

광학적 수형의 디지털 시각화를 이용한 수색분석

최석진 · 황성일^{1*}

(유)씨캠, ¹(주)수중생태기술연구소

Analyzing Optical Water Type Using Digital Visualization

Sokjin Choi and Sungil Hwang^{1*}

Seacam Co. Ltd., Jeju 63047, Republic of Korea

¹Underwater Ecology Institute, Yeosu 59769, Republic of Korea

This study investigated the optical characterization of water types based on Jerlov's classification, employing the CIE colorimetric system. Digital visualization techniques were applied to articulate watercolor manifestations intuitively. The L^* luminance parameter exhibited a discernible reduction from optical water type I-III and from type 1 to 9, registering a range between 66 and 84. Analysis of color attributes in each optical water type revealed that in the transition from type I to III, the color a^* values spanned from -7.43 to -8.32, while color b^* values ranged from -2.97 to -3.33. a^* values for optical water types 1 to 9 varied between -6.28 and -10.50, with corresponding b^* values ranging from -2.51 to -4.20. Consequently, optical water type I, IA, IB, II, and III were discretely categorized by independent color values, as were optical water types 1, 3, 5, 7, and 9. The digitized representation of watercolor in this inquiry facilitated comprehensive information association. The study highlights limitations in Jerlov's classification for representing watercolors in different ocean conditions. It emphasized the need to collect color data from various marine areas and formulate a novel color standard or method for comparing colors.

Keywords: Optical water type, Digital visualization, Water color, CIE Lab

서론

해수면 위에서 본 바다의 색을 수색이라 하며, 해양관측 및 어장환경 조사 등에서 수온, 염분 및 투명도 등과 함께 수괴 및 어장환경 분석을 위한 기초 지표로 활용되고 있다(Okami and Kishino, 1975; Fukuda and Tsuda, 1980). 통상 수색 측정에는 포렐(Forel FA)과 울레(Ule W)가 고안한 수색표준액이 사용되고 있다(Japan Meteorological Agency, 1970). 객관적이고 정량적인 수색 측정방법으로, 해면에서 반사된 빛의 분광분포 측정값으로부터 색을 측정하는 방법 및 수중의 빛을 광전적으로 측정하는 측색계 등도 사용되고 있다(Suginohara, 1969; Kuroki, 1982). 이러한 정량적 측정방법은 수중 분광방사 조도계, 휘도계 등 고가의 측정기기를 필요로 함과 동시에, 기술적으로도 매우 복잡한 측정기기의 운용방법을 숙지해야 하므로, 누구에게나 간단하게 사용할 수 있는 방법이라고 말할 수 없다

(Okami and Kishino, 1975). 또한, 수중분광분포 측정값은 일반적으로 사용되는 색 공간상에서 색으로 재현하기 위해서 복잡한 계산을 거쳐야 하므로, 디지털 기기 등에서 직관적으로 표현하기 어렵다. 한편, Jerlov (1968)는 다양한 바다의 빛 흡수 및 산란 특성을 측정 분류하여 대양과 연안의 광학적 수형을 제안하였다. 그가 제안한 광학적 수형은 순수한 푸른 해양에서 어두운 녹색 연안 해역에 이르기까지 다양하며, 발트해와 흑해는 가장 어둡고 탁한 수형을 나타내는 것으로 보고하였다. 그러나 광학적 수형은 표면수의 하방향 조도의 파장별 투과율을 기준으로 그룹화하고 분류한 것으로, 약 60년 이전에 관측된 파장별 투과율 측정값이 해역이 다른 우리나라 및 북태평양 연안 인접국에서 수형을 구분하는 기준 값으로 사용되는 것의 신뢰도에 대해서는 검토해야 할 필요가 있다. 이와 관련하여 Choi and Arakawa (2009)는 포렐(Forel FA)과 울레(Ule W)의 수색표준액의 화상을 촬영하여 분석한 색채 값과 실제 연안 해역의 색채

*Corresponding author: Tel: +82. 61. 644. 7605 Fax: +82. 61. 644. 7609

E-mail address: watereco@naver.com



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.2023.0923>

Korean J Fish Aquat Sci 56(6), 923-929, December 2023

Received 18 August 2023; Revised 6 November 2023; Accepted 20 November 2023

저자 직위: 최석진(연구소장), 황성일(대표이사)

값을 비교하였으나, 실제 해역의 수색 값은 수색계의 색채 값과 동떨어진 색채 값을 갖는 것으로 보고하였다.

