

2019 주요사업 실적평가

연 구 사 업

2020. 1.

물환경연구부 환경생태과

하천 · 해양의 수생태 조사

홍다운*, 최미진, 박은경, 전미희, 박종수, 권문주

인천보건환경연구원 환경생태과

Ecological Assessment of Stream and Coastal Environment in Incheon

DaEun Hong*, miJin Choi, EunKyoung Park, MiHee Jeon, JongSu Park, MunJu Gwon

Environmental Ecology Division, Incheon Research Institute of Public Health and
Environment

Abstract

According to the result of investigate the water quality of five rivers in Incheon, In Gulpo, the annual average of 64% green algae was dominant, although the diatom rate was slightly higher at 54% and 41% in spring and winter.

In Jangsu stream, blue-green algae were temporarily increased by 59% due to the eutrophication and reduction of water level in July, but no toxins were detected. *Oscillatoria sp.*, which causes odors, was found in Najinpo and Jangsu stream, but 2-MIB and geosmin were detected with concentrations that could feel a weak odor.

Although the number of blue-green algae was low during study period, continuous monitoring is required due to the environments of the river, which is greatly affected by season and rainfall.

Coastal areas are excellent venues for tourism and recreational activities promoting health and therapeutic benefits for its users.

In this study, microbiological water quality analysis was conducted on beaches, a leisure activity space, as a major tourist spots in Incheon Metropolitan City.

During the operation period, *E. coli* and *Enterococcus* tests showed that although both were suitable for the standard of water quality, they exceeded the standard by about five times after rainfall. *C. perfringens* test also saw an increase in the detection ratio after rain, which is thought to be the result of rainfall runoff. No *Y. enterocolitica*, *Shigella* and *Samonella* were detected, whether or not there was rain, *C. perfringens* were detected on all beaches except for Simnipo.

Key words : Blue-green algae, microalgae, eutrophication, rainfall runoff, *E. coli*, *Enterococcus*

I. 서론

1.1 하천

하천은 육상과 수생태계가 동시에 형성되어 있어 생화학적 물질의 순환기능이 활발하고 우리나라의 경우 하천의 계절별 유속과 유량 등 변화가 심해 하천 식생군집이 다양하게 나타난다.

최근 도심에서의 하천은 이용 목적위주의 획일적인 개발에서 벗어나 인간과 자연이 공존할 수 있는 생태적 복원의 중요성이 더욱 강조되고 있다.

하천에 존재하는 다양한 생물 중 조류는 수생태계의 기초적인 생산자로서 수중 또는 물이 존재하는 환경에서 엽록체를 지니고 광합성을 하며 선대, 양치, 이끼류, 종자식물을 제외한 가장 하등한 식물군을 일컫는다. 일반적으로 조류는 남조류, 규조류, 갈조류, 녹조류 등으로 구분되며 수중에서 생산되는 유기물의 대부분이 조류에서 기인하는 것으로 알려져 있다(Graham, L. E et al., 2009;).

담수조류는 수생태계 먹이사슬에서 에너지 공급원으로 매우 중요한 역할을 담당하고 있으나 과도하게 증식할 경우 오히려 부정적인 영향을 미친다. 특히 여름철 녹조현상을 일으키는 남조류는 geosmin, 2-MIB(2-methyl isoborneol)와 같은 화합물에 의한 흙냄새, 곰팡이 냄새와 같은 악취의 원인물질을 생성한다. 또한 일부 남조류에서는 간독성을 가진 microcystin, nodularin과 신경독성을 가진 anatoxin-a 등의 독소물질을 생산하여 수생태계 및 음용수로 사용하는 가축들에게 영향을 미치는 것으로 나타났다(Pirbazari, M et al., 1993; Ho, L. et al., 2004; Harada, K et al., 1994).

최근 국내의 기후변화, 개발 등으로 인해 하천 및 호소에 부영양화 진행됨에 따라 남조류와 같은 플랑크톤의 대량 증식 현상이 나타나고 있다.

특히 여름철에 플랑크톤이 집중 번식하면서 물 표면에 scum을 형성시켜 악취로 인한 주민 불편과 미관상 불쾌감을 초래한다(Choi, A. R et al., 2002).

본 연구에서는 인천 관내 하천 중 인천시에서 지정한 3개 하천(나진포천, 장수천, 승기천)과 환경부에서 지정한 2개 하천(공촌천, 굴포천), 총 5개 지점을 선정하여 계절에 따른 녹조류, 남조류 등 조류분포조사와 조류독성 및 냄새물질을 조사하고 생태학적 관점의 하천 관리를 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

1.2 해수욕장

해수욕장은 다양한 수중 레크레이션, 수영 및 관광 등으로 활동 중 해수를 직접 접촉하거나 섭취할 가능성이 있으므로 수질이 매우 중요하다고 할 수 있다.

하지만 많은 관광객이 몰리는 여름철의 해수욕장은 주변 식당에서 발생하는 하수, 관광객에 의해 발생하는 쓰레기, 강우시 육지의 오염물질 유입, 갈매기를 포함한 조류의 분변 및 태풍에 의한 오염물질 유입 등으로 수질이 악화된다(Russell et al., 2013).

우리나라는 해수욕장을 안전하고 쾌적한 국민휴양공간으로 조성하고자 2014년에 해수욕장 이용 및 관리에 관한 주요사항을 명시한 단일법(약칭: 해수욕장법)을 제정하였다. 이 법에는 해수욕장 및 해수욕장시설에 관한 정의와 기준이 명시되어 있으며 해당 기준을 충족하는 해수욕장을 관할 지방자치단체가 지정·고시하도록 되어있다.

「해수욕장 수질기준 운용지침」에 따라 해수욕장은 매년 개정 전 및 폐장 후 1개월 이내에 1회, 개장기간 중 2주간 1회 실시해야 한다. 조사항목은 분변오염의 지표 세균인 장구균(*Enterococci*)과 대장균(*E.coli*)으로 기준은

각각 100MPN/100mL, 500MPN/100mL이다.

해수욕장의 생물학적 수질평가에 관심을 두는 이유는 장시간 노출되었을 때 영향을 받는 이화학적 요인보다 그 영향이 비교적 즉각적이고, 단시간에 장염과 같은 질병의 발생으로 이어질 수 있기 때문이다. 2007년 환경부에서 발표한 “안전한 물놀이 수질기준 및 관리방안 연구”에 따르면 장구균과 대장균은 수인성 장염발생과 연관성이 매우 높다고 보고하였다(Drew A, et al., 2003). 또한 해수욕장의 특성상 여름철 많은 사람이 몰리면서 발생하는 폐기물 및 노점상에서 발생하는 오수 및 음식물쓰레기 등으로 인해 세균과 바이러스 등의 병원성 미생물이 다수 포함되어 있을 가능성을 배제할 수 없다. 해수는 높은 염분으로 인해 병원성미생물이 증식하기엔 부적합하지만 짧은 시간 안에 모든 병원균이 소멸되는 것은 아니므로 본 연구에서는 시민의 안전한 해수욕장 이용을 위하여 해수욕장법에서 정한 장구균, 대장균 이외에 주요 병원성 미생물 4종을 추가로 검사하였다.

또한, 강우 시 지표에 있던 동물분변과 생활하수, 하수관거 누수 및 기타 세균학적

문제점이 지적되어 왔으며 국내외 관련 연구들에서도 강우 유출수와 수질변화의 상관성, 수질 변화 특성과 장염발생 가능성에 주목하고 있다(Weiwei Z, et al., 2013; Weiwei Z, et al., 2013; Rachel TN, et al., 2013; Dwight RH et al., 2013).

