

안면도 꽃지해수욕장 수질 및 식물플랑크톤

여환구^{1*}

¹한서대학교 환경공학과

Water Quality and Phytoplankton in the Waters of Anmyondo Ggot-jee Swimming Beach

Hwan-Goo Yeo^{1*}

¹Department of Environmental Engineering, Hanseo University

요 약 2011년 하절기에 안면도 꽃지해수욕장 수질 및 식물플랑크톤을 조사하였다. COD는 때때로 5.0mg/l를 초과하였고 SS는 대체로 40.0mg/l를 초과하였다. DO, pH, 염분 등은 대체로 안정적인 수준이었고 폭우의 영향으로 염분 값이 다소 변동하였다. 엽록소 농도와 식물플랑크톤 현존량은 8월에 상대적으로 높은 값을 보였으나 우려되는 녹,적조 현상은 발생하지 않았다. 식물플랑크톤 우점종은 6월과 7월에 다량의 와편모조류가 출현했으나 8월에는 보편적인 규조류 종들이 우점하였다. 대장균군수는 7월보다 8월에 다소 높은 값(>400CFU/100ml)을 보였으나 위생학적으로 문제될 수준은 아니었다.

Abstract Physicochemical water conditions and phytoplankton were investigated at Ggot-jee beach in Anmyondo, summer season of 2011. COD were sometimes recorded higher than 5.0mg/l and SS were always over 40mg/l. DO, pH and salinity were stable generally but low salinity was affected by heavy rainfall. In spite of relatively high concentrations of chlorophyll and phytoplankton standing stocks, discolored water phenomena(green or red tide) had not been occurred. A few dinoflagellate species were dominated in June and July, but general diatoms were dominant species of phytoplankton community in August. *Escherichia coli* concentrations were higher in August(>400CFU/100ml) than in July but it's not the level of hygienic problem.

Key Words : Water quality, Phytoplankton, Swimming Beach, Anmyondo, Ggot-jee

1. 서론

충남 태안군의 태안반도 남쪽 끝에 자리잡은 안면도는 면적이 87.96km²로 우리나라에서 여섯 번째 크기의 섬이다. 이곳은 1978년에 국내 유일의 해안국립공원으로 지정될 만큼 아름다운 해안경관을 가진 곳이다[1]. 안면도의 중서부에 위치한 꽃지해수욕장은 안면도의 대표적인 해수욕장이며 태안군 전체에서도 만리포와 함께 대표 해수욕장으로 꼽을 수 있다.

꽃지 해수욕장은 넓은 백사장이 분포하며 배후로는 사구가 발달해 있었으나 배후지 개발과 인근 방포항 건설 이후 사구의 파손과 해안의 황폐화가 진행되고 있다. 방포항에 인접한 해수욕장의 복단으로는 해변의 자갈화가

계속 진행 중이어서 배후지의 피해가 야기될 우려가 있음을 지적받기도 하는 곳이다[2]. 그러나 해수욕장의 해안선 길이가 약 5km에 달하며 여전히 아름다운 경관을 유지하고 있고 조수간만의 차가 심하긴 하나 완만한 경사 때문에 수영하기에 적절하고 사철 관광객이 유입되고 있다.

본 연구는 안면도 꽃지해수욕장을 선정하여 하절기에 수질 및 식물플랑크톤을 조사하였다.

해수욕장의 수질 조사는 해당지자체에서 시행되고 있으나 학술연구는 활발하게 진행되지 못했던 것으로 보인다. 1980년대부터 간헐적인 학술연구가 진행되어 왔고 [3-5]. 최근 자료로는 전년도(2010년) 하절기에 인근 서해안 해수욕장인 만리포와 대천 해수욕장의 수질과 식물플

이 논문은 2011년도 한서대학교 교비 학술연구 지원 사업에 의하여 연구되었음.

