

海水의 光學的 性質에 關한 研究

—日本 東京灣入口 (2)—

梁 龍 林

釜山水產大學

(1986년 5월 12일 수리)

Optical Properties of Sea Water

—Entrance of Tokyo Bay, Japan (2)—

Yong-Rhim YANG

National Fisheries University of Pusan

(Received May 12, 1986)

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

The observation of surface irradiance and underwater irradiance of sea water for eight kind of wavelength (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 0.245 (0.042~0.776) and the attenuation coefficient of the sea water for wavelength appeared such as 0.227 for 378 nm, 0.186 for 422 nm, 0.175 for 481 nm, 0.176 for 513 nm, 0.185 for 570 nm, 0.337 for 621 nm, 0.321 for 653 nm, 0.348 for 677 nm.

The transparency was 7.0 m (5.5~9 m), water color was 10 (8.0~13.0) in the study area and the sun altitude was 60.95° (43.61°~75.50°).

The relationship between attenuation coefficient (K) and transparency (D) was $K=2.63/D$ (1.28/D~4.87/D).

The rate of light penetration for eight kind of wavelength (378, 422, 481, 513, 570, 621, 653, 677 nm) were computed with reference to the surface light intensity respectively. The mean rate of light penetration in proportion to depths were 68.63% (46.02~86.07%) in 1 m layer, 18.40% (2.07~48.48%) in 5 m layer, 4.82% (0.042~22.30%) in 10 m layer and 1.35% (0.011~7.42%) in 20 m layer. The rate of light penetration at the transparency layer with reference to the surface light intensity was shown as 10.39% (0.77~27.46%).

緒 論

海洋光學分野의 研究는 物理的인 面뿐만 아니라 生物 및 化學的인 面에서도 중요한 의의를 갖는다. 이 分野의 研究를 海域別로 보면, 外洋에 대하여서는 Jerlov (1951)을 비롯하여 Duntley (1963), Mats-

uike (1969, 1973), Kampa (1970), Matsuike *et al.* (1979), Smith *et al.* (1973), Matsuike and Morinaga (1977), Yang (1977a, b) 등이 발표한 바 있고, 沿岸 및 内灣에 대해서는 Uda (1934, 1936), Sasaki *et al.* (1975), Yang (1975, 1976, 1978a, b, 1980, 1981, 1982a, b), Morel (1978), Okami *et al.* (1982),

Kishino *et al.* (1984), Sugihara *et al.* (1984, 1985), Matsuike *et al.* (1985), Yang and Matsuike (1985) 등이 보고한 바 있다.

東京灣入口는 세계에서 굴지의 港灣都市인 東京 주변에서 流入되는 河川水, 都市 및 工場廢水 등이 東京灣에 流入되었다가 外海로 流出되는 重要한 海域이다. 이 海域의 海洋學의 特性을 여러 分野에서 조사하고 있는 실정이나, 本研究에서는 海洋光學的의 面에서 조사하여, 1985년 4월 (Yang and Matsuike, 1985)에 이어 1986년 6월에 조사한 것을 보고 하고자 한다.

끝으로 본 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 松生治教授, 高橋正先生, 森永勤先生께 感謝의 意를 表합니다.

材料 및 方法

본 조사는 1985년 6월에 日本 東京灣入口의 7개 觀測點에서 太陽光의 8가지 波長에 대한 海水의 表面照度 및 水深別 水中照度, 水色, 透明度, 太陽高度 등을 관측하였는데 觀測點의 位置는 Fig.1과 같다.

觀測船舶, 觀測器機 및 方法은 Yang and Matsuike (1985)가 이용한 것과 동일하다.

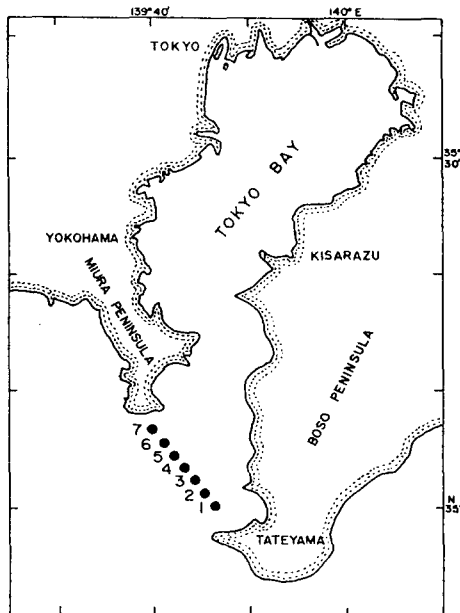


Fig.1. The station for optical observation.

