

경포백사장 박테리아 병원균의 자료의 상관성 분석

Correlation Analysis of Bacterial Communities Measured on Kyeongpo Beach

연윤정*, 이정렬**

Yoon Jeong Yeon, Jung Lyul Lee

요 지

매년 여름철 피서지 1순위로 손꼽히는 해수욕장은 해양레포츠의 발달과 관광사업의 촉진으로 수많은 관광객들이 방문하고 있다. 하지만 우리나라 대부분의 해수욕장에서는 건전한 해수욕을 위한 수질안전지표 설정이 매우 미흡한 편이며 오염수준 또한 심각하다. 이에 강원도 강릉시 경포해수욕장을 대상지역으로 2012년 7월 17일부터 9월 4일까지 매주 화요일 오전에 채취한 시료로부터 병원성 수질지표인 장구균과 대장균, 총대장균군의 오염도를 분석하였다. 시료는 경포해수욕장 오리바위 배후부터 연안방향을 따라 200m 간격으로 3지점과 이안방향을 따라 백사장(dry beach), 포말대(swash zone), 유영층(swimming zone)의 3지점에서 총 9개를 채취하였다. 기온, 강우, 장소 등의 해안 환경 변화에 따른 병원균 증식 유리조건 및 인자들간의 상관성을 분석한 결과 백사장에서는 총대장균군, 포말대에서는 장구균, 유영층에서는 대장균의 농도가 가장 높았다. 또한 주간 누적 강우량과 평균 기온에 따라 시료채취 지점마다의 상관성에서는 백사장은 강우량과 정비례, 기온과는 반비례, 포말대와 유영층은 강우량과 반비례, 기온과는 정비례의 관계를 보였다. 백사장과 해수층인 포말대, 백사장과 유영층 각각은 반비례 관계를 보였지만 미비한 수준이었으며 포말대와 유영층간의 상관성은 약 90%의 매우 높은 수치를 띄었다. 본 연구는 건전한 수계 레크레이션 문화의 수질 안전지표 설정을 위해 해수욕장의 대표 관광명소 중 하나인 경포해수욕장을 대상으로 병원성 수질 지표들의 증식 유리 조건 및 확산특성 예측에 목적이 있다. 나아가 본 과정은 해변을 찾는 관광객들의 수질 안전 정보 제공 및 체계적인 가이드라인 제시로도 가치 있을 것으로 기대된다.

핵심용어 : 장구균, 대장균, 총대장균군, 포말대, 유영층, 강우량, 상관계수

1. 서론

강원도 강릉시에 위치한 경포해변은 여름휴가철 4,500,000이상의 관광객들이 방문하는 관광명소지 중 하나이다(그림 1). 하지만 경포해변의 유영폭이 좁은 지형학적 특징으로 유영객의 대부분은 포말대 근처에서 해수욕을 즐기며, 이로 인해 백사장과 해수 수질 오염이 큰 문제가 되어오고 있다. 특히, 유영층에서의 오염원 확산은 유영객들의 건강 문제와 직접적으로 연관되어있기 때문에 더욱 철저한 관리, 감독이 필요하며 경포해변과 같이 대규모의 관광객이 방문하는 해수욕장의

* 정희원 · 성균관대학교 수자원전문대학원 석사과정 · E-mail : yjyj@skku.edu

** 정희원 · 성균관대학교 공과대학 사회환경시스템공학과 교수 · E-mail : jlee@skku.edu

경우 피해규모가 더욱 커진다. 따라서 본 논문에서는 여름철 경포해변의 수질오염 측정을 위하여 미 환경보호국(US EPA)의 제시 기준에 따라 병원균 수질지표인 장구균, 대장균, 총대장균군 분석을 실시하였다(표 1). 또한 포말대 부근의 시료 조사를 바탕으로 한 유영 환경 수질 분석은 관광객들의 안전과 관련한 정보 제공 및 가이드라인 제시에 매우 탁월할 것으로 기대된다.

2. 연구 대상지역의 현장 Sampling

경포해변의 하계 운영기간은 7월 중순부터 8월 말까지이며, 현장 시료 채취를 위하여 2012.07.17. ~ 09.04 기간의 8주에 걸쳐 매주 화요일 오전에 실시되었다. 주간별 강릉 지역의 총강우량과 평균기온이 표 2에 제시되었다.

