

## 부산연안 주요 기수역 수질 특성 연구

박정옥<sup>†</sup> · 임효상 · 이유정 · 조정구  
물환경생태과

### A Study on Characterization of Brakish Water Zone at Busan Coast

Park Jeong-ok<sup>†</sup>, Lim Hyo-sang, Lee You-jung and Cho Jeong-goo

Water Environment and Ecology Division

#### Abstracts

In this study, the water quality in Dong stream, Daeyoen stream and the downstream of Chun stream was surveyed as low-oxygen concentration condition in which DO concentration was investigated to 0 - 3.7 mg/L of Dong stream, 0 - 3.0 mg/L of Daeyoen stream and 0 - 4.5 mg/L of the downstream of Chun stream, respectively. Grit component of the stream sediments was highly contained in the Dong stream and Daeyoen stream and silt component was highly investigated in the Chun stream. Also, ignition loss, COD and total sulfur volume of Chun stream were much higher than those of the other sites. In the experiment of sulfate reducing bacteria(SRB), SRB count was detected higher in surface layer with high organic compounds concentration than in lower layer with high sulfate concentration. The results of marine bacteria count were sequenced with Daeyoen stream > Dong stream > Chun stream and *Sphingomon paucimobilis* dominated in all study sites from bacteria identification experiment.

**Key words** : Brakish water, Sulfate reducing bacteria, SRB, Odor

## 서론

부산은 우리나라의 대표적인 해양 도시이고 크고 작은 해수욕장이 7개가 있으며, 해안선 총길이는 306.2 km에 이른다. 또한, 해마다 부산을 찾는 관광객들은 늘고 있는 추세이며 부산시에서도 이러한 지리적 이점을 활용한 MICE산업(Meeting, Incentive Tour, Convention, Exhibition), 항만 크루저 사업 등을 관광 주력상품으로 개발하고 있다. 우리의 생활과 밀접한 어업, 레저관광, 해수욕장 등

이 대부분 연안에서 이루어지는 활동으로, 쾌적하고 깨끗한 연안환경 조성을 위해 2009년 국토해양부에서는 「부산연안 특별관리해역 관리기본계획」을 수립하여 2011년 5월부터 2012년 11월까지 18개월간 「부산연안오염총량관리제 도입 타당성조사」를 실시하였으며, 2년간의 모니터링을 통해 2015년부터 연안오염총량관리제도를 본격적으로 시행할 계획이다.

이러한 연안에서 발생하는 오염원의 80 %가 육상에서 기인하며<sup>1)</sup>, 오염의 주범은 생활하수, 오염

<sup>†</sup> Corresponding author. E-mail : pjok@korea.kr  
Tel : +82-51-309-2915, Fax : 82-51-309-2969

된 하천수의 유입, 비점오염원, 최근에는 방사능물질 등이 있다. 특히 하천수에서 유입되는 각종 유기물질들은 수질혼탁을 일으켜 도시미관을 저해하고, 조수 간만의 차가 발생하는 하구에서는 정체수역이 발생하여 각종 유기물질 등이 바닥에 퇴적되고 하천 바닥은 혐기성 상태가 되어 혐기성세균에 의한 분해로  $\text{CH}_4$  또는  $\text{H}_2\text{S}$  등의 가스를 발생시킨다.

특히  $\text{H}_2\text{S}$ 는 불쾌한 악취를 유발하여 도시 이미지를 나쁘게 할 뿐 아니라 수중에서는 독성물질로 작용하여 어류나 수생생물이 폐사하는 원인이 되기도 한다<sup>2)</sup>. 일반적으로 담수에서는 황산이온의 농도가 낮아  $\text{H}_2\text{S}$ 의 발생이 적지만 해수 중에는 황산이온을 비롯하여 황화물의 농도가 높다<sup>3)</sup>. 이러한  $\text{H}_2\text{S}$ 는 혐기성 상태에서 황산화원균의 미생물 분해에 의해 발생하는데, 대표적 혐기성 세균인  $\text{CH}_4$  생성균은 황산염 농도가 낮은 담수의 혐기성 구역에서는 생육이 가능하지만, 황산염 농도가 높은 혐기 생태계에서는 황산화원균이 생육한다고 보고되어 있다<sup>4)</sup>.

황산화원균은 주로 연안해양, 개펄, 호소의 혐기적인 퇴적물이나 논토양에 넓게 분포하고, 유기물의 분해에 크게 기여하고 있다고 알려져 있으며<sup>5)</sup>, 분자상태의 산소가 없는 상태에서 결합상태의 산소를 이용하여 유기물을 산화하고 유기물 분해시 발생한 수소이온이 황산이온 분해시 발생한 황이온과 결합하여  $\text{H}_2\text{S}$ 가 생성된다. 하천 퇴적물 내 황은 공극수 중의 황산염, 황산수소, 황화물, 황산염 광물 및 유기황화물 등 아주 다양한 형태로 존재한다. 유기물로 인한 오염이 심해지면 퇴적물 내 황 화합물량이 증가하게 된다<sup>6)</sup>.

따라서 본 연구에서는 하천 환경에 대한 관심이 많으며 외부 관광객들의 방문이 잦고, 연안오염총량관리제도 실시가 예정되어 있는 주요 연안의 기

수역 하류에 대한 수질의 특성을 조사하였다. 또한 하천 퇴적물의 특징과 악취발생 원인물질인 황화합물 및 황산화원균의 분포 특성을 조사하여 상습적으로 발생하는 강하구 악취의 해결방안을 제시하여 쾌적한 연안 환경 조성에 도움이 되고자 한다.

