

토양특성에 따른 강변여과수의 수질에 관한 연구

나현영¹ · 권대영^{2*}

¹인제대학교 토목공학과

²인제대학교 토목공학과(건설기술 연구소)

Study on the Water Quality of Bank Filtration Depending on Soil Characteristics

Hyeon Young Na¹ · Dae Young Kwon^{2*}

¹Department of Civil Engineering, Inje University

²Department of Civil Engineering, Inje University (Construction Technology Resarch Center)

ABSTRACT

In this research, soil analysis and adsorption were conducted, and compared with the water quality of bank filtration and river in terms of TS, TDS, SS, NH₄-N, NO₃-N, NO₂-N, Fe, Mn, BOD and KMnO₄ consumption for the development of bank filtration in Gimhae city. Analysis of soil showed high levels of Fe (470 mg/kg), Mn (80 mg/kg) and NH₄-N (15 mg/kg). Also, adsorption coefficient values (*k* and *1/n*) were 0.00159 and 0.8714, respectively. This implies that the adsorption of the soil depends on organic matter. Water quality of the river and the bank filtration revealed that the concentrations of TS and TDS almost didn't change but the concentration of SS decreased 84% through the bank filtration. NH₄-N in the bank filtration was detected more than 1 mg/L which might be due to agricultural activities in the research area. NO₃-N was close to the detection limit owing to the removal by the adsorption. KMnO₄ consumption and BOD of the river were decreased by the bank filtration 250% and 350%, respectively, while Fe and Mn were significantly increased by the bank filtration.

Key words : Bank filtration, River water, Soil analysis, Adsorption, Fe, Mn

1. 서 론

우리나라는 1960년대 이후 급격한 산업화와 도시화를 거치면서 인해 심각한 용수난을 겪고 있으며 이로 인한 하천의 오염도 갈수록 심해지고 있다. 전국의 상수도 취수장 561개소 중 상수원수 3급수에 해당하는 곳이 30개소에 이른다(창원시, 2003a). 우리나라의 상수원수 취수는 주로 하천수 위주로 이루어지고 있으나 하천수의 수질오염이 나날이 증가하면서 1991년의 폐놀오염사고, 1994년의 유기용제오염사고 등 크고 작은 돌발수질오염사고(환경부·경상남도, 2000)에 대한 대응 등의 문제점을 가지고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위한 고도정수처리기법 등이 도입되어지고 있으나 근본적 수질오염의 취약성

문제를 해결하기에는 한계를 가지고 있다. 이러한 수질적 안정성 확보를 위해 하천수 중심의 취수 방식을 개선하고, 고도처리 고비용의 문제를 해결하기 위해 강변여과수, 직접인공함양, 지하담 등을 활용한 양질의 수자원 확보에 대한 중요성이 부각되고 있다(박영규, 1995; Kuehn and Wolfgang, 2000). 특히, 낙동강 유역의 하류에 위치한 부산·경남지역은 상수원수의 대부분을 낙동강 하천수에 의존하고 있고 낙동강의 하상계수 등의 특성상 수질 자정에 장기간이 소요되며 낙동강 중상류 지역에 각종 산업이 유치되어 오염부하량이 높아 수질관리가 대단히 불리한 입장이다(박청길 외, 1993; 김범철 외, 1995). 또한 낙동강 상류도시와 하류도시 간의 물 분쟁 문제, 수자원 다원화 요구 등으로 낙동강 하류의 총적층을 활용하는 강변여과수

*Corresponding author : dykwon@inje.ac.kr

원고접수일 : 2010. 10. 12 심사일 : 2011. 4. 1 게재승인일 : 2011. 4. 6
질의 및 토의 : 2012. 2. 29 까지

개발 사업이 추진되어지고 있다(환경부 · 경상남도, 2000).

강변여과수 취수방식은 1810년 영국 글래스고 수도국에서 세계 최초로 도입하였으며, 그 이후 유럽, 미국 등 선진국에서는 강변퇴적층의 자정능력을 이용한 취수원 개발을 시행하였고 특히, 독일에서는 19세기 후반부터 라인 강변에서 강변여과수를 취수하여 음용수로 사용하여 왔다. 네덜란드, 프랑스, 오스트리아, 스웨덴, 미국, 호주, 일본, 중국, 이스라엘 등 여러 나라에서도 간접 또는 직접 인공함양 방식에 의해서 취수원을 개발하고 있다. 독일의 뒤셀도르프 정수장과 오스트리아의 빈 정수장은 유럽의 대표적인 강변여과 취수장이고, 하천수를 주변의 충적층에 함양시켜 취수하는 인공함양방식의 정수장으로는 네덜란드의 암스테르담 정수장, 독일의 에센 정수장, 프랑스의 크로와시 정수장 등이 있다(김형수 · 함세영, 2009). 우리나라에서는 1990년대부터 5대강 유역의 강변여과수 개발 타당성 조사가 실시되었다(한국수자원공사 1995, 1996, 1998, 1999, 2002; 환경부 외, 1996; 창원시, 1999, 2003b).

