

# 남해 광양만에서 오염원에 따른 화학적 산소요구량과 대장균의 해역별 분포특성

백승호<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>한국해양과학기술원 남해특성연구부

## Distribution characteristics of chemical oxygen demand and *Escherichia coli* based on pollutant sources at Gwangyang Bay of South Sea in Korea

Seung Ho Baek<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>South Sea Environment research Division, Korea Institute of Ocean Science & Technology

**요약** 광양만에서 화학적 산소요구량, 엽록소-*a* 및 분변계 대장균의 계절적, 지역적 분포특성을 파악하기 위해, 2010년 2월부터 2012년 11월까지 계절 조사를 수행하였다. 아울러 광양만의 오염정도와 해역의 지리학적 특성을 바탕으로 20개 정점을 3개의 구역(I, II, III)을 나누어 평가하였다. 조사기간 중 수온과 염분은 각각 4.68-28.63°C와 1.94-33.84 psu의 범위에서, 엽록소-*a*는 0.31-35.10  $\mu\text{g L}^{-1}$ 과 화학적 산소요구량은 0.70-13.35  $\text{mg L}^{-1}$ 범위에서 변이를 보였다. 총 엽록소-*a* 농도는 2010년 하계에 광양만 내측의 구역I에서 높은 농도로 관찰되었고, 만 외측의 구역III으로 갈수록 감소하였다. COD는 지역별로는 2010년 동계, 춘계, 하계에 내만에서 높게 나타났고, 특히 춘계에는 섬진강의 영향을 강하게 받는 지역 II에서 높은 값을 보여 수질이 나쁘게 나타났다. 대장균 *E. coli*는 2011년 하계 정점1(지역I)에서 3550 cfu  $\text{L}^{-1}$ 로 최고치를 기록하였고, 외측의 지역III에서 상대적으로 낮았다. 춘계와 하계의 수온 증가( $r=0.31$   $p<0.05$ )와 더불어 염분감소( $r=-0.55$   $p<0.05$ )는 대장균 증식에 중요한 촉진제 역할을 한 것으로 파악되었다. 결과적으로 광양만 내만은 춘계와 하계 집중강우로 인한 육상기원의 담수의 유입으로 높은 영양염과 함께 분변계 대장균이 지역I과 지역II에서 현저하게 영향을 미쳐 오염화 현상이 두드러졌다.

**Abstract** This study aimed to understand seasonal and geographical characteristic of chlorophyll-*a* (chl-*a*), COD (chemical oxygen demand) and *Escherichia coli* at Gwangyang Bay during the period from February 2010 to November 2012. The bay is divided into three different zones based on the pollutant levels and geographical characteristics. During the study periods, water temperature, salinity, Chl. *a*, and chemical oxygen demand (COD) varied in the range of 4.68-28.63°C, 1.94-33.84 psu, 0.31-35.10  $\mu\text{g L}^{-1}$ , and 0.70-13.35  $\text{mg L}^{-1}$ , respectively. Total chl-*a* concentration were high at the zone I, which can be characterized as a semi-enclosed eutrophic area, and it were low at the zone III, which is influenced by low nutrients of surface warm water current from offshore of the bay. The high concentration of COD was observed at inner bay during the four seasons and the water quality level was kept to be bad condition during spring season at the zone II, which is influenced by Seomjin River water. The highest colony form of *E. coli* was recorded to be 3550 cfu  $\text{L}^{-1}$  during summer at station 1 (zone I), whereas it was relatively kept low level during all seasons at the zone III. As a result, the *E. coli* was correlated with water temperature ( $r=0.31$   $p<0.05$ ) and salinity ( $r=-0.55$   $p<0.05$ ), implying that those parameters have play an important crucial role in proliferation of *E. coli*. Consequently, our results indicated that the *E. coli* can be significantly promoted within pollutant sources including the high nutrients supplied by rive discharge during spring and summer rainy seasons in semi-enclosed area of Gwangyang Bay.

