Journal of the Ergonomics Society of Korea
Vol. 30, No. 1 pp.251-257, February 2011 DOI:10.5143/JESK.2011.30.1.251

수리모형을 이용한 선박 항해기기 패널의 인간공학적 배치

장준혁[1] · 김홍태[1] · 심정훈[2] · 이동춘[2]

[1]한국해양연구원 해양안전방제기술연구부 / [2]동아대학교 산업경영공학과

The Ergonomic Layout of Ship's Bridge Panels using the Mathematical Programming

Jun Hyuk Jang[1], Hong Tae Kim[1], Joung Hoon Sim[2], Dong Choon Lee[2]

[1]Maritime & Ocean Engineering Research Institute, KORDI, Daejoen, 305-343
[2]Department of Industrial & Management Systems Engineering, Dong-A University, Busan, 604-714

ABSTRACT

When designing a ship, ergonomic considerations are crucial when minimizing a navigator's fatigue due to the burden of work, and to appropriately operate the navigational equipment for each given situation by helping the operator to understand the surroundings as well as the physical functions of the ship. However, insufficient consideration of ergonomic elements in the actual design of ship Bridges is lowering the performance of safe navigation and allows for the possibility of operation or readout errors. Consequently, these errors lead to an increase in maritime accidents. Therefore, this study conducted a usability evaluation on the importance of and the usage frequency of navigational equipment, their influence on actual navigation, and the possibility of error upon operation or readout between training ship officers, to derive an optimized layout that includes the consideration of ergonomic factors for on-Bridge navigational equipment, which are currently arranged differently according to their type or size. The optimized layout of on-Bridge navigational equipment was carried out based on the evaluation results, using the Lingo program. Through the process of optimization, revised layouts of on-Bridge navigational equipments(control and display device) were suggested, considering emergency situations(ship collision, stranding, fire and explosion, sinking, etc.) during navigation.

Keywords: Ship's bridge, Ergonomic layout, Maritime accident, Usability evaluation

1. 서 론

국제 교류에 있어 핵심적인 역할을 담당하는 운송수단 중 하나인 선박은 교역량의 증가와 과학기술발달에 따라 오늘날 점차 대형화, 고속화, 자동화되고 있으나, 크고 작은 해양사고는 지속적으로 발생하고 있다. 국내 해양사고의 원인을 조사한 결과 전체 해양사고의 약 60~80%는 직 · 간접적인 인간과실에 기인하는 것으로 보고되고 있다(해양수산부, 2007, 김상수, 2004). 이러한 인적과실로 인한 해양사고를

교신저자: 이동춘
주 소: 604-714 부산광역시 사하구 하단동 840번지, E-mail: dclee@dau.net
Copyright@2011 by Ergonomics Society of Korea(pISSN:1229-1684 eISSN:2093-8462). All right reserved.

감소시키기 위해 다각적인 관심과 노력을 기울이고 있으며(해양경찰청, 2006) 제도적인 보완 및 지원체제 정비와 더불어 최근에는 선박에서 이용되는 설비의 인간공학적 요소들의 고려 여부가 관심의 대상이 되고 있다(양영훈 등, 2005). 이러한 시대적 요구에 부응하여 각국의 선급 및 관련 국제기구에서는 인간공학적 개념을 적용하여 설계된 통합선교시스템에 대한 규정을 마련하였다(하원재 등, 2002).

선박의 Bridge는 항해사가 실제로 근무하는 곳이며, 선박운항에 필요한 모든 정보가 집약된 정보상황실 및 운항통제실의 역할을 한다. 선박을 설계할 경우에는 선박의 물리적인 성능뿐만 아니라 운항자가 선박의 운항환경을 정확히 파악하고 매 순간마다 올바른 조종을 수행할 수 있으며, 업무의 부담에 따른 피로를 최소화할 수 있는 Bridge의 인간공학적 설계가 고려되어야 한다. 특히 항해사 1인 체제로 운항이 가능하도록 설계된 자동화 선박의 경우 당직항해사 인적과실에 의한 재산상의 손실 및 해양환경 파괴의 위험성이 그 어느 때보다도 증가되고 있는 실정이다.