## 재료 및 방법

### 연구기간 및 조사지점

본 연구는 수온이 높은 6월 - 10월 중 총 4회에 걸쳐, 외국인들과 관광객의 출입이 잦은 해운대와 광안리해수욕장 인근으로 유입되는 춘천, 대연천과 부산항으로 유입되는 동천 하류를 대상으로 하였으며 조사지점은 Fig. 1과 같다.

### 시료채취

동천, 대연천, 춘천 하구 각 지점에서 표층과 저층의 수질 비교를 위해 표층과 저층에서 각각 채수하여 수질 분석을 실시하였으며, 시료채수기는 수심별로 채수가 가능한 니스킨 채수기를 사용하였고, 또한 저층에서 혐기성분해로 인해 발생하는 악취요인을 알아보기 위하여 퇴적토를 Ponar Grip 채취기로 채취하였다(Fig. 2).

### 수질 이화학적 분석

각 조사지점에 대한 분석항목은 현장에서는 수심, 수온, DO, pH, 염분, 전기전도도, 탁도를 측정하였으며, 유기물질의 오염정도를 알아보기 위해서 COD를 해양오염공정시험기준에 의해 실험하였다. 또한 하구 악취발생 원인물질 조사를 위해  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ 를 실험하였는데, 생활하수에서 발생하는 악취는 연속 측정이 가능한 점, 수중 악취물질의 측정이 가능한 점 등을 고려하여 악취 측정시에는  $\text{H}_2\text{S}$ 를 측정하도록 제시하는 연구 결과<sup>4)</sup>에 따라 수중의  $\text{H}_2\text{S}$  농도를 분석하였다.  $\text{H}_2\text{S}$  분석시료는 휘



Dong Stream



Daeyeon Stream



Chun Stream

Fig. 1. Sampling sites of study in Busan.

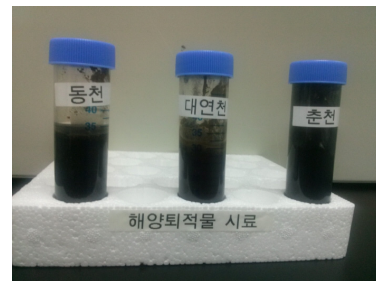


Fig. 2. Niskin Water Sampler and Ponar Grip Submarine Sediment Sampler, and sediments.

발을 막기 위하여 현장에서 1 mL 초산아연을 시료에 첨가하여 실험실로 이송하였으며, 무산소증류수를 사용하여 모든 표준물질과 시약을 조제하여 해양오염공정기준과  $SO_4^{2-}$ 는 이온크로마토그래프법을 이용하여 각각 실험하였다.

**퇴적토 이화학적 분석**

세 개의 하천에서 각각 채취한 퇴적토의 유기물 함량을 알아보기 위하여 강열감량, COD, 총황함량

을 분석하였으며 상관관계도 알아보았다. 총 황은 모든 형태의 황 화합물을 강산을 이용해 황산염으로 산화시킨 후 황산염에 포함된 황량을 측정하였다. 이러한 퇴적토의 분석방법은 해양환경공정시험기준을 따랐으며, 함수율을 구하여 건조시료에 대한 농도로 산정하였다.

수중에 퇴적물 내에서의 황은 공극수 중의 황산염, 황산수소, 황화물, 황산염 광물 및 유기황화물 등 아주 다양한 형태로 존재한다<sup>5)</sup>. 황 화합물량을

선택적으로 측정하는 것은 현실적으로 어렵기 때문에 총 황량으로 황 화합물을 간접 측정하는 방법을 이용하였다.

**황산화원균 실험**

하구 해역에서 발생하는 악취 발생의 주 원인인 H<sub>2</sub>S를 최종산물로 발생시키는 황산화원균의 분포를 알아보기 위하여 표층과 저층 그리고 퇴적토에 대해서 각각 실험을 행하였다. 황산화원균수를 알아보기 위해 DRCM 배지를 사용하여 MPN법으로 추정하였는데 이 시험법은 이중접시법 등 다른 분석법에 비해 값이 일치하거나 높은 값을 보이는 것으로 알려져 있다<sup>9)</sup>.

수질은 시료 채수 후 산소가 접촉되지 않도록 밀봉 후 6시간 이내에 실험하였으며, 해저퇴적물 시료를 1 g을 채취하여 질소가스로 치환한 무산소 멸균수 100 mL를 5분간 교반시킨 후 현탁액을 시료로 사용하였다. 시험관에 단계별로 시료를 희석해 넣고 멸균한 액체과라핀을 최종적으로 주입하여 무산소 상태로 만든 다음 35 ± 0.5 °C로 48시간 배양하여 검게 변한 배양관을 양성으로 판별하고 MPN 코드표로부터 최적확치를 산정하고 황산화원균수로 계수하였다.

**해양성세균 실험**

퇴적토에서 호기성 또는 통성혐기성 세균의 분포 특성을 알아보기 위하여 생균수는 멸균해수를 사용하여 십진법으로 6 - 9회차 희석하여 Marine Agar 2216(MA; Difco USA)배지에 200 uL 씩 접종하여 20 °C에서 1주일에서 2주정도 배양하여 나타난 colony를 CFU(colony forming unit)로 계산하였다.

세균 분리 및 동정은 Marine Agar 2216에 배양된 colony를 형태학적으로 유사한 균을 각각 10개 정도 선별하여 순수 배양한 후 VITEK 2 Compact (Biomérieux)를 이용하여 균 동정을 수행하였다. 황산화원균 실험에서 DRCM 배지에서 배양한 수질 및 퇴적토 시료와 시료와 Marine Agar 2216 배지에서 배양된 후의 모습을 Fig. 3에 각각 나타내었다.

