

## 강우에 따른 거제만해역 육상오염원의 영향평가

하광수 · 유현덕 · 심길보<sup>1</sup> · 김지회<sup>1</sup> · 이태식<sup>2</sup> · 김풍호 · 주자연 · 이희정\*

국립수산과학원 남동해수산연구소, <sup>1</sup>식품안전과, <sup>2</sup>남서해수산연구소

## Evaluation of the Influence of Inland Pollution Sources on Shellfish Growing Areas after Rainfall Events in Geoje Bay, Korea

Kwang Soo Ha, Hyun Duk Yoo, Kil Bo Shim<sup>1</sup>, Ji Hoe Kim<sup>1</sup>, Tae Seek Lee<sup>2</sup>,  
Poong Ho Kim, Ja Yeon Ju and Hee Jung Lee\*

*Southeast Sea Fisheries Research Institute, National Fisheries Research and Development Institute, Tongyoung 650-943, Korea*

<sup>1</sup>*Food and Safety Research Division, National Fisheries Research and Development Institute, Busan 619-705, Korea*

<sup>2</sup>*Southwest Sea Fisheries Research Institute, National Fisheries Research and Development Institute, Yeosu 556-823, Korea*

The influences of inland pollution sources because of rainfall events on the bacteriological water quality in Geoje Bay, a major shellfish production area in Korea, were investigated. The sanitary status of sea water and shellfish after rainfall events was also evaluated. The flow rates of 13 streams around Geoje Bay showed 6 to 7-fold increases after 15 to 21 mm of rainfall. Peak pollution was observed in the Naegan Stream, the Gandeok Stream and the Seojeong Stream. The calculated impact area of inland pollution sources was 3.1 km<sup>2</sup> immediately after 15 mm of rainfall and expanded to 3.5 km<sup>2</sup> after 24 hours. These calculations of impacted area matched results from fecal coliform analyses with sea water. The distance between the major pollution source in the bay (the Gandeok Stream) and the station with the worst bacteriological water quality immediately after 15 mm of rainfall, which was below the Korean standard, was 0.8 km in a straight line; this distance increased to 2.0 km after a period of 24 hours. The area impacted by inland pollution sources after a 15 mm rainfall event was wider than after a 21 mm rainfall. Although the flow rate from inland pollution sources was higher, the concentration of fecal coliform in the discharged water was lower after higher rainfall events. These observations corresponded with the results of fecal coliform analyses with sea water samples. According to the evaluation of the influences of inland pollution sources and fecal coliform analyses on sea water and shellfish samples in Geoje Bay, pollutants from inland sources did not reach the boundary line of the shellfish growing area after rainfall events of 15 or 22 mm. The bacteriological water quality of the shellfish growing area in Geoje Bay met the Korean standard and US NSSP requirements for approved shellfish growing areas.

Key words: Geoje Bay, Oyster, Fecal coliform, Shellfish growing area, Inland pollution source

## 서 론

주로 연안해역에서 서식하는 패류는 주거지, 가축 사육지, 야생동물 서식지, 선박계류장 등에서 발생하는 분변에 오염되기 쉽고(Hunter et al., 1999; Mallin et al., 2001), 여과섭이 활동을 통해 영양을 섭취함으로써 체내에 축적된 세균, 바이러스 및 해양 생물독소 등의 병원소로 작용하며, 각종 질병의 매개체로 인식되어 왔다(Hold et al., 2001; Rippey, 1994). 패류는 오염물질을 쉽게 축적 할뿐만 아니라 패각을 제외한 소화기관 및 연체부 전

체를 가식부로 이용한다는 점에서 패류의 안전한 섭취를 위해서는 서식하고 있는 해역에 대한 위생적인 관리가 매우 중요하다(Choi et al., 1998). 그러나 최근 연안해역에서 어류양식 산업의 발달과 임해지역의 인구 증가에 따른 해면 및 해안으로부터 유입되는 각종 오염 물질은 연안해역에 직·간접적인 영향을 주고 있으며, 해역이나 주변을 운항하는 선박에서 배출되는 인분 등은 패류의 위생학적 안전성을 크게 위협하는 요인으로 지적되고 있다(Lipp et al., 2001; Haller et al., 1986). 따라서 우리나라, 미국, EU 등에서는 패류생산 해역은 물론 가공 및 유통에 이르는 제품화의 전과정에서 발생할 수 있는 위해요소 관리를 위하여 패류위생관리계획을 수립하여 운영하고 있다(MIFAFF, 2008;

\*Corresponding author: hjlee111@nfrdi.go.kr

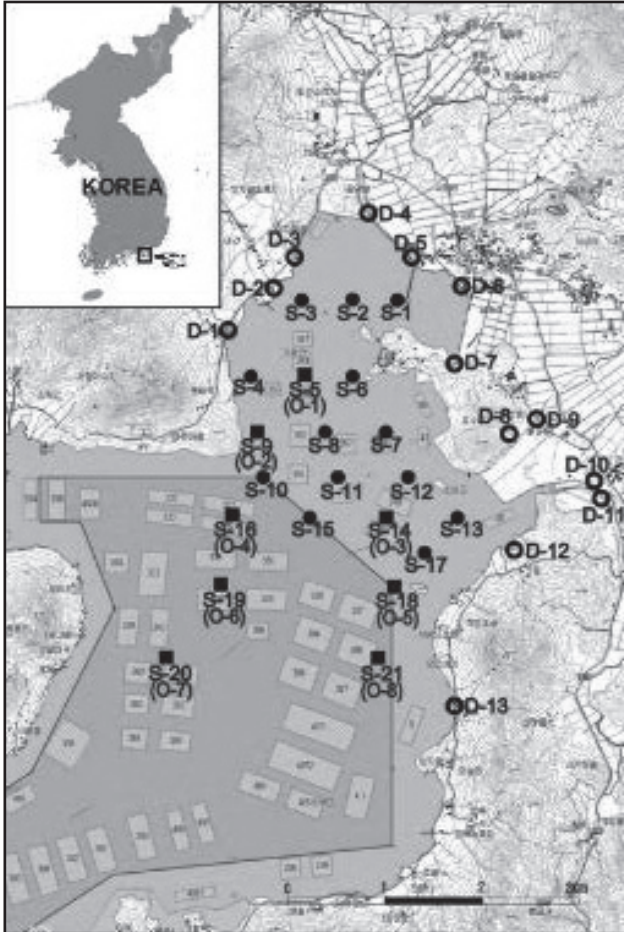


Fig. 1. Sampling stations in the Geojje Bay.  
 ●; Sea water sampling station, ■; Sea water and oyster sampling station, ○; Fresh water sampling station, -; Designated area

US FDA, 2009; European Commission, 2004).

