

SOLAS 2000 규정에 따른 선박용 음향수신장치의 요구 사양 고찰

임정빈*, 김현라**, 이규동**

*국립목포해양대학교 해상운송시스템학부, **국립목포해양대학교 대학원

Research on the Required Specifications for the Ship's Sound Reproduction System According to SOLAS 2000

Jeong-Bin Yim*, Hyun-Ra Kim**, Kyu-Dong Lee**

*Division of Maritime Transportation System, Mokpo National Maritime University, Korea,

**Graduate School of Mokpo National Maritime University, Korea,

E-mail : jbyim@mmu.ac.kr

요약문

전세계적으로 2002년 7월에 발효될 SOLAS 2000 규정에 의하면, 국제항해에 종사하는 선박의 경우, 선교(bridge)가 밀폐되어 외부 음향신호를 청취할 수 없을 때는 음향수신장치(SRS)를 설치해야한다. 이 연구에서는 SRS에 법적으로 요구되는 사양을 검토한 후, 부가하여 고려되어야할 사항에 대해서 논의하였다.

경우 막대한 외화를 조선산업에서 획득하고 있으나 고부가가치를 창출할 수 있는 첨단 항해장비나 측정센서 등은 전량 수입에 의존하고 있다. 따라서, 해양 선진국 도약을 위해서는 SRS와 같은 첨단 항해장비에 대한 연구 개발이 시급한 실정이다.

이 연구에서는 2000 SOLAS에 제시된 SRS에 대한 국내외 법적 현황을 살펴보고, SRS 개발에 선행되어야할 몇 가지 요구사항을 검토하여 장차 이 시스템을 국내에서 개발하는 경우에 적용하고자한다.

1. 서론

해상에서는 선박의 항해안전을 위하여 발광신호와 음향신호, 형상물 등이 사용된다. 이러한 신호들은 국제해사기구(International Maritime Organization: IMO)에서 정한 국제해상충돌예방규칙(International Regulations for Preventing Collision at Sea: COREG)과, 1974-국제해상인명안전조약(International Convention for the Safety of Life at Sea 1974: 1974 SOLAS) 등의 법적 근거에 따라서 전세계적으로 통일된 형태로 장착해야 한다[1].

특히, SOLAS의 경우 1974년에 발효된 이후 1984년과 1990년 및 2000년에 개정되어 오늘에 이르고 있다. 최근 개정된 2000 SOLAS 에 따르면, 2002년 7월부터 선교(bridge: 항해사가 선박을 조종하는 장소)가 밀폐되어 외부 음향신호를 수신할 수 없는 선박의 경우, 음향수신장치(Sound Reception System: SRS)를 장착하도록 규정하고 있다[2].

그러나, 국내외적으로 해상에서의 음향전달특성과 선교 실내특성 등을 고려한 SRS에 관한 연구는 전무한 실정이며, 웹사이트 상에서 확인한 제품으로는, Industrial & Naval Group에서 개발한 VSS Sound Signal Reception System이 유일한 것으로 확인되었다[3]. 한편, 세계 수위의 선박 건조국인 우리나라의

2. SRS의 법적 요구사항

2.1 근거조항

IMO에서는 1974 SOLAS에 첨단 전자기술을 도입하기 위하여 1993년부터 SOLAS 제5장의 전면 개정 작업을 추진한 결과, 2000년 11월과 12월에 개최된 제73차 해사안전위원회(Maritime Safety Committee: MSC)에서 SOLAS 제5장의 개정안을 채택하게되었다. 채택된 개정안은 묵시적 수락절차를 거쳐 2002년 7월 1일 국제적으로 발효할 예정이다. SOLAS 제5장은 항해안전에 관한 내용으로 구성되어 있는데, 다른 장과는 달리 국제항해에 종사하는 선박뿐만 아니라 국내 항해에 종사하는 선박에도 적용된다. 우리나라 헌법에는 IMO에서 정한 국제규정을 준수하도록 명시되어 있다. 다만, 개정된 SOLAS에는 새로 추가되는 항해장비들이 많기 때문에 다음 선박들에 대해서 각 국 주관청이 적의 조정하여 탑재할 수 있도록 되어 있다. (1) 150톤 미만의 국제항해선박, (2) 500톤 미만의 국내항해선박, (3) 어선[4],[5].

