Korean J. Environ. Biol. 29 (3) : 202~207 (2011)

부산광역시 세 해수욕장 백사장에서 세균 오염도 조사

허 만 규* · 조 경 순[1]

동의대학교 분자생물학과, [1]부산광역시 보건환경연구원

A View of Soil Microbial Contamination on the Three Sandy Beaches in Busan

Man Kyu Huh* and Kyung-Soon Cho[1]

Department of Molecular Biology, Dongeui University, Busan 614-714, Korea
[1]Busan Metropolitan City Institute of Health & Environment, Busan 613-806, Korea

Abstract – Bacterial contamination of beach sand was examined in April, June, July, and August. Twenty four topsoil and subsoil samples were taken from the 1 m and 5 m points from the coastline in three Busan beaches (Haeundae, Gwanganli, and Songjeong). The 5 m points from the coastline showed higher coliform contamination than 1 m points. July showed the highest bacterial contamination on beaches among surveyed months. Coliform contamination in the subsoil was higher than that of the topsoil. The bacterial contamination of 5 m points of topsoil and subsoil in June except the Songjeong Beach was higher than those of July and August. We investigated *Staphylococcus aureus*, *Vibrio parahaemolyticus*, *Vibrio vulnificus*, *Vibrio cholerae*, and *Bacillus cereus*. Only *B. cereus* was detected at the beach in August. Although microbiological pollution of the Gwanganli Beach was the highest among three Busan beaches, the degree of contamination was not high compared to those of other countries. However, sandy soil management in public beach for pathogenic microorganisms is needed.

Key words : Busan beach, bacterial contamination, topsoil and subsoil

서 론

산업화에 따른 각종 합성 물질들이 개발되어 대량으로 사용됨에 따라 생산과 운반, 저장 등의 과정에서 토양으로 유입 되어 심각한 환경오염을 유발시키게 된다. 오염 물질에 토양이 노출이 되면, 미생물을 비롯한 생물의 활성이 저해하고 오염 물질들이 축적됨에 따라 토양 스스로의 자정능력을 상실시키게 된다(Hong *et al.* 2007). 토양 오염은 생체 이물 및 인간이 만든 화학 물질 또는 기타 토양 환경의 변경에 의한 경우도 있으나 해수욕장의 경우 오염의 유형이 지하 저장 탱크의 파열로 살충제, 연료, 오일 등이 지층으로 침출되는 등과 같은 산업 폐기물의 직접 방전이기보다는 해수욕장을 이용하는 사람들에 의한 경우와 모래 유실에 따른 타 지역으로부터 모래 유입 과정에서 오염물질과 토양미생물의 유입이 있을 수 있다.

우리나라 최대 해수욕장을 보유하고 있는 부산광역시에서 해수욕장 홍보는 전국 또는 해외에서도 이루지고 있는 반면 관리 차원에서 미생물 오염에 대한 조사가

* Corresponding author: Man Kyu Huh, Tel. 051-890-1529, Fax. 051-890-1521, E-mail. mkhuh@deu.ac.kr

거의 실시되지 않고 이에 대한 조사도 거의 보고되지 않고 있다. 이는 외국의 경우 1980년대, 90년대의 연구 보고서 (USEPA 1986; Pruss 1998) 등에 비해 매우 늦은 편이다. 예를 들면 위스콘신 주에서는 대장균의 밀도가 0～234 *E. coli* 100 mL^{-1}일 경우 '적합 (good)'으로 판정해 해변을 개장을 허용한다 (Wisconsin Department of Natural Resources 2001). 235～999 100 mL^{-1}일 경우 '주의 (caution)' 발령을 내린다. 우리나라의 경우는 해수욕장 수질기준 운용지침 [식품의약품안전청]양식/서식/샘플 식품의약품안전청 훈령 발령번호 [제402호] 2009-08-24일자로 발령한 해수욕장수질기준 운용지침과 해수욕장 수질기준 운용지침 (국토해양부 훈령 제87호)에 의거 5개 항목 (화학적 산소요구량, 부유 물질, 총인, 암모니아성 질소, 대장균군수)을 분석하여 적합, 관리요망, 부적합의 3가지 등급으로 수질을 평가하고 있지만 해수욕장 모래 자체의 평가 기준은 없다.

해수욕장에 서식하는 수생 미생물은 대부분이 서식장소에 따라 1) 민물세균, 2) 해수세균, 3) 하수세균으로 분류된다.

