

海水의 光學的 性質에 關한 研究

—日本 東京灣 入口(1)—

梁 龍 林*·松 生 洽**

Optical Properties of Sea Water

—Entrance of Tokyo Bay, Japan(1)—

Yong-Rhim YANG* and Kanau MATSUIKE**

Optical properties of sea water were studied in the entrance of Tokyo Bay, Japan, based on the data obtained from six oceanographic stations in April, 1985.

The observation of surface irradiance and underwater irradiance of sea water for eight kind of wavelengths (378, 422, 481, 513, 570, 621, 653, 677 nm) of sun light was conducted using the underwater irradiator (Isigawa # SR-8).

The mean attenuation coefficient of the sea water was appeared to be 0.300 (0.034—0.774) and the attenuation coefficient of the sea water for wavelength appeared such as 0.230 for 378 nm, 0.258 for 422 nm, 0.226 for 481 nm, 0.213 for 513 nm, 0.195 for 570 nm, 0.378 for 621 nm, 0.402 for 653 nm, 0.498 for 677 nm.

The transparency was 7.2 m (6—9.5 m) and water color was 9 (6.5—10.5) in the study area and the sun's altitude 52.56° (31.68°—66.76°).

The relationship between attenuation coefficient (K) and transparency (D) was $K=2.61/D$ ($1.76/D-4.13/D$).

The rates of light penetration for eight kind of wavelengths (378, 422, 481, 513, 570, 621, 653, 677 nm) were computed with reference to the surface light intensity respectively. The mean rates of light penetration in proportion to depths were 69.30% (57.33—77.40%) in 1 m layer, 17.66% (6.3—27.90%) in 5 m layer, 4.47% (0.60—9.17%) in 10 m layer, and 0.77% (0.02—1.97%) in 20 m layer.

The rates of light penetration at the transparency layer with reference to the surface light intensity was shown as 9.91% (0.51—22.99%).

緒 論

海水의 光學的 性質에 대한 研究는 透明度, 水色, 濁度, 懸濁物質, 水塊構造, 水上 및 水中에서의 照度, 太陽 Energy, Chlorophyll濃度, DSL 등이 주

대상이 되고있다.

이 分野의 研究를 海域別로 보면, 外洋에 對하여서는 Jerlov(1951)를 비롯하여 Duntley(1963), Matsuike(1969, 1973), Kampa(1970), Matsuike *et al.* (1979), Smith *et al.* (1973), Matsuike and Morinaga

* 釜山水產大學: National Fisheries University of Pusan

** 東京水產大學: Tokyo University of Fisheries

(1977), Yang(1977a, 1977b) 등이 발표하였고, 沿岸 및 内灣에 대해서는 Sasaki *et al.*(1975), Morel (1978), Sugihara *et al.*(1984) 등이 발표하였으며, 韓國 沿近海에 대해서는 Uda (1934, 1936), Hahn (1968), Lim(1975), Yang (1975, 1976, 1978a, 1978b, 1980, 1981, 1982a, 1982b) 등이 보고한 바 있다.

한편 東京灣에 관한 研究는 Okami *et al.* (1982), Kishino *et al.*(1984), Sugihara *et al.*(1985) 등이 조사 보고한 바 있으나, 주로 濁度, 懸濁物, Chlorophyll含量, Chlorophyll과 海水의 消散係數와의 관계 등을 조사하였다.

本稿에서는 東京灣 入口 海域의 透明度, 水色, 太陽光의 8가지 波長에 대한 海水의 消散係數 및 海中 透過率 등을 제시함으로써 漁業分野 및 海洋光學分野 등에 기여하고자 한다.

材料 및 方法

본 조사는 1985년 4월에 日本 東京灣 入口의 6개 觀測點에서 8가지 波長에 대한 海水의 表面照度 및 水中照度, 水色, 透明度, 太陽高度 등을 관측하였다.

관측선박은 東京水産大學 練習船 青鷹丸(210 ton) 를 사용하였으며, 觀測點의 위치는 Fig. 1과 같다.