개정된 SOLAS 협약은, 현존하는 선박에 소급 적용되는 항해장비와 새로이 도입되어 일정기간 경과 후 적용되는 항해장비로 분류되어 있다. 일정기간 경

과 후 적용되는 항해장비로는 선박자동식별장치(Automatic Identification System : AIS), 항해자료기록장치(Voyage Data Recorder: VDF), 전자해도시스템(Electronic Chart Data Display and Information System: ECDIS), 음향수신장치(SRS) 등이 있다.

2.2 SRS의 요구사항

SRS의 법적요건은 IMO Resolution MSC.86(70) Annex 1 (Recommendation on Performance Standards for Sound Reception Systems)에 다음과 같이 규정되어 있다[6].

(1)음폭 70Hz-800Hz의 음향신호를 모든 방향으로 부터 수신할 수 있을 것. (2)음향신호원의 개략적인 방향을 알 수 있을 것. (3)배경잡음을 억제할 수 있을 것. (4)음향신호는 최소한 1개의 스피커로 선교에서 재생될 수 있을 것. (5)볼륨은 1개의 조절기로 구성하고, 볼륨조절은 수신된 음향신호의 음압이 선교 소음 수준보다 최소한 10dB 이상 되도록 설정. (6)수신된 음향신호를 최소한 3초 동안 나타낼 수 있는 가시화 식별기능과 그들의 방향을 나타내는 표시기. (7)마이크로폰은 잡음이 없고 바람 및 기계적인 소음이 없는 방법으로 설치. (8)표시기는 최소한 선박조선 위치에서 볼 수 있도록 설치. (9)스피커는 수신된 음향신호가 선교의 모든 장소에서 들리도록 설치.

2.3 요구사항에 대한 검토 범위

우리나라는 1974 SOLAS 체결국이기에 때문에 이 협약은 국내법과 동일한 효력을 발휘한다. 향후 SRS의 요건에 대한 수정사항은 IMO의 MSC나 NAV(해사안전소위원회) 등에서 검토하게 되는데, 미국, 영국, 일본 등은 이미 자국에서 개발할 SRS에 대한 사양을 IMO에서 심의해 줄 것을 요구하고 있는 실정이다. 따라서, SRS의 국내개발을 위해서는 2002년 7월부터 적용될 SRS 요구사항에 대한 전문가 그룹의 다양한 검토와 문제제기가 필요하다.

위에서 기술한 SRS의 요구사항 9가지 모두를 검토하기 위해서는 법적, 기술적, 행정적 측면 모두에서 방대하게 검토해야하기 때문에, 이 연구에서는 SRS의 요구사항 중, 기상환경에 따른 음향특성, 선박음향특성, 음의 전달 특성 등과 관련 된 몇가지 사항에 대해서만 고찰하였다.

3. SRS 요구사항에 대한 검토

3.1 기상에 의한 영향

해상에서 자연적으로 발생하는 음으로는, 바람소리,

빗소리, 천둥소리 등이 있고, 인공적으로 발생하는 음으로는, 선박의 음향신호와 음향항로표지(navigational aid)로 사용되는 기적, 호종, 동라 등이 있다. 이러한 음은 표 1에 나타낸 바와 같이 해상의 기상변화에 따라 음압과 음의 도래 방향, 음색 등이 달라진다[7].

따라서, 위에서 기술한 SRS의 법적 요구사항 이외에 기상환경에 따른 음 전달 특성을 분석하여 환경잡음을 억제할 수 있는 SRS 시스템 설계가 부가적으로 필요할 것으로 사료된다.

