

大韓海峽에서의 海水의 光學的 性質

梁 龍 林

釜山水産大學 漁業學科

Optical Properties of Sea Water in the Western Channel of the Korea Strait

Yong-Rhim YANG

Department of Fishing Technology, National Fisheries University of Busan, Namgu, Busan, 608 Korea

Optical properties of sea water were studied in the western channel of the Korea Strait, based on the data obtained from fifteen oceanographic stations in July, 1980.

Submarine daylight intensity was measured at intervals of 5 m depth in the upper 70 m layer by using the underwater irradiator(Kahlsico #268WA360).

The mean absorption coefficients of the sea water were shown as 0.098(0.063~0.183), 0.129(0.090~0.270), 0.081(0.044~0.142), and 0.087(0.036~0.142) for clear, red, green, and blue color respectively.

The transparency ranged from 11.5 to 24 m(mean 18.3 m). The mean water color in this area was 3.5(3~4) in Forel scales.

The relation between absorption coefficient (κ) and transparency (D) was $\kappa=1.72/D$, $\kappa=2.33/D$, $\kappa=1.41/D$, and $\kappa=1.44/D$ for clear, red, green, and blue color respectively.

The rates of light penetration for clear, red, green, and blue color in four different depths were computed with reference to the surface light intensity respectively. The mean rates of light penetration in proportion to depths were as follows;

clear : 57.90% (5 m), 23.40% (15 m), 6.23% (30 m), 1.00% (50 m).

red : 48.95% (5 m), 14.81% (15 m), 2.76% (30 m), 0.28% (50 m).

green: 63.20% (5 m), 30.47% (15 m), 10.03% (30 m), 2.24% (50 m).

blue : 62.70% (5 m), 30.00% (15 m), 9.75% (30 m), 1.70% (50 m).

緒 論

大韓海峽은 對馬島를 기점으로 東水道와 西水道로 나누는데, 西水道는 우리나라와 對馬島 사이의 해역으로서 對馬海流의 영향을 가장 많이 받고 있다.

外洋水の 광학적 성질에 관한 연구(Jerlov, 1951 ; Duntley, 1963 ; Kampa, 1970 ; Smith *et al.*, 1973 ; Yang, 1977a, 1977b)는 많이 발표되었고, 우리나라 沿近海에 대한 연구(Uda, 1934, 1936 ; Hahn, 1968 ; Lim, 1975 ; Yang, 1975, 1976, 1978a, 1978b, 1980, 1981)도 다소 발표된 바 있다.

본 해역의 環境要因에 대한 연구(Lim and Chang, 1969)는 다소 발표된 바 있으나, 주로 鹽分, 水溫, 海流 등의 조사였으며, 光에 대한 조사는 거의 보고된 바 없는 실정이다.

특히, 西水道를 통과한 對馬海流의 支流가 東海에서 寒流와 교차하여 좋은 漁場을 형성하고 계절에 따라 對馬海流의 세력이 변하고 있어, 본 해역에서의 해수의 광학적 성질이 복잡하게 전개될 것으로 생각된다.

본고에서는 西水道 海域의 透明度, 水色, 太陽光의 4가지 색에 대한 해수의 吸收係數 및 海中透過率 등을 제시함으로써, 漁業分野 및 海洋光學分野에 기여하고자 한다.

材料 및 方法

본 조사는 1980년 7월에 大韓海峽 西水道의 15개 관측점에서 海水의 表面照度 및 水中照度, 太陽高度, 水色, 透明度 등을 관측하였다.

관측선박은 부산수산대학 실습선 관악산 1호(240 톤급)를 사용하였으며, 관측점의 위치는 Fig. 1 같다.

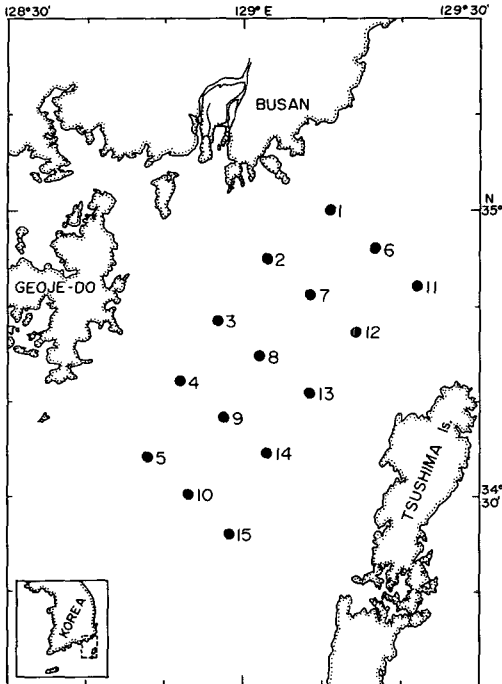


Fig. 1. The stations for optical observation.