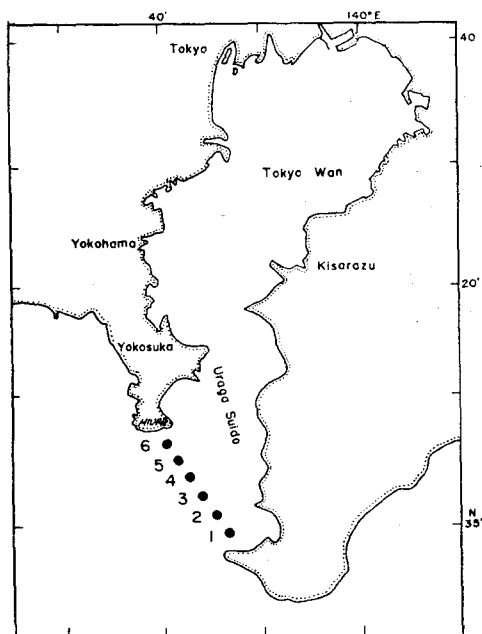


Fig. 1. The stations for optical observation.

海水의 表面照度 및 水中照度는 8色水中照度計(石川産業 SR-8)를 사용하여 各層의 下方向照度を 측정하였다. 8色水中照度計는 干涉 Filter를 부착하여 8가지 波長이 378, 422, 481, 513, 570, 621, 653, 677 nm로 되어 있으며, 半值幅은 각각 10 nm이다.

8가지 光에 대한 海水의 消散係數는 관측된 수심별 水中照度を Lambert의 방정식 $Y=Y_0 \exp(-Kx)$ 에 대입하여 구하고, 消散係數가 서로 다른 범위를 선정하고, 表面照도에 대한 수심별 水中照度の 백분율을 산출하여 각 波長別 太陽光의 海中透過率 및 透明度層에서의 海中透過率을 조사하였다.

太陽高度는 觀測時刻과 位置를 조사하여 天測歷(太陽赤緯)과 計算高度方位角表(H. O. 214 Table)를 이용하여 산출하였다.

水色은 Forel 水色計로, 透明度는 직경 30 cm의 白色 透明度板을 사용하였다.

結果 및 考察

1. 透明度와 水色

日本 東京灣 入口의 6개 觀測點에서 조사된 透明度와 水色은 Fig. 2와 같다.

조사기간인 1985년 4월에 관측된 透明度는 최소 6 m(St. 4, 6), 최대 9 m(St. 1)였고 平均透明度는 7.2 m로서 부산 근해의 3.8 m, 4.71 m(Yang, 1975, 1976)

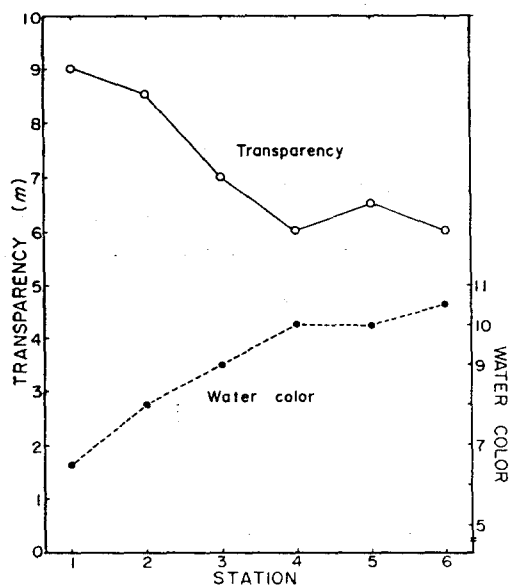


Fig. 2. Transparency and water color.

海水의 光學的 性質에 關한 研究

및 韓國南海沿岸의 5.43 m(Yang, 1978a) 보다 높았으며, 동해 북동해역의 19.8 m(Yang, 1977a), 北西太平洋의 10.6 m(Yang, 1977b), 濟州道 近海의 15.83 m(Yang, 1978b), 濟州道 北西海域의 16.1m(Yang, 1981), 大韓海峽의 18.3 m(Yang, 1982a) 및 韓國南海의 17.1 m(Yang, 1982b) 보다는 낮았다. 조사지점별로는 房總半島쪽(St. 1, 2, 3)의 透明度가 三浦半島쪽(St. 4, 5, 6) 보다 높았다.