강변여과 취수방법은 강변에 자연적으로 존재하는 충적층의 오염저감 능력을 이용하여 간접취수하는 방식으로 원수를 장기간 강변의 대수층에 체류시켜 자연의 자정작용을 이용하여 원수중의 오염물질과 독소를 제거한 후 취수하므로 퇴적층의 분포가 양호한 지역에서는 매우 효율성이 좋은 방안이다. 장점으로는 흡착에 의한 탁도 유발물질 제거, 균등한 수질의 여과수 확보, 병원성 미생물 제거, 생분해 가능한 유기물 분해 등으로 인해 안정적인 수원을 확보할 수 있다는 점이다(Kuehn and Wolfgang, 2000). 반면, 단점으로는 배후 농지에 존재하는 오염물질이 자연 지하수를 통하여 강변여과수에 혼입되어 수질오염을 일으킬 수 있다는 점이다. 또한 토양에 존재하는 높은 철(Fe), 망간(Mn)이 강변여과수중으로 녹아들어 여러 문제들을 유발시킬 수 있는 점을 들 수 있다(Williams et al., 1986).

낙동강 하류에 위치한 G시 지역은 상수원수의 대부분을 오염에 취약한 낙동강 하류지역의 하천수에 의존하고 있어서 수질사고의 빈발과 수질악화로 정수비용이 증가하는 등 하천에서의 직접 취수여건이 날로 불리해졌다. 이에 G시는 하천수 취수방식에서 간접취수방식인 강변여과수로 전환하여 양질의 원수 확보 및 이를 고도처리한 맛좋은 식수를 시민들에게 공급할 수 있는 방안을 마련하고자 한다. 본 연구에서는 G시의 강변여과수 개발을 위해 수행한 대상지역의 토양분석 결과와 Batch Test를 통해 획득한 토양의 흡착특성 그리고 7개월간의 주요 수질 항목 모니터링을 통해 얻은 낙동강 하천수와 강변여과수의 비교데이터를 제시하고자 하였고 이를 바탕으로 향후

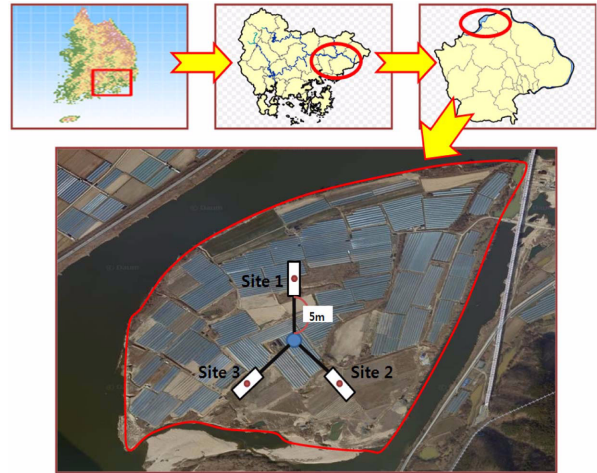


Fig. 1. The study area and sampling sites.

강변여과수 개발에 하나의 유용한 지침을 제공함을 주요 목적으로 한다.

2. 연구대상 지역

본 연구의 대상지역을 Fig. 1에서 나타내었다. 대상지역은 밀양강과 낙동강이 합류되는 지점으로, 두 강의 유수에 의해 형성된 사구이다. 주변부 또한 대부분 낙동강과 밀양강의 유수의 영향으로 형성된 퇴적층으로 상부는 소량의 실트 섞인 세립질 모래가 우세하고 하부는 패각을 소량 함유한 실트, 점토가 혼재한 모래, 사질 자갈이 우세한 토질로 강의 주변부를 따라 비교적 넓은 평야를 형성하고 있다. 대상지역 대수층의 수직적인 지질층서를 시추조사한 결과, 상부 23 m 구간에는 모래층이 존재하며 그 하부에는 2 m 두께의 점토로 구성된 불투수층이 형성되어 있었다. 점토층의 하부에는 대략 10 m 두께의 고투수성 자갈층이 존재하여 누수 피압대수층을 형성하고 있으며, 자갈층의 하부에는 불투수성 암반층으로 구성되어 있었다.

3. 토양오염도 및 토양의 흡착특성

연구대상지역은 오랜 기간 농경지로 개발·이용되고 있었다. 따라서 이의 영향을 검토하기 위한 토양분석 및 토양의 흡착특성실험을 수행하였다. 이를 위한 시료는 경작 형태별로 대상지역을 대표할 수 있는 토양시료를 채취하기 위해 Fig. 1과 같이 대상지역의 중심을 기준으로 주변 4방위의 5~10 m 거리에 있는 3개 지점을 선정하여 토지이용형태에 따라서 시료를 분석하였다.

Table 1. The result of soil analysis in the study area

Site ingredient	Site 1	Site 2	Site 3
Fe (mg/kg)	825	56	530
Mn (mg/kg)	118	30	91
NH ₄ -N (mg/kg)	9	7	30
NO ₃ -N (mg/kg)	Below 0.33	Below 0.05	Below 0.14
NO ₂ -N (mg/kg)	0.150	0.120	0.205

3.1. 실험재료 및 방법

연구 대상지역의 토양오염도분석은 철, 망간, NO₃-N, NH₄-N, NO₂-N의 항목에 관해 3개 지점의 시료를 이용하여 토양화학 분석법에 따라 전처리를 거친 후 수질오염공정시험으로 측정하였다. 시료채취는 채취 대상지점의 토양이 수직으로나 수평적으로 균일하지 않으므로, 채취한 시료가 대상지역의 토양을 대표할 수 있도록 주의를 기울여 시료를 채취하였다. 토양시료의 전처리 과정은 증류수 1000 ml에 HCl 10 g을 넣어 0.1 N 용액을 만들고, 시료 10 g에 용액 50 ml를 첨가해서 혼합하여 filtering 후 분석하였다. 연구대상지역 3개 지점의 심도별 평균값을 토양 1 kg당 포함되어 있는 양으로 환산하여 Table 1에 나타내었다.