結果 및 考察

1. 透明度와 水色

東京灣 入口의 7개 觀測點에서 조사된 透明度와 水色은 Fig.2와 같다.

조사기간인 1985년 6월에 관측된 透明度는 최소 5.5 m (St.3, 7), 최대 9 m (St.1)였고, 平均透明度는 7 m로서 釜山近海의 3.8 m, 4.7 m (Yang, 1975, 1976) 및 韓國南海沿岸의 5.3 m (Yang, 1978 a) 보다 높았으며, 東海北東海域의 19.8 m (Yang, 1977 a), 北西太平洋의 10.6 m (Yang, 1977 b), 濟州道近海의 15.8 m (Yang, 1978 b), 濟州道北西海域의 16.1 m (Yang, 1981), 大韓海峽의 18.3 m (Yang, 1982 a), 韓國南海의 17.1 m (Yang, 1982 b) 및 日本東京灣入口의 7.2 m (Yang and Matsuike, 1985) 보다는 낮았다. 調查地點別로는 房總半島쪽의 透明度가 三浦半島쪽 보다 높은 경향을 보여 4월의 경우 (Yang and Matsuike, 1985)와 비슷하였다.

한편, 水色은 최소 8 (St.2, 3), 최대 13 (St.7)였고 平均水色은 10으로서 淸州近海의 6.6 (Lim, 1975), 韓國南海沿岸의 5.75 (Yang, 1978a), 濟州道近海의 3.38 (Yang, 1978 b), 淸州道北西海域의 4.3 (Yang, 1981), 大韓海峽의 3.5 (Yang, 1982 a) 및 韓國南海의 3.9 (Yang, 1982 b) 보다 낮았으나, 1985년 4월에 조사된 본 海域의 9 (Yang and Matsuike, 1985)보다는 약간 높았다. 調查地點別로는 房總半島쪽 (St.1,2,3,4)이 三浦半島쪽 (St.5,6,7)보다 높아 4월의 경우 (Yang and Matsuike, 1985)와 같은 경향을 보였다.

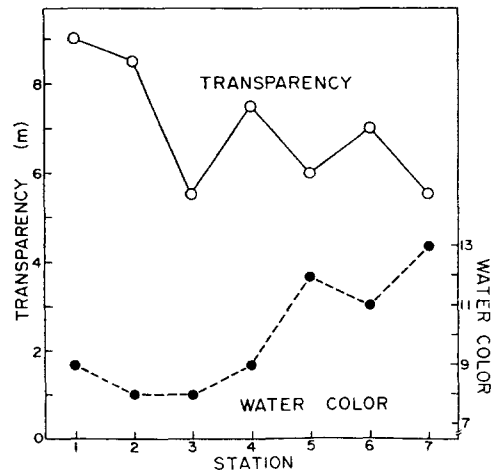


Fig.2. Transparency and water color.

2. 海水의 消散係數

본 調査海域의 7個 觀測點에서 조사된 太陽光線의 8가지 波長에 대한 海水의 消散係數는 Table 1과 같다.

조사기간중에 관측된 海水의 消散係數는 최소 0.042 (St. 7, 20~30 m 層, 513 nm), 최대 0.776 (St. 3, 0~10 m 層, 653 nm)였고, 平均消散係數는 0.245 로서 釜山近海의 0.413, 0.355 (Yang, 1975, 1976), 韓國南海沿岸의 0.578 (Yang, 1978 a) 및 東京灣入口의 0.300 (Yang and Matsuike, 1985)보다 작았으나 濟州道近海의 0.112 (Yang, 1978 b) 및 활멸치漁場의 0.210 (Yang, 1980)보다는 컸다. 波長別 海水의 消散係數는 378 nm 인 경우 0.227 (0.066~0.540), 422 nm 인 경우 0.186 (0.064~0.493), 481 nm 인 경우 0.175 (0.074~0.470), 513 nm 인 경우 0.176 (0.042~0.502), 570 nm 인 경우 0.185 (0.081~0.393), 621 nm 인 경우 0.337 (0.136~0.601), 653 nm 인 경우 0.321 (0.139~0.776), 677 nm 인 경우 0.348 (0.125~0.696) 였는데, 481 nm 의 消散係數가 가장 작았고 677 nm 의 消散係數가 가장 컸다. 調査地

點別로는 St. 2의 平均消散係數가 0.178로서 가장 작았고 St. 5가 0.315로서 가장 컸다.

