

마산만의 투명도 변동*

염말구[†] · 정연수

경상대학교

Variations of Secchi Depth in Coastal Water, Masan Bay in Korea*

Mal Gu YOUM[†] and Yun-Soo JUNG

Gyeong Sang University

Abstract

Masan Bay is one of the most heavily polluted bay in Korea owing to the large industrial complex and urban area. Water transparency, Secchi depth in meter, was observed 33 times totally at four sites during 1995 through 2002 and analysed statistically.

The range was 0.2~7.2m, mean 2.4m, and variation coefficient 60% in totally. Roughly speaking, monthly mean showed lower value April or July than other months. Seasonal mean showed lower in spring or summer than other seasons. Yearly mean was lowest in '95 and '98 during 7 years. Each sampling site showed a different patterns by the monthly, seasonal or yearly transparencies.

Inner bay area, S1 site, showed lowest transparency and highest variation coefficient owing to the streamlets and urban area. And it was supposed that one of the important factor affecting different transparency distribution of most seaward site, S4 site, among four sites in the Masan Bay may be the underwater effluents of urban sewage water treated.

Key words : Water transparency(투명도), Secchi depth(투명도판 깊이, 투명도), Transparency of Masan bay(마산만의 투명도), Seasonal variation of transparency(투명도의 계절변동), Coefficient of variance(변동계수)

서론

일반적으로 내만의 광학적 성질은 연안이나 외양과 다르고, 또 국지적으로 강한 특성을 나타내는 것으로 알려져 있다. 광학특성 중에서 투명도는 물의 맑음의 정도를 나타내는 지표로서 통상 세키 투명도판으로 측정된다. 투명도 측정은 제작과 관리가 쉽고 경제적인 특징을 가지므로, 오랜 기간동안 대부분의 수질관측의 기초항목으로 포함되어져 왔다.

(입, 1975; 입, 1978; Yajima, 1996; 조 등, 1998). 그러나 투명도 자료의 활용은 다른 항목들에 비해 상대적으로 적은 것 같다.

근래 투명도와 수중 광 및 클로로필과의 정량적 상관성에 관한 연구가 증가하고 있으며, 특히 근해의 투명도 자료는 위성에 의한 해양관측의 비교 지표로 그 활용이 증대하고 있다(Megard, 1989; Buttenvold, 1995; Sanden and Hakanssen, 1996; Jassby *et al.*, 1999).

* 이 연구는 2000년도 경상대학교 연구년제연구교수 연구지원비에 의하여 수행되었음.

[†] Corresponding author : markyou@gshp.gsnu.ac.kr

특히 마산만과 같은 오염이 심한 내만역에서의 투명도 변화는 지역성이 강하여 그 지역의 고유의 광산란 특성, 현탁물질량, 유기물질량 혹은 기초생물량 등이 복합적으로 반영되는 총합적인 수질환경 지표가 될 수 있을 것으로 생각된다.

이 논문은 1995년부터 2002년까지 마산만의 4개 정점에서 3~4개월 간격으로 관측된 투명도 자료에서 마산만 투명도의 변동 특성을 조사하여, 투명도를 마산만 수질환경 지표의 한가지로 활용하기 위한 기초 자료로 작성되었다.

재료 및 방법

관측지점은 Fig. 1에 나타낸 마산만의 4개 정점으로 수심은 12~15m이었다. S1은 마산만의 안쪽 타코마 조선소 전면에 있는 등부표 지점이고, S2는 돛섬 북쪽 수로에 있는 녹색 등부표 지점이며, S3은 등대섬(막개도) 부근이다. 그리고 S4는 덕동과 옥계부락 사이의 하수처리수 방류지역을 나타내는 황색부표 중 가장 바다쪽 부표 지점이다.

관측은 1995년부터 2002년까지 3~4개월에 1회씩 주로 10~14시에 직경 30cm의 백색 원판으로 관측하였다.