海水의 表面照度 및 水中照度는 Underwater Irradiometer(Kahlsico #268WA360)를 사용하여 수심 0~70 m 층에서 5 m의 간격으로 4가지 색(Clear; 400~720 nm, Red; 600~700 nm, Green; 475~600nm, Blue; 400~475 nm)에 대하여 각각 측정하였으며, 각 색光에 대한 海水의 吸收係數는 관측된 수심별 水中照度を Lambert의 방정식 $I = I_0 e^{-Kx}$ 에 대입하여 구하고, 吸收係數가 서로 다른 범위를 선정하고, 表面照도에 대한 수심별 水中照度の 백분율을 산출하여 각 색光별 太陽光의 海中透過率을 조사하였다.

太陽高度는 관측시각과 관측점의 위치를 조사하여 천주력(태양적위)과 계산고도방위각표(H. O. 214 Table)를 이용하여 산출하였다.

水色은 Forel 水色計를 제작 사용하였으며, 透明度는 직경 30 cm의 백색 투명도판을 사용하였다.

結果 및 考察

1. 透明度와 水色

大韓海峽 西水道의 15개 관측점에서 조사된 透明度와 水色은 Fig. 2와 같다.

조사기간인 1980년 7월에 관측된 透明度는 최소 11.5 m(St. 3), 최대 24 m(St. 14)였고, 平均透明度는 18.3 m로서 부산 근해의 3.8 m, 4.71 m(Yang, 1975, 1976), 북서태평양의 10.6 m(Yang, 1977b), 한국

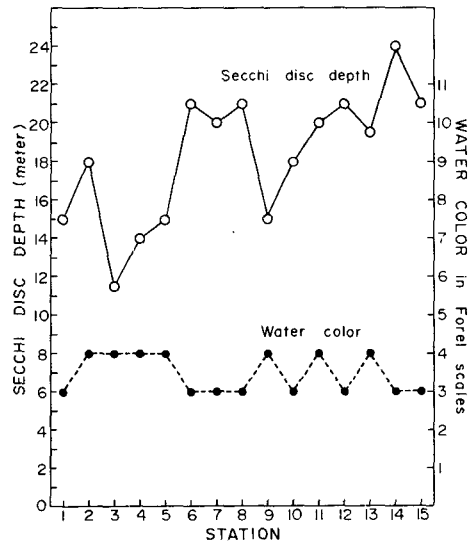


Fig. 2. Observation of Secchi-disc depth and water color.

남해연안의 5.33 m (Yang, 1978a), 제주도 근해의 15.83 m (Yang, 1978b), 활달치어장의 8.4 m (Yang 1980) 및 제주도 북서해역의 16.1 m (Yang, 1981) 보다 높았으며, 동해 북동해역의 19.8 m (Yang, 1977a) 보다는 낮았다.

조사지점별로는 한국 연안쪽(St. 1, 3, 4, 5, 9)의 透明度가 대마도쪽(St. 12~15) 보다는 훨씬 낮았다. 이것은 본 해역에 유입되는 연안수가 대마도쪽 보다 한국 연안쪽에서 더 많이 유입되는데 기인된다고 생각된다.

한편, 水色은 최소 3, 최대 4 였고, 平均水色은 2.5 로서 충무근해의 6.6 (Lim, 1975), 한국 남해연안의 5.75 (Yang, 1978a), 활달치어장의 4.8 (Yang, 1980) 및 제주도 북서해역의 4.3 (Yang, 1981) 보다 높았으며, 제주도 근해의 3.4 (Yang, 1978b) 보다는 낮았다.

2. 海水의 吸收係數

본 조사해역의 15개 관측점에서 조사된 太陽光線의 4가지 색에 대한 吸收係數는 Table 1 과 같다.