*교신저자 : 여환구(yeohg@hanseo.ac.kr)

접수일 11년 10월 31일

수정일 (1차 11년 12월 16일, 2차 11년 12월 30일)

게재확정일 12년 01월 05일

랑크톤의 현황이 보고된 바 있어서[6] 본 연구지인 꽃지의 결과와 비교해 보고자 한다. 동일한 서해연안의 해수욕장이기는 하나 해안선을 기준으로 꽃지해수욕장은 북쪽으로 만리포, 남쪽으로 대천해수욕장과 수십Km 이격되어 있으며 특히 대천의 경우 안면도와의 사이에 천수만이 가로 놓여 있기에 환경적으로 상이하다. 또한 주변 상권을 비롯한 오염유발시설이 다소 차이가 있어서 해수욕장의 수질 상황은 매년 유동적일 것이다. 위의 연구에서는 만리포와 대천해수욕장 수질상태의 모니터링에 있어서 부유물질(SS) 농도, 화학적산소요구량(COD), 식물플랑크톤 구성종 및 현존량등에 대해 다루었는데 본 연구(꽃지해수욕장)에서는 위의 검사항목과 함께 분변오염의 지표가 될 수 있는 대장균수를 조사를 병행하였다.

물리화학적 환경요인들과 아울러 육안으로 보이지 않는 미소생물그룹의 동태파악이 생태계 균형보전과 보건위생의 측면에서 상당히 중요하기에 인파가 밀집되는 여름철의 해수욕장 수질 및 미소생물 연구는 중요한 것이다. 연구의 결과는 해당 지자체의 해수욕장 관리와 홍보에 유익할 것으로 기대되며 방문자에게도 새로운 정보가 될 수 있을 것으로 기대한다.

2. 실험방법

해수욕장의 수질조사를 위한 조사지점은 해수욕장의 양쪽 가장자리 각 1개 지점과 중앙 1개 지점의 총 3개의 지점으로 하였다. 바다를 바라보며 해수욕장의 좌측끝(정점1), 중앙(정점2), 우측 끝(정점3)에서 시료를 채취하였다. 시료채취는 수심 1m 이내의 해안 표층수를 채수하였다.

[표 1] 현장 조사일(2011년)
[Table 1] Sampling date (2011)

	꽃지해수욕장 조사일
1차	6월 22일
2차	7월 15일
3차	8월 5일
4차	8월 26일

현장조사는 해수욕장 개장(2011년 7월 8일) 이전부터 폐장(8월 21일) 후까지의 하절기에 집중 시행하였고 그 기간은 2011년 6월 22일부터 8월 26일까지이며 총 4회의 현장조사를 약 20일 간격으로 수행하였다[표 1].

2.1 수질분석

수질분석을 위해 수온, 염분, pH, DO, COD, SS, 엽록

소 농도 및 대장균수를 구하였으며 수온과 pH는 수질 다기능 측정기(WTW pH/Oxi 340i set) 및 봉상온도계로 현장에서 측정하였고 염분, DO, COD, SS, 엽록소 농도는 수질오염공정시험법[7]에 준하여 실험실에서 분석 산출하였다. 즉 DO(용존산소)는 윙클러 아지드화 나트륨 변법에 의해 실험 분석하였고 COD(화학적 산소요구량)는 과망간산칼륨에 의한 화학적 산소요구량을 구하였다. 부유물질은 유리섬유 여지법으로 엽록소농도는 아세톤 용액 색소추출법으로 클로로필 a 값을 산출하였다.

대장균수는 현장수를 무균채수병에 채수하여 막여과지(membrane filter 0.2 μm pore size)에 해수 20ml, 50ml, 100ml로 각각 여과하였다. 대장균용 Petrifilm Plate(3M, USA)에 멸균증류수를 1ml 넣어 균일하게 적신 후 배지위에 여과된 여과지를 각각 올려 윗커버를 덮은 후 실험실로 운반하였고 항온배양기로 35℃, 24시간 암배양하여 균체 수를 계수한 후 해수 100ml 당 대장균수(CFU/100ml)로 환산하였다[8].

2.2 식물플랑크톤 분석

식물플랑크톤의 정성분석을 위해서는 56μm의 망목 크기를 가진 Norpac형 플랑크톤 채집기를 이용하여 채집한 후 최종농도 4%가 되게 중성 포르말린으로 고정하여 실험실로 운반하였다. 식물플랑크톤의 종조성을 파악하기 위해서는 채집시료를 광학현미경으로 최고 1000배까지 확대 검경 하였다. 정량분석을 위해서는 Lugol용액으로 고정하여 48시간 이상 침전시켜 농축된 시료를 Sedgwick-Rafter Counting Chamber에 넣고 현미경하에서 세포수를 계수한 후 원래 해수중 현존량(cells/ml)으로 환산하였다[9].