**Key Words** : Gwangyang Bay, physico-chemical factors, *Escherichia coli*, water quality

본 논문은 한국해양과학기술원의 연구과제 [남해특별관리해역의 관리를 위한 해양생태계 건강지수개발 (PE99151)]과 해양 생태계 회복 및 생물자원 생산성 향상을 위한 기반연구(PE99195)로 수행되었음.

\*Corresponding Author : Seung Ho Baek(Korea Institute of Ocean Science & Technology)

Tel: +82-55-639-8513 email: baeksh@kiost.ac

Received January 9, 2014

Revised (1st March 5, 2014, 2nd March 13, 2014)

Accepted May 8, 2014

## 1. 서론

광양만은 남해안에 위치한 반폐쇄성 내만으로 남쪽에서는 쿠로시오의 지류인 대만난류의 영향을 받아 외해수가 유입되고, 북쪽과 북서쪽에서는 섬진강과 동천의 영향을 각각 받는다. 광양만 주변에는 인구가 밀집되어 있고, 만 북부에는 광양제철소가 위치하며, 남부에는 여천국가산업단지가 조성되어 있다. 따라서 강우가 적은 동계에는 만 주변의 생활하수와 공업폐수가 지대한 영향을 미치고, 강우기에는 섬진강 및 동천으로부터 많은 양의 담수가 유입되어 만 전체에 높은 영양염이 공급된다[1]. 아울러 광양만은 국제무역항구로서 수많은 선박이 드나들며 화물이 대량으로 선적 및 하역되면서 선박으로부터 배출되는 국외기원의 선박 평형수(ballast water)의 오염원에 직접 노출된다.

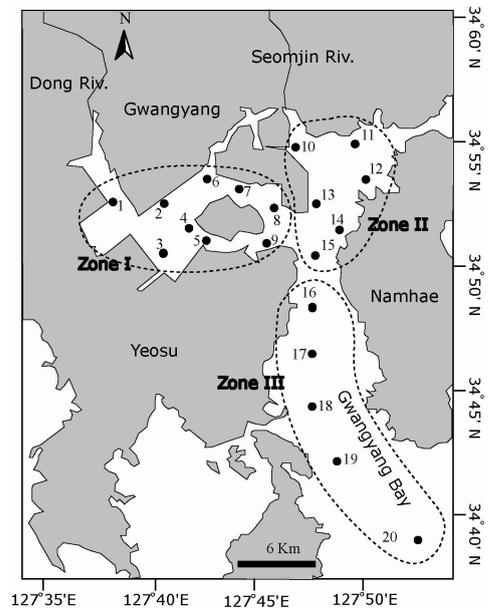
하천, 호소, 해양의 수계내 인위적인 오염물질이 흘러들어오면 그 속에 산화되기 쉬운 유기물질에 의하여 수질이 오염된다. 즉 유기물질을 함유한 해수에 과망간산칼륨(KMnO<sub>4</sub>) 및 중크롬산칼륨(K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>)과 같은 수용액을 산화제로 투입하면 유기물질이 산화되는데, 이때 소비된 산화제의 양에 상당하는 산소의 양을 화학적 산소 요구량(Chemical oxygen demand :COD)이라한다. 이와 같은 맥락에서 유기물의 총량의 개념으로 해양의 수질오염을 평가하는 항목으로 화학적 산소요구량을 널리 활용하여 왔다.

도시에 인접한 연안 해역은 각종 오염물질에 노출될 수 있고, 특히 선박이나 담수기원으로부터 분변계 대장균 오염의 영향을 쉽게 받을 수 있다. 우리나라에서 일반 세균을 포함한 분변계 오염물질에 관한 연구는 여수연안 및 동중국해[2], 수영만[3], 삼천포만[4], 광양만 및 진해만[5]에서 보고된 바 있다. 특히 양식장주변해역에서 세균학적 조사가 수행된바 있으나, 수산물의 위생관리를 위해서는 분변계 오염물질의 추적 및 대책수립이 매우 중요하다.

