

강우 발생에 따른 남해군 봉천 방출수가 강진만 해역의 세균학적 수질에 미치는 영향 평가

박큰바위 · 조미라 · 이희정¹ · 권지영² · 손광태² · 이태식*

국립수산과학원 남서해수산연구소, ¹국립수산과학원 남동해수산연구소, ²국립수산과학원 식품안전과

Evaluation of the Effect of the Discharged Water from Bong Stream after Rainfall Events on the Bacteriological Water Quality in Gangjinman, Korea

Kunbawui Park, Mi Ra Jo, Hee Jung Lee¹, Ji Young Kwon², Kwang Tae Son² and Tae Seek Lee*

Southwest Sea Fisheries Research Institute, NFRDI, Yeosu 556-823, Korea

¹*Southeast Sea Fisheries Research Institute, NFRDI, Tongyeong 650-943, Korea*

²*Food and Safety Research Division, NFRDI, Busan 619-705, Korea*

We investigated the effect of the discharged water from Bong Stream, which is located in the drainage area of Gangjinman area on the bacteriological water quality in the coastal area after rainfall events. Following 12.5 mm of rainfall, water discharged from Bong Stream had a very limited effect on bacteriological water quality in adjacent area and the affected area did not extend to the designated area. On the other hand, after 23 mm rainfall, the density of fecal coliform at stations located in the designated area was higher than at stations located in the adjacent area. The degree of bacteriological contamination at the surveyed stations in the coastal area after rainfall events did not show a relationship with distance from the shoreline. These results indicate that the direction of spread and the range of contaminants from the drainage area were affected by tides at the time of the survey. Therefore, a detailed survey of the effects of tides on the diffusion characteristics of the contaminants from Bong Stream is needed to establish a proper management plan for the surveyed area.

Key words: Bong Stream, Fecal coliform, Gangjinman, Rainfall

서 론

기후변화는 지구 온난화와 기상 이변의 빈번한 출현으로 인간 생활뿐만 아니라 지구상의 모든 생물들의 생활사에 많은 변화를 주고 있다. 기후변화의 대표적인 현상으로는 기온 상승과 더불어 강우 패턴의 변화를 들 수 있는데, 국내에서도 최근 10년간(2001-2010년)의 연 강우량이 1,411.9 mm로 과거 평년에 대비하면 97.4 mm가 증가하였다(Lee et al., 2011). 또한 기상청 발표에서도 최근 20년간 강우량은 7% 증가한 반면 강우일수는 오히려 14% 감소한 것으로 보고하였는데, 이는 강우 시 집중 강우를 동반한다는 의미를 내포하고 있다(KMA, 2009). 이러한 집중강우는 수산분야를 포함한 다양한 산업분야에도 피해를 줄 수 있는데, 특히 식품안전이라는 측면에서 보면 연안 해역에 위치한 패류양식장에도 충분히 악영향을 미칠 수 있다.

또한 패류는 이동성이 거의 없고, 여과섭이 활동을 통하여 먹이를 섭취하므로 해수 중에 부유하는 병원성세균 및 바이러스

등과 같은 위해물질들이 체내에 쉽게 축적이 이루어짐으로 오염된 패류의 섭취로 인한 식중독 사고 사례는 오래전부터 많이 보고되어 있다(Grimes, 1991; Cliver, 1997; Feldhusen, 2000; Potasman et al., 2002). 따라서 패류의 위생안전성 확보를 위하여 생산해역에 대한 위생관리는 매우 중요하며, 미국, 유럽연합 등 선진국에서는 패류생산해역의 위생 상태에 따라 등급을 부여하여 관리하고 있다(European Commission, 2004; US FDA, 2009). 우리나라의 경우 수산물품질관리법에 규정된 위생기준에 부합하는 해역을 수출용패류생산지정해역으로 설정하여 관리하고 있으며 남해군 강진만 해역은 경상남도 남서부에 위치한 반폐쇄성 내만으로, 남해군, 사천시, 하동군에 의하여 둘러싸여 있고, 굴, 피조개 등이 주로 생산되며 2000년부터 2003년까지 실시한 위생조사 결과를 바탕으로 2004년 3월에 5,290 ha에 대하여 수출용패류생산지정해역으로 설정하였다.

