사가 충분히 들을 수 있다. 따라서, Accident No.2는 기적음을 취명하였다면 충분히 기적음 청취가 가능했을 것으로 보인다.

Accident No.3 : 이 사건은 200톤 이하의 소형선박과 10,000톤 이상 대형선박 사이의 사고로서, 8마일 거리를 둔 상태이다. 역시 선교문 개폐여부는 알 수 없고, 안개가 끼어서 시정이 제한된 상태이다. 선교문이 폐쇄된 최악의 상태로 두고, 3D-LSS를 이용한 평가결과는 Fig. 11(c)이다. 주관평가 결과는  $A_{SF}=0.8$ 로서,  $A_{SF}=1.0$  (거의 청취 불가능 정도로 미약하나 들림) 정도를 나타내고 있다. 만약 양선박이 거리 8마일에서 기적음을 취명하였다면, 양선박 모두 기적음을 청취하기 힘든 상황임을 나타내고 있다. Fig. 11(c) 우측 하단의 3차원음 파형 역시 상대 크기가  $\pm 0.1$  보다 작기 때문에 해기사가 인지할 수 없는 상황으로 판단할 수 있다. 청취 가능한 거리를 판단하기 위하여 3D-LSS의 거리평가 모듈을 이용하여 분석한 결과, 거리 약 4마일 이내부터  $A_{SF}=3.0$ (기적원음 보다 대단히 약하지만, 청취 가능함)으로 나타났다.

Accident No.4 : 이 사건은 5,000톤 중소형 선박과 톤수를 알 수 없는 외국적 선박 사이의 사고로서, 2.5마일 거리를 둔 상태이다. 역시 선교문 개폐여부는 알 수 없고, 안개가 끼어서 시정이 제한된 상태이다. 선교문이 폐쇄된 최악의 상태로 두고, 상대선박의 크기를 5,000톤으로 가정하여, 3D-LSS로 평가한 결과를 Fig. 11(d)에 나타냈고, 주관평가 결과는  $A_{SF}=3.2$ 로서,  $A_{SF}=3.0$ (기적원음 보다 대단히 약하지만, 청취 가능함) 정도를 나타내고 있다. 따라서, 양선박 모두 기적음을 충분히 청취하였을 상황임을 나타낸다. Fig. 11(d) 우측 하단의 3차원음 파형 역시 상대 크기가  $\pm 0.3$  정도이고, 좌측 상단에 나타난 양선박의 자세는 서로 마주치는 상황으로서 기적 지향성 감쇠는 없을 것이기 때문에, 결과적으로 해기사가 충분히 인지할 수 있는 상황으로 판단할 수 있다.

Accident No.5 : 이 사건은 양선박 모두 5톤이하의 소형선박 사이의 사고로서, 3마일 거리를 둔 상태이다. 역시 선교문 개폐여부는 알 수 없고, 안개가 끼어서 시정이 제한된 상태이다. 선교문이 폐쇄된 최악의 상태로 두고, 3D-LSS 평가결과를 Fig. 11(e)에 나타냈다. 주관평가 결과  $A_{SF}=2.7$ 로서,  $A_{SF}=3.0$

(기적원음 보다 대단히 약하지만, 청취 가능함) 정도를 나타내고 있다. 따라서, 양선박 모두 기적음을 충분히 청취할 수 있을 것으로 보인다.

Accident No.6 : 이 사건은 특수한 경우로서, 양선박 모두 기적을 취명하였으나, 양선박 모두 듣지 못한 사고이다. 기상이 제한된 상태에서, 양선박 거리를 5마일부터 1마일까지 변화시키고, 양선박이 서로 마주치는 상태를 가정하며, 양선박 모두 선교문을 폐쇄한 최악의 조건을 가정하여 실험하였다. 3D-LSS의 거리평가 모듈을 이용하여 실험한 결과를 Fig. 11(f)에 나타냈다. 거리 5마일에서  $A_{SF}=1.1$ , 거리 4마일에서  $A_{SF}=2.0$ , 거리 2마일에서  $A_{SF}=3.0$  등으로 나타났다. 따라서, 거리가 2마일 이상 이격된 상황에서는 양선박 모두 충분한 주의를 기울이지 않는 이상 상대방 기적음 지각이 어려울 것으로 판단되며, 거리가 2마일 이내라면 서로 지각할 것으로 분석된다.

