

디지털 시각화를 이용한 집어등 어장의 수심별 수색분석

최석진*

IPNAVI 국제특허법률사무소

Analysis of Digital Water Color for Light Fishing Grounds

Sokjin Choi*

IPNAVI Patent law firm., Daejeon 35214, Republic of Korea

The underwater color environment was assessed by conducting color calculations based on underwater spectral irradiance measurements at various depths. Changes in the distribution of underwater spectral irradiance values between 1 and 3 m, exhibited similar trends in areas Stn. 1, 5, and 6. Likewise, changes between 5 and 20 m displayed comparable patterns in areas Stn. 1, 2, 4, and 6. Color values for each observed area fell between 0.14 and 0.26 (x-values) and 0.2 and 0.36 (y-values), with the y-values exhibiting a variation 1–3 times greater than the x-values. Color a^* and b^* values ranged from a maximum of -17 and -6 to a minimum of -63 and -30, respectively. By classifying fishing grounds based on observed variations, Stn. 1, 9, Stn. 2, 3, Stn. 7, 8 and Stn. 4, 5, 6 were grouped independently. Particularly, Stn. 5, 6, 7, and 8 were categorized into distinct groups that could be visually differentiated, especially when considering the significant changes in color a^* as the water depth increased from 10 to 20 m. Tokyo Bay were classified into different color groups, and Wakayama Prefecture offshore was classified into the same color group as the surveyed fishing grounds.

Keywords: Fishing ground, Digital visualization, Water color, CIE Lab

서론

빛은 전자파의 일종으로 눈에 들어와 시각각을 일으키는 방사를 말한다. 빛의 파장은 단파장의 범위가 360–400 nm, 장파장의 범위가 760–830 nm로서 전자파의 극히 좁은 범위에 있다. 눈으로는 보이지 않는 적외선과 자외선을 제외하고 눈으로 볼 수 있는 빛을 가시광 또는 가시 방사라고 하며, 태양광과 같은 백색의 빛은 단색광으로 분리할 수 있다(Ohta, 1993; Choi and Shin, 2003). 또한 해면 바로 위에서 본 바다의 색을 수색이라고 하며, 해양관측 및 어장환경 조사 등에서 수온, 염분 및 투명도 등의 측정값과 함께 어장환경 분석을 위한 기초 지표로 활용되고 있다(Fukuda and Tsuda, 1980; Choi and Arakawa, 2009). 통상 수색 측정에는 포렐(Forel FA)과 울레(Ule W)가 고안한 수색표준액이 사용되며(Japan Meteorological Agency, 1970; Okami and Kishino, 1975), 더욱 객관적이고 정량적인 수색 측정방법으로는 해면으로부터 반사된 빛의 분광분포 측정값으로

부터 계산하여, 바다의 색을 측정하는 방법(Kuroki, 1982) 및 고분해능의 수중 분광방사조도계의 측정치로부터 색채계산을 실시하여 수중 광의 색을 색좌표 상에 나타내는 측정방법도 행해져 왔다(Smith et al., 1973). 한편 집어등 어업을 효율적으로 영위하기 위해서는 (1) 광원의 종류, 출력과 방사 조도 분포와의 관련, (2) 어장의 해수의 광학적 성질, (3) 대상생물의 분포나 행동 및 생리·생태와의 관련 등에 대해서 명확히 규명할 필요가 있다. 저자는 그동안의 연구과정에서 집어등 광원과 방사조도와의 관계 및 집어등 조건하에서 대상생물의 분포에 대하여 보고하였고(Arakawa et al., 1998a; Choi and Nakamura, 2003a; Choi et al., 2003; Choi, 2006, 2009a, 2009b), 집어등 광의 수중 방사조도 분포를 조사하는 과정에서 어장의 광학적 수형을 조사하였다(Arakawa et al., 1998b; Choi et al., 1998). 그러나 조사된 어장의 광학적 수형은 집어등 어장에서 집어등 광의 해중 조도 계산을 위한 소산 계수 $k(\lambda)$ 를 결정하는데 사용하기 위한 것으로, 정작 광이 통과하는 수심의 색채 특성에 대해서는 충

*Corresponding author: Tel: +82. 42. 487. 2981 Fax: +82. 42. 487. 2982

E-mail address: sokjin@yahoo.co.kr



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

<https://doi.org/10.5657/KFAS.2024.0088>

Korean J Fish Aquat Sci 57(1), 88-97, February 2024

Received 7 November 2023; Revised 3 January 2024; Accepted 5 February 2024

저자 직위: 최석진(대표변리사)

분한 연구가 이루어지지 않았다. 특히 어장의 수심별 수색 특성은 수중으로 투과된 광을 흡수하는 색채필터의 역할을 하는 점에서 수면으로부터 입사되어 수중을 통과하여 변화된 광을 어획 대상생물이 받아들이는 색채적 환경을 해석하고 시뮬레이션 하는데 중요한 변수로 이용되는 요소이다(Kusaka, 1957; Hara T, 1986; Arakawa et al., 1998b; Okamoto et al., 2001; Choi and Hwang, 2023).

따라서 본 연구는 주요 집어등 어장의 수중 분광 방사조도 측정값으로부터 색채계산을 통해 디지털 시각화함으로써 보통으로 사용되는 디지털 기기에서 직관적으로 사용할 수 있는 집어등 어장의 수심별 수중 색채환경에 대하여 검토하였다.

재료 및 방법

해역별 수중분광방사조도 측정

집어등 어장의 해역별 수중 분광방사조도의 측정은 동경해양대학 실습선 Shinyomaru (649 Gt.)에 승선하여 1996년 7월 27일부터 31일에 걸쳐 실시하였다. Table 1에는 관측 당시 관측해역 9개소의 관측위치 좌표 및 해상환경을 나타낸다. 수중 분광방사조도의 측정에는 수중 분광방사조도계(MER-2040; Biospherical Instruments Inc., San Diego, CA, USA)를 이용하여, 태양을 바라보는 방향의 현측에서 측정하였다. 측정 파장은 412, 443, 465, 490, 510, 520, 555, 565, 625, 665, 670 및 683 nm의 12파장이며, 측정 최소감도는 $1 \times 10^{-5} \mu W \cdot cm^{-2} \cdot nm^{-1}$ 이다. 각 관측점에서 수중 분광방사조도를 수심 100 m까지, 또는 수심 한계까지 연속적으로 측정하였다(Choi et al., 1998). 측정된 수중 분광방사조도의 값은 각 관측점의 표면 직하의 방사조도를 100%로 하고, 이에 대한 각 수심의 측정값을 상대값으로 하여 수심별 색채계산에 사용하였다.