토양에서의 평형농도에 따른 흡착정도를 결정하기 위한 batch test는 흡착제로는 토양오염도 조사를 위한 3개 Site의 시료를 사용하였고, 피흡착제로는 KCl용액을 사용하였다. 흡착제(토양)를 바이알에 적정한 후 KCl 50 meq/L 용액을 50 ml씩 적정하여 각 바이알에 넣고 회전혼합기에 넣고 약 72시간동안 흔들여 준다. 바이알을 원심분리기에 넣고 4,500 rpm으로 10분간 분리하고 여과기에 watman fiber filter를 설치하고 여과시킨 후 전도율계를 이용하여 농도를 측정하였다.

3.2. 토양오염도

연구 대상지역의 철과 망간의 경우 Site 1과 Site 3이 Site 2에 비해 상당히 많은 양으로 검출되었는데, 이는 두 지역이 비닐하우스 밑집지역으로 보온유지를 위해 지하수를 양수한 것이 원인인 것으로 추론된다. 양수된 지하수를 버리는 과정에서 철과 망간이 농축된 결과로 판단된다. 또한 NH₄-N는 Site 3지역이 다른 지역에 비해 상대적으로 많이 검출되었는데, 이는 이 지역의 비닐하우스에서 작물 재배를 위해 과량으로 사용된 비료나 퇴비가 주된 원인으로 판단된다. 나머지 항목인 NO₃-N와 NO₂-N은 비슷한 양의 검출량을 보였지만, 그 양은 미미하였다.

3.3. 토양의 흡착특성

토양에서의 오염원 이송을 고려할 때에 흡착문제는 매우 중요한 요소인데 입자 표면이나 경계면에서 일어나는 흡착은 대개 각 원자나 이온 또는 분자사이의 결합력에 의한 결과이다. 흡착은 주로 세 가지의 중요한 형태(이온 교환적, 물리적, 화학적)로 구분된다(weber et al., 1970). 이온교환적 흡착은 전기적 친화력에 의한 흡착제 표면상으로 피흡착제의 이동을 의미한다. 물리적 흡착은 van der Waals force에 의한 흡착을 의미하며, 화학적 흡착은 피흡착제의 화학적 형태를 변화시키는 반응에 의한 흡착 현상이다. 흡착정도는 피흡착제의 용해성과도 관계한다. 즉, 용매에 대한 친화성이 큰 용질일수록 흡착정도가 낮다고 할 수 있다. 흡착에 영향을 주는 피흡착제 인자로는 농도, 분자의 크기, 분자량, 분자구조, 분자공극, 그리고 입체구조 등이 있고 흡착제 인자로는 입자의 물리적 크기나 형태 등이 있다(I. Abe et al., 1983). 또한 system자체의 pH나 온도도 영향을 미치게 된다. 흡착제가 용액 중에 있을 때 오염원이 흡착제에 흡착하므로 초기 농도 C₀로부터 평형농도 C_e에 이를 때까지 오염원의 농도가 감소하게 된다. 오염원이 흡착제에 부착하는 시간은 슬러리테스트(slurry test)를 통하여 측정할 수 있는데 일반적으로 1시간에서 4시간의 시간동안 평형농도에 도달하는 것으로 알려져 있다. 평형농도와 흡착제에 흡착된 오염원 양과의 관계는 흡착등온(adsorption isotherm)으로 표시하는데 식 (1)는 가장 일반적으로 사용되는 Freundlich 흡착등온식이다.

$$\frac{x}{m} = X = kC_e^n \tag{1}$$

여기서, x는 흡착된 오염원의 양, m은 흡착제의 양, X는 고체상의 중량비(mass ratio of the solid phase)로서 흡착제 양에 대한 흡착된 오염원의 중량을 의미한다. C_e는 용액의 평형농도이며, k, n은 경험상수이다. Batch test를 통하여 얻는 자료는 각 토양별 평형농도와 토양이 흡착한 이온의 양이다. 실험시 사용된 KCl 농도와 흡착제양은 Table 2과 같으며 획득된 평형농도와 고체상 중량비의 관계는 Table 3 및 Fig. 2와 같다. 흡착등온식의 상수들(k, n)은 평형농도와 고체상의 중량비의 관계를 분석하여 결정하게 되는데 식(1)과 같이 Freundlich 흡착등온식은 지수관계로 구성되어 있기 때문에 각 자료를 log-log graph로 도시하여 선형 회귀식을 추적하는 방법으로 흡착등온식의 상수를 추정하게 된다. Table 3의 결과를 이용하여 흡착 상수를 추적하였으며, 각 시료의 흡착계수는 Table 4와 같다. 일반적으로 흡착분배계수가 높은 경우 토양중에 유

Table 2. KCl concentration and absorbent amount used for the experiment

KCl concentration	Absorbent	KCl concentration	Absorbent	KCl concentration	Absorbent
0.01 mol	5 g	0.03 mol	5 g	0.05 mol	5 g
	10 g		10 g		10 g
	15 g		15 g		15 g