한편, 水色은 최소 6.5, 최대 10.5였고, 平均水色은 9로서 충무 근해의 6.6(Lim, 1975), 韓國南海沿岸의 5.75(Yang, 1978a), 濟州道 近海의 3.38(Yang, 1978b), 활렬치 漁場의 4.8(Yang, 1980), 濟州道 北西海域의 4.3(Yang, 1981), 大韓海峽의 3.5 (Yang, 1982a) 및 韓國南海의 3.9(Yang, 1982b) 보다 높았다. 조사지점별로는 St. 1, 2, 3(房總半島쪽)이 St. 4, 5, 6(三浦半島쪽) 보다 높았다.

2. 海水의 消散係數

본 조사해역의 6個 觀測點에서 조사된 太陽光線의 8가지 波長에 대한 消散係數는 Table 1과 같다.

조사기간중에 관측된 海水의 消散係數는 최소 0.084(St. 2, 8~20 m層, 481 nm), 최대 0.774 (St. 1, 5~20 m層, 677 nm)였고, 平均消散係數는 0.300으로서 釜山近海의 0.413, 0.355(Yang, 1975, 1976), 韓國南海沿岸의 0.578(Yang, 1978a) 보다 적었으며, 濟州道 近海의 0.112(Yang, 1978b) 및 활렬치 漁場의 0.21(Yang, 1980) 보다는 컸다.

波長別 海水의 消散係數는 378 nm인 경우 0.230

(0.102~0.333), 422 nm인 경우 0.258(0.097~0.408), 481 nm인 경우 0.226(0.084~0.334), 513 nm인 경우 0.213(0.100~0.312), 570 nm인 경우 0.195(0.095~0.293), 621 nm인 경우 0.378(0.209~0.543), 653 nm인 경우 0.402(0.211~0.558), 677 nm인 경우 0.498(0.221~0.774)였는데, 570 nm(黃綠)의 消散係數가 가장 적었고, 677 nm(赤)의 消散係數가 가장 컸다.

조사지점별로 볼때, St. 2의 平均消散係數가 0.251로서 가장 적었고, St. 4가 0.330으로서 가장 컸는데, 이것은 透明度와 水色이 비교적 높은 곳(St. 2)과 낮은 곳(St. 4)의 차이 때문이라고 생각된다.

한편, 6個 觀測點 모두 上層과 下層의 消散係數가 서로 다른層을 이루었는데, St. 1의 677 nm인 경우만이 上層보다 下層의 消散係數가 더 컸다.

透明度 D 와 海水의 消散係數 K 와의 관계는 自然光에서는 $K=1.7/D$ (Poole and Atkins, 1929)인데, 본 해역에서는 平均 $K=2.61/D$ 로서 600~700 nm(赤)에 대하여 조사된 濟州道 北西海域의 $K=2.21/D$ (Yang, 1981) 및 大韓海峽의 $K=2.33/D$ (Yang, 1982a) 및 韓國南海의 $K=2.01/D$ (Yang, 1982b) 보다는 컸으며, 600~620 nm(赤)에 대하여 조사된 동해북동해역의 $K=4.93/D$ (Yang, 1977a) 및 北西 太平洋의 $K=3.35/D$ (Yang, 1977b) 보다는 작았다.

波長別로는 570 nm(黃綠)이 $K=1.76/D$ 로서 가장 적었으며 677 nm(赤)이 $K=4.13/D$ 로서 가장 컸다. 조사지점별로는 St. 4가 $K=2.20/D$ 로서 가장 적었으며 St. 2가 $K=3.41/D$ 로서 가장 컸다.

