

금강 수계 내 하천퇴적물 및 지표수의 지표미생물 농도분포

김건하[†]

한남대학교 건설시스템공학과

Monitoring of Indicator Microorganism Concentrations of River Sediment and Surface Water in the Geum River Basin

Geonha Kim[†]

Department of Civil and Environmental Engineering, Hannam University
(Received 11 October 2009, Revised 30 November 2009, Accepted 1 December 2009)

Abstract

Characterization of sediment quality is important for the proper management of surface water quality, yet sediment has not been monitored sufficiently. In this study, fecal indicator microorganism concentrations of sediments in the Geum River Basin were monitored. Sampling was carried out at one paddy field, one lakeshore and five monitoring stations in the lower reach of the Geum River Basin. Surface waters and sediments were sampled four times during rainy season. Total coliform concentrations of sediments were 12 times higher in average to those of surface waters while *E. coli* concentrations of sediments were six times higher. No correlation found between indicator microorganism concentration between surface waters and sediments.

keywords : Indicator microorganisms, Monitoring, Surface water, Sediment, Water quality

1. 서론

하천 목표수질 초과빈도를 수질항목별로 분석하여 보면, 모든 수계에서 총대장균군 항목이 매우 높음이 알려져 있다. 점원과 비점원에서 발생하는 미생물은 부유물질과 결합되어 하류로 이동되며(Borst and Selvakumar, 2003; Mahler et al., 2000; Schillinger and Gannon, 1985), 유속이 작은 경우 부유물질과 함께 침전되어 퇴적물을 형성한다(김건하, 2006; Ben-Dan et al., 2001; Julien, 2002). 퇴적물 공극수에 존재하는 미생물은 유량이 증가할 경우 부상하여 수체 농도증가의 원인이 된다(Crabill et al., 1999; Grimes, 1975, 1980; Haller et al., 2009; Smith and Perdek, 2004).

우리나라는 BOD(Biochemical Oxygen Demand) 농도를 위주로 수질관리를 시행하고 있는데, 이는 수질등급간 BOD 농도구분이 뚜렷하며, 점원자료가 축적되어 있기 때문이다. 총대장균군 농도 또한 등급간 차이가 뚜렷하여 수질관리에 적용할 수 있으나, 점원, 비점원 모니터링 자료가 미비하고 그 거동에 대한 이해가 부족하여 수질관리에 이를 고려하지 않고 있다. 그러나 수질기준 초과항목 중 총대장균군이 차지하는 비중이 크고 또한 항목하천, 호소의 위락목적이 강조되고 있으므로 총대장균군 농도에 대한 관심 또한 높아질 것으로 예상된다.

총대장균군은 병원균 지표미생물(pathogen indicator microorganism)중 하나인데, 이는 수체내 병원균에 대한 분리과 검출이 까다롭기 때문에 시료의 채취와 분석이 비교적 용이하며 병원균 개체수와 상관성을 보이는 미생물이다. 대표적인 지표미생물로서 총대장균군, 분원성대장균군, 대장균, 분원성 연쇄상구균 등이 있다. 총대장균군(total coliform, TC)은 인간 또는 동물로부터 배출되는 대장균과 유사한 성질을 가지고 있으며 지표수나 지하수 중에 널리 분포되어 있는 세균을 총칭한다. 일반적으로 대장균군은 병원균보다도 외부 스트레스에 강한 세균으로, 방류수를 소독할 때 안정화기능의 효율 판정에 사용한다. 대장균(*Escherichia coli*, EC)은 온혈동물의 장내에 상주하는 세균으로서, 보통 장내에서는 병원성을 갖지 않지만, 요도나 담도에 들어가서 방광염, 신우염, 담낭염을 일으키는 경우가 있으며 또 소아에게는 급성장염을 일으킨다. EC의 사멸률이 다른 분변성대장균보다 높고, 수온변화에 대하여 일정하므로 지표미생물 항목으로 널리 쓰이고 있다(Baudisova, 1997).

수량과 수질간의 관계는 미시적으로 볼 때 물리적·화학적·생물학적 반응을 포함하기 때문에 매우 복잡하고 거시적으로 볼 때 비점오염을 포함하므로 간단한 해석이 불가능하다. 특히, 퇴적물은 지표 수자원의 하층에 위치하면서 오염물질의 저류조 역할을 하여서 오염물질 배출해석을 어렵게 한다(Kaiserli et al., 2002). 흐름에 의해 상류유역으로부터 이송되어 하류에 퇴적된 토사는 상류 유역과 하천의 생물·화학·물리정보를 지니고 있다. 하천과 호소에서 지표수

[†] To whom correspondence should be addressed.
kimgh@hnu.kr

질은 하천환경의 단기간 특성변화를 반영한다면, 퇴적물에 함유되어 있는 오염물질은 지표수에 함유된 성분들에 비해 변화가 적고 상대적 함량이 높아 환경에 대한 영향을 지속적으로 평가하는 인자가 될 수 있다(Chapman, 1996).

퇴적물의 지표미생물 농도는 수질관리 측면에서 중요한 정보를 제공할 수 있으나 모니터링 자료가 매우 부족한 형편이다. 김영수 등(1993)은 북한강 상류수계 지표수에 대하여 지표미생물 농도를 측정하였는데, 연안하천은 130~540 MPN/100 mL 정도로 보고하고 있으나, 퇴적물에 대한 자료는 없다. Garrido-Pérez 등(2008)은 해변 퇴적물 및 해수의 지표미생물 농도를 측정된 결과 해수의 지표미생물 농도가 위락용도로 적합한 경우에도 강에서 바다로 유입되는 부분, 즉 부유물질이 침전하는 지점의 퇴적물의 지표미생물 농도가 높은 경우가 많음을 보고하였다. 또한 퇴적물의 지표미생물 농도는 수질농도와 비교하여 수배에서 수심배까지 높은 것으로 나타나고 있는데(Burton et al., 1987; Wheeler Alm et al., 2003), 이는 퇴적물 내에서 미생물 사멸률이 낮아지기 때문이다(Haller et al., 2009; Sherer et al., 1992).