따라서 본 연구에서는 남해 광양만에서 2010년에서 2012년까지 3년에 걸쳐 수질오염특성을 살펴보기 위해 COD, 대장균 *Escherichia coli*, 및 엽록소-*a*의 계절 및 해역별 분포특성을 조사하였다. 본 조사 결과는 광양만의 해역별 수질오염 특성에 관한 이해와 해양수질환경관리를 위한 기초 자료로 활용될 수 있다.

## 2. 재료 및 방법

본 연구에서는 광양만 해역의 지리적 특성에 따른 분변성 오염물 *E. coli*와 수질 환경오염특성을 살펴보기 위해서, 광양만에서 2010-2012년 동안 19-20개 정점에서 2, 5, 8, 11월의 계절조사를 총 12회 수행하였다. 또한 해역의 오염특성에 맞추어 구역(Zone)을 I, II, III으로 나누어 평가하였다. 구역I은 산업시설이 밀집되고 반폐쇄성 해역(정점1-9), 구역II는 섬진강 하구의 담수유입의 영향을 강하게 받는 해역(정점10-15), 구역III은 비교적 오염도가 낮고 해수교환이 원활한 해역(정점16-20) 등으로 구분하였다[6][Fig. 1].



[Fig. 1] A map showing the sampling stations at Gwangyang Bay.

조사는 현장에서 수온과 염분을 CTD(IDRONUT Ocean Seven 319, USA)로 측정하였고, 아울러 현장해수의 현탁 정도를 파악하기 위해서 투명도판(Secchi disc)으로 투명도를 측정하였다. 또한 대장균(*E. coli*)군수와 COD를 산출하기 위해서 각각 1L 무균 멸균 펌프와 250 mL 채수병에 표층수를 채수하여 실험실에서 운반하였다. 엽록소-*a*농도 측정을 위해서 표층수 250-1000 mL를 선상에서 GF/F필터(47mm Whatman glass fiber filters)로 여과하였고, 그 필터는 15 mL 튜브에 넣어 냉동 보관하였다. 엽록소-*a*농도는 냉동 보관한 여과지를 90%

acetone에 넣고 24시간 냉암소에서 엽록소를 추출한 후 형광측정기(Turner Designs 10-AU Fluorometer)로 분석하였다. COD분석은 해수시료를 알칼리성으로 하여 산화제인 과망간산칼륨을 넣은 다음 일정시간 가열 반응시켰고, 요오드화칼륨 및 황산을 넣어 남아있는 과망간산칼륨에 의하여 유리된 요오드의 양으로부터 산소량을 구하였다[5]. *E. coli*균수는 다음과 같은 실험순서로 진행하였고, 모든 실험장비는 무균처리(Autoclave, 120°C)한 후 clean bench 에서 수행하였다[5]. 또한 매번 실험시 무균 처리된 증류수로 대조군을 만들어 실험환경 중 오염 여부를 확인하였다. 실험실로 운반된 1L 무균 채수병의 시료를 교반 한 후 40 mL와 80 mL로 정량하여 각각 Membrane filter(0.2  $\mu\text{m}$  pore size)로 여과하였다. 냉장 보관된 대장균균용 Petrifilm EC plate(3M, USA)는 사용하기 2-3시간 전 clean bench에 두었다. 현장시료 접종에 앞서Petrifilm EC plate 의 커버를 들어 붉은색 배지 위에 멸균증류수1 mL을 넣고, 다시 커버를 덮고 난 후 Plastic spreader의 평평한 면으로 살짝 눌러 배지를 균일하게 적셔 주었다. 그 후 Petrifilm EC plate 의 커버를 들고 시료를 여과한 Membrane filter를 붉은색 배지위에 올린 후 기포가 생기지 않게 조심스럽게 덮었다. 평판배양법으로 접종된 Petrifilm EC plate 을 항온배양기(암조건, 35°C)에서 배양 하였다. *E. coli*균체는 48시간 후에 사진촬영을 병행하여 계수하였고, cfu L<sup>-1</sup>로 환산하였다. 각 해역별 오염원의 기원을 알아보기 위해서 주성분분석과 환경요인과의 상관관계를 통계 프로그램 XLSTAT2010 (AddinSoft<sup>TM</sup>)로 수행하였다.

