

북천지역 자연학습 체험단지 조성을 위한 수질 환경성 조사 및 분석

정종현*† · 최석규* · 이종현** · 정덕영*** · 이강우****

*서라벌대학 환경과학과 · **포항산업과학연구원

대구기능대학 환경화학과 · *부산대학교 환경공학과

Investigation and Analysis of Water Quality Environmental for Preparing a Natural Learning and Experimental Area in Bukchun and Boundary

Jong-Hyeon Jung*† · Seog-Gyu Choi*

Jong-Hyun Lee** · Deok-Yung Jung*** · Gwang-Woo Lee****

*Department of Environmental Science, Sorabol College

**Research Institute of Industrial Science & Technology, Pohang

***Dept. of Environ. Chemical, Daegu Polytechnic College

****Department of Environmental Engineering, Busan National University

ABSTRACT

This study analyzes the river system and water quality conditions of Bukchun in order to establish a basic plan for preparing a natural learning and experimental area of environmental ecosystem in Bukchun, Gyeongju. It also tries to establish an integrated plan for water management of Bukchun stream based on water contaminants. In addition, after analysing the water quality at 13 points during the non-rainy season, the effluent of municipal wastewater was of relatively better quality with I ~ II grade, below the water quality standard of the river, except in points near Samsung apartments. However, analysing the Hyeongsangang and the effluent of Bomunho and Duckdongdam in rainy season, the water quality was II ~ III grade according to environmental standard. The water quality of those samples was strongly dependent of non-point source.

Keywords : Bukchun, Water Quality, Environmental, Ecosystem, Natural Learning and Experimental Area, Non-point Source, Hyeongsangang, Gyeongju

I. 서 론

생활수준의 향상과 보다 나은 자연환경을 갈망하는 요구가 늘어남에 따라 선진국과 개도국 간의 갈등이 심화되는 가운데 환경문제는 이제

국제사회의 중요한 현안으로 부상하고 있다.

또한, 환경오염에 관한 위기의식은 전 사회적으로 확산되고 있으며, 지역과 국가를 초월하여 전 지구적 문제로 대두되고 있으며, 우리 나라도 급속한 경제개발과 산업발전으로 인한 국내 산업 활동의 증가로 많은 환경오염을 유발하고 있다.

1~5)

† Corresponding author : Dept. of Environmental Science,
Sorabol College

Tel : 054-770-3500 Fax : 054-749-9985

E-mail : airgas@sorabol.ac.kr

또한, 산업발전과 급속한 인구 증가로 인하여 하천유역의 개발 속도가 현저히 빨라지게 되었고, 이로 인한 지역의 수환경은 질적·양적 측면에서 날로 악화되어가고 있는 실정이다. 특히 도시를 관류하거나 도시주변을 통과하는 하천의 고수부지는 인간만을 위한 목적으로 주차장, 도로 등으로 이용되어 하천의 생태환경에 많은 변화를 주는 요인이 되고 있다. 하천의 생태 환경파괴는 하천의 기능을 저하시키고, 하천의 자정능력이 떨어지게 되어 하천이 오염되고, 하천 생물이 사라져버려, 결국에는 오염되고 삭막한 공간으로 변화시킨다. 오염된 하천은 시민의 관심 대상으로 밀려나 필요 없는 공간으로 남게 될 것이다.^{6~10)}

이제 도시하천 주변의 주민들은 하천 주변공간을 시민의 휴식공간으로 이용하고자 하는 요구가 늘어나고 있으며, 이 요구에 대한 결과는 자연형 하천의 복원으로 가시화되어 가고 있다. 자연형 하천이란 도시화와 산업화로 물리적으로 변동된 하천을 원래의 모습에 가깝도록 되돌리거나, 치수 또는 다른 목적으로 하천을 새롭게 정비할 필요가 있을 경우 살아있는 나무, 풀, 돌, 흙 등 자연재료를 최대한 이용하여 하천을 자연에 가깝게 가꾸는 방법과 기술을 말한다. 즉 하천관리자는 하천의 전통적 관리 방식인 이수과 치수를 충분히 고려한 상태에서 자연형 하천 공법을 적용하여 하천의 자정능력 향상, 생태적 서식처 조성, 친수공간 등을 조성하여야 한다.^{11~15)} 따라서, 본 연구에서는 복천 자연학습단지 조성을 위한 기초 자료로서 형산강 일부 유역과 복천 주변의 수질 현황과 오염원 분포 및 수계에 미치는 영향 등을 조사하여 복천 관리 종합계획 수립하고 자연형 하천관리를 위한 기초를 마련하고자 하였다.

II. 연구방법

1. 조사지 개요

경주시는 동경 126°58'~129°31', 북위 35°

39'~36°04'로서 경상북도 남동부에 위치하고, 영천시, 포항시, 울산시, 청도군과 연결해 있고, 동쪽은 동해를 경계로 약 33km의 해안선을 갖고 있다. 경주시는 시가지를 중심으로 동으로는 명활산, 북으로는 소금강산(북동), 남으로는 남산 등이 둘러싸여 분지형태를 이루고 있으며, 하천은 형산강(서천)과 반월성 배측에서 흐르는 남천(문천)이 합류하여 서쪽으로 유하하고 토함산 기슭에서 발원하는 북천과 합류하여 영일만으로 흐른다. 일반적으로 동해로 유입되는 하천들은 하천의 길이가 짧고, 구배가 좁으며 하구역이 구성되지 못하여 중상류역이 계류형인 채 바다로 유입되는 특성을 보이고 있다.¹⁶⁾ 태백산맥의 하단부로 서쪽에는 단석산계가, 동쪽에는 동대산계가 이어져 있는 경주시는 양산계의 중간에 형산강이 포항방면인 동쪽으로 흐르고, 그 주변일대는 평야지대이다.¹⁷⁾ 북천은 신라시대 關川(알천)으로 불린 하천이며, 상류지역은 삼국시대에 있어서는 왜(倭)의 주 침입로로, 신라인의 무역항로, 문무왕의 장례행열이 지나는 통로로 이용된 곳이다. 또한 통일신라기에는 원효가 머물던 고선사(高仙寺)와 제39대 소성왕의 비인 계화왕후가 건립한 미타전(彌陀殿)이 있던 무장사(鑿藏寺) 그리고 혜공과 원효가 머물던 오어사(吾魚寺)를 잇는 통로가 북천이었다.¹⁸⁾

2. 수질조사 및 실험방법

수질조사는 복천의 영향수계 뿐만 아니라, 복천의 현황수질 및 복천으로 유입되는 하수까지를 포함하여 총 13개소를 대상으로 조사하였다. 하천환경 정비사업 이후에 유지용수로 이용될 금강교 지역 복류수에 영향 수계인 형산강과 그 지류인 대천 및 남천 등에서 조사하였으며, 채수지점은 Fig. 1에 나타내었다.