퇴적물과 결합되어 침전하여 있는 지표미생물 농도는 지표수질 영향을 미치는 주요 인자의 하나이지만, 이에 대한 모니터링 자료가 부족하다. 따라서 본 연구의 목표는 하천, 호소 퇴적물에 존재하는 지표미생물 농도분포와 이에 영향을 미치는 주요 인자의 변화 양상을 파악하는 것이다.

2. 연구방법

2.1. 시료채취지점

Fig. 1은 수중 및 퇴적물 내 지표미생물 모니터링을 위하여 선택된 지점을 보여주며, 지점명은 추동, 대청, 현도, 매포, 부강, 금남, 공주이다. Table 1은 금강본류 시료채취지점인 현도, 매포, 부강, 금남, 공주의 특성요약이다. 이 지점은 금강 본류의 수질과 퇴적물을 조사하기 위하여 선정되었는데, 이곳은 환경부 수질측정망이 있으며, 수위 관측소가 있는 지점으로서 기존의 수질 및 수위 기상자료가 누적되어 있기 때문에 모델링을 위한 주요 인자 값이 확보된

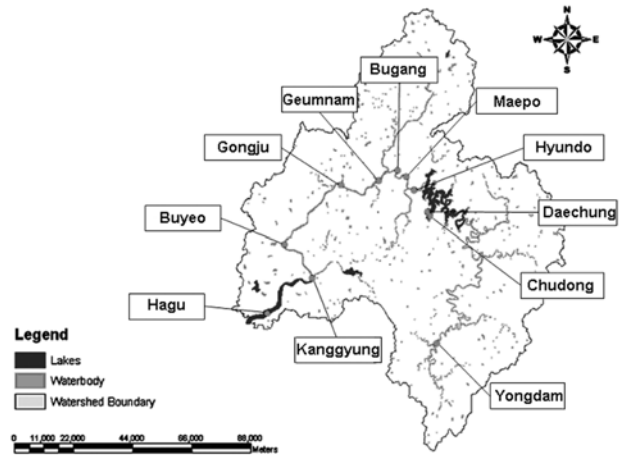


Fig. 1. Sampling points operated in this study.

상태이다. 이 지점에서 퇴적물에 관련된 모델링의 인자값을 수집함으로써 보다 정확도가 높은 금강 수질 모델링을 운영하는데 기여할 수 있다.

첫번째 측정지점인 현도는 대청댐 방류지점으로부터 하천을 따라 하류방향으로 6.8 km 지점에 위치하고 있으며 대전지역의 공단이 밀집해 있는 지역으로 상류지역의 농경지와 산림에서 발생하는 비점오염원과 공단의 처리장에서 방류되는 점오염원이 합류되는 지점이다. 두번째 측정지점인 매포는 현도 지점으로부터 6.8 km 하류지점에 위치하고 있으며, 대전의 중심부를 관통하고 있는 갑천이 금강 본류와 완전히 합류된 지점의 하류부에 위치하고 있다. 세번째 측정지점인 부강은 현도지점으로부터 7.7 km 하류에 위치하고 있다. 네번째 측정지점인 금남은 부강지점으로부터 10.1 km 하류에 위치하고 금강에 미호천이 합류한 지점으로부터 6.5 km 하류에 위치하고 있으며, 하폭이 다른 지점보다 넓은 특징이 있다. 마지막 측정지점인 공주는 금남으로부터 14.9 km 지점에 위치하고 있다.

공주지점은 상류의 모든 시료 채취 지점의 유역을 포함하고 있으며, 유역면적은 7,213 km²이고 형상계수(shape factor = A/L)는 0.09이다. 금강유역의 평균 형상계수가

Table 1. Descriptions of five monitoring stations in the Geum River

Site	Basin area (km ²)	Basin average slope (%)	Shape factor	Land use (%)
Hyundo ¹ (Hyundo) ²	4233.82	NA ³	0.07	Waters(2.39), Forest(74.25), Rice paddy(6.49), Urban(2.22), Wet land(0.20), Grassland(1.60), Upland field(12.85)
Maepo (NA)	4941.58	20.98	0.08	Waters(2.22), Forest(72.16), Rice paddy(6.37), Urban(3.45), Wet land(0.33), Grassland(1.92), Upland field(13.54)
Bugang (Chungwon)	5012.62	NA	0.07	Waters(2.23), Forest(71.86), Rice paddy(6.42), Urban(3.50), Wet land(0.33), Grassland(1.95), Upland field(13.71)
Geumnam (Yongi)	7048.88	15.16	0.09	Waters(2.01), Forest(64.58), Rice paddy(7.64), Urban(4.41), Wet land(0.58), Grassland(2.50), Upland field(18.26)
Gongju (Gongju1)	7213.52	28.86	0.09	Waters(2.01), Forest(64.50), Rice paddy(7.61), Urban(4.41), Wet land(0.61), Grassland(2.56), Upland field(18.30)