관측해역의 색채 계산

본 연구에서 측정된 관측해역의 수심별 파장범위 400–700 nm의 분광방사조도 상대값으로부터 색도좌표 x, y, z 값을 계산하여 CIE XYZ 색표시계 상에 나타내었다. 각 해역에서 측정된 수

심별 분광방사조도 상대값을 $R(\lambda)$ 라고 하면, 수심별 분광방사조도 상대값의 색자극은 $\Phi(\lambda)=R(\lambda) \cdot P(\lambda)$ 이다. 단, $P(\lambda)$ 는 조명 광의 분광분포이고, $R(\lambda)$ 은 투과 수심의 분광 반사율이므로, 파장별 투과율을 갖는 각각의 수심별 삼자극치 X, Y, Z 는 다음 식으로 근사하여 구할 수 있다(Ohta, 1993; Choi and Shin, 2003).

$$X=k \int_{vis} \phi(\lambda) \cdot \bar{x}(\lambda) d\lambda$$

$$Y=k \int_{vis} \phi(\lambda) \cdot \bar{y}(\lambda) d\lambda \dots\dots\dots (1)$$

$$Z=k \int_{vis} \phi(\lambda) \cdot \bar{z}(\lambda) d\lambda$$

단, 적분 (\int_{vis})은 가시파장범위 400–700 nm를 갖는 것으로 하고, $\bar{y}(\lambda), \bar{y}(\lambda)$ 및 $\bar{z}(\lambda)$ 는 각각 CIE, 1986C 및 JIS Z 8701 규정에 따른 등색함수를 나타내며, 조명광 $P(\lambda)$ 는 표준광 D_{65} 의 분광분포값 조건을 사용하였다.

여기서 k 는 정수로서

$$k=\bar{y} P(\lambda) \cdot \bar{y}(\lambda) d\lambda \dots\dots\dots (2)$$

로 한다. 정수 k 는 삼자극치 Y 가 완전확산 반사면($R(\lambda)=1$)에서 $Y=100$ 이 되도록 정하고 있으므로, 일반적인 물체색에서는 $R(\lambda)<1$ 이기 때문에, $Y<100$ 이 된다. 삼자극치 Y 값은 투과 물체의 시감 투과율(luminous transmittance)로, 물체색의 명도(lightness)와 대체적으로 상관관계를 갖는다. 색벡터(X, Y, Z)와 단위 평면 $X+Y+Z=1$ 의 교점에서 색도 좌표 x, y 는 다음과 같이 계산한다.

$$x=X/(X+Y+Z)$$

$$y=Y/(X+Y+Z) \dots\dots\dots (3)$$

$$z=Z/(X+Y+Z)$$

균등 색공간에서 표준광 D_{65} 의 삼자극치 X_n, Y_n, Z_n 은 $Y_n=100.00$ 으로 했을 때, $X_n=95.04, Y_n=100.00, Z_n=108.89$ 이므로 균등색 공간에서의 측색치는 다음과 같이 계산된다.

Table 1. The location of each station with the sea condition data

St. No.	Lat. (N)	Long. (E)	Air temp. (°C)	Water temp. (°C)	Wind dir. (Deg.)	Wind speed (m/s)	Solar altitud (Deg.)	Depth (m)
St.1	33°48	130°19	29.2	26.8	31	4.0	68.36	40
St.2	34°.21	130°46	30.0	28.7	328	4.1	52.10	83
St.3	37°00	132°00	25.9	23.6	194	6.0	32.06	301
St.4	38°18	133°00	23.3	21.2	243	6.7	49.17	2,760
St.5	35°59	135°05	26.2	25.3	208	7.0	36.16	2,950
St.6	37°59	136°45	27.8	26.1	230	5.0	46.45	339
St.7	39°48	139°26	25.2	24.4	200	8.0	41.06	1,385
St.8	41°02	139°51	25.6	22.4	210	11.4	43.10	1,280
St.9	43°02	141°03	18.3	19.6	305	7.1	37.17	46

$$L^*=116(Y_1/Y_n)^{1/3}-16$$

$$a^*=500\{(X_1/X_n)^{1/3}-(Y_1/Y_n)^{1/3}\} \dots\dots\dots (4)$$

$$b^*=200\{(Y_1/Y_n)^{1/3}-(Z_1/Z_n)^{1/3}\}$$

관측해역 각각의 수심별 색채 L^* , a^* , b^* 값과 수색표준액의 색채 L^* , a^* , b^* 값을 CIE $L^*a^*b^*$ 색표시계 상에 표시하였다. 관측해역 각각의 수심별 색채 L^* , a^* , b^* 값은 RGB 색공간 값으로 변환하였다. Lab 색공간에서 RGB 색공간으로 변환은 다음 식에 따라 Lab 값을 CIE XYZ 색공간을 거쳐 XYZ 값으로 변환한 후, RGB 값으로 변환하였다. 이때, XYZ 값은 D_{65} 표준조명 조건 아래에서의 색을 의미한다.

$$X=(L+16)/116+a/500$$

$$Y=(L+16)/116 \dots\dots\dots (5)$$

$$Z=(L+16)/116-b/200$$

XYZ 값의 RGB 값으로 변환은 다음의 변환 행렬을 사용한다. 변환 행렬은 색공간 간의 변환을 위해 사전에 정의된 값이다.

$$R=3.2406X-1.5372Y-0.4986Z$$

$$G=-0.9689X+1.8758Y+0.0415Z \dots\dots\dots (6)$$

$$B=0.0557X-0.2040Y+1.0570Z$$

관측해역의 수심별 수색과 비교대상해역의 수색분석

CIE $L^*a^*b^*$ 색공간에 표시된 관측해역의 색채 값과 비교대상 해역에서 측정된 색채 값을 각각 L_1^* , a_1^* , b_1^* 및 L_2^* , a_2^* , b_2^* 라고 하면, 2개의 색채 값 사이의 색차 ΔE_{ab}^* 는 다음과 같다 (Ohta, 1993; Choi and Shin, 2003).

$$\Delta E_{ab}^*=[(\Delta L^*)^2+(\Delta a^*)^2+(\Delta b^*)^2]^{1/2} \dots\dots\dots (7)$$

단, $\Delta L^*=L_1^*-L_2^*$, $\Delta a^*=a_1^*-a_2^*$, $\Delta b^*=b_1^*-b_2^*$ 이다.

색채비교는 관측해역에서 얻어진 색채 L_1^* , a_1^* , b_1^* 값과 비교대상 해역의 색채 L_2^* , a_2^* , b_2^* 값과의 사이에서 계산된 색차 ΔE_{ab}^* 값이 최소인 경우를 관측해역의 수색과 비교대상 해역의 색채가 유사한 색으로 판정하여 비교하였다.

본 연구에서 사용된 비교대상 해역의 색채는 동경해양대학 실습선 Seiyomaru (170 Gt.)에 승선하여 2001년 11월 12일부터 11월13일에 걸쳐 동경만(Tokyo Bay), 와카야마현(Wakayama-ken) 앞바다의 해역에서 수면을 화상 촬영하여 분석한 색채 값을 사용하였다. 또한 포렐과 울레의 수색표준액(RIGO Co. Ltd., Tokyo, Japan)의 화상을 촬영한 후 색채 L^* , a^* , b^* 값으로 분석한 값과 광학적 수형의 수색값을 사용하였다(Choi and Arakawa, 2009; Choi and Hwang, 2023).