각 지역별 오염부하량 산정을 위한 기초 자료로 활용하기 위하여 현장에서 DO·pH·수온·전기전도도(Conductivity)·용존고형물농도(Total Dissolved Solids)를 측정하였고, 샘플을 채수하여 부유물질 농도(SS)·생물화학적 산소요구량(BOD)·

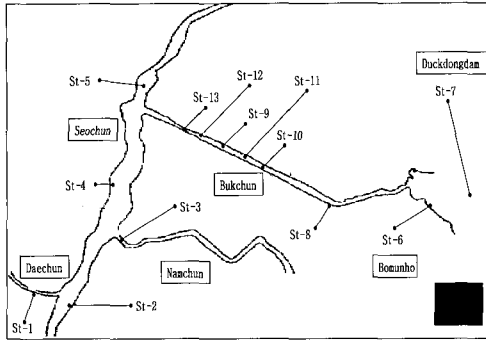


Fig. 1. Map showing sampling sites.

화학적 산소요구량(COD_{Cr})·총질소(T-N)·총인(T-P)·Cl⁻·대장균군·일반세균에 대해 측정하였다. 중금속은 Ca, Mg, Fe, Zn, Cu, Cr, Cd, Pb 등을 ICP-MS(Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometer : Model PQ3, VG Elemental CO., UK)를 이용하여 분석하였다.

한편, 비점오염원에 대한 영향을 파악하기 위해 강우시 2회에 걸쳐 시료를 채수하였으며, 이와 동일한 방법으로 분석하였다(Table 1).

Table 1. Analytical apparatus of water quality and heavy metals

Parameter	Analytical apparatus
pH	pH meter
DO	YSI meter(HANNA)
Temp.	YSI meter(HANNA)
Organic	Electric Muffle Furnace(600℃, 3hr)
Water Contents	Drying Oven
Ca, Mg, Fe, Zn, Cu, Cr ⁶⁺ , Cd, Pb	ICP-MS(Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometer : Model PQ3, VG Elemental CO., UK)
CN	Spectrophotometer

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 북천 유지용수의 수질분석

북천으로 유입되는 오염물질은 수온, 하천의 형태, 생물화학적 작용, 오염물질간의 상호관계 등에 의해 많은 영향을 받으며, 특히 일정한 오염부하 조건에서도 갈수기와 홍수기의 유량변화에 의해 하천의 오염정도는 상대적이라 할 수 있다. 갈수기의 경우 점오염원에서 발생하는 일정한 오염부하에 비해 하천의 유지 유량이 적어 하천수질이 좋지 못하나, 홍수기의 경우 증가한 유량으로 인해 유입되는 오염부하를 희석효과로 줄일 수 있었다. 그러나, 홍수기^{19~20)}에 빈번한 개털라성 폭우로 인해 농경지를 포함한 지표면

의 쌓여있던 오염물질과 토사들이 하천으로 유입되는 결과를 가져온다. 따라서 적절한 하천의 수질관리를 위해서는 하천오염에 관계된 오염물질의 특성뿐만 아니라 계절에 따른 유량변화를 고려하여 오염부하량의 탄력적인 조절이 필요하다. 한편, 북천의 수질오염도를 조사하기 위해 St-6 지점인 보문호, St-7 지점인 덕동호, St-10 지점인 숲머리 마을 부근이 2중 수중보와 St-11 지점인 장군식당 부근의 수중보, St-12 지점인 구황교, 그리고, St-13 지점인 알천교에서의 수질을 조사하였다. Table 2는 수질조사 결과로서 갈수기의 채수지점별 오염물질 평균농도를 나타내었으며, Table 3은 같은 지역의 중금속 농도를 조사 및 분석하였다.

Table 2. Average concentration of basic analysis contents according to sample point during non-rainy seasons(point source)

Content	St-1	St-2	St-3	St-4	St-5	St-6	St-7	St-8	St-9	St-10	St-11	St-12	St-13
pH	8.1	8.3	8.2	8.3	8.2	8.5	8.8	8.4	6.7	8.5	8.4	8.1	8.6
DO(mg/ℓ)	11.8	10.8	12.9	12.6	12.8	9.4	7.2	8.7	6.6	10.2	13.1	13.1	12.7
Turbidity(NTU)	1.63	1.71	1.20	1.78	1.53	3.50	1.95	0.27	16.0	0.63	0.60	0.63	0.52
Conductivity(μS/cm)	211.2	166.3	219.7	207.6	212.7	116.1	93.3	209.7	946.7	172.3	177.6	174.2	174.0
TSS(mg/ℓ)	0.7	1.8	1.0	1.2	1.5	1.9	1.8	1.6	7.4	1.1	1.5	1.1	1.0
VSS(mg/ℓ)	0.4	0.8	0.5	0.6	0.8	1.1	0.9	0.9	4.5	0.5	0.9	0.6	0.5
COD _{Mn} (mg/ℓ)	2.8	2.5	3.2	3.1	2.5	3.7	2.8	1.6	21.2	1.5	1.4	1.4	1.4
BOD(mg/ℓ)	1.6	1.7	2.5	2.1	1.5	2.0	1.7	0.8	12.1	1.0	1.4	0.8	1.0
T-N(mg/ℓ)	1.19	0.92	2.09	1.64	2.04	1.89	1.78	2.34	8.19	1.63	1.72	1.47	1.86
NH ₄ ⁺ -N(mg/ℓ)	0.59	0.46	1.04	0.81	1.01	0.94	0.87	1.12	4.10	0.78	0.85	0.72	0.92
NO ₂ ⁻ -N(mg/ℓ)	0.04	0.04	0.03	0.04	0.04	0.03	0.02	0.03	0.03	0.04	0.04	0.02	0.04
NO ₃ ⁻ -N(mg/ℓ)	0.36	0.28	0.63	0.49	0.61	0.57	0.53	0.68	2.08	0.47	0.51	0.43	0.56
T-P(mg/ℓ)	0.08	0.07	0.09	0.06	0.06	0.05	0.06	0.45	0.52	0.01	0.02	0.01	0.02
E-coli(CFU/100ml)	189	379	1553	683	972	9	14	16	108467	37	10	33	19
General bacteria(CFU/ml)	9767	9203	6900	5300	3000	743	693	404	163216	950	427	307	250