한편, 7個 觀測點 모두 上層과 下層의 消散係數가 서로 다른層을 이루었는데 下層보다 上層의 消散係數가 항상 더 컸다.

透明度 D 와 海水의 消散係數 K 와의 관계는 自然光에 대해서는 $K=1.7/D$ (Poole and Atkins, 1929) 인데, 본 海域에서 조사된 8가지 波長에 대해서는 平均 $K=2.63/D$ 로서 自然光에 대하여 조사된 釜山近海의 $K=1.57/D$, $K=1.67/D$ (Yang, 1975, 1976), 韓國南海沿岸의 $K=1.70/D$ (Yang, 1978 a), 濟州道近海의 $K=1.71/D$ (Yang, 1978 b), 활멸치漁場의 $K=1.70/D$ (Yang, 1980) 및 東京灣入口의 $K=2.61/D$ (Yang and Matsuike, 1985)보다는 컸다. 波長別로는 570 nm(黃綠)가 $K=1.91/D$ 로서 가장 작았으며 677 nm(赤)가 $K=3.70/D$ 로서 가장 커서 4월의 경우 (Yang and Matsuike, 1985)와 같은 경향을 나타냈다. 調査地點別로는 三浦半島쪽의 St. 7이 $K=1.98/D$ 로서 가장 작았으며 St. 6이 $K=3.52/D$ 로서 가장 컸다.

Table 1. Spectral irradiance attenuation coefficient (K)

St. No.	Depth (m)	Wavelength (nm)							
		378	422	481	513	570	621	653	677
1	0-10	0.320	0.260	0.228	0.246	0.250	0.434	0.433	0.490
	10-20	0.187	0.172	0.146	0.149	0.170	0.369	0.393	0.286
	20-30	0.125	0.111	0.105	0.099	0.110	0.136	0.158	0.188
2	0-10	0.221	0.168	0.150	0.151	0.175	0.356	0.391	0.419
	10-20	0.139	0.105	0.110	0.099	0.125	0.291	0.294	0.270
	20-30	0.066	0.080	0.075	0.055	0.081	0.174	0.153	0.125
3	0-10	0.392	0.347	0.279	0.502	0.364	0.485	0.776	0.545
	10-30	0.081	0.064	0.092	0.072	0.105	0.345	0.139	0.276
4	0-10	0.283	0.237	0.188	0.176	0.202	0.403	0.456	0.478
	10-30	0.122	0.109	0.074	0.118	0.133	0.290	0.266	0.297
5	0-10	0.540	0.493	0.458	0.461	0.340	0.534	0.555	0.565
	10-30	0.233	0.163	0.164	0.142	0.224	0.327	0.275	0.281
6	0-10	0.533	0.436	0.470	0.396	0.393	0.601	0.495	0.696
	10-30	0.250	0.135	0.160	0.132	0.101	0.197	0.225	0.249
7	0-10	0.341	0.313	0.269	0.250	0.235	0.468	0.445	0.556
	10-20	0.155	0.150	0.142	0.149	0.187	0.293	0.245	0.286
	20-30	0.086	0.095	0.083	0.042	0.126	0.214	0.145	0.204

3. 太陽高度와 光의 海中透過率

東京灣入口의 7個 觀測點에서 觀측된 太陽高度는 최소 43.61° (St.7), 최대 75.50° (St.1)였고 平均 太陽高度는 60.95°였다 (Table 2).

본 조사기간중에 조사된 8가지 波長에 대한 下方 照度의 波長別 垂直分布는 Fig. 3과 같다.

일곱개 觀測點에서 조사된 太陽光의 平均海中透過 率은 水深 1 m 層에서 表面光의 68.63% (46.02~ 86.07%), 5 m 層에서 18.40% (2.07~48.48%), 10 m 層에서 4.82% (0.042~22.30%), 20 m 層에서 1.35% (0.011~7.42%)로서 釜山近海 (Yang, 1976) 및 北西太平洋 (Yang, 1977 b)보다는 다소 많은 透過 率을 나타냈고, 4월에 조사한 本 海域 (Yang and Matsuike, 1985)과는 비슷한 경향을 나타냈다. 波長 別로는 481 nm 인 光의 透過率이 비교적 많았으며 다음이 513 nm, 570 nm, 422 nm, 378 nm, 621 nm, 653 nm의 順이었고 677 nm의 透過率이 가장 적었다. 調查地點別로 볼때, St.2의 透過率이 가장 많았으며 다음이 St.4, St.1, St.7, St.3, St.5, St.6의 順으 로 적게 나타났다.