결 과

관측해역의 수심별 수중 분광방사조도

각 관측해역에서 측정된 수심별 수중 분광방사조도 값의 분포 곡선을 Fig. 1에 나타내었다. 관측해역의 수심별 수중 분광방사조도 값의 변화 경향은 전체적으로 유사하였고, 수중 분광방사조도 측정값을 관측해역별로 비교하면 Stn. 1, 2, 4, 5, 6의 해역에서 비교적 높은 방사량 값이 측정되었으나, Stn. 3, 7, 9에서는 비교적 낮은 방사량 값으로 측정되었다. 관측해역에서 수중방사조도 값은 모든 파장에서 수심의 증가에 따라 수중에 입사된 방사량이 감소하였고, 각 해역의 파장 412 nm에서 565 nm 범위의 수중 분광방사조도 값은 높고, 수심에 따라 465–490 nm의 파장에서 최대를 가지는 불룩한 포물선의 분광방사조도 분포를 보였고, 관측해역에서 가장 투과가 좋은 파장은 465 nm 전후인 것으로 나타났다. 파장 600 nm 이상의 수중 분광방사조도 값은 표층을 통과한 후, 5 m 이후에서 급격히 감소되어, 수심 약 10 m 이상에서는 유효하지 않은 수중 분광방사조도 측정값을 나타냈다. 또한 수중의 영향을 받는 각 해역에서의 파장별 1–3 m의 수중 분광방사조도 값의 분포변화는 관측해역 Stn. 1, 5, 6에서 유사한 경향을 보였고, 파장별 5–20 m의 수중 분광방사조도 값의 분포변화는 관측해역 Stn. 1, 2, 4, 6에서 유사한 경향을 보였다.

관측해역의 CIE XYZ 색표시계 상의 색채분포

관측해역의 수심별 수중 분광방사조도 값으로부터 계산된 CIE XYZ 색공간의 XYZ 값과 균등색공간 L^* , a^* , b^* 값 및 RGB 색표시계 값을 Table 2에 나타내었고, Fig. 2에는 CIE XYZ 색공간 상의 색채값 분포를 나타내었다. 관측해역의 수심별 색채 분포는 x 값이 0.24, y 값이 0.34의 백색 좌측에서 480 nm 방향을 연결하는 가상의 포물선 관계식 $y=-18.03x^2+8.234x-0.594$ ($R^2=0.99$)의 선상에 분포하였다.

관측해역 각각의 수심별 CIE XYZ 색공간 상의 색채값 변화는 관측해역별로 수심 0 m에서 5 m까지는 맑은 하늘색 범위에 분포하였고, 10 m 이상의 수심에서는 밝은 파란색에서 어두운 청색의 범위로 이동하여 시각적으로 구분되는 색의 차이를 갖는 것으로 나타났다(Fig. 3). 색채값은 x 값이 0.14에서 0.26의 범위, y 값이 0.2에서 0.36의 범위에서 분포하였고 변화폭은 x 값이 일정한 반면, y 값은 관측해역별로 1–3배의 변화폭을 갖는 것으로 나타났다. y 값의 변화폭을 기준으로 관측해역을 구분하면 Stn. 1과 Stn. 2, 3, Stn. 4, 9 및 Stn. 5, 6, 7, 8의 그룹으로 나눌 수 있었다. 특히 Stn. 5는 10–20 m의 색채값 y 값의 변화폭이 큰 점을 고려하면 별도의 다른 그룹으로도 구분될 수 있는 것으로 나타났다.

관측해역의 Lab 색공간 상의 명도 L^* 값의 분포

관측해역 각각의 수심별 수중 분광방사조도 투과율 값으로부터

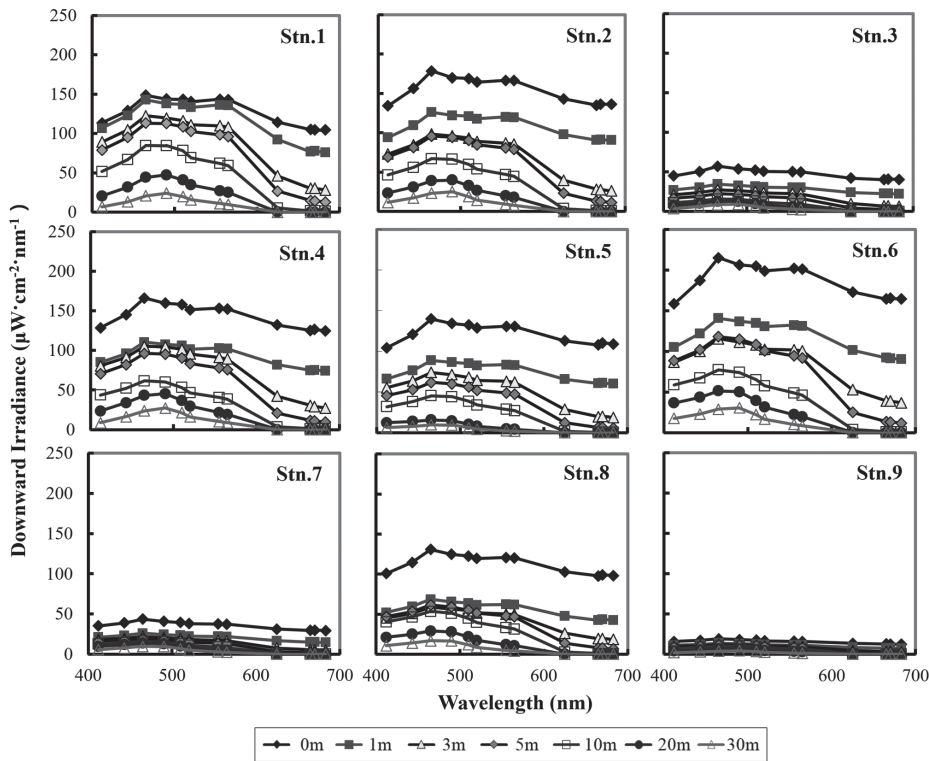


Fig. 1. Distribution of spectral downward irradiance at various depths in each station of fishing ground.

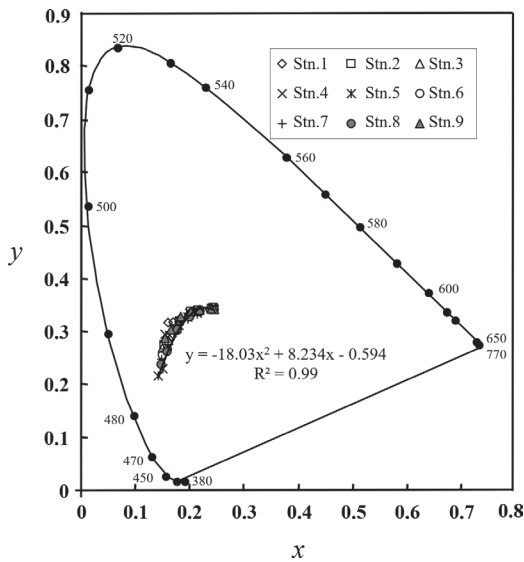


Fig. 2. Change of color coordinates x and y value of fishing grounds in CIE XYZ color space.

