

항로표지 배치 효율화를 위한 가시거리에 기반한 인지 지수 모델링

† 황 태현 · 공 인영* · 김 연규**

† 한국해양과학기술원 선박해양플랜트연구소 선임연구원, *책임연구원, **책임연구원

요약 : 본 연구에서는 항로표지(aids to navigation) 배치를 효율화하기 위한 정량적인 성능 지수(performance index)를 제시한다. 제안된 성능 지수는 항로표지에 대한 항해자(navigator)의 시각적 인식에 기반하였다. 인지 성능 지수는 시각적 인식의 구성요소로서 관찰자, 환경, 그리고 광원에 해당하는 선박 특성, 해상환경, 그리고 항로표지 특성을 반영하여 모델링되었다. 본 연구의 결과를 통하여 효과적으로 항로표지를 배치할 수 있는 수치적 지표를 획득할 수 있을 것으로 판단한다. 향후 항로배치에 대한 현실적 데이터를 바탕으로 제안된 모델링의 유효성을 검증할 계획이다.

핵심용어 : 항로표지 배치, 정량적 성능 지수, 시각적 인식, 모델링

항로표지 및 배치 효율화 개요

- 항로표지(aids to navigation)는 해상교통의 안전도모와 선박 운항의 능력증진을 목적으로 한다.
- 항로표지는 선박의 위치 및 운항 코스를 결정하거나, 항해의 위험을 경고하기 위하여 선박 외부에서 보조하는 장치이다.
- 항로표지의 배치 효율화는 주어진 항로에서 어떻게 항로표지를 배치하는가를 결정하는 문제이다.
- 본 연구에서는 항로표지에 대한 항해자의 시각적 인식 정도가 배치 효율화를 결정한다고 가정한다.

시각적 인식 기반 인지 지수 정의

조도차 = 관찰자에게 수신된 조도 - 인식에 필요한 조도
 = 수신조도 - 요구조도

총조도차 = 양의 조도차의 합계
 인식수 = 양의 조도차를 가지는 항로표지의 개수

항로표지의 시각적 인식 과정

요구조도 모델링

- 표준 요구조도 (required illumination)
 - 야간 요구조도 $E_r = 2 \times 10^{-7}$ lux
 - 주간 요구조도 $E_r = 1 \times 10^{-3}$ lux
- 보정 요구조도

조건	야간: 배경 조명이 밝을수록 큰 조도 필요 주간: 하늘 발광휘도가 클수록 큰 조도 필요
----	---

 - 배경발광 지수를 이용한 보정 야간 요구조도

$$E_r(p_{bg}) = 2 \times 10^{-7} \cdot \exp\left(\frac{\log(100)}{2} p_{bg}\right), \text{ for } p_{bg} = [0, 2]$$
 - 하늘 발광휘도를 이용한 보정 주간 요구조도

$$E_r(p_L) = 2.42 \times 10^{-7} \cdot (1 + \sqrt{0.4 p_L})^2, \text{ for } p_L = [100, 50000]$$

† 교신저자 정희원) thfang@kiost.ac
 * 중신회원 thchyon@kiost.ac
 ** 중신회원 ygkim@kiost.ac

하늘 발광휘도 정의

기상학적 여건 (meteorological conditions)	발광휘도 [cd/m ²] (luminance)	요구 조도 [lux] (required illuminance)
매우 어둡게 흐린 하늘 (very dark overcast sky)	100	1.3 E-5
어둡게 흐린 하늘 (dark overcast sky)	200	2.4 E-5
보통 흐린 하늘 (ordinary overcast sky)	1000	1.07 E-4
밝게 흐린 하늘 또는 태양과 근접하지 않는 맑은 하늘 (bright overcast sky or clear sky away from the direction of the sun)	5000	5.06 E-4
회창한 하늘 또는 태양 방향의 맑은 하늘 (bright cloud or clear sky close to the direction of the sun)	10000	1.0 E-3
매우 회창한 하늘 (very bright cloud)	20000	1.98 E-3
눈부시게 빛나는 하늘 (glaring cloud)	50000	4.91 E-3

* IALA, IALA-R E-200-2, Calculation, Definition and Notation of Luminous Range

배경 중첩을 계산

유형 A

$$\bar{h}_i = R_i \tan^{-1} \left(\frac{h_b - h_i}{R_b} \right) \quad \Delta \bar{h}_b = R_i \frac{\Delta h_i}{R_b}$$

$$\bar{h}_b = R_b \tan^{-1} \left(\frac{h_b - h_i}{R_i} \right) \quad \Delta \bar{h}_i = \Delta h_i$$

$$d_{ib} = \left[(\bar{h}_b - \bar{h}_i)^2 + (R_i(\phi_b - \phi_i))^2 \right]^{1/2}$$

$$r_b = \Delta \bar{h}_i / 2 \quad r_i = \Delta \bar{h}_b / 2$$

$$l_b = \frac{2}{d_{ib}} \left[\frac{d_b + r_i + r_b}{2} \left(\frac{d_b + r_i + r_b}{2} - d_{ib} \right) \left(\frac{d_b + r_i + r_b}{2} - r_i \right) \left(\frac{d_b + r_i + r_b}{2} - r_b \right) \right]^{1/2}$$

$$S_{cs} = S_{csi} + S_{csb}$$

$$= r_i^2 \sin^{-1} \left(\frac{l_{ib}}{r_i} \right) - l_{ib} r_i \cos \left(\sin^{-1} \left(\frac{l_{ib}}{r_i} \right) \right)$$

$$+ r_b^2 \sin^{-1} \left(\frac{l_{ib}}{r_b} \right) - l_{ib} r_b \cos \left(\sin^{-1} \left(\frac{l_{ib}}{r_b} \right) \right)$$