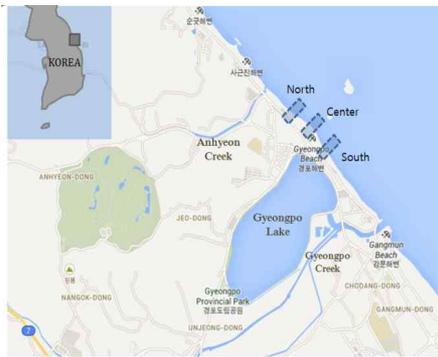


그림 1. 연구 대상지역
(경포해수욕장)

표 1. 미 환경보호청의 분변성병원균
수질환경기준치

지표	가이드라인
대장균	해수의 경우 무관. 담수의 경우 1일 기준 235/100ml 이하
장내균	1일 기준 104/100ml 이하
분원성 대장균군	샘플의 10%가 한달 기준 400/100ml 이하, 1일 기준 800/100ml 이하
총대장균군	샘플의 20%가 한달 기준 1000/100ml 이하 1일 기준 2400/100ml 이하

샘플링 지점은 백사장, 포말대, 유영층(바닷물이 허리선까지 오는 지점)의 3구간으로, 각 구간마다 3개의 시료를 채취하여 총 9개를 수집하였고 샘플링의 기준선인 포말대는 RTK GPS(GX 1230)를 이용하여 선별, 나머지 백사장과 유영층은 기준선으로부터 각각 남쪽, 북쪽으로 200m 떨어진 지점으로 설정하였다(그림 2). 각 구간마다의 시료는 가압 멸균된 폴리프로필렌 용기에 모래 1병, 해수 2병을 채취하였다. 시료들은 4°C 정도로 냉장 보관되어 이동되었고 채취 시점으로 부터 4시간 내에 회석, 접종, 배양 과정을 실시되었다.

해수에 존재하는 장내구균과 대장균의 샘플 채취를 위해 멸균증류수 90ml와 해수 10ml로 1:10의 비율로 희석하였다. 또한 백사장 모래 25g과 250ml의 멸균증류수를 와류믹서로 30분간 혼합해주었다(Boehm et al., 2009). 시료키트는 물 시료와 혼합하여 Colilert(Idexx Laboratories, Inc., Westbrook, Maine)배지에서 35.5°C로 18시간동안, Enterolert(Idexx Laboratories, Inc., Westbrook, Maine) 배지에서 41 °C 로 24시간동안 배양하였다. 배양 후 시료들을 365nm의 파장에의 자외선 흡광도를 측정하였고 최확수법(MPN; Most Probable Number)으로 대장균, 장구균, 총대장균군수를 계수하였다.



그림 2. 경포해변의 모래입경 정보 및 채수 수집

표 2. 강릉지역의 기간별 기상 통계

기간	주간 누적 강우량 (mm)	주간 평균기온 (℃)
7.10 ~ 7.16	117.2	21.9
7.17 ~ 7.23	19.5	23.8
7.24 ~ 7.30	0.0	30.6
7.31 ~ 8.06	4.7	26.6
8.07 ~ 8.13	46.8	26.0
8.14 ~ 8.20	38.0	25.9
8.21 ~ 8.27	79.8	23.3
8.28 ~ 9.03	127.5	22.9

3. 자료 분석

3.1 장구균(Enterococcus)

각 샘플링 위치에서의 장구균의 평균 수치는 백사장에서 662.52 MPN/100m, 포말대에서 1213.18 MPN/100ml, 유영층에서 73.58 MPN/100ml로 포말대, 백사장, 유영층 순으로 높게 관측되었다(그림 3).

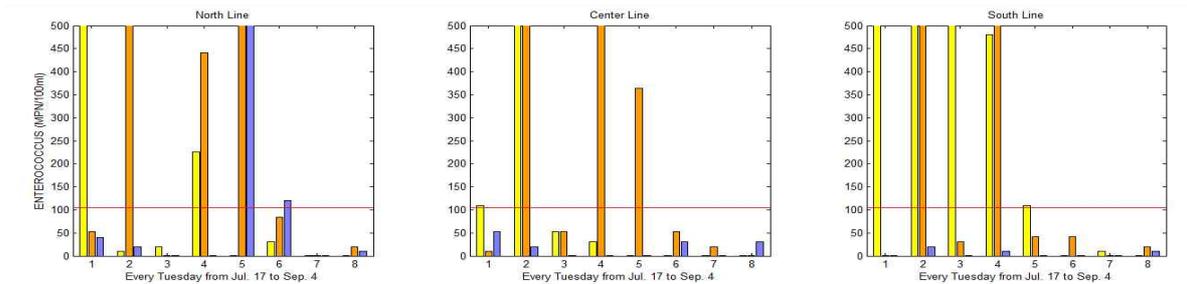


그림 3. 샘플링 장소에 따른 장구균 수의 변화 (노란색=백사장; 주황색=포말대; 파랑색=유영층).