Table 1. Spectral irradiance attenuation coefficients (K)

St. No.	Depth (m)	Wavelength (nm)							
		378	422	481	513	570	621	653	677
1	0-5	0.287	0.284	0.229	0.219	0.236	0.444	0.446	0.559
	5-20	0.182	0.200	0.179	0.168	0.152	0.320	0.350	0.774
2	0-8	0.304	0.408	0.315	0.308	0.253	0.543	0.558	0.646
	8-20	0.102	0.098	0.084	0.106	0.095	0.209	0.211	0.221
3	0-10	0.278	0.333	0.276	0.258	0.239	0.402	0.441	0.515
	10-20	0.227	0.230	0.219	0.200	0.175	0.309	0.328	0.358
4	0-10	0.315	0.367	0.286	0.279	0.245	0.434	0.465	0.547
	10-20	0.230	0.250	0.255	0.218	0.208	0.358	0.390	0.430
5	0-10	0.323	0.386	0.334	0.301	0.272	0.436	0.451	0.520
	10-20	0.212	0.235	0.229	0.212	0.187	0.342	0.397	0.429
	20-30	0.141	0.097	0.104	0.100	0.122	—	—	—
6	0-10	0.333	0.395	0.330	0.312	0.293	0.439	0.480	0.557
	10-20	0.222	0.242	0.238	0.221	0.199	0.423	0.421	0.391
	20-30	0.161	0.192	0.166	0.155	0.144	—	—	—

3. 太陽高度와 光의 海中透過率

東京灣 入口의 6個 觀測點에서 관측된 太陽高度는 최소 31.68°(St.1), 최대 66.76°(St.6)였고, 平均太陽高度는 52.56°였다(Table 2).

本 조사기간중에 조사된 8가지 波長에 대한 下方照度의 波長別 垂直分布는 Fig. 3과 같고, 下方照度의 透過率 Spectrum은 Fig.4와 같다.

여섯개 觀測點에서 조사된 平均海中透過率은 水深 1 m層에서 表面光의 69.30%(57.33~77.40%), 5 m層에서 17.66%(6.30~27.90%), 10 m層에서 4.47%(0.60~9.17%), 20 m層에서 0.77%(0.02~1.97%)로서 北西太平洋(Yang, 1977b) 보다는 다소 많은 透過率을 나타냈고, 濟州道 近海(Yang, 1978b), 활 멸치 漁場(Yang, 1980), 濟州道 北西海域(Yang, 1981), 大韓海峽(Yang, 1982a) 및 韓國南海(Yang, 1982b) 보다는 적은 透過率을 나타냈는데 이것은 本 조사해역이 다른 海域에 비해 透明度와 水色이 낮고 消散係數가 컸기 때문이라고 생각된다. 波長別로 볼 때, 570 nm(黃綠)의 透過率이 가장 많았고 다음이 513 nm, 481 nm, 378 nm, 422 nm, 621 nm, 653 nm의 順이었고 677 nm의 透過率이 가장 적었다.

조사지점별로 볼 때, 表層(1~5 m)에서는 St. 1, 3, 4의 透過率이 많았고 St. 2, 5, 6의 透過率이 적었으며 10 m이상의 水深에서는 St. 1, 2, 3(房總半島쪽)의 透過率이 St. 4, 5, 6(三浦半島쪽) 보다 많았다.

光의 水中透過率은 太陽高度(Cox and Munk, 1956; Sasaki *et al.*, 1962) 및 消散係數(Clark, 1936, 1941)와 밀접한 관계가 있는데, 本 조사지점 中 太陽高度와 消散係數가 비교적 큰 St. 6(66.76°, 0~10m層의 消散係數 0.392, 10~20 m層 0.295)과 작은 St. 3(51.27°, 0~10 m層의 消散係數 0.343, 10~20 m層 0.256)의 海中透過率을 비교하면, 8가지 波長에 대하여 St. 3의 透過率이 St. 6 보다 더 많았는데 이것은 消散係數의 차이 때문이라고 생각된다. 따라서 太陽高度보다 海水의 消散係數가 光의 水中透過에 더 많은 영향을 미친다고 생각된다.

한편, 透明度層에서의 太陽光線의 8가지 波長에 대한 海中透過率은 Table 2와 같은데, 平均透過率은 9.91%(0.51~22.99%)로서 600~700 nm(赤)에 대하여 조사된 大韓海峽의 9.70%(Yang, 1982a) 보다는 많았고, 濟州道 北西海域의 12.40%(Yang, 1981) 및 韓國 南海의 13.23%(Yang, 1982b) 보다는 작았다.