光의 海中透過率은 太陽高度 (Cox and Munk, 1956 ; Sasaki *et al.*, 1962)와 海水의 消散係數 (Clarke, 1936, 1941)에 밀접한 관계가 있는데, 本 調查地點 中 太陽高度는 거의 비슷하나 消散係數가 가장 작은 St.2 (71.54°, 0~10m 層의 消散係數 0.254, 10~20 m 層 0.179, 20~30 m 層 0.101)와 다소 큰 St.1 (75.50°, 0~10m 層의 消散係數가 0.333, 10~20 m 層 0.233, 20~30 m 層 0.129)의 太陽光線의 海中透過率을 비교 하면, 8가지 波長에 대하여 모두 St.2의 透過率이 더 많았는데 이것은 消散係數의 차이 때문이라고 생각 되며, 光의 海中透過에는 太陽高度보다 海水의 消散係數가 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 10.39% (0.77~27.46%)로서 韓國南海沿岸의 17.77 % (Yang, 1978 a), 濟州道近海의 14.45% (Yang, 1978 b) 및 활멸치漁場의 16.18% (Yang, 1980)보다 는 적었고 東京灣入口의 9.91% (Yang and Matsuike, 1985) 보다는 많았다. 波長別로는 378 nm 인 光의 경우 表面光의 9.44%, 422 nm 인 경우 13.31%, 481 nm 인 경우 17.10%, 513 nm 인 경우 15.64%, 570 nm 인 경우 16.50%, 621 nm 인 경우 4.55%, 653 nm 인 경우 3.67%, 677 nm 인 경우 2.95%였는데, 677 nm 인 光의 透過率이 가장 적었고 481 nm 인

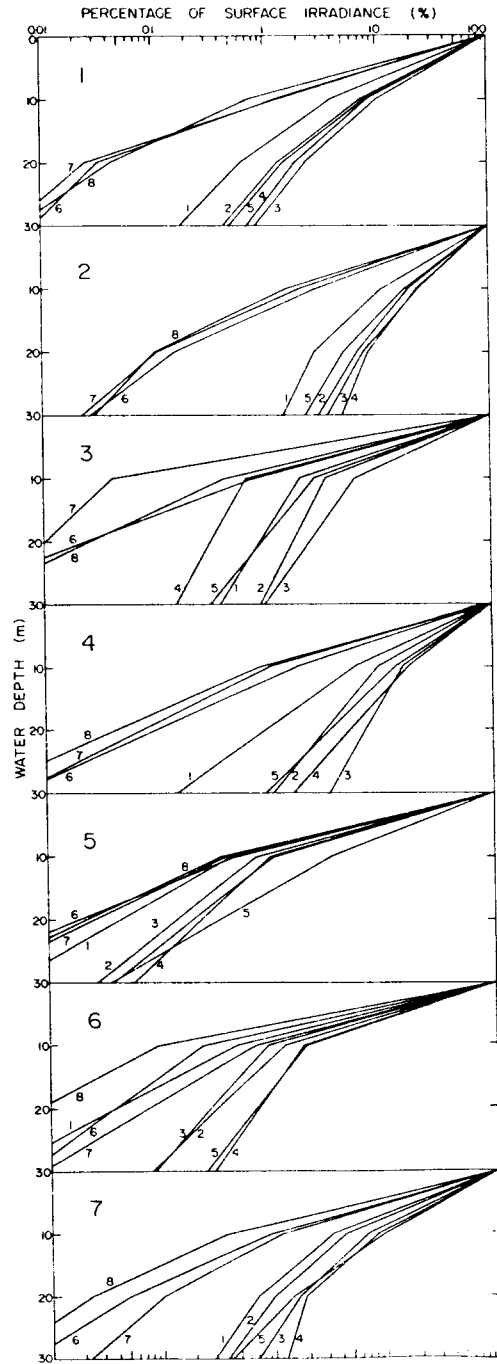


Fig. 3. Vertical distribution rate (%) of downward irradiance at different wavelength.
1:378 nm, 2:422 nm, 3:481 nm, 4:513 nm,
5:570 nm, 6:621 nm, 7:653 nm, 8:677 nm

Table 2. Penetration rate of surface irradiance in the transparency layer (*D*) and sun altitude

