

낙동강 하구와 부산연안해역에서 대장균의 해역별 분포특성

백승호^{1*} · 이민지¹ · 윤동영²

¹한국해양과학기술원 남해특성연구센터

²한국해양과학기술원 해양관측자료실

Distributional Characteristics of *Escherichia coli* at Nakdong River Mouth and Busan Coastal Area

Seung Ho Baek^{1*}, Min Ji Lee¹, Dongyoung Yoon²

¹South Sea Environment Research Center, Korea Institute of Ocean Science & Technology (KIOST), Gyeongnam 53201, Korea

²Ocean Observation & Information Section, KIOST, Gyeongnam 53201, Korea

Corresponding Author

Seung Ho Baek

South Sea Environment Research Center,

Korea Institute of Ocean Science &

Technology (KIOST), Gyeongnam

53201, Korea

E-mail : baeksh@kiost.ac.kr

Received : March 31, 2016

Revised : April 05, 2016

Accepted : April 18, 2016

낙동강 하구역과 부산연안해역에서 분변계 대장균의 계절적, 해역별 분포특성을 파악하기 위해, 2013년 2월부터 2015년 11월까지 계절 조사를 수행하였다. 아울러 부산연안해역의 오염 정도와 해역의 지리학적 특성을 바탕으로 25개 정점을 5개의 구역(I, II, III, IV, V)을 나누어 평가하였다. 조사기간 중 수온과 염분은 각각 7.50~27.64°C와 16.82~34.82 psu의 범위로 관찰되었고, 수온은 전형적인 온대지역의 특성을 보였다. 염분은 2014년 하계 구역 IV에서 구역 III까지 광역해역에 걸쳐 저염분화 현상이 나타나, 대장균의 증식을 가속화시켰다. 대장균 *E. coli*는 2015년 추계 정점 1(지역 I)에서 6,000 cfu l⁻¹로 최고치를 기록되었고, 외측 구역 III에서 상대적으로 낮게 관찰되었다. 수온은 대장균 *E. coli*과 유의한 상관성이 관찰되지 않았지만($p > 0.05$), 상대적으로 고수온조건에서 대장균 밀도가 높게 나타났다. 아울러 대장균 밀도는 염분농도와 음($r = -0.53$, $p < 0.05$)의 상관관계를 보였고, 해역의 저염분화 현상은 대장균의 증식 및 유지에 중요한 촉진제 역할을 한 것으로 파악되었다. 결과적으로 부산연안해역에서 하계 집중강우로 인한 육상기원 담수 유입으로 분변계 대장균이 지역 IV과 지역 III에서 현저하게 영향을 미쳤고, 계절에 관계없이 수영만에서 높은 대장균 밀도가 관찰되어 오염화 현상이 두드러졌다.

In order to assess seasonal and geographical characteristics of pollutant *Escherichia coli*, we investigated its distribution in Nakdong River mouth and Busan coastal water from February 2013 to November 2015. The coastal area was divided into five different zones (I-V) based on the pollutant level and geographical characteristics. During the study periods, water temperature and salinity varied from 7.50 to 27.64°C and 16.82 to 34.82 psu, respectively. The annual water temperature variation was characterized in temperate zone. The salinity was significantly ($p < 0.05$) decreased in zone IV and zone III after heavy rain during summer season in 2014, resulting led to elevated *E. coli* biomass. The highest colony formation of *E. coli* was recorded at 6,000 cfu l⁻¹ during autumn at station 1 (zone I). On the other hands, during all seasons of 2015, *E. coli* abundances were kept to be low level in zone III. The *E. coli* was not significantly ($p > 0.05$) correlated with water temperature. However, the salinity was significantly ($r = -0.53$, $p < 0.05$) correlated with the *E. coli*, implying that salinity plays a crucial role in the proliferation of *E. coli*. Consequently, *E. coli* in western Busan coastal water might have been significantly promoted by pollutant sources from Nakdong Rive discharge during the spring and summer rainy seasons depending on annual rainfall variations. On the other hands, *E. coli* in station 1 (i.e., Suyeong Bay) was obviously high due to influences of discharge water from municipal wastewater treatment plant. However, there was no clear seasonality of *E. coli*.

Keywords: Nakdong River mouth(낙동강하구); Busan coastal water(부산연안); *Escherichia coli*(대장균); Seasonal distribution(계절변동); Rainfall(강우)

서론

세계적으로 연안해역은 인구집약, 경제발전, 기후변화와 같은 요소로부터 다양한 압력이 가해지고 있다. 우리나라에서도 1970년대 이후 도시화와 산업화로 인하여 연안해역의 생활하수 및 산업폐수의 발생량이 기하급수적으로 증가해 왔다. 이에 따른 연안해역의 오염부하량의 누적 증가는 연안생태계의 자연 치유기능을 상실시키고 있다. 부산광역시의 경우에도 지리적 특성상 하수종말처리장이 연안에 위치하고 있고, 하수처리수가 연안으로 직접 유입되어 주변해역의 오염화 현상이 나타나 해양생태계에 부정적인 영향을 미치고 있다(Shin et al., 2014).