¹ Names used for ministry of land, transport and maritime affairs

² Names used for ministry of environment

³ Information not available

0.06임을 감안하면 유로길이에 비하여 유역 폭이 넓은 것을 알 수 있다. 토지 이용 형태는 수역이 2.01%, 시가지가 4.41%, 나지가 0.01%, 습지 0.61%, 산림 64.50%, 초지 2.56%, 논 7.61%, 밭 18.30%로 산림과 농경지가 대부분을 차지하고 있는데 산림과 농경지가 차지하는 비중이 높은 경우 강우시 토사유실량이 많다는 것을 의미한다. 각 지점의 토지이용 중에서 가장 많은 부분을 차지하고 있는 산림 지역을 비교하여 보면 현도 74.25%, 매편 72.16%, 부강 71.86%, 금남 64.85%, 공주 64.50%로써 하류로 내려올수록 산림지역이 차지하는 비율이 감소하며 농지의 경우 하류로 갈수록 유역 중에서 차지하고 있는 비중이 증가하는 양상을 보이고 있다. 시료채취지점의 유역특성, 강우량, 수위 및 수위-유량관계곡선은 수자원 종합정보시스템에서 제공하고 있는 측정 자료를 사용하였다(국토해양부, 2009).

농업지역과 호소 수변지역은 퇴적물 중 지표미생물을 조사하기 위하여 선정되었다. 농업지역(지점명: 대청)으로는 대전시 동구 추동 지역을 선정하였는데, 환경부 수질 관측소가 있으며 대청호 방류구로부터 14 km 상류지역, 수변지역으로부터 500 m 떨어진 곳에 위치하고 있다. 이 지역은 N, P가 30% 이상 함유된 복합비료와 질소 함유량이 50% 이상인 요소비료를 사용하고 있다. 호소 수변지역의 조사지점으로 대청호의 수위에 따라 고수위에서는 침수상태를 유지하며, 저수위에서는 바닥을 드러내는 지점을 선정하였다. 대청은 대청호 방류구로부터 상류 13 km 지점에 위치하고 있으며, 대청호의 수위변동에 따라 빈번하게 수물이 반복해서 일어나는 지역으로 키 50 cm 내외의 식물들이 자라고 있으며, 녹조류와 이끼류가 서식하고 있다. 평수위에 침수되어 퇴적물이 있는 구간이 갈수기에는 수변지역이 되며, 홍수기에는 고밀도 자생식물이 서식하는 나지에 수변 지역이 형성되는 등 호소 수위에 따라 수변지역이 다른 양상을 보인다.

2.2. 시료 샘플링

시료의 채취는 2005년 6, 7, 8, 9월에 걸쳐 4회 실시하였다. 시료는 시료의 성장, 유량, 유속, 등의 시간에 따른 변화를 고려하여 현장수의 성질을 대표할 수 있도록 채취하였다. 시료의 채취는 수질시험의 가장 첫 단계이면서 또한 가장 중요한 부분으로 시료 채취방법에 따라 분석결과가 크게 달라지기 때문에 신중을 기해야 한다. 또한 시료의 대표성과 균일성을 갖기 위하여 세심한 주의를 요한다.

Fig. 2는 2006년도 공주지점의 강우와 유량을 보여주고 있다. 공주 이외 지점은 측정자료의 신뢰성이 떨어지거나 결측자료가 많으므로 대청댐 방류시 기점 수위로 사용되는 공주지점의 강우와 유량을 나타내었다. 그래프에 나타난 1차 시료 채취 시기는 2006년 6월 20일로 장마가 시작되기 이전이다. 2차 시료 채취는 7월 13일에 실시하였으며, 이 시점은 연중 풍수기가 진행되는 시점이다. Fig. 2에서 시료 채취 시점은 침두 유량일 때였음을 알 수 있다. 3차 시료 채취는 8월 9일에 이루어졌으며, 풍수기가 지속적으로 진행되는 시점이다. 그리고 4차 시료 채취는 9월 9일에 실시하

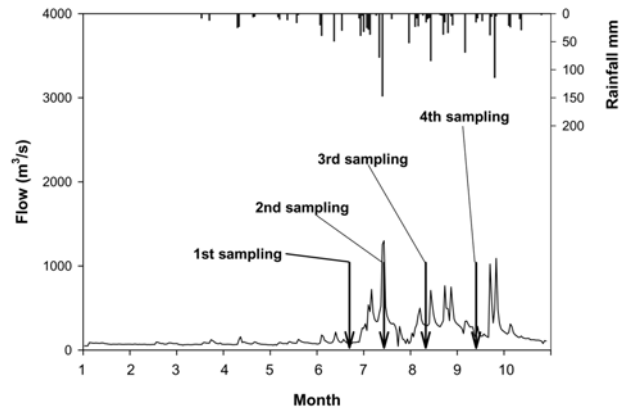


Fig. 2. Flow rate and precipitation depth monitored at Gongju Station in year 2006.

였으며, 풍수기가 충분히 지속되고 평수위로 접어드는 시기를 측정할 것이다.

각 지점에서 수질시료 채취시 하천의 하상단면에 따라 대표성을 나타낼 수 있는 시료를 채취하기 위하여 수면 폭을 4등분하는 3개 지점에서 2 L 용량의 플라스틱 용기를 이용하여 임의 채취하였다. 퇴적물 채취는 수심이 깊은 곳과 낮은 곳에서 모두 유효하게 사용할 수 있는 점토시료와 모래 및 자갈 시료까지 모두 채취가 가능한 1.5 L 용량의 Van Veen grab sampler를 이용하였다.