한산-거제만해역은 1974년 수출용 패류생산 지정해역 1호로 지정되었으며, 현재 2,050 ha의 해역이 지정해역으로 설정·관리되고 있다. 또한 생산패류의 위생학적 안전성 확보를 위하여 채취 전 강우량이 1일 15 mm 이상일 때에는 강우 후 24시간 동안 채취가 금지되어 있다(MIFAFF, 2008). 지정해역에 대한 최근의 연구결과에 따르면 미국의 National Shellfish Sanitation Program (NSSP), 유럽연합의 패류생산해역 위생기준 및 우리나라 지정해역 위생관리기준(KSSP)에 적합한 위생 상태를 나타내었다. 그러나 강우가 집중되는 하절기에는 지정해역의 해수 및 생산패류에서 분변계대장균의 검출이 높아지는 경향을 나타내었다(Kwon et al., 2008; Shim et al., 2009; Ha et al., 2009; Park et al., 2010; Yoo et al., 2010). 강우 등 기상학적 요인은 연안해역의 위생학적 수질에 큰 영향을 미치며, 강우에 의해 발생하는 부유성 현탁물질은 육상에서 발생하는 분변계대장균 등을 해역으로 운반하는 중요한 매개체가 된다(Sayler et al., 1975).

최근 우리나라도 아열대성기후로 변화됨에 따라 굴 수확기인 10월에서 익년 5월 사이에 집중강우가 발생하는 빈도가 증가하고 있으나, 강우 시에 발생하는 오염원의 유입에 따른 해역영향 평가 및 해수와 생산패류에 대한 안전성에 관한 조사는 부족한 실정이며, 또한 굴 수확기에 노로바이러스의 검출우려로 인해 강우에 의한 육상오염원의 영향평가에 대한 중요성은 더욱 커지고 있다.

따라서 본 연구는 현재 KSSP에서 규정하고 있는 1일 15 mm 이상 강우 후 24시간 패류채취금지 조건을 평가하기 위하여 주요 굴 생산해역인 거제만해역에 대하여 건기 및 강우에 따른 주요 육상오염원의 유입량, 위생지표세균의 함량변화 등을 이용하여 오염원이 해역에 미치는 영향범위를 평가하였으며, 또한 육상오염원 인근 해역의 해수 및 굴의 위생학적 변화를 비교하여 강우 계급별과 경과시간에 따른 거제만해역의 위생학적 안전성을 확인하였다.

## 재료 및 방법

### 조사지점 및 기간 선정

거제만해역은 경상남도 거제시 거제면과 동부면, 산달도로 둘러싸인 내만이며, 수역면적은 약 15 km<sup>2</sup>이고, 해역에 면하고 있는 배수유역의 총 면적은 약 80 km<sup>2</sup>이다. 건기 및 우기 시 주요육상오염원 조사지점의 선정은 거제만의 배수유역에 분포하는 직접적인 오염원 중 담수 유량이 많은 지점과 분변계대장균 및 MSB (Male specific bacteriophage) 의 오염도가 높은 지점, 또는 거주인구가 많아 건기에는 유수가 거의 없더라도 우기에 오염원이 될 수 있는 것으로 판단되는 13개 지점을 선정하였다. 거제만해역내 해수 및 굴 조사지점은 거제만 상부와 산양천 인근을 중심으로 21개 및 8개 조사지점을 선정하여 육상오염원이 해역에 미치는 영향을 평가하였다(Fig. 1).

거제만 인근 육상오염원 배출수, 해수 및 굴에 대한 영향평가 및 위생학적 안전성 평가를 위한 시료는 해역으로 배출수 증가가 없었던 2009년 2월 4일에 건기조사를 실시하였다. 강우량 15 mm에 대한 우기조사 시료는 2009년 9월 23일 0시부터 10시까지 누적 강우량 15.0 mm가 내린 직후인 23일 오전과 24시간이 경과한 24일 오전에 채취하였다. 또한 강우량 21 mm에 대한 우기조사는 2009년 4월 13일 19시부터 4월 14일 6시까지 누적 강우량 21.0 mm가 내린 직후인 14일 오전과 15일 오전에 채취하였다.

### 수온, 염분, 유량 측정 및 시료채취

육상오염원의 유량은 배출구의 형태에 따라 바스켓, 유속계 (Marsh-McBirney portable flowmeter, Flo-Mate Model 2000) 또는 뜰(Float)을 각각 사용하여 측정하고 계산하였다. 세균시험용 담수와 해수는 멸균된 250 mL 유리병에 채취하였고, 해수는 지정된 조사지점에서 표층용 채수기를 이용하여 표면에서 약 10 cm 깊이에서 채수하였고 해수의 수온과 염분은 YSI 556