투명도의 변동은 평균과 변동계수(평균값에 대한 상대표준편차)의 변화로 파악하였으며, 각 정점간의 상관성 비교로 변동의 유사성을 조사하였다.

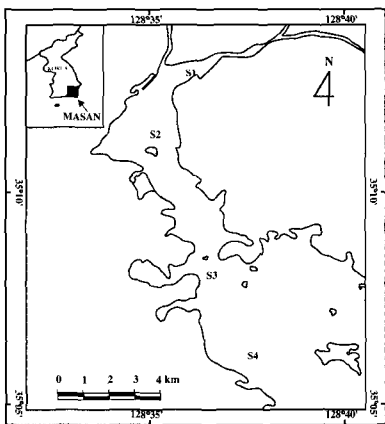


Fig. 1. Observation sites from S1 to S4 for measuring water transparency, Secchi disk depth in meters. The water depth of each sites were 12-15 meters.

결과 및 요약

1. 분포

조사 기간 중 4개 정점에서의 최저 투명도는 S1에서 0.2m이었으며, 최고는 S3과 S4에서 7.2m이었다 (Table 1). 평균치는 만의 안쪽인 S1에서 외해 쪽 S4로 갈수록 증가하고, 변동계수는 만의 안쪽에서 크고 외해 쪽에서 작은 경향을 보였다. 전체 투명도의 평균은 2.4m이었고 변동계수는 60%이었다. 이러한 수치는 상대적으로 내만성이 강하고 오염이 심한 S1 지역이 포함된 마산만의 평균 투명도가 진해만(최, 1993; 조 등, 1998)보다 낮고 변동이 심한 것을 알 수 있다.

Table 1. Transparencies, Secchi disk depth, in meters at four sites of Masan Bay shown in Fig. 1.

Date (mm-dd-yy)	Sites				Total
	S1	S2	S3	S4	
06-23-95	0.6	1.3	2.0	2.3	
08-25-95	0.4	1.5	2.0	3.5	
10-24-95	2.0	2.5	4.0	2.5	
01-26-96	2.8	3.2	3.5	3.8	
04-20-96	0.4	2.0	2.0	2.3	
08-21-96	0.8	2.1	2.1	2.2	
08-24-96	1.3	1.2	2.0	3.5	
10-26-96	3.0	3.0	4.5	3.5	
12-24-96	3.3	5.0	7.2	7.2	
03-28-97	1.7	3.0	4.5	4.3	
05-24-97	1.5	2.8	3.5	4.0	
07-31-97	0.7	1.1	2.4	4.5	
09-27-97	1.0	1.5	3.0	4.2	
11-28-97	2.0	4.2	6.0	4.0	
04-23-98	0.8	0.8	0.9	1.5	
05-28-98	0.5	1.0	1.2	1.6	
06-30-98	0.7	0.8	1.2	1.8	
07-29-98	0.5	1.5	2.2	2.2	
08-27-98	1.0	1.0	1.2	2.5	
09-25-98	1.5	2.4	4.0	5.0	
04-24-99	0.3	1.0	1.5	4.0	
06-04-99	1.2	1.0	2.0	2.7	
08-25-99	1.7	1.5	1.5	2.5	
10-28-99	2.7	3.5	5.0	4.0	
01-28-00	3.0	3.0	5.5	5.0	
03-31-00	2.0	2.5	3.0	2.5	
06-02-00	0.2	0.5	1.8	3.0	
07-28-00	0.7	0.5	1.5	1.5	
10-17-01	1.3	2.0	3.5	2.5	
01-23-02	2.2	2.3	4.8	4.8	
03-23-02	1.6	1.6	1.8	2.2	
06-02-02	1.1	2.4	3.0	2.1	
08-27-02	0.8	1.5	3.2	3.5	
N	33	33	33	33	132
Min.	0.2	0.5	0.9	1.5	0.2
Max.	3.3	5	7.2	7.2	7.2
Mean	1.37	1.98	2.95	3.23	2.38
STD	0.87	1.07	1.56	1.27	1.42
SE	0.15	0.19	0.27	0.22	0.12
CV	0.63	0.54	0.53	0.39	0.60