波長別로는, 378 nm인 경우 表面光의 12.51%, 422 nm인 경우 8.80%, 481 nm인 경우 13.49%, 513 nm

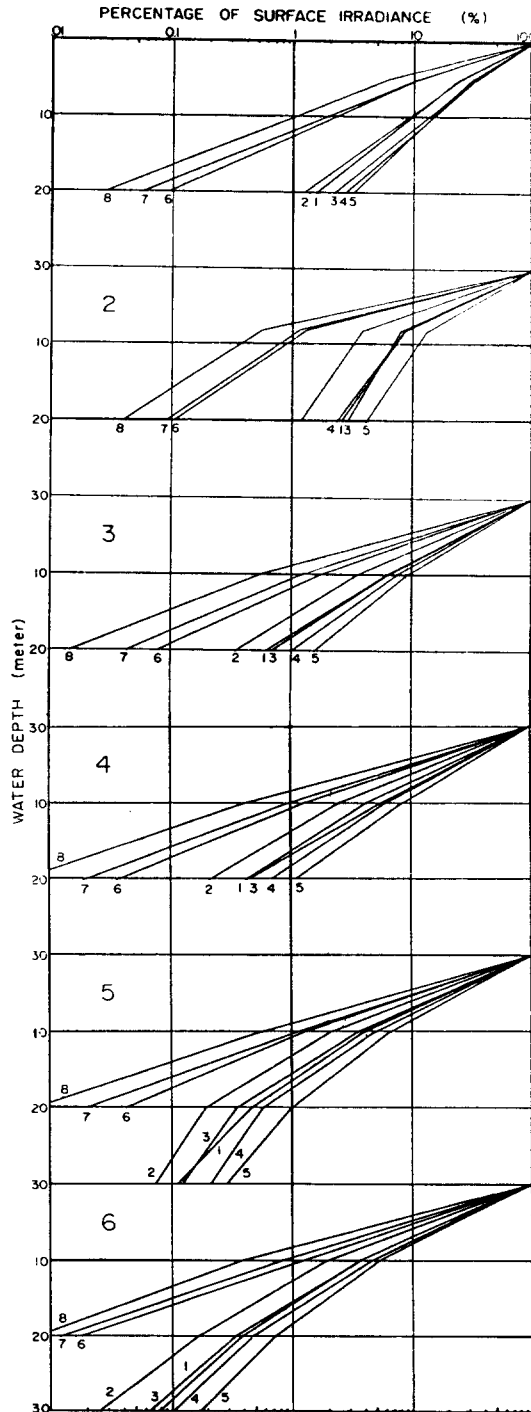


Fig. 3. Vertical distribution rate (%) of downward irradiance at different wavelengths. (1:378 nm, 2:422 nm, 3:481 nm, 4:513 nm, 5:570 nm, 6:621 nm, 7:653 nm, 8:677 nm)

海水의 光學的 性質에 關한 研究

Table 2. Penetration rate of surface irradiance in the transparency layer and sun altitude

St. No.	D (m)	Wavelength (nm)								Sun altitude
		378	422	481	513	570	621	653	677	
1	9	11.49	10.87	15.54	17.11	16.73	3.02	2.65	1.74	31.68°
2	8.5	8.35	3.64	7.72	8.07	12.60	1.17	1.04	0.51	43.00°
3	7	14.28	9.72	14.49	16.43	18.77	6.00	4.56	2.72	51.27°
4	6	15.11	11.06	17.98	18.75	22.99	7.40	6.14	3.76	58.49°
5	6.5	12.25	8.13	11.41	14.14	17.07	5.88	5.33	3.41	64.15°
6	6	13.56	9.35	13.81	15.38	17.24	7.18	5.61	3.54	66.76°