## 5. 결 론

1974 SOLAS의 2000년 개정안에 의하면 선교문을 모두 닫았을 때 외부 신호음을 듣지 못하는 선박은 선박음향수신장치(SRS)를 장착토록 권고하고 있다. 이 권고 사유는 선교문 폐쇄 시 타선박의 신호음이 크게 감쇠되기 때문이다. 3D-LSS를 이용한 이 연구에서의 평가결과에서도 이러한 현상을 확인할 수 있었다. 연구결과를 종합하면 다음과 같다.

(1) 해양사고시의 다양한 환경을 GUI 방식으로 알기쉽게 그래프로 가시화하고, 해양사고 전 후에 해기사가 ‘들음’ 또는, ‘들었음’ 3차원음을 생성할 수 있는 3차원 가청화 시뮬레이션 시스템(3D-LSS)을 개발하였다.

(2) 실제 주요 해양사고를 대상으로 평가실험한 결과, 해양심판 제결서에 규명되지 못한 기적음관련 사고를 과학적으로 분석하고 평가할 수 있었다.

따라서, 본 연구에서 개발한 3D-LSS 관련기술이 해양사고 심판과정에 적용될 수 있을 것으로 기대된다. 한편, 실제 현장에 3D-LSS를 적용하기 위해서는 다음과 같은 지속적인 연구가 필요하다.

현재 개발한 3D-LSS를 모든 사고에 적용하기 위해서는 전세계 다양한 선박과 기적 특성 등에 대한 데이터 베이스 구축이 필요하다. 그리고, 본 연구에서는 실습선 ‘새누리호’ 선교문의 음향전달특성을 모델로 이용하여 해양사고를 분석하였기 때문에 실제상황과는 오차가 클 것으로 예상된다. 그러나, 해양사고 관련 선박마다 선교문 전달특성을 모두 측정하는 것은 불가능하고, 또한 음향전달 특성은 선교구조에도 영향을 받기 때문에 이를 해결하기 위한 방대한 연구가 필요하다. 이러한 문제는 선박 설계도면을 바탕으로 선교 구조와 선교문 재질, 장비 배치 등을 바탕으로 추정함으로써 해결가능할 것으로 보인다. 또한, 해양안전심판원에서 진술서 작성시 양선박의 구조나 재질 등을 상세히 기술할 수 있다면 해결가능할 것으로 보인다.

앞으로, 이러한 관련 데이터 베이스 구축과 그에 따른 음향 전달특성 추정기법 개발에 관한 연구를 지속해 나갈 예정이다.

## 후 기

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

## 참 고 문 헌

- [1] 임정빈(1998a), “가상현실 선박조종 시뮬레이터 구현을 위한 3차원 음장생성(I):머리전달함수 모델링,” 한국항해학회지 제22권(제3호), pp.17-25
- [2] 임정빈(1998b), “가상현실 선박조종 시뮬레이터 구현을 위한 3차원 음장생성(II):음장제어,” 한국항해학회지 제22권(제3호), pp.27-34
- [3] 임정빈(2003a), 최적의 함정운용방안 연구용역사업 보고서, 해양경찰청
- [4] 임정빈(2003b), 가상현실 모델링 기법을 적용한 해양안전사고 예보시스템 개발에 관한 연구, 해양수산부 KSGP21 과제, 2003.5.
- [5] 임정빈(2004), 선박신호음 간섭에 따른 해양사고 영향평가 기법 개발, 해양수산부 KSGP21 과제, 2004.5.
- [6] 윤점동(1996), 국제해상충돌예방규칙 및 관련된 국제법규해설, 세종출판사, pp.1-30.
- [7] 해양수산부(2002), 해양안전 중장기 발전계획(안) 보고서
- [8] 해양수산부(2002), “사이버 해양강국 실현을 위한 해양수산 정보화촉진기본계획(안) (2002-2006)”
- [9] USCG Homepage, ANNEX III: INTERNATIONAL TECHNICAL DETAILS OF SOUND SIGNAL PPLIANCES, <http://www.navcen.uscg.gov>

---

원고접수일 : 2004년 3월 31일

원고채택일 : 2004년 7월 12일