N indicates data numbers; STD standard deviation; SE standard error; CV coefficient of variation that is STD by mean

정점별로 나타낸 투명도의 도수분포(Fig. 2)에서 대부분 2~4 개의 모드를 나타내는 분포가 이 지역의 특성을 반영하고 있는 것으로 생각된다. 투명도가 1m 미만의 출현율은 S1에서 약 40%, S2에서 약 30%이었으며 S3과 S4에서는 나타나지 않았다. 전 관측의 25~75%점은 S1, S2, S3 및 S4에서 각각 0.6~1.8m,

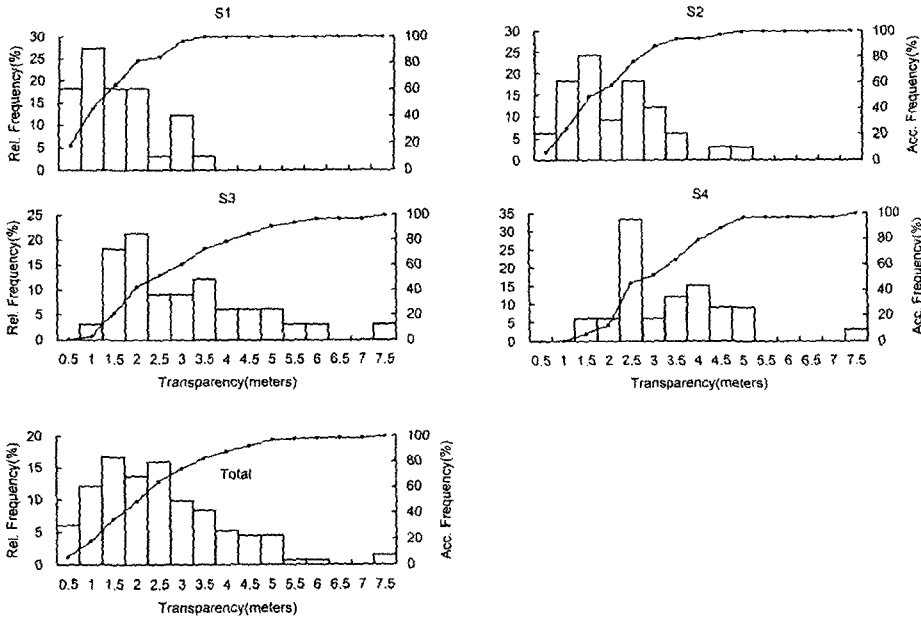


Fig. 2. Relative and accumulated relative frequencies of transparency at 4 sites in Masan Bay.

1.1~2.5m, 1.6~3.5m 및 2.2~3.7m이었고, 4 정점 전체의 경우에는 1.2~3.2m이었다(Fig. 2).

분포의 정규성은 자료를 대수 변환시킨 경우에 S1과 S2 및 S3의 경우에는 유의수준 5%에서 대수정규분포를 한다는 가설을 기각하기 어려웠으나, S4와 4 정점 전체의 경우에는 정규분포를 한다고 보기 어려웠다. 그런데 본 자료는 관측이 2~3달의 계절간격으로 행하여졌으므로, 무작위 표본이라고 간주하기 어려운 면이 있고 관측회수도 비교적 적어 분포의 정규성을 검토하는 것은 큰 의미가 없을 것으로 생각된다.

2. 변동

각 정점별 관측치를 월별, 계절별 및 연별로 평균치와 표준편차로 정리하여 Table 2에 나타내고, 각 평균치와 변동계수의 변화를 Fig. 3에 나타내었다.

