Journal of the Ergonomics Society of Korea
Vol. 29, No. 4 pp.673-680, August 2010 DOI:10.5143/JESK.2010.29.4.673

선교내에서 청각경보음의 유형이 반응속도와 정확성에 미치는 영향*

하욱현[1,2] · 박성하[1] · 김홍태[2]

[1]한남대학교 산업경영공학과 / [2]한국해양연구원 해양시스템안전연구소

Effects of Auditory Warning Types on Response Time and Accuracy in Ship Bridges

Wook Hyun Ha[1,2], Sung Ha Park[1], Hong Tae Kim[2]

[1]Department of Industrial & Management Engineering, Hannam University, Daejeon, 306-791
[2]Maritime & Ocean Engineering Research Institute, KORDI, Daejeon, 305-343

ABSTRACT

The effects of different auditory warnings on response time and accuracy were studied in a laboratory ship-bridge work environment. Subjective preference on the type of auditory warnings was also of a primary concern. Twenty five subjects were asked to select an appropriate button for the warning sound presented with three types of auditory warning (abstract sound, auditory icon, and voice alarm) and five levels of warning situation (fire, steering failure, collision, engine failure, and low power). Results showed that the response time and accuracy was significantly affected by the types of auditory warning. The voice alarm resulted in a higher accuracy and subjective preference, as compared to the auditory icon and abstract sound. Regarding the response time, auditory icons and voice alarms were equivalent and superior to abstract sounds. Actual or potential applications of this research include guidelines for the design of integrated ship bridge systems.

Keywords: Ship bridge, Alert system, Alarm, Auditory warning, Aauditory icon

1. 서 론

항해사들의 주요 작업공간인 선교(ship bridge)는 원활한 항해를 위한 다양한 항해기기들이 설치되어 있으며, 입출항 시에는 도선사가 승선을 해서 항해사들과 함께 선박을 접안 또는 출항시키는 중요한 역할을 하는 작업공간이다. 선교내 시스템이 항해사에게 잘못된 정보를 전달하거나 적절하지 못한 방법으로 정보를 전달하게 되면 이 정보는 현재 나타나 있는 상황을 정확하게 인지 및 대응하지 못하게 하는 방해요소가 되며, 결과적으로 대형 사고로 이어질 수 있다.

선박과 같은 거대시스템의 선교에는 항해사에게 선박의 자세한 정보를 전달하기 위해 다양한 유형의 표시장치가 사용되고 있으며, 이러한 표시장치는 항해사에게 전달하고자 하는 정보를 가능한 신속하고 정확하게 전달할 수 있도록 설계되어야 한다. 즉, 선박 내부 및 외부에 어떤 사건이 발생되었을 때 그 사건의 발생여부를 빠르게 확인할 수 있어야 하며, 무엇 때문에 사건이 발생하였는지를 정확히 인지할 수 있게 하여야 한다. 선박내 선교에서 일반적인 정보 전달 방법으로는 대부분이 시각표시장치(visual display)가

*이 논문은 2010학년도 한남대학교 학술연구조성비 지원에 의하여 연구되었음.
교신저자: 박성하
주 소: 306-791 대전광역시 대덕구 오정동 133번지, 전화: 011-527-8477, E-mail: shpark@hnu.kr

이용되고 있으나, 선박의 긴급한 상황에 대한 정보전달의 경우에는 청각표시장치(auditory display)가 주로 사용되고 있다. 청각표시장치는 전달하고자 하는 메시지가 간단하고 짧을 때, 메시지를 후에 참고할 필요가 없을 때, 메시지가 전달되는 당시의 상황만을 다룬 것일 때, 그리고 즉각적 행동이 요구되는 경고나 메시지일 때에 시각표시장치에 비해 효과적인 정보전달 수단이 될 수 있다(Sanders and McCormick, 1987).

청각경보는 장치의 고장이나 위급상황에서 정보를 효과적으로 전달할 수 있는 청각표시장치의 하나이다. 선박의 선교에서 사용할 수 있는 청각경보의 유형은 크게 음성경보(voice alarm), 추상적 소리(abstract sound), 청각적 아이콘(auditory icon)으로 구분할 수 있다.

음성경보는 현재의 경보상황에 대한 정보를 인간의 음성 형태로 전달하는 경보이다. 음성경보는 내용이 복잡한 정보의 전달에 유리하며, 경보상황에 대한 학습이 거의 필요하지 않다는 장점이 있다(Simpson, 1987). 그러나 주변의 소음 수준이 높거나 음성과 비슷한 주파수 영역의 소음이 많은 경우에는 음성경보가 이러한 소음들과 차폐(masking)될 수 있다.

