

진해만 서부 용남·광도해역의 세균학적 수질에 미치는 육상 오염원의 영향

심길보* · 하광수¹ · 유현덕¹ · 이태식² · 김지희

국립수산과학원 식품안전과, ¹국립수산과학원 남동해수산연구소, ²국립수산과학원 남서해수산연구소

Impact of Pollution Sources on the Bacteriological Water Quality in the Yongnam-Gwangdo Shellfish Growing Area of Western Jinhae Bay, Korea

Kil Bo Shim*, Kwang Soo Ha¹, Hyun Duk Yoo¹, Tae Seek Lee² and Ji Hoe Kim

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

¹Southeast Sea Fisheries Research Institute, National Fisheries Research & Development Institute, Tongyoung 650-943, Korea

²Southwest Sea Fisheries Research Institute, National Fisheries Research & Development Institute, Yeosu 556-823, Korea

To evaluate the bacteriological water quality in Yongnam-Gwangdo, located in western Jinhae Bay, seawater samples were analyzed using sanitary indicator bacteria at 57 sampling stations. According to survey results from January 2007 to December 2009, the range of the geometric mean and the estimated 90th percentile for coliforms and fecal coliforms in the samples were <1.8-16.5 and 1.8-246.8 MPN/100 mL and <1.8-7.1 and 1.8-74.8 MPN/100 mL, respectively. The samples, including those taken from stations located in Wonmunman, Gwangdo, and Dangdong, showed high levels of microbial contamination caused by the climate and weather patterns in the marine environment. The bacteriological water quality in the area met Korean criteria for a designated shellfish growing area for export and National Shellfish Sanitation Program criteria for an approved shellfish growing area, except at station #49. A total of 24 direct pollution sources were discharged into the shellfish growing area. The radius of impact was calculated for each pollution source to assess the effect on the shellfish growing area. The calculated radius of impact for most of the pollution sources was below 300 m. However, the radius of impact for the combined pollution sources in Kyeonnaeryang was 93-1973 m. There were significant differences between the calculated closed sea area and actual monitoring results. The closed sea area values calculated from the fecal coliform load in drainage water tended to be higher than the actual monitoring results. Tidal currents and environmental factors such as salinity, water temperature, sunlight, and microbiological factors affect the survival of fecal indicator bacteria in seawater.

Key words: Shellfish growing area, The estimated 90th percentile, Coliform group, Fecal coliform, Yongnam-Gwangdo area

서 론

정착성의 패류는 서식하는 부유 생물을 여과 섭취하여 영양분을 공급 받는다. 이에 따라 연안해역에 서식하는 패류는 식물플랑크톤 등 먹이생물 뿐만 아니라 인체에 유해한 세균이나 바이러스 등도 쉽게 축적할 수 있다(Potzman et al., 2002; Feldhusen, 2000; Cliver, 1997; Grimes, 1991). 패류를 매개

로 인체에 해를 끼치는 미생물에는 병원성 비브리오와 같이 해양에서 자연적으로 발생하는 것도 있지만 많은 종의 세균이나 바이러스는 육상 온혈동물의 분변에서 유래한다. 연안산 패류의 위생안전성 확보를 위해서는 생산해역의 위생관리가 무엇보다 중요하며, 이를 위해서는 배수구역 내 오염원의 평가, 해역 내 해수 및 패류의 위생상태의 지속적인 모니터링, 오염원과 생산해역의 종합적 평가를 통해 생산해역의 적절한 분류가

Article history;

Received 5 September 2012; Revised 14 November 2012; Accepted 26 November 2012

*Corresponding author: Tel: +82. 51. 720. 2671 Fax: +82. 51. 720. 2669

E-mail address: kilbo1221@korea.kr

Kor J Fish Aquat Sci 45(6) 561-569, December 2012

<http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2012.0561>

pISSN:0374-8111, eISSN:2287-8815

© The Korean Society of Fisheries and Aquatic Science. All rights reserved

동시에 이루어져야 한다(Todd and Campbell, 2002). 이처럼 생산해역에 대한 위생조사는 당해 해역에서 생산되는 수산물이 인체 건강에 해를 끼칠 수 있는 요인들을 평가하는 수단이며, 수산물의 안전성 제고와 소비자의 신뢰성 확보를 위한 효율적인 위생관리 방안이다(Rees et al., 2010). 미국과 유럽연합에서는 해수나 서식 수산물 중의 대장균을 비롯한 위생지표세균의 오염 정도를 평가하여 수산물 생산해역을 관리하고 있다(US FDA, 2008; European Communities, 2004). 미국은 패류생산해역을 크게 허가해역, 조건부 허가해역, 제한해역, 조건부제한해역, 금지해역으로 구분하여 관리하고 있다. 유럽연합에서는 패류 중의 대장균(*Escherichia coli*) 수에 따라 A, B, C 해역으로 구분된다. A 등급 해역은 생식할 수 있는 패류의 생산이 가능한 해역, B 등급 해역은 정화처리 후 위생기준에 부합하는 패류 생산이 가능한 해역, C 등급 해역은 생산된 패류는 2개월 이상 장기 자연정화를 거친 후 위생기준에 합당할 때 판매할 수 있다. 우리나라에서도 수출을 목적으로 하는 패류양식장에 대하여 1960년대부터 위생관리를 실시하고 있으며(Kim, 1975), 조사해역 중 미국이나 유럽연합의 패류 생산해역 위생기준에 부합하는 해역에 대해서는 수출용패류생산지정해역(이하 '지정해역')으로 관리하고 있다(농림수산식품부 고시 제 2009-298호). 그러나 최근 우리나라 연안해역에서 생산되는 패류의 안전성에 대한 중요성도 대두되면서, 안전한 수산물 공급을 위한 연안해역에 대한 위생조사가 지속적으로 이루어지고 있다.