월별 자료에서 2월에는 관측이 없었고 11월과 12월은 1회씩이었다. 투명도는 4월과 7월에 비교적 낮고 수층의 대류가 시작되는 10월 이후에 높게 나타나는 경향을 보였다. 그러나 S4에서는 10월과 11월이 9월보다 낮게 나타나 다른 정점과 구별되었다(Fig. 3. a). 월별 투명도에서 변동계수가 낮다는 것

은 매년 같은 달의 투명도가 유사한 수준을 유지하며, 계수가 크다는 것은 해에 따라 변화가 심하다는 의미로 이해된다. 전반적으로 월변동은 장소와 달에 따라 변화가 심하여, S1에서 변동이 가장 두드러지고 전 정점에서 1월과 9월 및 10월에 모두 낮은 경향을 보였다. 특히 4월의 투명도가 5월보다 작고 변동계수는 4개 정점 모두 5월이 4월보다 크게 나타났다(Fig. 3. b). 일반적으로 내만의 투명도는 강수로 인한 토사나 하천 오수의 유입량이나 적조의 영향을 가장 많이 받을 것으로 생각된다. 그런데 4월과 5월의 투명도 변화 요인은 거의 마산만 전역에 같은 수준으로 나타나며, 5월이 4월보다 경년 변동이 조금 큰 것을 알 수 있다. 그리고 S1은 만의 안쪽에 위치하고 있어 강수의 영향을 쉽게 받겠지만, 다른 정점에서는 강수로 인한 부유물질의 유입이 투명도에 그다지 크게 작용하지 않을 것으로 추측된다. 그러므로 4월과 5월에 나타나는 투명도 변화는 이 지역의 적조의 발생과 더 관련이 깊을 것으로 생각된다.

계절을 편리상 봄(3월~5월), 여름(6월~8월), 가을(9월~11월) 그리고 겨울(12월~2월)로 구분할 경우에, 투명도는 봄과 여름에 유사한 수준으로 낮고 가을과 겨울에 높은 경향을 나타내어(Table 2, Fig. 3. c),

마산만의 투명도 변동

Table 2. Monthly, seasonal and yearly variation of transparencies at four sites. The values are showed as mean \pm standard deviation. Spring is a season from March to May; summer from June to August; autumn from September to November and winter from December to February

Division		Data No.	S1	S2	S3	S4	Total
Month	January	3	2.67 \pm 0.42	2.83 \pm 0.47	4.60 \pm 1.01	4.53 \pm 0.64	3.66 \pm 1.11
	February	0	-	-	-	-	-
	March	3	1.77 \pm 0.21	2.37 \pm 0.71	3.11 \pm 1.35	3.00 \pm 1.14	2.56 \pm 0.99
	April	3	0.50 \pm 0.26	1.27 \pm 0.64	1.47 \pm 0.55	2.60 \pm 1.28	1.46 \pm 1.03
	May	2	1.00 \pm 0.71	1.90 \pm 1.27	2.35 \pm 1.63	2.80 \pm 1.70	2.01 \pm 1.26
	June	6	0.77 \pm 0.36	1.35 \pm 0.75	2.02 \pm 0.58	2.32 \pm 0.49	1.61 \pm 0.81
	July	3	0.63 \pm 0.12	1.03 \pm 0.50	2.03 \pm 0.47	2.73 \pm 1.57	1.61 \pm 1.13
	August	5	1.04 \pm 0.49	1.34 \pm 0.23	1.98 \pm 0.76	3.10 \pm 0.55	1.87 \pm 0.95
	September	2	1.25 \pm 0.35	1.95 \pm 0.64	3.50 \pm 0.71	4.60 \pm 0.57	2.83 \pm 1.47
	October	4	2.25 \pm 0.76	2.75 \pm 0.65	4.25 \pm 0.65	3.13 \pm 0.75	3.09 \pm 0.99
	November	1	2.00	4.20	6.00	4.00	4.05 \pm 1.64
	December	1	3.30	5.00	7.20	7.20	5.68 \pm 1.89
Season	Spring	8	1.10 \pm 0.67	1.84 \pm 0.87	2.30 \pm 1.25	2.80 \pm 1.13	2.01 \pm 1.15
	Summer	14	0.84 \pm 0.39	1.28 \pm 0.54	2.01 \pm 0.59	2.69 \pm 0.83	1.70 \pm 0.93
	Autumn	6	1.92 \pm 0.80	2.48 \pm 0.71	4.00 \pm 0.71	3.62 \pm 0.99	3.00 \pm 1.14
	Winter	5	2.66 \pm 0.55	3.54 \pm 1.06	5.40 \pm 1.38	4.96 \pm 1.35	4.14 \pm 1.53
Year	'95	3	1.00 \pm 0.87	1.77 \pm 0.64	2.67 \pm 1.15	2.77 \pm 0.64	2.05 \pm 1.05
	'96	6	1.93 \pm 1.25	2.75 \pm 1.32	3.55 \pm 2.06	3.75 \pm 1.82	3.00 \pm 1.70
	'97	5	1.38 \pm 0.53	2.52 \pm 1.24	3.88 \pm 1.41	4.20 \pm 0.21	3.00 \pm 1.47
	'98	6	0.83 \pm 0.38	1.25 \pm 0.62	1.78 \pm 1.17	2.40 \pm 1.33	1.57 \pm 1.08
	'99	4	1.48 \pm 1.00	1.75 \pm 1.19	2.50 \pm 1.68	3.30 \pm 0.81	2.26 \pm 1.31
	'00	4	1.48 \pm 1.27	1.63 \pm 1.31	2.95 \pm 1.82	3.00 \pm 1.47	2.26 \pm 1.52
	'02	4	1.43 \pm 0.61	1.95 \pm 0.47	3.20 \pm 1.23	3.15 \pm 1.27	2.43 \pm 1.17