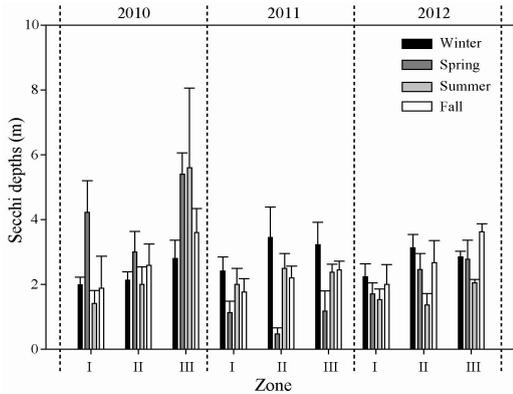
### 3. 결과 및 고찰

조사기간 중 광양만에서 나타난 수온은 4.68-28.63°C의 범위에서 최대값은 2012년 여름철 구역 I에서 평균 27.98  $\pm$  0.29°C로 관찰되었고, 최저값은 2010년 겨울철 구역 I에서 평균 5.95 $\pm$ 0.90°C로 나타나 전형적인 온대성 계절특성을 나타내었다. 즉 여름철과 겨울철의 기온 상승과 하강은 수심이 얇은 광양만의 내만의 구역 I의 표층수온에 직접적인 영향을 미쳤다. 각 계절별 구역간의 수온 차이는 2°C 전후로 그다지 크지 않았다. 염분은 1.94-33.84 psu의 범위로 변동하였고, 춘계와 하계에 섬진강의 영향을 강하게 받는 구역II에서 현저히 나타났다.

특히 2012년 구역 III에서 33.45  $\pm$  0.20 psu로 가장 높게 나타났고, 2011년 춘계 구역 II에서 15.37  $\pm$  7.82 psu로 가장 낮게 관측되었다. 이는 조사 1일전 100 mm이상의 높은 강우를 보여, 섬진강으로부터 대량의 담수가 유입되어 지역II에서 극히 낮은 염분을 보인 것으로 판단된다. 그 결과 2011년에 구역간의 염분차이는 현저하게 나타났고, 구역 II와 구역III 사이 최고 10 psu의 차이를 보였다. 3년 동안 평균 염분이 가장 낮게 관찰된 계절은 춘계 25.8  $\pm$  4.0 psu로, 다음으로 하계 26.8  $\pm$  4.2 psu, 추계 31.9  $\pm$  1.4 psu, 동계 32.8  $\pm$  0.7 psu순으로 관찰되었다. 연안내만의 염분변화는 강우량에 의하여 크게 의존되며, 상기와 같은 계절적 염분 변화가 뚜렷하게 나타난 것은 온난해역인 우리나라에서 춘계와 하계에 집중하는 강우에 의한 담수유입에 따른 것으로 판단된다. 반면, 추계와 동계는 낮은 강우(> 10 mm)로 인하여 염분이 높게 유지되는 계절적변이 특성을 보였다. 조사기간 중 총 엽록소-a 농도는 하계 1.58-35.10  $\mu\text{g L}^{-1}$  (평균 13.19  $\mu\text{g L}^{-1}$ ) 동계 0.79-10.05  $\mu\text{g L}^{-1}$ (평균 3.76  $\mu\text{g L}^{-1}$ ). 춘계 0.31-8.46  $\mu\text{g L}^{-1}$ (평균 3.10  $\mu\text{g L}^{-1}$ ), 추계 0.79-3.75  $\mu\text{g L}^{-1}$ (평균 1.77 $\mu\text{g L}^{-1}$ )순으로 높게 관찰되었다. 2010년 하계에 광양만 내측의 구역I에서 높은 농도의 엽록소-a가 관찰된 반면, 만 외측의 정점으로 갈수록(구역III) 감소하는 경향을 관찰하였다. 나머지 동계, 춘계, 추계에는 대부분의 구역에서 3.0-5.0  $\mu\text{g L}^{-1}$ 전후의 값을 기록하였다. 2011년에는 하계에 정점을 제외한 구역I의 대부분의 정점에서 극히 높은 엽록소-a값이 기록되었고, 나머지 계절은 2010년과 유사한 경향을 보였다. 2012에는 동계, 춘계, 하계에 계절간의 차이는 크지 않았고, 추계에는 모든 구역에서 극히 낮은 값을 기록하였다. 이와 같이 계절별 및 연도별로 식물플랑크톤의 현존량을 대변하는 총 엽록소-a 농도가 크게 변화한 것은 영양염의 농도에 의존될 수 있다. 앞서 언급한 것과 같이 2011년 춘계에는 조사 1일전 높은 강우로 인하여 육상기원의 영양염류가 조사해역에 대량으로 공급되었으나, 식물플랑크톤이 증식할 수 있는 시간적 여유(time lag)가 없어 엽록소-a가 다른 년도와 비교하여 크게 차이나지 않았으나, 2011년과 2012년의 하계에는 조사 10-15일 전 하계에 집중하는 강우로 인하여 높은 영양염류가 공급되었고, 이와 더불어 하계의 높은 일사량으로 식물플랑크톤이 폭발적으로 증식하여 총 엽록소-a 농도가 높게 나타난 것으로 판단된다.