첫째, 민물 세균은 대부분 그람음성 간균이며 *Pseudomonas, Acinetobacter, Alcaligenes, Aeromonas, Flavobacterium* 등이 있고 하천, 호수, 연못 등의 지표수에 서식하여 민물계 세균상을 이루고 저장 중인 생선, 어패류나 식육의 부패에 관여한다. 또한 이들은 장소, 계절, 강우 등에 따라 미생물수가 크게 변화한다.

둘째, 해수세균은 대부분 호염성 또는 내염성이며 *Vibrio, Pseudomonas, Achromobacter, Aeromonas, Photobacterium* 등이 있고 육지 토양으로부터 유입된 *Bacillus, Micrococcus, Corynebacterium* 등도 검출된다. 이들 또한 서식 장소와 환경 조건에 따라 고유의 세균상을 이루며 세균수도 달라진다. 해수 세균의 세균상은 어류의 체표면의 세균상과 상당히 일치하며 어획 후의 바다산 어패류의 부패원인이 된다 (Salvo and Fabiano 2007).

셋째, 하수 세균은 민물, 흙, 분변 등에서 유래하는 각종 세균으로 구성되어 있으며 *Escherichia coli, Citrobacter freundii, Klebsiella pneumoniae, Enterobacter cloacae, Proteus* 등과 *Clostridium, Bacillus* 등의 포자 형성 세균과 *Pseudomonas, Micrococcus, Vibrio* 등도 포함된다.

2009년 8월 12일자 KNN방송에서 해수욕장 백사장 모래의 미생물 오염 문제를 제기하였다. 이처럼 안전한 여가 활동을 구가하려는 시민들의 욕구뿐만 아니라 최근 보다 빠른 교통수단으로 타 지역으로부터 부산의 여름철 해수욕장 이용자 수가 급격히 증가하며 이에 대한 적절한 관리가 필요해졌다. 대표적인 부산시 내 해수욕장인 해운대는 연간 이용자 수가 50～60만의 인파가 몰려 식중독, 피부병 등을 일으키는 미생물의 오염 정도를 파악하는 일이 선행될 필요가 있다. 이에 따라 부산시 내 해수욕장 3개소의 백사장 모래를 채취하여 해수욕장 모래의 세균 오염도 조사를 실시하여 쾌적하고 안전한 해수욕장 관리 운영을 위한 기초 자료로 활용하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 채취지역 및 주기

부산시 내 해수욕장 3개소 (해운대, 광안리, 송정)에서 해수욕장별 2개 지점을 선정하여 해안선 1 m, 해안선 5 m 지점의 표토와 심토를 채취하였다 (Table 1). 표토는 표면에서 5 cm 이내, 심토는 30±5 cm 깊이에서 채취하였다. 조사는 개장 전 4, 6월과 개장 시 7, 8월 각 1회씩 총 4회에 걸쳐 조사하였다. 이것은 인위적 설정이어서 결국 6, 7, 8월의 여름과 여름이 아닌 4월의 봄과 세균의 수 등을 비교하였다.

2. 조사항목

조사 미생물로는 일반 세균, 대장균군 (*Coliform bacilli*), 황색포도상구균 (*Staphylococcus aureus*), 장염비브리오

Table 1. The collection sites and depths of soil

Codes	Collection sites	Plot (depth)
Gwangan-1	Right side of sea bathing at Gwangan-dong (in front of WHO)	1 m from coastline (topsoil, subsoil) and 5 m from coastline (topsoil, subsoil)
Gwangan-2	Left side of sea bathing at Gwangan-dong (in front of Hotel Homerous)	〃
Haeundae-1	Right side of sea bathing at Haeundae (in front of Harbor Town)	〃
Haeundae-2	Left side of sea bathing at Haeundae (in front of Hotel Novotel)	〃
Songjeong-1	Right side of sea bathing at Songjeong-dong (in front of KT Submarine)	〃
Songjeong-2	Left side of sea bathing at Songjeong-dong (in front of the School with experiencing wind-surfing)	〃

균(*Vibrio parahaemolyticus*), 비브리오패혈증균(*Vibrio vulnificus*), 비브리오콜레라균(*Vibrio cholerae*), 바실러스 세레우스균(*Bacillus cereus*)으로 7개 항목에 대하여 조사를 진행하였다.