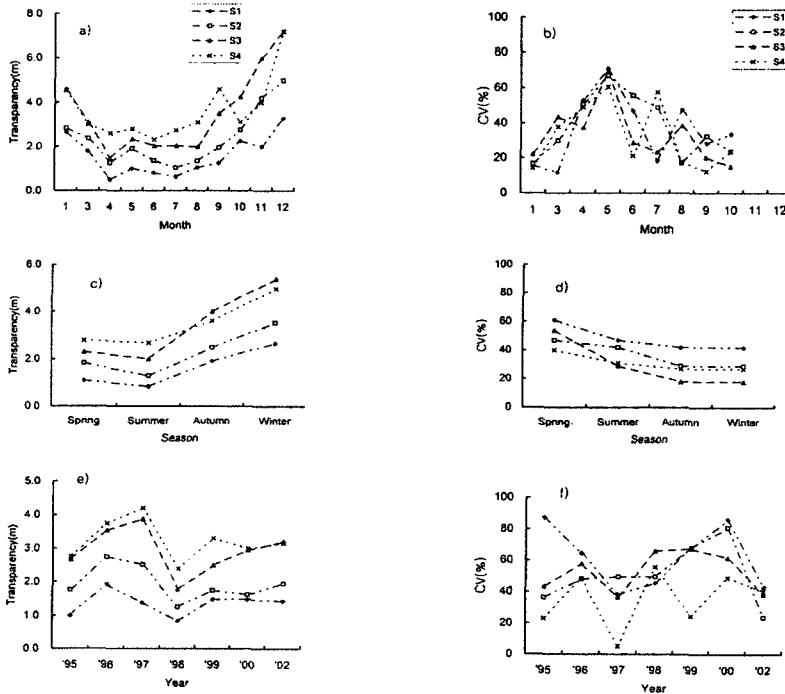


Fig. 3. Monthly, seasonal and yearly variations of mean transparencies and coefficient of variance at four sites in Masan Bay. CV(%) = STD/Mean \times 100%.

진해만(최, 1993)이나 남해안(임, 1975; 1978) 및 동해(Nagata, 1994)와는 다른 계절 특성을 보였다. 계절 평균치의 변동계수는 봄에 가장 크고 다음이 여름이며, 가을과 겨울은 같은 수준을 나타내었고, 가을과 겨울에 S4의 변동이 S3보다 크게 나타났다(Fig. 3. d).