**결과 및 고찰**

**각 하천 현황 조사**

동천은 부산광역시 고시 제1966-26호와 제1996-266호에 의해 지방하천으로 분류되었으며, 백양산 상류 발원지인 선암사 계곡과 백양터널 계곡으로부터 도심을 관통하여 유하하면서 가야천, 부전천, 전

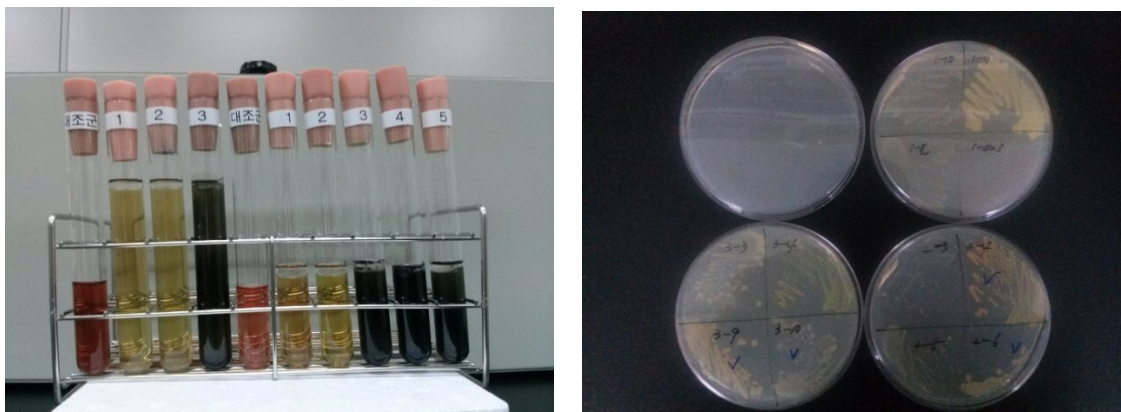


Fig. 3. Sulfate reducing bacteria test and distribution of bacteria.

포천, 호계천 등이 합류하여 바다로 유입되고 있으며, 하천연장은 4.85 km이며 이 중 2.8 km는 복개되어 있다.

상류인 백양터널 계곡은 수량이 풍부하고 수질이 양호하지만 중·하류로 갈수록 복개되어 있으며 일부 복개되어 있지 않은 구간에서는 하수관로 역할을 하여 수질오염이 심하고 악취가 발생하고 있다. 특히 하류구간은 기수역으로서 정체된 수역이 형성되어 오염물질이 퇴적되고 악취가 발생하여 2005년부터 부산시에서 하수도 정비 기본계획법에 따라 생활하수를 남부하수처리장에서 처리하기 위한 하수관거 정비사업이 진행 중에 있다. 또한 2004년도 동천환경개선을 위한 기본계획을 수립하여 가동보를 설치하고 하천수 정화를 위한 수질정화장치를 설치 가동하고 있으며, 2010년도에는 동천의 유지용수 확보를 위해 동천하류 북항에서 하루 약 50,000톤 가량의 해수를 도수하여 방류하고 있다<sup>7)</sup>.

대연천은 2009년 1월 대연소하천정비 종합계획에 의거 2009년 2월에 대연소하천으로 지정되었으며, 하천연장이 749 m, 유로연장은 3.25 km이며, 유역면적은 3.15 km<sup>2</sup>이다. 대연3동 UN조각공원 주변인 상류는 복개되어 있고, 대연고등학교 뒤편을 지나는 중류는 하수 차집으로 건천화되어 있다. 하류부분은 해수가 유입되는 기수역으로 탁도 발생 및 수질이 악화되어 있으며 1962년 매립공사 이후 육상에서 유입된 생활하수와 퇴적물들로 해저에 퇴적물이 쌓이는 지형 탓에 인근 주민들의 악취에 의한 민원이 끊이지 않는 지점이었다. 그러나 2010년 11월부터 국토해양부에서 인근 용호천 수역을 포함한 용호만 일대를 준설하는 대대적으로 정화사업을 실시하여 하천수질이 크게 개선되고 악취도 상당 수준 저감되었다.

춘천은 부산광역시 고시 제1966-26호와 제1996-266호에 의해 지방하천으로 분류되었으며, 장산과

구곡산에서 발원하여 남동방향으로 해운대신도시를 관통하여 흐르다가 좌동교 부근에서 유로를 남서 방향으로 전환하여 유하한 후 해운대구 우동 동백섬 입구에서 바다로 유입되며 하천연장은 6.3 km, 유역면적은 16.37 km<sup>2</sup>이다.

수량이 풍부하고 하천주변 정화사업을 실시한 상류와 분류식 하수관이 설치된 중류는 수질이 깨끗하지만 신도시 제외구간부터는 유입되는 하수로 수질이 급격히 악화된다. 하류는 동백섬 서쪽 바다로 유입되지만 바닷물에 의한 희석작용으로 수질은 양호한 편이지만 하류에서 인근하수처리장에서 배출되는 방류수와 합류되고 유지용수가 많아 연안으로 유입되는 오염부하량은 크다고 할 수 있다<sup>7)</sup>. 조사대상 하천에 대한 특성은 Table 1에 나타내었다.

#### 조사지점의 수질 변화

1998년부터 15년간 동천과 춘천의 수질 변화를 Fig. 4에 나타내었는데 염분의 농도가 높은 점을 감안하여 COD와 DO의 기준으로 살펴보았다.

동천에서 COD의 경우, 1998년에는 약 15 mg/L에서 2008년에는 5 mg/L의 부근으로 까지 수질이 개선되었으며, DO는 1 mg/L 부근에서 최고 5 mg/L 까지 상승하여 상당한 수질개선 효과를 나타내었다. 2005년부터 진행되고 있는 하수관거 정비사업과 동천환경개선사업에 따라 수질이 크게 개선되었으며 2008년 이후부터는 차츰 수질이 안정화되고 있어 분류식 하수관거가 완공이 되면 더 개선될 것으로 기대한다.

