

해수의 광학적 성질에 관한 연구 (I)

부산근해의 하계 및 추계 변화

양 용 립*

Optical Properties of Sea Water

1. Variation of the optical properties of the coastal sea water near Busan in Summer and Autumn.

Yong Rhim YANG*

Abstract

The optical properties of the sea water were studied by use of underwater lux-meters in the coastal waters of Busan from May to November 1975.

The absorption coefficient of the sea water in the area ranges from 0.169 to 1.049 and the mean absorption coefficient is 0.413. Maximum monthly mean absorption coefficient (0.56) was observed in August, while the minimum was 0.338 in September.

There was a distinct discontinuity layer of the absorption coefficient in accordance with the thermocline and the halocline in summer.

The mean transparency of the area was 3.8 meters, and transparency in autumn was higher than that in summer.

The relation between absorption coefficient (m) and transparency (D) was deduced, $m=1.57/D$.

The rate of light penetration at 5 m-layer of sea water was 2.5 percent when the solar altitude was six degree in July 1975.

서 론

의양해수의 광학적 성질에 대한 연구는 여러 학자들(Duntley 1963; Jerlov 1951, 1968; Waterman and Wesell 1956)에 의해 발표 되었으며, 수괴의 성질에 대한 연구(Fuglister 1960; Kawai 1972)도 많다.

우리나라 연근해에 대해서는 투명도와 수색에 대한 연구(Uda 1936; Hahn 1968; Lim 1975)가 있지만, 주로 해수의 상층에 대한 조사였고, 저층에 대한 조사는 이루어지지 않았다.

연안수는 강우량, 하천수의 유입, 도시 및 공장폐수 등으로 해수의 광학적 성질은 복잡하게 변한다. 특히 부산 근해는 서쪽에 낙동강이 있고 동북쪽에 수영강이 위치하고, 그 중앙에 도시 및 공장들이 위치하고 있어서 해수의 광학적 성질은 복잡하게 전개 될 것으로 생각된다.

본고에서는 부산 근해의 연안수의 광학적 성질을 조사하고, 또 수괴의 성질을 밝혀 해수의 광학적 성질과의 관계등을 고찰하여 집어등 어업 및 양식업에의 이용과 해양광학의 기초자료를 제공하는데 기여하고자 한다.

* 부산수산대학, National Fisheries University of Busan

자료 및 방법

본 조사는 1975년 5월 부터 11월 사이에 부산 근해의 수영만 및 부산항 부근의 8개 관측점에서 월별로 해수의 표면 및 수중조도, 태양고도, 수온, 염분, 투명도 등을 관측하였다.

관측선박은 20톤급 자산호를 사용하였으며 관측점의 위치는 Fig. 1과 같다.

해수의 표면조도의 측정은 Toshiba의 No. 5호형 조도계를 사용하였으며, 수중조도를 측정하고 있는 동안 계속 관측하여 날씨에 따른 표면 조도의 변화에 대응시켰다.

수중조도는 Toshiba의 No. 9호형 수중조도계를 사용하여 수심 1m의 간격으로 측정하였고, 측정수심 범위는 0~20m이다.

흡수계수는 관측된 수심별 수중조도로서 구하고, 흡수계수가 서로 다른 범위를 선정하고, 표면조도에 대한 수심별 수중조도의 백분율을 산출하였다.

태양고도의 측정은 Sextant로서 현장에서 직접 측정하였고, 한편 관측시각 및 위치를 조사하여 천측력(태양적위)과 계산고도방위각표(H. O. 214 table)에 의하여 태양고도를 산출하여 Sextant에 의한 측정값과 비교하였다.

수온은 봉상온도계와 Rigosha의 T-S Bridge 및 thermistor 온도계로서 수심별로, 염분은 Rigosha의 T-S bridge로서 수심별로 측정하였다. 투명도는 직경 30cm의 투명도판을 사용하였다

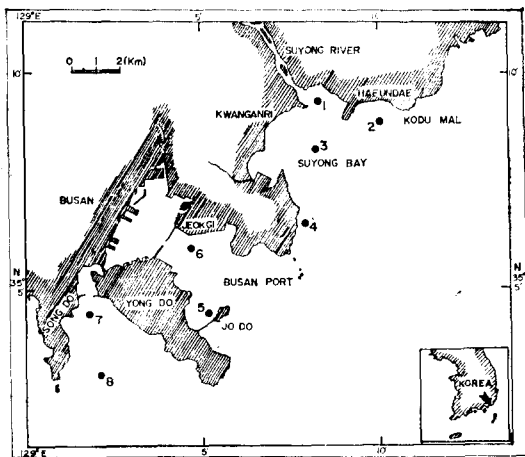


Fig. 1. Stations of observation in Suyong Bay and Busan Harbor.