3.2 대장균(E. coli)

각 샘플링 위치에서의 대장균의 평균 수치는 백사장에서 188.77 MPN/100ml, 포말대에서 181.60 MPN/100ml, 유영층에서 217.04 MPN/100ml의 존재로 유영층에서 대장균수가 가장 높고 백사장과 포말대에서는 비슷한 양이 존재하였다(그림 4).

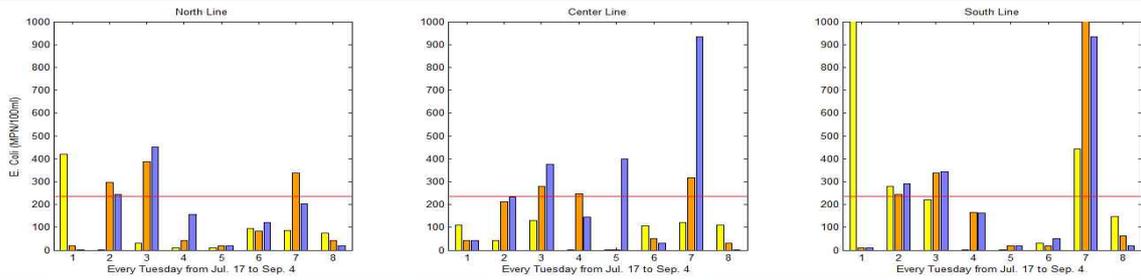


그림 4. 샘플링 장소에 따른 대장균 수의 변화
(노란색=백사장; 주황색=포말대; 파랑색=유영층).

3.3 총대장균군(Total coliform)

각 샘플링 위치에서의 총대장균군은 백사장에서 1734.46 MPN/100ml, 포말대에서 699.79 MPN/100ml, 유영층에서 679.37 MPN/100ml로 백사장에서 가장 높게 관측되었다(그림 5). 포말대와 유영층에서의 총대장균군수는 큰 차이가 없었다. 총대장균군은 대장균(*Escherichia*), 셀라티아(*Serratia*), 클렙시엘라(*Klebsiella*), 하프니아(*Hafnia*), 엔테로박터(*Enterobacter*), 시트로박터(*Citrobacter*) 등을 포함한 다양한 박테리아 균주를 칭한다.

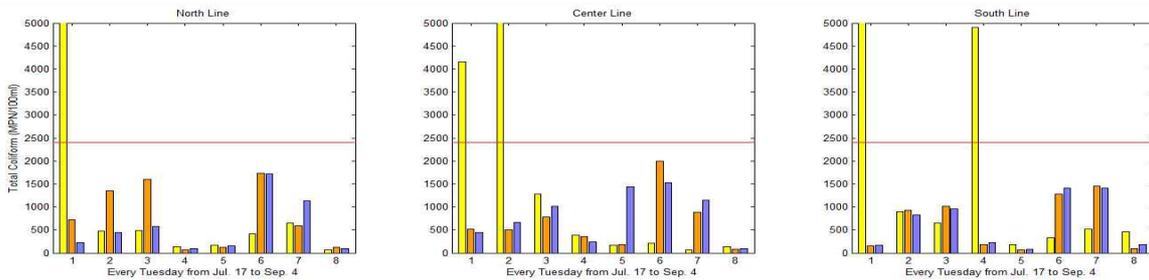


그림 5. 샘플링 장소에 따른 총대장균군 수의 변화
(노란색=백사장; 주황색=포말대; 파랑색=유영층)

3.3 상관성 분석

표 2에 제시된 각 주간의 누적 강우량과 평균 기온과 각 병원균과의 상관관계를 살펴본 결과는 표 3과 같다. 분석 결과 각 병원균간의 상관성은 뚜렷하지 않지만 백사장은 강우량과 정비례, 기온과 정비례의 관계를 보였으며, 포말대와 유영층은 강우량과 반비례, 기온과 반비례의 관계를 보였다. 강우량이 높은 경우 백사장에서의 병원균 증식에 유리한 조건을 형성하였으며, 유영 환경이 좋지 않아 해저면에 존재하는 병원균 부유 현상을 저지하였기에 반비례 관계를 보이는 것으로 해석된다. 평균 기온이 높아 맑은 날씨로 방문객의 숫자가 증가하였지만 백사장 내 병원균의 증식은 감소하였으며 오히려 유영 환경이 좋은 것으로 평가된 것으로 미루어 볼 때 해저면의 퇴적 오염원을 부유시켰기 때문에 높은 수치를 띤 것으로 예상된다. 또한 본 분석결과를 통해 살펴본 바, 주변 하천으로부터의 병원균 유입 가능성이 높지 않은 것으로 판단되었다. 백사장에서는 대장균이, 해수층인 포말대와 유영층에서는 총대장균군과의 상관성이 높게 나타났다.