우리나라 굴의 총 생산량은 2011년 281,022톤이었으며, 통영 등 남해안 지역에서 80% 이상이 생산되고 있다(MIFAFF, 2012). 특히 경상남도 거제시, 통영시, 고성군에 걸쳐 있는 진해만 서부의 용남·광도 해역은 굴 생산량이 많은 지역으로 총 91건(566.36 ha)의 양식어업권 중 49건(245.33 ha)이 굴 양식업이 차지하고 있다. 그러나 동 해역은 대단위 아파트 단지 등 인구밀집 지역이 조성되었으며, 조선소, 액화천연가스 생산기지 등의 시설이 있는 안정일반산업단지가 위치하고 있다. 이러한 육상 오염원은 생산 수산물의 위생안정성에 영향을 미칠 수 있다고 보고된 바 있다(Ha et al., 2011; Lee et al., 2010; Shim et al., 2009; Song et al., 2008).

따라서 본 연구에서는 우리나라에서 굴 생산량이 많은 연안해역인 진해만 서부지역에 위치한 용남·광도 해역의 위생학적 상태를 평가하고, 동 해역의 위생상태에 육상 오염원이 미치는 영향을 조사함으로써 우리나라 수산물의 위생안전성 확보를 위한 기초자료로 활용하고자 하였다.

재료 및 방법

조사지점 및 시료채취

조사 해역은 경상남도 진해만 서부에 위치하고 있으며, 북쪽으로는 고성군 거류면과 동해면, 서쪽과 남쪽은 통영시 광도면

과 용남면, 동쪽은 거제시 사등면과 접하고 있으며, 수역 면적은 약 96.3 km²이다 (Fig. 1).

해수 시료 채취지점은 조사해역의 지형적 여건, 해류 유동, 배수구역 내 오염원의 분포 등을 고려하여 57개소 설정하였으며, 2007년 1월부터 2009년 12월까지 매월 1회씩 총 36회에 걸쳐 시료를 채취하였다. 해수는 표층 채수기를 사용하여 수면에서 약 10 cm 깊이에서 멸균된 250 mL 유리병에 채수한 다음, 10°C 이하로 유지하여 실험실로 운반한 후 즉시 실험에 사용하였다.

실험방법

해수의 염분은 현장용 수질분석기(YSI 556, YSI Life Science, USA)를 사용하여 측정하였으며, 위생지표세균인 대장균군 및 분변계대장균은 Recommended Procedures for the Sea Water and Shellfish (APHA, 1970)에 따라 시험하였다. 시료를 단계 희석하여 5개 시험관법으로 측정하였으며, 추정 시험 배지로는 Lauryl Tryptose Broth (Difco, USA), 확정 시험 배지로는 Brilliant Green Lactose Bile Broth 2% (BGLB, Difco, USA)와 EC (Difco, USA) 배지를 각각 사용하였다. 위생지표세균 수는 100mL 당 최확수(Most Probable Number, MPN)로 표시하였다.

해수의 위생학적 평가

해수의 위생상태는 우리나라 수출용 패류생산해역의 위생관리 기준(농식품부 고시 제2011-97호)과 미국의 패류양식장에 대한 세균학적 수질기준(US FDA, 2008)에 준하여 평가하였으며, the estimated 90th percentile 값(계산된 90th 값)은 다음과 같은 방법으로 계산하였다.

$$\text{Est 90th} = \text{Antilog} [(S_{\log})1.28 + X_{\log}]$$

S_{\log} = 각 자료 그룹에서의 각각의 MPN의 대수 값의 표준편차

X_{\log} = 각 자료 그룹에서의 각각의 MPN의 대수 값의 평균

군집구조 분석

각 조사지점에 강우, 수온, 염분 함량이 위생지표세균 농도에 미치는 영향을 분석하기 위하여 Lim (2007) 방법에 제시한 군집구조 개념을 도입하였다. 각 지점별로 3년간 강우, 수온, 염분 함량, 대장균군, 분변계대장균 값을 이용한 군집분석을 통하여 지점별로 그룹화된 값을 각 셀로 표시하였다.

육상오염원이 해역에 미치는 영향 평가

동 해역의 배수구역에 위치하고 있는 육상오염원 중 해역으로 하수 등이 직접 유입되는 오염원에 대해서는 유량과 분변계대장균 농도를 분석한 후 1일간 해역으로 유입되는 총 분변계대장균 수를 산출하였다. 산출된 분변계대장균을 최종농도 14 MPN/100 mL 이하로 희석하는데 필요한 해수의 용적을 산출