결과 및 고찰

1. 해수의 흡수계수

하계에서 추계에 걸쳐 8개의 관측점에서 조사한 해수의 흡수계수는 Fig. 2 및 Table 1과 같다. 조사기간인 1975년 5월부터 11월 까지 관측된 흡수계수는 최소 0.169(9월 5-15m층), 최대 1.049 (8월1-10m층)였고, 평균흡수계수는 0.413이었다. 각 지점별로는 수영만의 St. 1이 평균흡수계수가 0.585로서 가장 컸으며 St. 4에서의 0.306이 가장 작았다.

계절별로 볼때는 하계인 8월이 0.56으로 가장 컸으며 추계인 9월이 0.338으로 가장 작았다. 특히 평균 흡수계수가 가장 큰 St. 1은 연간 수영강의 공장폐수가 다량 유입되는것이 큰 원인이라고 볼수 있다. 한편 St. 4의 흡수계수가 가장 작은것은 위치적으로 연안 오염수의 영향을 가장 적게 받고 있기때문이라고 볼수 있다.

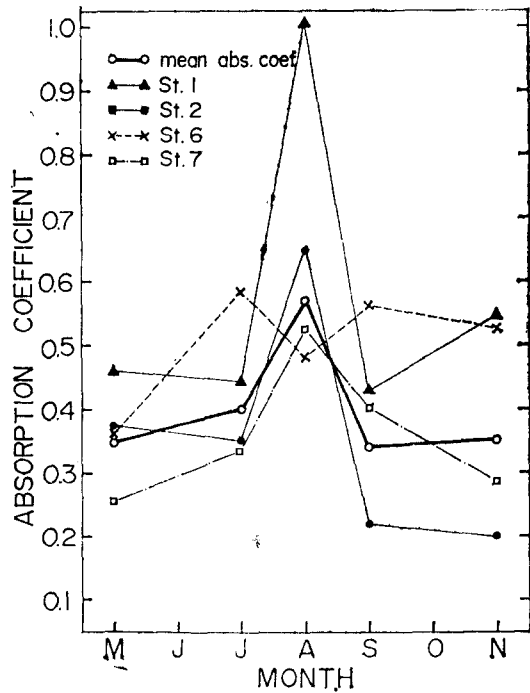


Fig. 2. Monthly variation of absorption coefficient.

수영만의 St. 1, 3, 4에서의 평균흡수계수는 수영강에서 멀어짐에 따라 감소하며, 11월을 제외하고는 항상

Table 1. Absorption coefficient and transparency of sea water at each stations.