Table 3. Relationship of equilibrium concentration and solid state weight ratio

		0.01 mol			0.03 mol			0.05mol		
		5 g	10 g	15 g	5 g	10 g	15 g	5 g	10 g	15 g
Site 1	A (mg/g)	0.349	0.227	0.217	0.778	0.543	0.424	1.064	0.748	0.622
	B (mg/L)	0.711	0.700	0.680	2.159	2.128	2.109	3.622	3.578	3.541
Site 2	A (mg/g)	0.429	0.261	0.190	0.346	0.512	0.588	1.435	1.273	0.910
	B (mg/L)	0.703	0.693	0.688	2.202	2.134	2.060	3.584	3.473	3.455
Site 3	A (mg/g)	0.553	0.316	0.236	1.580	1.191	1.226	2.360	1.643	1.733
	B (mg/L)	0.690	0.682	0.675	2.079	1.998	1.869	3.492	3.399	3.208

A: A solid state weight ratio, B: Equilibrium concentration

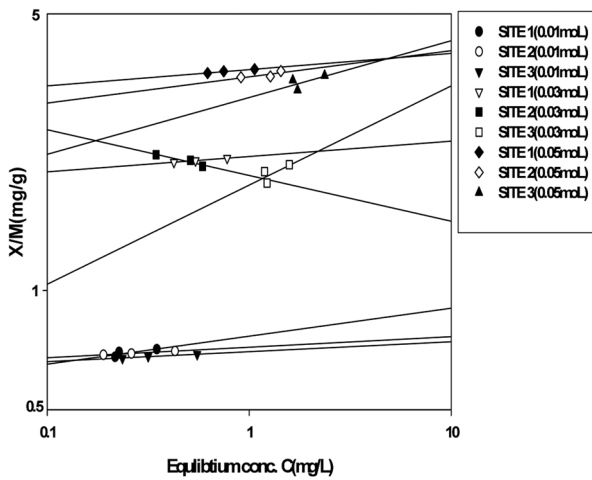


Fig. 2. Adsorption isotherms.

기화합물의 흡착량이 높음을 나타내며, 흡착상수는 토양 중에 흡착된 유기화합물의 양과 수용액 평형 농도와의 직선성의 정도를 나타낸다. Table 4에서 k 값은 0.000277~0.00278의 범위를 가지며 Site 1에서의 유기물 흡착량이 가장 높다고 판단된다. $1/n$ 값은 0.6919~1.0981로 비선형 정도가 다양하게 분포하였으며 $1/n$ 의 값이 1보다 크면 점토함량에 따라 흡착이 좌우되고, $1/n$ 의 값이 1보다 작으면 유기물함량에 따라 흡착이 좌우된다(Toru and Yoshiro, 1982)는 이론에 근거해 볼 때, Site 1과 Site 2는 점토함

Table 4. Adsorption coefficient of each sample

Sample	k	$1/n$
Site 1	0.00278	0.6919
Site 2	0.00150	0.8242
Site 3	0.00028	1.0981

량에 따라 흡착이 좌우되고 Site 3는 유기물함량에 따라 흡착이 좌우된다고 판단된다.

4. 하천수와 강변여과수의 수질비교

4.1. 실험재료 및 방법

연구기간 동안 연구지역의 하류인 낙동인도교 남쪽 하천수를 1회/월 주기로, 강변여과수에 대해서는 1회/2주의 주기로 Site 1, 2, 3 지역 취수정에서 채수하였으며 주요 수질측정 항목으로 TS, TDS, SS, NH_4-N , NO_3-N , $KMnO_4$ 소비량, BOD, 철, 망간을 수질공정시험법에 준하여 분석하였다.

4.2. TS, SS 및 TDS

하천수와 강변여과수의 월별 TS, SS 및 TDS의 농도변화를 각각 Fig. 3, 4와 5에 나타내었다. 또한 TS, SS 및 TDS의 평균값을 Table 5에 나타내었다. 그림들과 표에서

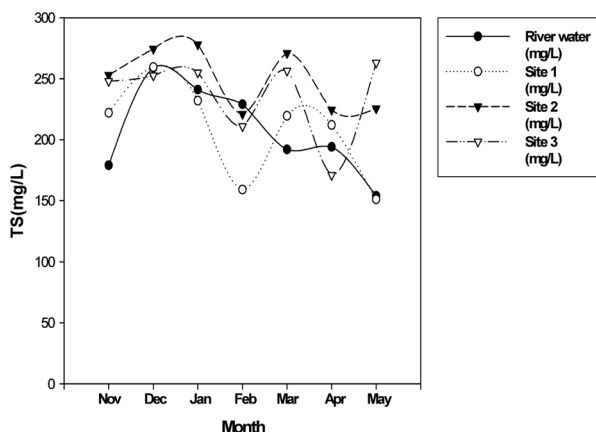


Fig. 3. TS of river water and bank filtration.