따라서, 본 연구에서는 강우 전·후의 미생물 변화를 조사하여 강우가 해수욕장 수질에 미치는 영향을 평가하였다.

II. 연구방법

2.1. 연구지점

2.1.1 하천

「환경부의 물환경측정망 설치·운영 계획 (개정 2019. 6. 11 고시 제2019-99호)」에 따라 인천에서는 총 10개 지점의 수질측정망이 운영 중에 있다(Table 2.1.). 본 연구에서는 환경부에서 지정한 굴포천, 공촌천과 인천시에서 지정한 나진포천, 장수천, 승기천을 대상으로 조사를 진행하였다(Fig 2.1.).

Table 2.1. 수질측정망 운영현황

구 분	하 천	도 시 관 류
환경부 지정 하천	굴포천1*	-
	내가천	장·만수천, 공촌천*
인천시 지정 하천	굴포천	심곡천, 나진포천*, 장수천*, 승기천*
연구원 지정 하천	-	공촌천3

*조사 대상지점



Fig 2.1. 연구대상 하천

(a) 굴포



(b) 승기



(c) 공촌



(d) 장수



(e) 나진포



Fig 2.2. 하천 사진

2.1.2 해수욕장

전국의 지정해수욕장은 총 267개소(2019.3 기준)이며 인천광역시에는 2019년 5월에 4개소가 추가 지정되면서 총 11개 지정해수욕장을

운영하고 있다(Table 2.2). 본 연구에서는 이용객 수가 가장 많은 3대 해수욕장(을왕리, 하나개, 십리포)과 최근 추가 지정된 수기 해수욕장 등 총 4개 지점을 선정하였다(fig 2.2).

Table 2.2. 지정해수욕장 현황

NO.	Beach	Area (m ²)	NO. of user		Designated date
			2018	2019	
1	Simnipo*	52,000	88,168	66,234	'18.6.7.
2	Seopori	267,000	4,420	3,230	
3	Ongam	100,000	2,027	2,240	
4	Janggyeongni	78,000	41,889	35,235	
5	Eurwangri*	52,650	126,515	120,151	'18.6.11.
6	Hanagae*	45,500	30,048	111,228	
7	Wangsan	27,825	65,755	64,480	
8	Sugi*	24,000	3,367	2,300	'19.5.2.
9	Ddebburi	33,000	4,600	4,250	
10	Janggol	99,000	3,235	2,750	
11	Iille	89,000	1,598	1,640	

*Study area



Fig 2.2. 연구지점

2.2. 연구방법

2.2.1. 하천

2.2.1.1. 시료채취

시료의 채취는 계절별로 5월, 7월, 9월, 11월 총 4회 채수하였다. 시료는 유량, 유속 등 수생태 환경을 대표할 수 있는 지점을 선정하였고 채수 후 냉장 보관하여 실험실로 옮겨 각 항목의 실험을 진행하였다.

2.2.1.2. 조사항목 및 방법

조사 항목은 조류분포 조사, 냄새물질, 독성물질 및 이화학분석으로 나누어 총 20항목을 분석하였다(Table 2.3).

하천 오염원 수질조사 중 현장측정항목인 수온과 수소이온농도(pH)는 다항목수질기(YSI ProDSS/USA)를 사용하였으며, 용존산소측정기(YSI 5100/USA), 총유기탄소는 TOC Analyzer (Formacs/SKALAR)를 사용하여 고온 연소산화법으로 분석하였다. 생물화학적 산소요구량(BOD)는 격막전극법을 이용하였고 부유물질은 유리섬유여지(GF/C)를 여과기에 부착하여 흡입여과한 후 105 °C 건조기에서 2시간 건조시켜 데시케이터에서 방냉하여 여과 전후의 유리섬유여지 무게의 차를 구하여 농도를 계산하였다. 영양염류는 총질소(T-N), 총인(T-P), 암모니아성질소(NH₃-N), 질산성질소(NO₃-N), 인산염인(PO₄-P)을 분석하였으며, 수질자동분석기((Skalar/SAN++))를 사용하였다.

조류는 남조류, 규조류, 녹조류와 유해 남조류로 구분하였으며, 유해 남조류는 국립환경과학원의 「조류정보제 운영 매뉴얼(2017)」에 따라

Microcystis sp., *Anabaena* sp., *Aphanizomenon* sp., *Oscillatoria* sp.로 정하였다. 기존의 조류정보 대상 수질오염물질이 클로로필-a 였으나 녹조현상의 대표성이 낮다는 이유로 삭제되었고(2016년), 남조류 세포수로 단일화되었다(Table 2.4). 따라서 본 연구에서도 유해 남조류 중심으로 분석하였다.

유해 남조류에 의해 생산되는 독소는 크게 신경독(anatoxin-a, anatonix-a(s), saxitoxin)과 간독(microcystin, nodularin, cylindrospermopsin)으로 나뉜다(Carmichael, W.,1992). 냄새 유발물질은 Geosmin과 2-MIB (2-methylisoborneol)가 주성분으로 특이한 맛이나 흙 냄새 또는 곰팡이 냄새를 유발한다. 개인차가 있으나 민감한 사람들은 4~10ng/L의 아주 낮은 농도에서도 냄새를 감지할 수 있다(Mallevialle, J. et al., 1987).

독성물질과 냄새물질은 「조류정보제 운영매뉴얼(2017)」에 따라 액체크로마토그래프-텐덤 질량분석법과 기체크로마토그래프-질량분석법을 사용하였다.

수생태계 조사에서 미세조류의 개체수와 우점종 조사를 위하여 하천 표층수 500mL를 채수하여 lugol's solution으로 2%가 되게 고정하여 실험실에서 분석하였다. 균일하게 혼합시킨 고정시료를 1mL 취해 Sedgwick-Rafter Chamber를 이용하여 광학현미경(LEICA DM3000 LED)으로 100배~200배에서 관찰하였으며, 「남한강의 식물플랑크톤 도감(국립낙동강생물자원관)」과 「전국 상수원 수계별 담수조류집(상수도연구기관협의회)」을 참고하였다.

Table 2.3. 분석항목

구 분	항 목
수생태계 조사	남조류, 규조류, 녹조류 유해남조류(<i>Microcystis sp.</i> , <i>Anabaena sp.</i> , <i>Aphanizomenon sp.</i> , <i>Oscillatoria sp.</i>)
냄새	2-MIB, geosmin
독성물질	Nodularin, anatoxin-a, microcystin-LR
이화학분석	수온, pH, DO, TOC, BOD, SS, T-N, T-P, NH ₃ -N, NO ₃ -N, PO ₄ -P

Table 2.4. 조류경보제 발령기준 항목 개정 전후 대조표

구 분		기존('15년까지 적용)	개정('16년)	
발령기준항목		남조류 세포수, 클로로필 a	남조류 세포수*	
발령단계	주의보	500세포/mL, 클로로필 a 15mg/m ³	관 심	1,000세포/mL
	경 보	5,000세포/mL, 클로로필 a 25mg/m ³	경 계	10,000세포/mL
	대발생	1,000,000세포/mL, 클로로필 a 100mg/m ³	대발생	1,000,000세포/mL

* 국내 출현 남조류의 독소함량과 독성정도를 반영하여 단계별 남조류 세포수의 발령기준 산정

2.2.2. 해수욕장

2.2.2.1. 시료채취

시료의 채취는 「해수욕장법 시행규칙」에 따라 해수욕장 개장 전, 개장 중, 폐장 후로 나누어 실시하였고 기간은 7월부터 10월까지 총 6차례에 걸쳐 실시하였다.

시료는 총 3지점에서 각 2개씩 채취하였고 위치는 백사장의 양쪽 끝과 중간지점으로 수심 1m인 지점(수표면에서 30cm)에서 무균채수용기에 채수하였다.