St. No.	Date	Depth (m)	Absorp. coeff.	Transp-arency (m)	Solar altitude	St. No.	Date	Depth (m)	Absorp. coeff.	Transp-arency (m)	Solar altitude
1	May	8 0—3	0.818	1.5	67°	2	May	8 0—8	0.404	4	63°
		3—10	0.305					8—15	0.338		
	July	18 0—3	0.658	2	6°		July	18 0—4	0.501	3	Sun set
		3—10	0.35					4—15	0.297		
	Aug.	14 0—10	1.049	2	69°		Aug.	14 0—6	0.504	3	63°
Sep.	25 0—5	0.481	6—15			0.742					
5—10	0.375	3.5	50°	Sep.	25 0—5	0.319	6	45°			
5—10	0.596	3	26°	5—15	0.169						
Nov.	28 0—5	0.493	3	26°	Nov.	28 0—5	0.228	6.5	24°		
5—10	0.596	5—15			0.192						
3	May	8 0—15	0.26	5	82°	4	May	8 0—20	0.282	5.4	72°
		July	18 0—4					0.51	3		
	4—15	0.306	5—20	0.312							
	Aug.	14 0—15	0.798	2.5	68°		Aug.	14 0—20	0.42	3.5	68°
	Sep.	25 0—15	0.239				5	49°	Sep.		
Nov.	28 0—4	0.37	3.8	32°	Nov.	28 0—5	0.336	4	34°		
4—8	0.257	5—12			0.27						
8—15	0.432	12—20	0.312								
5	May	8 0—8	0.582	3	68°	6	May	8 0—5	0.485	3.5	65°
		8—14	0.221					5—11	0.26		
	July	18 0—7	0.571	2.5	30°		July	18 0—3	0.814	2	34°
		7—14	0.41					3—11	0.497		
	Aug.	14 0—4	0.676	2	63°		Aug.	14 0—4	0.651	2.5	56°
Sep.	25 0—14	0.297	4—11			0.385					
Nov.	28 0—5	0.57	7	34°	Sep.	25 0—6	0.469	4	53°		
5—10	0.363	6—11			0.641						
10—14	0.573	7—11	0.27								
7	May	8 0—15	0.255	5.5	58°	8	May	8 0—18	0.35	4.5	56°
		July	18 0—3					0.714	2		
	3—15	0.237	4—18	0.232							
	Aug.	14 0—15	0.523	3	39°		Aug.	14 0—18	0.448	3	47°
	Sep.	25 0—10	0.358				5	38°	Sep.		
10—15	0.495	4.6	31°	10—18	0.409						
Nov.	28 0—15	0.285	4.6	31°	Nov.	28 0—5	0.434	2.8	34°		
5—18	0.356										

상층의 흡수계수가 하층 보다 크거나 같았다.

해운대 해수욕장 부근인 St. 2에서의 평균흡수계수는 0.359로서 St. 4 다음으로 작았으나, 8월만은 상층보다 하층의 흡수계수가 컸다. 이것은 해운대 해수욕

장의 저층이 인위적으로 교란되어 생긴 현탁물질이 저층으로 확산한 영향으로 간주된다. 부산항 입구인 St. 5, 6에서의 평균흡수계수를 비교하면 부산항에서 멀어짐에 따라 감소하였으며, 9월만이 St. 6에서 하층이

상층보다 크다.

본 조사지점을 대략 수영강의 수영강 입구지역(St. 1, 3), 부산항 입구지역(St. 5, 6)과 남항 입구지역(St. 7, 8)으로 크게 나누어 볼때, 수영강 입구 지역의 평균 흡수 계수가 가장 크며, 부산항 입구가 다음이고, 남항 입구가 가장 작았다. 이것은 부산항내의 혼탁해수가 부산항 입구 쪽으로 유출되는 양이 많기 때문이다.

수온 및 염분의 연직분포(Fig. 3)를 보면 담수 유입량이 많은 여름(7, 8월)에는 수온 및 염분 약층이 형성되는 바 (Kawal 1972; Fuglister and Voorhis 1965), 7월 St. 1의 경우 표층(3m 미만)의 흡수계수는 0.658이 있으나, 하층(3m 이하)은 현저히 적어 0.35에 불과하였다.

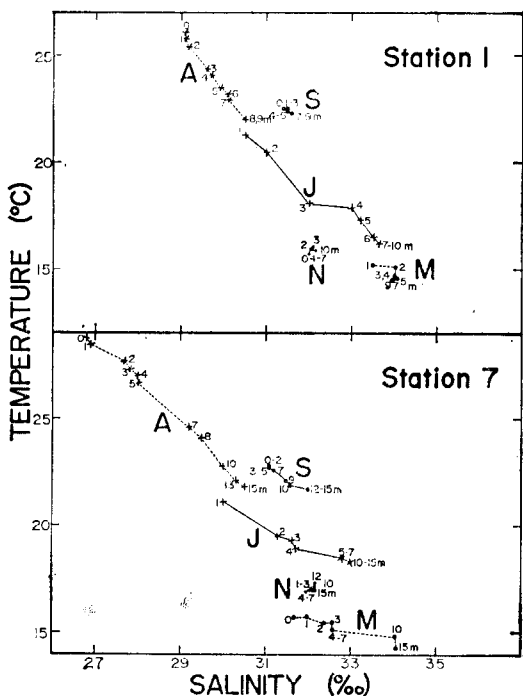


Fig. 3. Vertical distribution of salinity-temperature. (M; May, J; July, A; Aug., S; Sep., N; Nov.)

