

낙동강 수역의 붕소 오염원과 분포특성 연구

이정만^{**} · 박청길 · 김 철^{*}

부경대학교 환경시스템공학부
^{*}동의과학대학 동의분석센터

A Study for Source and Distribution of Boron in Nakdong River

Joung-Man Lee[†] · Chung-Kil Park · Chul Kim^{*}

Division of Environmental System Engineering, Pukyong National University
^{*}Dong-eui Analysis Center, Dong-eui Institute of Technology
(Received 20 December 2004, Accepted 23 March 2005)

Abstract

The purpose of this study is to find out the source(s) and distribution of boron in Nak-dong River.

In the year of 2002, the boron has been adopted as a toxic constituent for Korean drinking water standard. In this study, the analytical samples were collected at 11 stations in March, June, September and December 2002. These samples were analyzed by inductively coupled plasma-mass (ICP-MS) method. The recovery, relative standard deviation and method detection limit of the ICP-MS method for boron was 89~111.3%, 2.21~3.81% and 5 $\mu\text{g/L}$, respectively. The distribution of boron was ranged 65~155 $\mu\text{g/L}$ in March, 26~125 $\mu\text{g/L}$ in June, 22~140 $\mu\text{g/L}$ in September and 50~162 $\mu\text{g/L}$ in December. The higher levels of boron were found at Kum-ho river nearby the industrial complex, which seemed to be greatly affected by domestic sewages and wastewater from the upper streams. Thus, the concentration of boron and that of other components showed strong statistical correlation in this area.

In the Nak-dong River, industrial wastewater and domestic sewages is thought to be the sources of boron.

keywords : Boron, Nakdong river, Drink water, Water quality management

1. 서론

붕소(B)는 비금속원소 중 하나이고, 원자번호가 5이고 원자량이 10.811이며 규소와 유사한 성질을 가지고 있다. 자연계에서는 지각 중에 9 mg/kg 정도 있으며, 토양 중에는 18~63 mg/kg 정도 있는데, 하천수 중에는 0.01 mg/L, 지하수 중에는 0.01~10 mg/L 그리고 해수 중에는 5 mg/L 정도로 널리 분포 하고 있다.

붕소의 주요 원료 광물로는 붕사($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)가 있으며, 이 붕사는 내열성유리 제조와 합성세제, 도자기 유약, 비료, 유리섬유 제조 등 산업 분야에 널리 사용되고 있다.

천연수 중에서는 주로 붕산(H_3BO_3)과 그 염으로 존재하며 식물성장에 필수적인 원소이다. 그러나 2 mg/L 이상의 고농도에서는 식물에 해를 끼칠 수도 있다. 먹는 물중에서 0.1 mg/L 이하로 있을 경우는 인체에 무해하다고 한다 (APHA et al., 1998; Larsen, 1988).

동물실험에 의하면 붕산을 투여했을 때 쥐와 개의 LD50 값은 2000 mg/체중kg 이었으며(Health et al., 1990), 급성 중독 증상은 조울증, 운동실조증, 경련 그리고 사망으로 이

어진다.

붕소 화합물질들은 각종 공산품원료로 널리 사용되고 있기 때문에 상수원을 오염시킬 가능성이 커서 세계보건기구(WHO)와 미국에서는 1993년과 1995년부터 먹는 물 수질 기준에 붕소가 들어있고, 하천과 호소에서 붕소 분포 조사가 활발히 이루어졌다(Christ et al., 1978; Neal et al., 1998; Mora, 1992).

우리나라에서는 최근 2000년도부터 먹는 물 수질기준 항목에 붕소를 새로이 설정하였고, 먹는 물 수질공정시험방법에는 2002년도부터 붕소 분석방법이 제정되었다.

그래서 우리나라 하천과 호소에 대한 붕소에 관한 조사 연구가 거의 없는 실정이다.

수중의 붕소 분석방법으로는 Curcumin법과 Carmine법에 의한 흡수분광법이 있고, Inductively coupled plasma(ICP)과 Inductively coupled plasma/mass spectrometry(ICP-MS)법 등이 있다(APPA et al., 1998).

우리나라 먹는 물 수질공정 시험방법에는 Curcumin법에 의한 흡수분광법과 ICP법이 있다.