터 계산된 균등색 공간 L^* , a^* , b^* 색표시계 상의 명도 L^* 값의 변화를 Fig. 4에 나타내었다. 관측해역 각각의 명도 L^* 값은 수심 0 m의 표면에서 약 90의 최대값을 나타냈고, 수심 30 m에서 최소 약 14의 값을 갖는 범위에서 분포하여 수심이 증가할수록

명도 값이 감소하는 결과를 나타내었다. 특히 수심 30 m의 명도 값은 Stn. 5의 명도값이 14로 최저값을 나타냈고, Stn. 9의 명도값이 30으로 최대값을 나타내어 색채가 수심의 영향을 받는 10-30 m의 명도값을 고려하면 관측해역을 Stn. 2-4, 6, 7과 Stn. 5 및 Stn. 1, 9의 세그룹으로 구분할 수 있었다.

수심별 명도값은 변화곡선 $y=77.488e^{-0.04x}$ 을 기준으로 변화하였고, 수심 0-10 m는 77에서 52로 변화하여 감소폭이 컸고, 수심 20 m는 35, 수심 30 m에서는 23의 명도값을 나타내었다. 수심 40, 50 m에서는 각각 명도값 16, 10으로 계산되어 밝기의 단계를 10으로 했을 때 수심 20 m까지는 2단계의 범위에서 명도가 감소하였고, 40-50 m까지는 1단계의 범위로 관측해역의 수심증가에 따른 명도값이 변화되는 특성을 보였다.

관측해역의 Lab 색공간 상의 색채 a^* , b^* 값의 분포

관측해역 각각의 수심별 분광방사조도 투과율 값으로부터 계산된 균등색공간 L^* , a^* , b^* 색표시계 상의 색채 a^* , b^* 값의 변화를 관측해역별로 정리하여 Fig. 5에 나타내었다. 관측해역별 색채 a^* , b^* 값의 전체적인 변화는 좌표상으로는 균등색공간의 원점인 백색을 중심으로 제3사분면의 영역의 청색 영역의 공간에서 변화하였다. 관측해역 각각의 색채 a^* , b^* 값의 변화는 수표면에서 색채 a^* 값 -45.5, 색채 b^* 값 -6.8을 시작으로 색채 a^* 값이 최대 -17에서 최소 -63의 범위를 갖는 것으로 나타났다. 색채 b^* 값은 최대 -6에서 최소 -30의 범위를 갖고 분포하여, 색채

Table 2. Color values of calculated from the each observation station in different fishing ground

Stn.	Depth (m)	x	y	z	L*	a*	b*	R	G	B
1	0.4	0.24	0.34	0.41	87.7	-45.5	-6.8	70.6	243.3	231.2
	1.4	0.24	0.34	0.42	84.3	-49.8	-8.0	0.0	235.3	223.8
	3.7	0.21	0.34	0.45	74.4	-57.3	-11.9	0.0	209.9	203.1
	5.6	0.20	0.34	0.46	69.4	-62.4	-13.1	0.0	197.5	191.6
	10.5	0.18	0.33	0.49	56.4	-60.8	-17.3	255.0	160.8	163.8
	20.5	0.17	0.32	0.51	39.4	-51.6	-16.4	0.0	112.6	118.3
	30.5	0.16	0.32	0.52	25.4	-42.4	-13.2	0.0	74.8	79.3
2	0.4	0.24	0.34	0.41	87.7	-45.5	-6.8	70.6	243.3	231.2
	1.4	0.24	0.35	0.41	76.2	-42.7	-5.3	45.7	209.2	196.4
	3.7	0.22	0.34	0.44	63.5	-50.8	-9.6	0.0	176.7	169.3
	5.6	0.20	0.34	0.46	60.0	-55.7	-11.8	0.0	168.9	163.9
	10.5	0.18	0.32	0.50	47.1	-51.9	-16.7	0.0	133.0	138.4
	20.5	0.16	0.29	0.54	33.1	-41.2	-20.1	0.0	94.1	108.6
	30.5	0.15	0.27	0.57	23.3	-33.5	-19.8	0.0	68.1	84.4
3	0.4	0.24	0.34	0.41	87.7	-45.5	-6.8	70.6	243.3	231.2
	1.4	0.24	0.34	0.41	71.1	-40.4	-5.9	36.9	193.9	183.5
	3.7	0.21	0.34	0.45	59.6	-48.1	-9.7	0.0	165.2	160.0
	5.6	0.20	0.33	0.47	51.7	-49.6	-12.1	0.0	144.2	142.6
	10.5	0.18	0.31	0.51	40.2	-46.1	-16.4	0.0	113.2	120.4
	20.5	0.16	0.28	0.56	32.7	-40.2	-21.9	0.0	92.9	110.5
	30.5	0.15	0.27	0.58	24.6	-34.5	-21.7	0.0	71.7	90.5
4	0.4	0.24	0.34	0.41	87.7	-45.5	-6.8	70.6	243.3	231.2
	1.4	0.24	0.34	0.41	73.9	-42.4	-5.8	32.8	202.5	191.0
	3.7	0.21	0.34	0.44	67.2	-53.6	-10.3	0.0	188.1	180.6
	5.6	0.20	0.34	0.46	61.4	-57.2	-13.2	0.0	173.2	169.9
	10.5	0.18	0.31	0.51	46.3	-49.3	-18.4	0.0	130.4	139.4
	20.5	0.16	0.29	0.54	35.8	-44.5	-20.9	0.0	101.9	116.7
	30.5	0.15	0.30	0.55	24.9	-39.3	-17.1	0.0	73.2	84.0
5	0.4	0.24	0.34	0.41	87.7	-45.5	-6.8	70.6	243.3	231.2
	1.4	0.24	0.34	0.42	72.3	-42.3	-6.1	20.6	198.0	187.1
	3.7	0.21	0.34	0.45	61.7	-48.6	-11.4	0.0	171.1	167.7
	5.6	0.20	0.33	0.47	53.9	-50.9	-14.1	0.0	150.9	151.9
	10.5	0.18	0.31	0.52	42.8	-46.8	-19.2	0.0	120.5	131.7
	20.5	0.15	0.23	0.62	21.0	-21.2	-25.9	0.0	60.1	88.3
	30.5	0.14	0.22	0.64	14.2	-17.2	-23.7	0.0	43.7	68.9
6	0.4	0.24	0.34	0.41	87.7	-45.5	-6.8	70.6	243.3	231.2
	1.4	0.24	0.34	0.42	73.0	-42.9	-6.4	9.8	200.1	189.4
	3.7	0.22	0.34	0.44	63.4	-47.2	-9.9	0.0	175.2	169.6
	5.6	0.20	0.33	0.47	59.6	-54.5	-14.8	0.0	167.5	168.0
	10.5	0.18	0.30	0.52	45.1	-46.8	-20.7	0.0	126.6	140.1
	20.5	0.16	0.27	0.57	33.5	-36.1	-25.9	0.0	94.3	119.1
	30.5	0.15	0.26	0.59	23.3	-29.9	-23.2	0.0	67.7	89.7
	30.5	0.16	0.29	0.56	30.33	-42.37	-20.65	0.0	87.5	102.7