본 연구에서는 일상적, 보편적으로 사용되는 디지털 기기에서 직관적으로 사용 가능한 바다의 색을 재현하기 위한 기초연구로서, Jerlov (1968)가 제안하고 분류한 광학적 수형의 파장별 투과율 측정값을 CIE (International Commission on Illumination) 표색계로 색채 계산하여 디지털 시각화함으로써 바다의 색을 직관적으로 표현할 방법을 검토하였다. 또한, 포렐(Forel FA)과 울레(Ule W)가 고안한 수색표준액의 디지털 색채 값과 광학적 수형의 디지털 색채 값을 비교하는 한편, 실제 해역에서 측정된 디지털 색채 값과 비교, 분석하였다. 이로부터 Jerlov가 제안한 광학적 수형이 우리나라 연안 및 북태평양 해역에서 수색을 분류하는 기준 값으로 사용하는 것이 적절한지에 대하여 검토하였다.

재료 및 방법

광학적 수형의 색채 계산

본 연구에서 사용된 Jerlov의 광학적 수형 각각의 하방향 분광 방사조도 투과율 곡선을 Fig. 1에 나타내었고, 광학적 수형 각각의 하방향 분광방사조도 투과율 값을 Table 1에 나타내었다. 광학적 수형의 파장범위 400-700 nm의 하방향 분광방사조도 투과율 값으로부터 색도좌표 x, y, z 값을 계산하여 CIE XYZ 색표시계 상에 나타내었다.

각각의 광학적 수형의 분광 투과율을 $R(\lambda)$ 라고 하면, 광학적 수형의 색자극은 $\phi(\lambda)=R(\lambda) \cdot P(\lambda)$ 이다. 단, $P(\lambda)$ 는 조명광의 분광분포이고, $R(\lambda)$ 는 투과 수형의 분광 투과율이므로, 파장별 투과율을 갖는 각각의 수형의 삼자극치 X, Y, Z 는 다음 식으로 근사하여 구할 수 있다(Ohta, 1993; Choi and Shin, 2003).

$$\begin{aligned} X &= k \int_{\text{vis}} R(\lambda) \cdot P(\lambda) \cdot \bar{x}(\lambda) d\lambda \\ Y &= k \int_{\text{vis}} R(\lambda) \cdot P(\lambda) \cdot \bar{y}(\lambda) d\lambda \dots\dots\dots (1) \\ Z &= k \int_{\text{vis}} R(\lambda) \cdot P(\lambda) \cdot \bar{z}(\lambda) d\lambda \end{aligned}$$

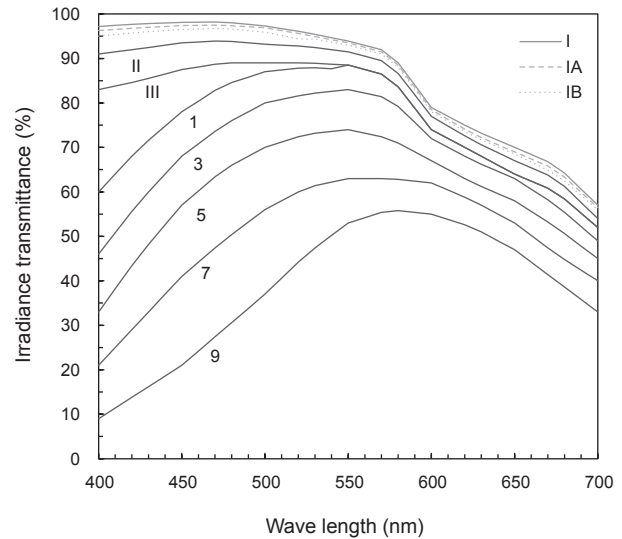


Fig. 1. Change of Irradiance transmittance for surface water of different water type (Jerlov, 1968).

단, 적분(\int_{vis})은 가시파장범위 400-700 nm를 갖는 것으로 하고, $\bar{x}(\lambda), \bar{y}(\lambda)$ 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,

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

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 의 값은 투과 물체의 시감 투과율(luminous transmittance)로, 물체색의 명도(lightness)와 대체적으로 상관관계를 갖는다. 색 벡터(X, Y, Z)와 단위 평면 $X+Y+Z=1$ 의 교점에서 색도 좌표 x, y 는 다음과 같이 계산한다.

Table 1. Irradiance transmittance for surface water of different water type (Jerlov, 1968)

	310	350	375	400	425	450	475	500	525	550	575	600	625	650	675	700
I	86	94	96.3	97.2	97.8	98.1	98.2	97.3	95.8	93.9	91.5	79	74	70	66	57
IA	83	92.5	95	96.3	96.9	97.4	97.5	96.9	95.3	93.5	91	78.5	73	69	65	56.5
IB	80	90.5	94	95	95.9	96.5	96.8	95.9	94.7	93	90.5	78	72.5	68.5	64	56
II	69	84	89	91	92.2	93.5	94	93.2	92.7	91.5	89	77	71.5	67	63	54
III	52	73	80	83	85	87.5	89	89	89	88.5	86	74	69	64	60	52
1	17	30	45	60	70	78	84	87	88	88.5	86	74	69	64	60	52
3	9	19	32	46	58	68	75	80	82	83	81	72	67	63	57	49
5	3	10	21	33	46	57	65	70	73	74	72	67	62	58	52	45
7		5	12	21	31	41	49	56	61	63	63	62	58	53	46	40
9		2	5	9	15	21	29	37	46	53	56	55	52	47	40	33

$$\begin{aligned} x &= X/(X+Y+Z) \\ y &= Y/(X+Y+Z) \dots\dots\dots (3) \\ z &= Z/(X+Y+Z) \end{aligned}$$