흡수분광법은 분석예비조작으로 증발건조조작이 있어서 분석정밀도가 좋지 않고 검출한계가 0.1 mg/L 정도이기 때문에 천연수에 들어있는 바탕농도 0.01 mg/L 이하를 분석하기가 어렵다.

[†] To whom correspondence should be addressed.
leetaehoo@hanmail.net

따라서 본 연구는 ICP-MS법을 수중붕소분석방법으로 사용했을 때 분석방법의 정밀도와 정확도 그리고 검출한계를 확인하여 상수원수 중의 붕소 분석에 적용가능성을 검토하였다.

검토 확인된 ICP-MS법을 사용하여 상수원수로 사용되는 낙동강 수계의 붕소 오염실태를 조사하고 타 염류와의 상관관계를 해석하여 오염원을 규명함으로써 상수원 수질관리방안을 마련하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 시료채취

본 연구의 대상지역은 Fig. 1과 같이 낙동강 본류와 금호강으로 나누어서 낙동강 본류는 지점별로 강정취수보(St. 1), 고령(St. 5), 남지(St. 6), 삼랑진(St. 7), 물금(St. 8), 화명(St. 9), 구포(St. 10), 낙동강 하구둑(St. 11)의 지점, 그리고 금호강은 제 3공단(St. 2), 비산염색공단(St. 3), 금호강과 낙동강이 합류하기 전에 위치한 강창교(St. 4)의 세 지점을 대상지역으로 하여 2002년 3월 12일, 6월 30일, 9월 29일, 12월 7일에 조사를 실시하였다. 시료의 채취는 van Dorn채수기를 이용하여 채취 하여 폴리에틸렌용기에 담고, 즉시 아이스박스에 보관하여 실험실로 이동한 후 분석 전까지 4°C 이하에서 냉장 보관하였다.

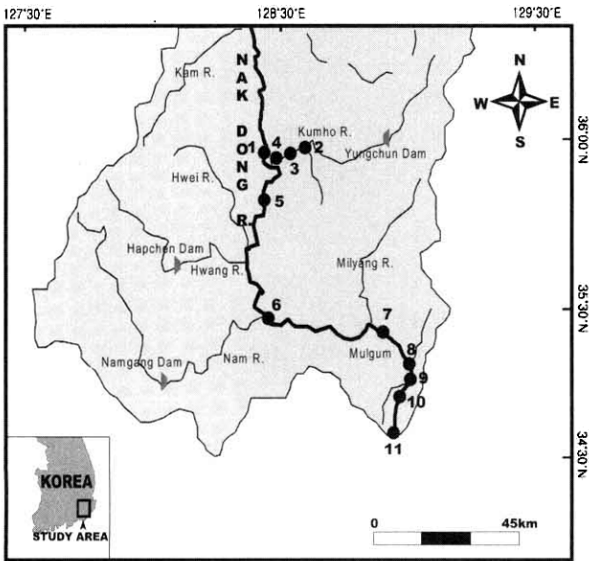


Fig. 1. Map showing the sampling stations.

2.2. 분석방법

낙동강 수계에서 붕소를 분석하고 오염원 추정을 위한 참고자료로 양이온으로 Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ 과 음이온으로 Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- 그리고 COD를 분석하였다.

2.2.1. 붕소

모든 시약은 분석화학적수준의 것을 준비하였으며 시료는

폴리에틸렌용기를 사용하여 보관하였다. 붕소 표준 용액 (Kanto Ltd. 1000 ppm)을 준비하였고, 실험에 증류수 (Millipore)를 사용하였다.

시료 내 붕소를 분석하기 위해 ICP-MS(Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry)법을 사용하였으며, 붕소분석에 사용되는 초자 기구는 5% 질산용액과 증류수로 세척하고 건조 후 사용하였다.

분석기기는 ICP-MS(Agilent, Model ICP-MS 7500A)를 이용하였다. Nebulizer는 Babington Nebulizer, Chiller는 NESLAB company의 M100사용하였다. Peristaltic Pump Tubing은 Tygon Tubing(1.02 mm id)를 사용하였고, Torch는 Quartz, Gas는 Ar(99.999%)를 사용하였다.