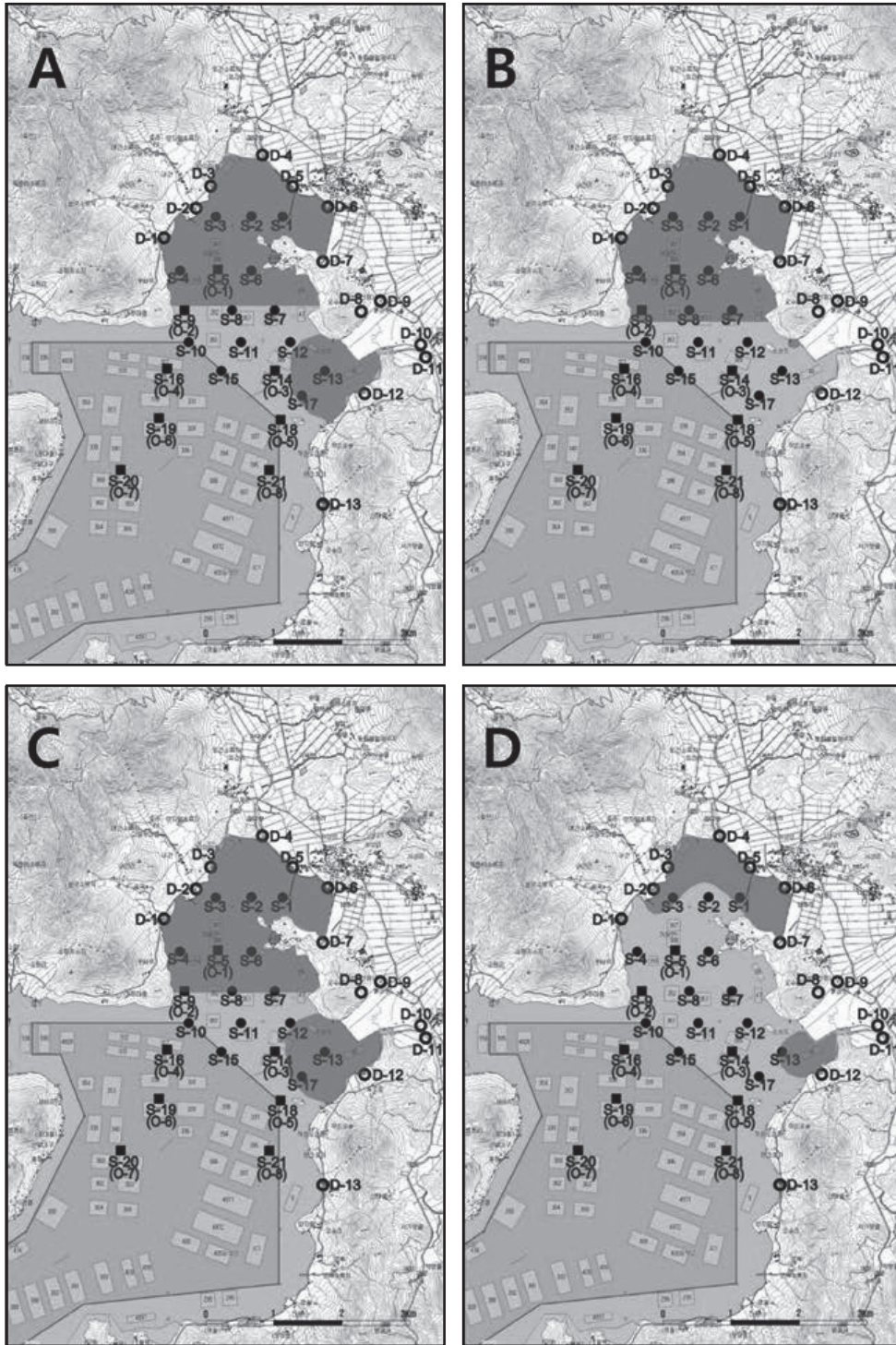


Fig. 2. Concentration of fresh water from the drainage basin and the calculated impacted area of each pollution sources in the Geogje Bay during wet weather conditions (A; Just after 15 mm rainfall, B; 24 hours after 15 mm rainfall, C; Just after 21 mm rainfall, D; 24 hours after 21 mm rainfall).

- ; Sea water sampling station, ■; Sea water and oyster sampling station,
- ; Fresh water sampling station, —; Designated area
- ; Calculated impacted area (>10,000 m<sup>2</sup>)

Table 1. Result of sanitary survey on pollution sources in the drainage basin of Geoje Bay and the calculated impacted area in the sea during dry weather condition

Station	AD <sup>1</sup> (m)	DV <sup>2</sup> (L/min)	FC <sup>3</sup> (MPN/100 mL)	DL <sup>4</sup> (MPN/day)	DWR <sup>5</sup> (m <sup>3</sup> )	AR <sup>6</sup> (m <sup>2</sup> )	RH <sup>7</sup> (m)	MSB
D-1	1	11	49	7.6 X 10 <sup>6</sup>	54	54	6	<10
D-2	1	12	54,000	9.6 X 10 <sup>9</sup>	68,318	68,318	209	20
D-3	1	13	490	9.6 X 10 <sup>7</sup>	655	655	20	20
D-4	1	121	2.0	3.0 X 10 <sup>6</sup>	21	21	4	<10
D-5	1	10	17	2.4 X 10 <sup>6</sup>	17	17	3	<10
D-6	1	20	28,000	8.1 X 10 <sup>9</sup>	57,600	57,600	192	60
D-7	1	No flow	790	-	-	-	-	60
D-8	1	150	3,500	7.6 X 10 <sup>9</sup>	54,000	54,000	185	30
D-9	1	230	1,700	5.6 X 10 <sup>9</sup>	40,217	40,217	160	2,550
D-8 to 9	1	-	-	1.3 X 10 <sup>10</sup>	94,217	94,217	245	-
D-10	1	1,100	5.0	7.9 X 10 <sup>7</sup>	566	566	19	<10
D-11	1	251	49	1.8 X 10 <sup>8</sup>	1,264	1,264	28	10
D-12	1	7	330	3.3 X 10 <sup>7</sup>	238	238	12	<10
D-13	1	21	3,300	9.7 X 10 <sup>8</sup>	6,958	6,958	67	<10
Total	-	1,946	2.0-54,000	-	-	-	-	<10-2,550

<sup>1</sup>AD; Average Depth, <sup>2</sup>DV; Discharge volume, <sup>3</sup>FC; Fecal Coliform, <sup>4</sup>DL; Determined Loading, <sup>5</sup>DWR; Dilution Water Required, <sup>6</sup>AR; Area Required, <sup>7</sup>RH; Residue of Half-circle.

multiprobe system (Yellow Springs, YSI Life Science, OH, USA)을 사용하여 현장에서 측정하였다. 굵은 수하연의 상층, 중층, 하층의 각 1개 부착기를 채취하여 멸균된 황동솔로 부착물 등을 제거한 후 물기를 제거하고 멸균된 스텐레스 스틸 용기에 담았다. 모든 시료는 10℃ 이하로 유지하여 실험실로 운반한 즉시 미생물 실험을 실시하였다. 우기조사를 위한 강우량의 확인은 기상청의 거제관측소 자료를 활용하였다.

미생물시험

시료 중 생균수, 대장균군 및 분변계대장균 시험은 Recommended Procedures for the Examination of Seawater and Shellfish (APHA, 1970)의 방법에 따라 시험하였다. 대장균군 및 분변계대장균은 최확수법(Most Probable Number, MPN)으로 시험하였으며 결과는 100 mL 또는 100 g 당 MPN으로 나타내었고, 생균수는 g당 Colony Forming Unit (CFU)로 나타내었다. 박테리오파아지(Male specific bacteriophage, MSB, F+ coliphage)는 Burkhardt 등(1992)의 방법으로 *Escherichia coli* strain HS (pFamp) R을 숙주세균으로 이용하여 한천 증층법에 의한 플라크 계수법으로 시험하였다.

육상오염원 영향평가

해역으로 직접 유입되는 하천, 소하천, 생활하수 등의 오염원에 대한 해역 영향평가는 National Shellfish Sanitation Program (NSSP) Guide for the Control of Molluscan Shellfish (US FDA, 2009)에 준하여 실시하였다. 각 오염원에 대한 분당 배출

량과 분변계대장균수를 이용하여 하루 동안 해역으로 유입되는 총 분변계대장균수를 산출하였으며, 육상오염원이 해역에 미치는 영향범위의 계산은 미국 NSSP에서 지정해역 해수 기준으로 사용하고 있는 분변계대장균이 14 MPN/100 mL 이하로 희석되는데 요구되는 해수의 용적과 반경으로 계산하였다. 적용된 수심은 해도를 활용하여 영향범위가 적은 곳은 간조시의 최저수심, 그리고 넓은 곳은 평균수심을 적용하였다. 또한 각 오염원을 평가하여 영향반경이 중복되는 지점은 면적으로 나타내었다.

결 과

육상오염원의 영향평가

강우에 따른 거제만해역 육상오염원의 영향평가를 위하여 건기 및 15 mm, 21 mm 강우 직후와 24시간 경과 후에 하천, 소하천, 생활하수 등의 하류 배출구에 위치한 주요육상오염원 13개 지점의 배출수에 대한 유량을 측정하고 분변계대장균 및 MSB의 오염정도를 실험하였다.