부산연안해역은 가덕도에서 기장군까지 총 연장길이가 50~60 km이며, 부산항, 부산 신항, 해운대해수욕장, 광안리해수욕장, 낙동강 하구 등 다양한 해양환경으로 이루어져 있다. 아울러 도시인구 3백5십만명의 부산광역시가 위치하고 있어 막대한 양의 생활하수가 부산연안해역으로 유입되고 있다. 또한, 신평, 장림, 정관 기류 등 총 12개 2백만 m²의 산업단지가 부산연안에 위치하고 있어, 이들 산업단지로부터 상당한 양의 공장폐수가 유입되고 있다. 따라서, 정부에서는 부산연안해역을 특별관리해역으로 지정하여 관리하고 있다. 특히 부산항과 부산 신항은 국제무역항으로서 수많은 선박이 드나들며 화물이 대량으로 선적 및 하역되면서 선박으로부터 배출되는 국외기원의 선박 평형수(ballast water)의 오염원에 직접 노출되기 쉽다. 낙동강 하구는 담수와 해수가 혼합되어 염분의 변화가 심한 곳이다. 따라서 하구역에 서식하는 생물들은 다양한 환경변화에 따른 영향을 받게 된다. 특히 낙동강과 담수기원으로부터 사람이나 가축으로부터 배설된 분변계 대장균 오염의 영향을 쉽게 받을 수 있다.

이러한 하천, 생활하수, 선박기원의 오염원에는 항균제 내성균이 함유되어 있을 가능성이 높아, 수산생물의 위생학적 안전성을 위협하는 요인이 될 수 있다. 아울러, 해수에 접하며 즐기는 수영, 서핑 등의 해양레저 활동으로 인하여 해수를 섭취할 경우, 병원성 대장균에 노출될 위험이 있다. 우리나라 해역에서 일반세균을 포함한 분변계 오염물질을 조사한 선행연구로는 여수연안(Jung and Shin, 1996), 동중국해(Lee et al., 1991), 수영만(Park and Lee, 2006), 광양만과 진해만(Son et al., 2011; Baek, 2014) 등이 있다.

부산연안해역은 해안선이 길어 다양한 오염원에 노출되기 쉬운 환경이지만, 외양으로부터 해수순환이 원활하여 특정 오염물질이 빠르게 희석 및 정화될 수 있는 해양환경특성을 지녔다(Lee et al., 2009; Shin et al., 2014). 따라서 본 연구에서는 해역의 환경특성에 따른 분변성 오염물질의 거동을 파악하기 위해서 부산연안해역에서 2013년부터 2015년까지 3년에 걸쳐 대장균 *Escherichia coli*의 해역별 및 계절적 특성을 조사하였다.

재료 및 방법

본 연구에서는 부산연안해역의 지리적 특성에 따른 분변성 *E. coli*

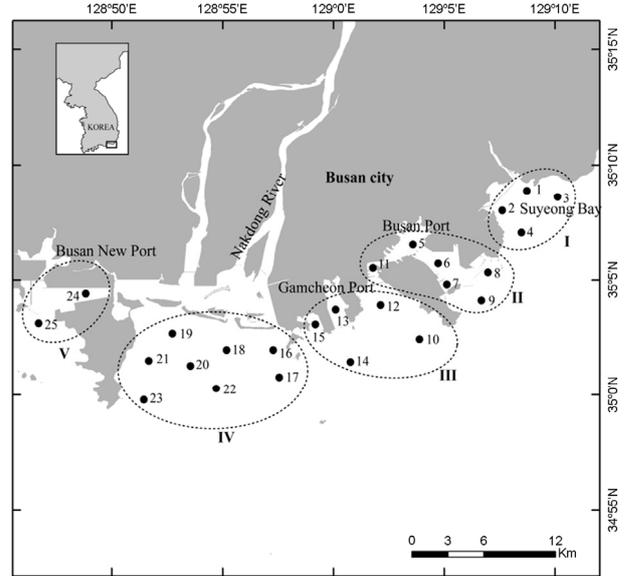


Fig. 1. A map of sampling stations in Busan coastal area. The areas were divided into five zones based on the pollutant levels and geographical characteristics.