3. 시험분석 및 방법

모래 100 g를 멸균생리식염수 900 mL에 10배 희석한 후 잘 혼합하여 상층액을 멸균생리식염수로 10^{-1}～10^{-4} 배까지 10배 단계 희석하여 검액으로 사용하였다. 세균수 측정은 표준 평판법을 이용하였다. 1평판 당 30～300개의 집락을 생성한 평판을 선택하여 집락 계산기를 사용하여 집락수를 계산하여 2개 평판배지에 나타난 집락을 계수하여 2로 나누었다.

대장균군은 검액 10 mL, 1 mL, 0.01 mL를 각각 5개씩 BGLB 배지에 접종하여 35±1°C에서 24시간 배양하였다. 가스발생 발효관에 각각에 대하여 추정, 확정, 완전시험을 행하고 대장균군의 유무를 확인하였고, 최확수법에 의해 진행 하였다. 황색포도상구균은 검액 0.3～0.4 mL 총 접종액이 1 mL가 되도록 Baird-Parker 한천배지에 도말하여 접종액이 완전히 흡수되도록 10분간 실내에서 방치한 후 35±1°C에서 45시간 배양하여 배양정량시험법에 따라 계수하였다. 비브리오균류(콜레라균, 패혈증균, 장염비브리오균)는 검액 10 mL를 무균적으로 취하여 10 mL의 2배 농도 APW (Alkaline peptone water, pH 8.6, 2% NaCl)에 넣고 증균 배양한 후 TCBS 한천배지에 접종하여 분리배양 후 확인시험을 실시하고 생화학적 확인동정 시험을 진행하였다. 바실러스 세레우스는 검액 0.2 mL 씩 5장씩 MYP 한천배지에 도말하여 접종액이 1 mL가 되게한 후 30°C에서 24시간 배양한 후 집락 주변에 lecithinase를 생성하는 혼탁한 환이 있는 분홍색 집락을 계수하였다.

기 발표된 외국 문헌은 일반세균, 황색포도상구균, 바실러스 세레우스균은 g 당 CFU (cell forming unit)로 표시되어 있고, 대장균군은 100 mL당 most probable numbers (MPN)로 나타내었기 때문에 본 연구에서도 같은 기준에 따라 표시하였다.

결 과

1. 세균 오염도

광안리 해수욕장, 해운대 해수욕장, 송정 해수욕장의 모래사장의 일반세균 오염도를 조사한 결과 해변 모래에서는 세균수가 최대 약 5.7×10^{6} g^{-1} 검출되었다(Table 2). 이는 일반 토양에서 세균수가 10^{9}～10^{10} g^{-1} 생육하고 있는 것에 비교하면 해변 모래에서 세균수가 낮은 수치이다.

Table 2. Coliform assessment of sediments in three beaches in Busan (unit: ×10 CFU g^{-1}).

Area	Plot	Soil	April	Summer			Mean
				June	July	August	
Gwangan-1	1 m	Topsoil	68	758	5920	135	1720
		Subsoil	43	145	1955	80	556
	5 m	Topsoil	5, 26	1250	56582	355	14678
		Subsoil	−	315	1720	325	590
Gwangan-2	1 m	Top	72	845	4605	135	1414
		Subsoil	36	227	1662	80	501
	5 m	Top	4, 58	1380	35064	422	9331
		Subsoil	1, 95	527	11215	368	3076
Haeundae-1	1 m	Topsoil	4	69	800	95	242
		Subsoil	−	50	120	160	83
	5 m	Topsoil	34	3560	5417	1196	2552
		Subsoil	−	615	3150	669	1109
Haeundae-2	1 m	Top	6	55	800	95	239
		Subsoil	3	27	120	160	77
	5 m	Top	30	2250	33612	1056	9237
		Subsoil	8	743	16230	550	4383
Songjeong-1	1 m	Topsoil	3	32	180	141	89
		Subsoil	−	13	180	160	89
	5 m	Topsoil	38	2800	47500	248	12646
		Subsoil	35	175	1308	595	528
Songjeong-2	1 m	Top	2	29	260	258	137
		Subsoil	1	12	150	170	83
	5 m	Top	356	265	28900	387	7477
		Subsoil	288	145	898	265	399
Mean	1 m	Top	25	297	2094	143	6, 40
		Subsoil	14	79	698	135	231
	5 m	Top	240	1918	34513	610	9320
		Subsoil	88	420	5754	462	1680

바다 수면 지점으로부터 이격 거리가 1 m 거리 지점의 모래보다 5 m 떨어져 있는 지점에서 세균 오염도가 높은 것으로 조사되었다. 해안선으로부터 1 m 지점의 월별 세균 오염도를 조사해 본 결과 7월에 가장 높았고 광안리 해수욕장에서 세균오염도가 높았다. 해안선으로부터 5 m 지점의 경우는 모래에서 월별 세균 오염도 역시 7월에 오염도가 높았고, 광안리, 해운대, 송정 해수욕장의 오염도는 거의 비슷하였다.