2.3. 시료분석

시료 채취시 휴대용 pH meter(YK-2001, Lutron)를 이용하여 현장에서 pH와 온도를 측정하였으며, 채취한 시료는 냉장상태로 실험실로 운반하여 즉시 분석을 실시하였다. BOD(Biochemical Oxygen Demand), SS(Suspended Solid)는 수질공정시험법(환경부, 2000)에 따라 분석하였으며, 지표미생물인 총대장균군과 대장균이며 지표미생물 항목은 Standard Methods 18th.ed(APHA et al., 1998)의 막여과법(membrane filtration technique, MFT)에 따라 분석하였다. 퇴적물에 관련된 분석 항목은 pH, 유기탄소량(Organic Carbon Content: OC), 총대장균군, 대장균이다. OC와 COD는 해양환경공정시험법(해양수산부, 2005)에 따라 분석하였는데 OC는 0.1 N 중크롬산칼륨을 가하고, 30분간 가열하여 0.1 N 황산암모늄 제2철용액으로 적정하여 구한다. COD는 과망간산칼륨을 산화제로 사용하여 퇴적물 습시료를 1시간 증탕하여 구하며 건조시료 중량에 대한 화학적산소요구량을 나타낸다. 퇴적물의 입경분석은 입경이 0.075 mm 이상인 경우 체가름실험(KS F2302)으로 구하였으며 그 이하인 경우는 입도분석기(Mastersizer2000, Malvern Ltd., USA)로 구하였다. 퇴적물에 존재하는 미생물 계수는 퇴적물 입경이 0.075 mm 이하인 습시료를 균질하게 혼합한 후 일정량을 칭량, 증류수로 희석하여 측정하였다. 단위는 퇴적물 건조중량 당 개체수로 나타낸다.

각 분석항목의 정밀도와 정확도를 위하여 한 지점에서 3개의 시료를 채취하여 4 시간 이내 분석을 시작하였다. 분석된 3개의 결과 중 중간 수치의 결과로부터 10% 이상의

오차범위가 나타나는 시료가 발생할 경우 반복시험을 실시하여 정밀도를 관리하였다. 시료 채취자와 각 항목에 대한 분석자는 채취 및 분석의 일관성을 유지하기 위하여 연구 시작부터 최종 분석까지 동일 연구원이 수행하도록 하였다.

3. 결과 및 고찰

Fig. 3은 각 금강 본류 5개 모니터링지점에서 측정된 퇴적물 입경가적곡선이다. 전반적으로 입경이 0.063 mm 이하인 세립토(점토+실트)의 비율이 적으며, 입경이 0.063 ~ 2 mm인 모래 또는 2 mm 이상인 자갈이 대부분을 차지하고 있는 등, 입도분포가 고르지 않은 형태를 보이고 있다. 퇴적물 입도분포는 모래와 자갈이 대부분이지만 모니터링 시기에 따라 상당한 변화를 보이고 있다. 세립자는 퇴적되지 못하고 하류로 떠내려가 수중이나 호소 등의 정체 수역에 퇴적하게 되므로 대하천 본류에서는 비교적 큰 입경을 가지는 퇴적물로 하상이 구성되어 있다. 하류로 내려가면서 구간에 따라 입도 분포상이 달라지게 되는데 이는 하상경사, 유속, 유량, 수위, 수로형태 등의 다양한 원인에 기인하게 된다. 점토 비율이 높을수록 유기물, 영양염류농도, 퇴적물산소요구량(sediment oxygen demand)이 높게 나타날 확률이 높는데 이는 점토광물의 경우 비표면적이 넓어 다양한 유기물이 표면에 흡착하기 때문이다. 또한 이러한 점토질 퇴적토에는 다양한 생물군이 존재함으로써 기초 생태 공간으로서 환경적으로 중요한 역할을 하고 있다.

입도분포는 균등계수(coefficient of uniformity)와 곡률계

수(coefficient of curvature)로 그 특성을 나타낼 수 있는데, 이는 Fig. 3에 보인 입경가적곡선에서 10%, 30%, 60% 통과입경을 변수로 하여 구할 수 있다(Mitchell, 1993).

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \tag{1}$$

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} \tag{2}$$

C_u = 균등계수; C_c = 곡률계수; D_{10} = 10% 통과입경; D_{30} = 30% 통과입경; D_{60} = 60% 통과입경. $1 < C_c < 3$, $0 < C_u < 15$ 인 경우 입도분포가 양호하다고 판정할 수 있다. Table 2는 이러한 입도분포 특성을 정리한 것이다. C_u 와 C_c 로 판단할 때 퇴적토의 입경분포는 균등하지 않으며, 대부분 자갈로 구성되어 있으며, 하류로 갈수록 세립토의 비율이 낮아지는 추세를 보이고 있다.

Fig. 4는 금강하류 5개 지점에서 채취한 수질시료의 BOD와 SS 농도변화이다. 전반적으로 BOD 농도는 2차 시기에 높은 양상을 보인 반면, SS 농도는 3차 시기에 높은 양상을 보이고 있다. 수질관정을 위한 수질인자인 BOD와 SS는 상관성이 낮은 것을 보이며, 이는 전차연구결과(Kim et al., 2005)와 일치한다. Fig. 2에 보인 바와 같이 2차 시료채취 시기에 침투유량이 발생하였으며, 3차 시료채취 시기는 유량상승 초기에 해당한다. 제한된 자료이나, 유량상승 기에는 부유물질 농도가 높으며, 고유량시에 강우에 의한 오염원의 유입이 증가한 것으로 해석할 수 있을 것이다.

