

패류 양식장의 세균학적 수질에 미치는 강우의 영향

이태식·오은경¹·유현덕·하광수·유홍식¹·변한석¹·김지희*

국립수산과학원 남동해수산연구소, ¹국립수산과학원 식품안전과

Impact of Rainfall Events on the Bacteriological Water Quality of the Shellfish Growing Area in Korea

Tae Seek Lee, Eun Gyoung Oh¹, Hyeun Duck Yu, Kwang Soo Ha, Hong Sik Yu¹, Han Seok Byun¹ and Ji Hoe Kim*

Southeast Sea Fisheries Research Institute, National Fisheries Research & Development Institute, Tongyeong 650-943, Korea

¹*Food Safety Research Division, National Fisheries Research & Development Institute, Busan 619-705, Korea*

The impact of rainfall events on the sanitary indicator bacteria density of the shellfish-growing waters in Geoje Bay and Jaran Bay in Korea was investigated. The shellfish-growing area in Geoje Bay, which is a nearly closed basin, was not affected significantly, except near the stream mouth after 11.5 mm of rainfall in 1 day. However, most of the shellfish-growing water in the bay was polluted by fecal coliform bacteria after rain as heavy as 43.0 mm, and the levels of fecal indicator bacteria in some of the sea near the coast did not recover completely until 24 hours after the rainfall. By contrast, in Jaran Bay, which has no significant pollution source in the drainage area, although 9.3–490 MPN/100 mL of fecal coliform bacteria were detected near the stream mouth after rainfall of 33.5 and 81.0 mm, a very low level of the indicator bacteria was detected in the designated shellfish-growing area. During the investigation, the correlations between the sanitary indicator bacteria density and physical parameters, such as salinity and turbidity, were evaluated. Both the total coliform and fecal coliform densities were inversely correlated with salinity. Turbidity was positively correlated with the indicator bacteria density. The survey results suggest that for more efficient management of the shellfish-growing areas located in coastal areas, such as shellfish harvesting after rainfall, a detailed investigation of the effects of rainfall on the bacterial water quality in each growing area is needed.

Key words: Oyster, Fecal coliform, Sanitary indicator bacteria, Salinity, Turbidity

서론

패류는 이동성이 거의 없고, 여과섭식 활동을 통하여 먹이를 섭취하며, 이 때 주위 해수 중에 부유하는 병원성 세균이나 바이러스 등 각종 위해인자도 함께 섭취하여 체내에 축적하게 된다. 근년, 사람과 온혈동물의 분변에서 유래하는 장내 병원 세균이나 병원바이러스에 오염된 패류 섭취로 인한 감염증은 전 세계적으로 식품위생상 문제가 되고 있으며, 심한 경우 사망까지도 초래한다 (Rippey, 1994; Feldhusen, 2000; Potasman et al., 2002). 이에 따라 선진국의 보건당국은 지난 수십 년 동안 자국 국민의 건강보호를 위하여 패류 생산해역에 대한 위생기준을 마련하여 대응하고 있다 (US FDA, 2007; European Commission, 2004). 분변계대장균 (fecal coliform)은 패류 생산해역에 대한 위생관리 프로그램에 인축의 분변오염 지표로 오래 전부터 사용되고 있고, 또 해역 분류기준으로 여러 나라에서 활용하고 있다 (US FDA, 2007; European Commission, 2004). 미국에서는 해수 중의 분변계대장균 농도에 따라 허가해역, 제한해역, 금지해역 등으로 구분하고 있

며 (US FDA, 2007), 유럽연합 (European Union, EU)에서는 패류생산해역을 패류 중 대장균 (*Escherichia coli*) 농도에 따라 A, B 및 C등급으로 분류하고 있다 (European Commission, 2004).

패류양식장의 주요 분변 오염원은 주거지, 가축 사육지, 야생동물 서식지, 선박계류장 등 여러 요인이 있으며, 이러한 지역에서 발생한 하수나 유거수를 통하여 해역으로 유입된다 (Hunter et al., 1999; Mallin et al., 2001). 근년 인구나 소득의 증가는 주거지의 확장과 양질의 식품을 얻기 위한 가축 사육으로 이어지고, 뿐만 아니라 연안수역에서의 인간 활동도 증가하게 되었다. 이러한 활동은 결국 인근 연안해역의 분변오염의 증가요인이 되며 패류 생산물의 식품안전에 대한 위험성은 높아지게 된다. 특히, 강우 등 기상학적 요인은 연안해역의 위생학적 수질에 큰 영향을 미치는데, 강우 시 발생하는 부유성 현탁물질은 육상에서 발생하는 분변계대장균 등 위생지표 세균을 연안 수계 생태계로 운반하는 중요한 매개체가 된다 (Sayler et al., 1975). 최근, 미국의 사례를 보면 연안의 개발과 여가활동의 증가로 상당한 패류생산해역이 분변계대장균의 기준치 초과에 따라 상업용 패류의 생산이 금지되었고, 이는