의 오염특성을 살펴보기 위해서, 2013-2015년 동안 25개 정점에서 2, 5, 8, 11월의 계절 조사를 총 12회 수행하였다. 또한 부산연안해역을 지리적 특성과 유기물질의 오염특성에 맞추어 구역(Zone)을 5개 (I, II, III, IV, V)로 나누어 평가하였다. 구역 I은 반폐쇄적인 수영만으로 광안리 및 해운대해수욕장과 함께 하수종말처리장의 영향을 강하게 받는 해역이다(정점 1-4). 구역 II는 부산항과 자갈치시장의 영향을 받는 해역이고, 구역 III은 감천항과 다대포항의 영향을 받지만, 상대적으로 외양의 영향을 강하게 받아 비교적 오염도가 낮고 해수 교환이 원활한 해역이다. 구역 IV는 낙동강 하구역으로 낙동강 담수의 영향을 직접적으로 받는 해역이며, 구역 V는 부산 신항만으로 선박기원의 오염물 영향을 강하게 받는 해역으로 구분하였다(Fig. 1).

조사는 현장에서 수온과 염분을 CTD (IDRONUT Ocean Seven 319, USA)로 측정하였다. 대장균(*E. coli*) 군수를 산출하기 위해서 표층해수를 버킷으로 채수하여 100 µm sieve로 야광충 및 동물플랑크톤과 해양쓰레기를 일차적으로 여과하고 난 후 1 l 무균 멸균 팩에 옮겨 담아 실험실로 운반하였다. *E. coli* 군수는 아래와 같은 실험순서로 진행하였고, 모든 실험장비는 무균처리(Autoclave, 120°C)한 후 clean bench에서 수행하였다(Baek, 2014). 또한 매번 실험 시 무균처리된 증류수로 대조군을 만들어 실험환경의 오염여부를 확인하였다. 실험실로 운반된 1 l 무균 채수병의 시료를 교반한 후 40 ml와 80 ml로 정량하여 각각 Membrane filter (0.2 µm pore size)로 여과하였다. 냉장 보관된 대장균균용 Petrifilm EC plate (3 M, USA)는 사용하기 2~3시간 전 clean bench에 두어 대장균이 정상적으로 성장할 수 있는

배지조건을 만들었다. 현장시료 접종에 앞서 Petrifilm EC plate의 커버를 들어 붉은색 배지 위에 멸균증류수 1 ml을 넣고, 다시 커버를 덮고 난 후 Plastic spreader의 평평한 면으로 살짝 눌러 배지를 균일하게 적셔 주었다. 그 후 Petrifilm EC plate의 커버를 들고 시료를 여과한 Membrane filter를 붉은색 배지 위에 올린 후 기포가 생기지 않게 조심스럽게 덮었다. 마지막으로 평판배양법으로 접종된 Petrifilm EC Plate를 항온배양기(암조건, 35°C)에서 배양하였다. *E. coli* 균체는 48시간 후에 사진촬영을 병행하여 계수하였고, cfu l⁻¹로 환산하였다.

결과 및 고찰

부산연안해역에서 수온을 구역별로 나누어 평가한 결과, 동계 수온은 구역 I-III까지 11°C 전후로 유사하게 나타났다(Table 1). 반면, 구역 IV에서 연도별 차이는 있으나 I-III 구역보다 1~3°C 더 낮아지는 것을 알 수 있었고($p < 0.01$), 구역 V에서는 I-III 구역보다 3~5°C 낮게 관찰되었다. 이는 동계에 쿠로시오 지류인 대마난류의 영향을 강하게 받아, 구역 I-III의 수영만, 부산항, 감천항 주변해역(정점 1-15)에서 다른 구역보다 수온이 따뜻하게 유지되고 있다는 것을 의미한다. 반면, 낙동강과 부산 신항의 구역 IV-V의 연안해역은 담수기원과 동계 낮은 기온의 영향을 강하게 받아, 상대적으로 수온이 낮게 유지되는 특성을 보였다. 반대로, 춘계에는 기온상승과 더불어 연안 내측인 낙동강 주변 정점과 신항 주변(구역 IV-V)에서 계절이 전환되

는 3개월 동안 수온이 빠르게 상승하여 동계 8°C에서 춘계 16°C로 7~8°C의 수온상승폭을 보였다. 하지만, 외양의 영향을 강하게 받는 구역 I-III에서는 동계 11~12°C에서 춘계 14~15°C로 2~3°C의 상승폭을 보여, 상대적으로 수온이 완만하게 상승하는 경향을 보였다. 본 연구를 통하여, 동계와 춘계에 걸쳐 기온의 영향을 강하게 받는 부산 서부연안해역과 외양 대마난류의 영향을 강하게 받는 부산중앙 및 동부해역에서 수온 감소 및 증가의 차이를 명확하게 확인할 수 있었다.