Fig. 5는 각 지점에서 시기에 따라 채취된 수질의 총대장균군, 대장균 농도변화를 보이고 있다. 하천에서 매포지점

Table 2. Characterization of particle distribution of sediments

Site	Sampling	C_c^1	C_u^2	Clay+Silt (%)	Sand (%)	Gravel (%)
Hyundo	1st	0.81	7.33	2.1	30.9	67
	2nd	90.0	10.00	2.3	35.7	62
	3rd	2.6	16.00	4	33	63
	4th	0.3	15.38	0.8	55.2	44
Maepo	1st	0.08	7.00	1.9	36.1	62
	2nd	0.14	4.00	4.3	30.7	65
	3rd	1.02	18.33	3.9	38.1	58
	4th	0.02	48.00	4.2	52.8	43
Bukang	1st	1.80	4.62	1.0	32	67
	2nd	0.37	15.48	1.0	43	56
	3rd	0.89	28.00	7.0	29	64
	4th	0.76	35.00	1.0	65	34
Geumnam	1st	0.43	12.78	2.5	29.2	68.3
	2nd	0.89	2.54	0.7	31.1	68.2
	3rd	1.54	13.85	6.0	4.0	90
	4th	0.45	9.72	0.3	5.7	94
Kongju	1st	0.93	4.29	0.4	34.6	65
	2nd	0.58	14.29	0.9	44.1	55
	3rd	0.37	32.61	3.0	39.0	58
	4th	0.15	37.41	0.8	44.2	55

¹ coefficient of curvature
² coefficient of uniformity

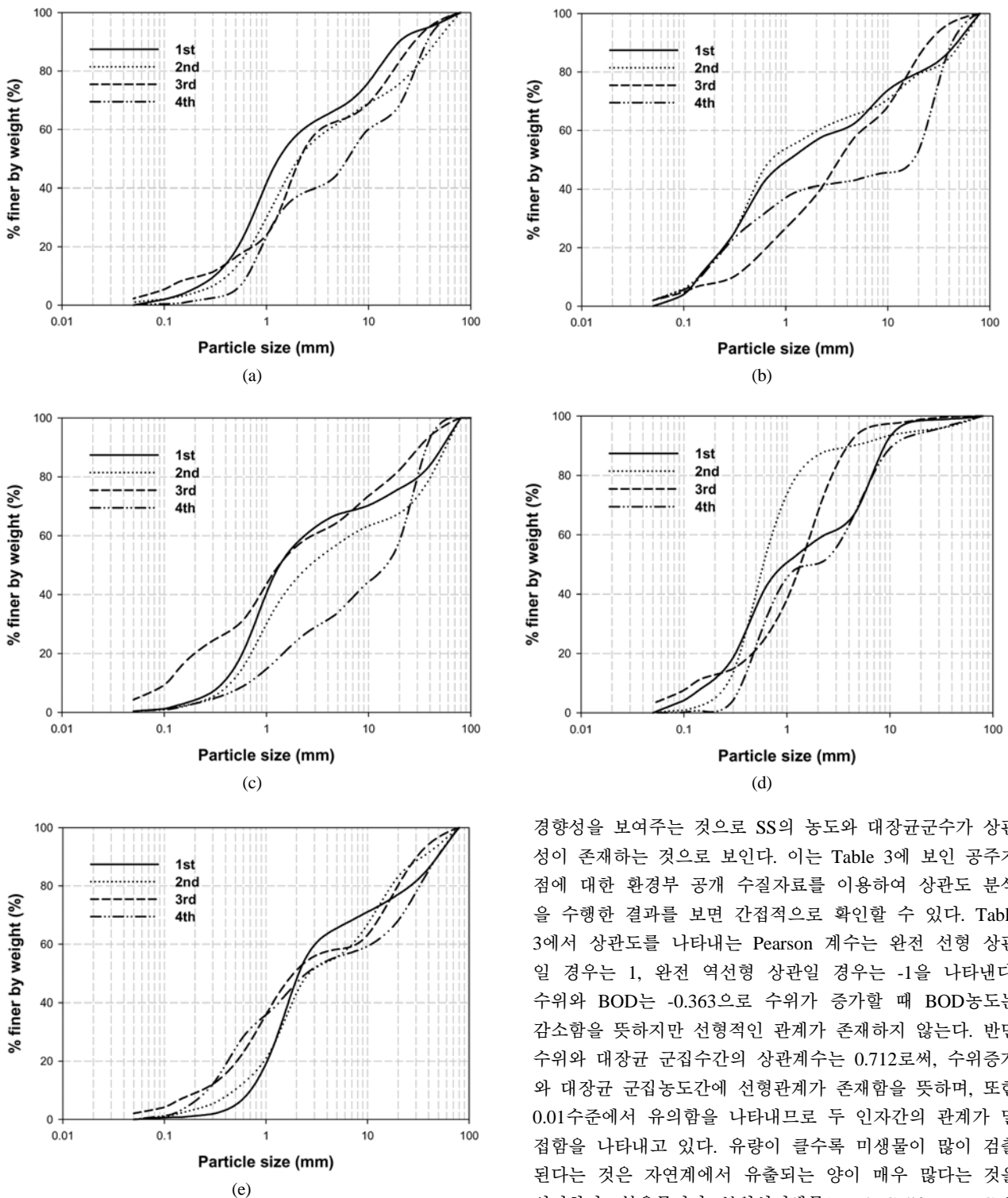


Fig. 3. Cumulative particle size distribution of the sediment monitored from each site at sampling time. (a) Hyundo, (b) Maepo, (c) Bukang, (d) Geumnam, (e) Gongju

에서 평균 49 /mL로 가장 낮은 수치를 보여주고 있고, 현도지점에서 평균 120 /mL로 가장 높은 수치를 보여주고 있다. 그리고 유량이 비교적 많은 7월, 8월 중에 대장균균수가 높게 나타나는 것을 보여주고 있다. 이것은 SS와 같은