*Corresponding author: kimjihoe@korea.kr

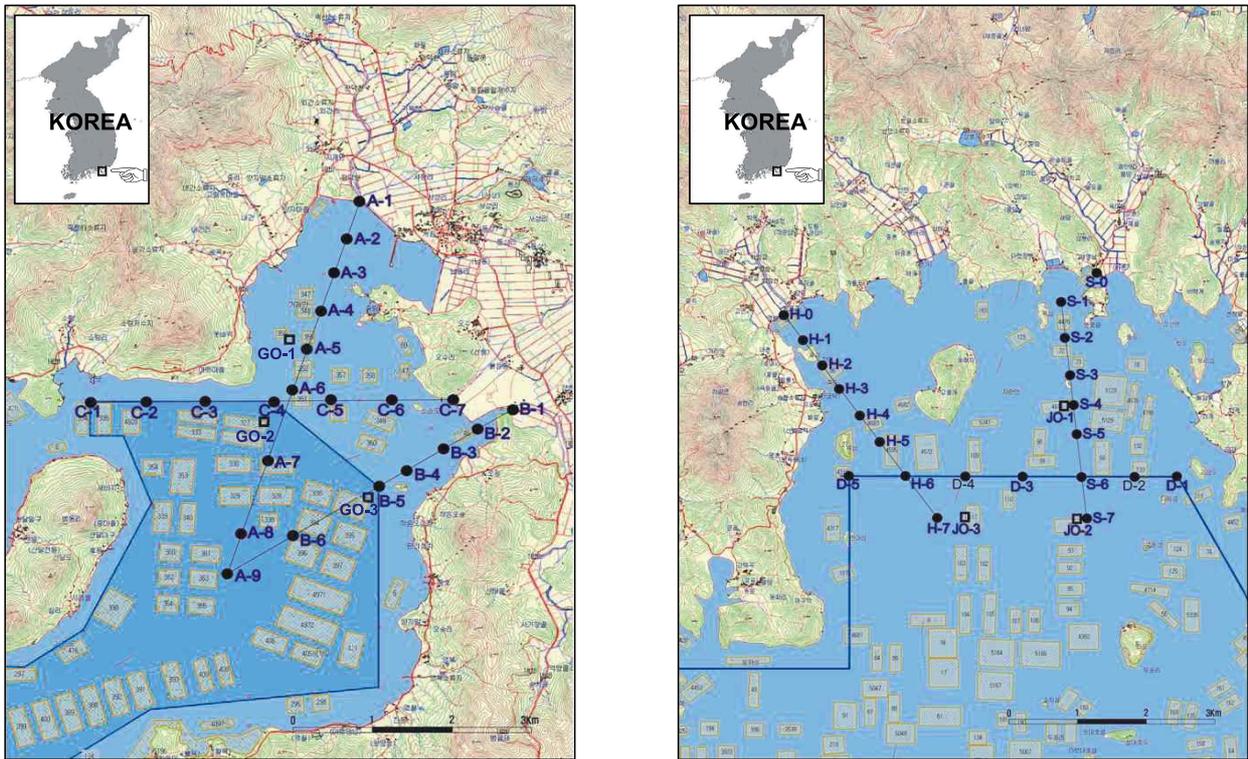


Fig. 1. Sampling stations in the Geoje Bay (left) and the Jaran Bay (right).
 ●, Water sampling station; □, Oyster sampling station.

결국 지역경제의 현저한 수익 감소로 이어진 것으로 알려져 있다 (Mallin et al., 2000).

우리나라는 세계 제 4위의 패류 생산국이며 (Pawiro, 2010), 경남과 전남 연안에는 1970년대부터 미국과 EU 등에서 규정한 패류생산해역의 위생기준에 부합하는 7개소의 ‘수출용 패류생산지정해역’을 설정·관리하고 있다 (농림수산식품부 고시 2009-298호, 2009. 12. 16). 또한 우리나라는 세계적으로도 수산물을 많이 섭취하는 국가 중의 하나로 동물성 단백질 공급량의 40% 이상을 수산물에 의존하고 있으며, 패류는 연간 1인당 16 kg (2007년 기준)이 소비될 정도로 중요한 식량자원이다 (Hwang, 2009). 따라서 연안의 패류 양식장에 대한 위생 조사는 우리 국민의 보건위생안전 확보는 물론 패류 가공제품의 지속적인 수출을 위해서도 중요하다고 하겠다. 지금까지 연안의 패류생산해역의 위생상태에 대한 조사연구는 다수 있으나 (Kim, 1975; Shim et al., 2009; Ha, 2009), 강우 시에 발생하는 유거수가 패류생산 해역의 수질에 미치는 영향에 대한 보고는 거의 없다.

본 연구는 강우가 패류생산해역의 세균학적 수질에 미치는 영향을 파악하기 위하여 우리나라의 주요 굴 생산지인 경남 거제시의 거제만과 경남 고성군의 자란만의 배수유역에 위치한 자연하천을 주요 오염원으로 선정하고, 각 하천의 하구에서 거리별로 해역에 조사지점을 설정하여 강우 후 경과시간별 세균학적 수질변동을 시험하였다.

재료 및 방법

조사지점의 선정

거제만은 경상남도 거제시 남서부에 위치한 내만으로, 이 해역의 일부수역은 수출용패류생산지정해역 제1호로 설정되어 있다. 이 해역의 배수유역에 위치한 주요 오염원으로 거제시 거제면과 동부면에서 유입되는 간덕천, 산양천 및 오수천 등의 하천을 선정하였다. 자란만은 경상남도 고성군 삼산면과 하일면에 접하고 있으며, 일부수역이 수출용패류생산지정해역 제2호로 설정되어 있다. 자란만의 배수유역에 위치한 주요 오염원으로는 해역 북부에서 유입되는 학림천과 삼봉천을 선정하였다.

해수 채취지점은 지리적 특성과 양식장의 위치 등을 고려하여 각 하천의 유입지점으로부터 거리별로 설정하였다. 즉, 거제만에서는 간덕천의 영향권은 하구로부터 0.5~1 km의 간격으로 총 9지점 (A-1~A-9)을, 산양천의 영향권은 0.5~1.3 km 간격으로 총 6지점 (B-1~B-6)을, 오수천의 영향권은 약 0.8 km 간격으로 총 7지점 (C-1~C-7)을 각각 설정하였다. 또한 굴 채취지점은 거제만 상부 배수유역과 가장 인접한 GO-1지점, 지정해역 내 경계선 인근해역에 GO-2 및 GO-3 지점 등 총 3개소를 설정하였다 (Fig. 1).

자란만 해역의 해수 채취지점은 학림천의 경우 0.5~0.8 km 간격으로 총 8개 지점 (H-0~H-7)을, 삼봉천의 경우에는

오염원으로부터 0.5~0.7 km의 간격으로 총 8개 지점 (S-0~S-7)을, 그리고 지정해역 경계선 상에 총 5개 지점 (D-1~D-5)을 각각 설정하였다. 자란만의 굴 조사지점은 배수유역인 삼봉천과 인접한 JO-1지점과 지정해역 내부에 JO-2 및 JO-3지점 등 총 3개소를 각각 설정하였다 (Fig. 1).

강수량 및 해황의 측정

조사에 활용된 강수량 자료는 거제만해역의 경우 거제관측소의 자료를, 자란만해역의 경우 통영기상대의 자료를 각각 사용하였다. 해수의 수온과 염분은 YSI 556 multiprobe system (Yellow Springs, YSI Life Science, OH, USA)을 사용하여 시료 채취 시 현장에서 측정하였다. 탁도는 Turbidimeter (HACH, Model 2100-A, Loveland, Colo., USA)로 측정하여 Nephelometric Turbidity Units (NTU)로 나타내었다.

시료 채취 및 미생물 시험

해수 및 하천수 시료는 지정된 조사지점에서 표층수를 멸균된 250 mL 시료병에 채취하였다. 굴 (*Crassostrea gigas*) 시료는 양식어장의 수하연에서 채취하여 현장의 해수로 폐각에 부착한 협잡물을 황동솔로 씻고, 멸균된 스테인레스스틸 용기에 담아 운반하였다. 채취한 시료는 얼음에 직접 닿지 않게 10°C 이하로

유지하여 실험실로 운반하고 미생물 시험을 실시하였다.