하계에는 수온이 일정하게 상승하여 20~25°C 범위를 보였고, 추계에는 수온이 하강하여 17~18°C를 유지하였다. 특히, 하계와 추계에는 연도별 차이는 있었으나, 구역간의 명확한 경향은 관찰할 수 없었다. 특히적으로 2014년 하계에 동부산연안해역(구역 I)의 표층수온이 서부산연안해역(구역 IV)보다 4~5°C 낮게 관찰되었다. 이것은 하계 용승효과에 의한 냉수대의 영향으로 판단된다. 냉수대는 주변보다 수온이 상대적으로 4~5°C로 급격하게 낮아지는 현상을 지칭하며, 우리나라에서는 하계 7~8월에 남동해역(부산-기장-울산)에서 주로 발생하는 경향이 강하다(Lee et al., 2009; Kim et al., 2014). 동부산 냉수대 형성은 남풍개열(남풍, 남서풍)의 바람이 지속적으로 불면, 표층수는 북동쪽 동해로 이송되고, 이를 보충하려고 저층수가 에크만 취송류에 의하여 순차적으로 표층으로 공급되면서 발생한다. 결과적으로 2014년 하계에 구역 I의 오륙도 및 해운대 주변 해역에서 표층수온의 현저한 감소는 연안 용승의 효과에 의한 것으로 판단된다.

조사기간 중 염분은 2013년 동계 정점 1-15에서 32 psu 이상으로

Table 1. Water temperature variations in each zonation from 2013 to 2015 during four seasons in Busan coastal water. Units: °C

| Season | Year | Zone | | | | |
|--------|------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | | I | II | III | IV | V |
| Winter | 2013 | 10.4 ± 1.1 | 10.5 ± 1.0 | 11.0 ± 0.9 | 8.8 ± 0.4 | 7.8 ± 0.1 |
| | 2014 | 12.6 ± 0.4 | 12.0 ± 1.2 | 12.8 ± 0.6 | 10.7 ± 1.1 | 9.2 ± 0.6 |
| | 2015 | 11.0 ± 0.3 | 10.4 ± 0.5 | 11.0 ± 0.8 | 10.0 ± 0.9 | 7.6 ± 0.2 |
| Spring | 2013 | 13.7 ± 0.1 | 14.3 ± 0.5 | 14.7 ± 1.5 | 14.9 ± 0.5 | 15.2 ± 0.6 |
| | 2014 | 14.4 ± 0.3 | 14.9 ± 0.3 | 15.7 ± 1.1 | 16.0 ± 0.8 | 16.9 ± 0.7 |
| | 2015 | 14.4 ± 0.3 | 14.9 ± 0.5 | 15.6 ± 1.6 | 16.3 ± 1.1 | 16.7 ± 0.0 |
| Summer | 2013 | 21.8 ± 0.5 | 22.5 ± 1.3 | 24.6 ± 2.0 | 23.8 ± 1.2 | 22.5 ± 0.2 |
| | 2014 | 20.7 ± 0.9 | 22.3 ± 1.0 | 24.4 ± 0.9 | 24.5 ± 0.5 | 25.1 ± 1.4 |
| | 2015 | 25.6 ± 0.3 | 24.7 ± 0.5 | 24.6 ± 0.4 | 24.4 ± 0.2 | 23.8 ± 0.1 |
| Autumn | 2013 | 17.1 ± 0.1 | 17.0 ± 0.3 | 17.5 ± 0.4 | 17.5 ± 0.3 | 17.9 ± 0.3 |
| | 2014 | 18.6 ± 0.1 | 19.1 ± 0.3 | 19.5 ± 1.0 | 18.3 ± 0.9 | 18.9 ± 0.2 |
| | 2015 | 17.7 ± 0.4 | 18.4 ± 0.6 | 19.2 ± 0.9 | 18.7 ± 0.5 | 19.8 ± 0.2 |

높게 유지되었고, 낙동강 하구 구역 IV에서 평균 30.6 psu로 소폭 감소하였다. 춘계에도 낙동강 하구의 염분감소폭이 줄어들었지만, 전반적으로 유사한 경향이 관찰되었다(Fig. 2). 하계에는 오히려 낙동강 하구 염분변동폭이 동계와 춘계보다 낮게 관찰된 것으로 보아, 낙동강 기원의 담수 영향이 극히 감소한 것으로 파악되었다. 추계에는 대부분의 정점에서 33.0 psu 이상으로 높게 관찰되었다. 계속해서 2014년 동계 염분농도 또한 대부분의 정점에서 33.0 psu로 높게 관찰되었고, 춘계로 갈수록 낙동강 하구에서 낮게 관찰되었다. 2014년 하계에는 낙동강 하구뿐만 아니라, 구역 III 해역까지 염분농도가 낮게 관찰되어, 낙동강 담수의 영향이 정점 10까지 영향을 미친 것으로 파악되었다. 추계에는 다시 회복되어 낙동강 하구의 일부 정점을 제외하면, 일정한 염분농도를 나타내었다. 2015년 염분은 동계에 높게 관찰되었고, 춘계에 낙동강 일부 정점에서는 극히 낮은 17.7 psu로 관찰되어 담수의 영향이 크게 작용한 것으로 판단되었다. 반면,

하계와 추계에는 대부분의 정점에서 33.0 psu보다 높게 관찰되어, 낙동강으로부터 담수 영향이 관찰되지 않았다.