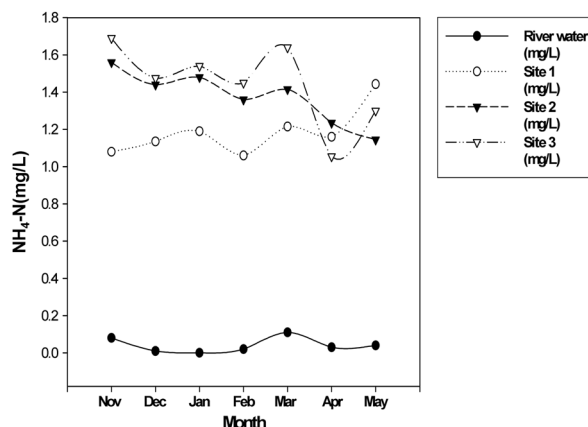


Fig. 6. NH₄-N of river water and bank filtration.

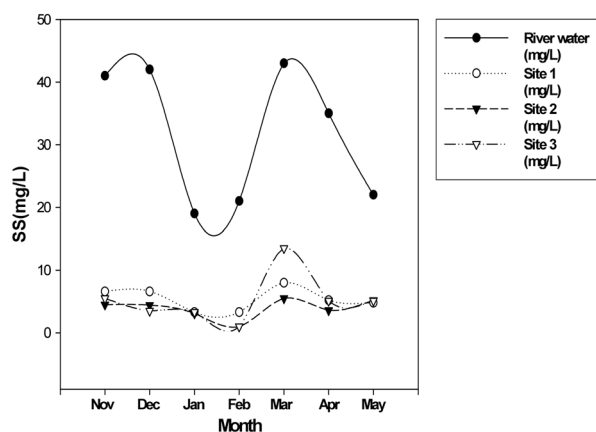


Fig. 4. SS of river water and bank filtration.

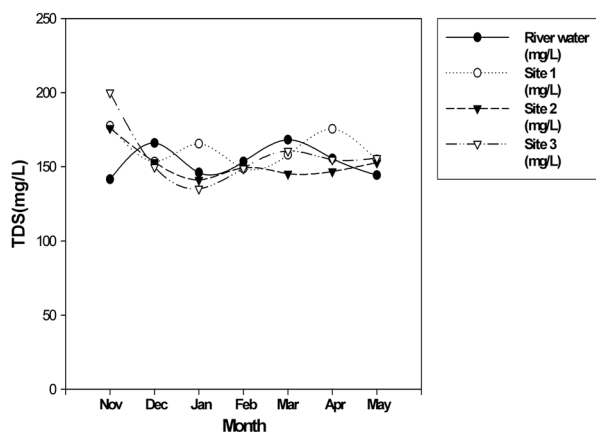


Fig. 5. TDS of river water and bank filtration.

Table 5. Monthly average TS, SS and TDS of river water and bank filtration

	River water	Bank filtration
Monthly average TS (mg/L)	206.9	231.4
Standard deviation (mg/L)	34.5	24.7
Monthly average SS (mg/L)	31.9	4.9
Standard deviation (mg/L)	10.0	2.1
Monthly average TDS (mg/L)	153.6	157.2
Standard deviation	9.7	11.7

비슷한 농도를 보였지만 SS만이 대수층을 통과하는 강변 여과에 의해 84% 제거됨을 알 수 있었다. 이수영·정태학(2003)의 연구에서도 강변여과수의 TS 농도는 탁도가 높은 하천수가 대수층을 통과하면서 크게 감소하지만, 대수층을 통과하면서 토양을 구성하는 킬슘, 마그네슘, 나트륨, 칼륨, 염소, 규산, 중탄산, 철, 망간 등의 용존성 무기물질이 하성층적층내의 물-광물 반응으로부터 많이 용출되었으며, 이 결과로부터 본 연구내용과 일치함을 알 수 있었다.

4.3. NH₄-N과 NO₃-N

수중의 질소화합물은 유기성 질소와 무기성 질소로 존재하며, 이것이 생물학적 분해의 결과에 따라 각각 NH₄-N, NO₂-N, NO₃-N 등의 형태로 존재한다. 강변여과수는 일반적으로 하천수에 비하여 수질이 양호한 편이기는 하나, 배후지역에서의 과다한 시비, 축산폐수의 유입 등은 질소화합물의 오염을 유발할 수 있다. NH₄-N는 Fig. 6에서 보는바와 같이 본 연구기간 동안 모두 먹는 물 수질

보는 바와 같이 TS 농도는 하천수와 강변여과수 모두 연구기간동안 먹는 물 수질기준(500 mg/L 이하) 이하로 검출되었으며 하천수와 강변여과수의 TS와 TDS의 농도는

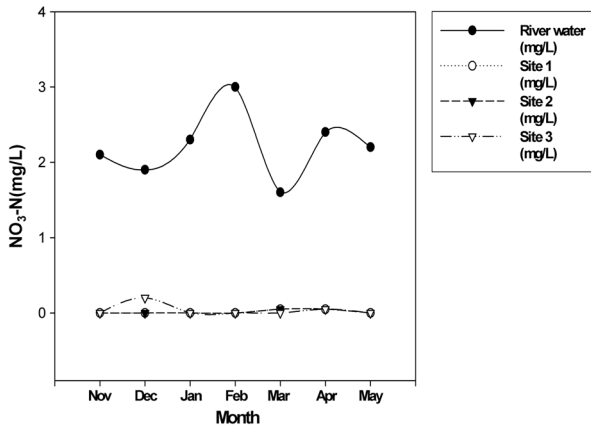


Fig. 7. NO₃-N of river water and bank filtration.