Table 1. Absorption coefficient of the sea water, irradiance at transparency layer and sun altitude

Station	Color	Depth(m)	κ	P(%)	θ
1	Clear	0-70	0.099	18.5	20.05°
	Red	0-70	0.123	13.0	
	Green	0-70	0.079	24.5	
	Blue	0-70	0.084	23.0	
2	Clear	0-70	0.101	15.0	35.33°
	Red	0-70	0.145	6.8	
	Green	0-70	0.088	19.0	
	Blue	0-70	0.091	18.0	
3	Clear	0-10	0.183	14.9	52.08°
		10-70	0.086		
	Red	0-15	0.270	4.5	
		15-70	0.091		
	Green	0-10	0.142	21.8	
		10-70	0.063		
	Blue	0-10	0.142	21.8	
		10-70	0.089		
4	Clear	0-70	0.126	16.2	72.92°
	Red	0-70	0.161	10.0	
	Green	0-70	0.097	25.0	
	Blue	0-70	0.110	20.5	
5	Clear	0-70	0.119	14.5	25.94°
	Red	0-70	0.165	7.0	
	Green	0-70	0.094	21.0	
	Blue	0-70	0.086	24.0	

6	Clear	0-70	0.094	13.0	61.97°
	Red	0-70	0.116	8.2	
	Green	0-70	0.085	16.5	
	Blue	0-70	0.087	16.5	
7	Clear	0-70	0.079	18.5	32.59°
	Red	0-70	0.096	13.0	
	Green	0-70	0.070	22.5	
	Blue	0-70	0.068	24.0	
8	Clear	0-70	0.088	15.0	42.76°
	Red	0-70	0.127	6.7	
	Green	0-70	0.082	17.0	
	Blue	0-70	0.073	17.0	
9	Clear	0-70	0.100	22.0	75.47°
	Red	0-70	0.162	9.0	
	Green	0-70	0.078	32.0	
	Blue	0-70	0.081	29.0	
10	Clear	0-70	0.110	12.7	50.02°
	Red	0-70	0.163	5.0	
	Green	0-70	0.085	21.0	
	Blue	0-70	0.107	14.0	
11	Clear	0-70	0.063	27.0	73.30°
	Red	0-70	0.101	13.0	
	Green	0-70	0.055	32.0	
	Blue	0-70	0.059	30.0	
12	Clear	0-70	0.088	15.3	76.86°
	Red	0-70	0.101	11.5	
	Green	0-70	0.080	18.0	
	Blue	0-70	0.086	16.0	
13	Clear	0-30	0.084	18.5	62.89°
		30-70	0.112		
	Red	0-30	0.095	15.0	
		30-70	0.114		
	Green	0-30	0.072	24.0	
		30-70	0.094		
Blue	0-30	0.069	25.0		
		30-70	0.114		
14	Clear	0-25	0.065	20.0	70.36°
		25-70	0.111		
	Red	0-25	0.090	11.7	
		25-70	0.120		
	Green	0-25	0.050	26.0	
		25-70	0.098		
	Blue	0-25	0.049	28.5	
		25-70	0.106		
15	Clear	0-25	0.079	18.3	59.78°
		25-70	0.118		
	Red	0-25	0.102	11.6	
		25-70	0.138		
	Green	0-25	0.044	38.0	
		25-70	0.097		
Blue	0-25	0.036	44.0		
		25-70	0.115		

κ : Absorption coefficient
 P : Irradiance at transparency layer
 θ : Sun altitude

조사기간중에 관측된 각 色光별 海水의 吸收係數는, 白色光(400~720 nm)의 경우, 최소 0.063(St. 11, 0~70 m 층), 최대 0.183(St. 3, 0~10 m 층)이었고, 平均吸收係數는 0.098로서 부산 근해의 0.413, 0.355(Yang, 1975, 1976), 남해연안의 0.578(Yang, 1978a), 제주도 근해의 0.112(Yang, 1978b), 활렬치어장의 0.210(Yang, 1980) 및 제주도 북서해역의 0.102(Yang, 1981) 보다 적었는데, 이것은 본 해역의 平均透明度가 다른 해역보다 높았고 연안에서 멀리 떨어져 연안수의 영향을 적게 받고 있기 때문이라고 생각된다.