Table 2. Continued

Stn.	Depth (m)	<i>x</i>	<i>y</i>	<i>z</i>	<i>L</i> *	<i>a</i> *	<i>b</i> *	R	G	B
7	0.4	0.24	0.34	0.41	87.7	-45.5	-6.8	70.6	243.3	231.2
	1.4	0.24	0.34	0.42	70.0	-40.8	-6.9	16.4	191.1	182.4
	3.7	0.21	0.33	0.45	60.5	-47.3	-11.5	0.0	167.3	164.6
	5.6	0.20	0.32	0.48	53.5	-49.2	-15.1	0.0	149.3	152.5
	10.5	0.18	0.30	0.53	45.1	-46.7	-21.8	0.0	126.7	142.1
	20.5	0.16	0.27	0.58	37.9	-39.3	-28.4	0.0	106.4	134.3
	30.5	0.15	0.25	0.60	30.0	-33.1	-29.0	0.0	85.1	115.3
8	0.4	0.24	0.34	0.41	87.7	-45.5	-6.8	70.6	243.3	231.2
	1.4	0.24	0.34	0.42	66.2	-39.3	-6.5	7.2	179.9	171.5
	3.7	0.22	0.34	0.44	58.6	-44.5	-9.5	0.0	161.0	156.2
	5.6	0.20	0.33	0.47	55.8	-50.6	-14.1	0.0	156.0	156.9
	10.5	0.18	0.30	0.52	47.8	-49.3	-21.2	0.0	134.5	148.0
	20.5	0.16	0.26	0.58	32.1	-34.3	-26.1	0.0	90.3	115.9
	30.5	0.15	0.24	0.61	22.2	-25.4	-25.7	0.0	64.2	91.0
9	0.4	0.24	0.34	0.41	87.7	-45.5	-6.8	70.6	243.3	231.2
	1.4	0.24	0.34	0.42	75.6	-43.9	-6.5	17.4	207.8	196.7
	3.7	0.22	0.34	0.44	67.9	-52.0	-9.5	0.0	189.5	181.2
	5.6	0.20	0.34	0.46	62.6	-58.1	-12.1	0.0	176.9	171.4
	10.5	0.18	0.33	0.49	55.4	-60.9	-16.3	0.0	158.1	159.5
	20.5	0.17	0.30	0.53	41.9	-51.6	-20.7	0.0	119.5	131.8
	30.5	0.16	0.29	0.56	30.33	-42.37	-20.65	0.0	87.5	102.7

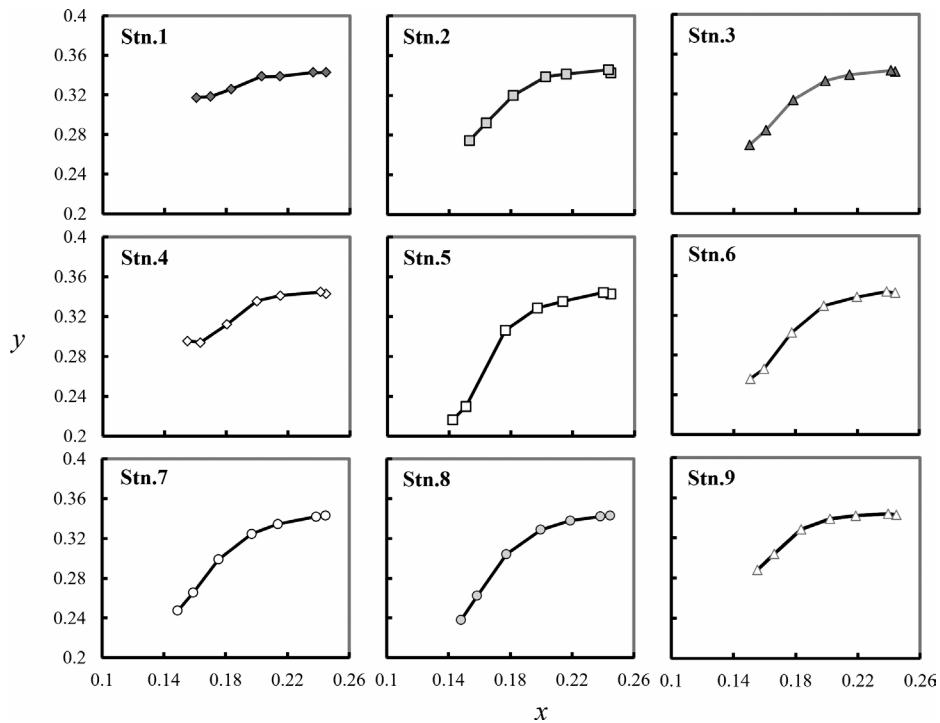


Fig. 3. Change of color coordinates *x* and *y* value of each station in *CIE XYZ* color space.

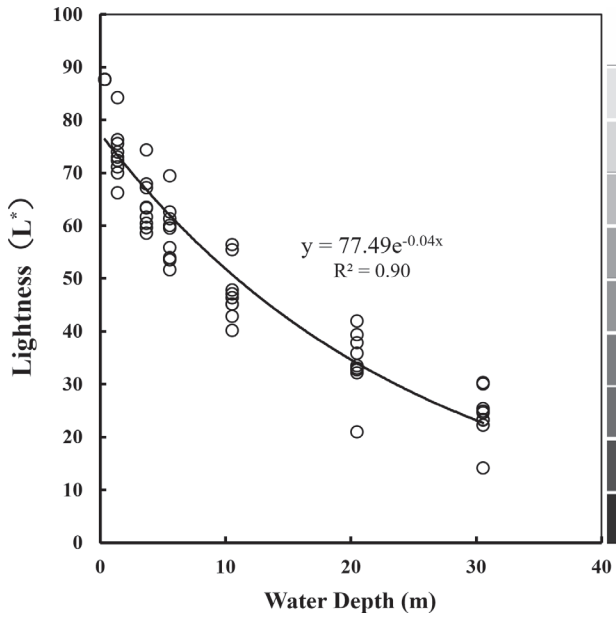


Fig. 4. Change of lightness value (L^*) of each water depth of fishing grounds.

변화는 색채 a^* 값이 색채 b^* 값의 약 2배의 변화 폭을 갖는 것으로 나타났다. 또한 색채 a^* 값은 수표면에서 수심이 증가함에 따라 감소하였고, 수심 5 m를 기점으로 색채 a^* 값은 다시 증가

하는 “ㄷ”자 모양으로 변화하였다. 색채 b^* 값은 수심이 증가함에 따라 감소하는 방향으로 변화하였고, 특징의 관측해역 Stn. 1, 4-6에서는 20 m에서 30 m로 수심이 증가함에도 색채 b^* 값이 증가하는 역전 현상을 보였다.

수색변화 경향을 기준으로 관측해역을 분류하면 Stn. 1, 9와 Stn. 2, 3과 Stn. 7, 8 및 Stn. 4, 5, 6의 각각 독립된 그룹으로 구분할 수 있었다. 특히 Stn. 5, 6, 7, 8은 수심 10 m에서 20 m로 증가하는 경우 색채 a^* 값의 변화폭이 큰 점을 고려하면 시각적으로 구분될 수 있을 정도로 서로 분리된 색채 값을 갖는 별도의 그룹으로 구분되었다.