본 연구에서는 Bridge 내의 항해기기와 조종장치 및 표시장치의 인간공학적 배치를 제안하기 위하여 실제 운용중인 대학 실습선을 대상으로 항해기기에 대한 사용성 평가를 실시하였다. 일반적으로 배치문제 해결을 위하여 많은 배치 전용 프로그램들이 개발되어져 왔다. 조종패널의 배치문제의 경우에는 조종장치와 표시장치의 공간적 양립성, 사용빈도, 중요성, 사용순서의 원칙 등과 같은 배치기준이 많이 적용되어진다. 조종패널은 일정한 장소에 고정된 일반 가전제품뿐만 아니라 자동차의 운전석이나 항공기의 Flight Deck 및 선박의 Bridge에 필요한 각종 운항조종용 콘솔들도 포함된다. 기종에 따라 일정한 조종패널을 갖는 항공기와는 달리 선박의 Bridge에 설치되는 조종패널의 콘솔을 구성하는 항해기기들은 제작사에 따라 형태가 매우 다양하고, 특히 선주의 의사가 매우 가변적이어서 실제 구매과정에서 각각의 전문업체들의 제품들이 혼합되어 사용되어지기 때문에 동일한 형태의 선박이라고 할지라도 통일된 콘솔형태를 이룰 수 없다. 따라서 자동차나 항공기와 달리 선박의 Bridge를 건조할 때에는 특히 사용자인 항해사의 입장에서 매우 신중하게 연구하여 설계되어야 한다(이덕수, 1997). 하지만 동일한 설계배치 원칙을 적용하더라도 이를 적용하는 객관적이고 체계적인 방법론이 없기 때문에 연구 결과의 객관성을 인정받기 힘들다(신현봉 등, 2005).

선박 Bridge의 설계와 배치에 관한 연구는 매우 미흡한 실정이며, 실제 Bridge 내에서 필요한 인간공학적 원리나 기본 개념만을 소개하고 있으며(하원재 등, 2002), 실습선 설계를 제안한 연구에서는 실제 훈련을 위주로 한 대학 실습선의 특성상 공간배치에 중점을 두고 있다(이홍훈, 2008).

본 연구에서는 기기들의 중요도와 빈도 등만을 고려한 기존 연구의 패널배치 제시에서 더 나아가 선박 항해기기를 대상으로 각 기기의 조작 혹은 판독 실수의 가능성, 항해에 미치는 영향 정도 등의 인간공학적 변수들도 고려하여 수리모형(Cem Canel, 1996)을 이용한 선박 Bridge 항해기기들의 최적안을 도출하고자 하였다. 뿐만 아니라 선박의 운항 중 발생할 수 있는 위급 상황에 대한 대처 매뉴얼(ICS, 2007)을 고려하여 각 항해기기의 가중치를 고려하여 최적안을 제시하였다.

2. 연구 방법

2.1 사용성 평가 및 가중치 산정

선박의 Bridge 내에는 선박의 종류나 크기에 따라 조금씩 차이는 있지만 보통 항해 목적으로만 사용되는 선박운항에 필요한 조종장치와 표시장치는 40~80개 정도 된다. 본 연구에서는 실제 대학에서 운용중인 실습선을 대상으로 Bridge 내의 항해기기를 포함한 조종장치 및 표시장치 총 75개에 대하여 실습선 항해사를 대상으로 사용성 평가를 실시하였다. 그림 1에서는 본 연구에서 최적화 하고자 하는 항해 실습선 Bridge의 내부 전경을 보여준다. 각 항해기기의 크기 및 항해기기 간의 거리가 실제 측정되어졌다.

그림 1. 실습선의 Bridge

이를 간단한 모형으로 도시하면 그림 2와 같다.

그림 2에서와 같이 항해 실습선은 총 18개의 패널로 이루어져 있다. 레이더나 Conning display와 같이 단일 항해기기로 이루어진 패널을 제외한 4번, 7번 9번 그리고 16번 패널이 본 연구의 최적화 대상이며, 표시장치와 조종장치로 이루어진 패널이다.