赤色光(600~700 nm)의 경우에는 최소 0.090(St. 14, 0~25 m 층), 최대 0.270(St. 3, 0~15 m 층)이었고, 平均吸收係數는 0.129로서 동해 북동해역의 0.232(Yang, 1977a) 및 북서태평양의 0.278(Yang, 1977b)보다 적었는데, 이것은 본 해역에 비해 타 해역이 더 좁은 파장 범위(600~620 nm)에서 조사되었기 때문이라고 생각된다.

綠色光(475~600 nm)은 최소 0.044(St. 15, 0~25 m 층), 최대 0.142(St. 3, 0~10 m 층)였고, 平均吸收係數는 0.081로서 제주도 북서해역의 0.089(Yang, 1981)보다 적었다.

青色光(400~475 nm)은 최소 0.036(St. 15, 0~25 m 층), 최대 0.142(St. 3, 0~10 m 층)였고, 平均吸收係數는 0.087로서 제주도 북서해역의 0.097(Yang, 1981)보다 적었다.

조사지점별로 볼때, 15 관측점의 吸收係數는 대체로 赤色光이 가장 컸고 다음이 白色光, 青色光, 綠色光의 순으로 작게 나타났으나, 7개 지점(St. 5, 6, 7, 8 과 St. 13, 14, 15의 상층)만이 青色보다 綠色光의 吸收係數가 더 컸다. 또, 4가지 色光에 대한 平均吸收係數는 St. 4가 가장 컸고 다음이 St. 5였으며, St. 11이 가장 적었고 다음이 St. 7이었다.

한편, 15개 관측점 중 St. 3, 13, 14, 15만이 상층과 하층의 吸收係數가 서로 다른층을 이루었는데, St. 3만이 하층보다 상층의 吸收係數가 더 컸다.

透明度 D와 海水의 吸收係數 κ 와의 관계는 自然光에서는 $\kappa=1.7/D$ (Poole and Atkins, 1929)인데, 본 해역에서는 白色光의 경우 $\kappa D=1.72(1.26\sim1.98)$ 로서 부산 근해의 1.67(Yang, 1976), 남해연안의 1.704(Yang, 1978a), 제주도 근해의 1.706(Yang, 1978b), 활렬치어장의 1.70(Yang, 1980) 및 제주도 북서해역의 1.66(Yang, 1981)과 근사한 값을 나타냈다.

赤色光은 $\kappa D=2.33(1.85\sim3.11)$, 綠色光은 $\kappa D=$

1.41(0.92~1.88), 青色光은 $\kappa D=1.44(0.76\sim1.98)$ 로서 제주도 북서해역의 2.12, 1.38, 1.51(Yang, 1981)과 각각 근사한 값을 나타냈다.

3. 太陽高度와 太陽光線의 透過率

大韓海峽의 15개 관측점에서 관측된 太陽高度는 최소 20.05°(St. 1), 최대 76.86°(St. 12)였고, 平均 太陽高度는 54.16°였다(Table 1).

본 조사기간중에 조사된 4가지 色光에 대한 수심별 태양광선의 海中透過率은 Fig. 3과 같다.

조사기간중에 관측된 각 色光별 平均海中透過率은 白色光(400~720 nm)의 경우, 수심 5 m 층에서 表面光의 57.90%(41~70), 15 m 층에서 23.40%(11~37), 30 m 층에서 6.23%(2.3~14.5), 50 m 층에서 1.00%(0.18~4.1)로서 부산 근해(Yang, 1976), 남해연안(Yang, 1978a), 제주도 근해(Yang, 1978b) 및 활렬치어장(Yang, 1980)보다는 훨씬 많은 透過率을 나타냈고, 제주도 북서해역(Yang, 1981)보다는 약간 많았는데 이것은 본 조사해역이 다른 해역에 비해 平均透明度가 높고 吸收係數가 적었기 때문이라고 생각된다.

赤色光(600~700 nm)의 경우에는 수심 5 m 층에서 表面光의 48.95%(25.5~62.8), 15 m 층에서 14.81%(1.72~25), 30 m 층에서 2.76%(0.45~5.9), 50 m 층에서 0.28%(0.022~0.76)로서 동해 북동해역(Yang, 1977a) 및 북서태평양(Yang, 1977b)보다 많은 透過率을 나타냈는데, 이것은 조사 파장 범위의 차이로 인한 吸收係數가 적었기 때문이라고 생각된다.

