

레크레이션 해수의 안전성 지표군으로서의 장구균과 대장균

Enterococci and E.coli As Safety Indexes of Recreational Water Quality

이주용*, 이정렬**

Joo Yong Lee, Jung Lyul Lee

1. 서 론

주 5일제 근무의 확산 등 여가시간의 증대로 인해 레크리에이션의 중요성이 확대되고 있다. 그러나 10-20년만에 수처리에 대한 무관심으로 하천에서의 유영이 거의 불가능해진 환경이 되었고 해수에서의 유영도 이제는 경각심을 갖고 대처해야 할 만큼 오염이 증가되고 있다. 우리나라에서는 해수 수질지표로서 수온, pH, DO, COD, SS, 총인, 암모니아성 질소, 대장균군수 등 8개의 항목을 사용하고 있다. 해수에 접하며 즐기는 수영, 서핑, 스노클 등의 레크리에이션용 해수인 경우 병원성 미생물의 존재여부를 미리 안다면 수인성 질병을 미연에 방지할 수 있겠으나 직접적인 병원성 미생물의 검사는 방법상의 복잡함에 따라 현실적으로 어려움이 많다. 따라서 간접적인 방식으로 대장균군(total coliform)이나 분원성 대장균군(fecal coliform groups), 대장균(E.coli), 장구균(enterococci) 등과 같은 지표미생물을 사용하여 수인성질병의 주 원인인 분원성 오염여부를 진단하여 수인성 질병을 미연에 예방하는 것이 필요하다. 분변 병원균이 포함된 해수욕장에서 수영을 하거나 직·간접적으로 해수를 섭취하는 경우 해수욕객들이 구토, 복통, 설사, 두통, 발열 등을 일으킬 가능성이 농후하기 때문이다.

2005년 여름, 국립 해양수산과학원에서 해수욕장 대장균군수를 측정된 결과, 일부 해수욕장에서는 하수처리장 방류수 수질기준의 최대 30배에 달하는 수치를 보여 해수욕장의 수질이 상당히 악화되었다는 사실이 보도된 바 있다. 그러나 우리나라 병원균 수질지표인 대장균군수(coliform groups)는 미국 환경보호국(US EPA)에서 60년대와 70년대 중반까지 수질지표로 사용하였던 것을 아직도 사용하고 있다. 미국 환경보호국에서는 1976년부터 분원성 대장균군(fecal coliform groups)을, 1986년부터는 대장균(E.coli)과 장구균(enterococci)을 수질지표로 사용하고 있다. 따라서 서둘러 국제적으로 채용하는 추세에 있는 수질 지표의 수용은 물론 제주도나 부산 등 몇몇 해수욕장에 중국이나 일본 등 외국 관광객의 안전한 수용을 위하여 해수욕장 수질 모니터링 사업이 부분적으로라도 추진되기를 촉구한다. 우리나라 대표적인 해수욕장 중 하나인 부산 해운대 해수욕장과 광안리 해수욕장에서 채수한 샘플들을 분석하여 장구균과 대장균 오염 정도를 조사하고 더불어 해수욕장의 수질 개선방향에 대해서도 언급한다.

2. 병원균 수질지표

강우 후에 대장균군수의 양이 급격히 증가하는 점에서 알 수 있듯이 분변 오염물은 하수관 등의 점오염원을 통하여 주로 유입되며 백사장에서의 유아, 애완동물의 배설과 같은 비점오염원 그리고 유영시 저면 교란에 의해서도 농도가 높아진다. 해운대 해수욕장의 경우 해수욕객이 많을수록 후자에 의한 분원성 오염으로 인한 수인성 질병에의 노출은 더욱 심해진다.

병원균 중에서 우리나라에서 현재 사용하고 있는 대장균군수의 수질지표로서의 한계점과 해수에서 장구균이 더 뛰어난 수질지표인 이유를 알아보자.

2.1 대장균군수(coliform groups)의 한계

대장균군(coliform groups)은 오랜 기간동안 수질의 분원성 지표로 사용되어 왔으나 분변 이외의 일반 환경 즉, 토양이나 오염되지 않은 물에서도 발견되어지는 몇몇 종들이 있다. 동물에 따라서는 불검출될 수도 있고, 장 이외에서의 검출

* 학생회원 성균관대학교 토목환경공학과 공학석사 reddr5205@naver.com

** 정회원 성균관대학교 토목환경공학과 교수 공학박사 jllee@skku.edu

상황이 일반적으로 낮다. 또한, 외계에서의 저항성과 온도에 대한 저항성이 약하기 때문에 분변오염의 지표로서 사용하는 데 제한적인 요소들이 있다.