관측해역과 수색표준액 및 관측해역의 색채 a^* , b^* 값의 비교

수색표준액의 색채값과 동경만과 와카야마현의 연안해역에서 수면을 화상 촬영하여 분석한 $CIE L^*a^*b^*$ 값으로부터 색채 a^* , b^* 값을 추출한 결과(Choi and Arakawa, 2009) 및 광학적 수형의 색채(Choi and Hwang, 2023)와 함께 본 연구에서 분석한 관측해역의 색채 a^* , b^* 값을 Fig. 6에 나타내었다.

동경만의 색채 a^* , b^* 값은 색채 a^* 값이 -40에서 -60의 범위, 색채 b^* 값이 10에서 25의 범위에서 분포하였다. 원점을 기준으로 제2사분면의 중앙 하단부의 연두색계열의 색영역에 분포하는 것으로 나타났다. 와카야마현의 경우는 색채 a^* 값이 -27에서 -60의 범위, 색채 b^* 값이 -20에서 25 범위에서 분포하여, 청색계열의 제3사분면의 색영역에서 분포하는 것으로 나타났

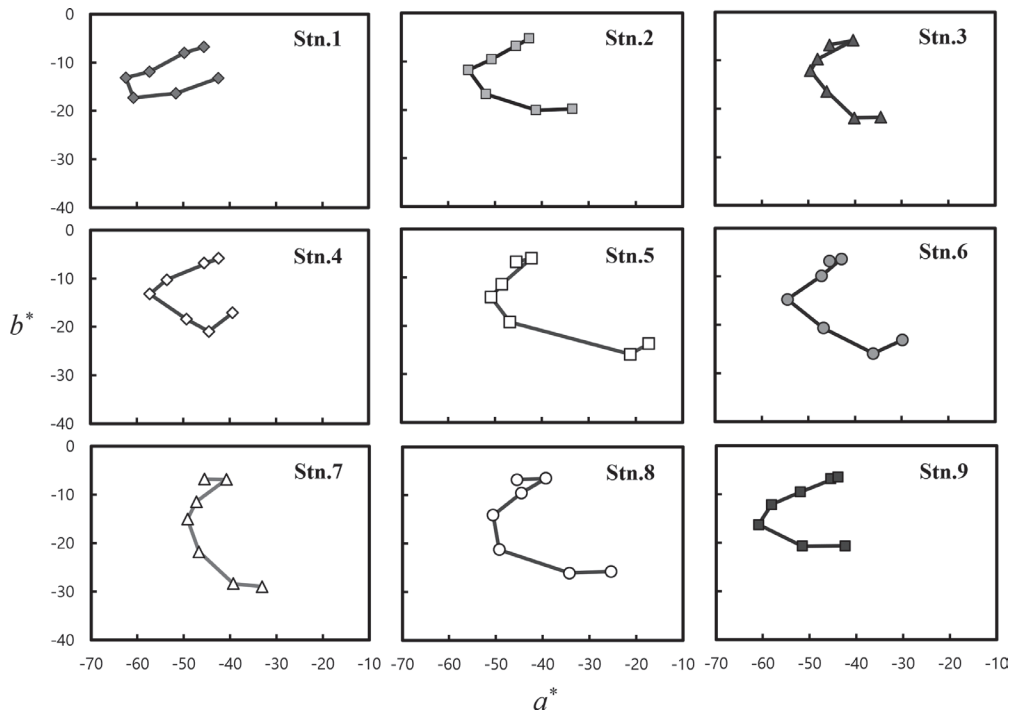


Fig. 5. Change of color coordinates a^* and b^* value of each observation station in $CIE L^*a^*b^*$ color space.

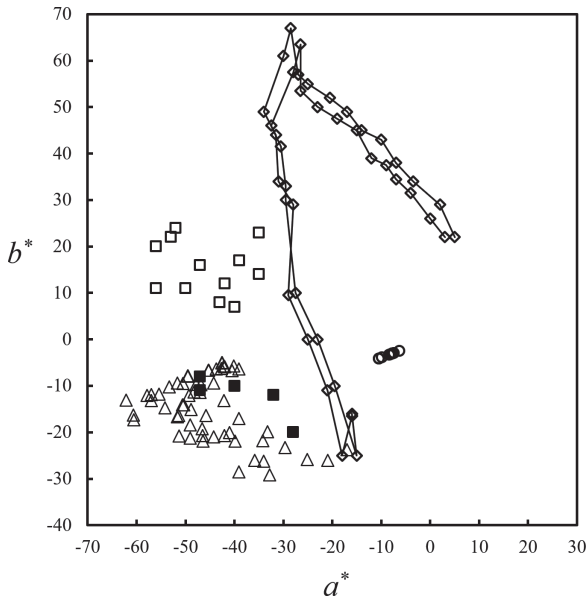


Fig. 6. Distributions of color coordinates a^* and b^* of each observation station (Δ) and Tokyo Bay (\square), Wakayama prefecture offshore (\blacksquare) and change of color coordinates a^* and b^* value of Forel's and Ule's standard solution (\diamond) and optical water type (O) in CIE $L^*a^*b^*$ color space.

다. 수색표준액의 각 번호별 색채 a^* , b^* 값은 포렐의 수색표준액에 해당하는 1번에서 11번까지는 색채 a^* 값이 최대 -16에서 최소 -34의 범위를 갖는 것으로 나타났고, 색채 b^* 값은 최대 67에서 최소 -25의 범위를 갖고 분포하였다.

관측해역 각각의 색채 a^* , b^* 값은 수색표준액의 색채 a^* , b^* 값의 변화경로의 좌측편에 분포하는 것으로 나타났다. 관측해역 Stn. 5 관측해역의 수심 20 m, 30 m의 색채 a^* , b^* 값은 포렐 수색 표준액 1-2번의 색채 a^* , b^* 값의 변화 경로상에 분포하였다. 관측해역과 동경만의 색채는 서로 분리된 범위에 분포하여 서로 다른 그룹의 색채로 구분되었고, 와카야마현의 색채는 관측해역의 수심별 색채 a^* , b^* 값의 분포범위에서 분포하여 동일한 그룹의 색채로 구분되었다(Fig. 7).

고 찰

본 연구는 오징어 채낚기 어업이 활발하게 행해지는 집어등 어업에서 중요한 어장으로 이루어진 관측해역의 수중 분광방사조도 측정값으로부터 색채계산을 통해 디지털 시각화함으로써 보편적으로 사용되는 디지털 기기에서 직관적으로 활용할 수 있도록 각 해역의 수심별 수중색채 변화에 대하여 검토하였다.