추상적 소리는 가장 흔히 접할 수 있는 청각경보 유형으로 단순한 음(beep 형태)의 톤과 리듬으로 정보를 전달하는 경보이다. 추상적 소리는 주변 음성에 의해 차폐되는 현상이 최소화되고 정보를 신속히 전달할 수 있다는 장점이 있다. 그러나 경보상황에 따른 추상적 소리의 종류를 배우고 기억하는 것이 어렵기 때문에 5~9개 정도의 종류로 사용이 제한된다는 단점이 있다. 선박의 경우 거의 모든 청각경보들이 추상적 소리로 구성되어 있으며, 항해사들은 선내에서 울리는 경보들이 주는 경보상황을 알기 보다는 경보가 울리는 기기의 위치를 소리가 들리는 방향으로 찾아내 상황에 대처하고 있는 실정이다. 따라서 신속하고 정확한 정보전달의 의미 보다는 경보가 울리는 기기의 위치 정보를 알려주는 경우가 다수 존재하고 있다. 따라서 협수로와 같은 좁은 해역의 운항시 주변 소음과 함께 선박의 위험상황을 알려주는 다수의 청각경보가 울릴 경우 신속한 대처가 어려워 선박은 위험에 처할 수 있다.

청각적 아이콘은 환경적 소리(environmental sound), 즉 자연음을 사용한 경보음이다(Ballas 등, 1987; Gaver, 1986), 예를 들어, 화재 경보상황을 장작불이 타는 소리로 제시하여 경보하는 방식이다. 청각적 아이콘은 추상적 소리와 음성과는 다른 형태의 소리이며, 효과적인 청각경보로 사용될 수 있는 잠재력을 갖고 있다. 청각적 아이콘은 추상적 소리의 장점들을 공유하면서, 추상적 소리와는 다르게 학습할 수 있는 종류도 크게 제한되어 있지 않다. Lawrence와 Banks(1973)는 실험연구를 통하여 환경적 소리의 기억용량이 194개(194-item set)까지 가능하다는 것을 보여주었다. 청각적 아이콘의 효과에 대한 실험연구는 일부 이루어지고 있다. Leung(2001)은 특정 상황에 대해 각각 음성, 추상적 소리, 청각적 아이콘을 만들어 피실험자들이 정확히 응답하기까지 수행한 횟수와 오류 수를 측정하였다. 그 결과 음성과 청각적 아이콘 사이에는 오류율에 유의한 차이가 없었으나, 추상적 소리는 음성과 청각적 아이콘에 대하여 유의한 차이가 있었음을 보고하였다. 이봉왕 등(2005)은 선박의 선교내에서 발생되는 경보상황을 추상적 소리와 청각적 아이콘을 이용하여 제시한 후 정답률을 비교한 인지실험에서 청각적 아이콘은 함축적 소리에 비교하여 정답률을 유의하게 향상시킨다고 보고하였다.

선교에는 일반적으로 작업수행에 필요한 실제 음성통신 및 다양한 청각신호들과 원하지 않는 소음들이 공존하는 작업환경이 형성되어 있다. 그러나 이러한 환경에서 음성경보, 추상적 소리, 청각 아이콘으로 대별되는 경보음들이 각기 다른 경보상황에 따라 인간의 인지능력에 미치는 영향을 종합적으로 분석한 연구는 미흡한 실정이다. 본 연구에서는 선교내 작업환경에서 경보상황과 청각경보음의 유형에 따라 인간의 반응정확성, 반응시간 및 주관적 만족도가 어떻게 변화하는지 파악하기 위해 수행되었다.

2. 연구 방법

2.1 피실험자

항해사 자격증(1~3급)을 소지하고 있는 항해사 중 시력과 청력에 이상이 없고 PC 사용 경험이 있는 항해사 25명이 실험에 참여하였다. 피실험자들의 항해 년수는 평균 7.6년이며 나이는 평균 40.6세이다.

2.2 실험장비

실험에는 PC(P-4 1.8GHz)와 컬러 LCD 모니터(17인치, 해상도 1024×768), 마우스, 헤드셋(SHS-100V), 마이크로소프트 파운데이션 클래스 라이브러리(Microsoft Foundation Class Library, MFC), 그리고 간단한 연산문제지가 사용되었다. 마우스를 포함한 PC와 모니터는 피실험자가 자신의 정보를 입력하고 실험 중 인지한 경보상황을 선택하여 반응하는데 사용되었으며, 헤드셋은 피실험자를 주변 소음으로부터 차단함과 동시에 실험에 이용된 경보음과 선박간 교신내용(VHF)을 제시하기 위해 사용되었다.

C++ 기반의 MFC 라이브러리는 실험 중 구현된 경보상황과 경보음 유형을 조합한 실험조건을 2분 간격으로 무작

위 순서로 제시하고, 제시된 실험조건에서 피실험자가 선택하게 될 경보상황 버튼을 모니터에 구현하고 결과를 기록하기 위한 프로그램을 작성하는데 사용되었다.