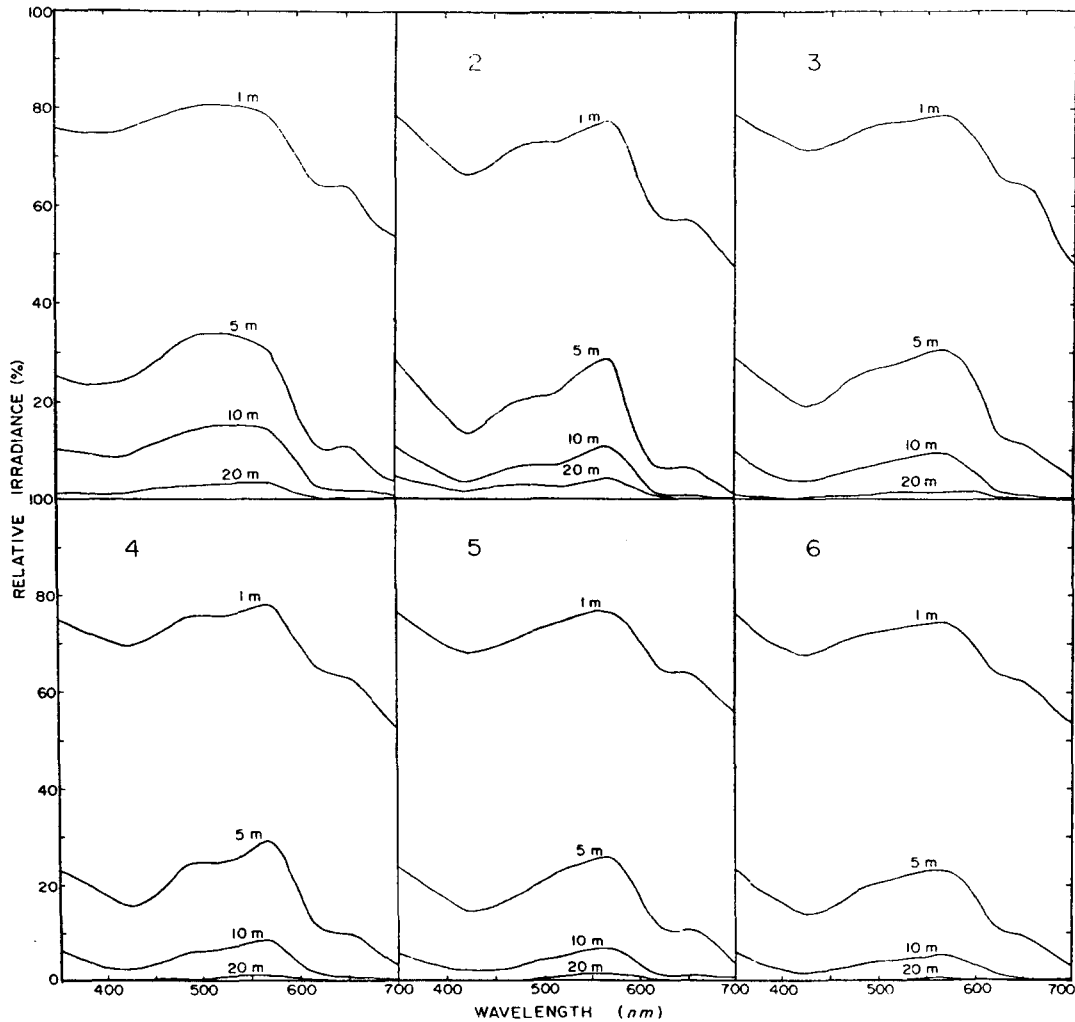


Fig. 4. Relative spectral irradiance distribution of downward irradiance at different depths.

인 경우 14.98%, 570 nm인 경우 17.57%, 621 nm인 경우 5.11%, 653 nm인 경우 4.22%, 677 nm인 경우 2.61%였는데 677 nm(赤)의 透過率이 가장 적었고 570 nm(黃綠)의 透過率이 가장 많았다.

조사지점별로는, St.2가 5.39%로서 가장 적었으며 다음이 St.5의 9.70%, St.1의 9.89%, St.6의 10.71%, St.3의 10.87%, St.4의 12.99%의 순으로 많았다.

要 約

日本 東京灣 入口에서의 海水의 光學的 性質을 조사하기 위하여, 1985년 4월에 東京灣入口의 6個 觀測點에서 透明度, 水色, 太陽高度, 太陽光의 8가지 波長(378, 422, 481, 513, 570, 621, 653, 677 nm)에 대한 海水의 表面照度 및 水中照度 등을 조사한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 본 조사해역의 透明度는 7.2 m(6~9.5 m)였고, 水色은 9(6.5~10.5)였다.