표 1. 기상변화에 따른 음 전달 특성변화

기상	영향
온도	- 음 전달속도에 큰 영향을 미치며, 고도 100m 변화에 약 0.5~0.6도 온도 하강하고, 기온이 높을수록 음 속도 증가하여 음선(ray of sound)이 굴절함으로써 음이 돌리지 않는 음의 그림자(sound shadow zone) 발생 또는, 음이 더 멀리까지 돌리는 구역이 발생하기도 함
바람	- 음 에너지를 흡수하거나 더 멀리 전달하는 역할 - 음의 방사 방향이 바람이 불어오는 쪽으로 형성되면 음의 그림자 발생, 또는 반대 방향이 되면 음이 멀리까지 전달 - 바람 세기 변화면, 일정 출력의 음원이라도 일정 지점에서의 수음 레벨이 시간적으로 크게 변동 - 변동 주기는 수 초 범위이며, 변동하는 진폭은 약 5dB부터 약 20dB까지
공기	- 온도에 따라 습도가 변하는때, 습도는 음을 흡수하기 때문에 음향의 세기를 감소시키고, 음의 특정 주파수 대역을 흡수하여 음색 변화게 만드는 요인 - 공기 밀도는 지상으로부터 5km 위로 올라갈 때마다 약 1/2 정도씩 감소 - 기압의 변화는 음향 도파로 만들기 때문에 신호음이 돌리는 가청범위와 방향 결정하는 요인이 됨
구름	- 구름 층에 음이 도달하면, 음이 넓은 해상에 반사되면서 음원의 위치를 알 수 없게 만들 - 구름이 위치한 고도에 따라 음파 반사형태가 변함
안개	- 음향 에너지를 흡수하고, 음향 도파로를 형성 - 안개는 지면에 접하여 나타나는 구름으로서, 근사적으로 시정 1km 이하의 것으로 정의
비	- 빗방울과 얼음 덩어리는 랜덤한 강한 잡음을 발생
천둥	- 강한 임펄스 음으로 고려 가능, 에너지가 대단히 큼으로 구름이나 기압 층에서 다중 반사를 형성

3.2 선박음향설비

선박항해에 사용되는 음향신호 장치는 COREG와 각국의 선박설비 규칙에 규정되어 있다. 기적 신호의 기본 주파수는 70~700Hz 범위 내로 정해져 있고, 가청 거리는 사용하는 주파수에 의해 결정된다. 음만 들 고도 선박의 크기를 판별할 수 있게 하기 위하여 선박의 크기에 따라서 다음 표 2와 같이 기적 음의 특성이 정해져 있다. 표 2의 가청거리는, 무풍 상태에서 기적의 전방에 있는 평균배경소음(250Hz 중심의 옥타

브 밴드 내에서 68dB, 500Hz 중심의 옥타브 밴드 내에서 63dB)을 갖는 다른 선박에서 90%의 확률로 들을 수 있는 대략의 거리이다. 한 선박에 복수개의 기적이나, 음향 장치를 설치하는 경우, 복수 종류의 음향장치는 100m 이내의 거리에 설치하여 동시에 울리도록 되어있고, 한 기적 음의 주파수는 다른 것과 적어도 10Hz이상 다르게 발생하게 된다. 그리고, 호종과 동라 또는, 유사한 음향 특성을 가지는 다른 장치는 발음 장치로부터 1m의 거리에서 110dB 이상의 음압 수준을 나타내어야 한다[8].

따라서, SRS의 법적 요구사항 이외에 다양한 선박 신호음을 분리하여 방향을 지시할 수 있고, 원하는 선박 신호음만을 수신할 수 있는 기능이 필요하다.

표 2. 기적 음의 특성

선박길이 (m)	주파수 (Hz)	음압* (dB)	가청거리 (mile)
200이상	70-200	143	2.0
75 이상 200미만	130-350	138	1.5
20 이상 75 이하	250-700	130	1.0
20 미만	250-700	120	0.5

* 비고 : 음압은 1m 거리에서 1/3 옥타브 밴드에 의하여 측정 한 음압 $\text{dB}(2 \times 10^{-5} \text{N/m}^2)$ 을 기준으로 함.

3.3 해상에서 음 전달 경로

해상의 항해사 즉, 청취자(Listener)의 두 귀 각각에 관한 음향 전달계의 입력력 관계는, 그림 2와 같이 다중 경로를 갖는 단일 입력-2출력 시스템(the single input-two output system with multiple paths)으로 고려할 수 있다[9].

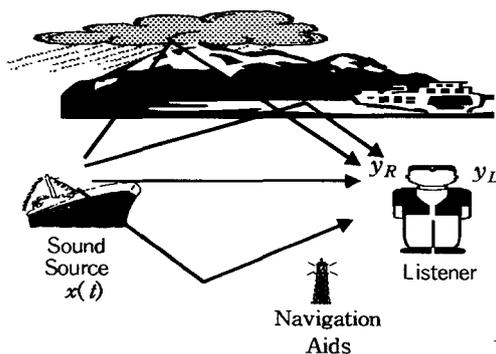


그림 1. 다중 경로를 갖는 단일 입력-2출력 시스템

그림 1에서, 청취자가 있는 위치에서 선박을 바라보는 상대방위를 0도로 두고, 0도에서 360도까지의 방위를 i 개로 분할하여 θ_i 로 나타낸다. 그리고, 청