2.2 분원성 대장균군(fecal coliformn groups)

대장균군과 같은 정의에서 배양온도가 44℃로 높기 때문에 열저항성 대장균군이라고도 한다. 온혈동물의 장내온도를 감안하여 자연환경에 있는 세균의 성장을 억제하면서 장내세균이 자랄 수 있는 온도에 배양함으로써 좀더 특이성을 높이므로 분원성오염에 더욱 가까운 지표미생물로 간주된다.

2.3 대장균(E. coli)

대장균은 단일종의 세균으로 인간이나 온혈동물의 장내 우점을 이루는 통성혐기성세균이다. 대장균군, 분원성 대장균군보다 분원성 오염에 대한 특이성이 높다. 어떤 변종은 병원성이나 장독성을 가지고 있기도 하나 대부분이 비병원성이다.

2.4 장구균(Enterococci)

이에 비해 장구균은 분변오염 지표세균으로 주목받기 시작한 역사가 짧기 때문에 확실한 시험법이 아직 확립되어 있지 않다는 단점이 있기는 하지만, 사람 및 동물의 장내에 높은 비율로 존재하고, 자연계에서는 증식하지 않고 토양이나 물 등에서는 대장균군수에 비하여 훨씬 적게 검출이 된다. 또한, 사람이나 동물의 종류에 따라 상재하는 장구균의 균종이 다르므로 사람, 가축 또는 야생동물 등 유래가 다른 분변으로부터의 오염을 구별하여 검출하는 것도 가능하다는 장점이 있으며, 대장균군수에 비해 외계에서의 저항성과 온도에 대한 저항성이 강하기 때문에 분변오염의 지표로서 더욱 적합하다고 할 수 있다.

3. 미국 환경보호국의 수질지표 기준

미국 환경보호국(US EPA)에서는 1986년부터 해수의 경우에는 장구균(Enterococci)을, 담수인 경우에는 장구균(Enterococci)과 대장균(E.coli)을 수질지표의 기준으로 사용할 것을 권고하고 있으며, 그 기준은 표 1.과 같다. 그러나, 이 기준에 대해서도 사람마다 반응 정도가 다르므로 1000명중 19명은 병원균에 감염될 여지가 있다.

표 1. 미국 환경보호국 수질지표 기준

담수 (CFU*/100ml)		수영을 위한 기준	78.00
장구균(Enterococci)	61	수영하기에 적절한 기준	85.28
대장균(E.coli)	235		
해수 (CFU/100ml)		가벼운 수영을 위한 기준	93.60
장구균(Enterococci)	104	가끔하는 수영을 위한 기준	98.80

* CFU : Coliform Forming Units (세균의 밀도측정 단위) / 한 개의 샘플만을 채수했을 때의 기준임

4. 사례 연구 : 광안리 해수욕장, 해운대 해수욕장, 수영천

해수욕장의 수질지표로서 선진국에서 사용되는 장구균(Enterococci)을 이용하여 분변성 오염 정도를 조사하기 위해서 우리나라 유명 해수욕장으로 부산 수영천을 사이에 두고 수영구와 해운대구에 위치한 광안리 해수욕장과 해운대 해수욕장 해역에서 2005년 7월 29일부터 8월 26일까지 총 세 차례에 걸쳐 수질 채수를 통한 병원균 분석을 실시하였다. 그림 1.은 사례 연구를 시행한 해수욕장과 채수지점의 위치를 표시한 것이다. 2, 3차시에는 해안선 근처 부분에서 해수저면부와 해수표면의 두 가지 수심에서 채수함으로써 저면교란에 의한 영향을 살펴보았다. 1차 채수 전날 심야에는 16.5mm의 집

중호우가 부산지역에 내렸다.



그림 1. 채수지역 정보

채수시 샘플은 멸균처리된 용기를 이용하여 채수하였고, 해수욕장에서는 수심 1m의 깊이에서 수면으로부터 30cm정도 깊이의 물을 채수하였고, 2,3차 측정시에는 측정 1, 3, 5, 10, 12, 13에서 해수저면부에서도 채수하였다. 입수가 불가능한 경우, 채수기를 통하여 채수하였고, 4℃의 아이스박스에 샘플을 보관함으로써 채수당시의 병원균을 보존할 수 있었다. 분석시, 장구균(Enterococci)의 경우 mE(m Enterococcus Agar(Difco))배지를 사용해서 분석하였고, E.coli는 EMB(Difco) 배지를 써서 분석하였다.