건기조사 결과는 Table 1에 나타내었다. 배출수의 총량은 1,946 L/min 이었으며, 산양천(D-10)의 배출수량이 1,100 L/min으로 가장 많았다. 그리고 분변계대장균수의 범위는 2.0-54,000 MPN/100 mL 이었고 생활하수의 유입이 많은 것으로 확인된 내간천(D-2)과 서정천(D-6)의 분변계대장균수가 54,000 및 28,000 MPN/100 mL으로 높았으며, 두 지점이 해역에 미치는 영향범위를 평가한 결과, 209 m 및 192 m로 가장 높

Table 2. Result of sanitary survey on pollution sources in the drainage basin of Geoje Bay and the calculated impacted area in the sea during wet weather condition at 15 mm rainfall

	Station	AD <sup>1</sup> (m)	DV <sup>2</sup> (L/min)	FC <sup>3</sup> (MPN/100mL)	DL <sup>4</sup> (MPN/day)	DWR <sup>5</sup> (m <sup>3</sup> )	AR <sup>6</sup> (m <sup>2</sup> )	RH <sup>7</sup> (m)	MSB
Just after rainfall	D-1	3	18	790	2.0 X 10 <sup>8</sup>	1,463	488	18	<10
	D-2	3	11	17,000	2.6 X 10 <sup>9</sup>	18,885	6,295	63	2,260
	D-3	3	25	17,000	6.2 X 10 <sup>9</sup>	44,064	14,688	97	150
	D-4	3	8,230	1,700	2.0 X 10 <sup>11</sup>	1,439,074	479,691	553	<10
	D-5	3	No flow	54,000	-	-	-	-	510
	D-6	3	60	790,000	6.8 X 10 <sup>11</sup>	4,875,429	1,625,143	1,017	24,000
	D-7	3	360	79,000	4.1 X 10 <sup>11</sup>	2,925,257	975,086	788	<10
	D-1 to 7	3	-	-	1.3 X 10 <sup>12</sup>	9,304,171	3,101,390	1,405	-
	D-8	3	60	330	2.9 X 10 <sup>8</sup>	2,037	679	21	130
	D-9	3	300	78,000	3.4 X 10 <sup>11</sup>	2,406,857	802,286	715	6,860
	D-10	3	2,400	33	1.1 X 10 <sup>9</sup>	8,146	2,715	42	<10
	D-11	3	36	2,400	1.2 X 10 <sup>9</sup>	8,887	2,962	43	1,010
	D-12	3	8	2,400	2.9 X 10 <sup>8</sup>	2,074	691	21	20
D-8 to 12	3	-	-	3.4 X 10 <sup>11</sup>	2,428,000	809,333	718	-	
D-13	1	5	7,800	6.1 X 10 <sup>8</sup>	4,332	4,332	53	540	
Total	-	-	11,513	33-790,000	-	-	-	-	<10-24,000
24 hours after rainfall	D-1	3	15	130	2.8 X 10 <sup>7</sup>	198	66	6	<10
	D-2	3	9	79,000	1.0 X 10 <sup>10</sup>	72,319	24,106	124	16,000
	D-3	3	19	13,000	3.5 X 10 <sup>9</sup>	25,138	8,379	73	290
	D-4	3	6,630	130	1.2 X 10 <sup>10</sup>	88,657	29,552	137	<10
	D-5	3	No flow	1,300	-	-	-	-	270
	D-6	3	21	4,900,000	1.4 X 10 <sup>12</sup>	10,332,000	3,444,000	1,481	43,000
	D-7	3	240	700	2.4 X 10 <sup>9</sup>	17,280	5,760	61	<10
	D-1 to 7	3	-	-	1.5 X 10 <sup>12</sup>	10,535,592	3,511,864	1,496	-
	D-8	1	58	130	1.1 X 10 <sup>8</sup>	776	776	22	80
	D-9	1	200	2,400	6.9 X 10 <sup>9</sup>	49,371	49,371	177	3,360
	D-10	1	480	33	2.3 X 10 <sup>8</sup>	1,629	1,629	32	<10
	D-11	1	24	3,300	1.1 X 10 <sup>9</sup>	7,977	7,977	71	170
	D-12	1	5	49,000	3.5 X 10 <sup>9</sup>	24,696	24,696	125	<10
D-8 to 12	1	-	-	1.2 X 10 <sup>10</sup>	84,449	84,449	232	-	
D-13	1	3	790	3.2 X 10 <sup>7</sup>	228	228	12	7,710	
Total	-	-	7,704	33-4,900,000	-	-	-	-	<10-43,000

<sup>1</sup>AD; Average Depth, <sup>2</sup>DV; Discharge volume, <sup>3</sup>FC; Fecal Coliform, <sup>4</sup>DL; Determined Loading, <sup>5</sup>DWR; Dilution Water Required, <sup>6</sup>AR; Area Required, <sup>7</sup>RH; Residue of Half-circle.

게 나타났다. 또한 오수마을(D-8)과 오수천(D-9)은 중간에 합쳐져 해역으로 유입되는 되는 곳이기 때문에 두 지점을 합산한 영향범위는 245 m로 거제만 북쪽 연안의 배출수 중에서 가장 영향범위가 넓었다. 그러나 모든 배출 조사지점은 영향범위는 지정해역 경계선까지는 영향을 미치는 않는 정도의 수준이었다. 한편, MSB는 장관계바이러스와 크기, 형태 및 환경 중 행동양상이 유사하고 하수에 고농도로 존재하여 신속하고 간편하게 검출이 가능하며, 그 수가 증가하지 않고 패류 중에서도 7일간 생존이 가능하여 하수처리장의 효율성 평가를 위한 연구의 지표미생물로 사용된다(Burkhardt et al., 1992). 건기조사지점에서 MSB

는 <10-2,550 PFU/100 mL 범위로 검출되었으며, 특히 오수천(D-9)에서 가장 높게 검출되어 하수에 의한 분변오염물질이 많이 존재하는 것으로 확인되었다.

강우 15 mm 종료직후 조사결과 Table 2 및 Fig. 2 (A, B)에 나타내었다. 배출수의 총량은 11,513 L/min 이었고 특히, 간덕천(D-4)과 산양천(D-10)의 배출수량이 8,230 및 2,400 L/min으로 증가하였다. 그리고 분변계대장균수의 범위는 33-790,000 MPN/100 mL으로 강우 후 크게 증가하였으며, 거제만 생활하수의 유입이 많은 서정천의 분변계대장균수가 790,000 MPN/100 mL으로 가장 높았다. 거제만 상부에 위치한 D-

Table 3. Result of sanitary survey on pollution sources in the drainage basin of Geoje Bay and the calculated impacted area in the sea during wet weather condition at 21 mm rainfall