표 1은 항해기기와 조종장치 및 표시장치를 포함한 총 75개의 기기에 대한 사용성 평가 결과 중 패널 9번에 대한 예

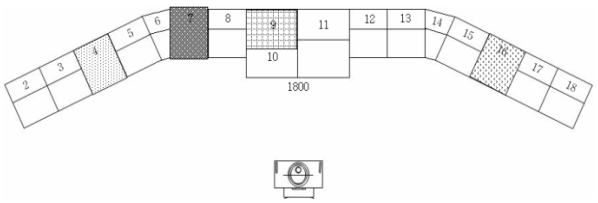


그림 2. 실습선 Bridge 모형도

로써 각 기기들의 실제 치수(가로×세로)와 기기가 속해 있는 패널의 전체 치수를 비롯하여 최적화 수행에 필요한 각 장치들의 중요도, 사용빈도, 그리고 각 장치가 항해에 미치는 영향 정도, 조종장치의 조작 혹은 표시장치의 판독 실수의 가능성 항목에 대한 실습선 항해사들의 평가 점수를 보여준다.

표 1. 각 항해기기의 사용성 평가 결과(패널 9)

번호		항해기기	크기(가로×세로)		중요도	빈도	항해 영향	실수 가능성
			전체	기기				
9	1	M-Erpm indicator	1030×700	140×140	5.00	5.33	5.00	6.00
	2	M-e starting air inlet pressure		100×100	4.67	2.00	4.00	5.67
	3	M-e F.O pump mark indicator		110×110	4.33	2.33	3.33	5.67
	4	Dimmer sw for m-e rpm indicator		30×30	4.33	4.33	3.00	6.00
	5	Gen. em'cy alarm		90×130	5.00	5.00	3.67	6.00
	6	Public addressor controller		260×190	5.00	5.33	4.33	6.00
	7	Remote indicator for shp. Performance		100×50	4.00	2.67	4.00	5.67
	8	Light for no.1 VHF		90×45	4.33	3.67	3.67	6.00
	9	No.2 windlass counter		72×40	3.67	3.33	2.67	5.00
	10	No.1wind lass counter		72×40	3.67	3.33	2.67	5.00
	11	No.2 VHF controller		250×90	6.67	6.33	6.33	5.00
	12	Mf-hf remote controller		390×350	5.00	3.33	3.67	3.67
	13	Sound powered telephone		160×270	4.67	3.00	3.00	6.00
	14	No.1 auto telephone		160×270	5.33	5.67	4.33	6.00
	15	Dimmer sw for telephone directory		60×80	2.67	3.00	2.33	6.33
	16	Remote reset unit		100×100	3.00	3.00	3.00	5.50
	17	Em'cy stop pr for b-t		55×50	4.67	2.33	4.00	6.00
	18	Thruster controller		255×370	6.00	6.00	6.00	4.67
	19	Auto turn controller for bull horn		180×140	5.67	5.33	5.33	6.00
	20	Window wiper control panel		190×155	4.33	4.67	4.33	6.00

표 2는 2003년부터 2008년까지 우리나라에서 발생한 해양사고를 발생원인별로 나타낸 것이다. 표 2의 맨 아랫줄에는 해양사고 발생원인별 합계를 기준으로 구성비(%)가 산출되어 있는데, 이 구성비가 실제 각 항해기기(조종 및 표시장치)에 대한 가중치 산정에 사용되었다.

표 2. 해양사고의 원인

종류 / 연도	충돌	접촉	좌초	화재 폭발	침몰	기관 손상	조난	인명 사상	기타	계
2003	182	9	65	53	50	57	21	-	94	531
2004	210	12	75	57	69	147	45	1	188	804
2005	172	10	46	71	45	166	16	2	130	658
2006	167	17	66	41	25	195	11	1	134	657
2007	148	9	39	37	19	185	8	1	120	566
합계	879	57	291	259	208	750	101	5	666	3,216
구성비 (%)	27.3	1.8	9.0	8.1	6.5	23.3	3.1	0.2	20.7	100

Source: Korean Maritime Safety Tribunal, 2008

본 연구에서의 최적화 수행을 위해 사용되는 값들을 9번 패널의 6번 Public addressor controller를 이용하여 살펴보면, 먼저 이 항해기기의 사용성 평가를 통해 얻어진 점수는 표 1에서와 같이 중요도(5)와 사용빈도(5.33), 항해에 미치는 영향(4.33), 조작 혹은 판독의 실수의 가능성(6) 항목의 점수를 합한 값(20.66)이 된다.