$$P_{ol}^i = \frac{S_{cs}}{\pi R_i^2}$$

배경 발광 지수 모델링

진북
배경 발광
\$(\varphi_i, \lambda_i)\$
\$(\varphi_{i+1}, \lambda_{i+1})\$
\$P_{bg}^i\$: 선박의 회각
\$P_{bg}^i\$: 배경발광 구간

$$P_{bg}^i = f_{bg}(\varphi_o, \lambda_o, \varphi_o, h_o, \varphi_i, \lambda_i, h_i, \Delta h_i, \varphi_b, \lambda_b, \Delta h_b, P_{bg}^b)$$

$$= P_{bg}^b P_d^i$$

= 배경밝기 지수 × 배경중첩율

수신 조도 모델링

항로표지 광도 → 대기감쇠 → 수신 조도
\$E^i\$
시야중심계수

$$E^i = f(\text{거리, 광도, 대기전송계수, 시야중심계수})$$

$$= f(R_i, I^i, T_M, P_e^i)$$

$$E^i = \frac{1}{3.43 \times 10^6} \frac{I^i (T_M)^{R_i}}{R_i^2} P_e^i$$

기하학적 배경 중첩을 정의

항로표지 광원
배경 광원
유형 A
유형 B

배경중첩율 = 대상 항로표지의 발광면적에 대한
배경의 발광면적과 겹친 면적의 비

$$P_{ol}^i = \frac{S_{cs}}{S_i}$$

기상에 따른 대기전송계수 정의

내용	대기전송계수	기상학적 가시거리 [M]
Dense fog	4.29E-44	0.03
Moderate fog	7.39E-9	0.16
Light fog	1.92E-4	0.35
Very light fog	3.90E-3 ~ 5.46E-2	0.54 ~ 1.03
Light mist	6.24E-2 ~ 0.2498	1.08 ~ 2.16
Very light mist	0.2498 ~ 0.5742	2.16 ~ 5.4
Clear air	0.5742 ~ 0.7578	5.4 ~ 10.8
Very clear air	0.7578 ~ 0.8950	10.8 ~ 27.0

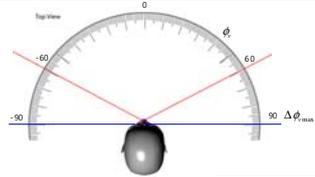
* International Telecommunication Union, ITU-R P.1817, International Visibility Code

내용	대기전송계수	기상학적 가시거리 [M]
명목상 광달거리 (Nominal range)	0.7411	10.0
광학적 광달거리 (Luminous range)	0.85	18.4

시야 중심 계수 모델링

KIOST

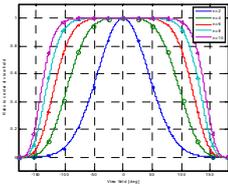
11



시야 중심 계수

$$p_e^i = \exp \left[-1.7^4 \left(\frac{\phi_v^i}{\Delta\phi_{v,max}} \right)^n \right]$$

$n = 2, 4, \dots, 10$



항로표지의 인식 예제

KIOST

14

항로표지
- 광도 200,000 cd
- 시야중심 상대방위 100 deg

관찰자
- 항로표지와 거리 5.5 M
- 최대의 50% 배경발광
- 날씨와 하늘밝기
- 야간
- Light mist $T_M=0.2498$

시야중심계수

$$p_e^i = \exp \left[-1.7^4 \left(\frac{100}{180} \right)^6 \right] = 0.7823$$

요구조도 ? 배경발광 50%

$$E_v(p_{95}) = 2 \times 10^{-7} \cdot \exp \left(\frac{\log(100)}{2} (2 * 0.5) \right) = 2.0 \times 10^{-6}$$

수신조도

$$E^i = \frac{1}{3.43 \times 10^6} \cdot 0.7328 \frac{200000(0.2498)^{5.5}}{5.5^2} = 7.33 \times 10^{-7}$$

인식 판정

$$\text{조도차} = 7.33 \times 10^{-7} - 2.0 \times 10^{-6} = -1.27 \times 10^{-6}$$

조도차가 0보다 작으므로 인식되지 않음

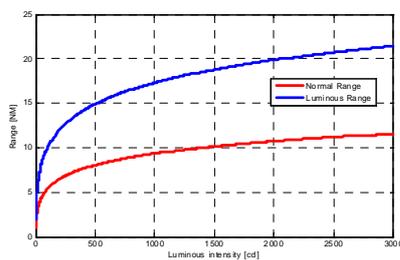
표준기상에서 광달거리

KIOST

12

$$d = \frac{-2}{T_M} W \left[\frac{-\log T_M \left(\frac{I}{E_v} \right)}{3704} \right]$$

- 광학적 광달거리 조건 : $T_M=0.85$
- 명목적 광달거리 조건 : $T_M=0.7411$
- 주간 표준 요구 조도 : $E_v = 2 \times 10^{-7} \text{ lux}$



결론

KIOST

15

- 항로표지의 시각적 인지 정도를 정량적으로 도출하는 모델링을 제시함.
- 인지 지수는 크게 선박 특성, 해상환경, 항로표지 특성을 반영함.
- 배경에 대한 조도차(illumination differences)를 인식 판정의 대상으로 하여, 임계값과의 차이를 인지량으로 정의함.
- 향후 현실적 항로표지 배치를 이용한 모델링 검증 시행함.

주기등의 유효광도

KIOST

13

$$I_e = \frac{I_0 \times \Delta t}{a + \Delta t}$$

I_0 : 최대 순간 광도
 Δt : 점등 지속 시간
 a : 시각적 관성