	Station	AD <sup>1</sup> (m)	DV <sup>2</sup> (L/min)	FC <sup>3</sup> (MPN/100 mL)	DL <sup>4</sup> (MPN/day)	DWR <sup>5</sup> (m <sup>3</sup> )	AR <sup>6</sup> (m <sup>2</sup> )	RH <sup>7</sup> (m)	MSB
Just after rainfall	D-1	3	22	330	1.0 X 10 <sup>8</sup>	737	246	13	<10
	D-2	3	25	95,000	3.4 X 10 <sup>10</sup>	239,400	79,800	225	290
	D-3	3	26	7,900	2.9 X 10 <sup>9</sup>	21,046	7,015	67	<10
	D-4	3	8,438	11,000	1.3 X 10 <sup>12</sup>	9,547,221	3,182,407	1,424	110
	D-5	3	No flow	240	-	-	-	-	380
	D-6	3	4	35,000	2.0 X 10 <sup>9</sup>	14,040	4,680	55	620
	D-7	3	No flow	330	-	-	-	-	560
	D-1 to 7	3	-	-	1.4 X 10 <sup>12</sup>	9,822,443	3,274,148	1,444	-
	D-8	1	1	79	1.6 X 10 <sup>6</sup>	11	11	3	<10
	D-9	1	5	17,000	1.1 X 10 <sup>9</sup>	8,043	8,043	72	2,550
	D-10	1	6,453	490	4.6 X 10 <sup>10</sup>	325,206	325,206	455	<10
	D-11	1	2	1,400	4.4 X 10 <sup>7</sup>	317	317	14	10
	D-12	1	1	1,300	1.9 X 10 <sup>7</sup>	134	134	9	<10
D-8 to 12	1	-	-	4.7 X 10 <sup>10</sup>	333,711	333,711	461	-	
D-13	1	1	200	4.0 X 10 <sup>6</sup>	29	29	4	10	
Total	-	-	14,978	79-95,000	-	-	-	-	<10-2,250
24 hours after rainfall	D-1	3	24	130	4.4 X 10 <sup>7</sup>	314	105	8	<10
	D-2	3	22	1,600,000	5.2 X 10 <sup>11</sup>	3,686,400	1,228,800	885	10,770
	D-3	3	18	490	1.3 X 10 <sup>8</sup>	917	306	14	<10
	D-4	3	6,944	49	4.9 X 10 <sup>9</sup>	34,997	11,666	86	<10
	D-5	3	No flow	70	-	-	-	-	10
	D-6	3	4	35,000	1.8 X 10 <sup>9</sup>	12,960	4,320	52	540
	D-7	3	No flow	330	-	-	-	-	90
	D-1 to 7	3	-	-	5.2 X 10 <sup>11</sup>	3,735,274	1,245,091	891	-
	D-8	1	1	2.0	2.9 X 10 <sup>4</sup>	0	0	0	<10
	D-9	1	1	1,300	2.4 X 10 <sup>7</sup>	174	174	11	420
	D-10	1	4,982	110	7.9 X 10 <sup>9</sup>	56,369	56,369	189	<10
	D-11	1	1	1,800	1.6 X 10 <sup>7</sup>	111	111	8	<10
	D-12	1	0	240	1.0 X 10 <sup>6</sup>	7	7	2	<10
D-8 to 12	1	-	-	7.9 X 10 <sup>9</sup>	56,661	56,661	190	-	
D-13	1	1	790	9.1 X 10 <sup>6</sup>	65	65	6	<10	
Total	-	-	11,998	2.0-1,600,000	-	-	-	-	<10-10,770

<sup>1</sup>AD; Average Depth, <sup>2</sup>DV; Discharge volume, <sup>3</sup>FC; Fecal Coliform, <sup>4</sup>DL; Determined Loading, <sup>5</sup>DWR; Dilution Water Required, <sup>6</sup>AR; Area Required, <sup>7</sup>RH; Residue of Half-circle.

1-D-7 지점의 해역에 미치는 영향범위를 합산한 결과, 영향반경은 1,405 m로 나타났고, 거제만 내부 3.1 km<sup>2</sup>의 면적까지 확산되었다. 그리고 산양천 인근에 위치한 D-8-D-12 지점의 해역에 미치는 영향범위를 합산한 결과, 영향반경은 718 m 였고, 0.8 km<sup>2</sup>의 면적까지 확산되었으나 지정해역까지는 영향을 미치지 않았다. 또한 15 mm 강우 24시간 경과 후에는 배출수의 총량이 7,704 L/min 였으며, 간덕천(D-4)과 산양천(D-10)의 배출수 양도 6,630 및 480 L/min으로 전체 조사지점에서 유량은 감소하였다. 그러나 분변계대장균수의 범위는 33-4,900,000 MPN/100 mL으로 강우 직후보다 크게 증가한 지점도 있었다.

특히 거제면 생활하수의 유입이 많은 서정천의 분변계대장균수가 4,900,000 MPN/100 mL으로 가장 높았으며, 강우직후에는 오염물질이 많은 양의 배출수에 희석되어 배출되었지만, 유량이 감소하면서 분변계대장균의 농도는 높아진 것으로 판단된다. 거제만 상부 조사지점(D-1-D-7)의 해역영향평가 결과, 해역영향반경은 강우 직후보다 1,496 m로 다소 증가하였으며, 거제만 내부 3.5 km<sup>2</sup>까지 확산되어 지정해역 인근까지 영향이 미치는 것으로 확인되었다. 그러나 산양천 인근 조사지점(D-8-D-12)의 영향은 크게 감소하였다. 강우직후보다 24시간이 경과한 후에 거제만 상부 배출수의 유량은 감소하였으나, 분변계대장균의 오염

Table 4. Result of microbiological analysis for sea water samples in the Geoje Bay under the wet weather condition

Station	Dry season			Just after 15 mm rainfall			24 hours after 15 mm rainfall			Just after 21 mm rainfall			24 hours after 21 mm rainfall		
	Coliform Group <sup>1</sup>	Fecal Coliform <sup>1</sup>	MSB <sup>2</sup>	Coliform Group <sup>1</sup>	Fecal Coliform <sup>1</sup>	MSB <sup>2</sup>	Coliform Group <sup>1</sup>	Fecal Coliform <sup>1</sup>	MSB <sup>2</sup>	Coliform Group <sup>1</sup>	Fecal Coliform <sup>1</sup>	MSB <sup>2</sup>	Coliform Group <sup>1</sup>	Fecal Coliform <sup>1</sup>	MSB <sup>2</sup>
S-1	7.8	<1.8	<10	4.0	4.0	<10	1,300	1,300	40	7.5	1.8	20	2.0	<1.8	<10
S-2	540	23	<10	79	33	<10	490	240	10	1.8	<1.8	<10	4.5	4.5	<10
S-3	2.0	2.0	<10	540	170	<10	330	240	20	<1.8	<1.8	<10	<1.8	<1.8	<10
S-4	<1.8	<1.8	<10	17	11	<10	79	33	<10	<1.8	<1.8	<10	<1.8	<1.8	<10
S-5	<1.8	<1.8	<10	<1.8	<1.8	<10	49	33	<10	<1.8	<1.8	<10	<1.8	<1.8	<10
S-6	11	<1.8	<10	2.0	2.0	<10	13	13	<10	<1.8	<1.8	<10	2.0	2.0	<10
S-7	23	<1.8	<10	2.0	2.0	<10	1.8	1.8	<10	<1.8	<1.8	<10	9.3	<1.8	<10
S-8	<1.8	<1.8	<10	<1.8	<1.8	<10	4.5	4.5	<10	<1.8	<1.8	<10	<1.8	<1.8	<10
S-9	13	<1.8	<10	<1.8	<1.8	<10	350	79	<10	2.0	<1.8	<10	<1.8	<1.8	<10
S-10	2.0	<1.8	<10	2.0	2.0	<10	2.0	2.0	<10	<1.8	<1.8	<10	<1.8	<1.8	<10
S-11	<1.8	<1.8	<10	<1.8	<1.8	<10	6.8	6.8	<10	<1.8	<1.8	<10	<1.8	<1.8	<10
S-12	7.8	2.0	<10	<1.8	<1.8	<10	1.8	<1.8	<10	<1.8	<1.8	<10	<1.8	<1.8	<10
S-13	17	2.0	<10	45	<1.8	<10	1.8	1.8	<10	<1.8	<1.8	<10	2.0	<1.8	<10
S-14	4.5	<1.8	<10	2.0	2.0	<10	<1.8	<1.8	<10	<1.8	<1.8	<10	<1.8	<1.8	<10
S-15	33	2.0	<10	<1.8	<1.8	<10	<1.8	<1.8	<10	<1.8	<1.8	<10	<1.8	<1.8	<10
S-16	<1.8	<1.8	<10	<1.8	<1.8	<10	<1.8	<1.8	<10	<1.8	<1.8	<10	<1.8	<1.8	<10
S-17	<1.8	<1.8	<10	4.5	2.0	<10	6.1	2.0	<10	<1.8	<1.8	<10	<1.8	<1.8	<10
S-18	<1.8	<1.8	<10	<1.8	<1.8	<10	<1.8	<1.8	<10	<1.8	<1.8	<10	<1.8	<1.8	<10
S-19	<1.8	<1.8	<10	2.0	2.0	<10	<1.8	<1.8	<10	<1.8	<1.8	<10	<1.8	<1.8	<10
S-20	<1.8	<1.8	<10	<1.8	<1.8	<10	<1.8	<1.8	<10	<1.8	<1.8	<10	<1.8	<1.8	<10
S-21	<1.8	<1.8	<10	<1.8	<1.8	<10	2.0	<1.8	<10	<1.8	<1.8	<10	<1.8	<1.8	<10