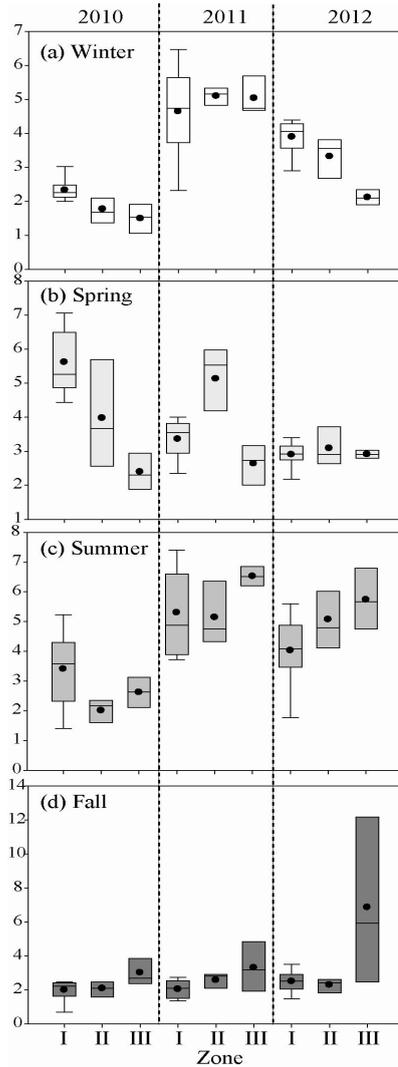
광양만의 3년 동안 전 해역의 투명도(Secchi depths)

평균은 2.5 m로 극히 낮았고, 2010년 지역 III을 제외하면 계절별로 투명도의 큰 차이는 보이지 않았다[Fig. 2]. 특히 2011년과 2012년에는 지역I과 지역II에서 낮게 나타나는 경향이 강하였다. 광양만의 투명도는 다른 우리나라 연안 남해내만인 진해만과 비교하여 평균 3-4 m정도 낮은 값을 보였다[5-6]. 이는 수심이 얇은 광양만 특유의 지리적인 특성으로 기인된 입자성 부유물질의 재부유와 더불어 강우기 섬진강과 동천에서부터 유입되는 높은 영양염으로 인하여 식물플랑크톤의 폭발적인 증식으로 지역 I과 지역II에서 투명도가 낮게 관찰되었다고 판단된다. COD값은 3년 동안 0.7-13.35 mg L<sup>-1</sup>의 범위로 변동하였고, 계절별로는 하계, 춘계, 동계, 추계 순으로 나타났다. 지역별로는 2010년 동계, 춘계, 하계에는 지역I에서 지역 III으로 갈수록 값이 낮아졌고, 2011년에는 지역별로 큰 차이는 보이지 않았지만, 전반적으로 동계 및 하계에 5-6 mg L<sup>-1</sup> 전후의 값으로 높았고, 춘계에 섬진강의 영향을 강하게 받는 지역 II에서 상대적으로 높은 값을 유지하였다.