2.2.2.2. 조사항목 및 방법

대장균(*E. coli*)은 총대장균군에 속하면서 베타-글루쿠론산(β -glucuronidase) 분해효소의 활성을 가진 세균을 말하며 사람 및 동물의 대장에 서식하는 세균 중 하나로, 가장 먼저 발견된 장내세균이다. 분변에 의해 오염된 환경에서는 쉽게 발견할 수 있기 때문에 청결을 필요로 하는 대상의 오염의 지표로 사용된다(Boehm, A.B. et al., 2005; Santoro, A.E. et al., 2007).

장구균(*Enterococcus*)은 동물과 사람의 분변으로부터 배출되어 환경에 존재하는 비교적 독성이 약한 병원균이다. 장구균은 환경으로 배출되는 다른 분변내 세균과는 달리 염분에 내성이 강하고 건조한 모래에서도 잘 서식하는 등 화학적이나 물리적 요인에 저항성이 강하여 숙주의 장내 환경 밖에서도 오랫동안 생존할 수 있다는 특징을 갖고 있다(Mika, K.B. et al., 2009).

대장균과 장구균의 검사는 「해수욕장의 환경 관리에 관한 지침(해양수산부 고시 제2017-102호)」의 효소이용정량법으로 분석하였다.

이밖에 클로스트리디움 퍼프린젠스(*C. perfringens*), 예시니아(*Y. enterocolitica*), 이질균(*Shigella*), 살모넬라(*Salmonella*)를 먹는물 공정시험법에 따라 시험하였다.

*C. perfringens*는 토양, 하천, 하수 등 자연환경, 사람과 동물의 분변 및 식품 등에 널리 분포한다.

포자는 토양, 침전물, 사람과 동물의 분변이 오염된 곳에서 오랫동안 존재하며 영양세포가 포자를 형성하는 과정에서 독소를 생산하여 식중독을 일으키며 독소는 A, B, C, D, E형의 5 유형으로 분류된다. 또한 6%이하의 염분에서 성장이 가능하고 저온에서도 존재하여 해수에서 검출 가능성이 높다. 주로 사람의 식중독에 관여하는 것은 A형과 C형이다. C형에 의한 식중독은 보다 심각한 증상을 보이지만, 훨씬 드물게 발견된다. *C. perfringens*는 국제미생물 기준설정위원회(International Commission on Microbiological Specification for Foods, ICMSF)에서 식중독균 위해성 분류에서 가장 낮은 위해정도인 moderate로 분류하고 있다(Brunestad S et al., 2002).

Yersinia 속군 11 종 중에서 사람에게 감염증을 일으키는 것은 페스트를 일으키는 *Y. pestis*를 포함해서 *Y. pseudotuberculosis*, *Y. enterocolitica*가 있다. 특히 식중독과 가장 관련이 높은 *Y. enterocolitica*는 각종 동물, 식품, 환경 등에 널리 분포되어 있으며 급성위장염, 패혈증 등 다양한 질병을 일으키며 냉장 온도에서도 성장할 수 있는 호저온성 장내병원세균이다(Schiemann, D.A. et al., 1981).

*Shigella*는 유행성 또는 급성으로 발병하는 소화기 계통의 감염성 질환을 발생시키는 균으로 급성 감염성 질환인 Shigellosis(제1군 법정감염병)를 일으키는 이질균이다. 이질은 세균성과 아메바성 이질이 있으나 최근에는 아메바성 이질은 거의 사라져 이질이라고 하면 보통 세균성 이질을 가리킨다. 최대 NaCl 5.2%, 6~7°C의 낮은 온도에서도 성장하므로 해수에서의 성장 가능성을 배제할 수 없을 것으로 사료된다(Ghosh AR, et al., 1998).

*Salmonella*는 매우 중요한 식중독 원인균으로, 미국의 경우 매년 4백만명 이상이 *Salmonella*

식중독에 걸리는 것으로 보고되고 있고 우리나라와 일본에서도 중요한 식중독 원인균으로 알려져 있다. *Salmonella*가 존재하는 환경인자로는 물, 토양, 동물의 분변, 날고기, 가금류, 해산물 등이 있고, 분변이나 하수 속의 살모넬라는 물속에서도 수주간 생존 가능하며 토양에서도 환경이 적절한 경우 수개월간 생존하는 것으로 알려져 있다. 최적 성장온도는 35~37°C이지만 7°C의 낮은 온도에서도 성장 가능하다(Bryan F.L. et al., 1995). 이 적절한 경우 수개월간 생존하는 것으로 알려져 있다. 최적 성장온도는 35~37°C이지만 7°C의 낮은 온도에서도 성장 가능하다(Bryan F.L. et al., 1995).

III. 연구결과

3.1. 하천

3.1.1. 수온, 수소이온농도, 용존산소

수온은 모든 하천에서 하절기에 최대 33.9°C까지 증가하였고, 채수지점 수위가 가장 낮은 나진포천에서 계절별 온도차($\Delta 28.7^\circ\text{C}$)가 가장 큰 것으로 조사되었다. 또한 11월이 되면서 수온이 급격히 낮아지고 산소의 포화용해도가 증가하면서 용존산소가 증가하는 것을 볼 수 있다(Fig 3.1).

조류의 증식과 용존산소, 온도 및 pH는 매우 밀접한 관련이 있다. 수온이 오르면 조류의 광합성이 활발해져 용존산소가 증가하고, 수중 CO₂를 소비하는 과정에서 대사 생성물인 수산화이온(OH⁻)이 생성되어 pH가 상승한다(Borowitzka, M.A., 1998; Chevalier, P. et al., 2000). 유속이 낮은 편에 속하는 굴포와 장수천에서 이러한 반응이 뚜렷하게 나타나는 반면, 송기, 공촌, 나진포천의 경우 유속이 빠르고 수층의 폭기 등 환경적 영향으로 상관성이 낮게 나타났다(Table 3.2).

3.1.2. 조류 분포 조사

장수천은 유속과 수심이 모두 낮아 강우량이 적을 경우 정체수역이 발생 할 가능성이 높은 특징이 있다. 7월 미세조류의 우점률을 보면(Table 3.2) 정체수역의 부영양화시 발생하기 쉬운 남조류가 59%까지 증가한 것을 볼 수 있는데 TOC, BOD와 SS의 분석결과 다른 시기에 비하여 높게 나타난 것으로 보아 부영양화에 의한 영향으로 보인다(Table 3.3). 또한 9월과 11월 점차 수온이 낮아지면서 규조류의 우점률이 17%(7월)에서 65%(11월)까지 증가하였다.

굴포천 채수지점은 유속이 비교적 느리고 흐름에 장애물이 없으며 수심이 타 하천에 비하여 깊은 것이 특징이다. 조사기간 중 녹조류가 평균 64%로 높은 우점률을 보였는데 이는 수심이 깊어 침강성이 높은 규조류보다 녹조류가 많이 성장한 것으로 보인다.(Table 3.2) 5월 조사결과 규조류가 녹조류보다 8% 높은 우점률을 보였고, 수온이 오르는 7, 9월에 점차 감소하며, 11월 수온이 10°C 이하로 떨어지면서 규조류의 우점율이 41%까지 증가하였다. 이와 같은 결과는 녹조류보다 상대적으로 저온에서 성장률이 높은 규조류의 특성 때문으로 사료된다. 남조류는 9월에 16%를 차지하였고 이는 수량과 유속의 감소로 인해 영양물질이 증가하여 일시적으로 발생한 것으로 예측된다.