연안 내만의 염분변화는 강우량에 의하여 크게 의존되며, 2014년 계절적 염분변화가 뚜렷하게 나타난 것은 온난해역인 우리나라에서 춘계와 하계에 집중되는 강우에 의한 담수 유입에 따른 것으로 판단된다. 반면, 추계와 동계는 낮은 강우로 인하여 염분이 높게 유지되는 계절적 변이 특성을 보였다. 특히, 2015년에는 하계에는 담수가 유입되지 않아 전 해역에서 높은 염분 분포를 보였다. 하구역의 생물상에 영향을 미칠 수 있는 요인 중 하나인 강수량은 하구역에서 환경변화를 일으키는 주된 요인이 될 수 있을 뿐만 아니라, 특히 낙동강 하구역과 같이 하구언 독에 의해 막힌 수역에서는 강수량에 의한 담수 유출량에 의하여 해역의 염분이 크게 좌우되고, 부유생물의 수평적 분포에도 영향을 미칠 것으로 판단된다.

대장균 *E. coli*의 변화는 연도별로 크게 차이를 보였고, 2014>

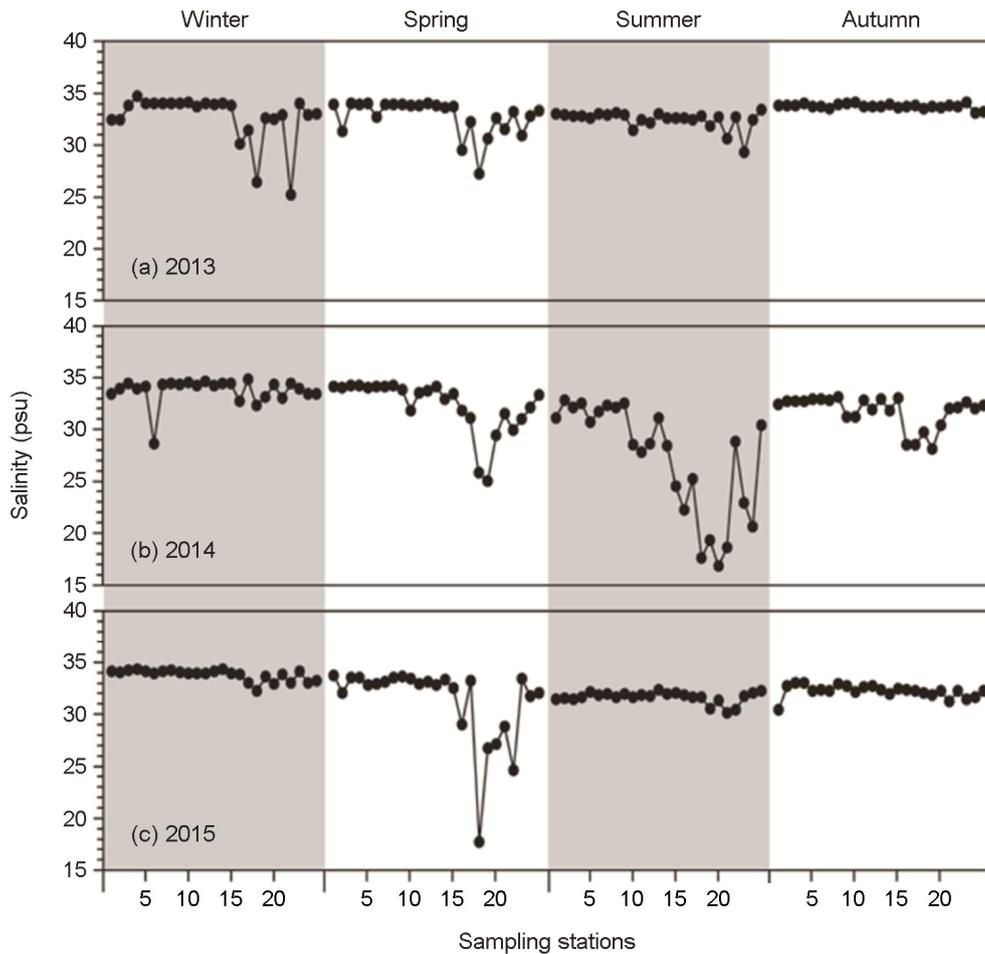


Fig. 2. Seasonal variations of salinity at 25 stations from 2013 to 2015 in the surface layer of Busan coastal water.