균등 색공간에서 표준광 D₆₅의 삼자극치 X_n, Y_n, Z_n은 Y_n=100.00으로 했을 때, X_n=95.04, Y_n=100.00, Z_n=108.89이므로, 균등 색공간에서의 측색치는 다음과 같이 계산된다.

$$\begin{aligned} L^* &= 116(Y_1/Y_n)^{1/3} - 16 \\ a^* &= 500[(X_1/X_n)^{1/3} - (Y_1/Y_n)^{1/3}] \dots\dots\dots (4) \\ b^* &= 200[(Y_1/Y_n)^{1/3} - (Z_1/Z_n)^{1/3}] \end{aligned}$$

광학적 수형 각각의 색채 L*, a*, b* 값과 수색표준액 및 관측해역의 색채 L*, a*, b* 값을 CIE L*a*b* 색표시계 상에 표시하였다. 광학적 수형 각각의 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 D₆₅ 표준조명 조건 아래에서의 색을 의미한다.

$$\begin{aligned} X &= (L+16)/116 + a/500 \\ Y &= (L+16)/116 \dots\dots\dots (5) \\ Z &= (L+16)/116 - b/200 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} R &= 3.2406X - 1.5372Y - 0.4986Z \\ G &= -0.9689X + 1.8758Y + 0.0415Z \dots\dots\dots (6) \\ B &= 0.0557X - 0.2040Y + 1.0570Z \end{aligned}$$

광학적 수형의 수색분석

CIE L*a*b* 색공간에 표시된 광학적 수형, 수색표준액 및 관측해역의 색채 값으로부터 비교대상 색채로 선정된 복수의 색채 값을 각각 L₁*, a₁*, b₁* 및 L₂*, a₂*, b₂*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, ΔL* = L₁* - L₂*, Δa* = a₁* - a₂*, Δb* = b₁* - b₂*이다.

색채비교 및 판정은 관측 해역에서 얻어진 색채 L₁*, a₁*, b₁* 값과 수색 판단기준 색채로서 선정된 수색표준액의 색채 L₂*, a₂*, b₂* 값과의 사이에서 계산된 색차 ΔE_{ab}* 값이 최소인 경우를 광학적 수형과 수색표준액 및 관측 해역의 수색으로 판정하였다.

수색표준액 및 관측해역의 색채 값

본 연구에서 사용된 수색표준액의 색채 값은 포렐과 올레의 수색표준액(RIGO Co. Ltd., Tokyo, Japan)과 3CCD 디지털카메라(SONY DCR-TRV900; Sony, Tokyo, Japan)를 사용하여, 수색표준액의 화상을 촬영한 후 색채 L*, a*, b* 값으로 분석한 값을 사용하였다. 관측해역의 색채 L*, a*, b* 값은 동경해양대학 실습선 Seiyomaru (170 Gt.)에 승선하여 2001년 11월 12일부터 11월 13일에 걸쳐 동경만(Tokyo Bay), 와카야마현(Wakayama-ken) 앞바다의 해역에서, 투명도와 수색을 화상 촬영하여 분석한 색채 값을 사용하였다(Choi and Arakawa, 2009).

결 과

광학적 수형의 CIE XYZ 색표시계 상의 색채분포

광학적 수형 각각의 하방향 분광방사조도 투과율 값으로부터 계산된 CIE XYZ 색공간의 XYZ 값과 균등색공간 L*, a*, b* 값 및 RGB 색표시계 값을 Table 2에 나타내었고, CIE XYZ 색공간 상의 색채 값 분포를 Fig. 2에 나타내었다. 광학적 수형 각각의 색채분포는 480 nm와 575 nm를 연결하는 가상의 직선상에 분포하였다. 대양형 광학적 수형 I, IA, IB, II 및 III은 맑고 연한 파란색 범위에 분포하였고, 각각의 광학적 수형의 색채 값은 x 값이 0.293에서 0.296의 범위, y 값이 0.324에서 0.331의 범위에서