연산문제지는 간단한 연산문제(예, 1+2 =)들을 수록하고 있는데 피실험자들이 실험과업을 수행하는 과정에서 2차 과업의 형태로 풀도록 하는데 사용되었다. 이는 실험 중의 작업부하를 가능한 한 실제 항해작업시의 작업부하와 유사한 조건으로 구현함과 동시에, 피실험자가 PC 모니터에 편중적인 집중을 하거나 경보상황에 대해 예측하는 것을 최소화하기 위한 목적이다.

2.3 실험계획

실험에 사용한 독립변수는 3수준의 경고음 유형과 5수준의 경보상황으로 처리하여 총 15개(3×5) 조합조건에서 반복측정이 이루어지도록 하였다.

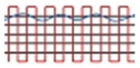
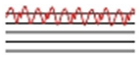
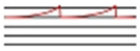
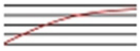
3수준의 경보음 유형은 피실험자에게 제시되는 소리의 종류를 말하며 서론에서 언급한 바와 같이 각각 추상적 소리(abstract sound), 청각적 아이콘(auditory icon), 음성경보(voice alarm)로 하였다. 5수준의 경보상황은 고장이나 위험상황, 즉 경보의 내용이 무엇인가를 나타내는 것으로 화재, 조타, 전기, 충돌, 엔진으로 처리하였다. <표 1>은 5수준의 경보상황 별로 3수준의 경보음 유형을 구현한 방법을 보여주고 있다. 추상적 소리는 실제 선교에서 사용중인 대표적인 경고음을 녹음하여 음원으로 사용하였고, 청각적 아이콘과 음성경보는 한국해양연구원에서 보유하고 있는 음원을 발췌하여 사용하였다.

종속변수는 반응정확성, 반응시간 및 주관적 만족도로 하여 자료를 수집하였다. 반응정확성은 제시된 각각의 경보음 유형과 경보상황에 대하여 피실험자들이 바르게 선택하여 반응한 비율을 계산하였다.

반응시간은 피실험자가 제시된 각각의 실험조건에서 경보음을 듣고 모니터에 제시된 적합한 경보상황 버튼을 누르는 순간까지 소요된 시간을 측정하였다. 모니터에 제시된 경보상황 버튼은 총 10가지(화재, 조타, 전기, 충돌, 엔진, GPS, 내선, 외등, 전조등, VHF)로 설계하였는데 이는 실제 실험에서 요구한 5가지 경보상황 버튼(화재, 조타, 전기, 충돌, 엔진)만을 사용할 경우, 피실험자가 버튼의 위치를 실험이 진행되는 과정에서 학습하여 실험이 진행될수록 반응시간에 영향을 주게 되는 학습효과를 최소화하기 위한 목적이다.

주관적 만족도는 실험을 수행한 직후, 피실험자들이 느끼는 경보음 유형의 전반적인 만족도를 7점 척도로 측정하였으며, 1에 가까울수록 "매우 불만족", 7에 가까울수록 "매우 만족"하였음을 의미한다.

표 1. 경보음 유형과 경보상황의 수준과 구현방법

		경보음 유형		
		추상적 소리	청각적 아이콘	음성정보
경보상황	화재		장작이 불에 타는 소리	"Fire"
	조타		녹슨 핸들 들리는 소리	"Steering failure"
	전기		전력을 잃었을 때 기계의 소리	"Low power"
	충돌		강한 파도 소리	"Warning collision"
	엔진		엔진이 거지는 소리	"Engine failure"

2.4 실험절차

실험은 한국해양수산연수원의 시청각 교육실에서 진행되었다. 본 실험에 앞서 피실험자는 실험참여 동의서를 작성하였으며, 실험자는 실험절차에 대한 전반적인 설명을 하였다. 실험을 실시하기 전에 현재 몸 상태와 실험에 영향을 줄 만한 요인이 있는지 여부를 묻는 설문지를 작성토록 하였다. 설문지 작정이 끝난 후, 실험에 사용될 총 15개의 실험조건에 대한 훈련의 기회가 제공되었다. 추상적 소리, 청각적 아이콘 그리고 음성경보를 듣고 적절한 경보상황을 파악하는 훈련을 위주로 5분 동안 실험용 PC를 이용하여 학습하도록 하였다.