또한 표 2에서 해양사고의 종류 중 충돌항목의 구성비(27.3%)인 0.273을 이용하여 가중치가 계산된다.

표 3에서 9-6 Public addressor controller는 화재 및 폭발, 좌초, 침몰사고 발생시 사용되는 항해기기임을 알 수 있으며, 괄호안 숫자는 해당기기가 사용되는 회수를 의미한다. 이 기기의 충돌사고 시의 가중치를 계산해 보면 위급 상황 매뉴얼(ICS, 2007) 체크리스트의 충돌사고 대응상황 순서 중 첫 번째, 네 번째, 열세 번째, 열네 번째에 사용되었다 뜻이며, 누적사용회수를 의미한다. 결국 이 기기는 충돌사고시 총 4번 사용됨을 알 수 있다.

따라서 해당기기의 사용성 평가값과 사고의 구성비와 위 상황 발생시 해당 기기가 사용되는 누적횟수를 곱한 값이 최종적으로 최적화 수행에 사용되는 것이다. 다른 위급 상황 발생시의 가중치도 같은 방법으로 계산되며, 이러한 과정으로 각 항해기기(조종장치 및 표시장치)의 최적화가 수행되었다.

2.2 최적화

앞절에서 설명한 바와 같이 선박운항에 필요한 선박

표 3. 위급상황 발생시 각 해당사고에 사용되는 항해기기

항해기기		해양사고				
		화재 및 폭발	충돌	좌초	침몰	기관 손상
9	1					
	2					
	3					
	4					
	5	2(1)	1,4,13,14(4)		1,2(2)	
	6	2(1)	1,13,14(3)	2,6,10,11(4)	1,2(2)	
	7					
	8					
	9			7,23(2)		7(1)
	10			7,23(2)		7(1)
	11	13,15(2)	7,10,11,16,20(5)	19(1)	5(1)	6,13(2)
	12	13(1)	11,16(2)	19(1)	5(1)	
	13					
	14	1(1)	9(1)	3(1)	3,4	4(1)
	15					
	16					
	17					
	18					
	19					
	20					

( )의 숫자는 각 기기가 해당 순서에서 사용된 횟수를 의미함.

Bridge 내 항해기기들에 대한 사용성 평가 분석을 실시하여 위험상황에 대한 가중치를 고려하여 LINGO 8.0 Global Solver 프로그램을 이용하여 선박 항해기기들의 인간공학적 배치를 수행하였다. 수리모형을 이용하여 최적화 수행 후 그 결과를 최적안으로 제시하였다.

본 실험에서 사용되는 기호 및 변수들은 다음과 같다.

Index

i : 기기 (i=1,2,…,n)
j : 기기 (i=1,2,…,m)
ox: 기준위치의 x좌표
oy: 기준위치의 y좌표

Decision Variables

doi : 기준위치에서 기기 i의 중심위치까지의 직선 거리
xli : 기기 i의 좌측 하단의 x좌표 값
yli : 기기 i의 좌측 하단의 y좌표 값
xri : 기기 i의 우측 상단의 x좌표 값
yri : 기기 i의 우측 상단의 y좌표 값
wci: 기기 i의 중심위치에 대한 x좌표 값
vci : 기기 i의 중심위치에 대한 y좌표 값

Constants

w_i : 기기 i의 가로 거리
vi : 기기 i의 세로 거리
k_{ih} : 기기 i의 항목 h에 대한 속성 점수
bn_x : Bridge의 가로 길이
bn_y : Bridge의 세로 길이
a_i : 기기 i에 대한 위 상황의 가중치 상수

Objective function

$$Min \sum_{i=1}^{n} k_{ih} \cdot d_{oi} \quad (1)$$

(h = 중요도, 사용빈도, 항해에 미치는 영향 정도, 조작 혹은 판독 실수의 가능성)

$$Min\ ai \sum_{i=1}^{n} k_{ij} \cdot d_{oi} \quad (2)$$

(a = 위급 상황 발생시 각 상황에 따라 해당 기기가 사용되는 누적횟수와 해당 해양사고의 구성비의 곱)

목적함수 식 (1)은 각 기기의 항목별 속성 점수를 고려하여 기준위치에서 각 기기의 중심위치까지 거리를 최소화하기 위한 식이다. 속성함수에는 선박운항자를 대상으로 한 기초조사 결과를 이용하여 항해기기의 중요도, 사용빈도, 각 기기가 항해에 미치는 영향 정도, 조종장치와 표시장치를 사용함에 있어 조작 혹은 판독 실수의 가능성 항목의 점수를 이용하였다.