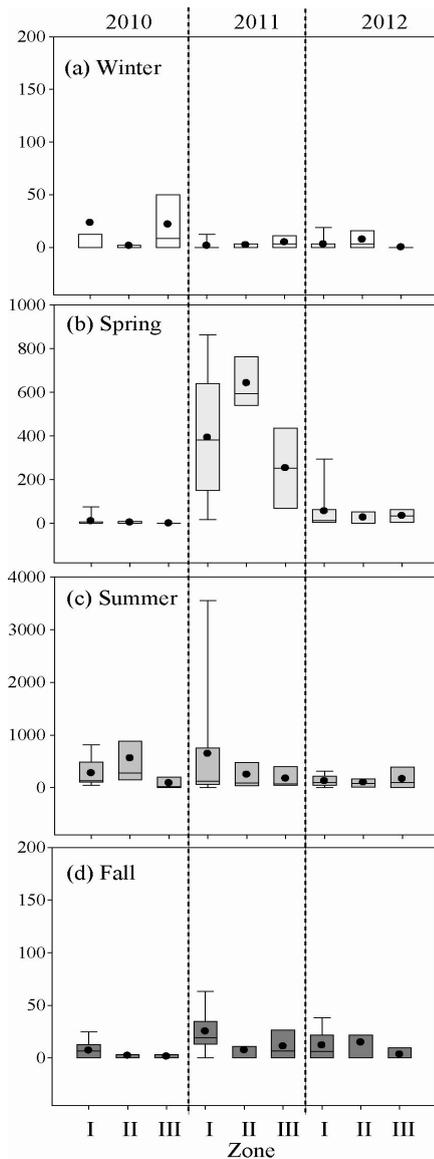
[Fig. 2] Seasonal variation of secchi depths(water transparency) in the three different zone of Gwangyang Bay.

2012년 동계에는 지역I에서 지역III으로 갈수록 낮게 나타났고, 춘계는 지역별로 차이를 보이지 않았다. 반대로 하계와 추계에는 지역I에서 지역III으로 갈수록 높았고, 특히하계 추계에 지역 III에서 극히 높은 값을 기록하였다[Fig. 3].



[Fig. 3] Box plot of COD (Chemical oxygen demand; mg L<sup>-1</sup>) during four seasons in the surface waters of Gwangyang Bay. The median and average is represented by short black lines and black dots, respectively.

3년 동안의 본 조사결과, COD값은 춘계와 하계에 상대적으로 반폐쇄성 내만지역인 지역I과 섬진강의 영향을 받는 지역II에서 높게 나타나는 경향이 강하였고, 춘계에는 상대적으로 낮은 값을 유지하는 것을 알 수 있었다 [Fig. 3].



[Fig. 4] Box plot of *E. coli* (cfu L<sup>-1</sup>) during four seasons in the surface waters of Gwangyang Bay. The median and average is represented by short black lines and black dots, respectively.

즉 COD값은 유기물 부하에 의한 해양오염의 화학적 지표로서, 본 조사결과 반폐쇄성 내만과 섬진강기원의 유무기 오염이 춘계와 하계에 현저하게 나타나고 있다는 것을 알 수 있었다. 하지만, 2012년 하계와 추계에 외측에서 상대적으로 높게 나타난 원인은 추적하기 어려웠지만, 정점18(여수항인근)에서 극히 높은 값(13.35 mg L<sup>-1</sup>)이

관찰된 결과 해역III의 평균을 높게 하였고, 이는 여수항 주변의 오염원이 외측으로 향하는 해역에도 영향을 줄 수 있다는 것을 의미한다.