송기, 공촌, 나진포천의 조류 우점률을 살펴보면(Table 3.2) 규조류와 녹조류가 비슷한 비율을 나타내는데, 이는 유속이 빠르고 수심이 낮기 때문인 것으로 사료된다.

조류가 가장 많이 번식하는 7월을 기준으로 유량이 낮은 굴포, 장수천이 그 외 하천에 비하여 조류 개체수가 약 13배 높은 것으로 나타나, 유량의 영향이 큰 것으로 확인되었으며(Fig 3.1(f)) 조류 개체수 검사결과는 Fig 3.2와 같다.

Table 3.1. 하천 환경 조사결과

구분 월	굴포				승기				공촌				장수				나진포			
	수온 (℃)	pH	DO (mg/L)	*조류 (cells/mL)	수온 (℃)	pH	DO (mg/L)	*조류 (cells/mL)	수온 (℃)	pH	DO (mg/L)	*조류 (cells/mL)	수온 (℃)	pH	DO (mg/L)	*조류 (cells/mL)	수온 (℃)	pH	DO (mg/L)	*조류 (cells/mL)
5월	22.6	7.3	9.1	1,278	19.4	7.0	7.4	175	24.3	8.5	10.2	1,075	18.4	7.4	8.6	525	25.3	8.4	10.5	590
7월	31.6	8.5	12.6	47,000	27.3	6.6	5.9	1,250	32.8	8.5	9.6	3,750	27.5	7.6	9.2	47,546	33.9	7.7	8.6	5,550
9월	25.8	8.5	10.9	39,430	22.9	7.5	8.3	1,350	28.3	7.7	8.4	1,340	23.1	8.0	10.2	11,600	27.3	7.5	7.2	4,330
11월	8.6	7.1	10.0	2,050	8.2	7.0	9.0	500	7.7	7.8	13.0	700	3.7	7.3	13.4	6,130	5.2	7.2	14.0	900
Mean	22.2	7.9	10.7	22,440	19.5	7.0	7.5	819	23.3	8.1	10.3	1,716	18.2	7.6	10.4	16,450	22.9	7.7	10.0	2,842
Min	8.6	7.1	9.1	1,278	8.2	6.6	5.9	175	7.7	7.7	8.4	700	3.7	7.3	8.6	525	5.2	7.2	7.2	590
Max	31.6	8.5	12.6	47,000	27.3	7.5	8.3	1,350	32.8	8.5	13.0	3,750	27.5	8.5	13.4	47,546	33.9	8.4	14.0	5,550

* 조류 개체수 총계

Table 3.2. 냄새, 독성물질 및 미세조류 조사결과

		굴포				승기				공촌				장수				나진포			
		5월	7월	9월	11월	5월	7월	9월	11월	5월	7월	9월	11월	5월	7월	9월	11월	5월	7월	9월	11월
냄새 물질 (ng/L)	2-MIB	11	10	11	6	5	15	10	15	10	0	5	3	9	58	5	11	18	5	6	4
	Geosmin	19	17	13	5	17	17	19	15	14	4	7	3	8	0	2	3	36	8	9	7
독성 물질 (mg/L)	마이크로시스틴-LR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Nodularin	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Anatoxin-a	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
미세 조류 (Cells/ mL)	합계	1,278	47,000	39,430	2,050	175	1,250	1,350	500	1,075	3,750	1,340	700	525	47,546	11,600	6,130	594	5,550	4,330	900
	유해 남조류	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	*16 (0.03)	0	0	*4 (0.68)	0	0	0
	남조류	0	0	6,330 (16)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	28,000 (59)	0	0	0	0	0	0
	규조류	688 (54)	4,500 (10)	8,500 (22)	850 (41)	90 (51)	500 (40)	800 (59)	300 (60)	595 (55)	2520 (67)	400 (30)	400 (57)	245 (47)	8,000 (17)	5,700 (49)	3,980 (65)	275 (47)	2,700 (49)	2,350 (54)	300 (33)
	녹조류	590 (46)	42,500 (90)	24,600 (62)	1,200 (59)	85 (49)	750 (60)	550 (41)	200 (40)	480 (45)	1230 (33)	940 (70)	300 (43)	280 (53)	11,530 (24)	5,900 (51)	2,150 (35)	315 (52)	2,850 (51)	1,980 (46)	600 (67)

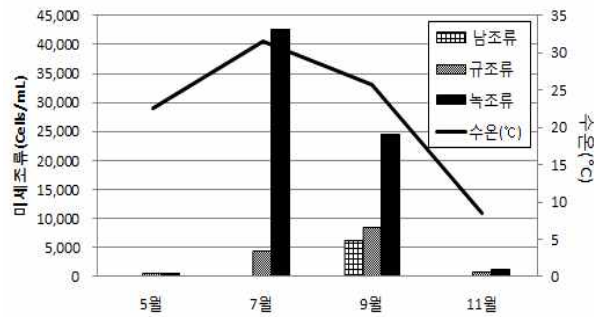
* () : 우점률(%)

**Oscillatoria* sp.

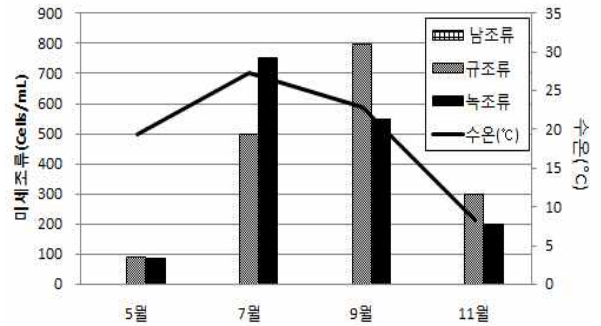
Table 3.3. 이화학분석결과

항목 \ 월	굴포				승기				공촌				장수				나진포			
	5월	7월	9월	11월	5월	7월	9월	11월	5월	7월	9월	11월	5월	7월	9월	11월	5월	7월	9월	11월
수온 (°C)	22.60	31.60	25.80	8.6	19.40	27.30	22.90	8.2	24.30	32.80	28.30	7.7	18.40	27.50	23.10	3.7	25.30	33.90	27.30	5.2
pH	7.30	8.50	8.50	7.1	7.00	6.60	7.50	7.0	8.50	8.50	7.70	7.8	7.40	7.60	8.00	7.3	8.40	7.70	7.50	7.2
DO (mg/L)	9.10	12.60	10.90	10	7.40	5.90	8.30	9	10.20	9.60	8.40	13	8.60	9.20	10.20	13.4	10.50	8.60	7.20	14
TOC (mg/L)	4.0	5.3	4.1	3.9	5.6	5.5	5.1	6.0	4.0	2.5	1.9	2.8	2.5	4.4	2.6	2.2	5.4	4.0	4.5	3.5
BOD (mg/L)	1.6	9.6	8.3	2.0	3.3	2.2	3.0	4.1	1.6	1.6	1.2	2.1	1.8	2.3	2.0	1.9	8.8	4.5	7.3	5.2
SS (mg/L)	6.7	16.8	18.4	5.3	6.5	11.5	11.5	9.6	6.7	9.2	4.7	2.9	14.5	23.0	11.2	4.2	12.3	20.4	13.2	12.0
T-N (mg/L)	7.637	4.414	5.225	11.799	5.837	2.702	2.140	8.309	7.637	7.051	6.878	8.705	2.829	2.441	2.581	2.236	8.247	3.848	4.317	4.982
T-P (mg/L)	0.157	0.453	0.181	0.120	0.335	0.193	0.229	0.255	0.157	0.130	0.067	0.398	0.089	0.071	0.053	0.033	0.479	0.212	0.220	0.306
PO4-P (mg/L)	0.098	0.190	0.023	0.047	0.261	0.146	0.143	0.119	0.098	0.046	0.050	0.289	0.022	0.003	0.004	0.010	0.262	0.092	0.062	0.136
NO3-N (mg/L)	4.052	1.098	2.453	9.132	2.014	1.345	0.948	5.268	4.052	5.451	4.608	4.523	0.848	1.609	1.696	1.634	0.205	1.385	1.631	0.679
NH3-N (mg/L)	0.090	1.714	0.505	0.510	0.245	0.320	0.196	0.529	0.090	0.189	0.431	2.745	0.043	0.022	0.000	0.052	4.222	1.507	1.186	3.375