Table 3. Heavy metal concentrations according to sampling point during rainy seasons(point source)

Content	St-1	St-2	St-3	St-4	St-5	St-6	St-7	St-8	St-9	St-10	St-11	St-12	St-13
Ca(mg/ℓ)	21.3	14.3	16.5	16.0	16.2	11.9	10.0	15.5	19.3	12.0	11.5	12.0	12.4
Mg(mg/ℓ)	6.5	5.2	5.0	6.7	5.2	3.9	4.3	5.0	3.6	3.9	4.3	4.1	3.5
Fe(mg/ℓ)	0.10	0.09	0.18	0.21	0.11	0.12	0.10	0.10	0.27	0.37	0.04	0.40	0.02
Zn(mg/ℓ)	0.03	0.02	0.05	0.03	0.03	0.02	0.03	0.03	0.06	0.03	0.04	0.02	0.02
Cu(mg/ℓ)	0.008	0.002	0.044	0.007	0.040	0.002	0.003	0.002	0.007	0.002	0.003	0.002	0.002
Cr(mg/ℓ)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Cd(mg/ℓ)	0.008	0.003	0.050	0.006	0.012	0.005	0.005	0.002	0.008	0.007	0.002	N.D.	0.002
Pb(mg/ℓ)	0.017	0.016	0.030	0.009	0.008	0.007	0.010	0.020	0.005	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.

N.D. : not detected

북천 유지수의 DO 농도 분포는 5.2~14.2 mg/l로 나타났으며, 10월경에는 덕동호와 보문호에서 수온상승에 의한 용존산소 감소가 나타난 것을 제외하고는 대부분 과포화 상태로 조사되었으며, pH는 7.8~9.6 범위로 조사되어 pH의 수질환경기준 1등급기준인 6.5~8.5 범위를 초과하는 경우가 있었다. 보문호와 덕동호의 BOD와 COD 농도의 분포는 각각 0.9~2.6mg/l과 2.2~4.7mg/l 이었으며, 북천의 경우는 각각 0.5~2.1 mg/l과 1.1~2.0mg/l로 나타나, 보문호와 덕동호는 수질환경기준 II~III등급의 수질상태를 보였으며, 북천은 수질환경기준 I~II 등급으로 조사되었다.

Fig. 2에서 보듯이 총 7개의 전 조사지점에서 BOD/COD 비가 0.54~1.00으로 나타나, 유기성 오염지표만으로 판단해 볼 때 북천의 유기성 오

염물질은 저농도이나 대부분이 생물학적 분해 가능한 유기성 물질로 구성되어 있다는 사실로 나타났으며, 보문호와 덕동호의 경우는 BOD/COD 비가 다소 낮아 호소 서식 미생물에 의한 분해가 일어나 유기물감소와 조류 등이 다소 증가된 것으로 조사되었다.

북천 유지수는 TSS와 VSS 및 탁도의 농도분포는 각각 0.8~2.0mg/l과 0.4~1.1mg/l 및 0.38~0.66NTU로 낮은 수준을 보였다. 보문호와 덕동호의 경우는 0.6~1.3mg/l과 1.1~2.8mg/l 및 1.4~4.9NTU로 다소 높게 나타나, 호소수의 부영양화에 의한 조류번식으로 인한 탁도증가와 계절적인 영향이 큰 것으로 판단되었다. 그리고, Fig. 3에서 알 수 있듯이 VSS/TSS 비가 전 조사지점에서 0.45~0.60으로 조사되어 부유고형물 중 약 50% 정도가 무기성 부유고형물로 나타났다.

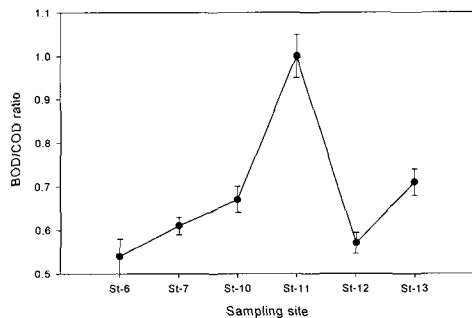


Fig. 2. The ratio of BOD/COD in Bukchun stream.

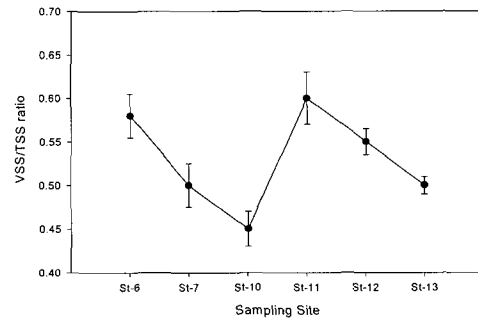


Fig. 3. The ratio of VSS/TSS in Bukchun stream.