2.2.2. 양이온

양이온의 분석을 위해 5% 질산과 증류수로 세척 후 건조시킨 폴리에틸렌 용기에 담아 ICP-MS를 사용하여 분석하였다(APHA et al., 1998).

2.2.3. 음이온

Cl^- , SO_4^{2-} 와 NO_3^- 의 분석을 위해 시료를 0.2 μm 필터로 여과하여 미국 Dionex사 ion chromatography DX-300을 이용하여 분석하였다. 가드 칼럼(AG-14), 음이온 칼럼(AS-14)을 사용하였다. 용리액으로 3.5 mM Na_2CO_3 + 1.0 mM $NaHCO_3$ 을 사용하였으며, flow rate = 1.2 mL/min로 하였다. 검출기는 ECD with suppressor ASRS-Ultra, 시료 주입량을 100 μL 로 하였다.

2.2.4. 화학적 산소요구량

수질오염 공정시험방법에 따라 산성 과망간산칼륨법을 사용하였다(환경부, 2000).

3. 결과 및 고찰

3.1. 붕소 분석방법의 정확도, 정밀도, 검출한계

3.1.1. 정확도와 정밀도

본 연구에서 붕소분석에 사용된 ICP-MS법의 정확도와 정밀도를 확인하기 위하여 농도 10 $\mu g/L$, 50 $\mu g/L$, 100 $\mu g/L$ 의 표준용액을 조제하여 11회 분석한 결과는 Table 1과 같다. 회수율로 표시되는 본 분석방법의 정확도는 농도 10 $\mu g/L$ 경우 97.10%, 50 $\mu g/L$ 경우 105.82% 그리고 100 $\mu g/L$ 경우 104.71%로 이는 금속 분석에서 허용되는 회수율 80~120% (APHA et al., 1992)와 비교해 볼 때 정확도가 양호한 것으로 나타났다.

그리고 동일 시료에 대하여 동일 방법으로 여러 번 측정하였을 때 상대표준편차로 나타내는 분석방법의 정밀도는 10 $\mu g/L$ 의 경우 3.81%이고, 50 $\mu g/L$ 의 경우 2.21% 그리고 100 $\mu g/L$ 의 경우 2.29%로 이는 금속 분석에 허용되는 상대표준편차 $\pm 10\%$ (APHA et al., 1992)와 비교하면 정밀도가 양호한 것으로 나타났다.

Table 1. Measured concentration levels of boron by ICP-MS method

Running number	conc. of std. sol.		
	10 $\mu\text{g/L}$	50 $\mu\text{g/L}$	100 $\mu\text{g/L}$
1	8.9	51.8	102.5
2	9.4	51.1	103.3
3	9.9	52.1	103.1
4	9.6	52.2	104.7
5	10.1	53.9	101.8
6	10.1	52.6	105.0
7	9.8	52.8	106.1
8	10.0	53.7	104.8
9	9.8	55.5	104.9
10	10.0	52.5	111.3
11	9.2	53.8	104.4
Mean($\mu\text{g/L}$)	9.71	52.91	104.72
Std. deviation	0.37	1.17	2.40
Rel. SD(%)	3.81	2.21	2.29
Recovery(%)	97.10	105.82	104.72

3.1.2. 표준 검정선 및 검출한계

붕소의 표준물질을 이용해서 작성한 검정선을 그려본 결과, r^2 값이 0.999이상의 직선성이 아주 좋은 1차 방정식 직선이 그려졌다(Fig. 2). 본 연구에서는 모든 시료를 분석하기 전에 각각의 검정선을 작성한 후에 분석을 하였다. 검출한계(Method Detection Limit, MDL)는 다음의 방법을 이용하여 구하였다.