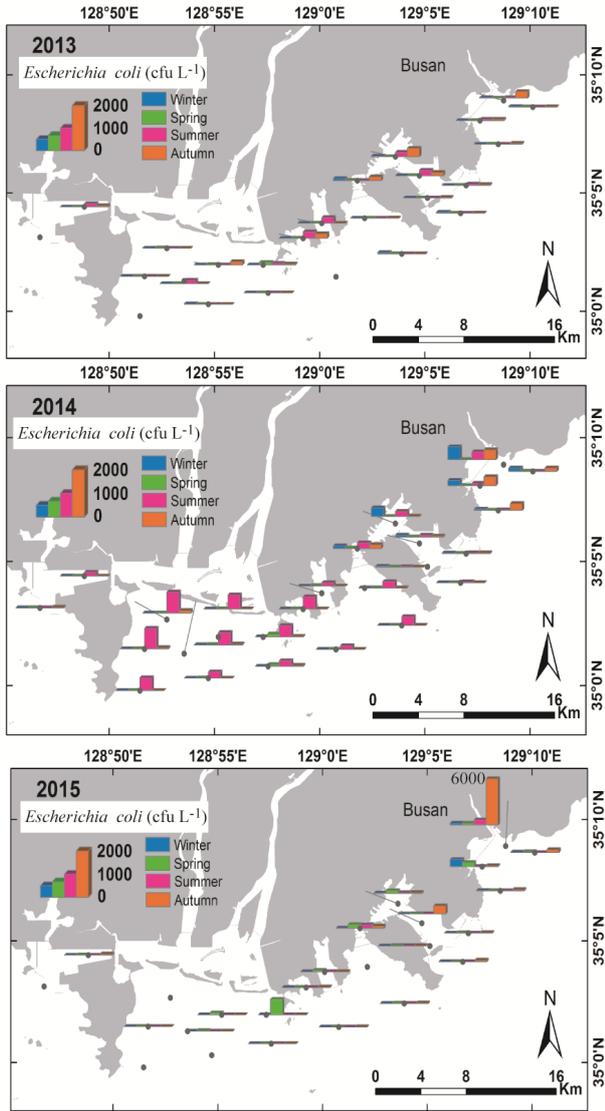


Fig. 3. Seasonal variations of *Escherichia coli* (cfu l⁻¹) during three years sampling period in the surface of Busan coastal water.

2015>2013년 순으로 높게 나타났다. *E. coli*의 최고치는 2015년 추계 정점 1(지역 I)에서 6,000 cfu l⁻¹로 관찰되었고, 다음으로 낙동강 하구 정점 19(지역 IV)에서 887 cfu l⁻¹로 높게 관찰되었다(Fig. 3). 계절별로는 동계에 일부 정점을 제외하면 대장균수는 거의 관찰되지 않았거나, 낮은 개체수 밀도를 유지하였고, 특히 춘계에서 하계로 갈수록 상대적으로 높게 관찰되는 양상을 나타내었다. 특히적으로 강우가 관찰되지 않아 염분농도가 낮게 유지된 2015년 하계의 대장균수는 일부 정점에서만 낮은 개체수가 관찰되었고, 나머지 정점에서는 거의 관찰되지 않았다. 반면 2014년 하계에 낙동강 하구역인 구