4.1 채수 샘플의 수치분석 결과

각 지점에서 채수된 샘플의 장구균(Enterococci)과 대장균(E.coli)의 수치분석 결과는 표 2.와 같다.

Station	1차		2차		3차	
	E.coli	Entrococci	E.coli	Enterococci	E.coli	Enterococci
1-상층	10000	100	150	112	4000	40
1-하층			350	40	2700	84
2-상층	0	0	200	4	250	2
3-상층	20000	250	700	46	650	8
3-하층			1000	28	600	18
4-상층	10000	50	150	0	50	0
5-상층	10000	1250	50	36	950	2
5-하층			100	18	550	8
6-상층	70000	200	0	3	150	0
7-상층	10000	100	2200	62	110800	216
8-상층	0	0	2650	78	177000	1196
9-상층	0	500	250	24	950	16
10-상층	0	0	600	215	250	6
10-하층			1100	82	100	2
11-상층	0	100	0	3	50	0
12-상층			3300	1412	350	10
12-하층			3050	1324	150	6
13-상층			100	0	50	0
14-상층			1150	52	350	4
14-하층			1700	30	200	6
15-상층			250	0	0	0

그림 2. 채수수질 분석결과

4.2 장구균(Enterococci)의 유입과 확산경로

표 2.에서 1차 측정 전날 부산시에 집중호우가 내린 것으로 인해서 우천후 분변 오염 지표세균의 수가 늘어남을 유추할 수 있고, 해수욕객이 많았던 측정점 3과 9에서 장구균의 수치가 높게 나타남을 알 수 있다. 2차 측정 결과에서는 해수욕객이 많았던 해운대 해수욕장의 측정점 10과 12에서 장구균의 수치가 높게 나타났고, 해수욕객들에 의한 저면부 교란에 의해서 대장균군이 민감하게 반응함을 알 수 있다. 해수욕객이 없는 시점인 3차 측정에서는 수영하수종말처리장에서 나오는 방류수가 영향을 미치고, 미처리된 생활하수가 방류되는 광안리 해수욕장의 측정점 1의 수치가 높았다.

5. 결 론

연간 수천만명이 활용하고 있는 레크리에이션 해수공간인 해수욕장의 해수 수질은 국민 건강과 밀접한 관련이 있다. 보다 건강과 밀접하게 반응할 수 있는 수인성 병원균 수질지표를 활용해서 보다 정확한 수질의 상태를 판단하고, 국민에게 알리는 것이 중요하다. 지속적인 모니터링을 통한 일관성 있는 해수욕장의 수질관리가 필요할 것이고, 다음과 같은 대책을 통해 수질향상에 도움을 줄 수 있다.

1. 주변 하수관으로부터 분변 오염물이 해수욕장으로 유입되는 것을 막아야 한다. 또한 비점오염의 유입을 막기 위하여 처리시설을 갖춘 하수관거를 설치함으로써 해수욕장으로 직접 유입되는 병원균의 수치를 줄여야 한다.
2. 해수욕장 마다 무료 샤워시설을 확충하여 해수욕장에 출입하는 해수욕객들로부터 유입되는 병원균들을 차단함과 동시에 해수욕을 마친 해수욕객들이 해수에서 접한 병원균들을 씻도록 해줌으로써 국민 건강에 공헌할 수 있도록 한다. 유명 해수욕장일수록 백사장은 물론 인근 해역도 청결하게 유지되도록 관리하는 것이 필요하다.
3. 지속적인 해수욕장 수질 모니터링을 실시하여 국민들에게 수질에 관한 정보를 알려주고 수질 악화시 통제함으로써 국민건강에 관심을 갖도록 해야 한다. 그리고 수질이 의심되는 곳에서 유행할 경우 가능하면 해수를 마시지 않도록 유념하는 것은 물론 코, 눈, 귀, 머리를 물 속에 담그는 유행병을 피하여 병원균의 체내 유입을 가능한 막도록 해야 한다.

감사의 글

본 연구에서 광안리 해수욕장과 해운대 해수욕장, 수영천의 여러 장소에서 채수한 샘플의 분석은 부경대학교 자연과학대학 해양환경 미생물 연구실의 도움으로 이루어진 것으로 본 연구를 가능케한 해양 환경 미생물 연구실에 감사드립니다.