대장균군 및 분변계대장균은 A.P.H.A. (1970)의 방법에 따라 최확수 (most probable number, MPN)법으로 시험하였으며, 각 희석단별로 5개 시험관을 사용하고 결과는 100 mL 또는 100 g 당 MPN으로 나타내었다. 이 때 배지는 모두 Difco Laboratories (USA)의 제품을 사용하였다.

통계처리

해수 중 대장균군 및 분변계대장균 수와 염분 또는 탁도와 의 상관성은 Pearson 상관분석을 이용하였으며, 통계적 유의수준은 $P < 0.01$ 인 경우에 유의한 것으로 판정하였다.

결 과

거제만 해역에 대한 강우의 영향

강우 후 육상에서 유입되는 유거수가 거제만 해역의 위생학적 수질에 미치는 영향 시험은 2005년 11월 6일 11.5 mm, 2006년 5월 10일 43 mm의 강우 시에 각각 실시하였다. 강우 후 시간경과에 따른 각 하천에서 거리별 위생지표세균의 변화는 Table 1에 나타내었다.

Table 1. Total and fecal coliform bacteria (MPN/100 mL) found in stream-water and seawater that located any distance from each stream mouth after rainfall events in the Geoje Bay, Korea

Stream	Station	Distance from pollution source (km)	11.5 mm of rainfall						43.0 mm of rainfall						
			Total coliform (MPN/100 mL)			Fecal coliform (MPN/100 mL)			Total coliform (MPN/100 mL)			Fecal coliform (MPN/100 mL)			
			0 hr	5 hr	24 hr	0 hr	5 hr	24 hr	0 hr	18 hr	24 hr	0 hr	18 hr	24 hr	
Gandeuk stream	A-1	0 (Stream water)	4,600	-	1,700	1,300	-	170	17,000	13,000	2,400	3,300	1,700	1,300	
	A-2	0.5	27	7.8	2.0	17	4.5	<1.8	3,300	3,500	79	1,300	490	33	
	A-3	1.0	7.8	26	4.5	2.0	22	2.0	1,700	2,400	2,400	790	490	79	
	A-4	1.5	6.8	4.5	6.8	4.0	2.0	<1.8	4,600	1,300	330	330	490	49	
	A-5	2.0	22	2.0	<1.8	7.8	<1.8	6.8	1,700	330	170	210	130	49	
	A-6	2.5	4.0	4.0	<1.8	1.8	4.0	<1.8	1,100	26	280	490	7.8	79	
	A-7	3.5	7.8	<1.8	<1.8	7.8	<1.8	<1.8	240	79	110	240	9.3	70	
	A-8	4.5	1.8	2.0	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	17	14	<1.8	4.0	4.0	<1.8	
	A-9	5.0	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	79	14	6.8	49	2.0	4.5	
Sanyang stream	B-1	0 (Stream water)	13,000	-	1,100	4,900	-	68	2,200	3,300	790	1,700	170	240	
	B-2	0.5	2.0	<1.8	4.5	2.0	<1.8	4.5	4,900	240	1.8	1,700	79	1.8	
	B-3	1.0	17	1.8	4.0	11	1.8	2.0	7,000	330	2.0	790	79	2.0	
	B-4	1.5	17	<1.8	7.8	17	<1.8	7.8	4,900	49	4.5	330	17	2.0	
	B-5	2.0	2.0	<1.8	<1.8	2.0	<1.8	<1.8	1,100	1.8	2.0	700	<1.8	<1.8	
	B-6	3.0	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	240	13	2.0	79	<1.8	2.0	
	A-9	4.0	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	79	14	6.8	49	2.0	4.5	
	Osu stream	C-7	0 (Stream water)	35,000	-	230	950	-	20	13,000	17,000	2,400	7,900	1,800	240
		C-6	0.5	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	32	79	9.3	11	14	4.0
C-5		1.0	<1.8	2.0	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	1,300	27	4.5	790	22	2.0	
C-4		1.5	4.0	<1.8	<1.8	2.0	<1.8	<1.8	1,300	33	540	330	17	79	
C-3		2.0	2.0	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	170	79	240	79	23	79	
C-2		2.5	2.0	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	220	79	27	110	49	22	
C-1		3.0	1.8	17	<1.8	1.8	13	<1.8	170	33	17	170	13	7.8	

The 0 hr, 5 hr (or 18 hr) and 24 hr mean samples collection time after rainfall events.

Table 2. Concentration of sanitary indicator bacteria found in oysters collected in the Geoje Bay, Korea after rainfall events

Station	Stream region	Distance from pollution source (km)	Rainfall (mm)	Total coliform (MPN/100 g)			Fecal coliform (MPN/100 g)		
				1st	2nd	3rd	1st	2nd	3rd
GO-1	Gandeuk stream	2.0	11.5	170	490	130	45	130	20
			43.0	490	16,000	1,300	40	3,500	330
GO-2	Gandeuk stream	3.0	11.5	20	110	<18	<18	<18	<18
			43.0	78	1,700	790	<18	220	230
GO-3	Sanyang stream	2.0	11.5	61	130	<18	<18	<18	<18
			43.0	130	330	78	<18	20	<18

The 1st samples were taken immediately after 11.5 or 43.0 mm rainfall event. The 2nd samples were taken at 5 hrs after 11.5 mm rainfall event and were taken at 18 hrs after 43.0 mm rainfall event. The 3rd samples were taken at 24 hrs after 11.5 or 43.0 mm rainfall event.

시료는 강우 종료 직후와 24시간 후에는 반드시 채취하였고, 그 사이에는 해황이나 일기 등을 고려하여 채취하였다. 이에 따라 2005년 11월 6~7일 조사에서는 강우 종료 5시간 후에 2차 시료가 채취되었고, 2006년 5월 10~11일 조사에서는 강우 종료 18시간 후에 채취되었다.

거제만 배수유역에서 11.5 mm의 강우 직후 간덕천, 산양천 및 오수천 등 하천수의 분변계대장균 값은 각각 1,300, 4,900 및 950 MPN/100 mL이었으나 24시간 후에는 각각 170, 68 및 20 MPN/100 mL로 감소하였다. 그러나 강우 종료 직후 각 하천수의 유입지점으로부터 500 m 떨어진 지점의 해수 중 분변계대장균 값은 각각 17, 2.0 및 <1.8 MPN/100 mL이었으며, 24시간 후에는 각각 <1.8, 4.5 및 <1.8 MPN/100 mL로 낮아졌다. 강우량이 11.5 mm이었을 때 오염원에서 거리별 분변계대장균 수는 간덕천 하구 영역의 경우 500 m 지점 (A-2)에서, 산양천 하구 영역에서는 1.5 km 지점 (B-4)에서 각각 17 MPN/100 mL을 나타내었고, 오수천 유역에서는 미국의 패류생산허가해역 기준의 한 조건으로 사용되는 분변계대장균 기하평균 14 MPN/100 mL을 초과하는 경우가 없었다. 그리고 강우 24시간 후에는 모든 해수 시료에서 14 MPN/100 mL 미만을 나타내었다. 따라서 거제만 해역의 패류양식장은 11.5 mm의 강우에 의해서는 그다지 영향을 받지 않는 것을 알 수 있었다.