표 3. 주간 누적 강우량과 병원균간의 상관 계수

병원균	방향	백사장 (%)		포말대 (%)		유영충 (%)	
장구균	북쪽	46.75	42.7	-31.83	-48.4	-5.84	-3.6
	중앙	-25.92		-49.29		62.86	
	남쪽	43.91		-52.36		-17.86	
대장균	북쪽	63.88	57.9	-40.32	-22.7	-69.37	-25.6
	중앙	41.80		-51.00		-11.84	
	남쪽	54.76		-1.77		-11.05	
총대장균군	북쪽	50.28	32.6	-40.79	-35.9	-14.69	-27.6
	중앙	-3.62		-23.72		-32.65	
	남쪽	30.28		-32.01		-28.31	

표 4. 주간 평균 기온과 병원균간의 상관 계수

병원균	방향	백사장 (%)		포말대 (%)		유영충 (%)	
장구균	북쪽	-44.08	-46.1	-10.32	-5.1	12.08	9.4
	중앙	-20.44		-5.36		-61.43	
	남쪽	-45.53		13.25		-23.16	
대장균	북쪽	-52.75	-51.3	35.73	13.8	70.82	19.5
	중앙	-7.48		34.79		8.48	
	남쪽	-51.65		-5.12		0.34	
총대장균군	북쪽	-46.42	-44.1	36.39	28.9	9.82	23.5
	중앙	-31.51		20.02		35.52	
	남쪽	-35.73		20.44		19.45	

이안 방향으로의 영역별 상관성 또한 표 5에 제시되었다. 백사장과 포말대, 백사장과 유영충 간의 상관관계는 누적 강우량과 평균 기온에서 드러난 특징과 같이 반비례관계를 보이지만 높은 수준은 아니며, 포말대와 유영충간의 상관성은 약 90%의 높은 수치를 보인다. 이는 백사장 내 병원균의 해수 유입은 유영객들의 유영 과정과 직접적인 연관이 있음을 예상할 수 있다.

표 5. 주간 평균 기온과 병원균간의 상관 계수

병원균	방향	백사장/포말대 (%)		백사장/유영충 (%)		포말대/유영충 (%)	
장구균	북쪽	-23.89	-8.3	-15.78	-15.0	38.96	8.3
	중앙	83.87		14.88		-13.88	
	남쪽	-13.49		-14.63		59.93	
대장균	북쪽	-33.02	-12.4	-43.86	-17.4	87.94	97.2
	중앙	12.11		11.35		61.63	
	남쪽	-6.88		-8.90		99.30	
총대장균군	북쪽	0.38	-16.1	-18.12	-38.8	65.97	89.3
	중앙	-14.38		-27.24		61.93	
	남쪽	-45.71		-45.48		99.02	

4. 결론

대장균은 사람과 동물의 장내 서식균이나, 허용 기준치를 초과한 오염된 물을 섭취하거나 접

축, 혹은 병원균에 감염된 생물을 통해 전염된다. 이는 지표 세균으로 자체 위험성은 낮으나 병원성 세균과 바이러스가 포함되어 노인이나 유아와 같은 면역체계가 낮은 노약자의 경우 매우 취약하기 때문이다. 본고의 대상지역인 경포해변을 중심으로 병원성 수질오염도를 분석한 결과 과량의 분원성 대장균군이 서식하고 있으며 지형적 특성을 파악한 적절한 규제가 필요할 것으로 판단되었다. 또한 분원성 대장균군은 신체와 직접적인 접촉이 이루어지는 수중레크리에이션의 경우 더욱 중요성이 부각되며 생물학적기준에서의 수질 오염측정 지표로 매우 유용함을 증명하였다.

참 고 문 헌

1. Lee, C.M., Lin, T.Y., Lin, C., Kohbodi, G.A., Bhatt, A., Lee, R. and Jay, J.A., 2006. Persistence of fecal indicator bacteria in Santa Monica Bay beach sediments, *Wat. Res.*, 40(14): 2593-2602.
2. Mika, K.B., Imamura, G., Chang, C., Conway, V., Fernandez, G., Griffith, J.F., Kampalath, R.A., Lee, C.M., Lin, C.-C., Moreno, R., Thompson, S., Whitman, R.L. and Jayn, J.A., 2009. Pilot- and bench-scale testing of faecal indicator bacteria survival in marine beach sand near point sources, *J. Appl. Microbiol.* 107:72 - 84.