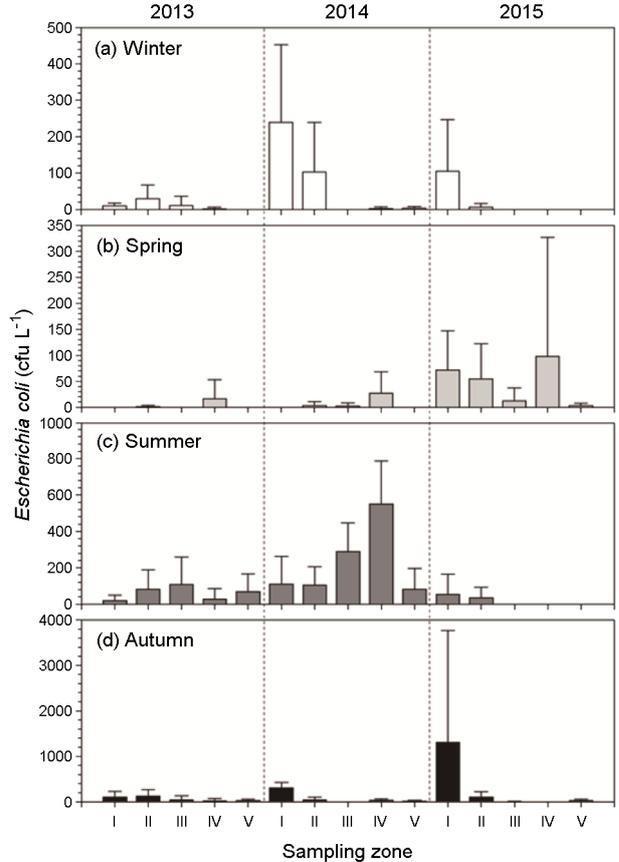


Fig. 4. Changes in zone average of *Escherichia coli* (cfu l⁻¹) during four seasons from 2013 to 2015 in the surface of Busan coastal water.

역 IV에서 구역 III까지 넓은 해역에 걸쳐 저염분화와 더불어 대장균수가 200~800 cfu l⁻¹로 높게 관찰되었다(Fig. 3). 부산연안해역을 5개 구역별로 나누어 대장균 평균값으로 평가한 결과, 2013년은 하계 구역 III에서 108 cfu l⁻¹로 높게 관찰되었다. 2014년 동계에는 수영만이 위치한 구역 I에서 239 cfu l⁻¹로 높게 나타났고, 아울러, 하계에 구역 III과 IV에서 각각 288 cfu l⁻¹와 549 cfu l⁻¹로 높게 관찰되었다. 2015년에는 구역 I에서 하계를 제외한 동계, 춘계, 추계에 상대적으로 높은 대장균수가 관찰되었고, 춘계에는 낙동강 하구역(구역 IV)에서 229 cfu l⁻¹로 높게 나타났(Fig. 4).

대장균 *E. coli*의 출현 분포와 환경요인과의 관계를 파악한 결과, 수온과는 유의한 상관성을 확인할 수 없었다($p>0.05$). 그 이유는 하계로 갈수록 수온이 증가하여 대장균의 개체수가 높게 나타나는 경향은 있었지만, 년도에 따른 강우의 편차가 커서, 본 연구에서는 대장균 분포와 수온의 상관성을 확인할 수 없었다. 반면, 염분농도와 대장균의 상관관계를 살펴본 결과, 2015년 추계 정점 1의 *E. coli*의 최고치를 제외시키면, 염분농도와 음의 상관성을 확인하였다($r=-0.53$

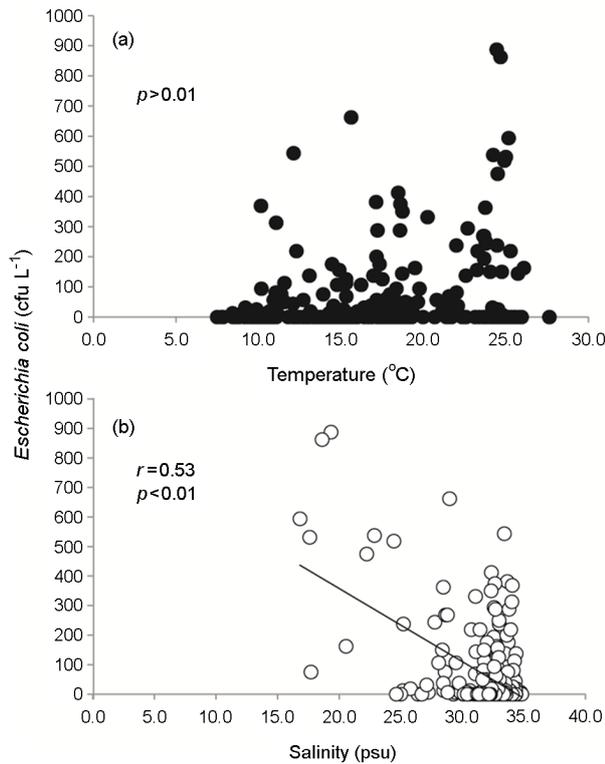


Fig. 5. Relationship between *Escherichia coli* and water temperature (a) and salinity (b) from 2013 to 2015 in Busan coastal water.