2. 海水의 平均消散係數는 0.300(0.084~0.774)였고, 波長別로는 677 nm가 0.493, 653 nm가 0.402, 621 nm가 0.378, 422 nm가 0.258, 378 nm가 0.230, 481 nm가 0.226, 513 nm가 0.213, 570 nm가 0.195의 순으로 작게 나타났다.

3. 海水의 消散係數 K 와 透明度 D 의 관계는 $K=2.61/D$ 였다.

4. 太陽高度는 52.56°(31.68°~66.76°)로 나타났다.

5. 太陽光線의 表面光에 대한 海中透過率은 水深 1 m層에서 69.30%(57.33~77.40%), 5 m層에서 17.66%(6.3~27.90%), 10 m層에서 4.47%(0.6~9.17%), 20 m層에서 0.77%(0.02~1.97%)로 나타났다.

6. 透明度層에서의 太陽光線의 表面光에 대한 海中透過率은 9.91%(0.51~22.99%)였고, 677 nm(赤)의 光이 2.61%로서 가장 적었으며 570 nm(黃綠)의 光이 17.57%로서 가장 많았다.

謝 辭

이 研究를 위하여 많은 도움을 주신 東京水産大學 海洋環境工學科 環境測定工學講座의 高橋 正先生, 森永 勤先生, 測定 및 資料分析에 協力해준 大學院生 平岡 尊宏, 大友 啓一, 足立 久美子諸氏, 海洋觀測에 協力해준 東京水産大學 青鷹丸의 五月女 雄二郎 船長 이하 全 乘組員들에게 깊은 感謝의 意를 表합니다.

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 transparen-

cy 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.
Kishino, M., Charles R. Booth and N. Okami (1984): Underwater radiant energy absorbed by phytoplankton, detritus, dissolved organic matter and pure water. Limnol. Oceanogr., 29(2), 340-349.
Lim, D. B. (1975): On the optical properties of coastal water near Chungmu. Bull. Tong Yeong Fish. Jr. Coll. 10, 13-20.
Matsuike, K. (1969): The optical characteristics of the water in the three oceans. (Ⅲ). J. Oceanog. Soc. Japan, 25 (2), 81-90.
Matsuike, K. (1973): A study on optical nature in oceanic waters. La mer 11, 1-44.
Matsuike, K. and T. Morinaga (1977): Beam attenuation and particle-size distribution in the Kuroshio area. *ibid* 15, 82-93.
Matsuike, K., Y. Nakamura and M. Haga (1979): Aerial and submarine spectral solar energy distributions and optical characteristics of the waters in Bering Sea during summer. *ibid* 17, 1-10.
Morel, A. (1978): Available, usable and stored radiant energy in relation to marine photosynthesis. Deep-Sea Research. 25, 673-688.
Okami, N., M. Kishino, S. Sugihara, N. Takematsu and S. Unoki (1982): Analysis of ocean color spectra (Ⅳ). J. Oceanog. Soc. Japan,

海水의 光學的 性質에 關한 研究

- 38, 362-372.
- 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., K. Matsuike, K. Inoue, T. Takahashi, I. Kosuga, T. Morinaga, Y. Ikeda, T. Koike, J. Takeuchi and M. Kitaguchi (1975): Oceanographic survey of the waters off Motobu peninsula and in Nago bay. *La mer* 13, 113-133.
- 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.
- Sugihara, S., M. Kishino and N. Okami (1984): Contribution of raman scattering to upward irradiance in the sea. *J. Oceanog. Soc. Japan.* 40, 397-404.
- Sugihara, S., M. Kishino and N. Okami (1985): Correlation of chlorophyll concentration and suspended solids with near-surface upward irradiance within Landsat bands 4, 5 and 6. *ibid* 41, 81-88.
- Uda, M. (1934): 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. (1936): 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.* 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.
- Yang, Y. R. (1982a): Optical properties of sea water in the western channel of the Korea Strait. *Bull. Korean Fish. Soc.* 15(2), 171-177.
- Yang, Y. R. (1982b): Optical properties of sea water in the southern sea of Korea. *Bull. Korean Fish. Tech. Soc.* 18(2), 63-69.