한편, 43 mm의 강우 직후의 간덕천, 산양천 및 오수천의 하천수 중 분변계대장균 값은 각각 3,300, 1,700 및 7,900 MPN/100 mL이었으나 24시간 후에는 각각 1,300, 240 및 240 MPN/100 mL로 감소하였다. 강우 직후 각 하천수의 유입지점에서 거리별 해수의 분변계대장균 값은 간덕천 하구 영역의 경우 3.5 km 지점 (A-7)에서 240 MPN/100 mL, 산양천 하구 영역에서는 4.3 km 지점 (A-9)에서 49 MPN/100 mL을 나타내었다. 한편, 오수천 하구에서 동서방향으로 설정한 조사지점에서는 오수천에서의 거리와 상관없이 분변계대장균 값이 변화했는데 특히 C-4 및 C-5 지점에서는 330 및 790 MPN/100 mL로 상대적으로 높았다. 43 mm의 강우 종료 24시간 후의 해수의 수질상태는 간덕천 하구에서는 3.5 km 지점 (A-7)까지 여전히 14 MPN/100 mL을 초과하고 있고, 육지에서 비교적 가까운 지정해역의 경계선인 C-2에서 C-4에 이르는 해역도 기준을

초과하였다. 이러한 것은 강우 24시간 후 간덕천 하천수의 분변계대장균 수 (1,300 MPN/100 mL)는 산양천과 오수천 (각각 240 MPN/100 mL)에 비하여 상당히 높게 유지하고 있는 것도 한 원인이 될 것이며, 뿐만 아니라 주요 하천 외 다른 육상지역에서도 분변오염이 유래함을 알 수 있다. 따라서 1일 43.0 mm의 강우 시에는 강우 직후 거제만의 중앙부분까지 영향을 받았고, 24시간 후에도 오염원이 밀집되어 있는 북부 해역에서는 오염원으로부터 3.5 km까지 영향을 받아 쉽게 회복되지 않는 것으로 판단되었다.

한편, 강우가 거제만에 서식하는 굴의 위생상태에 미치는 영향을 보기 위하여 강우 후 시간 경과에 따른 굴 중의 위생지표세균의 변화를 Table 2에 나타내었다. 굴 채취지점 GO-1은 간덕천 하구에서 2.0 km 떨어진 지정해역 외부에, GO-2는 간덕천 하구에서 약 3.0 km, GO-3는 산양천 하구에서 2.0 km 각각 떨어진 지정해역 내부에 설정하였다.

지정해역 외부에 위치한 GO-1 지점에서 채취한 굴에서 대장균군 및 분변계대장균 수는 지정해역 내부에 위치한 두 지점에 비하여 항상 높은 값을 나타내었다. 1일 11.5 mm의 강우가 있을 경우, GO-1지점에서는 강우 종료 5시간 후에 분변계대장균이 130 MPN/100 g으로 약간 높았으나 GO-2 및 GO-3지점의 굴에서는 <18 MPN/100 g을 나타내었다. 그리고 1일 43.0 mm의 강우 시 GO-1지점의 굴에서는 강우종료 직후 40 MPN/100 g이었으나 18시간 후에는 3,500 MPN/100 g으로 증가한 후 24시간 후에는 330 MPN/100 g으로 다시 감소하였다. 지정해역 내에 설정된 GO-2 및 GO-3지점의 굴에서는 강우 직후에는 분변계대장균이 검출되지 않았으나 18시간 후에는 각각 220 및 20 MPN/100 g이었으며 24시간 후에도 비슷한 균수를 유지하였다. 따라서 본 조사결과, 거제만 지정해역 내의 굴은 11.5 mm 정도의 강우에 의해서는 거의 영향을 받지 않았으나 43.0 mm의 강우 시에는 EU에서 활이패류의 기준으로 사용하였던 분변계대장균 기준 300 MPN/100 g (European Commission, 1991)에 부합하는 것으로 확인되었다. 그리고 대부분의 해수 시료는 강우 직후 시료가 다른 시료보다 높은 균수를 나타내었으나 (Table 1) 각 지점의 굴에서 균수의 변화는 강우 종료 직후보다는 5~18시간 후의 균수가 더 높아

세균의 축적을 위하여 일정 시간이 소요됨을 알 수 있었다.

자란만 해역에 대한 강우의 영향

강우 후 자란만 해역의 배수유역에서 발생하는 유거수가 패류생산해역의 위생학적 수질에 미치는 영향은 33.5 mm (2006년 4월 5일)와 81.0 mm (2006년 4월 11일) 강우 시 각각 조사하였으며, 시료는 강우 종료 직후와 24시간 후에는 반드시 채취하였고, 그 사이에는 상황을 고려하여 채취하였다. 이에 따라 2006년 4월 5~6일 조사에서는 강우 6시간 후에 2차 시료가 채취되었고, 2006년 4월 11~12일 조사에서는 18시간 후에 채취되었다. 강우 후 경과시간에 따른 각 하천에서 거리별 위생지표세균의 변화는 Table 3에 나타내었다.

33.5 mm의 강우가 종료된 후 학림천과 삼봉천의 하천수 중 분변계대장균 값은 각각 1,100 및 490 MPN/100 mL이었으나 24시간 후에는 각각 110 및 170 MPN/100 mL로 감소하였다. 그러나 각 하천수의 유입지점으로부터 0.5 km (H-1) 또는 0.7 km (S-1) 떨어진 해역에서의 강우 직후 분변계대장균 값은 각각 27 및 13 MPN/100 mL이었으나 24시간 후에는 각각 <1.8 및 9.3 MPN/100 mL로 감소하였다. 33.5 mm의 강우 후 오염원(하구)의 영향을 거리별로 보면 학림천과 삼봉천의 하구에서 1~1.2 km 떨어진 지점 (H-2 및 S-2)에서 분변계대장균이 각각 9.3 및 <1.8 MPN/100 mL을 나타내었고, 강우 종료

6시간 이후에는 학림천에서는 0.5 km (H-1), 삼봉천에서는 0.7 km (S-1) 떨어진 지점에서 모두 <1.8 MPN/100 mL을 나타내어 강우에 의한 영향은 비교적 적었다.