춘천은 1998년 이후 하수관거공사 등으로 인해 COD 14 mg/L 부근에서 10 mg/L 부근으로 수질이 좋아졌으며 DO 또한 3 mg/L 부근에서 6 mg/L 부근으로 상승하여 수질이 점차 개선되고 있는 것으로 나타났다.

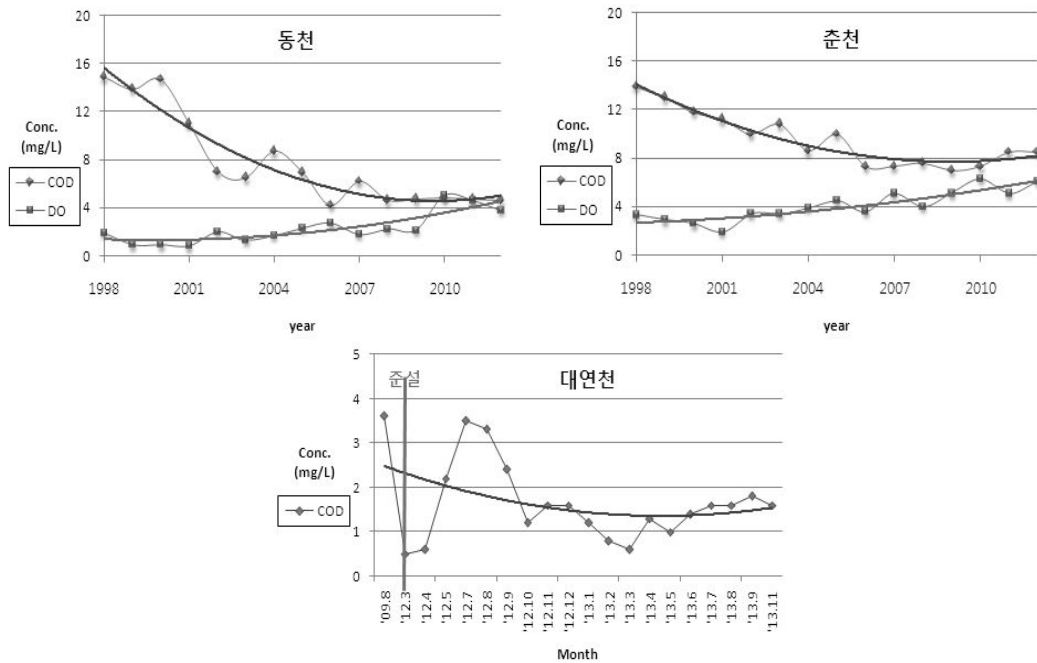
대연천의 인근 하수는 대부분 하수처리장으로

**Table 1.** Characteristics of Stream in Busan

	분류	유로연장 (km)	하천연장 (km)	유역면적 (km <sup>2</sup> )	복개연장 (km)	구간
동천	'66.6.11(제26호) '96.8.13(제266호)	30.6	4.85	31.08	2.80	백양산 선암사계곡 - 서면 - 범일동
대연천	소하천	3.25	610m	3.15	-	UN조각공원 -대연고등학교 - 용호동
춘천	'66.6.11(제26호) '89.8.31(제361호)	6.3	6.30	16.37	2.75	장산 - 해운대신도시 - 동백성입구

	하천정화사업	사업기간	소요비용(백만원)	사업내용
동천	동천하천환경개선사업	2008 - 2013	32,100	하천정비, 유지용수 공급, 퇴적오니 준설
대연천	대연천생태하천복원사업	2012 - 2015	16,000	UN조각공원 - 용호교 하천복원
춘천	춘천하천정비	2013	550	하천주변 정비



**Fig. 4.** Yearly and Monthly Variation of DO and COD in Stream..

차집되고 하류 중 일부만 하천으로 유입되는데 용호만 오염퇴적물 정화사업 전 2009년에는 COD 값이 3.6 mg/L 였으나 준설 완료 후 2012년부터는 1.0 mg/L 이하까지 수질이 개선되었으나, 4월 이후 조금씩 증가하고 있어 지속적인 관리가 필요할 것으로 보인다.

**수질 이화학분석 결과**

수온이 비교적 높은 6월 - 10월간 총 4회에 걸쳐 표층과 저층의 수질을 분석한 결과는 Table 2에 나타내었다. 표층은 수면에서 0.2 m 이내 지점에서 대부분 채수하였고, 저층은 조수간만의 차를 배제하고 수심 약 1.3 m - 2.0 m 지점에서 채수하였