기준(0.5 mg/L 이하)을 초과하였다. 11월에서 5월 사이에 하천수의 NH₄-N 농도는 0.1 mg/L 이하로 상당히 낮게 유지되었으나 강변여과수는 모든 Site에서 1 mg/L 이상의 높은 수치가 검출되었다. 강변여과수의 NH₄-N이 높은 이유는 하저 퇴적층을 통한 경로와 취수정 주변으로부터 오염경로로 볼 수 있다. 일반적으로 하저퇴적층으로부터 원인이 되는 경우는 퇴적층에 쌓여있는 고체유기물(soil organic matter)이 bacteria에 의해서 분해된 암모니아로부터 발생한다. 암모니아가 물에 용해되면 암모늄이 되고 이의 일부는 표층부에서 질산화 bacteria에 의해서 산화되고 일부는 깊이 전달된다. 혐기조건하에서는 환원반응이 주를 이루며 이 조건에서 암모늄의 축적이 일어난다. 또 다른 경로의 취수정 주변 환경으로부터 원인이 되는 경우는 오염원이 외부인 경우와 주변퇴적층에서 원인이 있는 경우가 있다(이중석 · 추태호, 2005). 본 연구대상지역의 경우 취수정 주변지역 외부에 오염원이 있는 것으로 판단되는데 이는 연구수행 기간 중 대상지역은 겨울철에 비닐 하우스를 이용하는 등 일년 내내 딸기를 비롯한 작물의 재배가 활발히 이루어 졌으며, 이와 같은 농업활동에서 사용된 비료성분이 지하로 침투한 것으로 판단된다. Site 3에서의 NH₄-N농도가 Site 1과 Site 2에 비해 상대적으로 높게 나타났는데 이는 앞에서 살펴보았던 토양분석결과와 일치한다. Fig. 7은 하천수와 강변여과수의 NO₃-N농도를 보여주고 있는데, 하천수의 NO₃-N은 2.0~3.0 mg/L로 높게 나타난 반면 Site 1, Site 2 및 Site 3 모두 강변여과수의 NO₃-N은 거의 0 mg/L에 가까운 값을 보였다. 일반적으로 하천수에 있는 NO₃-N은 지하수로 유입되면 지하의 혐기조건에서 탈질소(Denitrification)과정을 통해서 N₂(g)로 제거된다고 보고되었고(이중석 · 추태호, 2005),

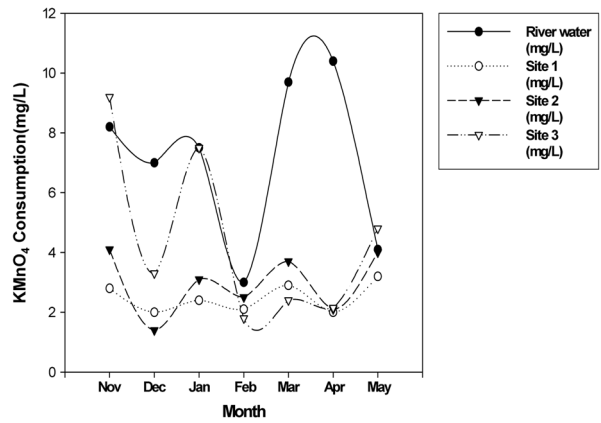


Fig. 8. KMnO₄ consumption of river water and bank filtration.

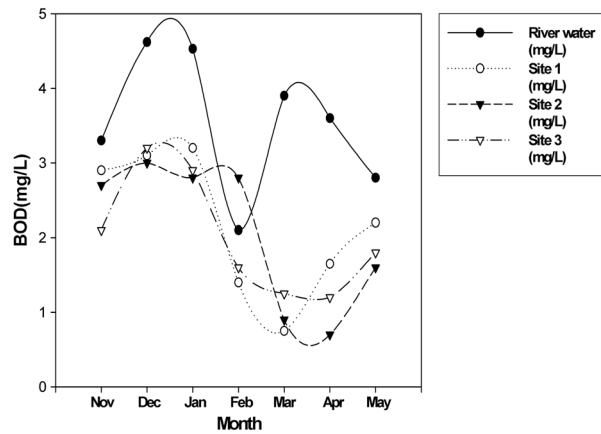


Fig. 9. BOD of river water and bank filtration.

이런 사실로 인해 하천수의 NO₃-N이 강변여과를 통해 그 농도가 감소되었다고 판단된다.

4.4. 유기물질(KMnO₄ 소비량, BOD)

하천수와 강변여과수의 유기물 특성을 파악하기 위하여 KMnO₄ 소비량과 BOD의 농도를 분석하여 Fig. 8~9에 나타내었다. Fig. 8는 하천수와 강변여과수의 KMnO₄ 소비량을 나타낸 것으로 하천수는 7.13 mg/L이며 강변여과수는 평균적으로 Site 1, Site 2 및 Site 3에서 각각 2.49 mg/L, 2.99 mg/L 및 4.45 mg/L이다. Fig. 9은 하천수와 강변여과수의 BOD를 나타낸 것으로 하천수는 3.17 mg/L이며 강변여과수는 평균적으로 Site 1, Site 2 및 Site 3에서 각각 0.95 mg/L, 1.04 mg/L 및 0.81 mg/L이다. 이는 강변여과에 의해 KMnO₄ 소비량은 1.6~3배, BOD는 3~4배 감소하는 것을 보여주는 결과이다. 이와 같이 토양에 유입된 유기물은 토양입자에 흡착되거나 용해된 상태로 존재하며, 용해된 유기물분자는 토양에 흡착된 유기물