綠色光(475~600 nm)은 수심 5 m 층에서 表面光의 63.20%(47~77), 15 m 층에서 30.47%(17.5~50), 30 m 층에서 10.03%(5~20), 50 m 층에서는 2.24%(0.76~6.1)로서 제주도 북서해역(Yang, 1981)보다 다소 많은 透過率을 나타냈다.

青色光(400~475 nm)은 수심 5 m 층에서 表面光의 62.70%(47~80), 15 m 층에서 30.00%(16~56), 30 m 층에서 9.75%(3.5~22), 50 m 층에서는 1.70%(0.4~5)로서 제주도 북서해역(Yang, 1981)보다 많은 透過率을 나타냈다.

이것은 제주도 북서해역보다 본 조사해역의 平均透明度와 平均水色이 높았고, 綠色 및 青色光의 平均 吸收係數가 적었기 때문이라고 생각된다.

色光별로 볼때, 太陽光의 平均海中透過率은 綠色光이 가장 많았고, 다음이 青色光, 白色光, 赤色光

大韓海峽에서의 海水의 光學的 性質

PERCENTAGE OF SURFACE IRRADIANCE (%.)

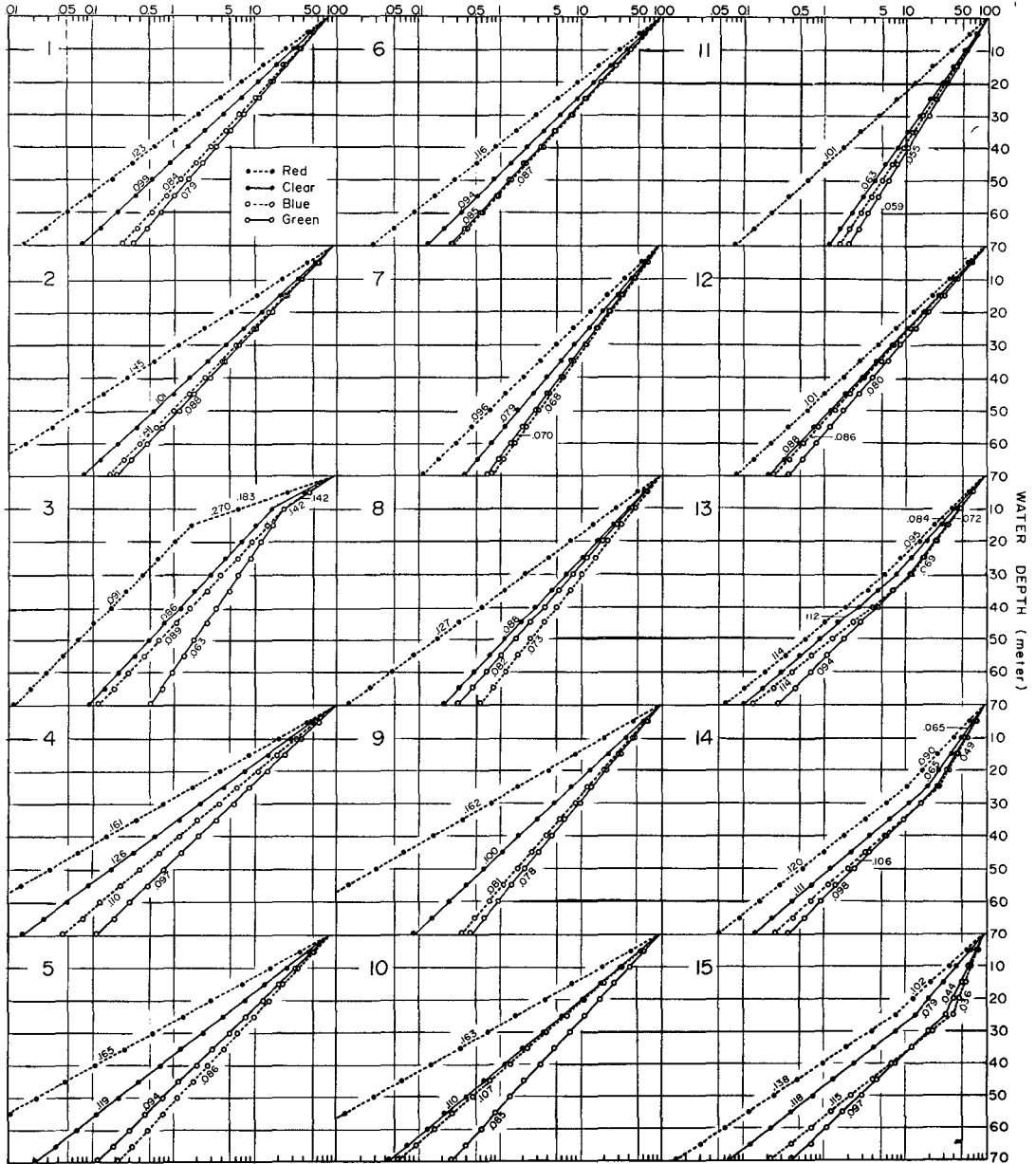


Fig. 3. Vertical distribution of downward irradiance of surface irradiance at the stations. (Clear: 400-720 nm; Red: 600-700 nm; Green: 475-600 nm; Blue: 400-475 nm)

의 순으로 적게 나타났다.

조사지점별로 볼때, 4 가지 色光에 대하여 대체로 일본 대마도쪽에 위치한 St. 11, 14, 15의 海中透過率이 많았고, 우리나라 거제도쪽에 위치한 St. 3, 4, 5의 透過率이 적었는데 이것은 대마도쪽의 吸收係數가 거제도쪽 보다 적었기 때문이라고 생각된다.

빛의 水中透過率은 太陽高度(Cox and Munk,

1956; Sasaki *et al.*, 1962) 및 吸收係數(Clark, 1936, 1941)와 밀접한 관계가 있는데, 본 조사지점중 太陽高度와 吸收係數가 비교적 큰 St. 4(72.92°)와 작은 St. 7(32.59°)의 海中透過率을 비교하면, 4 가지 色光에 대하여 모두 상층에서는 太陽高度가 큰 St. 4의 透過率이 많았으나, 하층(수심 1~2.5 m 이상)에서는 吸收係數가 적은 St. 7의 透過率이 더 많았는

데, 이것은 吸收係數의 차이 때문이라고 생각된다. 따라서 太陽高度보다 吸收係數가 빛의 水中透過에 더 많은 영향을 미친다고 생각된다.