Table 2. Color values of calculated from the different optical water type

Water type	x	y	L	a	b	R	G	B
I	0.293	0.324	83.572	-7.427	-2.971	193	214	215
IA	0.292	0.325	83.379	-7.668	-3.067	188	212	212
IB	0.293	0.325	83.145	-7.632	-3.053	188	212	212
II	0.294	0.327	82.543	-7.751	-3.100	188	212	212
III	0.296	0.331	81.281	-8.323	-3.329	188	212	212
1	0.303	0.344	80.991	-10.500	-4.200	176	208	208
3	0.311	0.354	79.051	-10.420	-4.168	170	199	200
5	0.318	0.361	75.608	-9.823	-3.929	164	193	194
7	0.336	0.378	71.115	-8.109	-3.243	156	178	179
9	0.373	0.415	65.559	-6.277	-2.511	147	164	165

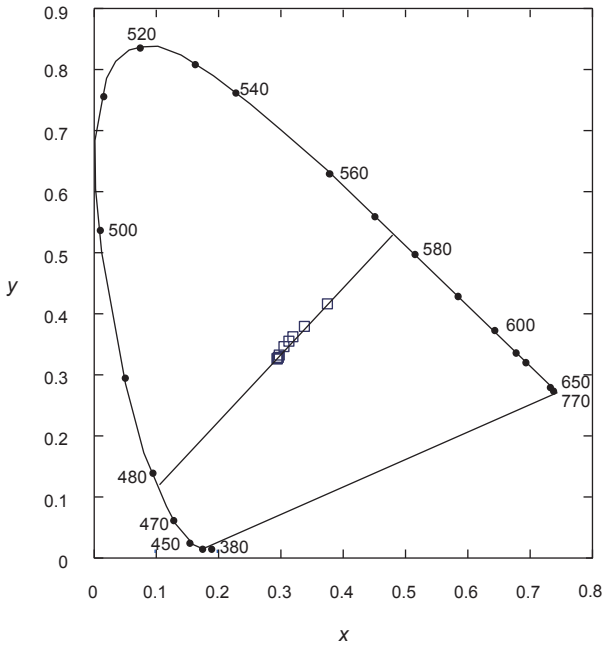


Fig. 2. Change of color coordinates x and y value of each optical water type in $CIE\ XYZ$ color space.

분포하여 시각적으로 구분될 수 없을 정도로 색채가 겹쳐지거나, 미소한 차이를 갖는 것으로 나타났다. 연안형 광학적 수형 1, 3, 5, 7 및 9는 맑은 연두색에서 맑은 노란색을 띠는 색 범위에 분포하였고 각 수형의 색채 값은 x 값이 0.303에서 0.373의 범위, y 값이 0.344에서 0.415범위에서 분포하여 시각적으로 구분될 수 있을 정도로 서로 분리된 색채 값을 갖는 것으로 나타났다.

광학적 수형의 Lab 색공간 상의 명도 L^* 값의 분포

광학적 수형 각각의 하방향 분광방사조도 투과율 값으로부터 계산된 균등색공간 L^*, a^*, b^* 색표시계 상의 명도 L^* 값의 변화를 각각의 광학적 수형별로 정리하여 Fig. 3에 나타내었다. 광학적 수형 각각의 명도 L^* 값은 수형 I에서 수형 III 및 수형 1에서 수형 9로 갈수록 명도 값이 감소하는 결과를 나타냈다. 명도 L^* 값 80을 기준으로 광학적 수형 I, IA, IB, II, III, 1과 광학적 수형 3, 5, 7 및 9를 두 그룹으로 분리 구분할 수 있었다. 명도 값의 최대는 수형 I에서 84이고, 최소는 수형 9에서 66을 나타내어 전체적으로 약 20의 명도 값 차이를 가지므로 밝기의 단계를 10으로 했을 때 최대와 최소는 2단계의 범위 차이를 가지므로 광학적 수형 그룹별 색채가 밝고, 보다 어두운 색채 특성으로 구분되었다.

광학적 수형의 Lab 색공간 상의 색채 a^*, b^* 값의 분포

광학적 수형 각각의 하방향 분광방사조도 투과율 값으로부터 계산된 균등색공간 L^*, a^*, b^* 색표시계 상의 색채 a^*, b^* 값의 변화를 광학적 수형별로 정리하여 Fig. 4에 나타내었다. 광학적 수형별 색채 a^*, b^* 값의 전체적인 변화는 수형 I에서 수형 III으로 갈

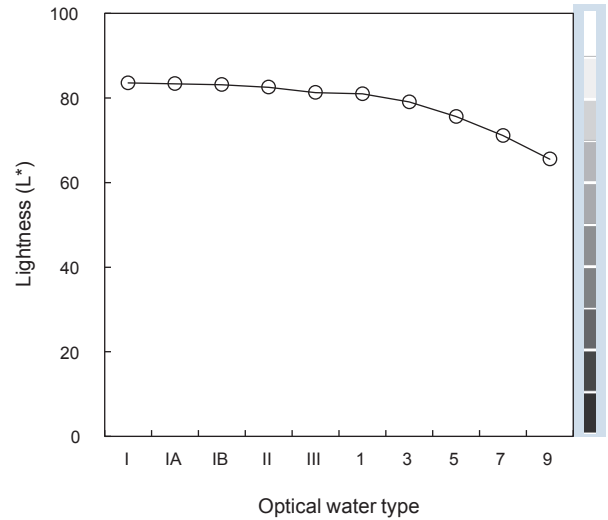


Fig. 3. Change of lightness value (L^*) of each optical water type.