연평균은 각 정점에서 모두 1995년과 1998년에 가장 낮은 값을 보였으나(Table 2; Fig. 3. e), 그 이유는 분명하지 않다. 연 변동계수는 1996, 1998 및 2002년에 정점별 차이가 작았다(Fig. 3. f). 4개의 정점 중에서 S4의 변동계수가 적었으나 경년간 변동폭은 크게 나타났다. S1의 위치가 가장 오염이 심하고 큰 하천이 인접해 있는 만의 안쪽에 위치하고 있는 점을 감안하면 계수값이 크고 또 경년간 변동폭이 큰 것은 기복이 심한 것이 비교적 쉽게 이해되지만, 가장 외해측에 위치하는 S4에서 변동폭이 큰 이유는 분명하지 않다.

3. 상관성

정점별 변동의 유사성을 조사하기 위하여 각 정점별 33개의 관측치로 두 정점간의 상관계수를 구하고, 또 각 계절별 상관계수를 구하여 비교해 보았다(Table 3). 전 관측치에서 정점간 상관계수는 0.51~0.91이었다. S1~S3간에는 0.81~0.91로 비교적 높게 나타났으나, S4와 다른 정점간에는 0.57~0.77로 낮게 나타났다.

계절별 상관계수에서 봄에는 S1~S3 사이에서 0.70~0.96으로 비교적 높게 나타났으나, S4와 다른 정점간에는 0.25~0.72로 낮았다. 여름에는 전반적으로 0.28~0.61로 낮았으며, 특히 S1~S2 사이에서 0.28로 가장 낮고 S4와 다른 정점간에도 0.41로 낮았다. 가을에는 S1에서의 투명도 변화가 다른 곳과 유별난 것으로 나타났다. 겨울에는 S1~S3 사이에서 0.90~0.99로 높게 나타난 반면 S4와 다른 정점 사이에서는 0.1 이하로 아주 낮게 나타나 가장 유별했다(Table 3).

정점간의 상관성 검토에서 S1과 S4의 투명도 변화가 다른 정점들과는 변화의 양상이 비교적 다른 것으로 나타났다. S1은 특히 여름과 가을에 유별난 반면에 S4는 봄, 여름에 조금 유별하며 특히 겨울에 아주 다른 양상을 나타내었다. 그런데 S1의 특이한 현상은 앞서 언급한 바와 같이 지리적 특성을 감안하면 쉽게 이해가 되지만, S4의 특이성은 외해나 유동 혹은 하천 등의 영향이 아니라 S4 부근에서 수중 방류되고 있는 하수 처리수의 특성과 연관이 있지 않을까 의심된다.

투명도 관측에서 관측자, 판의 크기 및 색, 관측시간

등에 의한 오차는 크지 않을 것으로 추정된다. 그러나 투명도와 광소멸계수, 부유물질량, 클로로필량, COD, 적조 간에는 상관이 있고 또 이들 관계는 지역적 특성이 강한 것으로 알려져 있으므로(Butteneveld, 1995; Jassby *et al.*, 1999; Megard, 1989; Sanden and Hakanssen, 1996), 투명도를 보다 정밀한 환경지표로 이용하기 위해서는 여기에서 언급한 계절 및 경년 변동의 특성 파악에 부가하여 마산만에서의 투명도와 위의 인자들간의 정량적 관계에 관한 자료가 계속 추가되어야 할 것이다.

Table 3. Correlation coefficients of transparencies between sites by total and seasonal data.