한편, 81 mm의 대량 강우 시에는 강우 종료 직후 학림천과 삼봉천의 하천수 중 분변계대장균 값은 각각 1,300, 및 1,700 MPN/100 mL이었으나 24시간 후에는 각각 490 및 130 MPN/100 mL로 감소하였다. 강우 직후 각 하천수의 유입지점에서 거리에 따른 해수의 분변계대장균 값은 삼봉천 하구역의 경우 0.7 km 지점 (S-1)에서 490 MPN/100 mL을 나타내었고, 2.2 km 지점(S-4)까지는 14 MPN/100 mL을 나타내었으나 강우 종료 18시간 후에는 이들 지점에서 최고 4.5 MPN/100 mL, 24시간 후에는 모두 <1.8 MPN/100 mL을 나타내었다. 지정해역 경계선에 위치한 지점의 분변계대장균 값은 강우 직후와 24시간 후에 관계없이 <1.8~2.0 MPN/100 mL으로 강우의 영향을 거의 받지 않는 것으로 나타났다. 따라서 자란만 해역의 북부 학림천 및 삼봉천 하구역에서는 33.5 mm 및 81.0 mm의 강우가 있을 경우, 학림천 하구역에서는 0.5 km, 삼봉천 하구역에서는 2.2 km까지 영향을 미쳤으며 지정해역까지는 거의 영향을 미치지 않았다.

한편, 강우 후 육상에서 유입되는 유거수가 자란만 해역에서 식하는 굴에 미치는 영향은 삼봉천으로부터 2.2 km 및 3.7 km 떨어진 곳에 각각 JO-1 및 JO-2지점음, 학림천에서 4.0

Table 3. Total and fecal coliform bacteria (MPN/100 mL) found in stream-water and seawater that located any distance from each stream mouth after rainfall events in the Jaran Bay, Korea

Stream	Station	Distance from pollution source (km)	33.5 mm of rainfall						81.0 mm of rainfall						
			Total coliform (MPN/100 mL)			Fecal coliform (MPN/100 mL)			Total coliform (MPN/100 mL)			Fecal coliform (MPN/100 mL)			
			0 hr	6 hr	24 hr	0 hr	6 hr	24 hr	0 hr	18 hr	24 hr	0 hr	18 hr	24 hr	
Hakrim	H-0	0 (Stream water)	5,400	1,300	5,400	1,100	130	110	4,900	35,000	4,900	1,300	460	490	
	H-1	0.5	130	<1.8	13	27	<1.8	<1.8	33	6.8	<1.8	9.3	<1.8	<1.8	
	H-2	1.0	20	<1.8	<1.8	9.3	<1.8	<1.8	240	<1.8	<1.8	6.8	<1.8	<1.8	
	H-3	1.5	4.0	<1.8	<1.8	2.0	<1.8	<1.8	79	14	<1.8	9.3	2.0	<1.8	
	H-4	2.0	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	21	11	<1.8	21	2.0	<1.8	
	H-5	2.5	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	2.0	<1.8	<1.8	2.0	<1.8	
	H-6	3.0	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	4.0	2.0	<1.8	4.0	2.0	<1.8	
	H-7	3.5	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	
Sambong	S-0	0 (Stream water)	2,800	3,500	1,300	490	490	170	11,000	790	1,300	1,700	46	130	
	S-1	0.7	79	<1.8	22	13	<1.8	9.3	490	1.8	<1.8	490	1.8	<1.8	
	S-2	1.2	22	<1.8	2.0	<1.8	<1.8	2.0	34	4.5	<1.8	17	2.0	<1.8	
	S-3	1.7	4.5	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	26	7.8	<1.8	21	4.5	<1.8	
	S-4	2.2	4.5	<1.8	<1.8	2.0	<1.8	<1.8	47	3.7	<1.8	14	1.8	<1.8	
	S-5	2.7	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	4.0	<1.8	<1.8	2.0	<1.8	<1.8	
	S-6	3.2	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	4.5	<1.8	<1.8	4.5	<1.8	<1.8	
	S-7	3.7	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	4.5	<1.8	<1.8	4.5	<1.8	<1.8	
	D-1	Boundary	2.0	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8
	D-2		7.8	<1.8	<1.8	2.0	<1.8	<1.8	1.8	<1.8	<1.8	1.8	<1.8	<1.8	
	D-3		<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	
	D-4		<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	6.8	<1.8	<1.8	2.0	<1.8	
	D-5		9.3	<1.8	<1.8	2.0	<1.8	<1.8	4.0	1.8	<1.8	<1.8	1.8	<1.8	

The 0 hr, 6 hr (or 18 hr) and 24 hr mean samples collection time after rainfall events.

Table 4. Concentration of sanitary indicator bacteria found in oysters collected in Jaran Bay, Korea after rainfall events

Station	Stream region	Distance from pollution source (km)	Rainfall (mm)	Total coliform (MPN/100 g)			Fecal coliform (MPN/100 g)		
				1st	2nd	3rd	1st	2nd	3rd
JO-1	Sambong stream	2.2	33.5	-	-	-	-	-	-
			81.0	78	78	230	45	<18	130
JO-2	Sambong stream	3.7	33.5	<18	<18	20	<18	<18	<18
			81.0	110	20	790	<18	<18	330
JO-3	Hakrim stream	4.0	33.5	20	20	<18	<18	<18	<18
			81.0	<18	<18	130	<18	<18	78

The 1st samples were taken immediately after 33.5 or 81.0 mm rainfall event. The 2nd samples were taken at 6 hrs after 33.5 mm rainfall event and were taken at 18 hrs after 81.0 mm rainfall event. The 3rd samples were taken at 24 hrs after 33.5 or 81.0 mm rainfall event.

km 떨어진 곳에 JO-3지점을 각각 설정하고 강우 후 시간 경과에 따른 위생지표세균의 변화를 조사하고 그 결과는 Table 4에 나타내었다.

지정해역 외부에 위치한 JO-1 지점에서는 33.5 mm의 강우 시 시료를 채취하지 못하였고, 81.0 mm 강우 시 굴에서 검출된 위생지표세균 수는 강우종료 직후 보다는 강우 종료 24시간 후에 증가하였다. 뿐만 아니라 지정해역 내부에 위치한 2개 조사지점에서도 강우 후 시간경과에 따른 대장균군 및 분변계대장균의 변화는 강우량에 관계없이 강우 직후나 6시간 후 보다는 24시간 후에 증가하는 경향이였다. 33.5 mm의 강우에서는 JO-2와 JO-3 지점에서 EU에서 기준으로 적용하였던 분변계대장균 300 MPN/100 g (European Commission, 1991)을 초과하지 않았으나 81.0 mm의 강우 시에는 지정해역 내에 위치한 JO-2 지점에서 분변계대장균 값은 330 MPN/100 mL로 기준을 초과하였다.