2. 투명도

부산근해의 8개 관측점에서 5월 부터 11월 사이에 조사한 조사지점별 투명도는 Table 1 및 Fig. 4와 같

다. 각조사지점별로 볼때 수영강 입구인 St. 1이 평균투명도가 2.4m로서 가장 낮고, St. 4에서의 5.81m가 가장 높다. 월별로 볼때 평균투명도는 7월이 2.5m로서 가장 낮으며 9월이 5.5m로서 가장 높고, 조사기간 중 평균 투명도는 3.8m로서 충무부근의 평균투명도인 4.3m(Lim 1975)보다 낮았다.

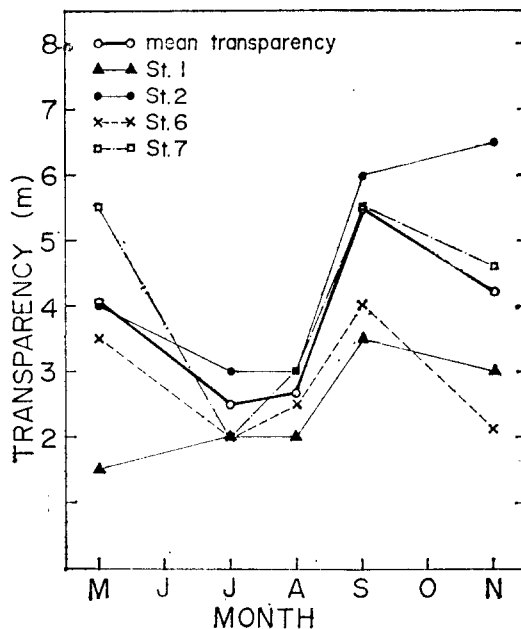


Fig. 4. Monthly variation of transparency.

수영강 입구, 부산항 입구, 남항 입구의 3 지역으로 나누어 볼때, 평균투명도는 수영강 입구지역(St. 1, 3)이 가장 낮으며, 부산항 입구(St. 5, 6)가 다음이고, 남항 입구(St. 7, 8)가 가장 높다.

해운대 해수욕장 부근인 St. 2는 평균투명도가 가장 높은 St. 4 다음으로 높으나, 하계인 7, 8월의 경우 투명도가 3m로서 조사 기간중 가장 낮게 나타났다. 이것은 일반적으로 다른지점도 동일하게 하계에 투명도가 낮아지고 있는것과 같은 경향으로서, 하계에 강우량의 증가로 인한 하천수의 유입이 많고 특히 이 지역의 해수욕객으로 인한 부유현탁물의 증가 등이 원인인것 같다.

투명도 D 와 흡수계수 m 와의 관계는 Clarke (1936, 1941)의 보고에 의하면 $m=1.7/D$ 로 표시되는데 본 조사결과는 $m=1.57/D$ 로서 거의 일치 함을 보였다.