<sup>1</sup>MPN/100 mL, <sup>2</sup>PFU/100 mL.

정도가 높아진 지점의 영향으로 인해 육상오염원이 해역에 미치는 영향범위는 증가하였다. MSB의 오염정도는 강우직후 및 24시간경과 후에 서정천에서 각각 24,000 및 43,000 PFU/100 mL로 가장 높아 하수의 유입이 많은 것으로 확인되었다.

강우 21 mm 종료직후 조사결과는 Table 3 및 Fig. 2 (C, D)에 나타내었다. 배출수의 총량은 14,978 L/min 이었고, 간덕천(D-4)과 산양천(D-10)의 배출수량이 8,438 및 6,453 L/min로 많았다. 그리고 분변계대장균수의 범위는 79-95,000 MPN/100 mL이었으며, 내간천(D-2)의 분변계대장균수가 가장 높게 나타났다. 또한 15 mm 강우시보다 배출수의 총량은 약 24% 증가하여 해역으로 유입되고 있었다. 거제만 상부 조사지점(D-1-D-7)의 해역에 미치는 영향반경을 합산한 결과, 1,444 m로 15 mm 강우 직후보다 다소 높게 나타났고 거제만 내부 3.2 km<sup>2</sup> 면적까지 확산되어 15 mm 강우직후보다 0.1 km<sup>2</sup> 확대되었다. 그리고 산양천 인근 조사지점(D-8-D-12)의 해역에 미치는 영향반경은 461 m, 면적은 0.3 km<sup>2</sup>로 15 mm 강우 직후보다 영향범위의 면적은 2.7배 감소하였다. 또한 21 mm 강우 24시간 경과 후에는 배출수의 총량이 11,998 L/min 였으며, 간덕천(D-4)과 산양천(D-10)의 배출수량도 6,944 및 4,982 L/min으로 강우 직후보다 감소하였다. 그러나 분변계대장균수의 범위는 2.0-1,600,000 MPN/100 mL으로 내간천(D-2)의 오염정도는 크게 증가하였으

나, 대부분의 지점에서는 감소하였다. 이러한 경향은 MSB 결과에서도 동일하였고 강우직후 내간천(D-2)에서 290 PFU/100 mL에서 24시간 경과 후에 10,770 PFU/100 mL로 크게 증가하였다. 거제만 상부 조사지점(D-1-D-7)의 해역영향평가 결과, 영향반경은 891 m로 강우 직후보다 감소하였으며, 영향범위도 강우 직후 3.2 km<sup>2</sup>에서 1.2 km<sup>2</sup>로 크게 줄어든 것으로 나타났다. 또한 산양천 인근 조사지점(D-8-D-12)의 영향은 감소하였다. 21 mm 강우 직후보다 24시간 경과 후에 거제만 상부 배출수의 유량은 감소하였으며, 내간천(D-2)을 제외한 대부분 지점에서 분변계대장균의 오염정도도 감소한 것으로 나타났다. 따라서 해역에 미치는 영향범위도 시간이 지남에 따라 감소되는 경향을 나타내었다.

#### 강우에 따른 해수의 오염정도 변화

2009년 2, 4, 9월에 실시한 건우기조사의 평균수온은 각각 9.1, 15.4 및 22.5°C로 계절적인 변화와 동일한 경향을 나타내었다. 조사시 평균 염분함량은 강우의 영향이 없었던 건기 조사시에는 34.0 psu로 나타났으며, 15 mm 및 21 mm 강우 후에는 각각 31.9 및 32.1 psu로 육수의 유입으로 인해 염분의 농도가 감소하였다.

건기 및 우기시 강우량에 따른 거제만 해역 수질의 위생학적

Table 5. Result of microbiological analysis for oyster samples in the Geoje Bay under the wet weather condition

Station	Dry season			Just after 15 mm rainfall			24 hours after 15 mm rainfall			Just after 21 mm rainfall			24 hours after 21 mm rainfall		
	Coliform Group <sup>1</sup>	Fecal Coliform <sup>1</sup>	MSB <sup>2</sup>	Coliform Group <sup>1</sup>	Fecal Coliform <sup>1</sup>	MSB <sup>2</sup>	Coliform Group <sup>1</sup>	Fecal Coliform <sup>1</sup>	MSB <sup>2</sup>	Coliform Group <sup>1</sup>	Fecal Coliform <sup>1</sup>	MSB <sup>2</sup>	Coliform Group <sup>1</sup>	Fecal Coliform <sup>1</sup>	MSB <sup>2</sup>
O-11	-	-	-	20	<18	<10	<18	<18	<10	-	-	-	-	-	-
O-12	45	20	<10	<18	<18	<10	490	45	<10	-	-	-	-	-	-
O-13	<18	<18	<10	20	20	<10	78	<18	<10	-	-	-	-	-	-
O-14	<18	<18	<10	<18	<18	<10	220	<18	<10	45	<18	<10	<18	<18	<10
O-15	140	140	<10	130	20	<10	<18	<18	<10	<18	<18	<10	<18	<18	<10
O-16	45	<18	<10	170	<18	<10	45	<18	<10	<18	<18	<10	<18	<18	<10
O-17	<18	<18	<10	20	<18	<10	45	<18	<10	<18	<18	<10	<18	<18	<10
O-18	-	-	-	45	20	<10	40	<18	<10	-	-	-	-	-	-

<sup>1</sup>MPN/100 mL, <sup>2</sup>PFU/100 mL.