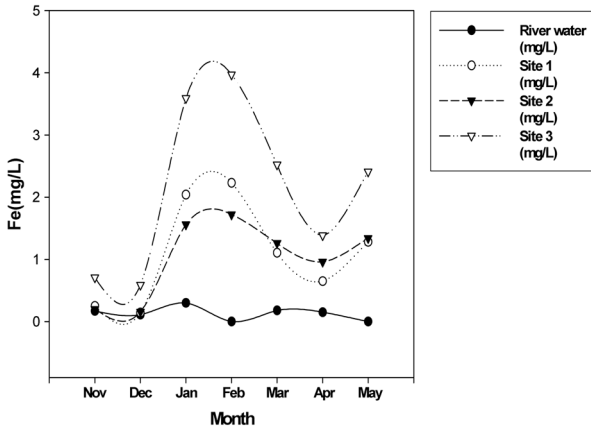


Fig. 10. Fe of river water and bank filtration.

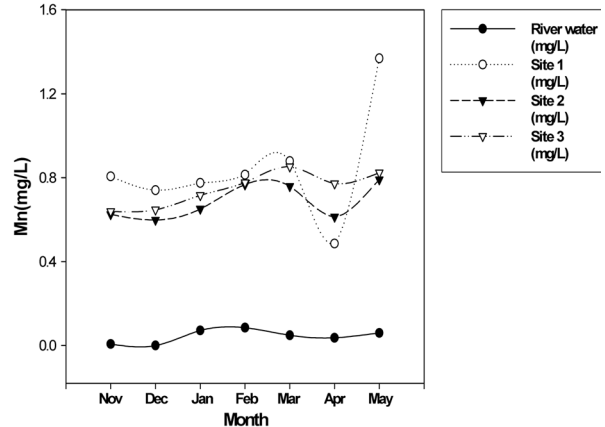


Fig. 11. Mn of river water and bank filtration.

분자에 비해 빛, 미생물에 의한 분해, 대기 중으로의 휘발 그리고 다른 작용기와의 결합 등에 쉽게 노출되어 있다. 반면에 토양에 흡착된 유기물분자는 기권이나 수권으로 쉽게 이동하거나 분해되지 않고 토양 내에 잔류하게 된다 (정현정, 2004). 그러므로 연구지역의 토양 또한 Table 4의 흡착특성을 가지기 때문에 Fig. 8~9처럼 유기물질의 흡착제거 특성이 있다고 판단되어진다.

4.5. 철과 망간

Fig. 10에 하천수와 강변여과수의 철농도를 나타내었다. 그림에서 보는바와 같이 하천수에 비해 강변여과수의 철농도가 높게 검출되었다. 특히 1월과 2월에 Site 3의 철농도는 4 mg/L에 가까운 값이었다. 측정된 철의 평균농도는 하천수가 0.13 mg/L였으나 Site 1, Site 2 및 Site 3는 각각 1.1 mg/L, 1.03 mg/L 및 2.17 mg/L였다. 이는 함안군 칠서면(0.07 mg/L), 창원시 북면(0.06 mg/L), 창원시 대산면(0.03 mg/L)의 철농도(김형수 · 함세영, 2009)에 비해 약 15~70배 높은 수치이다. 이러한 결과는 연구지역인 G시가 예전부터 철 생산지로서(김 외, 2001) 양수정 주변 토양에서의 광물성분의 유출에 의한 결과라 여겨진다.

Fig. 11에 하천수와 강변여과수의 망간농도를 나타내었다. 그림에서 보는바와 같이 하천수에 비해 강변여과수의 망간농도가 높게 검출되었다. 측정된 망간의 평균농도는 하천수가 0.04 mg/L인데 Site 1, Site 2 및 Site 3는 각각 0.84 mg/L, 0.69 mg/L 및 0.75 mg/L였다. 이는 함안군 칠서면(0.64 mg/L), 창원시 북면(0.89 mg/L), 창원시 대산면(1.00 mg/L)의 망간농도(김형수 · 함세영, 2009)와 비슷한 수치이다. 이것은 지하에 함유되어 있는 철, 망간 성분이 환원되어 검출되는 것으로 판단되어진다.

5. 결론 및 고찰

본 연구는 낙동강 하류에 위치한 G시의 강변여과수 개발 대상지역의 토양분석과 토양흡착 특성을 파악하고 11월~5월간 강변여과수와 하천수의 수질을 비교 분석하여 아래와 같은 결론을 얻었다.