한편, 연안 해역의 세균학적 수질에 영향을 미치는 주요 분변오염원은 주거지, 농경지, 가축 사육지 등 여러 요인에 의해 발생할 수 있는데, 이러한 지역에서 발생한 분변오염원은 하천 및 하수구 등을 통하여 해역으로 유입된다(Chigbu et al., 2005;

*Corresponding author: tslee@nfrdi.go.kr

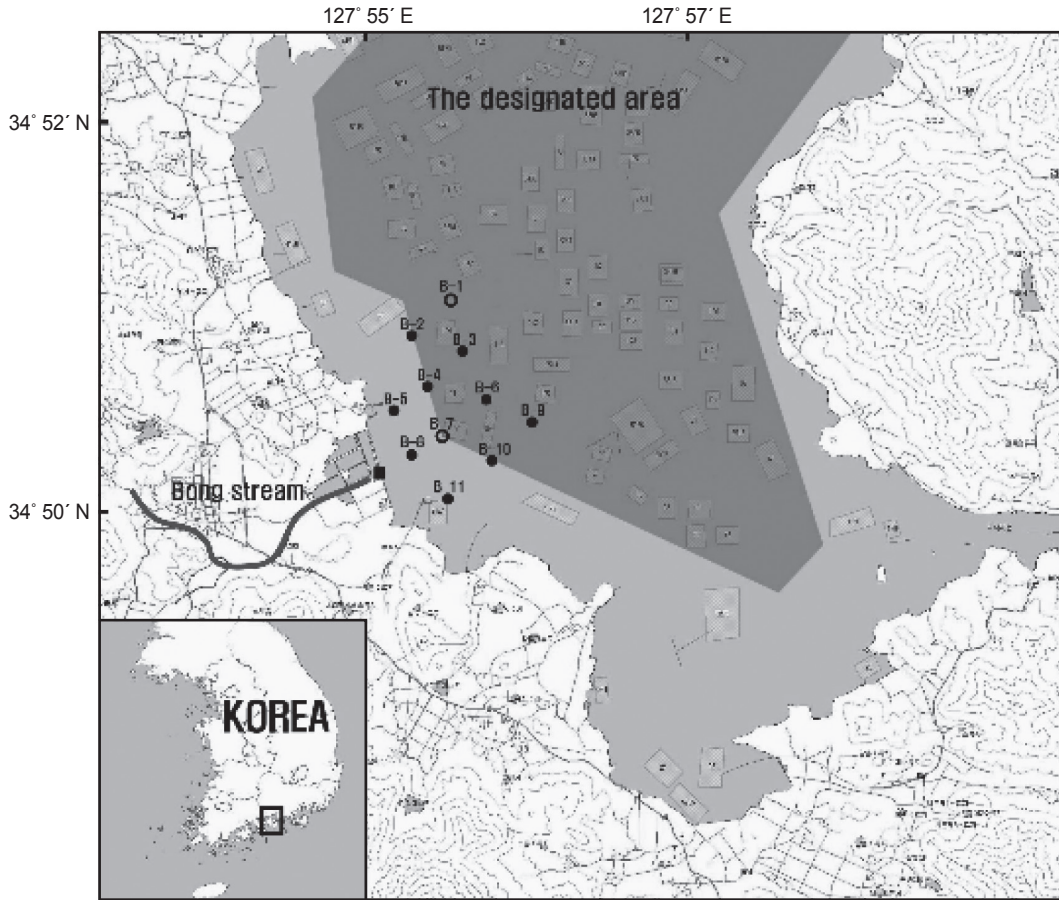


Fig. 1. Sampling stations in the Gangjinman area. ■, Bong stream; ●, Seawater; ○, Seawater and ark shell *S. broughtonii*.

Hunter et al., 1999). 특히 강우는 해역의 세균학적 수질에 가장 큰 영향을 미치는 요인인자이며 강우로 인해 발생하는 부유성 현탁물질은 육상으로부터 기인된 분변계대장균을 해역으로 운반하는 중요한 매개체로 알려져 있다(Sayler et al., 1975). 또한, 자연하천은 하천 주변 유역에 산재되어 있는 각종 오염물질을 모아서 해역으로 방출하는 역할을 하기 때문에 강우 발생시 많은 오염물질이 일시에 해역으로 유입되어 분변계대장균의 오염정도가 증가하였다고 보고하였다(Hill et al., 2006; Lee et al., 2010).

강진만 해역은 자연하천과 함께 인구가 밀집된 거주지역들이 인접하고 있기 때문에 강우 시 육상에서 발생하는 오염물질의 영향으로 인하여 해역의 세균학적 수질에 영향을 받을 수 있다. 그러므로 강진만 해역에서 생산되는 패류의 위생안전성을 보장하기 위해서는 강우 발생 시 육상에서 유입되는 오염물질들이 해역에 어떠한 영향을 미치는지 평가할 필요성이 있다. Park et al.(2010)은 경남 남해군 강진만 해역에 인접한 배수유역의 오염원들 중 남해읍 소재 지방하천인 봉천으로부터 방출되는 오염물질이 강진만 해역에 미치는 영향을 가장 많이 미치는 것으로 보고하였다. 봉천은 길이가 6.23 km이고, 하천유역의 면적이

16.43 km²로서 하천유역 주변에는 인구가 밀집된 거주지역과 상업지역이 발달되어 있어서 강우 발생 시 봉천으로 유입되는 분변계대장균 등으로 인하여 강진만 해역의 세균학적 수질에 악영향을 줄 것으로 사료되었다.