Table 2. Results of water quality in each month

month	Stream		Depth (m)	Temp. (°C)	Sal. (psu)	pH	DO (mg/L)	Turb. (NTU)	Cond. (μS/cm)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/L)	COD (mg/L)	H <sub>2</sub> S (mg/L)
6	Dong Stream	top	0.200	20.5	27.8	7.2	0.2	5.9	43070	2018	2.4	N.D
		bottom	1.500	19.5	29.5	7.1	0.0	3.7	45500	1907	1.4	N.D
	Daeyeon Stream	top	0.070	19.5	30.1	7.4	0.0	4.9	46290	2007	3.4	N.D
		bottom	1.800	19.5	30.3	7.0	0.0	2.7	46470	2919	1.6	N.D
	Chun Stream	top	0.100	23.4	7.5	7.6	1.9	2.6	12990	522	2.2	N.D
		bottom	1.900	18.8	32.5	7.8	0.5	2.3	49550	3019	2.0	N.D
8	Dong Stream	top	0.100	25.5	28.7	7.5	0.5	6.3	44490	2655	4.6	0.32
		bottom	1.302	25.0	29.6	7.3	0.0	2.2	45740	2586	3.6	0.20
	Daeyeon Stream	top	0.064	23.7	27.6	7.6	0.1	7.3	42940	2426	5.0	0.15
		bottom	1.942	22.6	28.7	7.3	0.0	2.1	44350	2782	1.4	0.28
	Chun Stream	top	0.100	24.8	27.2	7.3	1.2	6.8	42280	672	2.4	0.20
		bottom	1.264	23.0	32.2	7.0	0.3	3.0	49150	3020	2.4	0.24
9	Dong Stream	top	0.009	24.4	30.6	7.1	2.0	2.4	37120	2751	2.8	0.12
		bottom	1.787	24.4	29.4	7.2	1.3	2.3	45370	2690	1.8	N.D
	Daeyeon Stream	top	0.143	24.0	31.2	7.3	3.0	1.8	47870	2772	3.0	0.11
		bottom	1.859	24.0	32.4	7.4	2.1	1.4	48200	2738	1.4	0.10
	Chun Stream	top	0.074	26.2	12.7	7.1	0.8	4.0	21280	650	6.4	0.12
		bottom	1.744	24.6	29.1	6.8	0.0	2.2	45010	2794	1.6	N.D
10	Dong Stream	top	0.120	17.8	30.1	7.1	3.7	2.9	46290	2504	2.4	N.D
		bottom	1.516	18.0	30.4	7.3	3.6	2.8	46640	2658	2.0	N.D
	Daeyeon Stream	top	0.126	19.6	31.7	7.3	2.6	3.6	48530	2691	1.6	N.D
		bottom	1.926	19.5	32.3	7.3	1.2	3.5	49320	2798	0.6	N.D
	Chun Stream	top	0.109	22.4	10.9	7.2	4.5	2.6	18400	870	2.0	N.D
		bottom	1.801	19.9	32.6	7.5	2.7	2.5	49670	2817	0.4	N.D

으며, 실제 수심을 확인한 결과 2 m 전후로 나타났다.

수심이 깊지는 않았으나 저층과 표층의 수온과 염분, 전기전도도 등은 뚜렷한 차이를 보였다. 수온은 표층>저층, 염분과 전기전도도는 저층>표층으로 나타났는데 이는 담수와 해수가 혼합되는 과정에서 물의 밀도와 온도 차이에 의해 발생하는 것으로 대기압 하에서 수온 0 °C인 물의 밀도는 999.9

kg/m<sup>3</sup>이며 염분 20 psu과 35 psu인 해수의 밀도는 각각 1,016.1 kg/m<sup>3</sup>와 1,028.1 kg/m<sup>3</sup>이다<sup>8)</sup>.

일반적으로 해수의 염분은 34 - 37 psu의 범위를 가지는데, 조사지점에서의 해수는 육상에서 유입되는 담수의 영향으로 염도가 높은 저층에서도 28.7 - 32.6 psu로 낮게 나타났다. pH는 표층과 저층에서 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

DO는 수온과 밀접한 관계가 있는데 표층에서는

DO가 0 - 4.5 mg/L, 저층에서는 0 - 3.6 mg/L 범위로 각각 나타났는데 전 지점에서 표층보다 저층에서의 DO가 낮게 나타나 유기물질퇴적토에서 혐기성 분해가 일어나고 있음을 알 수 있었다. 수중에서는 일반적으로 DO가 약 2 mg/L 이하의 경우 저산소 상태라고 하는데 조사기간 동안 대부분의 지점에서 나타났다.

수중의 미세한 부유물질 또는 기수역 하류에서 자주 발생하는 백탁 현상을 알아보기 위해 탁도를 분석하였는데 전 지점에서 저층보다 표층에서 높게 조사되었다. 이는 수중으로 유입되는 유기물질의 지표인 COD 분석결과와 동일하게 나타나 육상 오염물질의 영향을 받아 탁도가 높은 것으로 보인다.

황산환원균 유기물 분해에 공여체로 작용하여 H<sub>2</sub>S를 발생시키는 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>의 농도는 표층에서는 522 - 2,751 mg/L의 범위로 나타났고, 저층에서는 1,907 - 3,020 mg/L로 더 높았다. 해수와 담수가 혼합이 제대로 이루어지지 않는 춘천 지점에서는 저층은 다른 지점과 유사한 값을 보였으나 표층에서의 농도는 1,000 mg/L 이하로 저층에 비해 약 1/3 수준으로 조사되었다.

반면 수중에서의 H<sub>2</sub>S의 농도를 알아보기 위한 실험에서는 8 - 9월 동안은 소량으로 검출되었는데 6월, 10월에는 정량한계(0.1 mg/L) 미만으로 조사되었다. 일반적으로 기체의 용해도는 수온이 낮고 염분 농도가 낮으면 증가하는데, 본 조사 지점에서는 염분농도가 높아 수중에 용해되기 어려운 상태

로 대기 중으로 바로 방출되는 상태라 판단된다.

세 지점에 대한 이화학적 분석결과에서 동천은 표층의 수질이 나쁜긴 하였으나 해수도수가 이루어져 표층과 저층의 수질차이가 가장 크지 않은 것으로 조사되었다. 반면 춘천은 표층과 저층의 가장 심한 수질 차이를 보였는데 이는 동천이나 대연천에 비해 하천에서 연안으로 유입되는 유량이 많아 수직 혼합이 일어나지 않은 것으로 판단된다.