북천의 조사지점(St-10, 11, 12, 13)의 T-N과 T-P 농도분포는 각각 0.081~2.89mg/l과 0.04~0.031mg/l, 호소수 조사지점(St-6, 7)에서는 각각 0.61~3.1mg/l과 0.02~0.11mg/l로 나타나 전 조사지점에서의 과영양단계임을 알 수 있었다. 특히, 호소수인 보문호와 덕동호의 영양염 농도가 높게 나타나 자생적 유기물의 발생 등으로 수질상태를 악화시키는 영향이 되고 있다는 사실을 확인하였다. 그리고, NH₄⁺-N과 NO₃⁻-N 및 전기전도도의 농도분포는 0.40~1.43mg/l, 0.25~0.86mg/l 및 138~200.1 μS/cm로 조사되었다. 그리고, Fig. 4에서는 조사지점별 평균 NH₄⁺-N/T-N의 비와 NO₃⁻-N/NH₄⁺-N 비가 각각 약 50%와 약 60%로 조사되었다. Fig. 5에서

도 수중생물의 질소원 이용도를 판단하기 위해 조사한 총질소에 대한 이온성 질소의 비율은 약 80%로 나타났다. 이는 수중생물 증식으로 자생적 유기물 농도증가를 의미하며, 특히 정체된 호소수의 경우 유기성 오염도의 증가를 예상할 수 있다.^{3,7)} 본 조사결과에서도 보문호와 덕동호의 수질환경기준이 II~III등급으로 북천내 하천수보다 오염도가 높게 나타났다. 따라서, 북천 환경정비 사업구간에서 과영양단계의 물이 장시간 저류할 경우 무기형태 질소와 인에 의한 각종 조류의 번식을 초래하여 수질을 악화시킬 우려가 있으므로 수중보와 같은 저류 구조물 등의 설계시 물의 저류시간 등의 검토가 필요할 것으로 생각된다.

Ca, Mg에 의한 경도의 농도분포는 43.0~47.1mg/l as CaCO₃로 조사되어 북천내 하상 시 설물에 대한 경도의 영향은 거의 없을 것으로 판단된다 (Table 2). 그리고 경도는 pH와 관계가 있으며, 본 조사결과에서도 차이는 미미하지만 높은 pH에서의 경도가 낮게 조사되었다. 북천내 하천수와 호소수의 대장균과 일반세균의 농도 분포는 각각 2~112CFU/100ml과 150~2850CFU/ml 및 각각 ND~33CFU/100ml과 30~1400CFU/ml 정도의 분포를 나타나 전 조사기간에서 수질환경 기준 II등급 수준의 값을 나타내기도 했지만 대체로 하천수 수질환경기준 I 등급 수준을 유지하였다.

북천으로 유입되는 하수는 전 측정기간동안 거의 확인할 수 없었으나, 소량이 유출되는 숲머리 마을과 삼성아파트 부근 토출구의 시료를

채수하여 분석하였다. 삼성아파트 부근 토출구 (St-8, 9)에서의 오염물질 농도변화는 탁도가 8.5~26.5NTU의 고탁도로 조사되었으며, TSS와 VSS는 각각 5.7~9.1mg/l와 4.0~5.3mg/l, COD와 BOD 농도가 각각 17.0~30.0mg/l와 8.7~16.4mg/l, T-N과 T-P 농도는 각각 0.40~0.74mg/l와 4.63~13.4mg/l 등으로 비교적 높게 조사되었다. 그리고, 숲머리마을의 북천 토출구에서의 유출수를 분석한 결과, 하수의 성상은 나타나지 않아 유출중에 침전과 토양흡착 등으로 정화되어 유출되는 것으로 판단되었다. 이상에서 보는 바와 같이 북천으로 유입되는 하수는 숲머리마을의 하수 이외에는 유출을 확인할 수 없어 북천마을의 하·오수 관리에만 역점을 둔다면 북천 유지수의 수질관리에 큰 어려움이 없을 것으로 판단되었다.

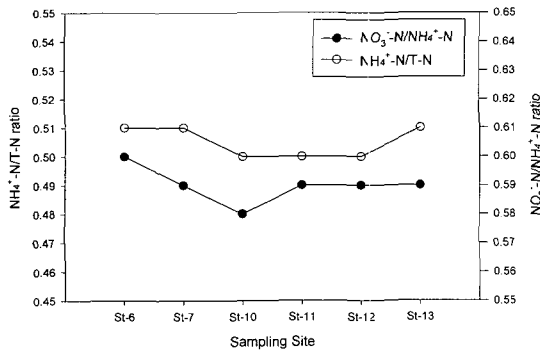


Fig. 4. The ratio of NH₄⁺-N/T-N and NO₃⁻-N/NH₄⁺-N in Bukchun stream.

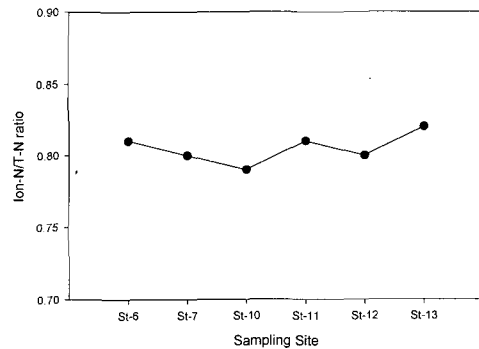


Fig. 5. The ratio of Ion-N/T-N in Bukchun stream.

2. 형산강 수역의 점오염도

북천의 유지용수로 사용될 예정인 황성동 보문보조취수장 복류수는 형산강 수계의 오염도와 밀접한 관련이 있다. 따라서, 형산강 유지용수의 현황 오염도를 파악함으로써 북천 유지용수로의 이용 가능성을 평가하고 북천의 친수적 및 환경적 기능을 갖는 수환경 조성에 필요한 기초자료를 제공하고자 하였다.

전 조사기간 동안 형산강 수계의 5개 조사지점의 pH와 DO의 농도 분포는 각각 8.0~8.4와

7.7~11.5mg/l로 조사되어 하천수 수질환경기준 I 급수의 수질상태로 조사되었다. 형산강 수계의 지점별 BOD와 COD 평균농도를 나타낸 것으로 BOD와 COD의 농도분포는 각각 0.9~3.5mg/l와 1.18~4.33mg/l로 나타나 하천수 수질환경기준 II등급 수질로 조사되었다. Fig. 6에서와 같이 BOD/COD 비가 0.57~0.78로 형산강 수계도 북천의 유지용수와 마찬가지로 유기성 오염물질의 약 60% 이상이 생물학적 분해하기 쉬운 유기물로 나타났고, 5개 지점중 St-3 지점인 남천의

문촌교에서 BOD와 COD 농도가 가장 높게 조사되었다. 또한 BOD/COD 비도 0.78로 높게 나타나, 남천의 경우 하수의 영향을 가장 많이 받고 있는 것으로 판단되었다.