목적함수 식 (2)는 각 기기의 항목별 속성 점수에 해양사고 발생원인별 합계를 기준으로 구성비(%)를 각 항해기기(조종 및 표시장치)에 대한 가중치 산정에 사용하였다. 위급 상황 발생시 해당 기기가 사용되는 누적횟수를 곱한 값이 최종적으로 최적화 수행에 사용되는 것이다.

Constraint

$$d_{oi} = \sqrt{(o_x - wc_i)^2 + (o_y - vc_i)^2} \quad , \ \forall i \quad (3)$$

위의 제약식 (3)은 기준위치에서 기기의 중심위치까지의 직선 거리를 구하기 위한 식이다.

$$wc_i - xl_i = \frac{w_i}{2} \quad , \ \forall i \quad (4)$$

$$vc_i - yl_i = \frac{v_i}{2} \quad , \ \forall i \quad (5)$$

$$xr_i - xl_i = w_i \quad , \quad \forall i \tag{6}$$

$$yr_i - yl_i = v_i \quad , \quad \forall i \tag{7}$$

위 식 (4)~(7)는 각 기기별 중심위치에서의 (x, y)좌표를 구하기 위한 식이다.

$$(xri - xlj) \times (yrj - yli) \times (xli - xrj) \times (yri - ylj) > 0, \quad \forall i,j \quad (i \neq j) \tag{8}$$

위 식(8)은 기기들 간의 중복을 허용하지 않기 위한 제약식이다.

$$\begin{aligned} xr_i &\leqq bn_x \quad , \quad \forall i \\ yr_i &\leqq bn_y \quad , \quad \forall i \end{aligned} \tag{9}$$

위 식(9)은 Bridge의 가로 및 세로의 한계를 벗어나서 배치되지 않음을 보증하는 제약식이다.

$$xl_i \geqq 0 \quad , \quad \forall i \tag{10}$$

$$yl_i \geqq 0 \quad , \quad \forall i \tag{11}$$

$$xr_i \geqq 0 \quad , \quad \forall i \tag{12}$$

$$yr_i \geqq 0 \quad , \quad \forall i \tag{13}$$

위 식(10)~(13)는 각 기계의 결과값으로 제시되는 좌표가 양수임을 보증하는 제약식이다.

따라서 최적화 수행과정은 각 항해기기(조종장치, 표시장치)들의 사용성 평가 결과와 위급 상황 시를 고려한 가중치로써 주어진 패널의 크기 내에서 서로 중복되지 않게 기준점을 중심으로 배치되는 것이라고 할 수 있겠다.

3. 연구 결과

선박 Bridge 내 항해기기의 조종장치 및 표시장치의 최적안을 도출하기 위하여 9번 패널의 최적화를 수행하였다. 9번 패널의 위치는 그림 2에서 보는 바와 같으며, 그림 3에서는 9번 패널의 각 기기를 보여준다. 각 패널은 상판과 하판으로 나눌 수 있으며, 본 연구에서는 9번 패널의 상판을 대상으로 최적화를 수행하였다(그림 3). 최적화 방법은 각 패널별 해당 기기의 크기와 사용성 평가 점수를 이용하였으며, 표 1에서 보는 바와 같다. 또한 위 상황에 대한 가중치는 표 2의 구성비값을 이용하여 최적화를 수행하였다.

그림 3. 최적화 대상 패널(□부분)

디스플레이상의 시각 탐색은 색상이나 깜빡임 등의 매력요소의 영향이 매우 크지만, 이를 단순화시켜 지역적인 배치에 따른 패턴을 살펴보면 체계적인 피실험자의 경우 출력정보에 따라 다른 패턴을 보인다. 출력정보가 글자(Text) 정보일 경우에는 좌측 상단에서 탐색을 시작하는 경향을 보이며(Megaw, 1979), 그림(Graphic) 정보일 경우에는 화면의 중앙에서부터 탐색을 시작하는 경향을 보인다(Parasuraman, 1986).