훈련 후 곧바로 진행된 본 실험에서 피실험자는 PC 모니터 앞에 바르게 앉아 헤드셋을 착용한 상태에서 PC 모니터에 지시되어 있는 자신의 정보를 입력 후 실험시작 버튼을 클릭하고 연산문제지를 풀기 시작하였다. 연산문제는 가능한 한 정확하고 빠르게 풀도록 지시하였다. 또한 시작버튼이 클릭된 이후에는 실제 선교내의 상황과 비슷한 환경을 조성하기 위하여 선박 무선 교신내용을 피실험자가 착용하고 있는 헤드셋을 통하여 연속적으로 재생해서 피실험자에게 들려주었다.

실험이 진행되는 과정에서 피실험자들은 15가지 실험조건(경보음 유형 3수준×경보상황 5수준) 중 약 2분에 한 번씩 무작위의 순서로 구현되는 경보음을 듣고 모니터에 표시되어 있는 10가지(화재, 조타, 전기, 충돌, 엔진, GPS, 내선, 외등, 전조등, VHF) 경보상황 버튼 중 옳다고 판단되는 버튼 하나를 선택하였으며, 선택이 끝난 후에는 다시 연산문제를 풀기 시작하였다.

모든 실험조건에 대한 기록이 종료된 후, 피실험자들은 추상적 소리, 청각적 아이콘, 음성경보에 대하여 자신들이

느끼는 주관적 만족도를 7점 척도로 평가하고 실험은 종료되었다.

3. 실험결과

실험결과 분석을 위하여 반응정확성과 반응시간 및 주관적 만족도를 측정한 자료에 대하여 통계분석용 소프트웨어 Statview(5.0)를 이용하여 분산분석(ANOVA)을 실시하였다. 분산분석 결과 유의한 요인들에 대해서는 Tukey/Kramer의 수준간 평균비교(multiple comparisons)를 실시하였다. 통계적 유의수준은 전체적으로 5%로 설정하였다.

3.1 반응정확성

실험에서 수집한 종속변수 중 하나인 반응정확성은 계수변수(qualitative variable)의 성격을 갖고 있으므로 올바른 선택은 "1", 잘못된 선택은 "0"을 할당하는 계수치데이터로 처리한 후 분산분석을 수행하였다.

반응정확성에 대한 분산분석을 수행한 결과, 경보음 유형에 대한 주효과($F_{2, 360} = 27.841$, $p<0.0001$)와 경보상황에 대한 주효과($F_{4, 360} = 6.369$, $p<0.0001$)가 유의수준 5%에서 유의한 것으로 나타났으며, 경보음 유형×경보상황의 2인자 교호작용은 유의하지 않은 것으로 분석되었다($F_{8, 360} = 1.223$, $p=0.2841$). <표 2>는 반응정확성에 대한 분산분석 결과를 보여주고 있다.

표 2. 반응정확성에 대한 분산분석표

요인	DF	SS	MS	F 값	p-값
경보음 유형	2	10.864	5.432	27.841	<.0001*
경보상황	4	4.971	1.243	6.369	<.0001*
경보음 유형×경보상황	8	1.909	.239	1.223	.2841
잔차	360	70.240	.195		

*: 유의수준 0.05(5%)에서 유의함

<표 3>은 분산분석에서 주효과가 유의한 것으로 나타난 경보음 유형의 수준간 평균비교(multiple comparisons)를 수행한 Tukey/Kramer 분석결과를 보여주고 있으며, <그림 1>은 경보음 유형의 각 수준에서 평균정확성(단위: 비율)을 비교하여 보여주고 있다. 그림으로부터 반응정확성은 음성경보(voice alarm)를 사용할 때 평균 0.824(82.4%)로 가장 우수하며, 청각 아이콘(auditory icon) 0.64(64%), 추상적 소리(abstract sound) 0.408(40.8%)의 순으로 정확성이 낮아짐을 알 수 있다. Tukey/Kramer 분석결과에 의하면, 이들 세 수준에서의 정확성은 통계적으로 유의한 차이가 있다(<표 3> 참조).

표 3. 경보음 유형 수준간 반응정확성 평균비교

Tukey/Kramer for 정확성
Effect: 경보음 유형
Significance Level: 5%

	Mean Diff.	Crit. Diff	
Abstract sound, Auditory icon	−.232	.131	S
Abstract sound, Voice alarm	−.416	.131	S
Auditory icon, Voice alarm	−.184	.131	S