따라서 본 연구에서는 강우 발생에 따른 봉천 방출수가 강진만 패류생산해역의 세균학적 수질에 미치는 영향을 파악하기 위하여 봉천의 하구로부터 일정한 거리마다 조사지점을 선정하고,

Table 1. The general state of sanitary survey after rainfall events

Rainfall (mm)	Time (h)	Sampling date	Sampling time	High Tide (hour : min, mm)	Low tide (hour : min, mm)
12.5	0	2010. 4. 12.	15:29-16:16	07:57, 267 20:07, 281	01:40, 66 13:56, 50
	24	2010. 4. 13.	15:07-16:08	08:23, 276 20:07, 281	02:10, 56 14:22, 38
23	0	2010. 3. 5.	09:35-10:53	11:47, 255 -	05:47, 63 17:51, 46
	24	2010. 3. 6.	09:37-10:47	00:28, 258 12:17, 224	06:28, 98 18:28, 73

Table 2. Salinity variation in stream water and seawater after rainfall events

Area	Station	Distance (km)	Salinity (psu)			
			After 12.5 mm rainfall		After 23 mm rainfall	
			0 hr	24 hr	0 hr	24 hr
Drainage area	The discharging end of Bong stream	0.00	0.12	0.12	0.16	0.19
Adjacent area	B-8	0.30	30.92	31.37	31.41	30.68
	B-5	0.58	30.90	31.47	31.00	30.93
	B-11	0.58	30.12	31.29	31.08	30.75
Designated area	B-7	0.83	31.15	31.53	31.23	31.25
	B-4	1.10	31.38	31.49	31.03	31.30
	B-10	1.20	31.40	31.57	30.99	31.22
	B-6	1.40	31.56	31.57	31.07	31.37
	B-2	1.57	31.25	31.70	30.96	31.35
	B-3	1.70	31.60	31.68	31.18	31.57
	B-9	1.80	31.46	31.58	31.15	31.43
	B-1	2.02	31.66	31.73	31.27	31.83

강우량에 따른 강우 종료 직후 및 24시간 경과 후의 세균학적 수질 변동을 확인하였다.

재료 및 방법

조사지점의 선정

경상남도 남해군 남해읍 소재 지방하천인 봉천 방출수가 강우 발생에 따라 강진만 해역에 미치는 영향범위를 파악하기 위하여 다음과 같이 시료채취지점을 설정하였다. 즉, 봉천 방출수의 오염정도는 하천의 최종 방출수로 측정하였으며, 연안해역의 해수시료 채취지점은 강진만 내부의 조류 특성과 조석 등을 고려하여 하천의 최종방출지점으로부터 약 0.3-0.6 km의 간격으로 총 11개소(B-1-B-11)를 설정하였다. 그리고 강진만의 피조개(*Scapharca broughtonii*) 조사지점은 봉천 최종 방출지점으로부터 0.83 km 떨어진 B-7 지점과 2.02 km 떨어진 B-1 지점 등 총 2개소를 각각 설정하였다(Fig. 1).

강우량에 따른 조사시기 선정

조사시기는 비교적 강우가 잦은 봄철에 실시하였으며, 해역의 세균학적 수질에 영향을 미칠 수 있다고 판단되는 최소 강우량을 고려하여 조사일을 선정하였다. 즉 1일 강우량이 23.0 mm 인 2010년 3월 5일과 12.5 mm인 4월 12일을 각각 조사일로 선정하였다(Table 1). 그리고 본 조사에 사용된 1일 강우량 및 조석은 기상청 남해관측소 및 국립해양조사원의 자료를 근거로 사용하였다.

시료채취 및 미생물 시험

해수 및 하천수는 각 조사지점에서 표층용 채수기를 이용하

여 멸균된 250 mL 시료병에 채취하였으며, 피조개는 전문 잠수사가 현장에서 잠수하여 채취하였다. 채취한 모든 시료는 10℃ 이하로 유지하여 실험실로 운반하고 미생물시험을 실시하였다. 하천수, 해수 및 패류 시료의 채취는 강우 종료 직후 즉시 그리고 강우 종료 시점으로부터 24시간 경과 후에 각각 실시하였다. 하천수 및 해수 중의 염분은 수질분석기(YSI 556 multiprobe system; Yellow Springs, YSI Life Science, OH, USA)를 사용하여 현장에서 측정하였다.

분변계대장균 시험은 Recommended Procedures for the Sea Water and Shellfish (APHA, 1970)에 준하여 최확수(MPN, most probable number)법으로 실시하였으며, 각 희석단계별로 5개 시험관을 사용하고 그 결과는 100 mL 또는 100 g 당 MPN으로 나타내었다. 분변계대장균 추정시험 배지로는 Lauryl Tryptose Broth (Difco, USA)를, 확정시험 배지로는 EC Medium (Merck, Germany)를 사용하였다.