해수 중 위생지표세균 함량과 염분 및 탁도와와의 관계 거제만 및 자란만 해역에서 본 조사 시에 채취한 해수 중의 위생지표세균 함량과 염분 또는 탁도와와의 상관성은 Table 5에 나타내었다.

Table 5. Results of correlation analyses between sanitary indicator bacteria and physical parameters

Sea area	Indicator bacteria	Correlation of sanitary indicator bacteria with:	
		Salinity	Turbidity
Geoje Bay	Total coliform	-0.870 (0.0001)	0.734 (0.0001)
	Fecal coliform	-0.769 (0.0001)	0.674 (0.0001)
Jaran Bay	Total coliform	-0.334 (0.0001)	0.528 (0.0001)
	Fecal coliform	-0.374 (0.0001)	0.374 (0.0001)

Values given are Pearson correlation coefficients (r) with probability values (P) in parentheses.

거제만 해역에서 대장균군 및 분변계대장균과 염분과의 상관계수는 각각 -0.870, -0.769였으며, 탁도와의 상관계수는 각각 0.734, 0.674로 유의적인 상관성을 가지는 것으로 확인되었다 (P<0.01). 또한 자란만 해역에 있어서도 대장균군 및 분변계대장균과 염분과의 상관계수는 각각 -0.334, -0.374이었으며, 탁도와의 상관계수는 각각 0.528, 0.374로 유의적인 상관성을 나타내었다 (P<0.01). 즉, 해수 중의 염분농도가 낮을수록, 그리고 탁도는 높을수록 위생지표세균 수는 높게 검출되었다. 그리고 해역에 따라서는 거제만 해역의 경우 자란만 해역에 비하여 상관성이 더 높았다.

고찰

강우량에 따라 육상에서 유래하는 분변성 오염물질이 패류 생산해역에 미치는 영향범위를 우리나라의 대표적 굴 생산해역인 경남 거제만과 자란만 해역에서 시험하였다.

거제만 해역에 대한 3년간 (2006-2008년)의 위생조사에서 조사지점별 해수 중 분변계대장균의 기하평균 (geometric mean) 값은 지정해역의 바깥에 위치한 A-3 및 B-3지점의 경우, 각각 5.1 및 3.0 MPN/100 mL이었고, 지정해역 내에 위치한 A-7, C-1, C-4 및 B-5 지점에서는 2.1-2.9 MPN/100 mL로 보고되었다 (Ha et al., 2009). 이러한 결과를 거제만에서 강우가 없는 건기동안의 위생상태로 간주하고, 본 조사결과와 비교하면 거제만 해역에서 11.5 mm의 강우 시에는 강우 직후 육지에 가까운 일부 지점에서 분변계대장균이 14 MPN/100 mL 내외로 검출되어 건기의 수질상태를 약간 초과하였으나 24시간 후에는 건기의 수질상태로 완전 회복하였다. 그러나 1일 43.0 mm의 강우 시에는 간덕천, 산양천 및 오수천 등 하천수 중의 분변계대장균 수가 높았고, 또 인근 패류양식장 해수 중의 균수는 대부분의 조사지점에서 강우 직후에 43 MPN/100 mL를 초과하였다. 그리고 강우 종료 24시간 후의 해수의 수질상태도 건기 중의 수질상태 보다 대체로 높았으며, 특히, 해역의 북부에 위치한 거제면 인근의 A-1~A-7 및 C-3, C-4 지점에서는 건기 중 수질상태는 물론 지정해역의 수질기준인 43 MPN/100 mL도 여전히 초과하고 있어 강우 후 수질의 회복이 상당히 지연되었다 (Table 1). 미국에서는 패류생산 허가해역의 수질기준으로 특정한 조사지점에 대하여 30회 이상의 조사

결과를 통계 처리하여 '해수 중 분변계대장균의 중앙치 또는 기하평균치가 14 MPN/100 mL 미만이고, 43 MPN/100 mL을 초과하는 시료가 10% 미만 (점오염원에 영향을 받는 경우)이거나 90th percentile 값이 43 MPN/100 mL으로 초과하지 않을 것 (비점오염원에 영향을 받는 경우)'을 채용하고 있다 (US FDA, 2007). 본 연구결과를 미국의 허가해역의 수질기준과 비교하면 거제만의 해역에 설정된 수출용패류생산지정해역은 11 mm 강우 시에도 지정해역 기준에 부합하는 상태를 나타내었으나 43.0 mm의 강우 시에는 허가해역의 기준을 초과하므로 일정기간 패류채취가 금지되는 '조건부 허가해역 (US FDA, 2007)'에 해당하였다.

한편, 자란만 해역에 대한 3년간 (2006-2008년)의 위생조사에서 조사지점별 해수 중 분변계대장균의 기하평균값은 삼봉천 하구역에 위치한 S-1 및 S-2지점에서 각각 3.9 및 3.0 MPN/100 mL이었고, 지정해역의 경계선에 위치한 D-1, D-3, D-4 및 D-5 지점에서는 1.9-2.1 MPN/100 mL로 보고되었다 (Shim et al., 2009). 이러한 결과를 자란만에서 건기동안 해수의 위생상태로 간주하고 본 조사결과와 비교하면 자란만 해역에서 1일 33.5 mm의 강우 시에는 하천수 유입지점에서 1 km 이내의 해수에서는 강우 직후 분변계대장균이 9.3~27 MPN/100 mL로 검출되어 건기 시의 위생상태 보다는 약간 높았으나 그 이상 떨어진 지점에서는 2.0 MPN/100 mL 이하를 나타내어 큰 영향이 없었다. 또 81 mm의 대량 강우가 종료된 후 삼봉천 하구역에 위치한 S-1 및 S-2 지점의 해수 중 분변계대장균 값은 각각 490 및 17 MPN/100 mL을 나타내어 (Table 3) 건기 중 두 지점의 분변계대장균 수 (3.9 및 3.0 MPN/100 mL)보다 훨씬 높았으나 지정해역 경계에 위치한 D-1, D-3, D-4 및 D-5 지점에서는 <1.8 MPN/100 mL을 나타내어 건기동안 해수의 위생상태와 같았다 (Table 3). 그리고 강우 종료 18시간 후에는 건기동안 해수의 수질상태와 유사한 정도로 회복되었다. 따라서 자란만 해역에 설정된 지정해역은 누적강우 81 mm에도 해수가 거의 영향을 거의 받지 않는 미국의 '허가해역' 수준을 유지하였고, 18시간 후에는 주변해역도 건기의 위생상태에 상응하는 수준으로 회복되었다.