주: S는 수준간 평균차이가 유의함을 나타냄

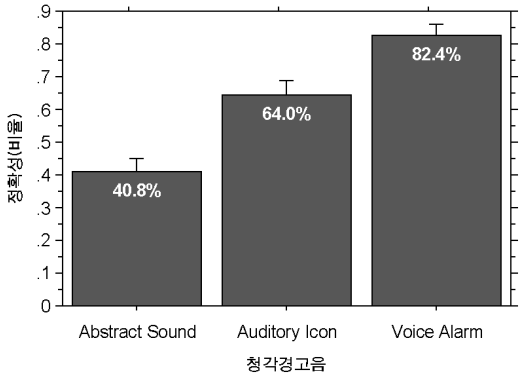


그림 1. 경보음 유형 수준간 반응정확성 평균

<표 4>는 분산분석에서 역시 주효과가 유의한 것으로 나타난 경보상황의 수준간 평균비교(multiple comparisons)를 Tukey/Kramer 분석으로 수행한 결과를 보여주고 있으며, <그림 2>는 경보상황의 각 수준에서 평균 정확성(단위: 비율)을 비교하여 보여주고 있다. 그림으로부터 반응정확성은 화재상황일 때 0.8(80%)로 가장 우수하며, 충돌(65.3%), 엔진(62.7%), 조타(60%), 전기(44%)의 정확성 순서를 보이고 있다. 화재와 조타, 화재와 전기, 전기와 충돌상황에서 수준간 차이가 통계적으로 유의한 것으로 분석되었다(<표 4> 참조).

3.2 반응시간

반응시간은 피실험자들이 각 실험조건에서 경보상황 버튼을 선택하는데 까지 경과된 시간을 초단위로 측정한 자료이다. 반응시간 분산분석에는 올바른 버튼을 선택한 경우의 자료만을 사용하였다.

반응시간에 대한 분산분석을 수행한 결과, 경보음 유형에

표 4. 경보상황에 대한 수준간 평균비교

Tukey/Kramer for 정확성
Effect: 경보상황
Significance Level: 5%

	Mean Diff.	Crit. Diff	
화재, 조타	.200	.198	S
화재, 전기	.360	.198	S
화재, 충돌	.147	.198	
화재, 엔진	.173	.198	
조타, 전기	.160	.198	
조타, 충돌	−.053	.198	
조타, 엔진	−.027	.198	
전기, 충돌	−.213	.198	S
전기, 엔진	−.187	.198	
충돌, 엔진	.027	.198	

주: S는 수준간 평균차이가 유의함을 나타냄

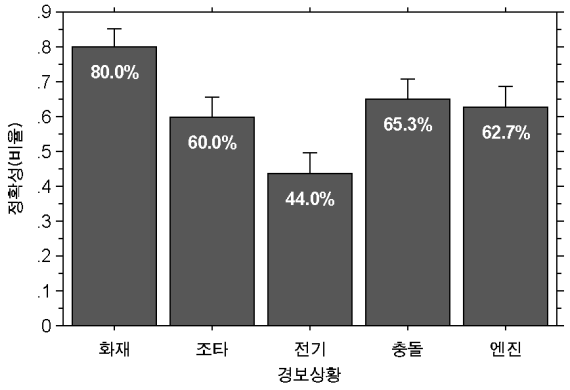


그림 2. 경보상황의 수준별 반응정확성 평균

대한 주효과($F_{2, 218} = 4.849$, $p=0.0087$)와 경보상황에 대한 주효과($F_{4, 218} = 6.393$, $p<0.0001$)가 유의수준 5%에서 유의한 것으로 나타났으며, 경보음 유형×경보상황의 2인자 교호작용은 유의하지 않은 것으로 분석되었다($F_{8, 218} = 0.137$, $p=0.9975$). <표 5>는 반응시간에 대한 분산분석 결과를 보여주고 있다.

표 5. 반응시간에 대한 분산분석표

요인	DF	SS	MS	F 값	p−값
경보음유형	2	105.431	52.716	4.849	.0087*
경보상황	4	278.009	69.502	6.393	<.0001*
경보음 유형×경보상황	8	11.903	1.488	.137	.9975
잔차	218	2370.112	10.872		

*: 유의수준 0.05(5%)에서 유의함

<표 6>은 반응시간 분산분석에서 주효과가 유의한 것으로 나타난 경보음 유형에 대하여 Tukey/Kramer의 수준간 평균비교(multiple comparisons)를 수행한 결과를 보여주고 있으며, <그림 3>은 경보음 유형의 각 수준에서 평균 반응시간(단위: 초)을 비교하여 보여주고 있다. 그림으로부터 반응시간은 청각 아이콘(auditory icon)을 사용할 때 평균 5.857초로 가장 짧으며, 음성경보(voice alarm)에서 6.343초, 추상적 소리(abstract sound)에서 7.612초로 증가하는 것으로 분석되었다. 그러나 Tukey/Kramer 분석결과에 의하면, 청각적 아이콘은 추상적 소리에 비해 반응시간에 통계적으로 유의한 차이가 있으나, 청각적 아이콘과 음성경보 간에는 유의한 차이를 발견할 수 없었다(<표 6> 참조).