바탕시험에서 검출되는 경우에는 바탕시험 11회시 얻어진 평균값(blank conc.) 및 표준편차(SD)로 계산하였다.

$$\text{MDL} = \text{blank conc.} + \text{SD} \times 3 \text{ (99\% 신뢰구간)}$$

바탕시험에서 검출되지 않는 경우에는 첨가회수시험을 11회 실시하고, 표준편차(SD)로 계산하였다.

$$\text{MDL} = \text{SD} \times 3 \text{ (99\% 신뢰구간)}$$

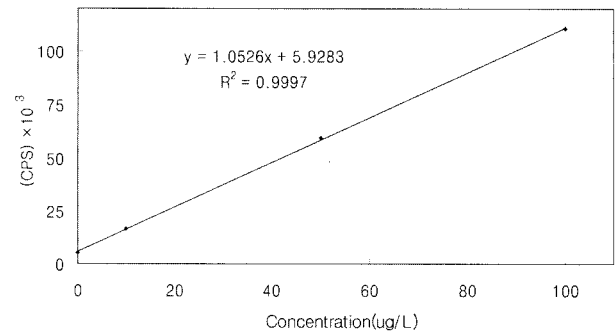


Fig. 2. Boron standard curve.

Table 2. Detection Limit

Detection Limit blank conc. + SD×3 $\mu\text{g/L}$	blank signals CPS	blank conc. $\mu\text{g/L}$	SD conc. $\mu\text{g/L}$	SD×3 conc. $\mu\text{g/L}$
5	5208	4.948	0.051	0.153

붕소의 검출한계는 분석결과 5 $\mu\text{g/L}$ 로 나타났고(Table 2), 이는 Carmine method의 검출한계 1000 $\mu\text{g/L}$, Curcumin method의 검출한계 100 $\mu\text{g/L}$ 와 분광법에 의한 검출한계인 10 $\mu\text{g/L}$ 보다 낮은 검출한계이고, Inductively coupled plasma(ICP) method의 5 $\mu\text{g/L}$ 와 비슷한 검출한계를 나타내고 있다(APHA et al., 1995; ISO 9390:1990).

3.2. 낙동강 수중의 붕소분포 특성

낙동강 수계의 각 지점별, 계절별, 붕소의 농도를 분석한 결과는 Table 3과 Fig. 3에 나타내었다.

낙동강 수계에서 붕소의 농도분포는 전 조사지점에서 전 조사기간을 통하여 22~162(평균 80) $\mu\text{g/L}$ 였다.

계절별로는 2002년 3월에 65~155(평균 115) $\mu\text{g/L}$, 6월에 26~125(평균 69) $\mu\text{g/L}$, 9월에 22~140(평균 53) $\mu\text{g/L}$, 12월에 50~162(평균 83) $\mu\text{g/L}$ 로 춘계와 동계에 비교적 높은 농도를 보였으며 추계와 하계에 낮은 농도를 보였다.

지점별로는 제 3공단(St.2), 비산염색공단(St.3), 그리고 강창교(St.4) 등 금호강 유역이 103~162(평균 132) $\mu\text{g/L}$ 로

Table 3. Boron concentration($\mu\text{g/L}$) in water samples for the 11 stations(2002)

Stations	March	June	September	December	Mean
1	65	26	26	50	42
2	137	125	104	143	127
3	145	118	140	162	141
4	155	125	103	126	127
5	109	53	47	57	67
6	94	37	24	57	53
7	96	39	22	56	53
8	104	52	23	56	59
9	118	53	22	66	65
10	124	59	25	70	70
11	118	72	44	75	77
Min	65	26	22	50	
Max	155	125	140	162	
Mean	115	69	53	83	80

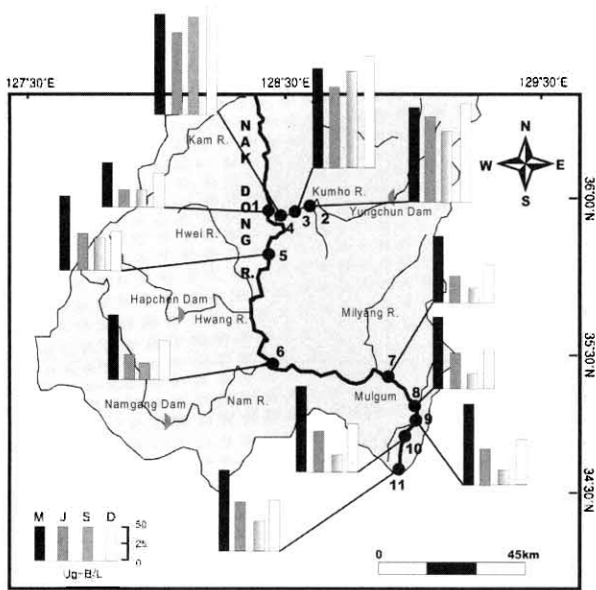


Fig. 3. Distribution of B($\mu\text{g/L}$) in water samples of Nakdong River(M: March, J: June, S: September, D: December).