따라서, 본 연구의 최적화 수행에는 기준점을 두 지점으로 하였다. 첫 번째는 좌측 상단을 기준으로 항해기기 패널의 최적화를 수행하였고, 두 번째는 패널의 중앙을 기준으로 최적화를 수행하였다.

그림 4에서는 Lingo 프로그램을 이용하여 중앙을 기준점으로 패널 9번의 최적화를 수행한 결과를 보여주고 있다. 최종 결과가 좌표값으로 표현되며, 그 좌표값으로 패널의 크기를 고려하여 도해한 최종 결과는 표 4와 같다.

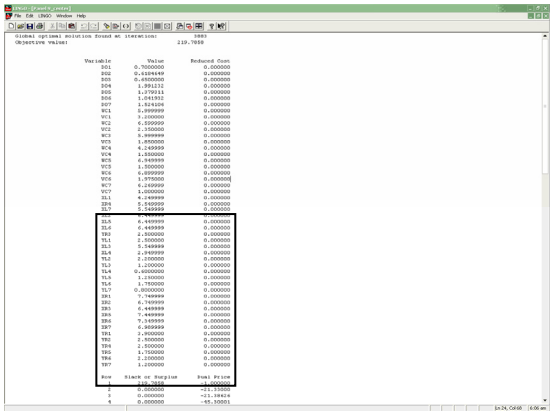


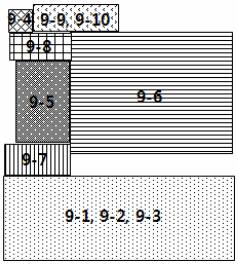
그림 4. 최적화 수행 결과

표 4. 가중치를 고려한 최적화 결과

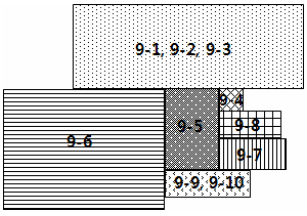
No. 9 패널

9-1 M-ERPM Indicator
9-2 M-E Starting Air Inlet Pressure
9-3 M-E F.O Pump Mark Indicator
9-4 Dimmer SW For M-E Rpm Indicator
9-5 GEN. EM'CY Alarm
9-6 Public Addressor Controller
9-7 Remote Indicator For SHP Performance
9-8 Light For NO.1 VHF
9-9 NO.2 Wind Glass Counter
9-10 NO.1 Wind Glass Counter

A. 패널 좌측상단 기준점



B.패널 중앙 기준점



4. 결론 및 검토

본 연구에서는 선종이나 크기에 따라 다르게 배치되어 있는 선박 Bridg의 항해기기에 대한 기초 연구로써 인간공학적 변수를 이용하여 항해시 필요한 조종장치와 표시장치의 패널 배치를 제시하였다.

이를 위하여 실제 실습선의 항해사들을 대상으로 각 항해기기(표시장치와 조종장치)의 중요도, 사용빈도, 각 기기가 항해에 미치는 영향, 판독 및 조작 실수의 가능성에 대한 사용성 평가를 실시하여 최적화를 수행하였다.

또한 위급 상황 발생시 매뉴얼의 체크리스트(ICS, 2007)를 이용하여 각각의 위험상황에서 사용되어지는 해당 항해기기의 누적빈도와 실제 사고발생 구성비를 이용하여 가중치를 부여하였다.

시각정보 전달의 효율성을 높이기 위해 사용되는 방법으로는 정보의 배치, 그룹화, 컬러 코딩 등이 있으며, 탐색하고자 하는 표적의 수, 배치 유사성이 탐색 시간에 영향을 미치기도 하고 사용자의 시스템에 대한 숙련도가 매우 큰 비중을 차지하기도 한다.

본 연구의 사용성 평가에는 항해기기의 판독 혹은 조작의 용이성, 편의성, 해당 항해기기 사용시 조작 혹은 판독의 실수 경험 여부에 대한 내용이 포함되었으나 실제 최적화에는 적용되지 않았다. 이러한 평가는 조종장치의 중요도나 사용빈도의 점수는 높지만 사용하기 불편하다거나 혹은 조작장치와 표시장치의 조작 혹은 판독시 실수를 유발하게 되는 원인들을 분석하고 항해기기들의 인간공학적인 개선에 반드시 필요하다고 판단되며, 추후 연구과제로 넘긴다.