표 6. 경보음 유형 수준간 반응시간 평균비교

Tukey/Kramer for 반응시간
Effect: 경보음 유형
Significance Level: 5%

	Mean Diff.	Crit. Diff	
Abstract sound, Auditory icon	1.755	1.395	S
Abstract sound, Voice alarm	1.269	1.341	
Auditory icon, Voice alarm	−.486	1.164	

주: S는 수준간 평균차이가 유의함을 나타냄

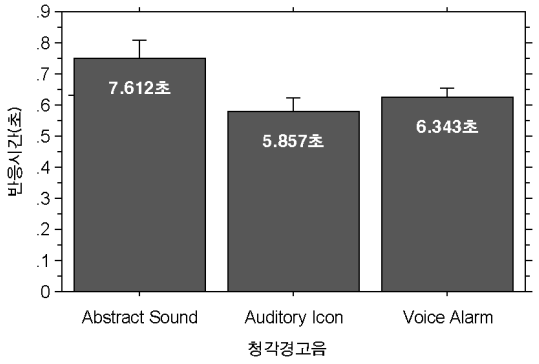


그림 3. 경보음 유형의 수준별 반응시간 평균

<표 7>은 반응시간 분산분석에서 역시 주효과가 유의한 것으로 나타난 경보상황에 대하여 Tukey/Kramer의 수준간 평균비교(multiple comparisons)를 수행한 결과를 보여주고 있으며, <그림 4>는 경보상황의 각 수준에서 평균 반응시간(단위: 초)을 비교하여 보여주고 있다. 그림으로부터 반응시간은 화재상황일 때 평균 4.701초로 가장 짧음을 알 수 있다. Tukey/Kramer의 비교분석 결과에 의하면 화재는 다른 4개의 경보상황(즉, 조타, 전기, 충돌, 엔진)에 비교하

여 반응시간에 유의한 차이를 보이는 것으로 나타났다. 화재를 제외한 4개 경보상황 간에는 반응시간의 유의한 차이를 확인할 수 없었다.

표 7. 경보상황에 대한 수준간 평균비교

Tukey/Kramer for 정확성
Effect: 경보상황
Significance Level: 5%

	Mean Diff.	Crit. Diff	
화재, 조타	−2.184	1.795	S
화재, 전기	−3.242	1.973	S
화재, 충돌	−2.142	1.763	S
화재, 엔진	−2.124	1.773	S
조타, 전기	−1.058	2.086	
조타, 충돌	0.42	1.889	
조타, 엔진	.060	1.899	
전기, 충돌	1.100	2.059	
전기, 엔진	1.118	2.067	
충돌, 엔진	.018	1.868	

주: S는 수준간 평균차이가 유의함을 나타냄

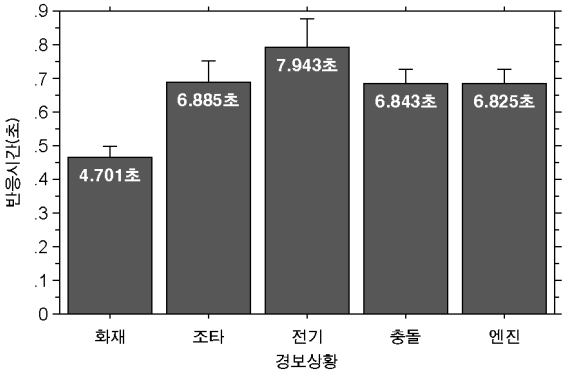


그림 4. 경보상황의 수준별 반응시간 평균

3.3 주관적 만족도

주관적 만족도는 세 수준의 경보음 유형, 즉 추상적 소리, 청각적 아이콘, 음성경보에 대하여 피실험자들이 스스로 판단한 주관적 만족도를 7점 척도로 평가한 자료이다. 만족도에 대한 분산분석을 수행한 결과 경보음 유형의 주효과가 유의한 것으로 나타났다($F_{2,72} = 25.32$, $p<0.0001$). <그림 5>는 경보음 유형에 따른 평균 만족도를 보여주고 있다. Tukey/Kramer의 수준간 평균을 비교한 결과, 음성경보에 대한 만족도(평균 = 6.04점)는 추상적 소리(평균 = 3.16점)와 청각적 아이콘(평균 = 3.08점)에 비교하여 유의하게 높은 것으로 분석되었다. 그러나 추상적 소리와 청각적 아이콘 사이에는 주관적 만족도에 유의한 차이가 없었다.