**퇴적토 분석결과**

10월에는 하천퇴적토를 Grab sampler로 채취하여 각 지점에 대한 유기물질량을 분석해 보았다. 동천과 대연천의 퇴적토는 모래가 많이 함유된 형태였으며, 춘천은 점토질의 퇴적토로 많은 수분을 함유하고 있었다.

본 실험에서 함수율은 춘천>대연천>동천 순으로 조사되었으며, 퇴적토 유기물질량의 지표로 나타낼 수 있는 항목 즉, COD, 강열감량 및 총황에 대한 농도 실험에서는 세 항목 모두 춘천의 퇴적토가 가장 높은 수치를 나타내어 유기물 오염정도가 심한 것으로 조사되었다.

춘천 퇴적토에서의 COD농도는 371,546 mg/kg로, 2012년 부산시내 도심 하천 퇴적물 농도 1,888 - 126,776 mg/kg 범위<sup>9)</sup>를 훨씬 초과하는 농도로 육상에서 연안으로 유입되는 하천의 유기오염물질과 동물성플랑크톤 등 먹이가 풍부해 기수역으로 몰려드는 어류들의 배설물 등이 정체수역에 퇴적되

**Table 3.** Analysis Results of sediments on each Stream

	Temp. (°C)	Moisture contents (%)	Ignition loss (%)	COD (mg/kg)	Total Sulfur (%)
Dong Stream	18.0	28.6	3.1	57,181	0.46
Daeyeon Stream	19.2	32.2	4.2	59,615	0.48
Chun Stream	19.9	86.7	31.4	371,546	1.11



어 높은 농도를 나타내는 것으로 보인다. 동천과 대연천은 춘천에 비해 비교적 적은 유기물질 농도를 보인 것은 최근 실시된 정비사업에서 준설작업을 실시한 결과로 보여진다.

총황은 유기물 오염이 심하지 않은 해저퇴적토의 경우 0.1 - 0.2 %로 함유<sup>6)</sup>되어 있는데 동천과 대연천의 경우, 0.46 %, 0.48 %로 각각 나타났고 춘천의 퇴적물은 1.11 %로 높은 황화합물량을 나타내었다.

이 세 항목간의 상관관계는 0.9이상으로 보고되고 있으며, 특히 COD와 총황의 상관관계가 가장 높은 것으로 알려져 있다<sup>10)</sup>. 본 실험에서도 이와 같은 결과를 얻을 수 있었다.

**황산환원균 실험**

수중에서 황산환원균에 의해 황화수소가 생성되기 위한 조건으로는 수질의 혐기성 상태, 용존 유기물질, 0.1 - 1 um 범위의 고형물 분포, 프로피온산과 젖산과 같은 유기산의 존재, 적정온도(최적 30 °C) 등이 있다<sup>11)</sup>.

황산환원균은 혐기성 생태계에서 탄소순환과 황순환에 매우 중요한 역할을 하고 있다<sup>12)</sup>. 또한 황산환원균은 혐기성의 서식지에서 혐기성 분해의 주요 최종분해자로 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>를 최종 전자공여체로 이용하여

H<sub>2</sub>S를 생성하여 공기 중의 산소와 결합하면 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>로 전환하여 하수관 부식 등을 일으키는 원인이 되는데 Fig. 5는 이러한 반응을 나타내 주고 있다. 따라서 하수관로 건설에서는 H<sub>2</sub>S 발생을 억제하기 위한 노력이 지속적으로 요구되어지고 있다<sup>13)</sup>. 그러나 황산환원균에 의해 생성된 황화물(HS<sup>-</sup>)은 중금속을 제거하고<sup>15)</sup>, 또한 황산염 환원은 혐기성 분해 과정의 하나로 담수 환경에서는 총 혐기성분해의 20 %, 해양의 저질토에서는 총 50 % 이상이 황산환원균에 의하여 일어난다<sup>12,18)</sup>. 이와 같이, 황산환원균은 퇴적토 생태계에서 탄소 순환, 황 순환과 오염물질 제거에 매우 중요한 역할을 하고 있다<sup>12)</sup>.

조사대상 지점에서 황산환원균에 의한 유기물 분해를 알아보기 위해 표층과 저층, 그리고 퇴적토에 대해 실험한 결과를 Table 4에 나타내었다. 황산환원균수는 용존산소가 낮고 황산염 농도가 높은 저층보다는, 유기물 농도가 높은 표층에 개체수가 많은 것으로 나타났으며 춘천의 표층에서 가장 많은 개체수로 나타났다. 또한 수온이 높은 8, 9월에 높은 값을 보였다.

춘천은 표층과 저층의 수질 차이가 가장 컸으며 황산환원균 실험에서도 가장 큰 개체수 차이를 보였다. 이는 조사지점이 하천 하류에서 일부 하수 및 하수처리장 방류수 등이 합류하여 연안으로 유

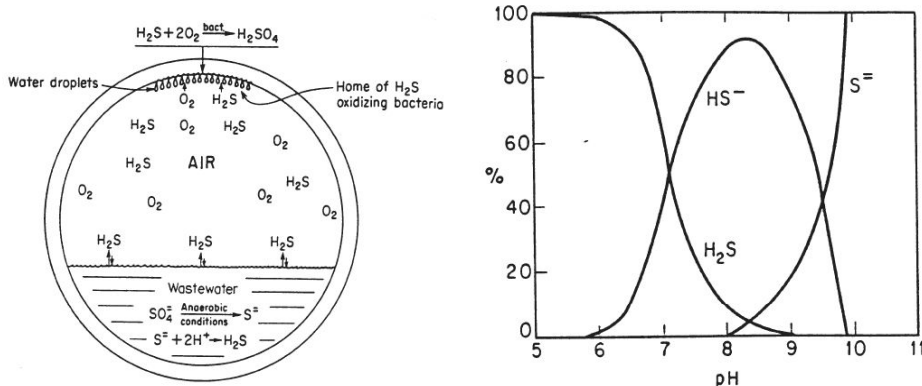


Fig. 5. Hydrogen Sulfide chemistry.