낙동강 본류에 비하여 높은 농도를 보였다.

낙동강 본류에서는 금호강과 합류전인 강정취수보(St.1)에서 평균 42 $\mu\text{g/L}$ 로 가장 낮은 농도를 보였고 금호강과 합류지점 바로 다음 하류지점인 고령(St.5)에서 평균 67 $\mu\text{g/L}$ 로 다소 높은 농도를 보이다가 하류로 내려가면서 점차로 감소하다가 하구둑(St.11) 지점에서 평균 77 $\mu\text{g/L}$ 로 약간 증가하는 분포특성을 보였다.

낙동강 수계의 붕소농도는 먹는 물 수질기준 300 $\mu\text{g/L}$ 과 비교하면 기준보다 낮은 값을 나타내고 있지만 각종 공단 폐수의 영향을 받고 있는 금호강 수계에서 103~162(평균 132) $\mu\text{g/L}$ 를 보여 상수원수로 사용되는 낙동강의 붕소 수질오염물질 관리가 필요한 것으로 사료된다.

낙동강 수계에서의 붕소농도를 타 연구자들의 연구 결과와 비교하면, 오염되지 않은 영국의 강에서 10 $\mu\text{g/L}$ (Christ et al., 1978)보다는 높은 농도를 보였고, 하·폐수로 오염된 영국의 Ouse강에서 10~212(73) $\mu\text{g/L}$ (Neal et al., 1998)

과는 비슷한 농도범위였고, Aire강에서 47~770(339) $\mu\text{g/L}$ (Neal et al., 1998)보다는 낮은 농도를 보였다.

3.3. 낙동강 수계의 붕소 오염원 추정

천연수 중의 붕소의 오염원으로는 인위적인 오염원과 자연적인 오염원이 있다. 인위적인 오염원으로는 산업폐수와 도시하수유입이 있다. 하·폐수 유입으로 오염된 영국의 Aire강에서 47~770(339) $\mu\text{g/L}$, Don강에서 46~937(464) $\mu\text{g/L}$ (Neal et al., 1998)였다.

자연적인 오염원으로는 붕소가 500 $\mu\text{g/L}$ 정도로 비교적 높은 농도가 함유되어 있는 해수가 바람에 날려 대기 중에 유입되었다가 강우에 의해 하천으로 들어오는 것으로 강우 중의 붕소의 농도가 4.5 $\mu\text{g/L}$ 이었다(Mora, 1992; Neal, 1997). 또한 지각의 풍화작용으로 유입되는 것이 있는데, 광산지역이나 산업폐수의 영향을 받지 않은 영국의 강에서는 10 $\mu\text{g/L}$ 의 붕소 농도를 나타내었다(Christ et al., 1978).

낙동강 수계의 붕소의 오염원을 추정하기 위하여 붕소농도조사와 동일한 지점에서 동일한 시기에 Na^+ , Mg^{2+} , K^+ , Ca^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- 등 무기이온과 COD를 조사한 결과는 Table 4와 같고 붕소와 다른 성분농도와의 상관관계를 계산한 결과는 Table 5와 같다.

Table 4에 표시된 성분 중 Na^+ , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} 와 같은 성분은 해수의 주요성분으로 해수의 영향과 관련이 많은 성분이다. COD, NO_3^- -N, SO_4^{2-} , Na^+ , Cl^- 와 같은 성분은 도시하수와 산업폐수와 관련이 많은 성분이고, Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ 와 같은 성분은 지각성분 용출과 관련이 많은 성분이다.

Table 4에서 보면 COD는 하·폐수로 오염된 금호강의 지점2, 지점3, 지점4에서 6.67~7.36 mg/L 범위로 낙동강 본류지점의 4.43~7.36 mg/L 보다 높은 농도를 보였다.