분석 결과를 살펴보면, 관측해역의 색채 값은 수심에 따라 서로 유사하거나 서로 다른 그룹으로 구분된 결과를 보였다. 관측해역의 수심별 색채값 변화를 CIE XYZ 색공간 상에서 보면 y 값의 변화폭이 x 값의 변화 폭보다 1-3배 큰 범위를 갖는 것으

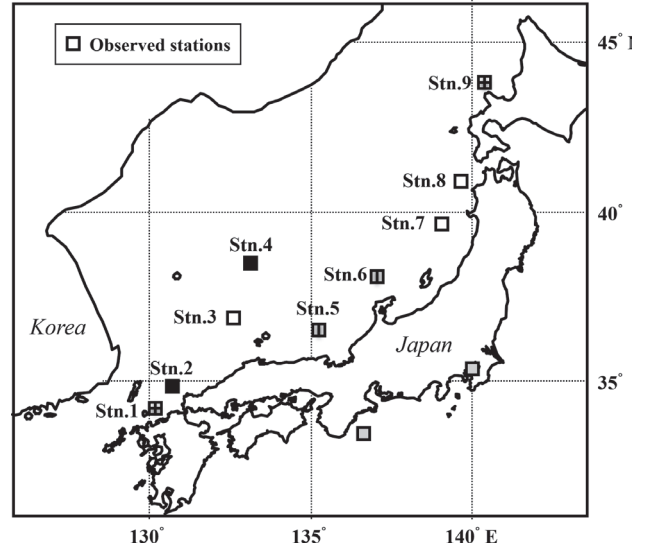


Fig. 7. Classification of observation station based on digital water color.

로 나타나, 수심 변화에 따라 색의 종류보다 색의 농도 변화가 큰 것으로 나타났다. 즉, 수면에서 하늘색 영역에 분포하던 수색은 수심이 증가할수록 진한 청색 영역으로 이동하였다. 수면의 측정값은 공기중 0 m 값이 아닌 수심 0.4 m의 측정값으로, 일부 해수의 영향이 있으나, 주로 천공의 영향이 큰 점을 고려하면, 수면의 색채가 하늘색 영역에 분포하는 것은 타당하다. 그러나 수심의 증가에 따라 짙은 청색으로 변화하는 것은 수심별 명도값의 감소가 주요 원인으로 사료된다.

관측해역 각각의 명도 L^* 값을 살펴보면 수심 0 m의 표면에서 약 88로 최대값을 나타냈고, 수심 30 m에서 최소 14의 값을 갖는 범위에서 분포하여 수심이 증가할수록 명도 값은 감소하였다(Fig. 4). 수심에 따른 명도 차이는 측정 당시 해양의 광 환경 및 플랑크톤 밀도 등의 해수 특성에 기인하는 것으로, 수색의 명암 특성은 해수의 광 투과율 변화를 제어하는 명암필터 역할을 하여 색채값의 명암 변화를 결정한다. 또한 명도 값은 10단계의 변화 값을 가지므로(Ohta, 1993; Choi and Shin, 2003), 관측해역의 경우, 수면 0 m와 수심 30 m는 최대값과 최소값 대비 7단계의 명도 차이를 가지게 되어 수심의 증가에 따라 명도 값이 낮아져 수면의 색채보다 어두운 청색의 농도가 증가한 짙은 색채로 변화된 것으로 판단된다.

한편, 관측해역 각각의 색채 a^* , b^* 값의 변화는 색채 a^* 값이 최대 -17에서 최소 -63의 범위, 색채 b^* 값이 최대 -6에서 최소 -30의 범위를 갖고 분포하여 색채 a^* 값이 색채 b^* 값보다 약 2배의 변화 폭을 갖는 것으로 나타났다(Fig.5). 또한 관측해역은 수심에 따른 색채 a^* , b^* 값의 변화를 기준으로 특징을 갖는 몇 개의 그룹으로 분류 가능하였다. Stn. 5, 8은 수심 10 m에서 20 m로 증가함에 따라 색채 a^* 값의+변화 폭이 매우 컸고, Stn. 4, 5,

6은 20 m에서 30 m로 증가함에 따라 색채 b^* 값이 - 감소에서 +증가로 역전되는 현상을 보였다. 색채 a^* 값의 +증가는 초록에서 흰색을 지나 적색방향으로의 이동을 나타내므로, 수심 증가에 따라 색채 a^* 값이 +변화되는 것은 10 m보다 20 m의 색채가 초록성분이 감소되어 흰색 중심에 가까운 연한 초록색 성분으로 변화된 것을 의미한다. 색채 b^* 값의 +증가는 파랑에서 흰색 중심을 지나 노랑방향으로의 이동을 나타내므로 색채 b^* 값의 +증가는 파랑성분이 감소하므로 20 m 보다 30 m의 색채가 더 연한 파랑색 성분으로 변화된 것을 의미한다(Ohta, 1993; Choi and Shin, 2003). 결과를 종합하면, 관측해역의 색채값은 좌표상의 3사분면에서 이동하므로 색채 a^* , b^* 값의 +변화는 초록성분이 감소된 바다색으로 변화된 것을 의미한다.

다음으로 관측해역과 이전 연구에서 조사된 수색표준액 및 동경만과 와카야마현의 색차값 ΔE_{ab}^* 을 계산하면 포셀 수색표준액의 색채와 가까운 거리에 있는 관측해역 Stn. 5의 수심 20 m, 30 m의 색채 a^* , b^* 값과의 관측해역의 색채는 수색표준액 2번에 상당하는 것으로 나타났다(Fig. 6). 수색표준액은 수면상의 색채를 판단하는 기준임에도 관측해역의 수심 20-30 m의 수색과 동일한 색으로 판정된 것으로 볼 때, 관측해역에서도 수색표준액의 사용에 대한 유효성이 의심되는 것으로 판단된다(Choi and Arakawa, 2009). 또한 관측해역과 동경만의 색채는 색차 값 10 이상이므로, 서로 분리된 그룹의 색채로 구분되었고, 와카야마현의 수색은 색차 값 1 이하이므로, 관측해역과 동일한 그룹의 색채인 것으로 판단된다. 이와 같은 결과는 와카야마현의 수색은 관측해역과 동일한 외양의 해수이고, 동경만은 내만의 해수로 색채 값으로 분리되는 것을 간단히 확인할 수 있었다(Fig. 6, Fig. 7).

색채적으로 구분되는 수색 값은 집어등 광의 수중 광투과 특성을 시뮬레이션하거나 해수의 광학적 특성 및 수중의 색채 환경을 계산하기 위한 기준 값으로 활용될 수 있다(Arakawa et al., 1998a; Choi et al., 1998; Choi and Nakamura, 2003a, 2003b; Choi, 2006, 2009a, 2009b; Arakawa et al., 2013). 특히 본 연구의 수중 색채 값은 이전의 연구에서 사용되었던 Jerlov의 광학적 수형(Jerlov, 1968)과 수색 표준액의 색채 값을 기준으로 계산한 종래의 방법보다 결과 값에서 발생할 수 있는 오차 값을 현저히 줄일 수 있을 것으로 판단된다(Choi and Arakawa, 2009; Choi and Hwang, 2023).

본 연구를 응용하면, 수심별 색채 값을 토대로 일정 수심에서 운용하는 어구의 색변화 및 어획대상생물이 감지하는 수중색채환경을 추정하는데 사용할 수도 있을 것이다. 집어등 어장에서 관측된 수중 분광 방사조도 측정값으로부터 계산된 수심별 색채값(Table 2)은 해당 수심의 색채환경을 나타내는 필터 역할을 하므로, 특정 수심에서 어구를 운용하는 경우, 수중의 어구 색은 수심에 따른 색채 필터를 통과한 색으로 변환되어 보이는 것으로 추정할 수 있다(Kusaka, 1957; Arakawa et al., 1998b; Okamoto et al., 2001).