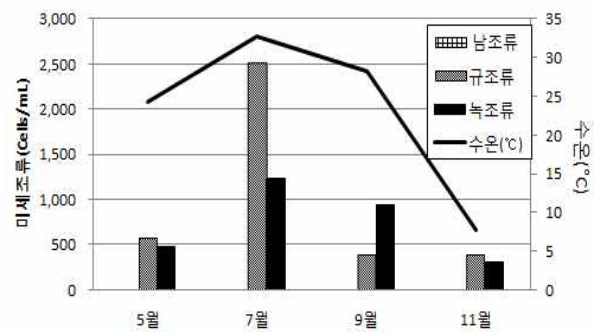
(a) 굴포천



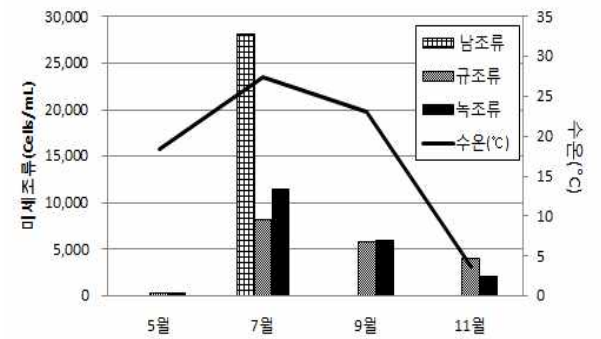
(b) 승기천



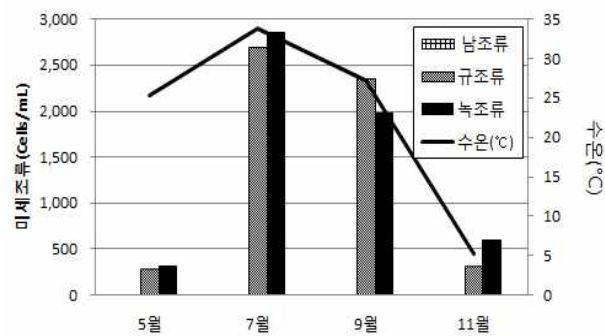
(c) 공촌천



(d) 장수천



(e) 나진포천



(f) 7월 중 조류 우점종 비교

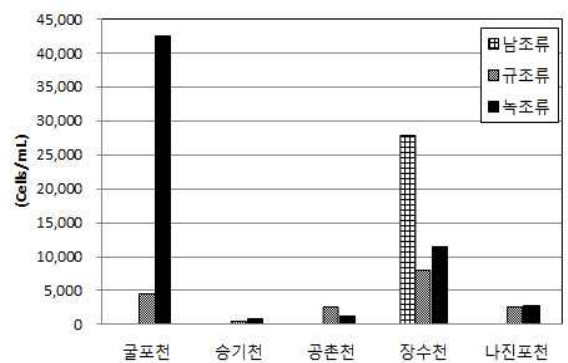
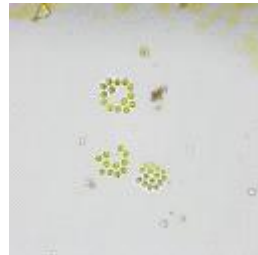
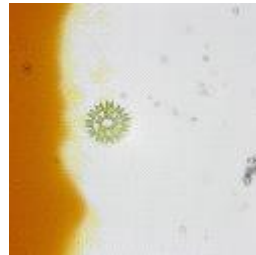


Fig 3.1. 하천별 조류분포 조사결과

(a) 녹조류



Eudorina



Pediastrum



Micractinium



Monoraphidium



Scenedesmus



Actinastrum

(b) 규조류



Aulacoseira

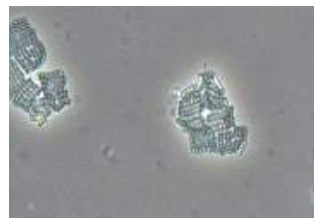


Synedra



Melosira

(c) 남조류



Merismopedia elegans A. Braun

Fig 3.2. 조류의 현미경 관찰 사진

3.1.3. 미세조류 독소 및 냄새물질 분석

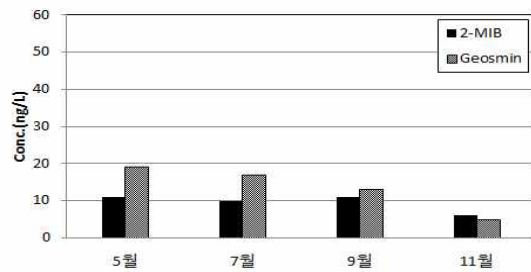
유해 남조류에 의한 독성물질은 모든 하천에서 검출되지 않았으며, 냄새물질은 남조류가 발생한 나진포(5월), 장수천(7월)에서 먹는물 수질 감시기준인 20ng/L보다 높게 측정되었다(Fig 3.3).

나진포천(5월)과 장수천(7월)에서 이취미를 유발하는 유해남조류인 *Oscillatoria sp*가 관찰되었다(Table 3.4). 조류경보 기준과 비교하면(Table 2.2) 관심단계(1,000 세포수/mL) 이하였으며, 냄새물질인 2-MIB와 지오즈민도 검출되었으나 약한 취기를 느끼는 정도였다.

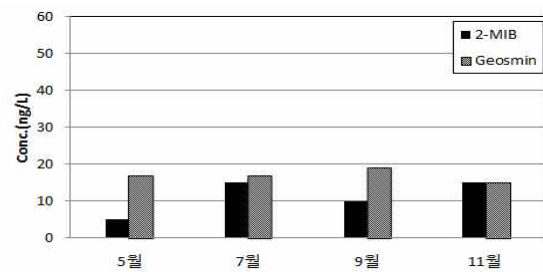
Table 3.4. 나진포천과 장수천의 유해 남조류 조사결과

구분	나진포천(5월)	장수천(7월)
<i>Oscillatoria sp</i> (Cells/mL)	4	16
2-MIB (ng/L)	18	58
지오즈민(ng/L)	36	0