봉천 방출수의 유량 측정 및 영향범위 평가

봉천 방출수의 유량 측정은 유속계(Marsh-McBirney portable flowmeter, Flo-Mate Model 2000, Maryland, USA)을 이용하여 유속을 측정한 후 유속-면적법(Velocity-Area Method)을 이용하여 유량을 산출하였다.

봉천 방출수가 강진만 해역에 미치는 영향범위는 미국 Food and Drug Administration (FDA)에서 제시하고 있는 "Evaluation of pollution source (Advanced Growing Area Training - evaluation of pollution sources, 2006)"에 준하여 다음과 같은 식을 사용하여 계산하였다. 즉 봉천 방출수에 함유되어 있는 분변계대장균 수(Concentration of fecal coliform)에 유량(Flow)을 곱하여 강진만 해역으로 유입되는 1일 부하 분변계대장균 수

Table 3. Results of the fecal coliform in stream water and seawater after rainfall events

Area	Station	Distance (km)	Fecal coliform (MPN/100 mL)			
			After 12.5 mm rainfall		After 23 mm rainfall	
			0 hr	24 hr	0 hr	24 hr
Drainage area	The discharging end of Bong stream	0.00	220	7,900	22,000	4,900
	B-8	0.30	2.0	9.3	<1.8	7.8
Adjacent area	B-5	0.58	14	4.0	2.0	9.3
	B-11	0.58	33	<1.8	7.8	4.0
	B-7	0.83	6.1	2.0	<1.8	<1.8
Designated area	B-4	1.10	<1.8	2.0	17	<1.8
	B-10	1.20	<1.8	1.8	22	<1.8
	B-6	1.40	<1.8	<1.8	2.0	<1.8
	B-2	1.57	<1.8	<1.8	14	2.0
	B-3	1.70	<1.8	2.0	2.0	<1.8
	B-9	1.80	<1.8	1.8	<1.8	<1.8
	B-1	2.02	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8

(Determine loading)를 계산하였다. 1일 부하 분변계대장균 수를 지정해역의 세균학적 수질기준인 14 MPN/100 mL 이하로 희석시킬 수 있는 해수의 양(Dilution water required)을 산출하였다. 그리고 지정해역의 세균학적 수질기준인 14 MPN/100 mL 이하로 희석시킬 수 있는 해수의 양을 조사해역의 평균수심(Average depth)으로 나누어 주어 봉천 방출수에 영향을 받을 것으로 추정되는 폐쇄해역(Area required) 범위를 구한다.

○ Determine loading (MPN/day) = Concentration of fecal coliform (MPN/100 mL) × Conversion (Liter to milliliter; 1,000 mL/L) × Conversion (Min per day; 1,440 min/day) × Flow (L/min)

○ Dilution water required (m³/day) = Determine loading (MPN/day) / [Standard (14 MPN/100 mL) × Conversion (Milliliter to m³; 100,000 mL/m³)]

○ Area required (m²/day) = Dilution water required (m³/day) / Average depth (m)

결과 및 고찰

강우 발생에 따른 해수의 염분 및 위생학적 성상 변화

강우 발생 후 강진만 해역으로 유입되는 봉천 방출수가 해수 중의 염분 및 위생학적 성상 변화에 미치는 영향을 Table 2 및 3에 나타내었다.

12.5 mm 강우 종료 직후 11개 조사지점(B-1-B-11)에서의 염분 농도의 범위는 30.12-31.66 psu이었으며, 봉천 최종방출지

점 인근에 위치한 B-5 및 B-11 지점에서는 각각 30.90 및 30.12 psu로 다른 조사지점들보다 염분의 농도가 낮게 나타났다. 그리고 해수 중의 분변계대장균 수에서도 B-5 및 B-11 지점에서 각각 14 및 33 MPN/100 mL로 미국의 패류생산허가해역 기준인 분변계대장균의 기하평균이 14 MPN/100 mL을 초과하여 검출되었다.

이러한 결과는 12.5 mm 강우 발생에 따른 봉천 방출수가 B-5 및 B-11 지점에 직접적인 영향을 미치고 있음을 알 수 있었으며, 강우에 의해 육상으로부터 봉천으로 유입된 분변계대장균 등 각종 오염원들이 해역의 세균학적 수질에도 영향을 미치는 것으로 확인되었다. 또한 일반 해수에서의 염분농도에 비해 낮은 염분 농도에서는 분변계대장균이 비교적 오래 생존한다는 일부 보고(Gerba and McLeod, 1976; Solic and krstulovic, 1992)도 있어 B-5 및 B-11 지점에서의 분변계대장균의 기하평균이 기준치를 초과하는데 다소 기여한 것으로 추정되었다. Lee et al.(2010)도 거제만과 자란만 해역의 해수 중의 위생지표세균 함량과 염분의 상관관계 분석에도 나타나듯이 염분 농도가 낮을수록 해수 중의 위생지표세균 수가 높게 나타났다고 보고하였다.