**Table 4.** Number of Sulfate reducing bacteria

	Top(균수/100 mL)	Bottom(균수/100 mL)	Sediments(균수/g)
Dong Stream	33 - 120	49 - 110	11,000
Daeyeon Stream	130 - 390	79 - 170	17,000
Chun Stream	16,000 - 32,000	540 - 630	130,000

입되었을 때 수직으로 충분한 혼합이 이루어지지 않는 환경 때문인 것으로 보여진다. 반면 동천은 상류에서 흘러보내는 해수와 중간에 유입되는 하수가 없어 표층과 저층의 수질차이가 크지 않아 황산환원균도 개체수 차이가 크지 않은 것으로 조사되었고 대연천은 동천보다 약간 많은 개체수로 나타났다 표층이 저층에 비해 높게 나타났다.

또한 퇴적토에서의 황산환원균수는 <대연천> <동천> 순으로 나타나 유기물질량이 많고 입도가 적은 점토질의 퇴적토에서 다량으로 검출되는 것으로 확인되었으며, 춘천 지점에서의 세균수는 130,000 균수/g의 양으로 나타났다.

황산환원균은 유기물의 농도와 밀접한 관계가 있으며, 반면에 황산염은 황산환원균에 영향을 끼치지 않으며<sup>15)</sup> 또한 점토 형태의 퇴적토는 모래가 함유된 퇴적토보다 황산환원균이 많이 존재한다<sup>26)</sup>. 본 실험에서의 동일한 결과를 얻을 수 있었다.

유기물 함량이 높은 지점에서 황산환원균이 많이 서식하고 이들의 활발한 유기물 분해에 의해 H<sub>2</sub>S 발생량이 많아져 하천 주변에 악취를 유발한다. 따라서 하천 바닥에 유기물들이 퇴적되지 않도록 유기물질 부하량을 줄이는 노력과 동시에 하천 복개된 구간은 복원하여 산소 공급량을 늘리고, 또한 하천바닥이 혐기화되지 않도록 퇴적토를 정기적으로 준설하는 등 지속적인 관리가 통합적으로 이루어져야 기수역 주변에서 발생하는 악취를 해결할 수 있을 것으로 판단된다.

### 해양성세균 실험

혐기성 환경인 퇴적토에서 분포하고 있는 해양성세균을 알아보기 위해 멸균해수로 단계별로 희석하여 Marine Agar 2216배지에서 일주일간 배양한 colony 수와 배양된 colony를 형태학적으로 유사한 균을 각각 10개 정도 선별하여 순수 배양한 후 VITEK 2 Compack(Biomérieux)를 이용하여 균 동정을 실시한 결과를 Table 5에 나타내었다.

배양된 colony 수는 <대연천> <동천> <춘천>의 순으로 나타났는데 황산환원균수와는 달리 대연천과 동천보다 춘천의 퇴적토에서 개체수가 훨씬 적음을 알 수 있었다. 퇴적토에서 세균분포도 검사에서 황산환원균 수에 비해 호기성세균의 수와 종류가 적게 검출된 것은 혐기성상태에서 황산환원균들의 활동으로 호기성세균의 생육이 억제되어 나타난 결과로 보여진다.

또한 VITEK에서 균동정을 실시한 결과, 세 지점 모두에서 공통적으로 *Sphingomonas paucimobilis*가 우점종으로 가장 많은 출현빈도를 나타내었고, 동천에서는 *Sphingomonas paucimobilis* 등 5종, 대연천에서는 6종, 춘천에서는 4종의 호기성 또는 통성 혐기성균이 검출되었다. 호기성세균 중 가장 우점종인 것으로 나타난 *Sphingomonas paucimobilis*는 물과 토양 등에서 증식하는 토양미생물로 인체에 유해한 세균은 아니지만, *Globicatella sulfidifaciens*, *Stapylococcus sciur*, *iPasteurella spp.* 등 병원성 세균도 검출되었으므로 퇴적토의 관리 소홀로 인해

**Table 5.** Number of Sulfate reducing bacteria

	Colony(cfu/g)	VITEK RESULT	Gram stain
Dong Stream	7.0 x 10 <sup>4</sup>	<i>Sphingomonas paucimobilis</i>	(-)
		<i>Neisseria spp.</i>	(-)
		<i>Globicatella sulfidifaciens</i>	(+)
		<i>Kocuria rosea</i>	(+)
		<i>Micrococcus luteus.</i>	(+)
Daeyeon Stream	10.9 x 10 <sup>5</sup>	<i>Sphingomonas paucimobilis</i>	(-)
		<i>Moraxella spp.</i>	(-)
		<i>Acinetobacter spp</i>	(-)
		<i>Stapylococcus sciuri</i>	(+)
		<i>Pseudomonas spp.</i>	(-)
		<i>Elizabethkingia meningoseptica</i>	(+)
Chun Stream	14.2 x 10 <sup>3</sup>	<i>Sphingomonas paucimobilis</i>	(-)
		<i>Klebsiella spp.</i>	(+)
		<i>Micrococcus spp.</i>	(+)
		<i>Pasteurella spp.</i>	(-)

어류나 어패류 섭취, 해수욕 등을 통해 인체에 해가 되지 않도록 퇴적토 관리가 필요할 것으로 사료된다.