3. 결과 및 고찰

해양관광 활성화에 기여함을 목적으로 국토해양부는 ‘해수욕장수질운용지침’을 마련하여 해수욕장 개장 전에 관할관청이 조사토록 하여 오고 있다[10]. 2010년 충남 태안군은 관내 33개 해수욕장을 조사한 후 수질적합판정을 내린 바 있으며[11] 꽃지해수욕장 역시 당시 적합판정 해수욕장에 포함되어 있었다. 본 연구는 지자체의 접근 방식과는 다소 상이하지만 이화학적 수질 및 대장균, 식물플랑크톤 등의 자료를 포괄적으로 분석하여 수질환경을 점검해 보았다.

3.1 수질

꽃지 해수욕장의 수질 측정 위치는 해수욕장 좌측 끝

(정점1), 중앙(정점2), 우측 끝(정점3)에서 이루어졌고 각 조사시기별(1차-4차)로 세 지점의 평균 값의 변화를 그림 1에 나타내었다. 단 대장균군수 (CFU/100ml)는 2차 및 4차 조사에서만 수행되었기에 히스토그램으로 결과를 도시하였다.

해수욕장 개장 전인 1차 조사(6월 22일)에서 수온은 19.6 - 20.2℃, 염분 31.82 - 32.18psu의 범위로 기록되었다. pH는 8.02 - 8.05, DO는 7.47 - 8.03mg/l의 수준이었다. COD는 1.4 - 1.6mg/l의 범위에 있어서 양호한 상태로 측정되었다. SS는 41.2 - 48.2mg/l로 측정되어 부담스러운 수준이었다. 한편 엽록소 농도(Chl-a)는 4.02 - 7.75mg/m³의 수준으로 나타나 일반적 범위에 들었다고 할 수 있다.

해수욕장 개장 일주일 후인 2차 조사(7월 15일)결과는 수온이 다소 상승하여 24.0 - 24.5℃의 범위를 보였고 염분은 1차 조사시점 보다 상당히 감소하여 28.17 - 28.81psu를 기록하였는데 이는 장마기간의 지속적인 폭우의 결과로 추정된다. 기상청자료[12]를 살펴보면 2011년 하절기에는 1차 조사 직후인 6월 하순부터 집중호우가 시작되어 6월 강수량만 460mm를 초과한 것으로 나타난다. 7월은 더욱 많은 강수량(650mm)을 보여 6월과 7월의 강수량 합이 1,100mm를 초과하고 있으며 특히 2차 조사 직전에 일일 강수량 150mm에 달하는 폭우가 내려 염분량이 낮아졌던 것으로 생각된다. pH는 8.14 - 8.17 수준, DO는 7.07 - 7.32mg/l로 문제없으나 COD가 4.4 - 6.4mg/l 였고 SS는 42.0 - 51.8mg/l로 나타나 다소 수질 상태가 우려되는 수준이었다.

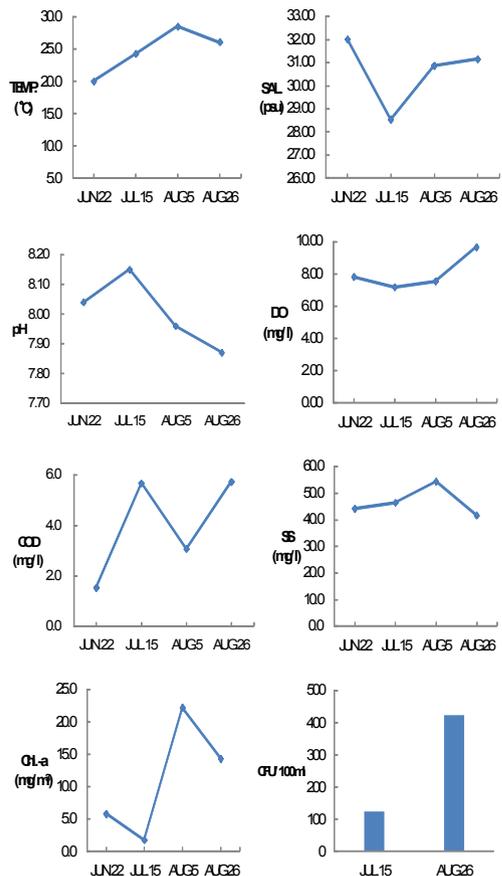
그러나 엽록소 농도는 1.33 - 2.31mg/m³의 비교적 낮은 수준을 보였다. 한편 2차 조사에서 실시된 대장균군수는 정점에 따라 57(정점1) - 188(정점3) CFU/100ml의 수준이었다. 이러한 대장균군수는 COD 및 SS농도에서 우려했던 수질 상태에 견주어 볼 때 상당히 낮은 수준으로 다행스러운 결과였다. 즉, 2차 조사결과를 요약하면 COD, SS는 다소 문제있는 수준이나 대장균군수는 낮은 수준으로 요약된다.