한편 Park et al. (2010)은 강진만 해역에 대한 3년간(2007-2009)의 위생조사 결과에서 조사지점별 해수 중 분변계대장균의 기하평균이 봉천 최종방출지점과 인접하고 주변해역에 위치한 A-4 지점에서는 2.8 MPN/100 mL, 지정해역 경계선에 위치한 54지점에서는 2.4 MPN/100 mL으로 나타났다고 보고한 바 있다. 이러한 결과를 강우가 없는 건기 동안의 위생상태로 간주하고 본 조사결과와 비교하여 보면 12.5 mm의 강우 종료 직후 주변해역에 위치한 2개소(B-5, B-11)에서 분변계대장균 수의 범위가 14-33 MPN/100 mL이었으며, 지정해역 경계선에 위치한 B-7 지점에서 분변계대장균 수가 6.1 MPN/100 mL으로 나타나 12.5 mm 강우의 영향으로 인하여 건기시 보다 분변계대장

Table 4. The estimated diffusion range of the discharged water from Bong stream after rainfall events

Rainfall (mm)	Time (h)	Discharge volume (L/min)	Fecal coliform (MPN/100 mL)	Lowest depth (m)	Determine loading (MPN/day)	Dilution water required (m ³)	Area required (m ²)	Radius of half-circle (m)
12.5	0	24,192	220	1.3	7.6×10 ¹⁰	547,430	421,100	518
	24	18,984	79	~	2.1×10 ¹⁰	154,259	118,660	275
23	0	35,046	22,000	~	1.1×10 ¹³	79,304,091	61,003,147	6,233
	24	34,214	4,900	~	2.4×10 ¹²	17,243,856	13,264,505	2,907

Table 5. Concentration of sanitary indicator bacteria found in ark shells *S. broughtonii* collected in the Gangjinman area, Korea after rainfall events

Area	Station	Distance from the discharging end of Bong stream (km)	Fecal coliform (MPN/100 g)			
			After 12.5 mm rainfall		After 23 mm rainfall	
			0 hr	24 hr	0 hr	24 hr
Designated area	B-7	0.83	<18	<18	110	230
	B-1	2.02	<18	<18	<18	<18

균에 대한 오염정도가 증가함을 확인할 수 있었다.

한편, 12.5 mm 강우 종료 직후 강진만 지정해역내에 위치한 8개 조사지점에서는 해수 중의 분변계대장균 수 범위가 <1.8-6.1 MPN/100 mL로 나타나 분변계대장균의 기하평균 기준치를 초과하여 검출된 지점은 없었다. 이상의 결과 12.5 mm 강우 발생에 따라 강진만 해역으로 방출되는 봉천 방출수는 봉천 최종방출지점에 인접한 해역에만 부분적으로 영향을 미치는 것으로 나타났고 강진만 지정해역까지는 영향을 주지 못하는 것으로 확인되었다. 또한 12.5 mm 강우가 종료된 시점으로부터 24시간 경과 후 11개 조사지점에서의 염분 농도의 범위는 31.29-31.73 psu, 분변계대장균 수의 범위는 <1.8-9.3 MPN/100 mL으로 모든 조사지점에서 미국의 패류생산허가해역 기준에 부합하는 것으로 확인되었다.

한편, 23 mm 강우 종료 직후 봉천 방출수에서의 분변계대장균 수는 22,000 MPN/100 mL이었으나, 봉천 최종방출지점으로부터 각각 0.3 및 0.58 km 떨어진 곳에 위치한 B-8, B-5 및 B-11 지점에서는 <1.8, 2.0 및 7.8 MPN/100 mL로 12.5 mm 강우 종료 직후 확인된 분변계대장균의 오염정도 보다 오히려 낮게 나타났다. 이는 23 mm 강우 종료 직후 시료 채취 시 강진만 해역의 조류는 창조시로 최고조가 되기 1시간 35분 전부터 44분 전까지 시료채취가 이루어져 봉천에서 방출되는 오염물질이 해역으로 확산되지 못하고, 봉천 최종방출지점 인근해역에서 머물러 있었기 때문에 주변해역에 위치한 조사지점에서 분변계대장균의 오염정도가 낮게 나타난 것으로 생각되었다. 이러한 조석의 변화는 연안해역에 대한 위생지표세균의 분포에 영향을 미치는 중요한 인자가 될 수 있는데, 창조시에는 육상에서 해역으로 유입되는 하천수를 연안으로 밀어내어 해역 내의 확산을 저해하

지만 낙조시에는 하천수를 만 내부로 확산시키는 역할을 한다고 알려져 있다(Mallin et al. 1999). Lee et al. (2010)도 43.0 mm 강우 종료 24시간 후 최저조시 거제만 해역에서 간덕천 하구로부터 2.5 및 3.5 km 떨어진 해수지점에서의 분변계대장균 수가 각각 79 및 70 MPN/100 mL이었으나 고조시(강우 종료 18시간 후) 채취한 해수 시료에서는 각각 7.8 및 9.3 MPN/100 mL으로 조사되었다고 보고하였다.