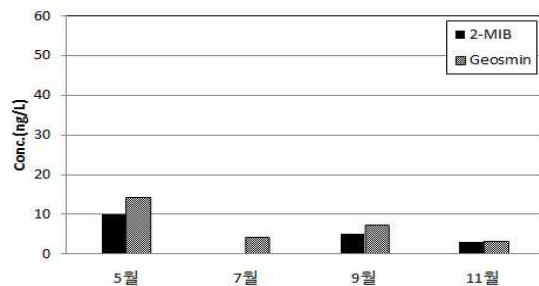
(a) 굴포



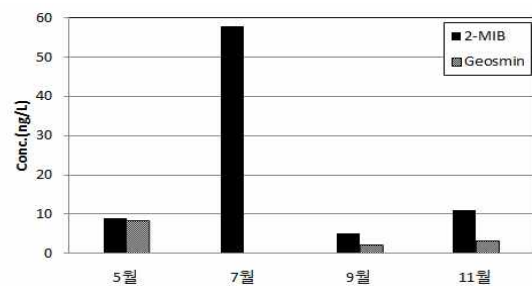
(b) 승기



(c) 공촌



(d) 장수



(e) 나진포

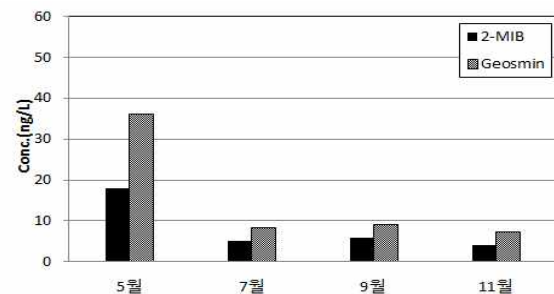


Fig 3.3. 하천별 냄새물질 분석결과

3.1. 해수욕장

3.1.1. 지표세균 및 병원성 미생물의 함량

조사지역 해수욕장의 양쪽 끝과 가운데 지점에서 채수하여 실험 후 평균한 결과를 차수별로 구분하여 Table 3.5.에 나타내었다. 시기적으로 휴가철인 2차와 3차의 검사에서

이용객수의 증가와 수온의 상승으로 인해 대장균과 장구균 모두 균수가 증가하였으나 해수욕장법에서 정한 수질 기준 (대장균 500 MPN/100mL 이하, 장구균 100MPN/100mL 이하) 이내로 적합하였다(table 3.5.(a)).

table 3.5. 장구균, 대장균 및 *C. perfringens* 검출현황

(a) *Enterococcus* and *E. coli*

(단위: MPN/100mL)

	장구균						대장균					
	개장 전	1차	2차	3차	4차	폐장 후	개장 전	1차	2차	3차	4차	폐장 후
을왕리	71	69	69	123	62	46	66	43	43	347	233	149
하나개	47	68	68	80	70	58	68	10	10	157	70	125
수기	52	61	69	72	78	61	22	160	217	180	116	72
십리포	53	39	39	81	71	31	16	107	107	75	24	21

(b) *C. perfringens*

(단위: 양성시험관수/5개)

	개장 전	1차	2차	3차	4차	폐장 후
을왕리-1	3	1	0	5	0	1
을왕리-2	1	3	0	5	0	0
을왕리-3	0	0	1	5	0	0
하나개-1	2	1	0	1	0	3
하나개-2	0	0	0	3	2	1
하나개-3	1	1	0	1	1	3
수기-1	1	3	1	2	0	0
수기-2	4	3	1	1	0	0
수기-3	2	3	1	3	0	0
십리포-1	0	0	0	0	0	0
십리포-2	0	0	0	0	0	0
십리포-3	0	0	0	0	0	0

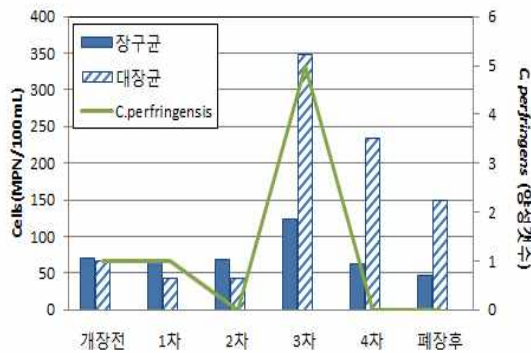
해수욕장별로 대장균수가 가장 많이 검출된 시기에 (2차 또는 3차) 을왕리해수욕장에서 대장균수가 가장 높게 검출되었다. 가장 적게 검출된 수기해수욕장과 비교하면 약 3.5배 높게 검출되었는데 이는 을왕리해수욕장의 이용객수가 가장 많은 점과 해수의 원활한 흐름을 방해하는 지형적 영향으로 사료된다 (fig 3.4.).

Y. enterocolitica, *Shigella*, *Salmonella*는 해수욕장 운영기간 내에 검출되지 않았으며

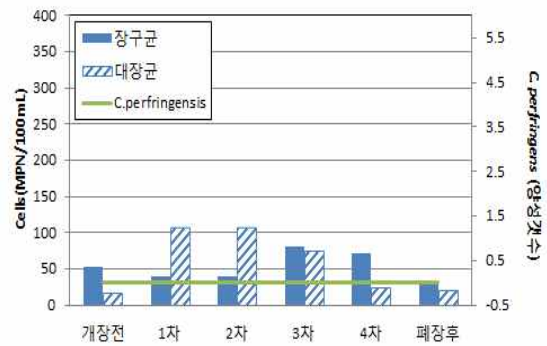
*C. perfringens*는 십리포해수욕장을 제외한 모든 해수욕장에서 검출되었다.

*C. perfringens*의 경우 먹는물공정시험법에 따라 시험하되 결과는 5개 시험관 중 검출된 시험관 개수로 표시하였다(Table 3.5.(b)). 환경 중에 널리 존재하는 *C. perfringens*의 특성과 *Enterococcus*과 *E. coli*의 결과(Fig 3.4.)를 종합해 보았을 때 십리포해수욕장의 수질이 가장 양호한 것으로 나타났다.

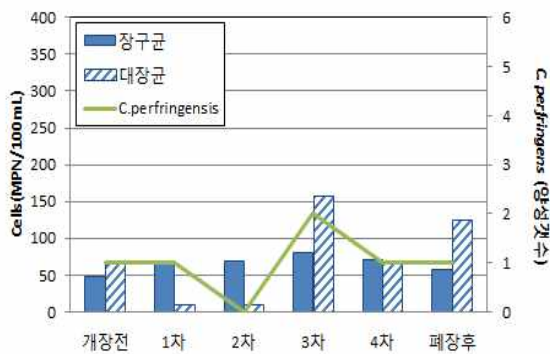
(a) Eurwangri



(b) Simnipo



(c) Hanagae



(d) Sugi

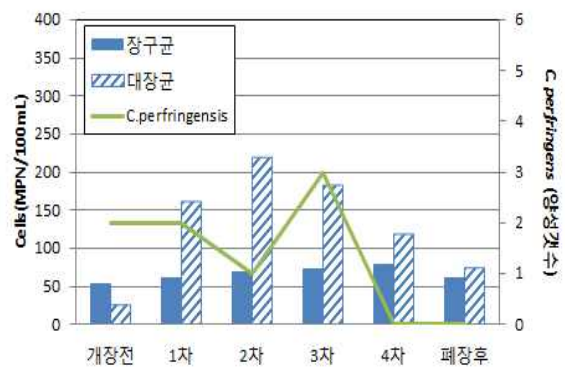
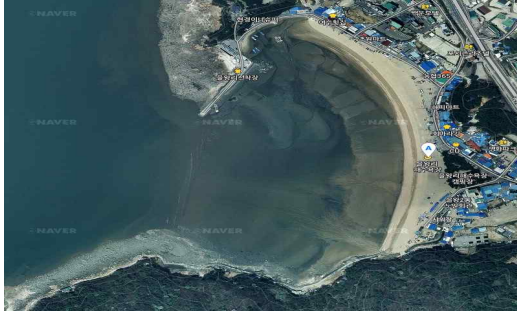