3차 조사(8월 5일) 시기는 하절기 피서의 절정에 달하는 시기로서 수온이 28.2 - 28.8℃로 상당히 상승했다. 염분은 30.75 - 31.03psu로 2차 조사결과보다는 상승하였고 pH는 7.83 - 8.18, DO는 7.07 - 7.93mg/l의 수준에 머물렀다. 8월로 접어들면서 강수량은 줄어들었고[12] 그에 따라 염분농도는 2차에 비해 상승하게된 것으로 보인다. COD는 2.6 - 3.4mg/l의 수준으로 나타나 2차 조사결과보다는 감소하여 바람직하였다. 그러나 SS의 경우는 51.0 - 58.0 mg/l로 지속적인 높은 값이 유지되었다. 이렇게 높은 SS는 매우 높은 엽록소 농도(14.72 - 28.50mg/m³)와도 상관성이 있어보이며 이는 식물플랑크톤의 구성중에 따

라 문제가 될 수도 있는 수준이다.

4차 조사(8월 26일)에서는 수온이 26.0 - 26.2℃, 염분은 30.17 - 31.82psu, pH 7.8 - 7.9, DO 8.91 - 10.08mg/l 등으로 나타나 특이한 사항은 없었다. 그러나 COD가 5.2 - 6.6mg/l로 측정되어 피서철이 지난 후에 COD가 다소 상승한 결과를 보였다. SS는 40.6 - 42.6mg/l로 여전히 높아 조사기간 지속적으로 높은 값을 보였다.

한편 엽록소농도 또한 3차 조사시기보다는 낮아졌지만(12.32 - 15.45mg/m³) 여전히 높은 값을 보여 다소 부담스러운 수준이었다. 대장균군수는 시료에 따라 92 - 896 CFU/100ml로 기록되었다. 대장균군수의 경우 해수욕장 양쪽 사이드 보다는 중앙(정점2)에서 상대적인 고밀도를 보였는데 이는 무엇보다 해수욕객과 상업시설들이 해수욕장 중앙에 밀집된 것이 원인인 것으로 추정된다. 그러나 어떤 시료에서도 1,000 CFU/100ml을 초과하지는 않고 있었다.



[그림 1] 2011 하절기 수질의 변화
[Fig. 1] Changes of seawater quality in summer, 2011

본 연구의 결과를 전년도(2010년)에 조사된 인근 해수욕장인 만리포와 대천해수욕장의 연구결과[6]와 비교해보면 COD는 꽃지해수욕장이 만리포 및 대천보다 다소 높은 것으로 나타났고 SS는 대천과 유사한 수준으로 평가되었다. 엽록소농도는 조사연도의 차이(만리포 및 대천 2010년, 꽃지 2011년)가 있기는 하지만 공히 8월에 높아지는 추세를 보이고 있다. 당시 만리포와 대천의 연구[6]에서 두 해수욕장의 수질을 양호한 것으로 보고하였다. 본연구의 결과에서 꽃지 해수욕장의 COD와 SS가 국토해양부의 해수욕장 조사항목별 점수표[10]에 의한다면 부분적으로 ‘관리요망’ 상태가 되기는 하나 그 외의 항목들은 별 문제가 없어 보인다. 대장균군수또한 8월 말에 다소 높아지나 문제가 되는 수준은 아닌 것으로 판단된다.

3.2 식물플랑크톤

식물플랑크톤은 정량, 정성분석을 병행하였다. 출현종수는 조사시기에 따라 48-58종이 출현하여 만리포 및 대천과 큰 차이가 없었다[6].

총 식물플랑크톤 현존량의 10% 이상을 차지한 우점종을 표 2에 나타내었다. 하절기에 국한된 조사지만 집중적인 집중적인 조사결과였기에 우점종의 단기 천이현상이 보였다.