경향성을 보여주는 것으로 SS의 농도와 대장균균수가 상관성이 존재하는 것으로 보인다. 이는 Table 3에 보인 공주지점에 대한 환경부 공개 수질자료를 이용하여 상관도 분석을 수행한 결과를 보면 간접적으로 확인할 수 있다. Table 3에서 상관도를 나타내는 Pearson 계수는 완전 선형 상관일 경우는 1, 완전 역선형 상관일 경우는 -1을 나타낸다. 수위와 BOD는 -0.363으로 수위가 증가할 때 BOD농도는 감소함을 뜻하지만 선형적인 관계가 존재하지 않는다. 반면 수위와 대장균 균집수간의 상관계수는 0.712로써, 수위증가와 대장균 균집농도간에 선형관계가 존재함을 뜻하며, 또한 0.01수준에서 유의함을 나타내므로 두 인자간의 관계가 밀접함을 나타내고 있다. 유량이 클수록 미생물이 많이 검출된다는 것은 자연계에서 유출되는 양이 매우 많다는 것을 의미한다. 부유물질과 분원성미생물(Fecal Coliform, FC)의 상관도가 높은 것은 비점원에서 토사가 유출되는 경우와 퇴적물이 부상되는 경우로 나눌 수 있을것이다. 총대장균균과 분원성대장균의 농도는 상관도가 낮다. 이상을 종합하여 보면, 분변오염물질이 다량포함되어 있는 비점원과 유량의 증가와 상관도가 없음을 나타내고 있다.

Fig. 6는 각 지점에서 퇴적물의 COD, OC농도변화를 보이고 있다. 현도와 매포의 COD값은 5500 mg/kg이며, 하류로 갈수록 낮아지는 경향을 보이고 있다. 이는 Table 2에

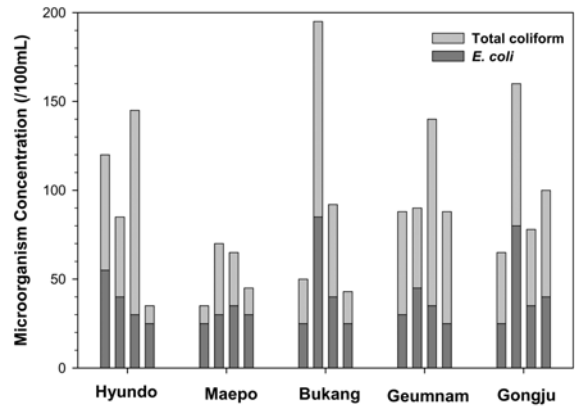
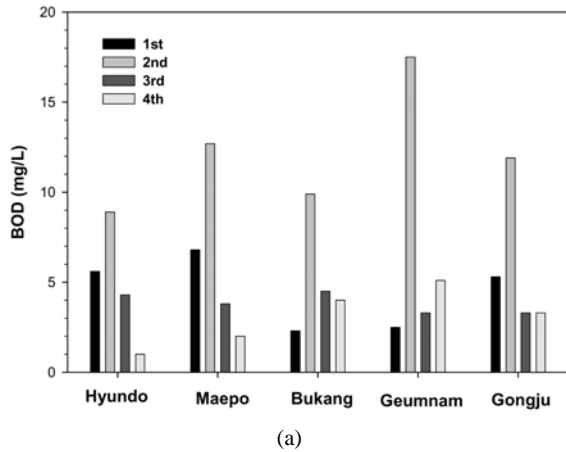


Fig. 5. Total coliform and *E. coli* concentrations of surface water at sampling sites during sampling campaign.

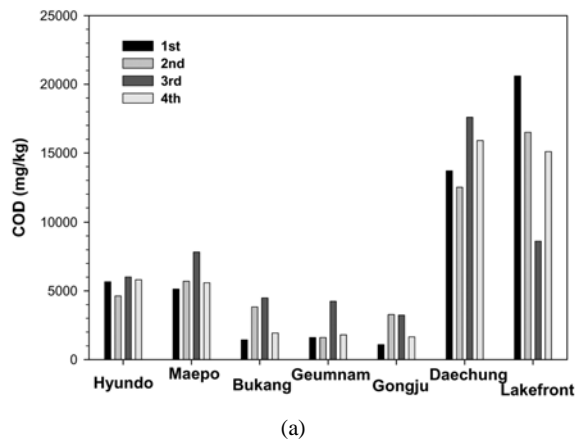
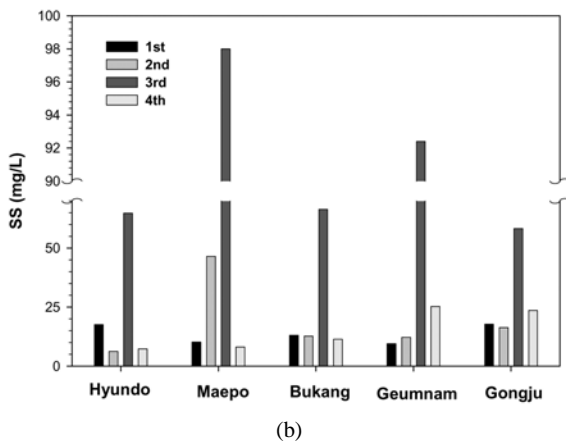


Fig. 4. Concentrations of overlying water from each site at sampling time. (a) BOD(Biochemical oxygen demand), (b) SS(suspended solid)