St. No.	<i>D</i> (m)	Wavelength (nm)								Sun altitude
		378	422	481	513	570	621	653	677	
1	9	5.61	9.63	12.85	10.93	10.54	2.01	2.03	1.22	75.50°
2	8.5	15.28	23.98	27.94	27.71	22.59	4.85	3.60	2.84	71.54°
3	5.5	11.58	14.83	21.56	6.32	13.51	6.94	1.40	4.99	67.39°
4	7.5	11.97	16.91	24.41	26.71	21.98	4.87	3.27	2.77	62.30°
5	6	3.92	5.19	6.41	6.29	13.00	4.06	3.58	3.37	55.79°
6	7	2.40	4.73	3.73	6.25	6.39	1.49	3.13	0.77	50.54°
7	5.5	15.33	17.88	22.78	25.28	27.46	7.62	8.65	4.70	43.61°

광의 투과율이 가장 많았다. 調査地點別로는 St. 6의 투과율이 3.61%로서 가장 적었으며 다음이 St. 5의 5.73%, St. 1의 6.86%, St. 3의 10.14%, St. 4의 14.11%, St. 2의 16.10%, St. 7의 16.21%의 順으로 많았다.

要 約

東京灣入口에서의 海水의 光學的 性質을 조사하기 위하여, 1985年 6월에 東京灣入口의 7個 觀測點에서 透明度, 水色, 太陽高度 및 太陽光의 8가지 波長 (378, 422, 481, 513, 570, 621, 653, 677 nm)에 대한 海水의 水中照度등을 조사한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 본 調査海域의 透明度는 7 m (5.5~9 m)였고, 水色은 10 (8~13)이었다.
2. 海水의 平均消散係數는 0.245 (0.042~0.776)였고, 波長別로는 677 nm 가 0.348, 621 nm 가 0.337, 653 nm 가 0.321, 378 nm 가 0.227, 422 nm 가 0.186, 513 nm 가 0.176, 481 nm 가 0.175의 順으로 작게 나타났다.
3. 海水의 消散係數 *K*와 透明度 *D*와의 관계는 $K=2.63/D$ 였다.
4. 太陽高度는 60.95° (43.61°~75.50°)였다.
5. 太陽光線의 表面光에 대한 平均海中透過率은 水深 1 m 層에서 68.63%, 5 m 層에서 18.40%, 10 m 層에서 4.82%, 20 m 層에서 1.35%로 나타났다.
6. 透明度層에서의 太陽光線의 海中透過率은 表面光의 10.39% (0.77~27.46%)였고, 677 nm의 光이 2.95%로서 가장 적었으며 481 nm의 光이 17.10%로서 가장 많았다.

文 獻

Clarke, G. L. (1936): The reflection and absorption

of daylight at the surface of ocean. J. Opt. Soc. Am. 26, 111-120.

Clarke, G. L. (1941): Observations on transparency in the southwestern section of the North Atlantic Ocean. J. Mar. Res. 4, 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.

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, 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, 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 particlesize distribution in the Kuroshio area. *ibid* 15, 82-93.

Matsuike, K., Y. Nakamura and M. Haga (1979):

海水의 光學的 性質에 關한 研究

- Aerial and submarine spectral solar energy distributions and optical characteristics of the waters in Bering Sea during summer. *ibid* 17, 1—10.
- Matsuike, K., T. Morinaga and T. Miyazawa (1985): Studies in oceanic remote sensing. J. Tokyo Univ. Fish. 72, 111—125.
- 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(Ⅲ). J. Oceanog. Soc. Japan, 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, 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. (1977 a): Optical properties of sea water in the Japan Sea. Bull. Korean Fish. Soc. 10, 173—177.
- Yang, Y. R. (1977 b): Optical properties of sea water in the Northwest Pacific, *ibid*. 10, 237—241.
- Yang, Y. R. (1978 a): Optical properties of sea water (IV). Bull. Korean Fish. Tech. 14, 37—41.
- Yang, Y. R. (1978 b): 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, 95—101.
- Yang, Y. R. (1981): Optical properties of sea water in the northwestern waters of Jeju Island. Bull. Korean Fish. Tech. Soc. 17, 53—58.
- Yang, Y. R. (1982 a): Optical properties of sea water in the western channel of the Korea strait. Bull. Korean Fish. Soc. 15, 171—177.
- Yang, Y. R. (1982 b): Optical properties of sea water in the southern sea of Korea. Bull. Korean Fish. Tech. Soc. 18, 63—69.
- Yang, Y. R. and K. Matsuike (1985): Optical properties of sea water. Entrance of Tokyo Bay, Japan(1). Bull. Korean Fish. Tech. Soc. 21, 105—111.