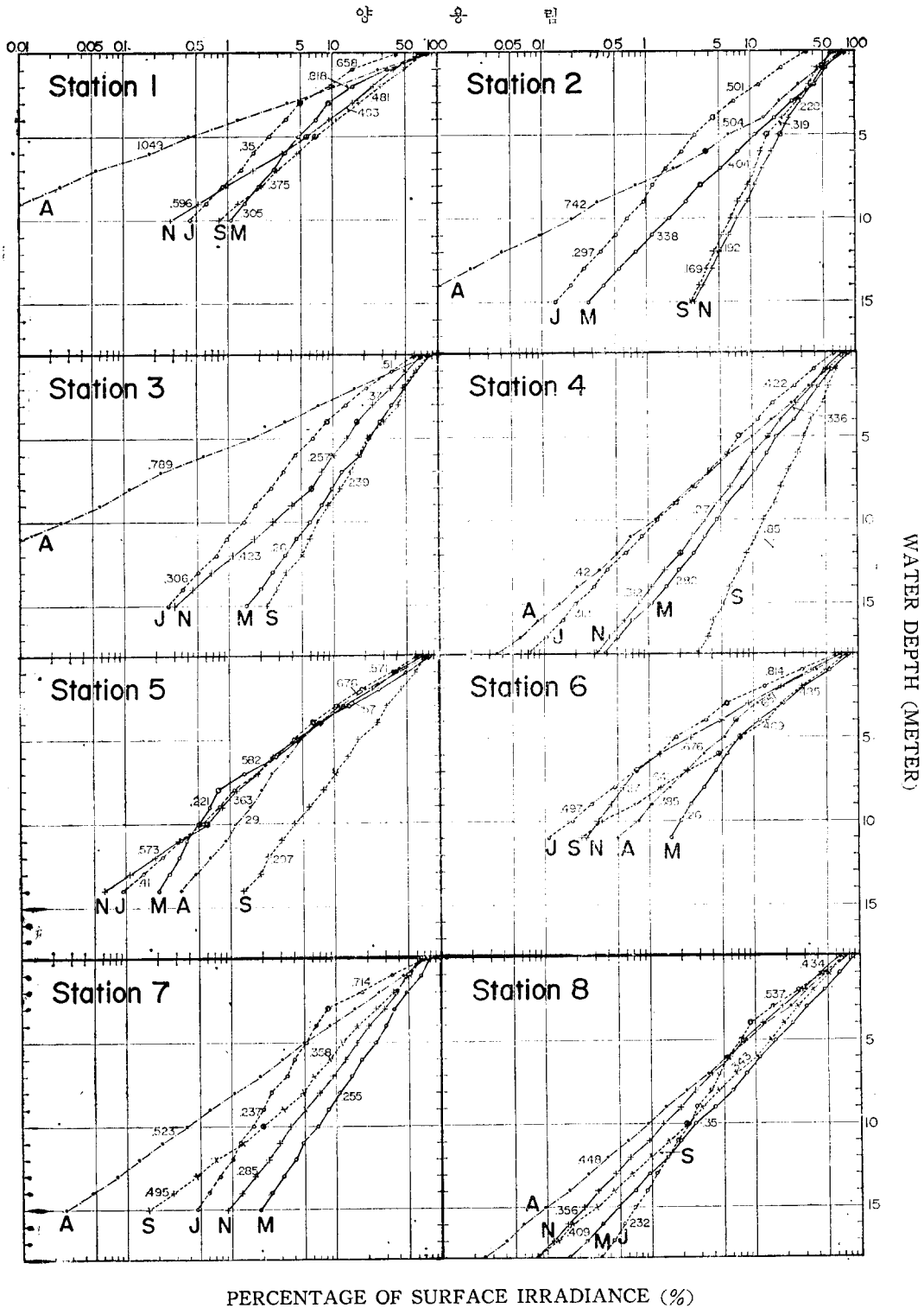


Fig. 5. Vertical distribution of downward irradiance in percent of surface irradiance at each stations. (M; May, J; July, A; Aug., S; Sep., N; Nov.)

3. 태양고도와 태양광선의 투과율

각 조사지점에서의 월별, 수심별로 태양광선의 투과율을 조사한 결과는 Fig. 5과 같다.

빛의 투과율은 태양고도와 밀접한 관계가 있고 태양고도가 높으면 해면에서의 투과율이 크며, 태양고도가 낮아짐에 따라 줄어든다. (Cox and Munk 1956; Sasaki *et al.* 1962; Boden 1961).

Table 1 및 Fig. 5에서 7월의 St. 1, 2에서 태양고도가 극히 낮거나 일몰후에도 투과율이 상당히 큰 값을 나타내었다. St. 1의 경우 수심 5m에서의 7월(태양고도 6°)과 8월(태양고도 69°)의 투과율을 비교하면 8월이 0.42%인데 비해 7월이 2.5%로서 훨씬 컸다.

투과율의 월별분포를 보면 9월이 가장 높고 5, 11, 7, 8월 순으로 작아지며 흡수계수가 크고 투명도가 낮은 하계에 가장 작다. 따라서 집어등어업 및 양식 어업에 있어서, 수중에서의 빛의 효과는 하계에 비해 추체가 보다 효과적인 결과를 얻을 수 있다고 생각된다.

투과율은 대체로 계절에 따라 많은 차이를 보이나, 남향의 외항쪽인 St. 8만이 계절에 따른 변화가 작다. 이 St. 8은 St. 7보다 흡수계수가 크고 투명도가 낮고 또 수온 및 염분의 월별 변화폭이 큰 점 등을 감안할 때 이 지점(St. 8)은 낙동강에서 유입되는 하천수가 영향을 미치는 것으로 생각된다.