취자가 상대선박을 바라보는 수평면상에서, -90도에서 +90도까지의 고각을 j 개로 분할하여 ϕ_j 로 나타낼 때, (θ_i, ϕ_j) ($i=1, 2, \dots, N; j=1, 2, \dots, M$)의 방향으로 청취자가 음원 $x(t)$ 를 보고 있다면, 이 청취자의 왼쪽 귀에 수신된 음향 신호 $y_L(\theta_i, \phi_j, t)$ 과 오른쪽 귀에 수신된 음향 신호 $y_R(\theta_i, \phi_j, t)$ 은 다음 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다[10].

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

여기서,첨자 L, R: 각각 청취자의 왼쪽 및 오른쪽 귀, θ_i, ϕ_j : 각각 음원 $x(t)$ 에 대한 청취자의 방위 각 ($i=1, 2, \dots, N$)과, 고각 ($j=1, 2, \dots, M$), $h_L(t), h_R(t)$: 각각 음원 $x(t)$ 와 청취자의 왼쪽 귀 및 오른쪽 귀 사이에 형성되는 직접 전달 경로에 대한 임펄스 응답, k : 음파의 전달 경로, $k=0, 1, 2, \dots$, α_{Lk}, α_{Rk} : k 번째 경로에 대하여, 음원 $x(t)$ 와 청취자의 왼쪽 귀 및 오른쪽 귀 사이에 형성되는 감쇠 계수, $\alpha_{L0} = \alpha_{R0} = 1, 0 \leq \alpha_{Lk}, \alpha_{Rk} \leq 1, \tau_{Lk}, \tau_{Rk}$: k 번째 경로에 대한 왼쪽 및 오른쪽 채널의 직접 전달되는 음파, 반사되어 전달되는 음 사이의 시간차, * : 컨볼루션 가산(convolution sum).

위의 식 (1)을 전개하고 z 변환하면 다음 식(2)로 나타낼 수 있다.

$$\left. \begin{aligned} G_L(\theta_i, \phi_j, z) &= H_L(\theta_i, \phi_j, z) \sum_{k=0}^K \alpha_{Lk} z^{-n_{Lk}} \\ G_R(\theta_i, \phi_j, z) &= H_R(\theta_i, \phi_j, z) \sum_{k=0}^K \alpha_{Rk} z^{-n_{Rk}} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

식(2)에서, $H_L(\theta_i, \phi_j, z)$ 과 $H_R(\theta_i, \phi_j, z)$ 은 음의 전달 경로에서 발생하는 모든 영향이 배제된 것으로, 머리전달함수(Head Related Transfer Function: HRTF)라 부른다.

HRTF를 정밀도 높게 구하고, 여기에 음향 전달 경로의 특성을 나타내는 감쇠상수 α 와, 경로차 n 을 구하면, 해상에서 항해사가 들어야할 신호음을 시뮬레이션할 수 있다. 따라서, SRS 시스템을 설계하기 전에 이러한 음 전달 시뮬레이션을 통하여 SRS의 시스템에 요구되는 조건을 정할 필요가 있다.

4. 결 론

항해 중인 선박에서 다양한 기상변화에 따른 음 전달특성을 측정하는 것은 현실적으로 어렵다. 따라서, 이 논문에서 기술한 환경변수와 음 전달 메카니즘을 이용하여, 청취자가 수신하게될 신호음을 시뮬레이션 하면 최적의 SRS를 설계할 수 있을 것으로 생각된다. 현재 HRTF 모델링에 관한 연구는 본 저자 등[11]~[16]의 연구성과가 보고된 바 있으나, 자연환경에서의 음 전달 특성에 관한 연구는 전무한 실정이다. 따라서 이에 대한 지속적인 연구가 필요하다.

IMO Resolution MSC.86(70) Annex1에 명시되어 있는 SRS의 요구조건에 부가되거나 선행되어야 할 사항을 요약하면 다음과 같다.