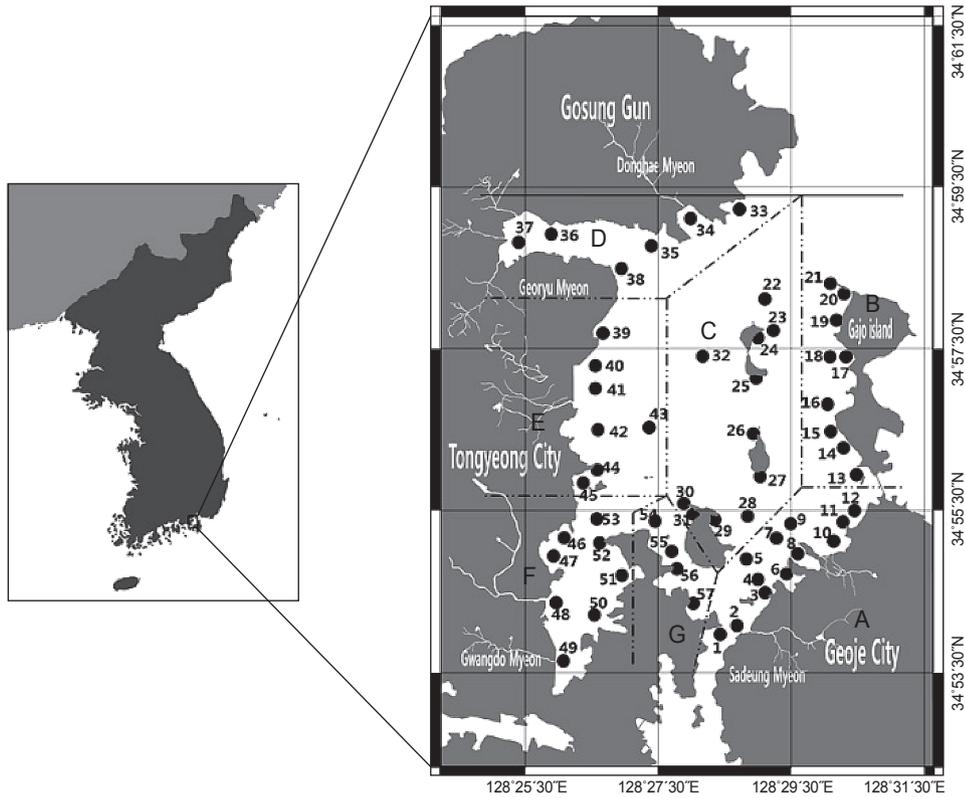


Fig. 1. Sampling station of Yongnam-Gwangdo area, located Western Jinhae bay, Korea. A, Kyeonnaeryang area (St. 1-12); B, Gajo area (St. 13-21); C, Jido area (St. 22-32); D, Dangdongman area (St. 33-38); E, Anjeong area (St. 39-45); F, Wonmunman area (St. 46-53); G, Yongnam area (St. 54-57).

하고, 유입점 주변의 평균 해수 수심 등을 활용하여 수면적을 계산하여 각 오염원이 해역에 미치는 영향범위를 산출하였다 (US FDA, 2008). Ha et al. (2011) 이 보고한 바와 같이, 적용된 수심은 해도를 활용하여 영향범위에 따라 간조시의 최저 수심과 평균 수심을 적용하였다.

- ▣ Determined loading (MPN/day)=Concentration of fecal coliform (MPN/100 mL)× Conversion factor (Liter to milliliter; 1,000 mL/L)× Conversion factor (Min per day; 1,440 min/day)× Flow (L/min)
- ▣ Dilution water required (m³/day)=Determined loading (MPN/day) / [Standard (14 MPN/100 mL)× Conversion factor (Milliliter to m³; 100,000 mL/m³)]
- ▣ Area required (m²/day)=Dilution water required (m³/day) / Average depth (m)

결과 및 고찰

해수 조사지점별의 위생지표세균 농도

경남 진해만 서부 용남·광도 해역의 지형적 여건, 해류 유동,

배수유역 내 오염원의 분포 등을 고려하여 7개의 소해역으로 구분하였다. 동해역의 남동쪽에 위치하고 있는 거제시 사등면 인근해역(이하 ‘견내량 해역’, 조사지점 1-12), 해역의 동쪽에 위치하고 있는 가조도 인근해역(이하 ‘가조도 해역’, 조사지점 13-21), 지도, 어의도, 수도의 도서지역 인근해역(이하 ‘지도 해역’, 조사지점 22-32), 해역의 북쪽에 위치하고 있는 고성군 동해면, 거류면 인근해역(이하 ‘당동만 해역’, 조사지점 33-38), 해역 서쪽의 안정공단 인근해역(이하 ‘안정 해역’, 조사지점 39-43), 해역 남서방향의 인구밀집 지역인 통영시 광도면(이하 ‘원문만 해역’ 조사지점 45-53), 해역 남쪽의 통영시 용남면 인근해역(이하 ‘용남 해역’ 조사지점 54-57)이다. 이들 해역에 설정된 조사지점에 대하여 2007년 1월부터 2009년 12월까지 3년간 조사한 각 조사지점별 대장균군 및 분변계대장균 수의 최대값, 기하평균 및 90th percentile 값을 Fig. 2와 3에 나타내었다. 전체 조사지점의 해수 시료 중 대장균군 수의 범위는 <1.8~>1,600 MPN/100 mL이었으며, 기하학적 평균치 및 90th percentile의 범위는 각각 <1.8-16.5 MPN/100 mL 및 1.8-246.8 MPN/100 mL이었다.