TSS와 VSS의 농도 분포가 각각 0.6~2.5mg/l과 0.2~1.0mg/l로 조사되었고, 탁도도 0.94~2.12NTU로서 북천의 유지용수와 마찬가지로 비교적 저오탁도의 수질상태를 나타내고 있어 하천수 수질환경기준 I 급수의 수질상태를 유지하고 있음을 알 수 있다. 그리고, VSS/TSS 비가 전 조사지점에서 0.44~0.57로 조사되어 부유고형물 중 약 50% 정도가 무기성 부유고형물로 나타났다. 이 결과는 북천 유지용수의 경우와도 유사한 것으로 조사되었다.

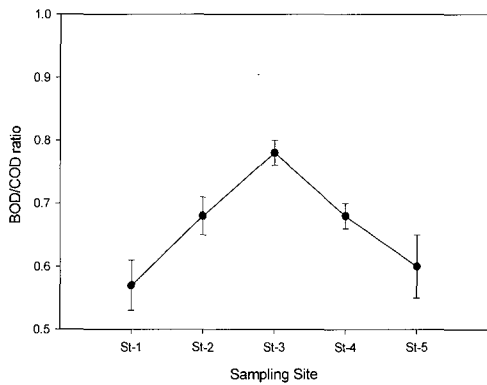


Fig. 6. The ratio of BOD/COD in Hyeongsangang.

형산강 수계 5개 지점의 전 조사기간동안 T-N과 T-P의 평균농도 값은 Table 2에서 보는 바와 같고, 농도분포는 각각 0.67~3.64mg/l와 0.020~0.135mg/l로 나타나 일반적인 하천에서와 같이 전조사 지점에서의 영양단계가 과영양단계임을 알 수 있다. 특히 남천의 문촌교 채수지점인 St-3에서 가장 높은 영양염의 농도를 보인 것은 주변의 하수의 영향 때문인 것으로 사료되었다. 또한, NH₄⁺-N과 NO₂⁻-N 및 NO₃⁻-N의 농도분포는 각각 0.29~1.81mg/l, 0.01~0.08mg/l 및 0.174~1.09mg/l로 나타났으며, 전기전도도는 166.3~219.7μS/cm로 조사되어 이온성 질소원의 분포도와 전기전도도 값의 분포가

거의 일치하고 있음을 알 수 있다. 그리고, 조사지점별 평균 NH₄⁺-N/T-N의 비를 Fig. 7에 나타내었는데, 그 값이 약 0.5로서 총질소 중 약 50% 정도가 암모니아성 질소로 존재하고 있다는 것을 의미하며, 또한 NO₃⁻-N/NH₄⁺-N의 비가 약 0.61 이상으로 조사되어 형산강 수계도 북천과 유사하게 약 61% 이상이 질산성 질소로의 전환이 진행되었음을 알 수 있다. Fig. 8에서는 총질소에 대한 이온성 질소원의 비를 나타내었다. 총질소에 대한 이온성 질소원의 비가 0.82라는 사실은 형산강 수계에 존재하는 총질소 농도에 대한 수중 생물의 질소원 동화가 가능한 비율이 82%라는 것을 의미한다. 형산강 수계도 북천과 마찬가지로 질소원과 인의 농도가 과영양단계에 있기 때문에 형산강 수계의 원수가 북천의 유지용수로 이용될 경우 저류시간 증가에 따른 각종 수중 생물의 번식 등을 고려하여 유수지나 수중보 설계를 검토해야 할 것으로 사료된다.

각종 수중 시설물의 부식과 스케일 문제의 척도를 판단하기 위하여 형산강 수역의 경도를 측정하였다. 전조사기간 동안 44.0~106.8mg/l as CaCO₃의 범위를 보여 호소수나 북천보다 다소 높게 나타났으나, 용수이용 가능범위인 것으로 조사되었다. 전 조사기간동안 형산강 수계의 대장균과 일반세균은 각각 96~3900CFU/100ml와 410~19000CFU/ml로 북천과 호소수에서보다 훨씬 높게 조사되어, 수질환경기준 II등급을 보이고 있다. 특히, 남천의 문촌교인 St-3지점에서 대장균이 평균 1553CFU/100ml로 나타나 형산강의 경우 인근 오·하수의 유입에 의한 영향으로 판단되었다. 대장균뿐만 아니라, 대부분의 항목에서도 St-3지점의 오염도가 가장 높아 남천의 점오염원의 수질관리가 필요하다고 판단된다.

3. 보문동 보조 취수장 집수정의 수질분석

북천의 하천환경 정비사업 이후 유지용수의 수질은 친수적 기능제고라는 점에서도 매우 중요하다. 따라서 북천의 유지용수로 이용 예정인 형산

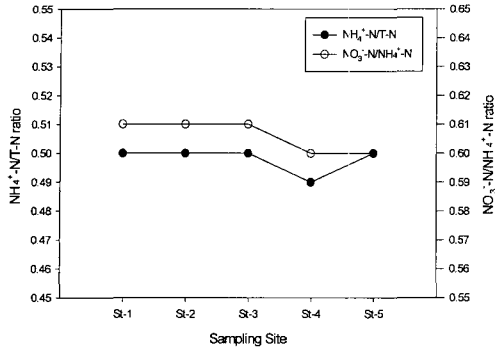


Fig. 7. The ratio of $\text{NH}_4^+\text{-N/T-N}$ and $\text{NO}_3^-\text{-N/NH}_4^+\text{-N}$ in Hyeongsangang.

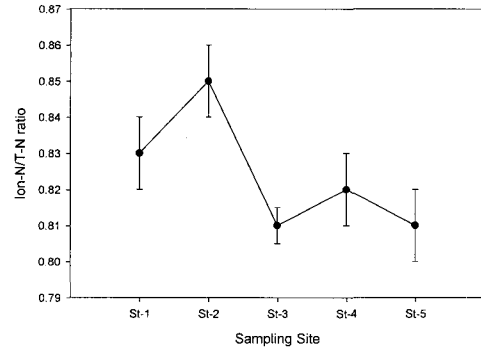


Fig. 8. The ratio of Ion-N/T-N ratio in .