표토와 심토의 비교에서는 해안선으로부터 1 m 또는 5 m 지점 모두 심토보다는 표토에서 월별 세균 오염도가 높았다.

해수욕장 간 비교에서 4월에서는 해운대 해수욕장이

Table 3. Microbiological assessment of sediments in three beaches in Busan (unit: ×10 MPN 100 mL^{-1}).

Area	Plot	Soil	April	Summer			Mean
				June	July	August	
Gwangan-1	1 m	Topsoil	12	120	–	–	40
		Subsoil	2	4	–	–	1
	5 m	Topsoil	5	8000	38	43	2694
		Subsoil	–	2	1	–	1
Gwangan-2	1 m	Top	9	57	2	–	20
		Subsoil	3	12	4	–	4
	5 m	Top	26	36	4	200	20
		Subsoil	1	4	4	0.3	3
Haeundae-1	1 m	Topsoil	–	4	8	75	7
		Subsoil	–	2	–	–	0.7
	5 m	Topsoil	5	24	–	–	8
		Subsoil	19	22	27	27	25
Haeundae-2	1 m	Top	–	4	8	8	7
		Subsoil	–	2	–	–	1
	5 m	Top	3	16	14	12	14
		Subsoil	2	5	–	–	12
Songjeong-1	1 m	Topsoil	–	–	–	–	–
		Subsoil	–	–	–	–	–
	5 m	Topsoil	–	–	0.4	–	0.1
		Subsoil	22	–	–	–	–
Songjeong-2	1 m	Top	–	–	–	–	–
		Subsoil	–	–	–	–	–
	5 m	Top	1	–	2	–	0.1
		Subsoil	–	–	–	–	–
Mean	1 m	Top	17	30	30	30	12
		Subsoil	1	3	1	0.0	1
	5 m	Top	7	1346	90	120	456
		Subsoil	8	5	50	50	7

두 지점 모두 광안리와 송정보다 세균 오염도가 낮았다. 6월에서는 해운대의 하버타운 정면이 심토와 표토를 아울러 세균 오염도가 가장 높게 나타났다. 7월에서는 세 해수욕장이 모두 오염이 심하였다. 8월에서는 세 해수욕장이 모두 오염도가 7월에 비해 많이 회복되었다.

전반적으로 여름(6, 7, 8월)은 봄(4월)에 비해 토양 깊이, 해안선으로 이격 정도에 모두 세균 오염도가 높았다.

2. 해변 모래에 대장균군 오염도

부산광역시 광안리 해수욕장, 해운대 해수욕장, 송정 해수욕장의 모래사장의 대장균군오염도를 해안선으로부터 1 m 거리 지점과 5 m 지점에서 표토와 심토를 조사하였다(Table 3). 4월과 6, 7, 8월에서 대장균군 오염도가 가장 높은 곳은 광안리-1로 5 m 표토에서 대장균군의 오염도가 가장 높았다. 세 해수욕장의 평균 대장균군은

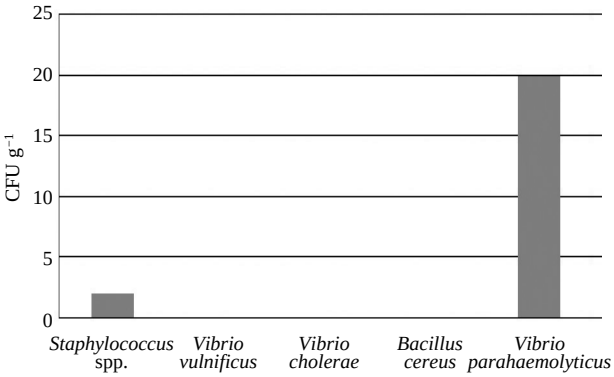

Fig. 1. Median values 100 mL^{-1} of the bacterial densities in samples of beach sands.

$10^1 \sim 10^4$/100 g으로 나타났다.