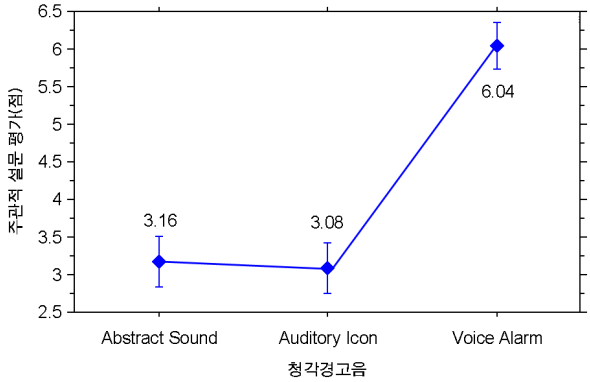


그림 5. 경보음 유형에 따른 주관적 만족도 평균

4. 결론 및 토의

본 연구는 선박시스템의 선교내에서 발생하는 다양한 경보상황에서 청각경보로 사용 중이거나 또는 사용이 검토되고 있는 경보음 유형들의 효과를 종합적으로 분석하기 위해 수행되었다. 경보음 유형에는 현재 국내 선박들의 선교내에서 주로 사용중인 추상적 소리(abstract sound)와 일부 실험연구 및 통합선교 설계에서 대안으로 검토되고 있는 청각적 아이콘(auditory icon)과 음성경보(voice alarm)를 포함하였으며, 이들의 효과를 인간의 반응정확성, 반응시간 및 주관적 만족도를 척도로 하여 분석하였다.

반응정확성에 대한 실험자료를 분석한 결과, 피실험자들의 반응정확성은 음성경보를 사용할 때 가장 우수한 것으로 나타났으며(82.4%), 청각 아이콘(64%), 추상적 소리(40.8%)의 순으로 정확성이 낮아졌다. 또한 이러한 정확성 차이는 통계적으로 유의하였다. 음성경보는 본질적으로 의미전달이 명확하다는 장점이 있지만, 주변의 음성 또는 유사 주파수대의 소리들과 차폐되는 단점이 있다. 본 실험에서는 실제 선박간 교신내용을 배경 소음으로 제시하여 다소의 차폐효과가 있었을 것으로 판단됨에도 불구하고 음성경보는 다른 두 경보음 유형에 비해 우월한 정확성을 유지하였다.

반면에 현재 선교내에서 가장 많이 사용되고 있기 때문에 실험에 참여한 항해사들에게 익숙할 것으로 판단되는 추상적 소리의 정확성은 가장 낮은 것으로 나타나고 있다. 이러한 결과는 그 의미가 불명확하다는 추상적 소리의 본질적 문제 뿐만아니라, 다양한 선교시스템에서 경보상황에 따라

사용되는 추상적 소리가 표준화되어 있지 않은 이유와 무관하지 않다고 판단된다.

한편 경보상황에 따른 반응정확성은 화재일 때 80%로 가장 높았고, 충돌(65.3%), 엔진(62.7%), 조타(60%), 전기(44%)의 순서로 정확성이 감소하였다. 본 실험에 들어가기 전에 피실험자들에게는 평균 5분간의 훈련기회가 주어졌으며, 이때 전달내용의 의미가 불명확한 추상적 소리의 경우 작업기억과 연관된 절대적 판단능력의 한계에 영향을 받았을 것으로 판단된다. 실험결과는 피실험자들이 제한된 훈련시간 동안 상대적으로 중요하고 긴급한 경보상황인 화재, 충돌, 엔진과 관련된 경보음 위주로 자신들의 제한된 작업기억 능력을 활용하였음을 암시하고 있다.

반응시간에 대한 분설결과, 피실험자들은 청각 아이콘(auditory icon)에 반응할 때 평균 5.857초로 가장 짧으며, 음성경보(voice alarm)에 6.343초, 추상적 소리(abstract sound)에 7.612초의 반응시간을 보였다. 반응시간의 측면에서 볼 때, 피실험자들은 청각적 아이콘에 가장 빠른 반응을 보이고 있음을 말해준다. 그러나 음성경보 또한 평균 반응시간이 다소 높기는 하나 청각적 아이콘과의 차이가 통계적으로 유의한 수준은 아닌 것으로 분석되었다. 유의한 차이는 아니지만 음성경보의 반응시간이 청각적 아이콘에 비해 늘어난 이유는 실험 중 배경 소음으로 제시된 선박간 교신내용이 음성경보와 차폐되어 반응 선택이 다소 지연되었기 때문으로 판단된다. 결과적으로 반응시간의 측면에서 청각적 아이콘과 음성경보는 유사한 수준이며, 추상적 소리는 이들에 비해 느린 반응을 보인다는 해석이 가능하다.

경보상황에 따른 반응시간은 화재상황일 때 평균 4.701초 가장 짧았으며 다른 4개의 경보상황(즉, 조타, 전기, 충돌, 엔진)에 비교하여 유의한 차이를 보이고 있다. 화재상황에 대해서 가장 빠르게 반응하는 결과는 반응정확성에서 화재의 우선 순위가 가장 높았던 결과와 연관이 있는 것으로 판단된다.