보인 바와 같이 현도와 매포 지점의 세립토 비율이 그 하류지점과 비하여 비교적 높은 것과 일치하는 결과이다. 퇴적물 OC함량은 0.3~2.3% 범위로 호소의 퇴적물보다 낮은 유기물 함량이 측정되었다. 현도 지점은 2차 측정 시기에 증가하였다가 3차, 4차 측정시기에는 1차 시기에 측정된 함량보다 낮게 다시 감소하였으며, 매포는 1차 이후 지속적으로 증가하다 4차 측정 시기에 다시 감소하였다. 부강은 3차 시기에만 높은 수치를 나타냈고 공주는 초기 측정 이후 크게 변하지는 않았으나 미량 감소하였다. 전체적으로 봤을 때 모든 지점에서 1차 측정시기보다 4차 시기에 보다 낮은 유기물 함량을 나타내고 있다. 농업지역과 수변지역의 COD는 9,000~20,000 mg/kg 및 OC함량은 2~6%로 금강하

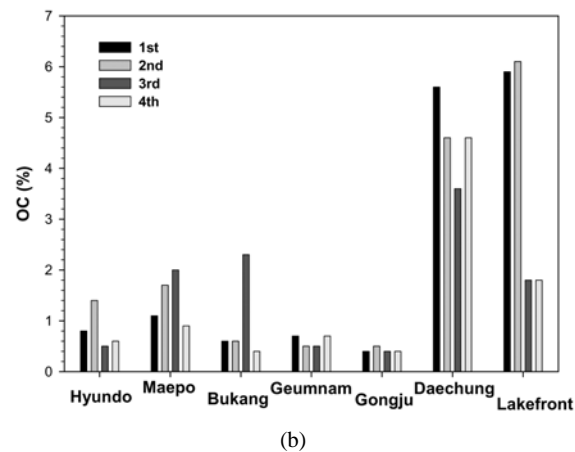


Fig. 6. COD(Chemical Oxygen Demand) and OC(Organic Carbon Content) of sediment from each site at sampling time.

Table 3. Pearson correlation coefficients between water level and water quality concentrations

	Level	BOD	COD	SS	TC	FC
Level	1	-.363	-.252	.375	.712**	.018
BOD	-.363	1	.621**	.130	-.515**	.023
COD	-.252	.621**	1	.288	-.385	-.116
SS	.375	.130	.288	1	.192	.534**
TC	.712**	-.515**	-.385	.192	1	.134
FC	.018	.023	-.116	.534**	.134	1

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed)

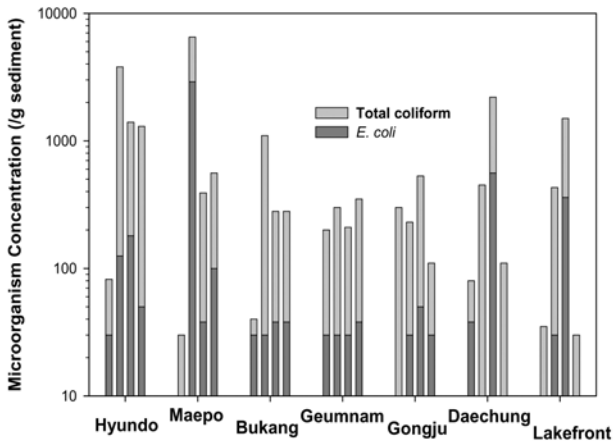


Fig. 7. Total coliform and *E. coli*. concentrations of sediment at sampling sites during sampling campaign.

류에 비하여 매우 높은 값을 보이고 있다.

Fig. 7은 각 지역에서의 퇴적물의 TC와 EC 농도를 보이고 있다. 전반적으로 현도지점퇴적물에 포함되어 있는 지표미생물 농도가 매우 높은 것을 보이고 있다. 평균기에 조사된 1차 조사자료를 보면 대장균 군수가 상대적으로 높지 않음을 알 수 있다. 유량이 높은 시기에 조사된 2차 조사자료에서 현도, 매포, 부강지역에서 많은 대장균군이 검출되었고 상류에서 하류로 이동할수록 대장균 군수가 감소하는 것을 확인할 수 있다. 퇴적물 중 TC 농도는 상등수와 비교하여 최대 93배, 평균 12배 높은 값을 보이고 있다. EC는 퇴적물이 최대 97배, 평균 6.2배 높은 값을 보이고 있다. 분석치 변동성을 보면 상등수와 퇴적물 모두 TC가 EC에 비하여 3배 정도 높은 값을 보이고 있다. 퇴적물과 상등수 지표미생물 농도에 대한 상관성 분석결과, TC는 0.04, EC는 0.11로서 뚜렷한 상관성이 없음을 알 수 있다.

4. 결론

지표수의 수질은 갈수기를 주 관심으로 하지만 수량이 비교적 풍부할 경우에도 수질이 악화되는 경우가 많이 있다. 특히 퇴적물은 상등수 수질에 직접적 영향을 미칠 뿐 아니라 상류의 오염물질이 축적되므로 퇴적물과 상등수 수질간 관계를 파악하는 것이 중요하다. 퇴적물에 포함되어 있는 지표미생물 농도를 모니터링하기 위하여 금강 하류에 위치한 현도, 매포, 부강, 금남, 공주 지점과 농업지역 및 호소 수변지역에서 수질 시료와 퇴적물 시료를 4회에 걸쳐 시료를 채취하여 총대장균군과 분원성대장균 농도를 분석하였다.