6월 하순인 1차 조사에서 와편모조류인 *Prorocentrum minimum*이 극우점현상(62.5%)을 보여 제 1우점종으로 자리 잡았으며 일시성부유규조류인 *Paralia sulcata*(13.4%)와 남조류인 *Merismopedia* sp.(10.2%)가 뒤를 잇고 있었다. 한편, 7월 중순인 2차 조사에서는 와편모조류 종인 *Ceratium fusus*(78.6%)의 단일종 우점현상이 나타났다. *Ceratium fusus*는 독성을 생산하는 조류는 아니지만 잘알려지지않은 기작으로 무척추동물에 피해를 입히는 유해생물로 알려져있다[13,14]. 8월로 접어든 3차조사의 결과는 일반적인 규조류 종인 *Skeletonema costatum*(68.2%)과 *Nitzschia delicatissima*(11.3%)가 우점하였고 8월 말의 4차 조사에서는 *Eucampia zodiacus*(32.4%), *Skeletonema costatum*(16.5%), *Chaetoceros curvisetus*(13.3%), *Chaetoceros compressus* (10.1%) 등의 다양한 우점종이 기록되었다.

[표 2] 식물플랑크톤 우점종(점유율%)
[Table 2] Phytoplankton dominant species (Proportion %)

	식물플랑크톤 우점종
1차	<i>Prorocentrum minimum</i> (62.5) <i>Paralia sulcata</i> (13.4) <i>Merismopedia</i> sp. (10.2)
2차	<i>Ceratium fusus</i> (78.6)

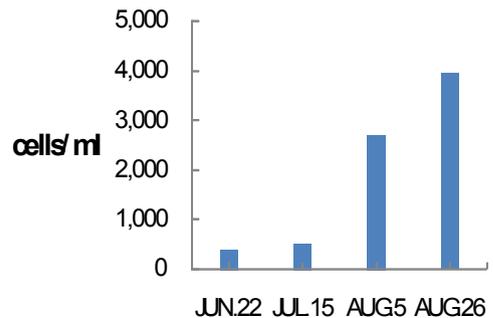
3차	<i>Skeletonema costatum</i> (68.2) <i>Nitzschia delicatissima</i> (11.3)
4차	<i>Eucampia zodiacus</i> (32.4) <i>Skeletonema costatum</i> (16.5) <i>Chaetoceros curvisetus</i> (13.3) <i>Chaetoceros compressus</i> (10.1)

결과적으로 초여름에는 와편모조류의 우점현상이 두드러졌으나 인파가 집중되는 본격적인 피서철에는 일반적인 해수의 보편종들인 규조류 종들이 우점종으로 나타나 유해플랑크톤에 대한 우려는 없는 것으로 판단되었다.

정량시료분석에 근거한 식물플랑크톤 현존량은 조사시기별, 정점별로 표 3에 나타내었다. 각 시료에서 계수된 식물플랑크톤 현존량은 375(1차조사, 정점3) - 4,423(4차조사, 정점1)의 시공간적 변화를 보였다. 각 시기별 평균 현존량의 변화를 보면 6월부터 8월 말까지 지속적으로 현존량이 증가했음을 보여준다[그림 2]. 특히 6월과 7월 중순까지는 대체로 500cells/ml 이내의 보편적인 현존량 수준이었으나 3차와 4차 조사기간인 8월에는 현존량이 대폭 증가하여 대발생 수준으로 나타났다.

[표 3] 식물플랑크톤 현존량
[Table 3] Standing stocks of phytoplankton

	정점1	정점2	정점3	평균
1차	414	398	375	396
2차	441	582	494	506
3차	2,879	3,259	1,981	2,706
4차	4,423	3,619	3,806	3,949



[그림 2] 식물플랑크톤 평균 현존량의 시간적 변화 (cells/ml)
[Fig. 2] Temporal changes of average phytoplankton standing stocks (cells/ml)

8월의 높은 현존량은 위에서 언급한 수질자료 중 엽록소(Chl-a) 농도가 8월에 10mg/m³을 초과하는 결과와 일

관성이 있는 것이며 수온상승과 영양염이 제한요인으로 작용하지 않았기 때문으로 생각된다. 이렇게 과도한 8월(3차 및 4차 조사시기)의 식물플랑크톤 현존량과 엽록소 농도는 녹,적조의 우려가 다소 있으나 다행이도 식물플랑크톤 군집의 주요 구성종들이 보편적인 규조류 종들이며 이에 기인한 증대이기에 큰 문제는 발생하지 않았다.