반응정확성과 반응시간 분석에 따른 객관적 평가와는 별도로 실험에 참여한 항해사들이 주관적으로 느끼는 만족도를 7점 척도로 평가하였다(7에 가까울 수록 만족). 분석결과에 의하면 음성경보에 대한 만족도는 평균 6.04점으로 추상적 소리(평균 = 3.16점)와 청각적 아이콘(평균 = 3.08점)에 비교하여 유의하게 높은 만족도를 보이고 있다.

이상과 같은 분석결과를 종합하여 보면 음성경보는 가장 우수한 청각경보음의 유형으로 판단된다. 음성경보는 반응정확성과 주관적 만족도 측면에서 청각적 아이콘과 추상적 소리에 비교하여 우수한 결과를 보이고 있으며, 반응시간 측면에서도 가장 짧은 청각적 아이콘과 비교하여 유의한 차이를 보이지 않고 있다.

반응시간이 가장 짧은 청각적 아이콘 또한 선교내 청각경보의 대안으로 고려될 가능성을 갖고 있다. 음성경보에 비교하여 주관적 만족도와 반응정확성이 낮게 나타난 것은 실험전 제한된 훈련시간에 기인된 것일 수도 있다고 생각된다. 향후 청각적 아이콘에 익숙해지기 위한 충분한 훈련시간을 제공하고, 훈련시간에 따라 반응시간과 정확성의 변화를 분석하는 추가적인 연구가 요구된다.

본 연구에서는 세 가지 경보음 유형을 단순히 개별적으로 비교 분석하였다. 향후 이러한 세 가지 유형의 경보음을 순차적으로 혼합하여 제시하거나 또는 중복적으로 제시하는 새로운 유형의 경고음에 대한 연구도 필요할 것으로 판단된다. 예를 들어, 특정한 경보상황에 대하여 속도가 가장 빠른 청각적 아이콘과 정확성이 높은 음성경보를 순차적으로 제시하는 경고음 유형이 고려될 수 있다.

끝으로 본 연구의 결과는 실험실 환경에서 적용된 경보상황과 작업환경 조건에 국한하여 해석되어야 한다. 실험에서 배경 소음으로 선박간 교신내용을 제시하고, 항해업무의 작업부하를 부과하기 위해 연산문제를 푸는 과업을 부과하였으나, 향후 실제 선박 또는 시뮬레이터를 이용한 항해작업 환경에서의 실험을 통해 보다 현실적인 연구가 기대된다.

참고 문헌

이봉왕, 김홍태, 양찬수, 양영훈, 통합선교 알람 시스템을 위한 알람 인지에 대한 기초 실험, *해양환경안전학회지*, 11(1), 11-16, 2005.

Ahlstrom, V., Auditory Alarms in the Airway Facilities Environment, U.S. Department of Transportation Federal Aviation Administration, OTE Technical note, 1-35, 2003.

Ballas, J. A. and Howard, Jr., J. H., Interpreting the language of environmental sounds, *Environment and Behavior*, 19(1), 91-114, 1987.

Gaver, W. W., Auditory icons: Using sound in Computer Interfaces Human-Computer Interaction, 2(2), 167-177, 1986.

Lawrence, D. M. and Banks, W. P., Accuracy of recognition memory for common sound, *Bull. Psycgon. Soc*, 1, 298-300, 1973.

Leung, Y. K., Smith, S., Parker, S. and Martin, R., Learning and Retention of Auditory Warnings, *International Conference on Auditory Display*, 1997.

Sanders, M. S. and McCormick, E. J., *Human Factors in Engineering and Design*, 6th Ed., McGraw-Hill, 157-170, 1987.

Simpson, C., Speech Controls and Displays", In G. Salvendy(Ed.), *Handbook of Human Factors*, New York: Wiley, 1987.

저자 소개

하 욱 현 hawookhyun@moeri.re.kr
한남대학교 산업경영공학과 학사
현 재: 한남대학교 대학원 산업공학과 석사과정,
한국해양연구원 해양시스템안전연구소 연수생
관심분야: 인적오류, 작업부하

박 성 하 shpark@hnu.kr
Texas Tech University 산업공학과 박사
현 재: 한남대학교 산업공학과 교수
관심분야: 인간공학, 산업안전

김 홍 태 kht@moeri.re.kr
고려대학교 산업공학과 박사
현 재: 한국해양연구원 해양시스템안전연구소 책임연구원
관심분야: 인간공학, 산업안전

논 문 접 수 일 (Date Received) : 2010년 06월 01일
논 문 수 정 일 (Date Revised) : 2010년 07월 19일
논문게재승인일 (Date Accepted) : 2010년 07월 19일