월별 대장균군 오염도를 조사해 본 결과 6월이 전체 조사구 24곳(세 해수욕장별 두 지점, 1 m, 5 m, 표토, 심토) 중 16조사구에 대장균군이 검출되었으며 오염도도 가장 높았다. 그 다음은 4월로 13조사구에서 대장균군이 검출되었다. 7월은 12조사구에서 대장균군이 검출되었고 8월에는 7조사구에서 대장균군이 검출되었다.

해안선으로부터 1 m 지점과 5 m의 비교는 5 m 지점이 월별에 따른 전체 48검체(12조사구×4개월) 중 30검체에서 대장균군이 검출되었다. 반면에 1 m 지점은 18검체에서 대장균군이 검출되어 해안선으로부터 5 m 지점이 1 m 지점보다 대장균군 오염도가 높았다.

토표와 심토 중 송정해수욕장을 제외하고는 토표와 심토가 같이 오염되었으며 전반적으로 표토가 심토보다 대장균군 오염도가 높았다. 해운대-1 지점은 6월을 제외하고 심토가 더 많이 검출되었다.

3곳 해수욕장 중에서 광안리 해수욕장이 전체 32검체 중 24검체에서 대장균군 오염도를 나타내었고 전체 오염도도 가장 높았다. 해운대 해수욕장이 전체 32검체 중 20검체에서 대장균군 오염도를 나타내었고, 송정 해수욕장이 전체 32검체 중 4검체에서 대장균군 오염도를 나타내었으며 해안선으로부터 1 m 지점은 조사한 4개월 모두 대장균군이 검출되지 않았다.

전반적으로 여름(6, 7, 8월)은 봄(4월)에 비해 토양 깊이, 해안선으로 이격 정도에 모두 대장균군의 오염도가 높았다.

3. 해변 모래에 병원성균 오염도

광안리, 해운대, 송정의 해변 모래에서 콜레라균, 패혈증균, 장염비브리오균, 바실러스 세레우스균, 황색포도상구균 등의 식중독균 및 피부병원균을 조사한 결과, 장염

비브리오균만 전반적으로 검출되었고 그 외 다른 균은 검출되지 않았다. 다만 황색포도상구균은 불검출이지만 *Staphylococcus* spp.는 반복 실험 중 2건 검출되었다(Fig. 1). 장염비브리오균의 검출 시기는 8월에만 검출되었고, 검출 지점은 광안리 해안서 1 m 지점의 표토와 심토, 광안리 해안선 5 m 지점의 표토, 해운대 해안선 1 m, 5 m 지점의 표토와 심토, 송정 해안선 1 m 지점의 표토에서 장염비브리오균이 검출되었다.

고 찰

국내 및 국외 해변의 오염도를 비교해 보면 일반 토양에 정상적인 세균수 분포는 $10^8 \sim 10^{10}$ g^{-1} CFU (Cell Forming Unit) 정도 존재하지만(Alm *et al.* 2003; Macini *et al.* 2005; Kleinheinz *et al.* 2006; Bonilla *et al.* 2007; Garrido-Perez *et al.* 2008), 해변의 모래에서는 4월에는 3곳의 해수욕장에서 평균 세균수가 863 g^{-1}, 6월에는 7,317 g^{-1}, 7월에 1,331,578 g^{-1}, 8월에는 2,633 g^{-1} 검출되었으며, 일반 토양보다 세균수는 낮은 수치로 나타났다(Table 2).

모래의 세균 오염도에 관하여 연구 조사된 국내·외적 자료가 없어 비교하지 못하였다. 본 자료는 이에 대한 기초가 될 것이다.

분변성 대장균군은 4월에는 3곳의 해수욕장에서 평균 918 100 mL^{-1}, 6월에 6,785 100 mL^{-1}, 7월에 107,645 100 mL^{-1}, 8월에 3,377 100 mL^{-1} 검출된 부산시 해수욕장의 대장균군 (*Coliform bacilli*, *Klebsiella* spp., *Enterobacter* spp., *Citrobacter rodentium* 등)의 조사 결과는 $10^1 \sim 10^6$ 100 mL^{-1}으로 오염도는 스페인과 이탈리아에서 장구균과 대장균이 $10^1 \sim 10^3$ 100 mL^{-1}로 나타난 결과보다는 조금 높았고(Solo-Gabriele *et al.* 2000; Macini *et al.* 2005), 미국의 해변 모래에서 나타난 수치 $10^5 \sim 10^6$ 100 mL^{-1}의 대장균군 결과(Alm *et al.* 2003; Bonilla *et al.* 2007)보다는 낮은 수치로 검출되었으므로 부산의 해변 모래가 미국에 비해 깨끗하다고 사료되지만 지점별 편차가 커서 오염제공원이 되는 해수욕장의 청결한 관리가 지속적으로 필요하다고 사료된다.