수록 색채 a^* 값과 색채 b^* 값이 감소하는 방향으로 이동하였고, 좌표상으로는 균등색공간의 원점인 백색을 중심으로 제3사분면의 영역의 녹색과 청색 성분이 증가되는 변화를 나타내었다.

또한 수형 1에서 수형 9로 갈수록 색채 a^* 값과 색채 b^* 값이 증가하는 방향으로 이동하여 균등색공간의 원점인 백색을 중심으로 제3사분면 영역의 녹색과 청색이 감소되고, 황색과 적색 성분이 증가되는 변화를 나타내었다. 광학적 수형 각각의 색채 a^*, b^* 값의 변화는 수형 I에서 수형 III의 색채 a^* 값이 최대 -7.43에서 최소 -8.32의 범위를 갖는 것으로 나타났고, 색채 b^* 값은 최대 -2.97에서 최소 -3.33의 범위를 갖고 분포하여, 색채 변화는 색채 a^* 값이 색채 b^* 값의 2배의 변화 폭을 갖는 것으로 나타났다.

수형 1에서 수형 9의 색채 a^* 값이 최대 -6.28에서 최소 -10.50의 범위를 갖는 것으로 나타났고, 색채 b^* 값은 최대 -2.51에서 최소 -4.20의 범위를 갖고 분포하여, 색채 b^* 값이 색채 a^* 값의 4배의 변화 폭을 갖는 것으로 나타났다. 광학적 수형별로 수형 I과 수형 IA, IB, II 및 수형 III이 각각 독립된 색채 값으로 분리되었고, 수형 1, 3 및 수형 5, 수형 7 및 수형 9는 각각 독립된 색채 값으로 분리되었다.

광학적 수형과 수색표준액 및 관측해역의 색채 a^*, b^* 값의 비교

관측해역에서 투명도 절반 수심에 투명도판을 정지시키고, 선상에서 바라본 투명도판의 백색부분을 디지털 카메라로 촬영하여 얻어진 관측해역의 $CIE\ L^*a^*b^*$ 값으로부터 색채 a^*, b^* 값을 추출한 결과를 광학적 수형의 색채 a^*, b^* 와 함께 Fig. 5에 나타내었다.

동경만과 와카야마현의 관측해역에서는 포렐의 수색표준액이 사용되었고, 동경만의 색채 a^*, b^* 값은 색채 a^* 값이 -40에서 -60의 범위, 색채 b^* 값이 10에서 25의 범위에서 분포하였다. 원

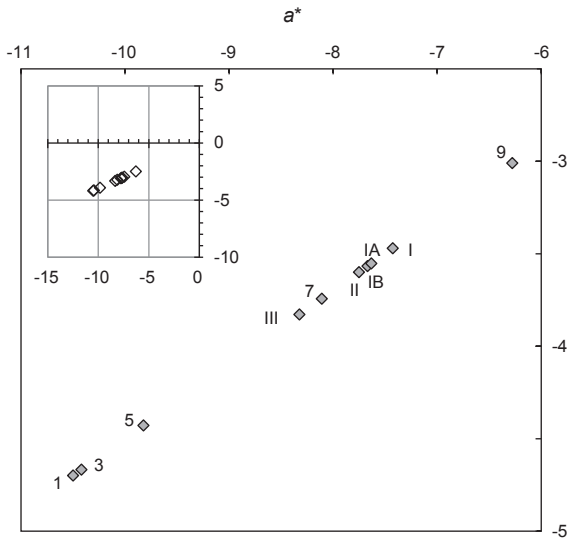


Fig. 4. Change of color coordinates a^* and b^* value of each optical water type in $CIE L^*a^*b^*$ color space.

점을 기준으로 제2사분면의 중앙 하단부의 연두색계열의 색 영역에 분포하는 것으로 나타났다. 와카야마현의 경우는 색채 a^* 값이 -27에서 -60의 범위, 색채 b^* 값이 -20에서 25 범위에서 분포하였고, 연두색과 녹색계열의 제2사분면과 제3사분면에 걸친 넓은 범위에서 분포하는 것으로 나타났다(Fig. 5).