강진만 해역은 창조시 대방수로를 통하여 유입된 조류가 남해군 창선도 지선을 따라 강진만 하부해역으로 흐르고, 광양만과 연결된 노량수로를 통하여 유입된 조류는 강진만 상부해역에서 남해군 설천면 지선을 따라 강진만 하부해역으로 흐른다. 그리고, 강진만 해역의 남단에 위치한 지족수로를 통하여 유입되는 조류는 강진만 하부해역에 위치한 남해군 삼동면 지선을 따라 흐르며, 낙조시 조류의 흐름은 창조시 조류의 흐름과 반대로 이루어진다고 알려져 있다(Ro et al., 2007; Kim et al., 2010). 따라서 강진만 해역으로 배출되는 봉천 방출수의 오염물질은 해역 내부로 확산되는 동안 낙조시 조류의 흐름에 따라 강진만 상부쪽(B-1 지점)으로 이동하다가 조류의 흐름이 바뀌는 창조시 다시 하부쪽(봉천 최종방출지점)으로 이동할 것으로 예상되었다. 이러한 이유로 강진만 지정해역에 위치하고 있는 B-2 (14 MPN/100 mL) 및 B-4 (17 MPN/100 mL) 지점에서의 분변계대장균 수가 조사 전날 해역 내부에 확산되어있던 봉천 방출수의 오염물질로 인하여 기하평균 기준치를 초과시켰을 것으로 추정되었다.

23 mm 강우가 종료된 시점으로부터 24시간 경과 후 11개 조사지점에서의 염분 농도의 범위는 30.68-31.83 psu, 분변계대장균 수의 범위는 <1.8-9.3 MPN/100 mL이었으며, 봉천 최종방출지점에서 0.58 km 떨어진 B-5지점에서 9.3 MPN/100 mL로 가장 높게 검출되었으나 모든 조사지점에서 미국의 패류생산허가해역 기준에 부합하는 것으로 확인되었다.

봉천 방출수의 계산된 영향범위와 해수 중의 분변계대장균 함량 비교

12.5 mm 및 23 mm의 강우 발생 후 시간에 따른 봉천 방출수가 강진만 해역에 미치는 영향범위를 미국 FDA에서 제시하고 있는 "Evaluation of pollution source (Advanced Growing Area Training - evaluation of pollution sources, 2006)"의 지침에 준하여 산출하였으며 그 결과를 Fig. 2 및 Table 4에 나타내었다.