영향에 대한 시험결과를 Table 4에 나타내었다. 거제만 북쪽 해안에 위치한 간덕천(D-4) 수문으로부터 0.8 km 떨어진 지점에 세 개의 조사지점(S-1, S-2, S-3)을 설정하였으며, 그 이후에는 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5, 4.0 및 4.5 km 떨어진 지점에 각각 1-4개 조사지점을 설정하여 거제만 해역 전체로 확산되는 위생지표세균의 오염정도를 평가하였다.

건기조사시 해역조사지점의 분변계대장균수는 간덕천에서 0.8 km 지점의 중앙에 위치한 S-2지점에서 가장 높은 23 MPN/100 mL을 나타내었으며, 그 외 지점의 분변계대장균 범위는 <1.8-2.0 MPN/100 mL으로 매우 낮게 검출되었고, MSB는 전 조사지점에서 검출되지 않았다.

15 mm 강우직후 조사에서는 간덕천 0.8 km 지점에 위치한 S-2 및 S-3의 분변계대장균수가 33 및 170 MPN/100 mL으로 높았으나, 다른 지점의 분변계대장균 범위는 <1.8-11 MPN/100 mL으로 높지 않았으며, MSB도 검출되지 않았다. 그러나 24시간 경과 후 조사결과에서는 간덕천 0.8 km 지점에 위치한 S-1-S-3의 분변계대장균수가 1,300, 240 및 240 MPN/100 mL으로 증가하였으며, 1.5 km 떨어진 S-4-S-6 지점의 분변계대장균수는 33, 33, 13 MPN/100 mL으로 오염정도가 높아졌다. 또한 2.0 km에 위치한 S-7-S-9 지점의 분변계대장균수는 1.8, 4.5 및 79 MPN/100 mL이었고, 2.5 km에 위치한 S-11 지점의 분변계대장균수는 6.8 MPN/100 mL으로 지정해역과 인접한 지역까지 오염원의 영향을 받고 있는 것으로 나타났다. 또한 MSB도 간덕천 0.8 km 지점(S-1-S-3)에서 각각 40, 10, 20 PFU/100 mL로 나타나 거제만 내에 분변의 오염이 높았던 것으로 확인되었다.

21 mm 강우 직후 조사에서는 간덕천 0.8 km에 위치한 S-1 지점에서만 분변계대장균 1.8 MPN/100 mL, MSB 20 PFU/100 mL가 검출되었다. 또한 24시간 경과 후에는 S-2 지점과 S-6 지점에서 분변계대장균이 각각 4.5, 2.0 MPN/100 mL이 검출되었으며, MSB는 전혀 검출되지 않았다.

이상의 결과에서 15 mm 강우 직후 간덕천에서 2.0 km 지점까지 지정해역 수질기준을 초과하여 영향을 미친 것으로 나타났으며, 이러한 결과는 육상오염원에 대한 영향평가 결과와도 일

치하였다.

### 강우에 따른 굴의 오염정도 변화

강우에 따른 해수 오염의 증가가 해역에서 생산되는 굴의 위생학적 안전성에 미치는 결과를 Table 5에 나타내었다. 거제만 북쪽 해안에 위치한 간덕천(D-4) 수문으로부터 1.5 km 떨어진 지점에 조사지점(O-11)을 설정하였으며, O-12지점은 2.0 km, 그리고 3.0, 4.0 및 4.5 km 거리에 각각 2개 조사지점(O-13-O-18)을 설정하여 굴의 위생지표세균, MSB 및 생균수의 오염정도를 확인하였다.

조사결과 건기 및 우기 시 분변계대장균수는 <18-140 MPN/100 mL 범위를 나타내었다. 강우 15 mm 직후 조사결과 분변계대장균수는 <18-20 MPN/100 mL으로 나타났으나, 24시간 경과 후에는 O-12지점의 분변계대장균은 45 MPN/100 mL으로 증가하였다. 또한 강우 21 mm 조사 후에는 모든 지점에서 분변계대장균 및 MSB가 검출되지 않았다. 따라서 21 mm 이하의 강우 직후 및 24시간 경과 후에도 거제만해역에서 생산되는 굴은 위생학적으로 안전한 상태를 유지하였다.

## 고 찰

거제만은 수출용 패류생산 지정해역 1호인 한산-거제만해역의 북동쪽에 위치하고 있고, 굴 어장이 밀집하여 있으나, 상류에는 인구밀집 지역인 거제면이 위치하고 있어 해역의 위생학적 안전성에 영향을 미칠 수 있는 분변의 유입이 많은 해역이다. 강우에 따른 거제만해역의 위생학적 안전성 평가를 위하여 거제만 인근 육상오염원의 유입량 및 위생지표세균의 함량변화를 통해 오염원이 해역에 미치는 영향범위를 평가하였으며, 또한 오염원의 유입으로 인한 거제만 해역의 해수 및 굴에 대한 위생학적 안전성을 평가하였다.

건기보다 15 mm 및 21 mm 강우직후, 육상오염원의 배출수량은 6-7배 정도 증가하였다. 15 mm 강우 후에는 서정천(D-6)의 분변계대장균 오염정도가 가장 높았고 21 mm 강우 후에는



내간천(D-2)의 오염정도가 가장 높았으며, 이런 결과는 강우 직후부터 24시간 경과 후까지도 지속되었다. 또한 해역 영향범위 평가결과는 분변계대장균 오염정도와 유사한 경향을 나타내었지만, 21 mm 강우직후에는 간덕천(D-4)의 유량이 급속히 증가하여 해역에 미치는 영향이 가장 큰 지점으로 평가되었다.

오염정도가 높은 하천의 하구에서부터 분류로 유입되는 지류에 대한 위생지표세균의 미생물학적, 유전학적 분석을 통해 오염원이 사람, 가축 또는 야생에서 유래하는지에 대한 지속적인 모니터링을 통해 오염원의 근원을 찾아내는 Microbial Source Tracking (MST)에 관한 연구가 널리 이루어지고 있다 (Shehane et al., 2005). 분변계대장균의 오염정도가 높았던 서정천(D-6)의 경우, 15 mm 강우에서 거제만에 미치는 해역 영향 범위의 52-98%를 차지하였다. 따라서 생활하수의 유입이 많아 해역에 미치는 영향이 큰 하천의 경우, MST를 이용한 오염원의 근원을 밝히고 차단하는 연구가 요구된다.

강우 15 mm 직후 육상오염원에 대한 해역영향평가 결과, 오염원의 영향범위는 거제만의 3.1 km<sup>2</sup> 면적까지 확산되었으며, 24시간 경과 후에는 3.5 km<sup>2</sup> 면적까지 확대되었다. 이러한 결과는 해수지점에 대한 분변계대장균 검출결과와도 유사하게 나타났다. 강우직후에는 둔덕천 0.8 km 지점에서만 분변계대장균이 14 MPN/100 mL을 초과한 지점이 검출되었으나, 24시간 경과 후에는 2.0 km 떨어진 S-9 지점의 분변계대장균수도 79 MPN/100 mL까지 증가하여 미국 NSSP의 수질기준을 초과하였다. 또한 거제만 상부 S-1지점의 분변계대장균수는 1,300 MPN/100 mL까지 증가하였으며, MSB도 40 PFU/100 mL 검출되었다.