$p < 0.05$) (Fig. 5). 본 연구를 통하여 부산연안해역의 대장균의 분포 특성은 강우에 의하여 크게 작용되는 것을 알 수 있었고, 해양에서 염분의 현저한 감소는 대장균 증식 및 군체를 유지시키는데 중요한 역할을 하는 것으로 파악되었다. 일반적으로 담수기원의 부유생물은 해양으로 유입되면 지속적으로 성장하지 않는 특성이 있으나, 본 연구에서는 낙동강으로부터 유입된 대장균이 부산 중앙에 위치한 정점 10 영도 주변 연안해역까지 높은 밀도로 출현하였다는 것은 해양환경하에서도 일정량 증식하였을 가능성이 높다. 이와 유사한 연구사례로 섬진강 영향을 강하게 받는 광양만에서 하계 집중호우 후 담수기원의 분변성 대장균이 광양만 여수주변의 연안해역에 현저하게 영향을 미치고 있다는 것을 파악할 수 있다(Baek, 2014). 연안해역에서 대장균 오염원으로는 태풍과 같은 집중호우에 의한 담수 유입, 농업 및 축산업으로 방출되는 폐수, 도시 인근 주거시설에서 오수누출, 하수종말처리장의 폐수 방류, 항해하는 선박에서 배출되는 오폐수 등이 있다(Palme et al., 1993; Solo-Gabriele et al., 2000). 특히 부산연안해역에서는 해안선이 길어 상기에서 언급한 다양한 오염원에 쉽게 노출될 것으로 판단되었으나, 실제로는 수영만 내측 정점 1에서 극히 높은 값을 보였고, 하계 낙동강 하구에서 높은 밀도의 대장균이 광역화되는 경향을 파악할 수 있었다. 나머지 부산연안해역에서는

외양으로부터의 희석 정화효과가 커서 상대적으로 낮은 대장균 분포를 보였다. 결과적으로 연도별 강우량 차이는 연안해역의 대장균 분포특성에 크게 영향을 미치는 것으로 파악되었고, 특히, 하계의 높은 수온과 연안해역의 저염분화 현상은 분변성 대장균의 광역화에 지대하게 영향을 미치는 것으로 파악되었다.

결론적으로 부산연안해역에서 춘계와 하계 집중강우로 인한 낙동강으로부터 육상 담수기원의 분변성 대장균이 대량 함유되어 구역 IV과 구역 III에서 오염화 현상이 두드러졌다. 반면 구역 I의 수영만에서는 하수종말처리장과 수영천의 영향으로 계절에 관계없이 일정하게 높은 대장균이 관찰되었다. 특히 서부산 낙동강 기원의 오염원은 강우 후 특정지역에서 지역적으로 확산되었으나, 하계 집중강우 후 대량의 담수공급으로 낙동강 하구뿐만 아니라 부산 중앙해역까지 광역화되는 경향을 나타내었다. 이와 같은 오염원은 시간 경과와 더불어 외양의 영향을 강하게 받아 빠르게 희석 정화되는 것을 알 수 있었다. 본 연구 결과는 부산연안해역에서 오염원 유입경로를 부분적으로 파악할 수 있었고, 이는 부산 연안 생태계 보전 및 연안환경 오염관리, 해상레저문화 정착을 위한 기초적 자료로 활용 가능할 것이다.

사 사

본 연구는 한국해양과학기술원 연구과제("PE99432")의 지원으로 수행되었습니다. 현장조사에 도움을 주신 손문호, 김경희, 정진현, 최정민 연구원께 감사의 마음을 전합니다.

참고문헌

- Baek SH. 2014. Distribution characteristics of chemical oxygen demand and *Escherichia coli* based on pollutant sources at Gwangyang Bay of South Sea in Korea. J Korea Academia-Industrial Cooperation Soc 15: 3279-3285.
- Jung KJ, Shin SU. 1996. 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.
- Kim AR, Youn SH, Chung MH, Yoon SC, Moon CH. 2014. The influence of coastal upwelling on phytoplankton community in the southern part of East Sea, Korea. The Sea 19: 287-301.
- Lee HW, Ji HE, Lee SH. 2009. A study of interrelationships between the effect of the upwelling cold water and sea breeze in the southeastern coast of the Korean peninsula. J Korean Soc Atmosph Environ 25: 481-492.
- Lee WJ, Park YT, Kim MC, Seong HK. 1991. 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.
- Palmer CJ, Tsai YL, Lang AL, Sangermano LS. 1993. Evaluation of colilert-marine water for detection of total coliforms and *Escherichia coli* in the marine environment. Appl Environ Microbiol 59: 786-790.
- Park SH, Lee GH. 2006. 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.
- Shin BK, Kwon CJ, Lee SM, Choi CG. 2014. Marine algal flora and community structure of Igidea area in Busan, Korea. J Korean Soc Mar Environ Safety 20: 121-129.
- Solo-Gabriele HM, Wolfert MA, Desmarais TR, Palmer CJ. 2000. Sources of *Escherichia coli* in a coastal subtropical environment. Appl Environ Microbiol 66: 230-237.
- Son MH, Baek SH, Joo HM, Jang PG, Kim YO. 2011. Distributional characteristics of *Escherichia coli* and water pollution in Gwangyang Bay and Jinhae Bay, Korea. Korean J Environ Bio 29: 162-170.