	Sites	S1	S2	S3	S4
Total	S1	1.00			
	S2	0.82	1.00		
	S3	0.81	0.91	1.00	
	S4	0.57	0.64	0.77	1.00
Spring	S1	1.00			
	S2	0.72	1.00		
	S3	0.70	0.96	1.00	
	S4	0.25	0.60	0.72	1.00
Summer	S1	1.00			
	S2	0.28	1.00		
	S3	0.61	0.61	1.00	
	S4	0.41	0.41	0.41	1.00
Autumn	S1	1.00			
	S2	0.36	1.00		
	S3	0.27	0.75	1.00	
	S4	0.67	0.56	0.77	1.00
Winter	S1	1.00			
	S2	0.92	1.00		
	S3	0.90	0.99	1.00	
	S4	-0.09	0.05	0.09	1.00

요 약

1995년부터 2002년까지 마산만의 4개 정점에서 3~4개월 간격으로 관측한 투명도 자료를 정리하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 1) 4개 정점에서 각각 33회씩 관측한 자료에서 투명도의 범위는 0.2~7.2m이었고, 평균은 2.4m이었으며 변동계수는 60%이었다. 평균은 만의 외해쪽으로 갈수록 증가하였고, 변동계수는 만의 안쪽으로 갈수록 큰 경향을 보였다.
- 2) 투명도의 월평균은 4월과 7월에 비교적 낮고, 10월 이후에 높게 나타났다.

- 3) 계절평균은 봄과 여름에 유사한 수준으로 낮고, 가을과 겨울에 높은 경향을 보였으며, 변동계수는 봄에 가장 크고 다음이 여름이며, 가을과 겨울은 같은 수준을 나타내었다.
- 4) 연평균은 4개의 정점에서 모두 1995년과 1998년에 낮은 값을 보였으며, 변동계수는 1996년과 1998년 및 2002년에 정점별 차이가 작게 나타났다.
- 5) 정점간의 상관성 검토에서 S1과 S4 정점의 투명도 변화가 다른 정점과 구별되었다. S1의 유별성은 지리적 특성에 기인하며, S4의 유별성은 방류수와 관련이 있을 것으로 추정된다.

참고문헌

- 임두병(1975) : 충무근해 연안수의 광학적 성질에 관하여, 통수논문집, 10, 13-20.
- 임두병 · 하정식(1978) : 추계의 진해만해황, 통수논문집 13, 1-3.
- 조경제 · 최만영 · 곽승국 · 임성호 · 김대운 · 박종규 · 김영의(1998) : 마산-진해만의 수질 부영양화 및 계절변동, 한국해양학회지, vol. 3(4), 193-202.
- 정창수 · 김석현 · 강동진 · 박용철 · 윤철호 · 홍기훈(1999) : 해저퇴적물의 광합성 색소유도체 함량분포에 의한 마산만 부영양화 진행과정 추정, 한국해양학회, vol. 4(2), 101-106.
- 최우정(1993) : 진해만의 빈산소 수괴 형성에 관한 시뮬레이션, 박사학위청구논문, 97.
- Buttensveld, H. (1995) : A model for calculation of diffuse light attenuation (PAR) and Secchi depth, *Neth. J. Aquat. Ecol.* 29, 55 - 65.
- Jassby, A. D. and Goldman, C. R., Reuter, J. E., Richards, R. C.(1999) : Origins and scale dependence of temporal variability in the transparency of Lake Tohoa, California Nevada. *Limnol. and Ocenogr.* 44(2), 282 - 294.
- Megard, R. O. (1989) : Effects of algae on the Secchi transparency of the southern Mediterranean Sea, *Limnol. and Ocenogr.* 34(8), 1640 - 1655.
- Nagata, H. (1994) : A preliminary report on distributions and seasonal changes of transparency in the Japan sea, *Bull. Japan Sea Natl. Fish. Res. Inst.* 44, 31-38. (In Japanese).
- Sanden, P. and Hakanssen, B.(1996) : Long term trends in Secchi depth in the Baltic Sea, *Limnol. and Ocenogr.* 41, 346 - 351.
- Yajima, K. (1996) : Evaluation of Secchi depth in a shallow Alpine Lake by principal component analysis, *Jpn. J. Limnol.* 57, 225-233.

2002년 12월 13일 접수

2003년 2월 12일 수리