수색표준액의 각 번호별 색채 a^* , b^* 값은 포렐의 수색표준액에 해당하는 1번에서 11번까지는 색채 a^* 값이 최대 -16에서 최소 -34의 범위를 갖는 것으로 나타났다. 색채 b^* 값은 최대 67에서 최소 -25의 범위를 갖고 분포하여, 색채 b^* 값이 색채 a^* 값에 비해 3배의 범위를 갖는 것으로 나타났다. 올레의 수색표준액에 해당하는 11번에서 21번까지의 수색표준액의 경우는 색채 a^* 값이 최대 5에서 최소 -28의 범위를 갖고 색채 b^* 값은 최대 67에서 최소 -22의 범위를 갖고 분포하여 색채 b^* 값이 색채 a^* 값에 비해 약 2배의 폭을 갖는 것으로 나타났다(Fig. 5).

광학적 수형 각각의 색채 a^* , b^* 값은 수색표준액의 번호별 색채 a^* , b^* 값의 변화 경로상의 하방 중앙에서 분리되어 분포하였고, 관측해역의 색채 a^* , b^* 값은 수색표준액의 색채 a^* , b^* 값의 변화경로의 좌측면에 분포하는 것으로 나타났다. 관측해역의 색채 a^* , b^* 값과 수색표준액의 색채 a^* , b^* 값과의 색차 값 ΔE_{ab}^* 를 계산한 결과, 광학적 수형의 색채는 수색표준액 3번의 색채 a^* , b^* 값과의 색차 ΔE_{ab}^* 값이 최소 값을 갖는 것으로 나타나, 광학적 수형의 수색은 3번에 상당하는 것으로 판정되었고, 관측해역의 수색과는 색차 값을 논할 정도의 범위를 벗어난 서로 다른 색채로 구별되는 특성을 갖는 것으로 나타났다.

고찰

본 연구에서는 일상적으로 보편 사용되는 디지털 기기에서 바

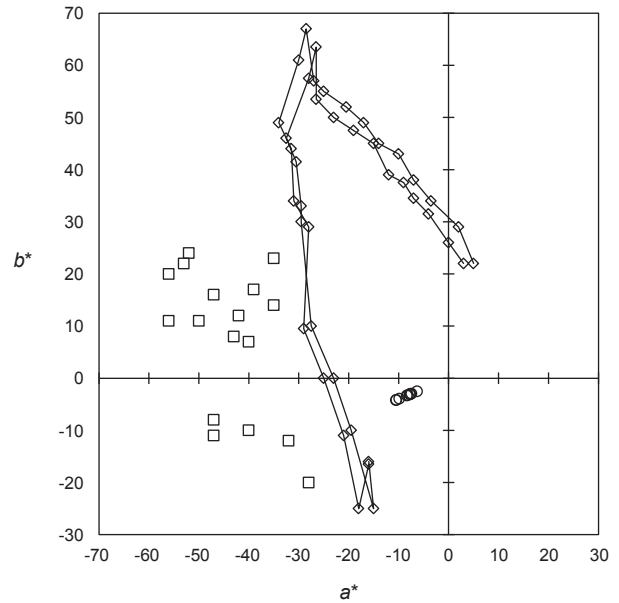


Fig. 5. Distributions of color coordinates a^* and b^* in Tokyo Bay and Wakayama prefecture offshore (□) and change of color coordinates a^* and b^* value of Forel's and Ule's standard solution (◇) and each optical water type (○) in $CIE L^*a^*b^*$ color space.

다의 색을 재현하기 위한 기초연구로서 Jerlov가 제안하고 분류한 광학적 수형의 파장별 투과율 측정값을 CIE 표색계로의 색채 계산 및 변환하였다. Jerlov가 제안한 광학적 수형은 호수, 강, 갯거리 및 바다의 열 함량과 투명도를 이해하기 위해 많은 분야의 연구자들이 사용하고 있고 (Paulson and Simpson, 1977; Stips, 2010), 집어등 어업에서 수색에 따른 집어등 광의 수중 투과율을 계산하기 위한 기준 수형으로 사용되었다 (Choi et al., 1998; Choi, 2006; Choi and Arakawa, 2009; Choi, 2009a, 2009b). 또한, 수색표준액은 포렐의 수색표준액은 남청색에서 황록색까지, 올레의 수색표준액은 황록색에서 적갈색까지 각각 11단계로 분류되어 관측해역의 수색을 측정하는데 사용되어 왔다(Japan Meteorological Agency, 1970).

그러나 Jerlov가 제안한 광학적 수형은 태평양, 지중해와 북해 및 발틱, 흑해의 해수 특성을 조사하여 정리한 결과이고, 실제 해상의 수색을 판정하는 기준이 되는 수색표준액은 샘플 수가 21종류의 색으로 한정되어 있어, 다양한 해양조건의 수색 판정에 사용하기에는 한계가 있다(Choi and Arakawa, 2009).