견내량 해역은 오랑천 하구 인근에 위치하고 있는 2번 조사지점에서 대장균군의 최대값과 90th percentile의 값이 각각

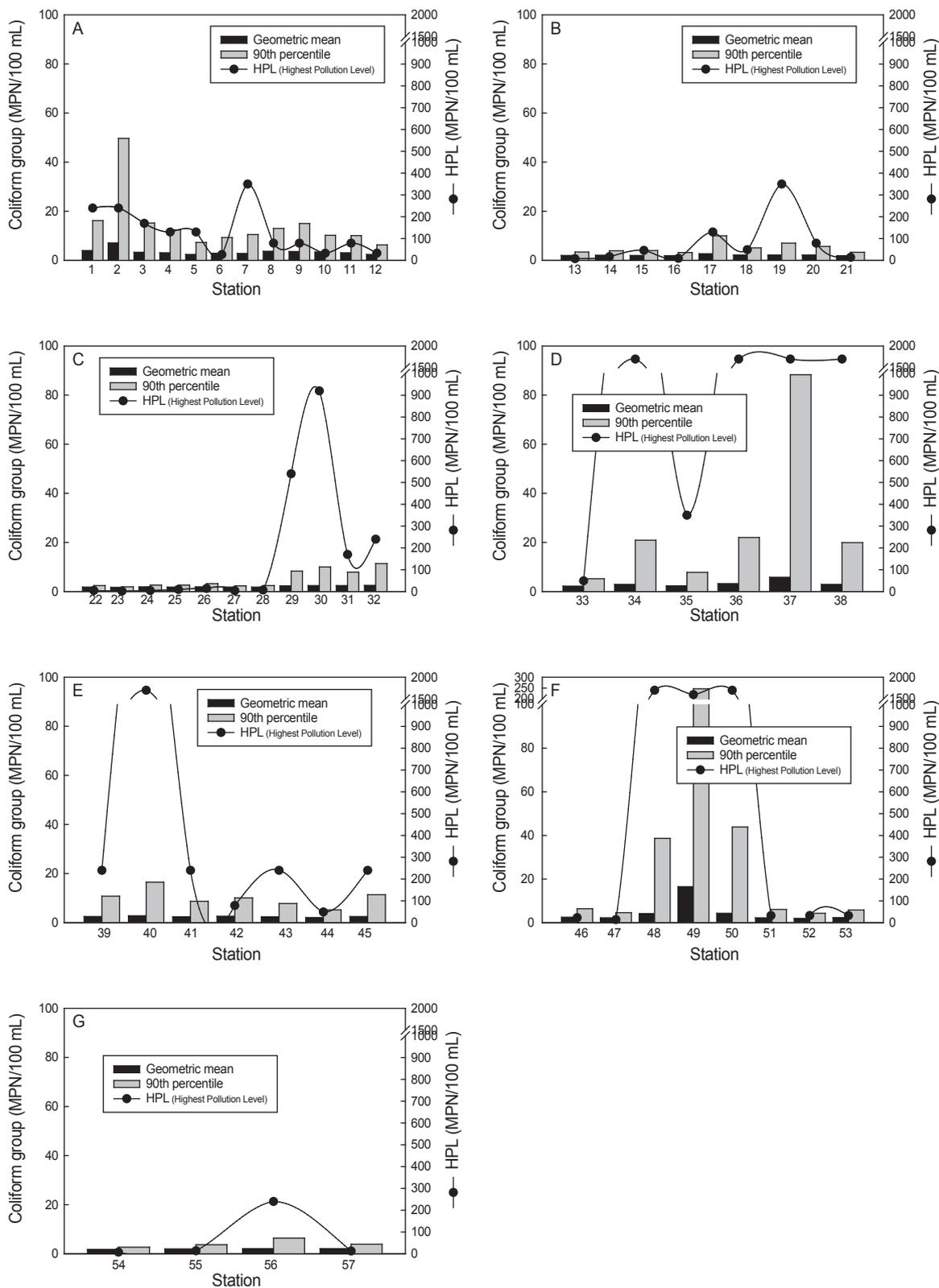


Fig. 2. The geometric mean, estimated 90th percentile and highest pollution level of coliform group of seawater collected at the each station in Youngnam-Gwangdo area located in western of Jinhae bay, Korea from Jan. 2007 to Dec. 2009. The areas are the same as indicated in Fig. 1.