육상오염원 확산평가결과 강우가 많았던 21 mm보다 15 mm의 확산범위가 더 넓게 지속된 것으로 평가되었으며, 이러한 결과는 해수에 대한 위생조사 결과와 일치하였다. 또한 21 mm 강우조사에서 해역으로 유입되는 육상오염원의 유량은 15 mm보다 많았으나, 분변계대장균수의 최대값은 3배 정도 낮았고 중앙값은 490 MPN/100 mL으로 15 mm 조사시 2,400 MPN/100 mL 보다 더 낮게 낮으며, 수온은 15 mm 조사가 실시된 하절기인 9월(22.5°C)이 21 mm 조사시기인 4월(15.4°C)보다 높아 대장균의 생육에 더 좋은 환경이 유지되기 때문으로 판단된다. 이상의 결과 15 mm 및 21 mm 강우에 대한 육상오염원 영향평가 결과 및 해수의 분변계대장균 오염조사 결과에서도 지정해역 경계선까지는 영향이 미치지 않는 것으로 나타났다.

패류양식장의 세균학적 수질에 미치는 강우의 영향평가에서는 11.5 mm의 강우 후에는 거제만 상부지점에서 분변계대장균이 17 MPN/100 mL 검출되었으나 24시간 후에는 검출되지 않았으며, 43 mm의 강우에서는 24시간이 경과한 후에도 지정해역 경계선까지 분변계대장균 기준을 초과한 것으로 보고하였으며(Lee et al., 2010), 한산-거제만해역과 득량만 패류양식장에 대한 세균학적 안전성 평가에서는 조사 2일이나 3일전에 내린 강우보다 조사 전에 내린 강우가 지정해역의 안전성에 더 큰 영향을 미치며, 또한 해역의 수질은 강우량, 뿐만 아니라 강우시

간 경과에도 영향을 받는다(Ha et al., 2009; Chang et al., 1998). 또한 강우에 의해 오염된 가막만해역의 수질은 24-48시간 경과 후, 평소의 수질로 회복되었다고 보고하였다(Park, 1990). 따라서 보다 정밀한 해역의 강우영향 평가를 위해서는 다양한 강우 계급, 조사 전 강우의 지속시간, 그리고 강우가 회복되는데 필요한 시간의 조건 등 보다 다양하고 반복적인 조사가 이루어져야 할 것으로 판단된다. 또한 해수와 패류의 위생상태를 직접적으로 평가하는 방법, 육상오염원의 오염부하를 이용한 해역영향평가, 뿐만 아니라 모델링 등의 다양한 기법을 이용한 평가가 요구된다.

거제만해역의 굴에 대한 위생조사 결과, 건기 및 강우시에 패류의 위생학적 기준을 초과하지는 않았다. 하지만 15 mm 강우 후, 24시간경과 시점에서 O-12지점의 굴에서는 분변계대장균이 증가하였다. 따라서 해역에서 생산되는 패류의 위생학적 안전성을 확보하기 위해서는 육상오염원, 해수, 패류에 대한 다양한 평가가 요구된다.

이상에서 우리나라의 주요패류 생산해역인 거제만 해역에서 15 mm 및 21 mm 강우 시, 육상오염원에 대한 해역영향평가 및 해수와 패류의 위생학적 안전성 평가결과, 우리나라의 패류위생 기준, 미국의 해역기준 및 EU의 패류 안전성 기준을 모두 만족하는 위생상태를 나타내었다. 그러나 굴에 대한 위생학적 안전성 확보를 위해서는 20 mm 이상의 강우 등급별 육상오염원에 대한 영향평가 및 오염원의 이동경로에 대한 수리학적 연구 등이 필요한 것으로 사료된다.

## 사 사

본 연구는 국립수산물품질관리원(수출패류 생산해역 및 수산물 위생조사, RP-2011-FS-12)의 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

- APHA (American Public Health Association). 1970. Recommended Procedures for the Examination of Sea Water and Shellfish. 4th ed. American Public Health Association, Inc. Washington, D.C. U.S.A., 1-105.
- Burkhardt W 3rd, Watkins WD and Rippey SR. 1992. Survival and replication of male-specific bacteriophages in molluscan shellfish. *Appl Environ Microbiol* 58, 1371-1373.
- Chang DS, Jeong ET, Yu HS, Lee EW and Lim SM. 1998. Bacteriological quality of sea water in Deukryang Bay, Korea. *J Kor Fish Soc*, 31, 77-81.
- Choi JD, Jeong WG and Kim PH. 1998. Bacteriological study of sea water and oyster in Charan Bay, Korea. *J Kor Fish Soc*, 31, 429-436.
- 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 controls on products of animal origin intended for human consumption. Off J Eur Communities, L155, 206-321.
- 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.
- Haller D, Gill ON, Raynham E, Kirkland T, Zadick PM and Stanwell-Smith R. 1986. An outbreak of gastrointestinal illness associated with consumption of raw depurated oysters. Br Med J 292, 1726-1727.
- Hold GL, Smith EA, Rappe MS, Maas EW, Moore ERB, Stroempl C, Stephen JR, Prosser JI, Brikbeck TH and Gallacher S. 2001. Characterization of bacterial communities associated with toxic and non-toxic dinoflagellates: *Alexandrium* spp. and *Scrippsiella trochoidea*. Fems Microbiology Ecology 37, 161-173.
- 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.
- Kwon JY, Park KBW, Song KC, Lee HJ, Park JH, Kim JD and Son KT. 2008. Evaluation of the bacteriological quality of a shellfish-growing area in Kamak Bay, Korea. J Fish Sci Technol 11, 7-14.
- Lee TS, Oh EG, Yoo 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.
- Lipp EK, Farrah SA and Rose JB. 2001. Assessment and impact of microbial fecal pollution and human enteric pathogens in a coastal community. Mar Pollut Bull 42, 286-293.
- 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.
- MIFAFF (Ministry of Food, Agriculture, Forestry and Fisheries). 2008. Annual Report of Korean Shellfish Sanitation Program for 2007, Ministry of Food, Agriculture, Forestry and Fisheries, 3-5.
- Park, JH. 1990. Bacteriological quality study of sea water and oyster in association with rainfall in Kamakman. M.S. Thesis. National Fish. Univ. of Pusan. Pusan, Korea, 13-25.
- Park KB, 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.
- 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.
- Shehane SD, Harwood VJ, Whitlock JE and Rose JB. 2005. The influence of rainfall on the incidence of microbial faecal indicators and the dominant sources of faecal pollution in a Florida river. Journal of Applied Microbiology 98, 1127-1136.
- 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.
- U.S. FDA (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 June 18, 2010
- Yoo HD, Ha KS, Shim KB, Kang JY, Lee TS and Kim JH. 2010. Microbiological quality of the shellfish-growing waters and mussels in Changseon, Namhae, Korea. Kor J Fish Aquat Sci 43, 298-306.

---

2011년 9월 8일 접수  
 2011년 10월 13일 수정  
 2011년 10월 26일 수리