Fig 3.4. 시기 별 장구균, 대장균 및 *C. perfringens*의 검출 현황 비교

(a) Eurwangri



(b) Sugi



(c) Simnipo



(d) Hanagae

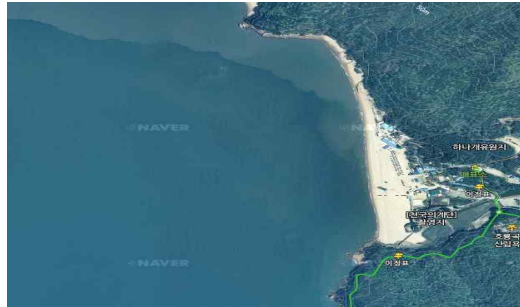


Fig 3.5. 해수욕장 위성사진

3.1.2. 강우의 영향

운영 기간 중 강우 후에 수질을 조사한 결과 *E. coli*는 강우 전 대비 2~7배 증가하였으며(Fig 3.7(b)) 을왕리는 3개 지점 중 3개, 하나개해수욕장은 3개 지점 중 2개 지점에서 500MPN/100mL 이상으로 기준초과 하였다. *Enterococcus*는 강우 후 4~7배까지 증가하였으며(Fig 3.6) 모든 해수욕장에서 100MPN/100mL 이상으로 기준 초과

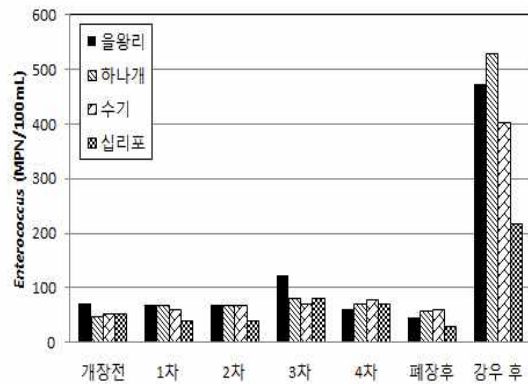
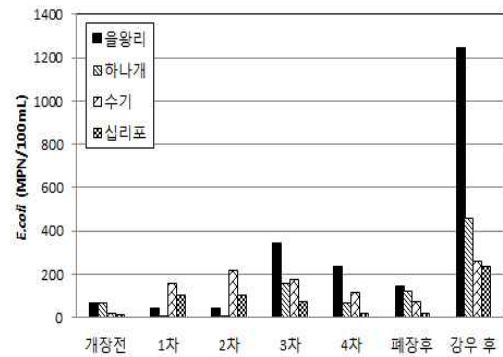
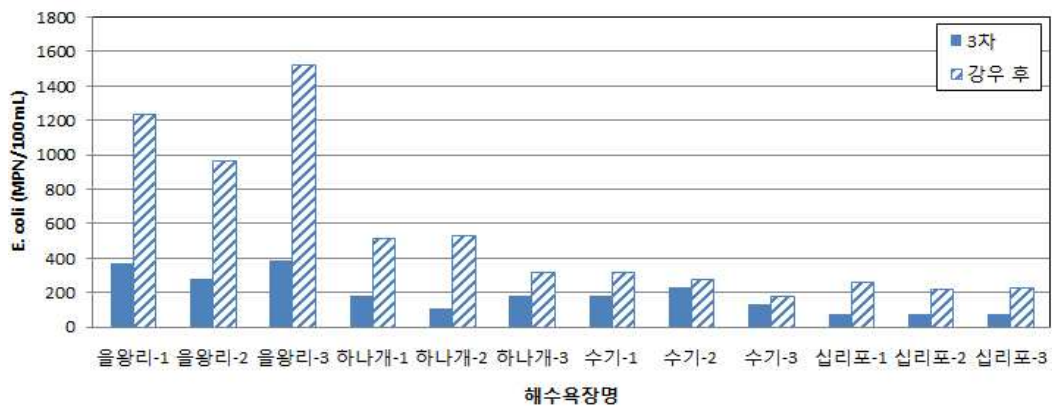
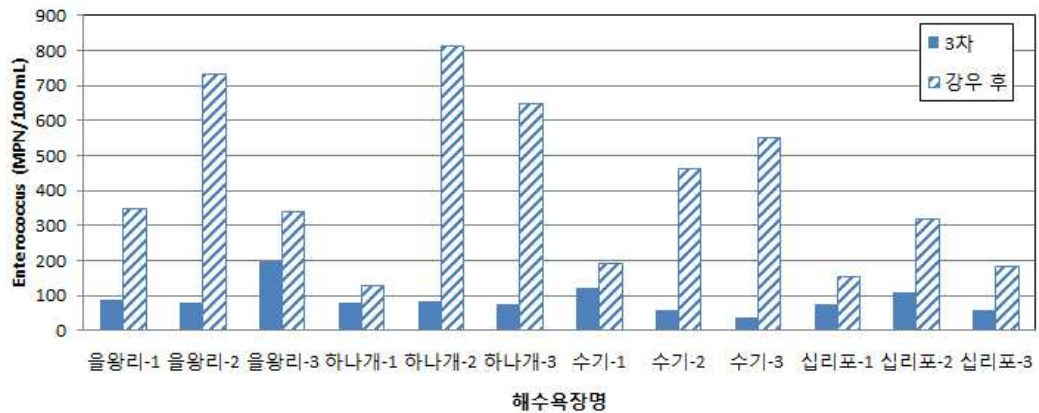
하였다. (Fig 3.7).

*C. perfringens*의 경우 십리포를 제외한 해수욕장에서 개장 중 양성시험관수가 평균 2개였으나 강우 후 5개 모두 검출되어 오염도가 증가한 것을 알 수 있다(Table 3.6). 이는 강우에 의해 지표에 있던 동물 분변과 생활하수 등 오염물질이 바다로 유입되어 순간적으로 수질 악화되고 미생물 증식속도도 함께 증가하는 것으로 사료된다 (Byeon, Seong Joon. et al., 2011).

Table 3.6. 강우 후 *C. perfringens*의 변화

(단위: 양성시험관수/5개)

	개장전	1차	2차	3차	4차	폐장후	강우 후
을왕리	1	1	0	5	0	0	5
하나개	1	1	0	2	1	2	5
수기	2	3	1	2	0	0	5
십리포	0	0	0	0	0	0	0

(a) *Enterococcus*(b) *E. coli*Fig 3.6. 강우 후 시기 별 *Enterococcus*와 *E. Coli*의 검출 결과Fig 3.7. 해수욕장에 따른 강우 후 *E. coli*, *Enterococcus* 검출결과

IV. 결론

4.1 하천

계절별로 관내 하천 5개소의 수질 및 조류 분포를 조사한 결과, 수온이 가장 높은 여름에 조류의 개체수가 급증하였으며, 용존산소 농도 및 수소이온농도(pH)도 함께 증가하였다.

굴포천은 수온이 낮은 봄, 겨울에는 규조류 54%, 41%로 다소 높은 우점률을 보였으나 전체 평균에서는 64%로 녹조류의 우점률이 높은 것으로 나타났는데, 이는 하천 유속이 느리고 수심이 깊어 침강성이 큰 규조류보다 녹조류가 표층에 주로 서식하기 때문으로 예측된다.

장수천의 7월 조류 우점률을 보면 남조류가 59%까지 증가하였는데 이는 하천의 유속과 유량 감소로 총유기탄소(TOC), 생물화학적 산소요구량(BOD) 농도가 높아지면서 나타난 일시적인 영향으로 예측된다(Paerl, H. W. et al., 2009).

승기, 공촌, 나진포천에서는 유속이 빠르고 수심이 낮은 환경적 영향으로 규조류와 녹조류가 비슷한 비율로 조사되었고 총 조류 개체수는 굴포, 장수천에 비해 약 13배 낮은 결과로 보여 유속과 유량의 영향이 큰 것으로 확인되었다.

유해 남조류에 의한 독성 물질은 검출되지 않았으며, 나진포(5월)와 장수천(7월)에서 이취미 물질을 발생시키는 남조류인 *Oscillatoria sp.*가 관찰되었으나 약한 취기를 느끼는 정도의 2-MIB(18~58 ng/L)와 지오즈민(36 ng/L)이 검출되었다.