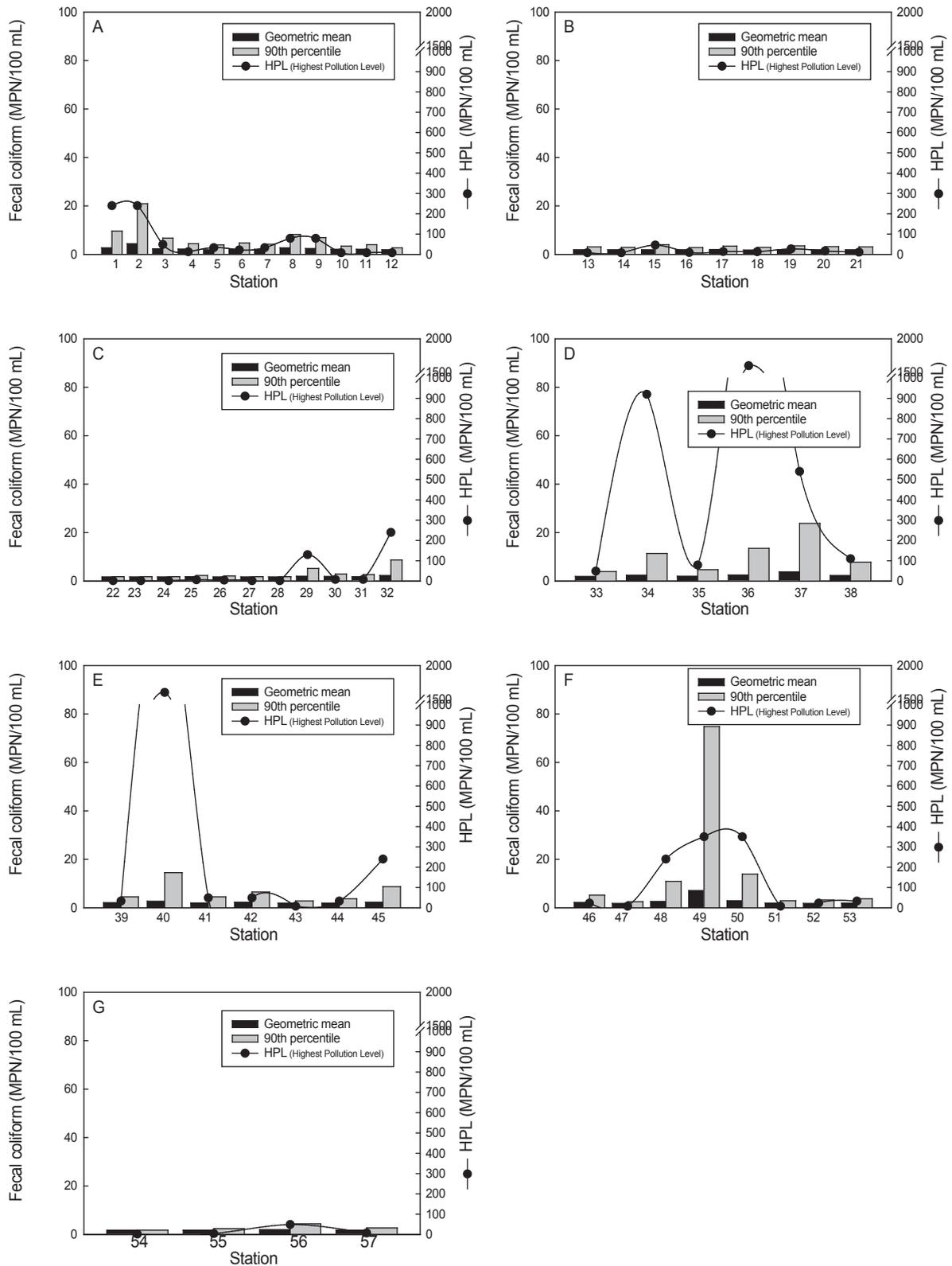


Fig. 3. The geometric mean, estimated 90th percentile and highest pollution level of fecal coliform of seawater collected at the each station in Youngnam-Gwangdo area located in western of Jinhae bay, Korea from Jan. 2007 to Dec. 2009. The areas are the same as indicated in Fig. 1.

Table 1. Result of sanitary survey on pollution sources in drainage basin of Yongnam-Gwangdo area and calculated impact area in the sea area

No.	AD ¹ (m)	DV ² (L/min)	FC ³ MPN/100 mL	DL ⁴ (×10 ⁶ MPN/day)	DWR ⁵ (m ³)	AR ⁶ (m ²)	RH ⁷ (m)
D-1	11.4	77.2	1,700,000	1,889,856	13,498,971	1,184,120	868
D-2	3.2	400.1	490	2,823.1	20,165	6,302	63
D-3	1.4	30	11,000	4,752	33,943	24,245	124
D-4	1.2	2,499	8	280.7	2,005	1,671	33
D-5	6.7	232.5	28,000	93,744	669,600	99,940	252
D-6	1.0	1,679	78	1,885.9	13,470	13,470	93
D-7	5.1	4.4	2,400,000	152,064	1,086,171	212,975	368
D-8	4.7	4.4	240,000	15,206	108,617	23,110	121
D-9	6.7	118.9	1,700,000	2,910,672	20,790,514	3,103,062	1,406
D-10	5.0	174.8	1,700,000	4,279,104	30,565,029	6,113,006	1,973
D-11	6.1	31,850	200	91,728	655,200	107,410	262
D-12	7.2	62.5	46,000	41,400	295,714	41,071	162
D-13	9.6	30	79,000	34,128	243,771	25,393	127
D-14	7.5	199.6	130	373.7	2,669	356	15
D-15	3.4	30	2,300	993.6	7,097	2,087	36
D-16	3.7	30	4,900	2,116.8	15,120	4,086	51
D-17	6.8	1,596	2,400	55,157.8	393,984	57,939	192
D-18	1.0	162	20	46.7	333	333	15
D-19	1.4	30	200	86.4	617	441	17
D-20	4.1	1,326	1,100	21,003.8	150,027	36,592	153
D-21	6.0	2,500	170	6,120	43,714	7,286	68
D-22	3.5	3,015	49	2,127.4	15,196	4,342	53
D-23	5.6	49	4,900	3,457.4	24,696	4,410	53
D-24	5.5	1.6	1,100,000	25,344	181,029	32,914	145

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

240 및 49.7 MPN/100 mL이었다(Fig. 2A). 기타 조사지점에서 대장균군의 기하평균 및 90th percentile의 값의 범위는 2.4-4.0 MPN/100 mL 및 6.3-16.2 MPN/100 mL이었다. 가조도, 지도, 안정 및 용남 해역은 조사지점들의 기하평균 및 90th percentile가 <1.8-2.7 MPN/100 mL 및 1.9-10.0 MPN/100 mL로 매우 양호하였다(Fig. 2B, 2C, 2E, 2G). 당동만 해역은 인구밀집지역 인근에 위치한 38번 조사지점에서 대장균군 수의 기하평균 및 90th percentile의 값이 각각 5.8 MPN/100 mL 및 88.3 MPN/100 mL이었다(Fig. 2D). 원문만 해역은 통영시 원문만에 위치한 48, 49, 50번 조사지점에서 대장균군 수의 기하평균 및 90th percentile의 값이 각각 4.1, 16.5, 4.3 MPN/100 mL 및 38.7, 246.8, 43.9 MPN/100 mL이었다(Fig. 2F).