강 금장교 부근 '보문동 보조취수장 집수정'의 수질을 조사하고, 이를 북천의 현황 수질과 비교 및 분석함으로써 하천환경 정비사업 이후 북천 유지수의 수질을 예측할 수 있을 뿐만 아니라, 유지수 수질관리를 위한 기초자료를 제공할 수 있을 것이다. 본 조사의 채수지점인 보문동 보조취수장 집수정(St-14)은 하상토의 자연 여과기능을 이용한 복류수를 집수하는 지점으로 형산강 수계의 수질에 밀접한 연관이 있는 지점이며, 북천의 St-10 및 St-11 지점은 숲머리 마을 인근 북천의 이종 수중보와 장군식당 부근 수중보의 채수지점이다.

이들 3개 지점의 수질을 조사한 결과 하천수 수질환경기준 I~III등급으로 나타났으며, 영양염을 제외한 수질기준항목이 3개 지점 모두 유사하게 조사되었으나, 보문동 보조 취수장 집수정의 경우 T-N과 T-P 농도가 각각 3.28mg/l와 0.17mg/l로 매우 높게 조사되었는데, 이는 북천 유지용수로 이용시 자생적 오염물질과 조류 등의 발생 가능성 등으로 친수적 기능을 저하시킬 우려가 있음을 의미한다. 취수장 집수정의 Cl^- 농도가 북천의 채수지점인 St-10과 St-11 지점보다 약 2배 정도 높게 조사된 것으로도 추정할 수 있다.

또한, 유기성 오염물질의 농도가 낮고 보문동 보조 취수장 집수정의 수온이 16°C 등으로 T-N의 대부분이 질산화 될 수 있는 환경적 여건이 조성

되어 있어 $\text{NO}_3^-\text{-N/T-N}$ 비가 취수장 집수정에서 0.91로 가장 높게 나타났으며, 그 결과 DO 농도도 낮게 나타났다. 또한 높은 전기전도도와 총질소에 대한 이온성 질소화합물 농도비가 높아 수중식물의 이용률이 높을 것으로 판단되기 때문에 취수장 집수정의 복류수를 북천의 유지용수로 이용시 저류용 수중보 등의 설계에 저류시간을 충분히 고려해야 한다. 그리고, 대장균과 일반세균은 위의 점오염원 조사결과보다 비교적 낮은 수치를 나타내었으나, 하천수 수질환경기준 I등급 수준을 유지하고 있다. 이상과 같이 북천의 하천환경 정비사업 이후 유지용수로 이용 예정인 보문동 보조취수장과 북천의 현황 수질의 분석에서 유기성 오염물질만을 기준으로 할 때 보문동 보조취수장의 용수는 북천 유지용수로 이용 가능한 수질을 나타내고 있으나, 영양염의 경우 과영양단계의 수질을 보이고 있기 때문에 수질관리에 주의가 필요하다.

4. 비점오염에 의한 수질분석

형산강 수계와 북천의 현 유지용수에 영향이 큰 보문호와 덕동호의 유출수에 대한 비점오염도를 조사하기 위해 강우시 2회에 걸쳐 형산강과 합류천의 대천 장매마을 채수지점인 St-1, 대천과 남천의 합류천 형산강 본류인 나정교 채수지점 St-2, 형산강과 합류천의 남천의 문천교인 St-3,

Table 4. Average concentration of basic analysis contents according to sampling point during rainy seasons(non-point source)

Content	St-1	St-2	St-3	St-4	St-5	St-6	St-7
pH	8.1	8.2	8.2	8.2	8.3	8.5	8.7
DO(mg/ℓ)	11.7	7.9	10.5	11.3	10.4	9.5	5.8
Turbidity(NTU)	3.10	1.48	4.19	5.32	7.21	3.98	2.95
Conductivity(μS/cm)	155.1	124.7	149.2	153.8	129.7	93.4	87.3
TSS(mg/ℓ)	5.6	6.0	8.5	5.7	6.5	3.1	2.8
VSS(mg/ℓ)	3.1	3.1	4.4	3.0	3.4	1.8	1.5
COD _{Mn} (mg/ℓ)	6.3	7.2	3.2	5.7	2.4	6.5	5.2
BOD(mg/ℓ)	3.5	3.0	2.2	3.8	2.3	2.1	3.4
T-N(mg/ℓ)	3.5	2.4	5.1	4.2	4.5	2.4	2.1
NH ₄ ⁺ -N(mg/ℓ)	1.8	1.2	2.5	2.1	2.3	1.2	1.0
NO ₂ ⁻ -N(mg/ℓ)	0.04	0.03	0.04	0.08	0.04	0.02	0.02
NO ₃ ⁻ -N(mg/ℓ)	1.06	0.72	1.54	1.26	1.41	0.72	0.63
T-P(mg/ℓ)	0.25	0.22	0.34	0.31	0.35	0.18	0.21
E-coli(CFU/100mℓ)	160	159	435	415	750	8	23
General bacteria(CFU/mℓ)	34500	10300	26500	455000	17000	213	182
Ca(mg/ℓ)	19.9	13.5	15.7	15.2	14.2	14.4	13.6
Mg(mg/ℓ)	5.8	4.8	4.8	4.5	4.6	4.8	4.6
Fe(mg/ℓ)	0.13	0.10	0.27	0.35	0.18	0.10	0.10
Zn(mg/ℓ)	0.03	0.03	0.04	0.05	0.05	0.02	0.02
Cu(mg/ℓ)	0.010	0.002	0.085	0.013	0.080	0.002	0.006
Cr(mg/ℓ)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Cd(mg/ℓ)	0.008	0.003	0.091	0.13	0.023	0.006	0.005
Pb(mg/ℓ)	0.013	0.009	0.029	0.008	0.011	0.007	0.005

N.D. : not detected

대전과 남천이 형산강과 합류되는 지점인 서천교 채수지점 St-4, 황성동 보문보조 취수장의 수질에 가장 큰 영향이 있을 것으로 판단되는 금장교 채수지점인 St-5, 북천으로 유출전의 보문호 채수지점인 St-6, 그리고, 덕동호 채수지점인 St-7 등 총 7개 지점을 대상으로 수질분석을 실시하였다.