즉, 본 연구의 색채 값 중 명도는 투과율을, 색채는 필터색을 의미하므로, 일정 수심에서 운용되는 그물, 낚시 등의 어구 색은 수색필터와 어구의 수면상의 색이 합산되어 명도 투과율이 곱해진 값으로 계산될 수 있을 것이다. 또한 어획대상 생물에 따라 추상체가 기능하지 않고 간상체만 기능하는 생물의 경우(Hara, 1986), 계산된 어구의 색을 무채색 처리함으로써 디스플레이 상에 표현 가능할 것으로 판단된다.

특히 여러 종류의 컬러 스페이스 중 $CIE L^*a^*b^*$ 는 RGB 색공간과 달리 디바이스에 의존하지 않는 객관성이 보장되는 색공간이다. 다만 색의 감법, 가법혼색에는 RGB 색공간 값이 사용에 편리하므로, RGB 색공간을 사용하는 경우 일정의 색손실 또는 디바이스에 따라 표현되는 색의 차이가 있을 수 있으므로(Choi, 1997), 수중의 색채를 활용한 응용연구는 다양한 수중환경 조건에서 관측과 검증을 통해 데이터화 함으로서 명확히 규명해야 할 필요가 있다.

본 연구를 통해 여러 해역의 색채 데이터를 특정 어장 또는 해역의 색채로 색좌표 상에서 수치적으로 시각화함으로써, 수중의 색채뿐만 아니라 어구의 시각적 해석 및 어획생물의 시각각 효과 해석 등의 연구에서 유용한 자료로 활용될 수 있을 것으로 사료된다(Kusaka, 1957; Hara, 1986; Okamoto et al., 2001). 또한, 비교적 간단하게 측정할 수 있는 관측해역의 수중 환경 조건을 반영한 수중색채 정보를 분석한 데이터는 조명공학, 수중광학 및 색채공학과 관련된 연구와 융합함으로써, 다양한 형식과 플랫폼에서 공유하여 수중의 광 환경에 적합한 연색 특성을 갖는 광원과 어구 등의 설계에도 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

사 사

본 연구의 해양관측 및 자료 수집에 도움을 주신 동경해양대학 해양환경학과 Arakawa Hisayuki 교수에게 깊은 감사를 드립니다.

References

- Arakawa H, Choi S, Arimoto T and Nakamura Y. 1998a. Relationship between underwater irradiance and distribution of Japanese common squid under fishing lights of a squid jigging boat. *Fish Sci* 64, 553-557. <https://doi.org/10.2331/fishsci.64.553>.
- Arakawa H, Choi SJ, Arimoto T and Nakamura Y. 1998b. Underwater irradiance distribution of fishing lights used by small-type squid jigging boat. *Nippon Suisan Gakkaishi* 62, 420-427. <https://doi.org/10.2331/suisan.62.420>.
- Arakawa H, Inada M, Choi SJ and Narita M. 2013. Shift in apparent contrast of disc at Secchi disc depth in coastal sea areas. *Environ Monit Assess* 185, 2307-2313. <https://doi.org/10.1007/s10661-012-2307-2>.

- org/10.1007/s10661-012-2710-1.
- Choi ES. 1997. Digital Color and Color Management. Yongjin Publishing, Seoul, Korea, 78-116.
- Choi SJ, Arakawa H, Nakamura Y and Arimoto T. 1998. Transmittance characteristics of fishing light according to the optical water type in the squid jigging ground of the Sea of Japan. Nippon Suisan Gakkaishi 64, 650-657. <https://doi.org/10.2331/suisan.64.650>.
- Choi SJ and Shin JC. 2003. Color Engineering. Kukje Publishing, Seoul, Korea, 177-189.
- Choi SJ, Arakawa H, Arimoto T and Nakamura Y. 2003. Underwater illuminance of line source model for fishing lamps of coastal squid jigging boats. Nippon Suisan Gakkaishi 69, 44-51. <https://doi.org/10.2331/suisan.69.44>.
- Choi SJ and Nakamura Y 2003a. Analysis of the optimum light source output and lighting management in coastal squid jigging boat. Fish Eng 40, 39-46. https://doi.org/10.18903/fisheng.40.1_39.
- Choi SJ and Nakamura Y. 2003b. Spatial distribution of squid jigging boats and shortest distance between boats in fishing ground of the Japan Sea in the summer season by radar observation. Nippon Suisan Gakkaishi 69, 584-590. <https://doi.org/10.2331/suisan.69.584>.
- Choi SJ. 2006. Radiation and underwater transmission characteristics of a high-luminance light emitting diode as the light source for fishing lamp. J Kor Fish Soc 39, 480-486. <https://doi.org/10.5657/kfas.2006.39.6.480>.
- Choi SJ and Arakawa H. 2009. Assessment of seawater color by digital photographic imaging. J Kor Fish Soc 42, 171-178. <https://doi.org/10.5657/kfas.2009.42.2.171>.
- Choi SJ. 2009A. Spectral irradiance and underwater transmission characteristics of a combined high-luminance light-emitting diodes as the light source for fishing lamps. J Kor Fish Soc 42, 703-710. <https://doi.org/10.5657/kfas.2009.42.6.703>.
- Choi SJ. 2009b. Characteristics of spectral irradiance based on the distance from the light source and operating method for fishing lamps with a combined light source. J Kor Fish Soc 42, 711-720. <https://doi.org/10.5657/kfas.2009.42.6.711>.
- Choi SJ and Hwang SI. 2023. Analysis of optical water type using of digital visualization. Korean J Fish Aquat Sci 56, 923-929. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2023.0923>.
- Fukuda M and Tsuda R. 1980. Consideration of problems in transparency measurements. La mer 18, 138-152.
- Hara T. 1986. Photoreception. Japanese Zoological Society Publishing, Tokyo, Japan, 53-88.
- Jerlov NG. 1968. Optical oceanography. In: Elsevier Oceanography Series. ISBN 978-0-444-40320-9, Elsevier Publishing Company, Amsterdam, Netherlands, 131-137.
- Japan Meteorological Agency. 1970. The Guide of Ocean Observation. The Oceanographic Society of Japan, Tokyo, Japan, 85-89.
- Kuroki M. 1982. The Ocean Environmental Measurement. Kouseisha, Tokyo, Japan, 58-63.
- Kusaka T. 1957. Experiments to see effect of colour on nets by the centralizing method and the driving to one side method. Nippon Suisan Gakkaishi 22, 668-673.
- Ohta N. 1993. Color Engineering. Tokyo Denki University Press, Tokyo, Japan, 115-170.
- Okami N and Kishino M. 1975. On the relation between color of Forel and Ule's Standard solution and color of sea. La mer 13, 171-178.
- Okamoto M, Kawamura K and Tanaka Y. 2001. Selectivity of color of lure by Japanese sea bass *Lateolabrax japonicus* under different background colors. Nippon Suisan Gakkaishi 67, 449-454. <https://doi.org/10.2331/suisan.67.449>.
- Smith RC, Tyler JE and Goldman CR. 1973. Optical properties and color of Lake Tahoe and Creater Lake. Limnol Oceanogr 18, 189-199. <https://doi.org/10.4319/lo.1973.18.2.0189>.