질산성질소(NO_3^- -N)농도는 금호강 지점에서 5.47~9.20 mg/L 범위로 낙동강 본류의 2.30~3.33 mg/L 보다 높은 농도를 보였다.

황산이온(SO_4^{2-}) 농도는 금호강 지점에서 72.22~577.48 mg/L 범위이고 금호강과 합류되는 지점 바로 하류인 고령(St.5)지점이 106.57 mg/L로 기타 낙동강 본류지점의 37.2~58.50 mg/L 보다 매우 높은 농도를 보였다.

Table 4. Mean concentration of Na^+ , Mg^{2+} , K^+ , Ca^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , COD in water samples of Nakdong River

St.	Na^+	Mg^{2+}	K^+	Ca^{2+}	Cl^-	SO_4^{2-}	NO_3^-	COD
	mg/L							
1	25.16	7.72	4.86	58.27	17.54	37.22	2.30	4.43
2	77.71	12.81	13.70	91.97	65.59	72.22	5.57	6.67
3	348.73	12.59	23.55	152.56	129.43	577.48	9.20	16.19
4	104.68	12.31	13.85	101.12	77.36	176.89	5.47	9.21
5	72.65	9.15	7.71	87.19	44.03	106.57	3.33	6.46
6	47.60	8.13	6.04	55.38	30.40	56.94	2.38	5.92
7	46.58	8.57	6.05	47.76	30.65	58.50	2.24	7.36
8	46.45	8.76	5.97	57.34	32.47	57.61	2.36	6.35
9	40.35	8.85	5.95	52.63	31.08	52.69	2.39	6.32
10	44.29	9.03	6.51	49.42	35.62	50.89	2.50	6.43
11	47.16	9.38	6.67	54.15	38.95	53.48	2.46	6.40

Table 5. Correlations between B concentrations and other components in water samples of Nakdong River(2002)

	March	June	September	December
Na ⁺	0.755	0.889	0.907	0.734
Mg ²⁺	0.895	0.901	0.900	0.958
K ⁺	0.782	0.826	0.916	0.916
Ca ²⁺	0.785	0.785	0.957	0.509
Cl ⁻	0.815	0.898	0.931	0.869
SO ₄ ²⁻	0.531	0.687	0.806	0.712
NO ₃ ⁻ -N	0.758	0.738	0.970	0.829
COD	0.448	0.628	0.853	0.662

나트륨(Na⁺)농도는 금호강 지점에서 77.71~348.73 mg/L 범위이고 고령(St.5)지점에서 72.65 mg/L로 기타 낙동강 본류지점의 25.16~47.60 mg/L 보다 매우 높은 농도를 보였다. Cl⁻농도는 금호강 지점에서 65.59~129.43 mg/L 범위로 낙동강 본류지점의 17.54~44.03 mg/L 보다 매우 높은 농도를 보였다.

Ca²⁺농도는 금호강 지점에서 91.97~44.03 mg/L 범위로 낙동강 본류지점의 47.76~58.27 mg/L 보다 높은 농도를 보였다.

Mg²⁺농도는 금호강 지점에서 12.81~12.59 mg/L 범위로 낙동강 본류지점의 7.72~9.15 mg/L 보다 다소 높은 농도를 보였다.

K⁺농도는 금호강 지점에서 13.70~23.55 mg/L 범위로 낙동강 본류지점의 4.86~7.71 mg/L 보다 높은 농도를 보였다.

모든 성분의 농도는 하·폐수로 오염된 금호강에서 낙동강 본류보다 높은 농도를 보였다.

Table 5에서 보는 바와 같이 붕소와 다른 성분 간의 상관계수를 보면 0.448~0.969 범위로 계절별로는 3월 춘계가 0.448~0.895 범위로 가장 낮고 9월 추계에서 0.852~0.957 범위로 가장 높은 값을 보였다.

이와 같이 성분별, 조사시기별로 붕소와의 상관계수가 다소 차이는 있었지만 붕소와 COD와의 상관관계를 제외하면 붕소와 거의 모든 성분과는 높은 상관관계를 보였다. 낙동강 수계의 붕소 농도 변동에 미치는 해수의 영향 여부를 알아보기 위하여 해수의 주요성분인 Na⁺, Mg²⁺, Cl⁻, SO₄²⁻ 농도와 Cl⁻ 농도와의 비 값을 계산하여 해수의 비 값과 비교한 결과는 Table 6에 나타내었다.