토표와 심토 중 7월의 송정해수욕장 한 지점을 제외하고는 토표와 심토가 같이 오염되었으며 전반적으로 표토가 심토보다 대장균군 오염도가 높았는데(Table 2) 이는 이탈리아(Macini *et al.* 2005), 오대호와 미국 해안에서 토양 깊이에 따른 결과와 유사하였다(Kleinheinz *et al.* 2006).

7월엔 해변 모래에서 곰팡이가 검출되기도 하였으나 곰팡이를 동정할 수 있는 실험방법이 준비되지 못하여 확인 동정하지 못하였다. 비록 봄은 4월에 국한 하였지만 전반적으로 여름이 겨울이나 다른 계절보다 높았는데 미국의 담수변 및 해변 역시 여름이 높았다(Neumann *et al.* 2006).

해변 모래에서 분변성 오염지표세균인 대장균군이 검출되고 있다는 것은 병원성세균이 존재할 가능성이 높으므로 해변의 병원미생물에 대한 연구는 좀 더 심도 깊고 구체적으로 세분화하여 연구할 필요가 있다고 사료된다. 특히 1991년 이미 WHO/UNEP 연석회의에서 해안의 세균 오염에 대한 지적을 보고한 바 있고(WHO/UNEP 1991), 1993년 인위적 오염이 그 원인으로 제시되었다(WHO/UNEP 1993).

장염비브리오균은 식중독의 원인 세균으로 경구적 감염을 일으키지만, 모래 속에 있는 장염비브리오균이 인체 감염을 일으킬 정도의 많은 량은 아닌 것으로 사료된다.

비브리오 콜레라균 등은 $10^8 \sim 10^{10}$ 정도의 균을 섭취될 때 감염이 되어 발병하는 것으로 알려져 있지만 유아, 어린이 및 노약자들은 입으로 모래가 들어가지 않도록 주의해야 할 것이다.

표토보다 심토에서 일반세균과 대장균이 많은 것은 표토에서 태양에 노출로 잔연 살균이나 건조에 따른 서식처의 불리함과 관련이 있을 수 있고, 또한 해수욕장 이용자들이 음식물의 잔해를 모래 속에 파묻는 인위적 행동으로 미생물의 번식에 의한 결과일 수 있다. Papadakis *et al.* (1997)도 채집된 대장균과 바실러스 세레우스균 등이 인간의 행동과 관련이 있음을 보여주었다.

토양에 영양물(Davies *et al.* 1995)과 차양시설(Davies-Colley *et al.* 1999)은 미생물의 번식을 조장시킨다. 부산시 해수욕장으로 영양물은 백사장으로 담수 유입, 피부의 화농, 여드름, 먼지, 하수, 도시락, 김밥 등 복합조리식품 등을 통해 유입되고 있다. 차양시설의 경우는 기네스북에 오를 정도로 파라솔을 설치하고 있기 때문에 이에 대한 강구가 필요하다.

비록 해수욕장의 모래와 해수가 자연적인 여과작용 등을 통해 미생물의 번식을 어느 정도 자정할 수 있지만(Ahammed *et al.* 1996; Hua *et al.* 2003; Hijnen *et al.* 2004), 유기물의 공급이 지속될 경우 모래 속에서 대량 증식(Davies *et al.* 1995; USEPA 2000; Crag *et al.* 2004)도 가능하기 때문에 지속적 모니터링과 증식이 발생했을 경우 병원균의 관리가 필요하다. 일례로 부산광역시에서 해수욕장의 안전을 위해 롤러 등으로 모래 속 이물질을 제거할 때 본 연구 결과처럼 병원성 미생물이 발견된 지점은 소독도 병행하는 것도 한 방법으로 제시될 수 있다.

참 고 문 헌

Ahammed MM and M Chaudhuri. 1996. Sand-based filtration/adsorption media. J. Water Supply Res. and Technology-Aqua 45:67-71.