이상에서 보면, 동일한 강우량에서 비교 조사한 결과는 아니지만 거제만 해역은 자란만 해역에 비하여 강우의 영향을 강하게 받는 것으로 나타났다. 연안해역에서 위생지표세균의 밀도는 유입되는 하천의 배수유역에 거주하는 인구수와 밀접한 관계가 있으며, 사람과 가축은 중요한 오염원으로서 역할을 한다 (Mallin et al., 2000). 따라서 거제만 북부의 배수유역은 자란만 북부에 비하면 유역면적도 넓고, 거주 인구도 많아 오염의 강도가 강하였던 것으로 추정된다.

한편, 해양에서 조석의 변화는 연안에서 위생지표세균의 분포에 영향을 미치는 중요한 인자이며, 창조 (들물) 시에는 육상에서 유입된 하천수를 해안으로 밀어 해역 내의 확산을 저해하지만 낙조 (날물) 시에는 하천수를 만 내부로 끌어내는 효과를 나타낸다. 그래서 연안에서 분변계대장균의 밀도는 환경에 따라 달라지는데 강 하구와 같은 좁은 영역에서는 고조부근에서는 확산범위가 좁고, 평균수면에서 저조에 이르

는 동안에는 멀리까지 확산된다 (Mallin et al., 1999).

거제만에 대한 조사에서 11.5 mm 강우 후 시료채취 시의 조석시간은 강우 직후 및 24시간 후의 시료는 고조 1시간 전후에 채취하였고, 강우종료 5시간 후의 시료는 저조 1~2시간 전에 채취하였다 (결과 미제시). 이 때 각 시료해수에서 위생지표세균수는 시간이 경과할수록 대체로 낮아지는 경향을 보였으나, 11.5 mm의 소량의 강우로는 조석의 영향을 구분할 수 있을 정도는 아니었다. 그러나 43.0 mm의 강우에서는 강우 직후 및 24시간 후의 시료는 비슷한 조석시간 (최저조 1~2시간 후)에 채취하였고, 18시간 후의 시료는 고조 2~3시간 후에 채취하였다. 이 때 간덕천 인근의 해수 중 분변계대장균 수는 강우 종료 18시간 후에 하구에서 2.5 km 지점에서 7.8 MPN/100 mL을 나타내었으나 24시간 후에는 3.5 km 떨어진 지점에서도 70 MPN/100 mL을 나타내어 조석의 영향을 확인할 수 있었다. 그리고 자란만 해역에서는 33.5 mm의 강우 종료 직후 및 24시간 후의 시료는 최저조 시기에, 강우 종료 6시간 후의 시료는 최고조 시기에 각각 채취하였다. 이 때 삼봉천 하구에서 0.7 km지점의 해수 중 분변계대장균 수는 6시간 후에 <1.8 MPN/100 mL이었으나 24시간 후에는 오히려 9.3 MPN/100 mL을 나타내어 조석의 영향을 일부 확인할 수 있었다 (Table 3). 따라서 강우 후 연안해역에서 분변계대장균의 밀도는 육상에서 유입되는 오염원의 강도, 해역의 특성, 조석 등 여러 가지 요인에 따라 차이가 있었다.

한편, 패류는 정상적인 상태에서는 분변계대장균을 보균하지 않으나 서식해역에 부유하는 세균을 여과섭취하여 축적하게 된다. 대장균 (*E. coli*)이 오염된 물에 담수산 담치 (*zebra mussel*, *Dreissena polymorpha*)를 노출하면 균수는 노출 후 8.5시간이 경과하였을 때 최고치를 나타내며, 이를 다시 대장균이 없는 물에 두어도 패류 중 균수는 단 시간에 제거되지 않는다 (Selegean et al., 2001). 굴 (*Crassostrea commercialis*)에 대장균을 590~600 CFU/100 g로 인위적으로 오염시킨 후 오염물질이 없는 물에서 정화하여도 2일 후에 8~18 CFU/100 g으로 감소한 것으로 보고된 바 있다 (Son and Fleet, 1980).

본 조사에서 해역에 서식하는 굴에서 분변계대장균의 수는 강우 직후에 채취한 시료보다 그 이후 채취한 시료에서 높게 검출되는 것은 시간이 경과함에 따라 해수에 있는 세균을 축적하였기 때문이라 판단된다. 그런데 자란만 해역에서 81.0 mm의 강우 후 삼봉천에서 3.7 km에 위치한 지점 (S-7)의 해수에서는 분변계대장균이 거의 검출되지 않았으나, 이 지점의 패류 (JO-1)에서는 강우 24시간 후에 330 MPN/100 g을 나타내었으며, 이는 육상 유래 오염원의 확산과 패류에서 위생지표세균의 축적에 시간이 소요되기 때문이라 사료된다. EU에서는 날것으로 섭취할 수 있는 패류의 미생물 기준으로 대장균 (*E. coli*) 230 MPN/100 g 이하로 규정하고 있으며, 과거에는 분변계대장균 300 MPN/100 g을 적용하였으나 최근에는 대장균으로 일원화하였다 (European Commission, 1991; 2004). 이 지점의 시험결과를 EU나 미국의 패류생산해역 분류기준과 비교하면 해수는 미국의 허가해역 기준에 부합하였으나 패류는 EU의 B등급 해역에 해당하였다. 따라서 이와 관련하여

특별한 규정이 없는 우리나라에서 패류생산해역의 안전성 평가 시에는 해수와 패류를 동시에 평가하는 것이 타당한 것으로 사료된다.