또한 용남·광도 해역에 설정된 57개 조사지점에서 분변계대장균 수의 최대값과 기하학적 평균치 및 90th percentile의 범위는 각각 1.8->1,600 MPN/100 mL 이었으며, <1.8-7.1 MPN/100 mL 및 1.8-74.8 MPN/100 mL이었다. 각 조사지점의 대장균군 수와 유사한 경향으로, 견내량 해역은 오량천 하구 인근에 위치하고 있는 2번 조사지점에서 분변계대장균 수의 최대값과 90th percentile의 값이 각각 240 및 20.9

MPN/100 mL이었다(Fig. 3A). 가조도, 지도, 안정 및 용남 해역은 조사지점들에서 분변계대장균 수의 기하평균 및 90th percentile가 <1.8-2.7 MPN/100 mL 및 1.8-14.5 MPN/100 mL로 매우 양호하였다(Fig. 3B, 3C, 3E, 3G). 당동만 유역은 인구밀집지역 인근에 위치한 38번 조사지점에서 분변계대장균 수의 기하평균 및 90th percentile의 값이 각각 3.8 MPN/100 mL 및 23.3 MPN/100 mL이었다(Fig. 3D). 통영시 원문만에 위치한 48, 49, 50번 조사지점에서 분변계대장균 수의 기하평균 및 90th percentile의 값이 각각 2.6, 7.1, 2.9 MPN/100 mL 및 10.9, 74.8, 13.9 MPN/100 mL이었다(Fig. 3F). 또한 일부 조사지점에서 대장균군 및 분변계대장균 수의 최대 세균 검출농도가 높은 것은 2007년 9월과 2009년 9월에 각각 146.6 mm (조사 6일전부터 누적 강수량) 및 207.4 mm (조사 14일전부터 누적 강수량) 강우가 원인으로 판단된다. Ha et al.(2011)은 경남 거제만 해역의 세균학적 수질이 15 mm, 21 mm 강우가 발생 직후에 분변계대장균이 급격히 증가하였다가 24시간 후에 급감한다는 보고하였으며, Park (1990)은 강우에 오염된 가막만해역의 수질은 24-48시간 경과 후에 평소의 수질로 회복된다고 보고에서도 알 수 있듯이, 강우 전후의

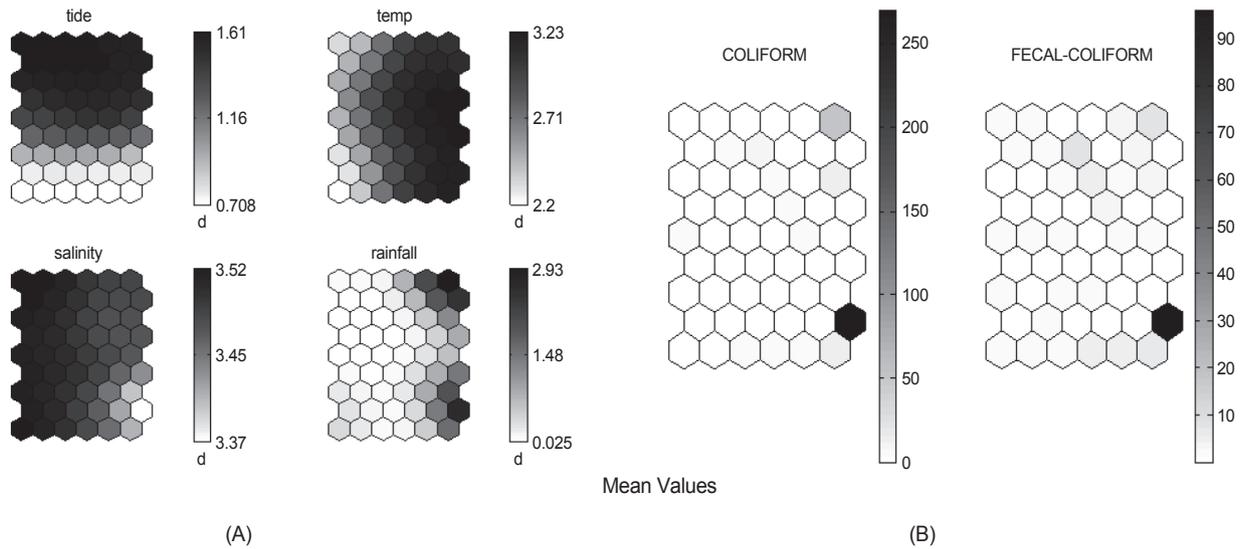


Fig. 4. Pattern of tide, temp, salinity, rainfall, coliform and fecal coliform at each station in Youngnam-Gwangdo area located in western of Jinhae bay, Korea from 2007 to 2009. A, Environmental factors; B, Bacterial concentration.

해수 중 세균 농도는 큰 차이가 있었다.

미국에서 패류 양식장에 대한 허가해역의 세균학적 수질기준은 해수시료 중의 대장균군 또는 분변계대장균으로 정하고 있다. 대장균군에 대한 기준은 해수 시료 중의 기하평균치가 70 MPN/100 mL 이하이며, 백분위수의 90번째 값이 230 MPN/100 mL 이하여야 한다고 규정되어 있으며, 분변계대장균에 대한 기준은 해수 시료 중의 기하평균치가 14 MPN/100 mL 이하이고, 백분위수의 90번째 값이 43 MPN/100 mL 이하여야 한다고 규정되어 있다(US FDA, 2008). 또한 우리나라의 지정해역 기준도 미국 FDA와 마찬가지로 분변계대장균에 대한 기준으로 정하고 있다(농식품부 고시 제2011-97호).