Table 4는 강우시 7개 조사지점의 평균오염농도를 나타낸 것으로 pH와 DO 농도분포는 각각 7.9~8.9와 5.5~12.1mg/l로 계절적 영향인 호소수질을 제외하면 형산강 수계의 DO는 과포화상태로 조사되었으며, 점오염원 조사와 유사하게 하천수 수질환경기준 I 급수의 수질상태로 조사되었다. 비점오염도 조사에서 형산강 수계(St-1, 2, 3, 4, 5)와 호소(St-6, 7)에서의 BOD와 COD 농도분포는 각각 1.9~3.4mg/l와 1.4~7.6mg/l와 1.9~4.1mg/l와 4.8~6.9mg/l로 나타나 형산강 수계는 하천수 수질환경기준 II~III등급의 수질로 조사되었고, 호소의 경우는 호소 수질환경기준 III~IV등급으로 조사되었다. BOD/COD 비가 0.32~0.69로 나타나 유기성 오염물질의 약 61% 이상이 생물학적 분해하기 쉬운 유기물인 것으로 조사되어 강우시 비점오염원에 의한 생물학적으로 분해가 어려운 유기성 오염물질의 비중이 점오염원 조사에서보다 다소 높게 나타났다. 7개 지점중 St-3 지점인 남천의 문천교에서 비점오염원에 의한 BOD와 COD 농도가 가장 낮게 조사되었으나, BOD/COD 농도의 비는 가장 높게 나타나 비점오염원에 의한 영향이 가장 작은 것으로 조사되었다. 그리고 7개 조사지점의 점오염원에 대한 비점오염원의 유기성 오염물질인 BOD와 COD의 농도비를 나타낸 Fig. 9에서와 같이 강우시 비점오염원에 의한 BOD와 COD 농도 증가율의 약 1.56~8배로 조사되었다.

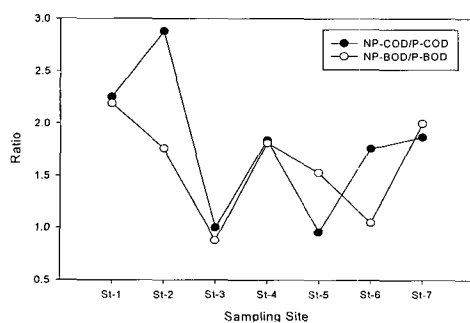


Fig. 9. The ratio of point source (PS) and non-point source (NPS) with organic materials.

강우시 비점오염원에 의한 형산강 수계와 호소에서의 TSS와 VSS 및 탁도의 농도분포는 각각 3.7~11.3mg/l와 2.1~5.9mg/l 및 1.34~7.24NTU와 2.5~3.4mg/l와 1.4~2.0mg/l 및 2.85~4.01NTU로 나타났다. 호소수인 경우 부유고형물의 농도가 형산강의 하천수보다 낮게 조사된 것은 강우시 토사의 영향을 적게 받는 특성 때문인 것으로 판단된다. 그리고, 7개 조사지점에서의 VSS/TSS 비가 0.52~0.58로 점오염원에서 나타난 값과 유사하지만 점오염원에 대한 비점오염원의 부유고형물 농도비를 나타낸 Fig. 10에서와 같이 강우시 비점오염원에 의한 부유고형물 증가율이 약 1.56~8배로 조사되었다.

형산강 수계 5개 지점과 호소 2개소의 비점오염에 대한 영양염의 영향을 조사하였다. T-N과 T-P 농도분포는 형산강 수계 5개지점에서 T-N과 T-P 각각 2.24~5.21mg/l와 0.18~0.41mg/l이었으며, 호소수인 보문호와 덕동호에서 T-N과 T-P가 각각 1.72~3.11mg/l와 0.15~0.23mg/l로 조사되었다. 강우시 St-3지점과 St-4지점 및 St-5지점의 T-N과 T-P 농도가 높은 것은 이들 채수지점이 도심을 통과하는 구간으로 비점오염원에 가장 많은 영향을 받고 있는 것으로 나타났다. 또한, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 과 $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 및 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 의 농도분포는 형산강 수계 5개 지점에서 각각 1.12~2.61mg/l, 0.02~0.09mg/l 및 0.77~1.56mg/l로 조사되었고, 호소인 보문호와 덕동호에서는 각각 0.84~1.53mg/l, 0.01~0.03mg/l 및 0.51~0.92mg/l로 조사되었다. 전기전도도 값도 81~204 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 로 나타나 이온성 질소원의 농도 추이와 비슷한 경향을 보였다.

7개의 비점오염도 조사지점의 평균 $\text{NH}_4^+\text{-N}/\text{T-N}$ 비와 $\text{NO}_3^-\text{-N}/\text{NH}_4^+\text{-N}$ 의 비는 각각 약 0.5와 0.61로 조사되었다. 총질소에 대한 이온성 질소원의 농도비가 0.81로 점오염원의 조사결과와 거의 유사하게 조사되었는데, 이는 저오염도 수계의 경우 점오염도와 비점오염도에 있어서 질소태의 변환에 차이가 없다는 것을 나

타내 주는 결과이다. 그러나, 점오염원에서와 마찬가지로 수중 생물의 동화 가능한 질소원이 총 질소의 82%라는 점을 고려할 때 유수지나 수중보의 설계시 조류 등 수중생물의 번식을 방지할 수 있는 방안을 설계에 반영해야 할 것으로 판단된다.

그리고 T-N과 T-P의 점오염도에 대한 비점오염도의 비율은 Fig. 11에서와 같이 각각 1.2~2.9배와 3.1~5.8배로 나타나 강우시 비점오염원인

도시 유출수에 의한 영양염 농도변화가 크게 나타났으며, 이들 영양염이 수중보 등의 저류시설로 인해 하상에 침적될 경우 자생적 유기물의 전환 등으로 수질악화의 원인이 될 것으로 판단되었다. 비점오염도 조사지점에서의 경도분포는 43.3~82.4mg/l로서 점오염도보다 낮았으며, 대장균과 일반세균이 각각 0~1500CFU/100ml와 8600~810000CFU/ml로 점오염도보다 낮게 조사된 것은 강우에 의한 희석효과로 판단되었다.