## 결론

연안으로 유입되는 하천의 기수역 하류는 정체수역이 형성되어 유기물질의 농도가 높고 해저에 오염물이 퇴적되어 세균의 분해에 의해 수질이 탁화되고 악취가 발생하는 등 민원 발생이 끊이지 않고 있다. 따라서 본 연구에서는 부산의 주요 기수역의 특성을 파악하고 해결 방안을 제시하고자 본 연구를 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 동천, 대연천, 춘천 하류에서 수온이 비교적 높은 6월 - 10월 사이 4회에 걸쳐 수질을 조사한 결과, 동천에서의 DO는 0 - 3.7 mg/L, 대연천은 0 - 3.0 mg/L, 춘천은 0 - 4.5 mg/L의 수준으로 나타나 하절기에는 저산소 상태를 보였고 표층보다 저층의 DO가 더 낮아 퇴적토에 의해 혐기화가 진행됨을 알 수 있었고, COD는 염분이 낮은 표층이 저층보다 높게 나타나 하수에 의한 오염이 크다는 것을 알 수 있었다.

2. 3개 지점의 퇴적토를 분석한 결과 동천과 대연천은 최근의 준설로 인해 입자가 비교적 큰 모래가 많이 함유되어 있었고 춘천은 점토질의 미립자 상태였으며 강열감량, COD, 총황 함량이 두 지점에 비해 월등히 높은 값을 나타내어 퇴적토 준설이 필요할 것으로 판단되었다.

3. 하수유입에 의한 악취발생의 주원인물질인 H<sub>2</sub>S를 생산하는 황산환원균수를 알아보기 위한 실험에서, 수질에서는 황산염 농도가 높은 저층보다는 유기물질 농도가 높은 표층에서 더 많이 검출되었고, 퇴적토에서도 유기물질 함량이 가장 높은 춘천 퇴적토에서 가장 많은 세균수가 검출되어 황산염 농도보다 유기물질량에 더 밀접한 관계를 나타내는 것으로 나타났다.

4. 해양성세균을 알아보기 위한 개체수 실험에서는 대연천>동천>춘천의 순으로 나타났고, 균동정 실험에서는 *Sphingomonas paucimobilis*가 세 지점 모두에서 우점종인 것으로 조사되었고 일부 병원성세균도 검출되었다.

5. 쾌적한 해양환경 조성을 위해 악취는 반드시 해결되어야 할 과제이다. 이를 위해서는 육상에서 기인하는 유기오염물질 부하량을 줄이고,

정체수역이 형성되는 기수역에는 하천 복개부분을 복원하여 산소 공급량을 늘리고 또한 지속적인 퇴적토 준설을 통해 오염물질을 제거하는 통합적인 노력이 지속적으로 필요할 것으로 사료된다.

### 참고문헌

1. 김성배, 플라스틱으로 인한 해양오염에 대한 대책, 환경법연구, 34(2), 21(2012)
2. 국립환경과학원 물환경연구소, 어류폐사발생 지역의 환경조사 : 2년차 보고서, 2, 6(2010)
3. Thronson and Quigg, Fifty-Five of fish kills in coastal Texas Euasturies and coasts 31, 802 - 813(2008)
4. 송호면, 조정일, 하수관거 및 정화조에서 발생하는 악취물질이 복합악취에 미치는 영향에 관한 연구, Journal of Korean Society of Water and Wastewater Vol. 27, No. 2, 165 - 175, April(2013)
5. 양창술, 김종식, 토양미생물실험법, 338 - 46 (2002)
6. 해양오염공정시험방법, 국토해양부, 187 - 225 (2010)
7. 부산발전연구원, 부산의 하천, 231 - 240, 143 - 151(2006)
8. 브리टे니커 온라인, [http://preview.britannica.co.kr/bol/topic.asp?article\\_id=b24h3654b009](http://preview.britannica.co.kr/bol/topic.asp?article_id=b24h3654b009)
9. 한상민, 부산광역시보건환경연구원보 제22-2, 270(2012)
10. 인천연안 해수질 및 해저퇴적물 장기관측(1996 - 2008) 조사 보고서, 인천광역시보건환경연구원 (2009)
11. 조성렬 등, 복개하천 및 하수관에서 발생하는 악취 특성, 충청북도보건환경연구원보 제 17권, 85 - 129(2008)
12. Jorgensen, B.B. Mineralization of organic matter in the sea bed the role of sulfate reduction, Nature, 296, 643 - 645
13. Peter Churchill and David Elmer, Hydrogen Sulfide Odor Control In Wastewater Collection System Presented At New annual Conference, vol.33(1), 59 - 60 (1999)
14. 김인선, 분자생물학적 방법을 이용한 한국과 중국호수의 저질토에서 황환원세균의 다양성과 수직적 분포, 강원대학교 석사논문(2008)
15. Colleran, E., S. Finnegan, and P. Lens. Anaerobic treatment of sulphate-containing waste streams. Antonie Van Leeuwenhoek 67, 29 - 46(1995)
16. Barton, L.L. and F.A. Tomei. Characteristics and activities of sulfate-reducing bacteria. 1-32. In L.L. Barton(ed.), Sulfate-reducing bacteria, Vol. 8, Peplum Press, New York, USA(1995)
17. 현문식 등, 시화호 저니(Sediment)에서의 유기물 및 중금속 농도와 혐기성 호흡세균과의 상관관계. Kor. J. Appl. Microbiol. Biotechnol. 3, 252 - 259(1999)
18. 최종욱 등, 해수도수에 따른 동천 수질개선 효과 모의 분석, 보건환경연구원보, 18(1), 108 - 125(2008)
19. 이태희 등, 가막만 빈산소 해역 퇴적물의 산소소모에 따른 황화수소 용출, 한국해양학회 추계 학술발표대회(2011)