(1) 음원의 방향과 고품질의 신호음을 수신하기 위해서는, 해상에서의 기상환경이 음 전달에 미치는 영향을 측정하거나 시뮬레이션하고, 이로부터 환경잡음과 자선의 엔진소음 등을 억제할 수 있는 필터를 설계해야 한다. 특히, 바람과 같은 순간잡음이나 비, 천둥, 우박 등의 랜덤 잡음을 억제할 수 있는 필터는 아직까지 개발된 것이 없는 실정이다.

(2) 연돌(funnel)이나 안테나 등의 선박구조물에 의해 발생하는 음의 그늘 장소나 반사 음 발생장소 등을 최소화할 수 있는 마이크로폰 최적위치 결정이 필요하다.

(3) 항내와 같이 해상교통량이 많은 지역에서는 복수개의 음원이 존재하고, 이들 음원이 혼합되기 때문에 이를 식별할 수 있는 부가 장치가 필요하다.

5. 결 론

이 연구에서는 2002년 7월부터 적용되는 SOLAS 제5장의 음향수신장치(SRS)를 개발하기 위한 기초연구로서, SRS의 국내외 관련규정을 고찰하고, SRS에 법적으로 요구되는 사양에 몇 가지 부가되어야 할 사항에 대해서 고찰하였다.

연구결과, 선박의 선교에서 외부 신호음을 고품질로 수신하고 음원의 방위를 파악하기 위해서는 먼저 기상변화에 따른 음 전달특성을 구하고, 이를 바탕으로 시뮬레이션에 의한 SRS 시스템 설계가 선행되어야 하며, 선교의 임펄스응답 특성을 구한 후, 환경잡음과 배경잡음을 억제하기 위한 필터를 설계해야 할 것을 알았다.

향후 이러한 고찰을 토대로 다양한 환경 데이터를 수집한 후, 음 전달 모델과 필터를 설계하여 국산 SRS를 개발해나갈 예정이다.

참고문헌

- [1] 윤점동, 국제해상충돌예방규칙 및 관련된 국제법규해설, 세종출판사, pp.1-30, 1996. 6.
- [2] 해양수산부, 국제해사기구 제47차 항해안전 소위원회 참가보고서, 2001.7.
- [3] URL://www.ingroup.com.ar
- [4] 한국선급 정부대행검사부, 항해안전에 관한 SOLAS 협약 제5장의 개정에 대한 소개, 2000.2.27.
- [5] 한국선급 정부대행검사부, 2000년 SOLAS 개정에 대한 소개, URL://www.krsr.kr/sta/kukje.
- [6] www.hq.navy.mil/ECDIS_N/MSC_86(70).pdf
- [7] 임정빈, 돌입형 선박 시뮬레이터에서의 3차원음향 구현, 한국과학재단 연구신청서, 2000.3.
- [8] 전계서 [1]의 pp.322-330.
- [9] 임정빈, 머리전달함수 모델링에 의한 3차원 음장 재생에 관한 연구, 박사학위논문, 1997. 2.
- [10] 임정빈, 김천덕, 강성훈, "헤드폰을 이용한 자유 음장 청취에서의 최적 반사음과 전달특성을 갖는 머리전달함수 모델링," 한국음향학회지, 제16권, 제2호, pp.16~25, 1997. 6.
- [11] 임정빈, 김천덕, 강성훈, "음장합성 시스템을 위한 머리전달함수의 효율적인 저차 FIR 모델링," 한국음향학회지, 제15권, 제4호, pp.18~27, 1996. 6.
- [12] 임정빈, 김천덕, 강성훈, "헤드폰을 이용한 자유 음장 청취에서의 최적 반사음과 전달특성을 갖는 머리전달함수 모델링," 한국음향학회지, 제16권, 제2호, pp.16~25, 1997. 6.
- [13] 임정빈, "가상현실 선박조종 시뮬레이터 구현을 위한 3차원 음장생성(I): 머리전달함수 모델링," 한국향해학회지 제22권(제3호), pp.17~25, 1998. 9.
- [14] 임정빈, "가상현실 선박조종 시뮬레이터 구현을 위한 3차원 음장생성(II): 음장제어," 한국향해학회지 제22권(제3호), pp.27~34, 1998. 9.
- [15] J. B. Yim "Approximation of FIR Inverse-Filter for OSS Equalizer by Median Moving Average," *Proceedings of WESTPRAC-V*, Part 1 of 2, pp.493~498, 1994. 4.
- [16] J. B. Yim, "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, 1996. 6.