투과율은 흡수계수가 클수록 현저히 줄어들고 있다 (Clark 1936). 관측치 중에서 흡수계수가 가장 큰 St. 1의 8월의 흡수계수가 1.049인데, 이 때 수심 5m에서 표면광의 0.42% 밖에 투과되지 않는데 비해, 흡수계수가 가장 작은 St. 4의 9월의 흡수계수가 0.185인 경우 같은 수심에서 표면광의 31.3%의 높은 투과율을 보였다.

이상의 결과로서 집어등어업 및 양식어업에서 수중에서의 빛의 효과를 조사하려면 간단하게 투명도만을 측정하여 흡수계수를 산출, Fig. 5에 적용하므로써 수중에서의 빛의 효과를 추정 할 수 있다.

요 약

1975년 5월부터 11월 사이에 수영만 및 부산항 부근 연안수의 광학적 성질을 조사한 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 부산 근해의 흡수계수는 0.169~1.049 (평균 0.413)이며, 월별 평균 흡수계수는 8월에 최대(0.56), 9월이 최소(0.338)이다. 평균 흡수계수는 수영만, 부산항 입구, 남향 입구 순으로 작다.

2. 평균 투명도는 3.8m로 10m를 넘지 못했으며 하계에 비해 추체가 높았다.

3. 흡수계수 m 과 투명도 D 와의 관계는 $m=1.57/D$ 으로 나타났다.

4. 수온 및 염분 약층이 형성되는 경우 상하층간의 흡수계수는 뚜렷한 차를 보였다.

5. 태양고도가 극히 낮거나 일몰 후에도 빛의 투과율은 상당히 높은 값을 나타냈다.

6. 남향 입구의 경우, 내항쪽(St. 7) 보다 외항쪽(St. 8)이 하천수의 영향을 더 받는 것으로 나타났다.

사 사

본 연구를 위하여 학술연구 조성비를 지급해 주신 문교부에 사의를 표합니다.

문 헌

- Boden, B. P. (1961): Twilight irradiance in the sea. I. U. G. G. Monography 10, 96—101.
- Clarke, G. L. (1641): Observations on transparency in the southwestern section of the north Atlantic Ocean. J. Mar. Res. 4(1), 221—230.
- Clarke, G. L. (1936): The reflection and absorption of day light at the surface of Ocean. J. Opt. Soc. Am. 26(3), 111—120.
- Cox C., and W. Munk (1956): Slopes of the sea surface deduced from photographs of sun glitter. Bull. Scripps Inst. Oceanog. Univ. Calif. 6, 410—488.
- Duntley, S. Q. (1963): Light in the sea. J. Opt. Soc. Am. 53, 214—233.
- Fuglister, F. C. (1960): Atlantic Ocean atlas of temperature and salinity profiles and data from the International Geophysical Year 1957—1958. Woods Hole Oceanogr. Inst Atlas Series 1: ii+209.
- Fuglister, F. C. and A. D. Voorhis (1965): A new method of tracking the Gulf Stream. Limnol. Oceanogr. 10(Suppl.), 115—125.
- Hahn, S. (1968): The relationship between the water color and the transparency in the seas around Korea. Oceanol. Soc. Koc. Korea 3(2), 55—62.

- Jerlov, N.G. (1951): Optical studies of ocean water. Rept. Swedish Deep-Sea Expedition 3, 1-59.
- Jerlov, N.G. (1968): Optical oceanography. Elsevier Publ. Co. Amsterdam, 147. pp.
- Kawai, H. (1972): Hydrography of the Kuroshio Extension. in KUROSHIO(SY) 235-352.
- Lim, D.B. (1975): On the optical properties of coastal water near Chungmu. Bull. Tong-yeong Fish. Jr. Coll 10, 13-20.
- 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.
- R.O.K. Hydrographic office(1975): Nautical almanac. 90-232.
- Uda, M. (1936): Results of simultaneous oceanographic investigations in the Japan sea and its adjacent waters during October and November, 1933. J. Imp. Fish. Exp. Sta. Japan 7, 51-151.
- U.S. Navy Hydrographic office; Tables of computed altitude and azimuth. IV, 133-158.
- Waterman, T.H. and W.E. Wesell (1956): Quantitative effect of the sun's position on submarine light polarization. J. Mar. Res. 15, 149-169.