한편, 透明度層에서의 太陽光의 平均海中透過率은 白色光이 表面光의 17.29%(12.7~27)로서 제주도 근해의 14.45%(Yang, 1978b) 및 활렬치 어장의 16.18%(Yang, 1980)보다 많았으나, 남해연안의 17.77%(Yang, 1978a) 및 제주도 북서해역의 18.29%(Yang, 1981)보다는 적었다.

赤色光은 表面光의 9.70%(4.5~13), 綠色光은 23.89%(16.5~38)로서 제주도 북서해역의 12.40%, 24.30%(Yang, 1981)보다는 각각 적었으나, 靑色光은 23.42%(14~44)로서 제주도 북서해역의 21.21% 보다는 다소 많았다.

要 約

大韓海峽에서의 海水의 光學的 性質을 조사하기 위하여, 1980년 7월에 大韓海峽 西水道의 15개 관측점에서 透明度, 水色, 太陽光의 4가지 색(Clear; 400~720 nm, Red; 600~700 nm, Green; 475~600 nm, Blue; 400~475 nm)에 대한 海水의 表面照度 및 水中照度 등을 조사한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 본 조사해역의 平均透明度는 18.3 m(11.5~24 m)였고, 平均水色은 3.5(3~4)였다.
2. 海水의 平均吸收係數는 赤色光이 0.129(0.090~0.270), 白色光이 0.098(0.063~0.183), 靑色光이 0.087(0.036~0.142), 綠色光이 0.081(0.044~0.142) 순으로 적게 나타났다.
3. 海水의 吸收係數 κ 와 透明度 D 와의 관계는 赤色光이 $\kappa=2.33/D$, 白色光이 $\kappa=1.72/D$, 靑色光이 $\kappa=1.44/D$, 綠色光이 $\kappa=1.41/D$ 순으로 작게 나타났다.
4. 太陽光線의 表面光에 대한 平均海中透過率은 綠色光(수심 5 m 층에서 63.20%, 15 m 층에서 30.47%, 30 m 층에서 10.03%, 50 m 층에서 2.24%), 靑色光(수심 5 m 층에서 62.70%, 15 m 층에서 30.00%, 30 m 층에서 9.75%, 50 m 층에서 1.70%), 白色光(수심 5 m 층에서 57.90%, 15 m 층에서 23.40%, 30 m 층에서 6.23%, 50 m 층에서 1.00%), 赤色光(수심 5 m 층에서 48.95%, 15 m 층에서 14.81%, 30 m 층에서 2.76%, 50 m 층에서 0.28%)의 순으로 적게 나타났다.