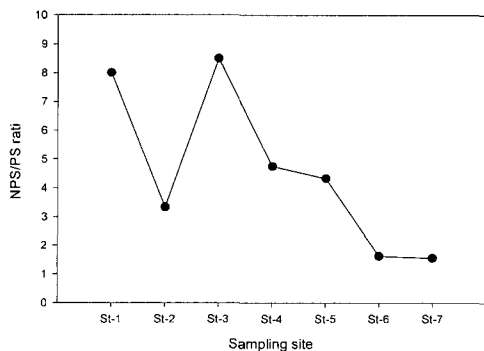


Fig. 10. The ratio of point source (PS) to non-point source (NPS) with suspended solids.

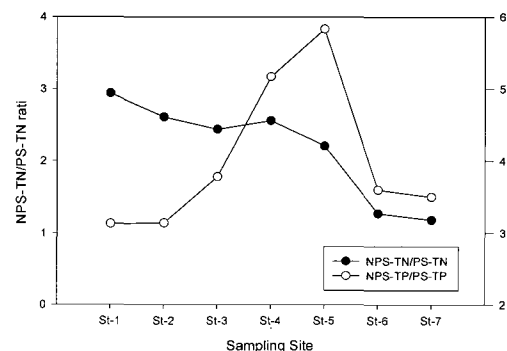


Fig. 11. The ratio of point source (PS) to non-point source (NPS) with T-N and T-P concentrations.

IV. 결론

북천지역 문화 환경조성 및 자연학습 체험단지 조성을 위한 기본계획 수립에 필요한 학술적 조사결과를 수행하여 다음과 같은 주요 결과를 얻었다.

1. 북천은 지방1급 하천으로 우기를 제외하고는 건천화되는 특징을 보이고 있는 하천이다. 또한, 북천은 점오염원 조사에 있어 생활하수 유출수는 삼성아파트 부근의 하수인 St-9 지점을 제외하고는 대체적으로 하천수 수질환경기준상 I~II등급의 수질을 유지하고 있으며, 비교적 양호한 수질상태임이 조사되었다.

2. 북천 자연형 하천 정비사업 이후 유지용수로 이용 예정인 보문동 보조취수장과 북천의 현황 수질의 분석에서 유기성 오염물질만을 기준으로 볼 때 보문동 보조취수장의 용수는 북천 유지용수로 이용 가능한 수질을 나타내고 있으나, 영양염의 경우 과영양단계의 수질을 보이고 있기 때문에 수질관리에 주의가 필요하다.

3. 남천 인근 지역에서 유입되는 오·하수의 수질오염도는 다소 증가하고 있으며, 이에 따른 수질오염원의 체계적인 관리가 요구된다.

4. 비점오염원 조사를 위해 형산강 유역과 보문호 및 덕동호 유출수를 강우시 채수·분석한 결과 생활환경기준 II~III등급의 수질로 나타났으며, 비점오염원에 의한 영향이 다소 높은 것으로 나타났다.

참고문헌

1. Plumley, A. L., Jonakin, J., and Vuia, R. E. : A Review study of fire-side corrosion in utility and industrial boilers. Paper presented at corrosion seminar, McMaster University and Engineering Institute of Canada, pp19-20, 1996.
2. Jong-Hyeon Jung : A study on reaction characteristic of SO₂/NO_x simultaneous removal for alkali absorbent/additive in FGD and waste incinerator process, Pusan University, pp1-12, 1999.
3. 최석규, 최상준, 이동용 : 형산강 경주권 수계의 수질현황, 경주연구 논문집, 7집 1998.
4. 환경부 대기보전국 : 2003년 배출허용기준 개정계획(안), 환경부, 2000.
5. Tomimatsu K., Ueda Y. : Advanced gas cleaning system. presented at EPRI-DOE-EPA Combined Utility Air Pollution Control Symposium, pp 1, 1999.
6. Levy E. K. : Effect of boiler operations on sulfuric acid emissions. Conference proceedings on formation, distribution, impact, and fate of sulfur trioxide in utility flue gas streams, U.S. DOE-FETC, Morgantown, pp14-18, 1998.
7. 최석규, : 형산강수질조사 및 친수환경 공간확보에 관한 연구. 경주상공회의소 논문집, 1997.
8. 과학기술처 : 오염심화 소하천의 정화기술 실용화. 1991.
9. 한기백 외 : 경주지역 수질보전에 대한 제언(상수원수 보호대책을 중심으로). 서라벌대학 지역사회개발연구소 논문집. pp. 85-105, 1995.
10. (사)하천환경관리재단 : 해설 하천환경(일서). 산해당, pp4, 1994.
11. (사)하천정비센타 : 천의 풍경을 고려한 경관설계(호안), 가이드라인(일서). 산해당, 1995.
12. 건설부 : 하도환경정비 기초조사연구. 한국건설기술연구원, 1993.
13. 최석규, 안재동, 김민수, 김용대 : 연속식 PCR과 BCR에서 pH변화에 따른 페놀페수의 오존처리특성에 관한 연구. 한국환경위생학회, Vol 23, No. 1, pp74-80, 1997.
14. 최석규 : 형산강의 자연환경과 친수환경공간. 경주문화원 논문집, 2집 1997.
15. 이삼희 : 바람직한 하천환경 관리 및 정비방안. 국토정보, 1995.
16. 전상권: 동해로 유입되는 소하천수계의 어류상에 관하여. 자연보존 연구, 4, pp.109-118, 1982.
17. 경주시 : 경주 천군쓰레기 매립장 주변 환경성 영향조사. pp1-14, 2001.
18. 강종원 : 신라왕경의 형성과정. 백제연구, 23, 충남대 백제연구소 pp227, 1992.
19. 기상청 : 기상연보. 1990~2001.
20. Annual meteorological report. 1990~2000.