대장균 *E. coli*의 변화는 연도별로 차이를 보였고, 2011>2010>2012년 순으로 나타났다. *E. coli*의 최고치는 2011년 하계 정점1(지역I)에서 3550 cfu L<sup>-1</sup>로 관찰되었고, 다음으로 정점10(지역II)에서 2094 cfu L<sup>-1</sup>로 높게 관찰되었다[Fig. 4]. 계절별로는 동계와 추계에는 일부 정점을 제외하고는 거의 관찰되지 않았으나, 춘계와 하계에는 상대적으로 높게 관찰되었다. 특히 2011년 춘계 이전 해역에서 높게 나타났고, 하계에는 지역I의 동천하구 정점1에서 특이적으로 높게 관찰되었다. 대장균 *E. coli*의 출현분포와 환경요인과의 관계를 파악하기 위해서 상관분석과 주성분분석을 수행하였다[Tables 1 and 2]. *E. coli*의 출현에 주된 영향을 미친 주성분은 수온, 염분, 엽록소-*a*농도로(제1성분:40%) 나타났다. 특히, 춘계와 하계의 수온의 증가( $r=0.31$   $p<0.05$ )와 더불어 염분감소( $r=-0.55$   $p<0.05$ )는 대장균 증식에 중요한 촉진제 역할을 한 것으로 파악되었다. 또한 식물플랑크톤의 대발생에 의한 투명도 감소도 *E. coli*의 출현분포에 영향을 미쳤다. 연안해역의 분변성 대장균 *E. coli*는 강우에 따른 염분의 구배에 따라서 지대한 영향을 미친다는 연구사례가 많다[7-9].

[Table 1] Pearson's correlation between environmental parameters and pollutant sources in surface layer of Gwangyang Bay in 2010 to 2012.

Variable	Tem.	Sal.	Secchi	<i>E. coli</i>	COD
Sal.	<b>-0.50</b>				
Secchi	<b>-0.14</b>	<b>0.23</b>			
<i>E. coli</i>	<b>0.31</b>	<b>-0.55</b>	<b>-0.27</b>		
COD	<b>0.22</b>	<b>-0.21</b>	0.03	0.12	
Chl.a	<b>0.45</b>	<b>-0.21</b>	<b>-0.19</b>	0.12	<b>0.32</b>

연안 해역에서 대장균 오염 공급원으로는 태풍과 같은 집중호우에 의한 담수유입, 도시 및 농업 축산업으로 방출되는 폐수, 파이프 배관 파손에 의한 오수누출, 항해하는 선박에서 배출되는 오폐수 및 선박평형수의 영향이 크다[10,11]. 특히 광양만에서 춘계와 하계에 집중강우로 인한 육상기원의 담수 유입으로 높은 영양염과 함께 분변계 대장균이 유입되었을 가능성이 높고, 이들은 내만의 좋은 조건의 환경하에서 현저한 증식을 유발하였다고 판단된다.

[Table 2] Loading factors of seasonal environmental variables and pollutant sources on the first three varimax rotated principal components in Gwangyang Bay in 2010 to 2012 (loadings > 0.6 are bolded).

Variables	Components		
	F1	F2	F3
Temperature	<b>0.57</b>	0.03	0.00
Salinity	<b>0.61</b>	0.06	0.11
Secchi depth	0.11	0.24	<b>0.45</b>
<i>E. coli</i>	<b>0.44</b>	0.21	0.10
COD	0.19	<b>0.40</b>	0.03
Chl.a	<b>0.36</b>	0.23	0.21
Eigenvalue	2.35	1.17	0.89
Variability (%)	39.18	19.49	14.97
Cumulative (%)	39.18	58.68	73.65

#### 4. 결론

광양만 내만에서는 춘계와 하계 집중강우로 인한 섬진강과 동천 주변에서 유입되는 대량의 담수로부터 영양염과 함께 육상기원의 분변계 대장균이 대량함유하고 있어 지역I과 지역II에서 오염화 현상이 두드러졌다. 저염분화와 더불어 공급된 영양염류는 춘계와 하계의 식물플랑크톤의 대발생(엽록소-a 증가)을 유발하였고, 그 결과 반폐쇄성 내만해역(지역I)과 섬진강(지역II)유역에서 투명도가 낮게 관찰되었다. 반면, 화학적산소요구량은 육상과 식물플랑크톤의 대발생으로 기인된 유기쇄설물에 의하여 높은 값이 관찰되었다. 이와 같은 오염현상은 집중강우 후 특정지역에서 국부적으로 나타났지만, 시간의 경과와 더불어 조석간만에 의한 해류순환으로 인하여 단계적으로 광양만 전 해역으로 확산될 가능성을 시사하였다. 본 연구 결과는 광양만 내만 생태계 보전 및 연안환경 오염관리와 같은 정책수립을 위한 기초적 자료로 활용가능 할 것이다.