보통, 강우 시 육상에서 부유물이 많이 섞인 담수가 연안으로 유입되는데 해양환경에서 이러한 부유물은 세균의 운반체로 대단히 중요한 역할을 한다 (Saylor, 1975). 거제만과 자란만 해역의 해수에서도 강우 후 위생지표세균 함량과 염분 또는 탁도와는 상관관계는 염분은 낮을수록, 그리고 탁도는 높을수록 해수 중 위생지표세균 수가 높았으며, 해역에 따라서는 자란만 해역보다 거제만 해역에서 상관성이 더 높았다. 해역에 따른 상관성의 차이는 거제만 해역의 경우 육지와 섬들로 둘러싸인 반폐쇄성의 해역으로 개방적인 자란만 해역과는 지형적 차이가 있어 주변 육상의 배수유역으로부터 받는 오염 강도는 강하고, 해역에서 희석능은 약하기 때문이라 사료된다. 이렇게 연안해역에서 위생지표세균 수와 염분의 역 상관관계는 다른 연구에서도 보고된 바 있고, 수중에서 분변계대장균은 염분이 낮을수록 오래 생존한다는 사실도 알려져 있다 (Gerba and McLeod, 1976; Solic and Krstulovic, 1992; Mallin et al., 2000). 본 연구가 실시된 거제만과 자란만 해역의 해수 중 분변계대장균과 염분과의 상관계수는 각각 -0.769, -0.374 이었고, 또 분변계대장균과 탁도와 상관계수는 각각 0.674 및 0.374이었다. 이러한 상관계수는 미국 North Carolina의 남동부에 위치한 5개의 강 하구에서 분변계대장균과 염분과 상관계수가 -0.446 ~ -0.809 ($P < 0.01$) 및 탁도와 상관계수는 0.417 ~ 0.575 ($P < 0.01$)이었다는 Mallin et al. (2000)의 보고와 유사하였으며, 해역의 특성에 따라 상관관계에 차이가 나타남을 알 수 있었다.

이상에서 우리나라의 주요패류 생산해역인 거제만과 자란만 해역에서 강우가 해역의 위생학적 수질에 미치는 영향을 조사한 결과, 거제만 해역은 1일 43.0 mm의 강우 시에는 만 내부의 대부분의 수역이 육수의 영향을 받았고, 24시간 후에도 육지에 인접한 일부 해역은 오염 전의 수준으로 회복되지 않았다. 자란만 해역은 1일 33.5 mm 및 81.0 mm의 강우가 있을 경우, 오염원 인근에서는 일부 영향이 나타났으나 지정해역까지는 거의 영향을 미치지 못하였다. 따라서 강우 후 연안해역에서 분변계대장균의 분포는 육상에서 유입되는 오염원의 유량, 오염도, 해역의 크기, 조석 등 여러 요인에 의해 영향을 받으며, 또한 각 해역의 특성에 따라 달랐다.

사 사

본 연구는 국립수산물과학원 (수출패류 생산해역 및 수산물 위생조사, RP-2010-FS-006)의 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

- A.P.H.A. 1970. Recommended Procedures for the Examination of Seawater and Shellfish. 4th Ed. American Public Health Association, Inc., New York, U.S.A. 105.
- European Commission. 1991. Council Directive of 15 July 1991 laying down the health conditions for the production and the placing on the market of live bivalve molluscs (91/492/EEC). Off J Eur Communities 268, 1-14.
- European Commission. 2004. Regulation (EC) No 854/2004 of the European Parliament and of the Council of 29 April 2004 laying down specific rules for the organisation of official controls on products of animal origin intended for human consumption. Off J Eur Communities L155, 206-321.
- Feldhusen F. 2000. The role of seafood in bacterial foodborne diseases. Microbes Infect 2, 1651-1660.
- Gerba CP and McLeod JS. 1976. Effect of sediments on the survival of *Escherichia coli* in marine waters. Appl Environ Microbiol 32, 114-120.
- Ha KS, Shim KB, Yoo HD, Kim JH and Lee TS. 2009. Evaluation of the bacteriological safety for the shellfish growing area in Hansan-Geojeman, Korea. Kor J Fish Aquat Sci 42, 449-455.
- Hunter C, Perkins J, Tranter J and Gunn J. 1999. Agricultural land-use effects on the indicator bacterial quality of an upland stream in the Derbyshire Peak District in the UK. Water Res 33, 3577-3586.
- Hwang YJ. 2009. Food Balance Sheet, 2008. Korea Rural Economic Institute, pp. 293.
- Kim SJ. 1975. Sanitary studies of oysters and growing areas in the south coast of Korea. Bull. Fisheries Research & Development Agency 14, 1-79.
- Mallin MA, Esham EC, Williams KE and Nearhoof JE. 1999. Tidal stage variability of fecal coliform and chlorophyll a concentrations in coastal creeks. Mar Pollut Bull 38, 414-422.
- Mallin MA, Williams KE, Esham EC and Lowe RP. 2000. Effect of human development on bacteriological water quality in coastal watersheds. Ecol Appl 10, 1047-1056.
- Mallin MA, Ensign SH, McIver MR, Shank GC and Fowler PK. 2001. Demographic, landscape, and meteorological factors controlling the microbial pollution of coastal waters. Hydrobiologia 460, 185-193.
- Pawiro S. 2010. Bivalves: Global production and trade trends. In: Safe Management of Shellfish and Harvest Waters. Rees G, Pond K, Kay D, Bartram J and Santo Domingo J, eds. WHO/IWA, 11-19.
- Potasman I, Paz A and Odeh M. 2002. Infectious outbreaks associated with bivalve shellfish consumption: A worldwide perspective. Clin Infect Dis 35, 921-928.

- Rippey SR, 1994. Infectious diseases associated with molluscan shellfish consumption. *Clin Microbiol Rev* 7, 419-425.
- Sayler GS, Nelson JD Jr, Justice A and Colwell RR. 1975. Distribution and significance of fecal indicator organisms in the upper Chesapeake Bay. *Appl Microbiol* 30, 625-638.
- Selegan JPW, Kusserow R, Patel R, Heidtke TM and Ram JL. 2001. Using zebra mussel to monitor *Escherichia coli* in environmental waters. *J Environ Qual* 30, 171-179.
- Shim KB, Ha KS, Yoo HD, Kim JH and Lee TS. 2009. Evaluation of the bacteriological safety for the shellfish growing area in Jaranman-Saryangdo area, Korea. *Kor J Fish Aquat Sci* 42, 442-448.
- Solic M and Krstulovic N. 1992. Separate and combined effects of solar radiation, temperature, salinity, and pH on the survival of faecal coliforms in seawater. *Mar Pollut Bull* 24, 411-416.
- Son NT and Fleet GH. 1980. Behavior of pathogenic bacteria in the oyster, *Crassostrea commercialis*, during depuration, re-laying, and storage. *Appl Environ Microbiol* 40, 994-1002.
- U.S. FDA (Food and Drug Administration). 2007. National Shellfish Sanitation Program, Guide for the control of molluscan shellfish, Model ordinance. Retrieved from <http://www.fda.gov/Food/FoodSafety/Product-SpecificInformation/Seafood/FederalStatePrograms/NationalShellfishSanitationProgram/default.htm> on June 18, 2010

2010년 7월 2일 접수
 2010년 8월 10일 수정
 2010년 10월 11일 수리