본 연구에서도 광학적 수형의 색채와 관측해역의 색채 값은 서로 다른 그룹의 색채로 분리되어 분포하였고, 표준수색액의 색채 값과도 분리되어 분포하는 결과를 보였다(Fig. 5). 광학적 수형과 수색표준액의 색채 값과의 수색 비교, 판정을 위해 색차 ΔE_{ab}^* 를 계산한 결과, 색차 값은 수색표준액 3번과 광학적 수형 1이 약 13의 색차 값으로 가장 가까운 거리에 있는 것으로 나타났다. 색차 계산에 의한 색차가 ΔE 1.0이면 대체로 색채식

별이 가능하다는 점을 고려하면, 본 연구 결과에서 얻어진 색차 ΔE_{ab}^* 값은 매우 큰 색의 차이를 갖는 서로 다른 별개의 색채 값이라고 판단할 수 있다(Ohta, 1993; Choi and Shin, 2003). 이와 같이 광학적 수형과 표준수색액 및 관측해역의 수색이 서로 매칭되지 않는 결과는 먼저 수색표준액의 색채가 광학적 수형 및 관측 해상의 색채 값을 전부 반영하지 못하는 원시적인 결함에 기인한다. 둘째로 관측 해상과 광학적 수형이 서로 다른 해수의 특성으로 구분되는 점에 기인하는 것으로 사료된다. 즉, 관측해역인 북태평양의 바다와 광학적 수형의 기초가 되는 지중해와 서아프리카 연안의 수색은 원래부터 서로 구별되는 것을 시각적으로 명확히 확인한 것을 의미한다.

따라서, Jerlov가 제안한 광학적 수형을 기준으로 집어등 어업이 활발하게 행해지는 우리나라 남, 동해와 북태평양의 광투과 특성을 시뮬레이션하거나 해수의 광학적 특성을 계산하는 기준으로 사용하는 것은 결과 값에 또 다른 오차를 발생시킬 수 있어 바람직한 방법으로 볼 수 없다. 본 연구의 Fig. 5를 살펴보면, 광학적 수형 그룹은 균등색공간 L^* , a^* , b^* 색표시계 상의 원점에 가까운 색을 갖는 것으로 맑은 청, 녹색 계열의 색으로 나타났다. 관측해역의 색채는 진한 청색과 녹색의 영역으로 원점에서 멀리 떨어진 영역에 분포하는 것으로 나타나, 광학적 수형을 기준으로 집어등 광의 투과 효과를 계산하면 실제 북태평양의 어장보다 광투과 효과가 더 좋은 결과로 도출될 수 있다(Choi, 2009a, 2009b).

한편, 광학적 수형의 명도 L^* 값을 계산한 결과를 살펴보면, 광학적 수형 I에서 수형 III 및 수형 1에서 수형 9로 갈수록 명도 값이 감소하는 결과를 나타내었고 명도 L^* 값은 최대 84 최소 66을 나타내었다(Fig. 3). 명도 값은 색의 밝기를 규정하는 값으로, 수형 I은 수형 9보다 2단계 밝은 색을 갖는 것을 의미한다. 대양형과 연안형에서 명도 차이를 갖는 것은 측정 당시 해양의 광 환경 및 플랑크톤 밀도 등의 해수 특성에 기인하는 것으로 사료된다. 수색의 명암 특성은 해수의 광투과율의 변화를 제어하여 색채가 어두운 수역은 대양의 맑고 푸른 색채의 해수보다 더 많은 에너지를 흡수함으로써 해양의 열수지에도 영향을 미치고 더 나아가서는 해수를 기반으로 서식하는 생물의 종 변화 다양성 및 기후 모델링 및 해양 순환 연구에도 사용될 수 있다(Stips, 2010; Arakawa et al., 2013).

광학적 수형 각각의 색채 a^* , b^* 값의 변화를 살펴보면, 수형 I에서 수형 III의 색채 a^* 값은 최대 -7.43에서 최소 -8.32의 범위, 색채 b^* 값은 최대 -2.97에서 최소 -3.33의 범위를 갖고 분포하여 수형 I과 수형 IA, IB, II 및 수형 III이 각각 독립된 색채 값으로 분리되었다. 그러나 대양형의 수색을 수치적으로 살펴보면, 소수점 단위를 제외하면 각각의 광학적 수형별 색차 ΔE_{ab}^* 값은 1 이내의 범위에 있는 것으로, 시각적으로 색채 측면에서는 대양형의 광학적 수형은 동일한 색이라고 봐도 무방할 정도의 유사한 색채를 갖는 것으로 판단된다(Table 2).