#### References

[1] Y. S. Lee, C. K. Kang, Y. K. Choi, S. Y. Lee, "Origin and spatial distribution of organic matter at Gwangyang Bay in the fall". *The Sea*, 12, 1-8, 2007.  
 [2] K. J. Jung, S. U. Shin, "Bacteria flora of East China Sea

and Yosu coastal area; 1 Horizontal distributions according to number of bacteria *Vibrio* spp. and coliform group". *J. Korean Fish Soc.*, 29, 9-16, 1996.  
 [3] W. J. Lee, Y. T. Park, M. C. Kim, H. K. Seong, "The environmental factors and coliform group in Suyeong Bay; 1 The environmental factors and coliform group during summer in Suyeong Bay". *J. Fish Pathol.*, 4, 15-21, 1991.  
 [4] S. H. Park, G. H. Lee, "Distribution of population densities of heterotrophic bacteria and fecal-origin bacteria group in seawater and sediment near Samcheonpo Bay". *Korean J. Environ. Bio.*, 24, 258-267, 2006.  
 [5] M. H. Son, S. H. Baek, H. M. Joo, P. G. Jang, Y. O. Kim, "Distributional characteristics of *Escherichia coli* and water pollution in Gwangyang Bay and Jinhae Bay, Korea". *Korean J. Environ. Bio.*, 29, 162-170, 2011.  
 [6] S. H. Baek, D. S. Kim, B. -G. Hyun, H. -W. Choi, Y. O. Kim, "Characteristics of horizontal community distribution and nutrient limitation on growth rate of phytoplankton during a winter in Gwangyang Bay, Korea". *Ocean Polar Res.*, 33, 99-111, 2011.  
 DOI: <http://dx.doi.org/10.4217/OPR.2011.33.2.099>  
 [7] H. M. Solo-Gabriele, M. A. Wolfert, T. R. Desmarais, C. J. Palmer, "Sources of *Escherichia coli* in a coastal subtropical environment", *Appl. Environ. Microbiol.*, 66, 230-237, 2000.  
 DOI: <http://dx.doi.org/10.1128/AEM.66.1.230-237.2000>  
 [8] G. Ogawa, "Some factors affecting the survival of coliform bacteria in seawater". *J. Oceanogr. Soc. Japan*, 30, 54-60, 1974.  
 DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/BF02112893>  
 [9] Y. G. Kim, H. K. Shim, H. R. Cho, S. J. You, "Seasonal variations of water quality in the lower part of the Nagdong river". *Bull. Kor. Fish. Soc.*, 17, 511-522, 1984.  
 [10] H. M. Solo-Gabriele, M. A. Wolfert, T. R. Desmarais C. J. Palmer, "Sources of *Escherichia coli* in a coastal subtropical environment", *Appl. Environ. Microbiol.*, 66, 230-237, 2000.  
 DOI: <http://dx.doi.org/10.1128/AEM.66.1.230-237.2000>  
 [11] C. J. Palmer, Y. L. Tsai, A. L. Lang, L. S. Sangermano, "Evaluation of colilert-marine water for detection of total coliforms and *Escherichia coli* in the marine environment", *Appl. Environ. Microbiol.*, 59, 786-790, 1993.

백 승 호(Seung Ho Baek)

[정회원]



- 2004년 3월 : 요코하마국립대 환경정보학과 (환경학석사)
- 2007년 3월 : 요코하마국립대 환경정보학과 (환경학박사)
- 2009년 1월 ~ 현재 : 한국해양과학기술원 선임연구원

<관심분야>

해양환경오염, 수질, 해양생물학, 식물플랑크톤 생태학