5. 透明度層에서의 太陽光의 海中透過率은 綠色光이 表面光의 23.89%(16.5~38%), 靑色光이 23.42%(14~44%), 白色光이 17.29%(12.7~27%), 赤色光이 9.70%(4.5~13%)의 순으로 적게 나타났다.

文 獻

- Clarke, G. L. 1936. The reflection and absorption of daylight at the surface of ocean. *J. Opt. Soc. Am.* 26(3), 111-120.
- Clarke, G. L. 1941. Observations on transparency in the southwestern section of the North Atlantic Ocean. *J. Mar. Res.* 4(1), 210-221.
- Cox, C. and W. Munk. 1956. Slopes of the sea surface deduced from photographs of sun glitter. *Bull. Scripps Inst. Oceanog. Univ. Calif.* 6, 401-488.
- Duntley, S. Q. 1963. Light in the sea. *J. Opt. Soc. Am.* 53, 214-233.
- Hahn, S. 1968. The relationship between the water color and the transparency in the seas around Korea. *Oceanol. Soc. Korea* 3, 55-62.
- Jerlov, N. G. 1951. Optical studies of ocean water. *Rept. Swedish Deep-Sea Expedition* 3, 1-59.
- Kampa, E. M. 1970. Underwater daylight measurements in the sea of Cortez. *Deep-Sea Res.* 17, 271-280.
- Lim, D. B. and S. D. Chang. 1969. On the cold water mass in the Korea Strait. *Jour. Oceanol. Soc. Korea* 4(2), 71-82.
- Lim, D. B. 1975. On the optical properties of coastal water near Chungmu. *Bull. Tong-Yeong Fish. Jr. Coll.* 10, 13-20.
- Poole, H. H. and W. R. G. Atkins. 1929. Photoelectric measurements of submarine illumination throughout the year. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.* 16, 297-324.
- Sasaki, T., S. Watanabe, G. Oshiba, N. Okami and M. Kajihara. 1962. On the instrument for measuring angular distribution of underwater radiance. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.* 28, 489-496.

- Smith, R. C., J. E. Tyler and C. R. Goldman. 1973. Optical properties and color of Lake Tahoe and Crater Lake. *Limnol. and Oceanog.* 18(2), 189—199.
- Uda, M. 1924. The results of simultaneous oceanographical investigations in the Japan Sea and its adjacent water in May and June, 1932. *J. Imp. Fish. Exp. Stha.* 5, 57—190.
- Uda, M. 1926. Result of simultaneous oceanographic investigations in the Japan Sea and its adjacent waters during October and November, 1933. *ibid.* 7, 51—151.
- Yang, Y. R. 1975. Optical properties of sea water(I). *Bull. Korean Fish. Tech. Soc.* 11, 8—14.
- Yang, Y. R. 1976. Optical properties of sea water(II). *ibid.* 12, 7—12.
- Yang, Y. R. 1977a. Optical properties of sea water in the Japan Sea. *Bull. Korean Fish. Soc.* 10, 173—177.
- Yang, Y. R. 1977b. Optical properties of sea water in the Northwest Pacific. *ibid.* 10, 237—241.
- Yang, Y. R. 1978a. Optical properties of sea water (IV). *Bull. Korean Fish. Tech. Soc.* 14, 37—41.
- Yang, Y. R. 1978b. Optical properties of sea water in the sea near Jeju-do. *Bull. Nat. Fish. Univ. Busan* 18, 31—35.
- Yang, Y. R. 1980. Optical properties of sea water in the fishing ground of anchovy. *Bull. Korean Fish. Soc.* 13(3), 95—101.
- Yang, Y. R. 1981. Optical properties of sea water in the northwestern waters of Jeju Island. *Bull. Korean Fish. Tech. Soc.* 17 (2), 53—58.