현재 조류정보제의 기준 항목이 유해 남조류 세포수로 단일화되어 그외 조류의 중요성은 상대적으로 낮아졌지만 녹조류 및 규조류가

급성장할 경우 하천 수질 악화 가능성도 높아지므로 조류별 개체수 조사는 필요하다. 또한 조사기간 내에 유해 남조류의 발생은 적었으나 계절, 강우 등 기후 영향을 크게 받는 하천의 특성상 지속적인 모니터링이 필요한 것으로 판단된다.

4.1 해수욕장

인천광역시 주요 관광지면서 레저 활동공간인 해수욕장을 대상으로 병원성 미생물 중심의 수질조사를 실시하였다.

개장 전, 중, 폐장 후 대장균과 장구균 검사결과 휴가철 시기에 이용객의 증가와 수온상승으로 해수욕장 운영 중 2, 3차에서 증가하였다. 강우 여부와 관계없이 모든 해수욕장에서 감염형 미생물인 *Y. enterocolitica*, 이질균(*Shigella*), 살모넬라(*Salmonella*)는 검출되지 않았으며, 독소형 미생물인 *C. perfringens*는 십리포를 제외한 3개 해수욕장에서 검출되었으며 해수욕장 운영 중 2, 3차에서 검출 비율이 증가하였다.

운영 기간 중 대장균과 장구균 검사결과 수질 기준에는 모두 적합하였으나 강우 후 균수가 약 5배 가량 증가하여 기준 초과한 것으로 나타났다. *C. perfringens* 또한 강우 후 검출비율이 증가하였는데 이는 강우에 의해 지표에 있던 동물 분변과 생활하수 등 오염물질이 바다로 유입되어 순간적으로 수질 악화가 발생하는 것으로 사료된다.

해수욕장은 미생물이 증식하기 쉬운 하절기에 이용객이 집중되므로 안전한 물놀이 환경을 위해 철저한 수질관리가 요구된다. 특히 강우 직후 급격히 수질이 악화되므로 시민의 해수욕장

이용 제한권고 등의 조치가 필요할 것으로 사료된다. 또한, 추가 연구를 통해 미생물 증감 요인을 정확히 파악하고, 해수욕장의 안정적 수질 관리를 위해 하수 관거의 정비 등 오염 부하량을 줄이기 위한 대책 마련이 시급한 것으로 사료된다.

V. 참고문헌

1. Graham, L. E., J. M. Graham and L. W. Wilcox. (2009). *Algae* (2nded.), London, UK, Pearson Education.
2. Pirbazari, M., V. Ravindran, B. N. Badriyha, S. Craig and M. J. McGuire. (1993). "GAC adsorber design protocol for the removal of off-flavors", *Water Research*, 27(7), pp. 1153~1166.
3. Ho, L., J. Crou and G. Newcombe. (2004). "The effect of water quality and NOM character on the ozonation of MIB and geosmin", *Water Science and Technology*, 49(9), pp. 249~255.
4. Harada, K., Ohtani, I., Iwamoto, K., Suzuki, M., Watanabe, M. F., Watanabe, M. and Terao, K., "Isolation of cylindrospermopsin from a cyanobacterium *Umezakia natans* and its screening method," *Toxicon*, 32(1), 73~84(1994)
5. Choi, A. R., Oh, H.-M. and Lee, J. A., "Ecological Study on the Toxic Microcystis in downstream of the Nakdong River," *Algae*, 17(3), 171~185(2002)
6. Russell, T.L., Sassoubre, L.M., Wang, D., Masuda, S., Chen, H., Soetjijto, C., Hassaballah, A., and Boehm, A.B. 2013. A coupled modeling and molecular biology approach to microbial source tracking at Cowell Beach, Santa Cruz, CA, United States. *Environ. Sci. Technol.* 47, 10231 - 10239.
7. Drew A, Stephen BW. Relationship between rainfall and beach bacterial concentrations on Santa Monica Bay beaches. *J Water Health* 2003;1:85-9.
8. Weiwei Z, Juying W, Jingfeng F, Dalu G, Hongyan J. Effects of rainfall on microbial water quality on Qingdao No. 1 Bathing Beach, China. *Marine Pollution Bulletin* 2013;66:185-90.
9. Rachel TN, Stephen BW, Molly KL, Charles DM, John HD, Patricia Vainik, *et al.* Storm effects on regional beach water quality along the southern California shoreline. *Journal of Water and Health* 1(1):23-31
10. Dwight RH, Semenza JC, Baker DB, Olson BH. Association of urban runoff with coastal water quality in Orange county, California. *Water Environ Research* 2002;74:83-90. *Water Health* 2013;1:23-31.
11. Carmichael, W., "Cyanobacteria secondary metabolites-the cyanotoxins," *J. Appl. Microbiol.*, 72(6), 445~459(1992)
12. Mallevialle, J. and Suffet, I. H. "Identification and Treatment of Tastes and Odors in Drinking Water," AWWA Research Foundation, p. 347(1987)
13. Boehm, A.B. and Weisberg, S.B. 2005. Tidal forcing of enterococci at marine recreational beaches at fortnightly and semidiurnal frequencies. *Environ. Sci. Technol.* 39, 5575 - 5583.
14. Santoro, A.E. and Boehm, A.B. 2007.

- Frequent occurrence of the human-specific *Bacteroides* fecal marker at an open coast marine beach: relationship to waves, tides, and traditional indicators. *Environ. Microbiol.* 9, 2038 - 2049.
15. Mika, K.B., Imamura, G., Chang, C., Conway, V., Fernandez, G., Griffith, J.F., Kampalath, R.A., Lee, C.M., Lin, C.C., Moreno, R., and *et al.* 2009. Pilot- and bench-scale testing of faecal indicator bacteria survival in marine beach sand near point sources. *J. Appl. Microbiol.* 107, 72 - 84.
 16. Brunestad S, Granum P. E. *Clostridium perfringens* and food borne infections. *Int. J. Food Microbiol.* 2002, 74:195-202.
 17. Schiemann, D.A., Fleming, C.A. 1981. *Yersinia enterocolitica* isolated from throat of swine in eastern and western Canada. *Canadian Journal of Microbiology.* 27, 1326-1333
 18. Ghosh AR, Sehgal SC. Shigella infections among children in Andaman: an archipelago of tropical islands in Bay of Bengal. *Epidemiol Infect* 1998;121:43-8.
 19. Bryan F.L. et al. 1995. Health risks and consequences of *Salmonella* and *Campylobacter jejuni* in raw poultry. *Journal of Food Protection*, 58: 326-344.
 20. Borowi tzka, M.A. (1998) Wastewater treatment with algae. pp.203-206, Springer Verlag. Berlin.
 21. Cheval ier, P., Proulx, D., Lessard, P., Vincent, W.F., de la Noüe, J., (2000) Nitrogen and phosphorus removal by high latitude mat-forming cyanobacteria for potential use in tertiary wastewater treatment, *J Appl Phycol*, 12, pp.105-112.
 22. 정승원 등, 2011, Effects of temperature and nutrient depletion and reintroduction on growth of *Stephanodiscus hantzchii*(Bacillariophyceae): implications for the blooming mechanism, *Journal of Freshwater Ecology*, 26(1):115-121
 23. Paerl, H. W and J. Huisman. (2009). "Climate change, a catalyst for global expansion of harmful cyanobacteria blooms", *Environmental Microbiology Reports*, 1(1), pp. 27~37.
 24. Byeon, Seong Joon., Choi, Gye Woon., Jo, Hyoung Geun., 2011. A study on Discharged Coliform into Coastal Bating Water after Rainfall Event. *Journal of Disaster Management.* 5, 337-343.