또한, 수형 1에서 수형 9에서는 색채 a^* 값이 최대 -6.28에서 최

소 -10.50의 범위, 색채 b^* 값은 최대 -2.51에서 최소 -4.20의 범위를 갖고 분포하여 수형 1, 3, 5와 수형 7 및 수형 9는 각각의 수형이 독립된 색채 값으로 분리되었다. 연안형의 수형은 소수점 단위를 제외하면 수형 1, 3, 5의 색차 값은 1 이내의 범위에 있는 것으로 시각적으로 색채 측면에서는 구별이 어려운 동일한 색이고, 수형 7 및 수형 9는 색차 ΔE_{ab}^* 값이 1 이상이므로 서로 다른 색으로 판단되었다. 이로부터 대양의 수색변화는 해역별로 좁은 범위의 색채 값을 갖고, 연안형의 수색변화는 비교적 넓은 범위의 색채 값으로 표현되므로, 색채분석에서도 연안보다 대양의 수색 차이를 구분하기 위해서는 보다 세밀한 조사가 필요하다는 것을 알 수 있다.

본 연구와 같이 수색을 디지털 시각화 함으로서 수색으로부터 많은 정보를 고찰할 수 있다. 또한, 복잡한 데이터와 개념을 시각적으로 표현함으로써 수색 정보의 패턴, 경향성 등을 쉽게 파악할 수 있고, 인간의 시각적 사고를 자극하며, 복잡한 정보를 보다 직관적이고 이해하기 쉽게 전달할 수 있다. 또한, 사용자는 데이터를 해역이 다른 수색 값과의 시뮬레이션하여 다른 관점에서 분석하거나 탐색할 수 있고, 분석된 데이터는 다양한 형식과 플랫폼에서 공유하고 직관적으로 활용할 수 있으며, 배포에 필요한 비용을 절감시킬 수 있는 장점이 있다.

이를 종합하면, 현재 사용되는 수색표준액 및 Jerlov가 제안하고 분류한 광학적 수형은 다양한 해양조건의 수색을 반영하지 못하는 것이므로, 여러 해역의 색채 데이터를 축적하여 비교 기준이 되는 색채를 색좌표 상에서 시각화할 수 있는 색채판단 기준 또는 색채표시 방법을 새롭게 정할 필요가 있다(Smith et al., 1973; Choi, 2006). 수색을 디지털 시각화함으로써, 수색 측정값이 관측해역 현장의 환경조건이 크게 반영되는 측정 결과라는 점으로부터 비교적 간단하게 측정할 수 있는 유효한 정보로서, 해양환경 및 어업정보해석 등의 연구 분야에서 유용한 자료로 활용될 수 있을 것으로 사료된다. 또한, 조명공학, 수중광학 및 색채공학과 관련된 연구를 융합함으로써, 수중의 광 환경에 적합한 연색 특성을 갖는 광원 등의 설계에도 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

References

- Arakawa H, Inada M, Choi S 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/s10661-012-2710-1>.
- 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. 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 Arakawa H. 2009. Assessment of seawater color by digital photographic imaging. *J Kor Fish Soc*, 42, 171-178.
- Choi SJ and Shin JC. 2003. *Color Engineering*. Kukje publishing, Seoul, Korea, 177-189.
- 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>.
- Fukuda M and Tsuda R. 1980. Consideration of problems in transparency measurements. *La Mer* 18, 46-60.
- Japan Meteorological Agency. 1970. *The Guide of Ocean Observation*. The Oceanographic Society of Japan, Tokyo, Japan, 85-89.
- Jerlov NG. 1968. *Optical oceanography*. In: Elsevier Oceanography Series. SBN 978-0-444-40320-9, Elsevier Publishing Company, Amsterdam, Netherlands, 131-137.
- Kuroki M. 1982. *The Ocean Environmental Measurement*. Kouseisha, Tokyo, Japan, 58-63.
- 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.
- Paulson CA and Simpson JJ. 1977. Irradiance Measurements in the Upper Ocean. *J Phys Oceanogr* 7, 952-956. [https://doi.org/10.1175/1520-0485\(1977\)007<0952:IMITUO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0485(1977)007<0952:IMITUO>2.0.CO;2).
- Smith RC, Tyler JE and Goldman CR. 1973. Optical properties and color of Lake Tahoe and Creater Lake. *Limnol Oceanography* 18, 189-199. <https://doi.org/10.4319/lo.1973.18.2.0189>.
- Stips AK. 2010. *Fitting measured irradiance of Jerlov water types to double exponential functions using R*. Publications Office of the European Union, Luxembourg.
- Suginohara S. 1969. The color of the sea in the sound between Denmark and Sweden with a new colorimeter. *Rep Inst Fisk Oceanography Copenhagen* 8, 1-8.