Alm EW, J Burke and A Spain. 2003. Fecal indicator bacteria are abundant in wet sand at freshwater beaches. Water Research 37:3978-3982.

Bonilla TD, K Nowosielski, M Cuvelier, A Hartz, M Green, N Esiobu, DS McCorquodale, JM Fleisher and A Rogerson. 2007. Prevalence and distribution of fecal indicator organisms in South Florida beach sand and preliminary assessment of health effects associated with beach sand exposure. Marine Pollution Bulletin 54:1472-1482.

Craig D, H Fallowfield and N Cromar. 2004. Use of macrocosms to determine persistence of *Escherichia coil* in recreational coastal water and sediment and validation with in situ measurements. J. Appl. Microbiol. 96:922-930.

Davies CM, JAH Long, M Donald and NJ Ashbolt. 1995. Survival of fecal microorganisms in marine and freshwater sediments. Appl. Environ. Microbiol. 61:1888-1896.

Davies-Colley RJ, AM Donnison, DJ Speed, CM Ross and JW Nagels. 1999. Inactivation of faecal indicator microorganisms in waste stabilization ponds: interactions of environmental factors with sunlight. Wat. Res. 33:1220-1230.

Garrido-Perez MC, E Anfuso, A Acevedo and JA Perales-Vargas-Machuca. 2008. Microbial indicators of faecal contamination in waters and sediments of beach bathing zones. Int. J. Hyg. Environ. Health 211:510-517.

Hijnen WA, JF Schijven, P Bonne, A Visser and GJ Medema. 2004. Elimination of viruses, bacteria and protozoan oocysts by slow sand filtration. Water Sci. Tech. 50:147-154.

Hong S and KS Cho. 2007. Effects of plants, rhizobacteria and physicochemical factors on the phytoremediation of contaminated soil. Kor. J. Microbiol. Biotechnol. 35:261-271.

Hua JM, PL An, J Winter and C Gallert. 2003. Elimination of COD, microorganisms and pharmaceuticals from sewage by trickling through sandy soil below leaking sewers. Wat. Res. 37:4395-4404.

Kleinheinz GT, CM McDermott, MC Leewis and E Englebert. 2006. Influence of sampling depth on *Escherichia coli* concentrations in beach monitoring. Wat. Res. 40:3813-3837.

Macini L, AM D'Angelo, E Pierdominici, C Ferrari, A Anselmo, L Venturi, L Fazzo, P Formichetti, M Iaconelli and B Pennelli. 2005. Microbiological quality of Italian beach sands. Microchem. J. 79:257-261.

Neumann CM, AK Harding and JM Sherman. 2006. Oregon Beach Monitoring Program: Bacterial exceedances in marine and freshwater creeks/outfall samples, October 2002-April 2005. Marine Pollution Bulletin 52:1270-1277.

Papadakis JA, A Mavridou, SC Richardson, M Lampiri and U Marcelou. 1997. Bather-related microbial and yeast populations in sand and seawater. Wat. Res. 31:799-804.

Pruss A. 1998. Review of epidemiological studies on health effects from exposure to recreational water. Int. J. Epidem. 27:1-9.

Salvo VS and M Fabiano. 2007. Mycological assessment of sediments in Ligurian beaches in the Northwestern Mediterranean: Pathogens and opportunistic pathogens. J. Environ. Management 83:365-369.

Solo-Gabriele HM, MA Wolfert, TR Desmarais and CJ Palmer. 2000. Sources of *Escherichia coli* in a coastal subtropical environment. Appl. Environ. Micro. 66:230-237.

USEPA. 1986. Ambient water Quality Criteria for Bacteria. Office of Water, Washington, DC.

USEPA. 2000. Improved Enumeration Methods for the Recreational Water Quality Indicators: *Enterococci* and *Escherichia coli*. Office of Science and Technology, Washington, DC.

WHO/UNEP (MED/POL Phase II). 1991. Health risks from bathing in marine waters. Report on a joint WHO/UNEP meeting, pp.1-7.

WHO/UNEP (MED/POL Phase II). 1993. Microbial quality of coastal recreational waters. Report on a joint WHO/UNEP meeting, pp.1-9.

Wisconsin Department of Natural Resources. 2001. Water Quality Standards for Wisconsin Surface Waters. NR/102. Department of Natural Resources, Madison, WI.

Manuscript Received: July 9, 2011
Revision Accepted: August 12, 2011
Responsible Editor: Seung-Bum Kim