본 연구에서 설정한 조사지점 중 우리나라 지정해역 및 미국의 허가해역의 수질기준인 대장균군 및 분변계대장균 수의 90th percentile의 값이 각각 230 및 43 MPN/100 mL을 초과한 지점은 원문만 해역에 위치한 49번 조사지점이며, 이 조사지점 인근에는 주거 등을 목적으로 죽림만 매립지의 신도시가 조성된 곳으로 대규모 아파트 단지들이 위치하고 있으며, 동해역의 배수유역 중 인구밀도가 가장 높다. 그러나 이 조사지점을 제외한 모든 조사지점은 이들 기준에 부합되었다.

군집구조를 이용한 조사지점에 강우가 미치는 영향

패류양식장의 주요 분변 오염원은 인구밀집지역, 가축 축사, 야생동물 서식지, 선박 계류장 등 여러 요인이 있으며, 이러한 지역에서 발생한 하수나 유거수를 통하여 해역으로 유입되기 때문이다(Lee et al., 2010; Mallin et al., 2001; Hunter et al., 1999). 특히 강우에 의해 발생한 부유성 현탁 물질이 육상에서 발생하는 분변계대장균 등을 해역으로 운반하는 중요한 매

개체가 된다고 보고하였으며(Sayler et al., 1975), 우리나라 연안해역도 세균학적 수질상태에 강우가 가장 큰 영향을 미치는 것으로 보고하였다(Ha et al., 2011; Lee et al., 2010; Park et al., 2010; Yoo et al., 2010; Ha et al., 2009; Shim et al., 2009; Kwon et al., 2008; Song et al., 2008; Burton and Pitt 2002; Pitt 2000).

따라서 각 조사지점의 위생지표세균 농도와 수온, 염분, 조석, 강우 등 환경인자와의 상관관계를 확인하기 위하여 군집구조 분석을 실시하였다(Fig. 4). 그 결과 대장균군 및 분변계대장균 농도는 강우량과 염분에 영향을 크게 받았다(Fig. 4). 대장균군과 분변계대장균 농도가 매우 높은 군집은 Fig. 4(B)의 검은색 부분이며, 이 군집은 Fig. 4(A)의 환경인자와의 상관성을 살펴보면, 염분은 낮고 강우는 매우 높은 군집인 것을 확인할 수 있었다. 또한 이들 군집에는 원문만 해역, 안정공단 등이 위치하고 있는 안정 해역, 당동만 해역에 위치한 조사지점이 속하였다.

배수유역의 육상오염원이 해역에 미치는 영향평가

용남·광도 해역 배수유역에 위치한 직, 간접 오염원의 소재를 확인하고, 해역으로 직접 유입되어 해역의 세균학적 수질상태에 영향을 줄 수 있는 오염원은 24개소이었다. 이들 오염원에서 발생하는 분변계대장균 수를 14 MPN/100 mL로 감소시키기 위하여 필요한 해수량을 계산하여 영향반경을 나타낸 결과는 Table 1과 Fig. 5와 같다. 동 해역에는 오량천(D-6), 지석천(D-4), 장좌천(D-22), 봉곡천(D-20과 D-21사이, 건천), 신용천(D-20), 안정천(D-17), 광도천(D-14와 D-15 사이, 건천), 죽림천(D-14) 등 7개의 자연하천이 위치하고 있으며, 이들 오염원



Fig. 5. Result of sanitary survey on pollution sources in drainage basin of Yongnam-Gwangdo area and calculated impact area in the sea area.

과 대부분 오염원의 영향반경은 300 m 이하로 양호하였으나, 거제시 사동면(D-1, 2, 3), 가조도의 상부(D-24) 및 거제시 견내량의 일부 오염원(D-6, 7, 8, 9, 10)은 해역에 큰 영향을 미치는 것으로 확인되었다. 특히 견내량 오염원(D-6, 7, 8, 9, 10)이 해역에 미치는 영향반경은 93-1,973 m이다(Table 1). 이들 오염원의 배출수의 분변계대장균 수를 14 MPN/100 mL 이하로 희석시키기 위하여 필요한 해역의 면적은 약 53 km²로, 해간도 남단에서 남쪽으로 약 100 m에서부터 지도 남단에서 남쪽으로 약 300 m까지 견내량 전체가 영향범위에 포함되었다(Fig. 5).