Bridge에서 항해사가 필요로 하는 정보의 종류는 항해모드(대양항해, 연안항해, 협수로 항해 및, 접이안 작업 등)에 따라 조금씩 차이가 있겠으나 크게 나누어 시각정보와 청각정보로 구성되며, 항해사는 이러한 정보를 이용하여 현재 자선의 상황을 파악하고 주변의 환경과 교통흐름에 따라 위험여부를 판단하면서 안전하고 경제적인 방법으로 선박을 운행하여야 한다. 선박의 운항에 필요한 정보가 많을수록 이들을 파악하는데 많은 시간을 소요할 것이며, 또한 올바른 행동을 위한 판단에서도 항해사의 작업부담은 더하게 될 것이다. 본 연구에서는 이러한 선박운항자의 부담을 경감시키기 위한 한 방안으로 선박의 운용에 핵심적은 역할을 담당하는 선박 Bridge 내 항해기기의 인간공학적인 배치안을 제시하고자 하였으며, 선박 해양분야에서 인간공학적 지침을 마련하는 기초자료로 활용될 것으로 기대한다.

Acknowledgements

이 연구는 국토해양부의 해양안전기술개발사업(신개념 인적사고 예방 및 관리기술개발) 지원과제임.

참고 문헌

김상수, 선박충돌사고의 조사모델개발에 관한 연구, 한국해양 대학교 운항시스템공학과, 2004.

신현붕, 정광태, 사용자 인터페이스 구성요소의 레이아웃을 위한 SLP 적용 및 검증, *IE interfaces*, 18(4), 485-493, 2005.

양영훈, 인간공학적 Bridge Conning Display 설계에 관한 연구, 충남대학교 선박해양공학과, 2006.
이덕수, 자동화선박 선교 레이아웃의 인간공학적 설계에 관한 연구, 부경대학교 선박공학과, 1997.
이봉왕, 김홍태, 양찬수, 양영훈, 공인영, 양원재, "통합 Bridge 알람 시스템을 위한 Warning Sounds에 관한 기초 연구", *해양환경안전학회 춘계학술발표회*, 7-12, 2005.
이홍훈, 효율적인 항해실습교육을 위한 항해 실습선 개선 설계에 관한 연구, 목포대학교 선박해양공학과, 2008.
하원재, 나송진, 김상수, 이형기, 정재용, 인간공학적 선교 설계에 관한 기초 연구, *해양환경안전학회지*, 8(1), 53-58, 2002.
해양수산부, 해양사고 방지대책, 해양수산부(안전관리관), 2007.
ABS, *Ergonomic design of navigation bridges*, American Bureau of Shipping, 2003.
Cem Canel & Basheer M. Khumawala, A mixed-integer programming approach for the international facilities location problem, *International Journal of Operations & Production Management*, 16(4), 1996.
ICS, *Bridge Procedures Guide*. International Chamber of Shipping, Fourth Edition, 2007.
IMO/MSC 65/15/1 "Role of the Human Element in Maritime Casualties Taxonomy", 1995.
Megaw,E.D. and Richardson, J., Eye movements and industrial Inspection, *Applied Ergonomics*,10(pp.145-154), 1979.
Parasuraman. R., Vigilance, monitoring and search, *Handbook of perception and human performance*, New York, Wiley, 1986.

저자 소개

장 준 혁: jang@moeri.re.kr
동아대학교 산업경영공학과 박사
현 재: 한국해양연구원 연구원
관심분야: 해양인간공학, 산업안전

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

심 정 훈: jhsim@donga.ac.kr
동아대학교 산업경영공학과 박사
현 재: 동아대학교 시간강사, 아시아 파워엔진(주) 이사
관심분야: 산업안전, 생체역학

이 동 춘: dclee@dau.net
동아대학교 산업경영공학과 박사
현 재: 동아대학교 산업경영공학과 교수
관심분야: 제품디자인 및 사용성 평가, 산업인간공학

Date Received : 2010-12-10
Date Revised : 2011-02-11
Date Accepted : 2011-02-15