금강하류 퇴적토는 대부분 입경 2 mm 이상인 자갈로 구성되어 있고 입경분포는 균등하지 않으며, 하류로 갈수록 세립토의 비율이 낮아지는 추세를 보이고 있다. 모니터링 자료와 환경부 공개자료를 분석한 결과 유량이 클수록 지표미생물이 많이 검출되는 경향을 보였는데 이는 자연계에서 유출되는 총대장균군 양이 매우 많다는 것을 의미한다. 총대장균군과 분원성대장균 농도간 상관도는 낮으며, 이는

분변오염물질이 다량포함되어 있는 비점원과 유량의 증가와 상관도가 없음을 나타내고 있다. 현도와 매포의 COD값은 5500 mg/kg이며, 하류로 갈수록 낮아지는 경향을 보이고 있다. 전반적으로 모든 지점에서 1차 측정시기보다 4차 시기에 보다 낮은 유기물 함량을 나타내고 있다. 농업지역과 수변지역의 COD는 9,000~20,000 mg/kg 및 OC함량은 2~6%로 금강하류에 비하여 매우 높은 값을 보이고 있다. 퇴적물 중 TC 농도는 상등수와 비교하여 최대 93배, 평균 12배 높은 값을 보였으며 EC는 퇴적물이 최대 97배, 평균 6.2배 높은 값을 보였다. 분석치 변동성을 보면 상등수와 퇴적물 모두 TC가 EC에 비하여 3배 정도 높은 값을 보였다. 퇴적물과 상등수 지표미생물 농도에 대한 상관성 분석결과, TC는 0.04, EC는 0.11로서 뚜렷한 상관성이 없었다.

사 사

이 논문은 2009년도 한남대학교 학술연구조성비 지원에 의하여 연구되었습니다. 시료의 채취와 분석은 정우혁, 한정민의 도움을 받았으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

국토해양부(2009). 국가수자원관리 종합정보시스템. <http://www.wamis.go.kr/>.

김진하(2006). 점원, 비점원에서 발생하는 지표미생물의 사멸률. *수질보전 한국물환경학회지*, **22**(6), pp. 1075-1081.

김영수, 석원석, 이춘성, 정의호, 이해금(1993). 북한강 상류 수계 및 동해연안 하천의 대장균군 분포. *수질보전 한국물환경학회지*, **9**(2), pp. 75-83.

해양수산부(2005). 해양환경공정시험법.

환경부(2000). 수질오염공정시험법.

APHA, AWWA, and WEF (1998). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20th ed.*, Washington DC., USA.

Baudisova, D. (1997). Evaluation of Escherichia coli as the main indicator of faecal pollution. *Water Science and Technology*, **35**(11-12), pp. 333-336.

Ben-Dan, T. B., Shteinman, B., Kamenir, Y., Itzhak, O., and Hochman, A. (2001). Hydrodynamical effects on spatial distribution of enteric bacteria in the Jordan River - Lake Kinneret contact zone. *Water Research*, **35**(1), pp. 311-314.

Borst, M. and Selvakumar, A. (2003). Particle-associated microorganisms in stormwater runoff. *Water Research*, **37**(1), pp. 215-223.

Burton, G. A., Gunnison, D., and Lanza, G. R. (1987). Survival of pathogenic bacteria in various fresh-water sediments. *Applied and Environmental Microbiology*, **53**(4), pp. 633-638.

Chapman, D. (1996). *Water Quality Assessment 2nd ed.*, Spon Press.

Crabill, C., Donald, R., Snelling, J., Foust, R., and Southam, G. (1999). The impact of sediment fecal coliform reservoirs on seasonal water quality in Oak Creek, Arizona. *Water Research*, **33**(9), pp. 2163-2171.

- Garrido-Perez, M. C., Anfuso, E., Acevedo, A., and Perales-Vargas-Machuca, J. A. (2008). Microbial indicators of faecal contamination in waters and sediments of beach bathing zones. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, **211**(5-6), pp. 510-517.
- Grimes, D. J. (1975). Release of sediment-bound fecal coliforms by dredging. *Applied and Environmental Microbiology*, **29**(1), pp. 109-111.
- Grimes, D. J. (1980). Bacteriological water quality effects of hydraulically dredging contaminated upper Mississippi River bottom sediment. *Applied and Environmental Microbiology*, **39**(4), pp. 782-789.
- Haller, L., Amedegnato, E. F., Potcoq, J., and Wildi, W. (2009). Influence of Freshwater Sediment Characteristics on Persistence of Fecal Indicator Bacteria. *Water, Air, & Soil Pollution*, **203**(1), doi: 10.1007/s11270-009-0005-0.
- Julien, P. Y. (2002). *River Mechanics*. Cambridge University Press.
- Kaiserli, A., Voutsas, D., and Samara, C. (2002). Phosphorus Fractionation in Lake Sediments - Lakes Volvi and Koronia, N. Greece. *Chemosphere*, **46**(8), pp. 1147-1155.
- Kim, G., Choi, E., and Lee, D. (2005). Diffuse and point pollution impacts on the pathogen indicator organism level in the Geum River, Korea. *Science of the Total Environment*, **350**(2005), pp. 94-105.
- Mahler, B. J., Personne, J. C., Lods, G. F., and Drogue, C. (2000). Transport of free and particulate-associated bacteria in karst. *Journal of Hydrology*, **238**(3-4), pp. 179-193.
- Mitchell, J. K. (1993). *Fundamentals of Soil Behavior* 2nd ed, Wiley Inter-Science, New York.
- Schillinger, J. E. and Gannon, J. J. (1985). Bacterial Adsorption and Suspended Particles in Urban Stormwater. *Journal Water Pollution Control Federation*, **57**(5), pp. 384-389.
- Sherer, B. M., Miner, J. R., Moore, J. A., and Buckhouse, J. C. (1992). Indicator Bacterial Survival in Stream Sediments. *Journal of Environmental Quality*, **21**(4), pp. 591-595.
- Smith, J. E. and Perdek, J. M. (2004). Assessment and management of watershed microbial contaminants. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, **34**(2), pp. 109-139.
- Wheeler Alm, E., Burke, J., and Spain, A. (2003). Fecal indicator bacteria are abundant in wet sand at freshwater beaches. *Water Research*, **37**(16), pp. 3978-3982.