그러나 실제 각 해수 조사지점의 분변오염실태를 조사한 결과에서는 원문만 해역, 안정공단 등이 위치하고 있는 안정 해역, 당동만 해역에 위치한 조사지점이 기타 조사지점과 비교하여 매우 높은 분변계대장균 농도를 나타내었다. 이처럼 오염원 평가와는 달리 실제 해역의 조사지점의 분변 오염은 해역으로 유입되는 직접오염원이 영향을 주기도 하지만 강우발생으로 인하여 육상의 오염원이 다량으로 해역으로 유입될 때 미치는 영향이 더욱더 높았다. 또한 계산에 의한 분변계대장

균의 부하 희석의 경우가 실제 분석결과와의 차이는 위생지표 세균은 해수에 노출되면 염분농도, 수온, 태양광, 박테리오파지 등 환경조건에 따라 차이는 있으나 사멸하는 과정을 거치되기 때문에 사료된다(Nunez et al., 2005; McCambridge and McMeekin, 1981; Anderson et al., 1979). 동해역의 조류도 이러한 결과에 영향을 주는 것으로 판단된다. 원문만으로 유입되는 조류는 가조도, 수도, 지도 등을 경유하여 용남면 서쪽 기슭의 원문만에 북쪽방향으로 느린 유속으로 유입되는 반면에 견내량 해협에서는 3 kt 이상의 빠른 유속으로 조류가 이동하게 된다(NFRDI, 2010). 이러한 조류 흐름은 육상오염원에서 기인한 오염물질이 해역으로 유입되었을 때, 오염물질의 이동 및 확산에 영향을 주므로 세균농도의 차이를 보이는 것으로 판단된다.

이상의 결과로 살펴볼 때, 진해만 서부 해역인 용남·광도해역은 미국의 허가해역과 우리나라 지정해역의 세균학적 수질기준에 부합하고 있으며, 일부 조사지점의 위생지표세균 농도는 강우에 상당한 영향을 받으므로, 철저한 오염원 관리가 이루어져야 할 것으로 사료된다.

사 사

본 연구는 국립수산과학원(RP-2012-FS-032)의 지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

- Anderson IC, Rhodes M and Kator H. 1979. Sublethal stress in *Escherichia coli*: a Function of salinity. *Appl Environ Microbiol* 38, 1147-1152.
- APHA. 1970. Recommended procedures for the examination of seawater and shellfish, 4th ed., American Public Health Association, Washington, D.C., USA, 1-47.
- Burton GA and Pitt RE. 2002. Stormwater Effects Handbook: A toolbox for watershed managers scientists, and engineers. CRC Press, Inc. Boca Raton, Florida., USA, 928.
- Clover DO. 1997. Virus transmission via foods. *Food Technol* 51, 71-78.
- European Communities. 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 L* 226, 25.6.04, 83-127.
- Feldhusen F. 2000. The role of seafood in bacterial foodborne disease. *Microbes Infect* 2, 1651-1660.
- Grimes DJ. 1991. Ecology of estuarine bacteria capable of causing human disease: A review. *Estuaries* 14, 345-360.
- 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.
- Ha KS, Yoo HD, Shim KB, Kim JH, Lee TS, Kim PH, Ju JY and Lee HJ. 2011. Evaluation of the influence of inland pollution sources on shellfish growing area after rainfall events in Geoje bay, Korea. *Kor J Fish Aquat Sci* 44, 612-621.
- 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 SJ. 1975. Sanitary studies of oysters and growing areas in the south coast of Korea. *Bull. Fisheries Research & Development Agency* 14, 1-79.
- 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.
- Lim YJ. 2007. Species composition and abundance of fish collected by otter trawl in the eastern Yellow sea. Ph D. University of Inha, Incheon, Korea.
- 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.
- McCambridge J and McMeekin TA. 1981. Effect of solar radiation and predacious microorganisms on survival of fecal and other bacteria. *Appl Environ Microbiol* 41, 1083-1087.
- Ministry of Food, Agriculture, Forestry and Fisheries (MIFAFF). 2012. Food Agriculture, Forestry and Fisheries Statistical Yearbook 2012. MIFAFF, Seoul, Korea, 421.
- Nunez M, Martin M, Chan P and Spain E. 2005. Predation, death and survival in a biofilm: *Bdellovibrio* investigated by atomic force microscopy. *Biointerfaces* 42, 263-271.
- NFRDI. 2010. Report of sanitary survey of Yongnam-Gwangdo area, Kyungnam Province, Korea. NFRDI, Yeamoon press, Korea, 66-68.
- Park JH. 1990. Bacteriological quality study of sea water and oyster in association with rainfall in Kamakman. M.S. Thesis, National Fisheries University of Busan, Busan, Korea.
- 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.
- Pitt R. 2000. Chapter 4. Source Characterization. In: Innovative Urban Wet-Weather Flow Management Systems. J. P. Heaney, R. Pitt and R. Field. Publication No. EPA/600/R-99/029. National Risk Management Research Laboratory, U.S. Environmental Protection Agency. Cincinnati, Ohio, USA, 443 (available at <http://www.epa.gov/ednrmrl/publish/book/epa-600-r-99-029/>)
- Potasman I, Paz A and Odeh M. 2002. Infectious outbreaks associated with bivalve shellfish consumption: A worldwide perspective. *Clin Infect Dis* 35, 921-928.
- Rees G, Pond K, Kay D, Bartram J and Santo Domingo J. 2010. Safe Management of Shellfish and Harvest Waters. World Health Organization (WHO). IWA Publishing, London, UK.
- 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.
- 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.
- Song KC, Lee DS, Shim KB, Lim CW, Mog JS, Byun HS, Park YJ and Cho KC. 2008. Evaluation of bacteriological safety for the shellfish growing waters in Taean area, Korea. *J Kor Fish Soc* 41, 155-162.
- Todd KE and Campbell AR. 2002. Growing area 1508 sanitary survey report. Marlborough Public Health Unit, Marlborough, New Zealand, 58.
- US FDA. 2008. National Shellfish Sanitation Program: Guide for the Control of Molluscan Shellfish 2007. Retrieved from <http://www.fda.gov/Food/FoodSafety/Product-SpecificInformation/Seafood/FederalStatePrograms/NationalShellfishSanitationProgram/ucm046353.htm>.
- 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.