1. 연구대상지역에서 선정된 3개 지점에서 철과 망간은 3개 지점 모두 매우 높은 수치를 보였으며, 특히 Site 1과 Site 3에서 상당히 많은 양이 검출되었다. NH₄-N은 비료가 과다 사용된 Site 3지역에서 상대적으로 많이 검출되었으며 NO₃-N, NO₂-N은 그 양이 미미하였다.
2. 토양의 흡착특성실험 결과 *k*값은 0.000277~0.00278, 1/*n*값은 0.7~1.1로 비선형정도가 다양하게 분포하였다. Site 1과 Site 2는 점토함량에 따라 흡착이 좌우되고 Site 3는 유기물함량에 따라 흡착이 좌우된다고 판단된다.
3. 하천수와 강변여과수의 TS와 TDS의 농도는 비슷한 농도를 보였지만 SS만이 강변여과에 의해 84% 제거되었다. 하천수가 강변여과되면서 SS가 크게 감소하지만 토양을 구성하는 용존성 무기물질이 용출되기 때문에 하천수의 TS 농도에는 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.
4. NH₄-N농도는 강변여과수의 모든 Site에서 1 mg/L이상의 높은 수치가 검출되었으며 NO₃-N은 강변여과수에서 0 mg/L에 가까운 값을 보였다. 이는 강변여과에 의해 하천수의 NO₃-N이 잘 제거 될 수 있음을 보여주는 결과이다.
5. 강변여과에 의해 KMnO₄ 소비량은 1.6~3배, BOD는 3~4배 감소하는 결과를 보였다. 연구지역과 같이 *k* 0.000277~0.00278, 1/*n* 0.6919~1.0981의 흡착특성을 가지는 토양은 유기물의 흡착제거 특성이 있다고 판명된다.
6. 강변여과수의 철농도와 망간농도는 하천수에 비해 각각 8.5~16.7배, 17.3~21.2배 높게 검출되었다. 철농도는

합안군 칠서면, 창원시 북면과 대산면 철농도에 비해 약 15~70배 높은 수치이며 망간농도는 비슷한 수치를 보였다.

7. 낙동강 하류에 위치한 G시의 강변여과수는 하천수에 비하여 오염농도가 낮고 안정된 상태로서 철, 망간 및 NH₄-N을 적절히 처리할 경우 양질의 대체상수원 확보에 좋은 방안이 될 수 있다.

사 사

본 논문은 2006년도 인제대학교 학술연구조성비 보조에 의한 것이며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 김범철, 박원규, 허우명, 1995, 낙동강 수계의 인, 질소 및 Chl.a 농도분포, 한국육수학회, 28(2), 175-181.
- 김재우, 박장식, 신경철, 이영식, 2001, 가야 철기유물의 과학적 분석을 통한 가야 철기문화 복원에 관한연구, 김해발전연구, Vol.4, No.1.
- 김형수, 함세영, 2009, 낙동강 하류 강변여과 취수지역의 수리지질 및 수질특성, 물과 미래, 42(11), 25-33.
- 박영규, 1995, 강독여과 및 인공함양-고도처리공정에 의한 안전한 수돗물의 생산, 95 서울 국제상수도 세미나, p.3-24.
- 박청길, 박혜영, 송교욱, 1993, 낙동강 수계 수질관리를 위한 모델링(1)-영양염류분포특성에 관한 연구, 한국수질보전학회지, 9, 41-53.
- 이수영, 정태학, 2003, 낙동강 하류 갈전지역에서의 강변여과수 수질평가, 상하수도 학회지, 17(4), 487-494.
- 이중석, 추태호, 2005, 한국콘텐츠학회 추계 종합학술대회 논문집, 3(2), 123-128
- 정현정, 2004, 토양특성에 따른 유기 오염물의 흡착 특성 규명. 석사학위논문, 부경대학교.
- Kuehn, W., 2000, Riverbank Filtration an Overview, Jour AWWA, 60-69.
- Toru Nunoshige, Yoshiro Hata, 1982, J. Pesticide Sci, 7, 155.
- 창원시, 1999, 창원시 상수도 확장사업 실시설계보고서.
- 창원시, 2003a, 창원시 강변여과수 개발관련 자료집, 창원시 상수도사업소, 13.
- 창원시, 2003b, 기존(대산, 북면 취·정수장) 강변지하수 개발에 대한 주변영향조사연구 보고서.
- 한국수자원공사, 1995, 하상퇴적층의 수리특성을 이용한 취수원 활용 시범조사 보고서.
- 한국수자원공사, 1996, 하상퇴적층 여과방식에 의한 금강수도 취수개선 방안 조사·연구, WRRI-GG-96-2, 183.
- 한국수자원공사, 1998, 지하수 함양 및 활용증대방안 연구(1차년도), WRRI-GG-98-4, 1104.
- 한국수자원공사, 1999, 지하수 함양 및 활용증대방안 연구, WRRI-GG-99-1, 198.
- 한국수자원공사, 2002, 강변여과수 개발가능지점 및 개발가능량 조사 보고서, GW사업-2002-2A, 330.
- 환경부, 부산광역시, 경상남도, 1996, 부산·경남지역 복류수 및 강변여과수개발 타당성 조사 보고서(실험보고서포함).
- 환경부와 경상남도, 2000, 이룡지구 강변여과수 시범개발 조사 사업 실증실험보고서, 193, 1998.
- Williams, R B. and Culp, G. L., 1986, Handbook of Public Water System, Culp/Wesner, 633-644.
- Weber, W. J. jr, and Pilrbazari, M., 1982, Adsorption of Toxic and Carcinogenic Compounds from Water, jour. AWWA. 74, 4-203, Apr.
- Abe, I., Hayashi, K., Hirashima, T., Kitagawa, M., and Kuroki, N., 1983, Relation of adsorptive property of hydrophobic porous adsorbents and their surface area and pore volume, Jour. Colloid Interface Sci., 93(2), 572-573.