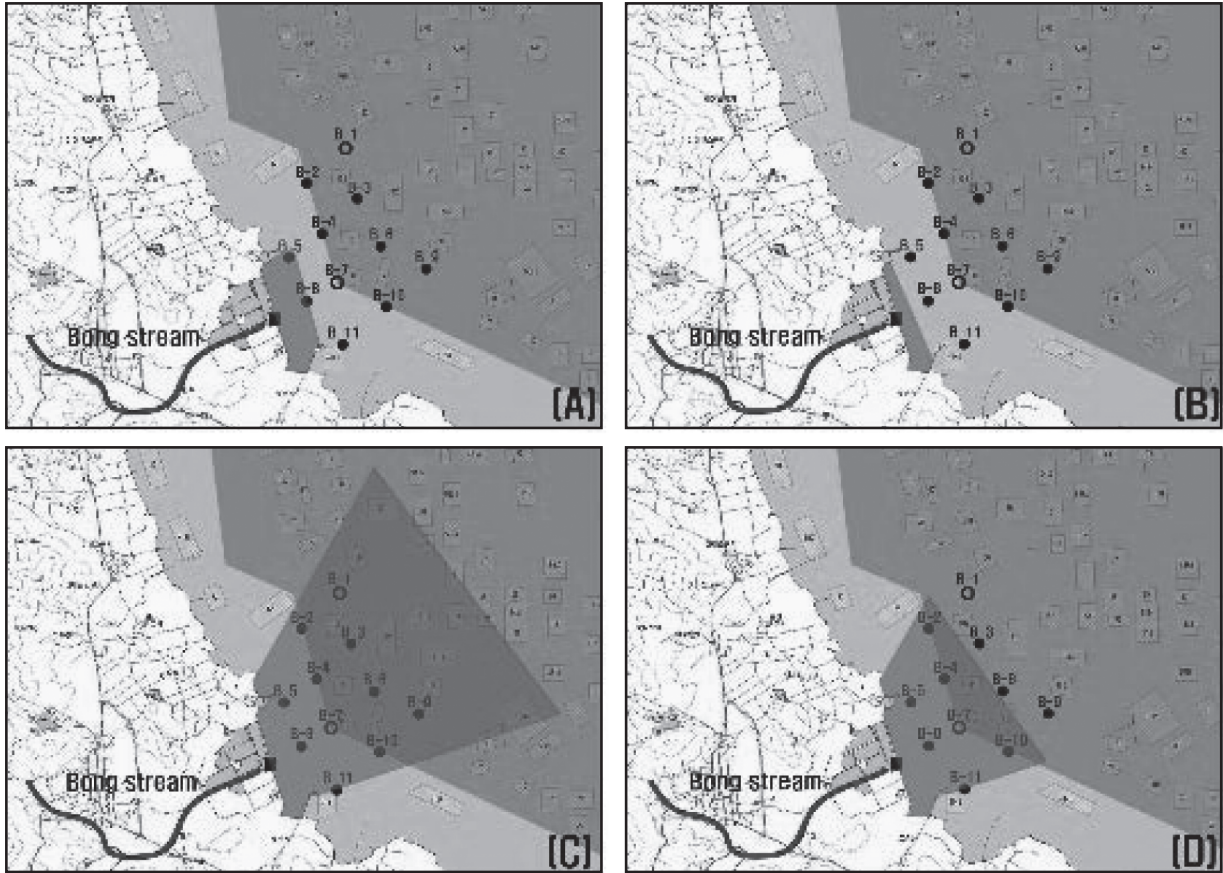


Fig. 1. Sampling stations in the Gangjinman area. ■, Bong stream; ●, Seawater; ○, Seawater and ark shell *S. broughtonii*.

12.5 mm 강우 종료 직후, 봉천 방출수가 해역으로 유입되는 일일 부하 분변계대장균 수는 7.6×10^{10} MPN/day으로 해수 중의 분변계대장균 수를 14 MPN/100 mL 이하로 희석시킬 수 있는 물의 양으로 산출하여 강진만 해역에 미치는 영향범위를 계산해 볼 때 518 m까지 영향을 미치는 것으로 계산되었고, 12.5 mm 강우가 종료된 시점으로부터 24시간 경과 후 봉천 방출수가 강진만 해역에 미치는 영향범위는 275 m으로 계산되었다. 이러한 결과는 12.5 mm 강우 종료 직후, 봉천 최종방출지점에서 공히 0.58 km 떨어져 있는 B-5와 B-11 지점에서 해수 중의 분변계대장균 수가 각각 14 및 33 MPN/100 mL으로, 12.5 mm 강우가 종료된 시점으로부터 24시간 경과 후 봉천 최종방출지점에서 0.30 km 떨어져 있는 B-8 지점에서의 해수 중의 분변계대장균 수가 9.3 MPN/100 mL으로 확인되어 12.5 mm 강우 발생에 따른 봉천방출수가 해역에 영향을 미치는 계산된 영향범위와 실제 해수 중에서의 확인된 분변계대장균 수와 거의 일치하는 것으로 확인되었다.

한편 23 mm 강우 종료 직후와 강우가 종료된 시점으로부터 24 시간 경과 후 봉천 방출수가 강진만 해역에 미치는 영향범위는 각각 6,233 및 2,907 m으로 계산되었으나 실제 봉천 최종방출지점과 인접한 조사지점(B-5, B-8 및 B-11)에서의 해수 중의

분변계대장균 수의 범위는 각각 <1.8-7.8 및 4.0-9.3 MPN/100 mL으로 계산된 영향범위와 큰 차이를 나타내었다. 이러한 결과 차이는 미국 FDA에서 제시하고 있는 지침에 적용하는 평균수심은 최저조시 평균수심으로 23 mm 강우 종료 직후와 강우가 종료된 시점으로부터 24 시간 경과 후 해역 조사당시 최고조가 되기 약 1시간 전으로 평균수심에서 차이가 발생하였고, 또한 창조시 조류의 영향에 의해 봉천 방출수에 함유되어 있는 분변계대장균이 해역으로 확산되지 못했기 때문에 봉천 방출수가 해역에 미치는 계산된 영향범위와 실제 해수 중의 분변계대장균 수가 다르게 나타난 것으로 추정되었다.

강우 발생에 따른 패류의 위생학적 성상 변화

강우 발생 후 강진만 해역으로 유입되는 봉천 방출수가 패류 중의 위생학적 성상 변화에 미치는 영향을 Table 5에 나타내었다. 12.5 mm 강우 종료 직후 및 강우가 종료된 시점으로부터 24시간 경과 후 봉천 최종방출지점으로부터 0.83 km 떨어진 B-7 지점에서 채취한 피조개에서의 분변계대장균은 검출되지 않았다. 그러나 23 mm 강우 종료 직후에 채취한 피조개에서는 분변계대장균 수가 110 MPN/100 g이었으나 오히려 강우가 종료된 시점으로부터 24시간 경과 후 채취한 피조개에서는