4. 결론

2011년 하절기 꽃지해수욕장 수질은 COD의 변동 폭이 다소커서 7월 중순과 8월 하순에는 5.0mg/l 이상의 값을 기록하였고 SS는 6월부터 8월 말까지 지속적으로 40mg/l를 초과하였다. 한편 엽록소 농도 또한 8월에는 10mg/m³ 이상의 값을 보였다. 그러나 그 외의 물리화학적 요인들은 대체로 지속적인 안정된 값을 유지하였고 염분의 경우 강수량에 따른 일시적 저하(7월 중순)가 기록되었다.

저질 특성상 SS는 상시적으로 높은 값을 보이는 것으로 생각되며 엽록소 농도가 높은 8월에 식물플랑크톤 현존량 또한 큰 값(>2,000cells/ml)을 보였으나 식물플랑크톤 구성종의 별다른 문제는 없었다.

대장균균수는 8월 말에 다소 상승하는(>400CFU/100ml) 추세이지만 문제가 되는 수준은 아니었다.

결론적으로 안면도 꽃지해수욕장 수질은 높은 SS로 인하여 비교적 탁도가 높은 수질상황이지만 보건위생 및 환경생태적으로는 문제가 없는 것으로 판단된다.

References

- [1] E. J. Ko and S. K. Lee, "Tourism Topographical Characteristics in Taeanhaean (Seashore) National Park" J. Korean Association of Professional Geographers, Vol. 34, No. 1, pp. 27-37, 2000
- [2] Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, "Coastal Erosion Monitoring System Construction(V)", 2008.
- [3] Y. K. Kim, et al., "Bacteriological Quality of Sea Water at Swimming Beaches in Busan Area" Bull. Korean Fish. Soc., Vol. 14, No. 3, pp. 148- 157, 1981.
- [4] J. H. Kim, "Microbiological Water Quality of Major Swimming Beaches in Jeju Island" Bull. Mar. Resour. Res. Inst. Jeju Nat. Univ., Vol. 7, pp. 53-58, 1983.
- [5] Y. K. Kim et al., "Study on the Sea Water Quality of Swimming Beaches in Jeollanamdo", The 2007

Environmental Societies Joint Conference, pp. 1917-1924, 2007.

- [6] H. G. Yeo, "Water Quality and Phytoplankton in the Waters of Manripo and Daechon Beaches", J. Korea Academia-Industrial Cooperation Society. Vol. 12, No. 6, pp. 2872-2878, 2011.
- [7] Standard Analysis Method (Water Pollution, Wastes, Soil Pollution) Donghwa Tech. Publ. Co., 2007.
- [8] M. H. Son, et al., "Distributional Characteristics of *Escherichia coli* and Water Pollution in Kwangyang Bay and Jinhae Bay, Korea", Korean J. Environmen. Biol. Vol. 29, No. 3, pp. 162-170, 2011.
- [9] J. Thronsen,., "Preservation and storage" in "Phytoplankton manual" ed., A. Sournia, UNESCO, pp. 69-74, 1978.
- [10] Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, "(Instruction No. 402) Manuals on the Water Quality of Swimming Beaches", 2009.
- [11] Taean-Gun, "Water Quality before Summer Season Open of Swimming Beaches in Taean-Gun", 2010.
- [12] Korea Meteorological Administration, Seosan Observatory Meteorological Office, Data of 2011.
- [13] S. H. Baek, et. al, "Population Development of the Dinoflagellates *Ceratium furca* and *Ceratium fusus* during Spring and Early Summer in Iwa harbor, Sagami Bay, Japan", Ocean Science Journal, Vol. 43, No. 1, pp. 49-59, 2008.
- [14] GEOHAB. "Global Ecology and Oceanography of Harmful Algal Blooms", Science Plan. SCOR and IOC, Baltimore and Paris. 86p., 2001.

여 환 구(Hwan-Goo Yeo)

[정회원]



- 1992년 8월 : 서울대학교 대학원 지구환경과학부(해양학) (이학박사)
- 1996년 3월 ~ 현재 : 한서대학교 환경공학과 교수

<관심분야>
환경생태, 해양환경