230 MPN/100 g으로 증가하였다. Lee et al.(2010)가 거제만 해역에서 43.0 mm의 강우시 간덕천 하구에서 약 3.0 km 떨어진 굴 조사지점에서 강우 종료 직후 채취한 굴에서는 분변계대장균이 불검출이었으나 강우 종료 18시간 후에 채취한 굴에서의 분변계대장균 수가 230 MPN/100 g으로 증가하였다고 보고하였다. Selegean et al. (2001) 보고에서도 패류는 여과섭취를 통하여 먹이활동을 하는 중 해역에 부유하는 세균을 체내에 축적하게 되는데 대장균이 오염된 물에 담수산 담치(zebra mussel, *Dreissena polymorpha*)를 노출시키면 균수가 8.5시간이 경과하였을 때 최고치를 나타내었으며, 이를 다시 대장균이 없는 물에 두어도 패류 중 균수는 단 시간에 제거되지 않는다고 보고하였다. 이와 같이 본 연구에서도 23 mm 강우 종료 직후보다는 24시간 경과 후 피조개에서의 분변계대장균 값이 증가한 것으로 보아 강우 발생 후 수확한 패류에 대해서는 출하하기 전 인공정화(depuration) 등과 같은 특별한 관리가 필요할 것으로 사료되었다.

이상의 결과를 요약하면, 봉천 방출수가 강진만 해역에 미치는 영향범위는 해역으로 유입되는 오염물질의 강도와 시료 채취 시 조석에 따라 해수 지점에서의 오염정도가 뚜렷한 차이를 나타내었다. 따라서 강진만 해역의 효율적인 관리방안 수립을 위해서는 조석에 따라 봉천 방출수가 해역에 미치는 영향범위와 오염물질의 이동경로 추적에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

사 사

본 연구는 국립수산물품질관리원(수출패류 생산해역 및 수산물 위생조사, RP-2011-FS-004)의 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

- A.P.H.A. 1970. Recommended procedures for the examination of seawater and shellfish. 4th Ed. Americal Public Health Association, Washington D.C. U.S.A., 1-47.
- Chigbu P, Gordon S and Tchounwou PB. 2005. The seasonality of fecal coliform bacteria pollution and its influence on closures of shellfish harvesting areas in Mississippi Sound. *Int J Environ Public Health* 2, 362-373.
- Clover DO. 1997. Virus transmission via foods. *Food Technol* 51, 71-78.
- 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 organization of official control 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 disease. *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.
- Grimes DJ. 1991. Ecology of estuarine bacteria capable of causing human disease: A review. *Estuaries* 14, 345-360.
- Hill DD, Owens WE and Tchounwou PB. 2006. The impact of rainfall on fecal coliform bacteria in Bayou Dorcheat (North Louisiana). *Int J Environ Public Health* 3, 114-117.
- 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.
- Kim CK, Lee JT and Jang HS. 2010. Water circulation structure in the Chinju bay of Korea. *Journal of Korean Society of Coastal and Ocean Engineers* 22, 215-223.
- KMA (Korea Meteorological Administration). 2009. Response plan of water resource policy in climate change. *Climate change news letter* 7, 1-35.
- Lee K, Baek HJ, Cho CH and Kwon WT. 2011. The recent (2001-2010) changes on temperature and precipitation related to normals (1971-2000) in Korea. *Geogra J Kor* 43, 497-514.
- Lee TS, Oh EG, Yu HD, Ha KS, Yu HS, Byun HS and Kim JH. 2010. Impact of rainfall events on the bacteriological water quality of the shellfish growing area in Korea. *Kor J Fish Aquat Sci* 43, 406-414.
- 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.
- Park K, Jo MR, Kwon JY, Son KT, Lee DS and Lee HJ. 2010. Evaluation of the bacteriological safety of the shellfish-growing area in Gangjinman, Korea. *Kor J Fish Aquat Sci* 43, 614-622.
- Potasman I, Paz A and Odeh M. 2002 infectious outbreaks associated with bivalve shellfish consumption: A worldwide perspective. *Clin Infect Dis* 35, 921-928.
- Ro JY, Jun WS, Jung KY and Eom HM. 2007. Numerical modeling of tide and tidal current in the Kangjin Bay, south sea, Korea. *Ocean Science Journal* 42, 153-163.
- Sayler GS, Nelson JD, Justice A and Colwell RR. 1975. Distribution and significance of fecal indicator organisms in the upper Chesapeake Bay. *Appl Microbiol* 30, 625-638.
- Selegean 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.
- Solic M and Krstulovic N. 1992. Separate and combined effects of solar radiation, temperature, salinity, and pH on

the survival of fecal coliforms in seawater. *Mar Pollut Bull* 24, 411-416.

U.S. Food and Drug Administration. 2009. 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 July 26.

2011년 8월 12일 접수

2011년 11월 1일 수정

2011년 12월 8일 수리