해수의 염분 값은 해역에 따라 계절에 따라 차이가 있지만 각 염류의 조성비는 Table 6에서와 같이 거의 일정하다(Horne, 1969).

하천수중에 함유된 각 이온들이 해수의 영향을 받았다면 각 이온들의 농도는 차이가 있어도 이온들 간의 조성비는 해수의 조성비와 유사해야 한다.

Table 6에서 보는 바와 같이 낙동강 수계 각 지점에서의 각 이온의 조성비와 해수의 조성비와 차이가 너무 많기 때문에 해수의 영향을 찾아볼 수가 없었다.

낙동강 수계의 붕소농도가 산업폐수와 도시하수로 오염된 금호강 지점에서 가장 높은 농도를 보였으며 기타 염류

Table 6. Na⁺, Mg²⁺, SO₄²⁻ concentration to Cl⁻ concentration ratios for each stations

St.	Na ⁺ / Cl ⁻	Mg ²⁺ / Cl ⁻	SO ₄ ²⁻ / Cl ⁻
1	1.434	0.4395	2.212
2	1.184	0.1953	1.101
3	5.317	0.0973	1.307
4	1.818	0.1591	2.288
5	1.649	0.2078	2.420
6	1.565	0.2674	1.873
7	1.519	0.2796	1.909
8	1.431	0.2698	1.774
9	1.298	0.2847	1.695
10	1.243	0.2535	1.429
11	1.211	0.2408	1.373
Seawater	0.5553	0.0667	0.1393

의 농도도 금호강 지점에서 가장 높은 농도를 보였다.

낙동강 본류에서도 금호강물이 합류되기 전의 강정취수보(St.1)에서 붕소농도와 기타 염류농도가 가장 낮은 것으로 볼 때 낙동강 수계 붕소 오염원은 하·폐수로 오염된 금호강임을 알 수 있다.

4. 결론

하천수중의 붕소 분석방법으로 ICP-MS법을 사용하였을 때 분석방법의 정밀도와 정확도 그리고 검출한계를 조사하여 상수원수 중의 붕소분석에 적용가능성을 검토하고 낙동강 수계의 붕소 오염실태를 조사하고 타 염류와의 상관관계를 해석하여 오염원을 연구한 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 본 연구에서 사용한 ICP-MS법에 의한 붕소 분석방법의 정확도는 회수율로 89~111.3%이며, 정밀도는 상대표준편차로 2.21~3.81로 5%미만으로 나와 매우 양호했으며, 검출한계는 5 μg/L로 나타나 상수원수 중의 미량 붕소분석적용에 적합하였다.
- 2) 낙동강 수계의 붕소 농도범위는 22~162 μg/L로 계절별로는 춘계와 동계에 65~155(평균 115) μg/L, 50~162(평균 83) μg/L로 비교적 높은 농도를 보였고 하계와 추계에 26~125(평균 69) μg/L, 22~140(평균 53) μg/L로 비교적 낮은 농도를 보였다.

지점별로는 하·폐수로 오염된 금호강 지점에서 평균 132 $\mu\text{g/L}$ 로 가장 높은 농도를 보였고 금호강과 합류점인 강정취수보(St.1)에서 평균 42 $\mu\text{g/L}$ 로 가장 낮은 농도를 보였다.

- 3) 붕소농도와 다른 염류농도와의 상관관계는 0.448~0.969 범위로 매우 양호한 상관관계를 가지고 있었고, 다른 염류의 농도도 금호강 지점에서 가장 높은 농도를 보였으며 Na^+ , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} 성분농도와 Cl^- 농도와의 비값이 해수의 염류조성비와 전혀 다른 비값을 보여 낙동강수계의 붕소 오염원은 하·폐수로 오염된 금호강임을 알 수 있다.
- 4) 상수원으로 사용되는 낙동강수계 붕소농도가 먹는 물 수질기준 300 $\mu\text{g/L}$ 보다는 낮은 값을 보였으나, 하·폐수의 영향을 받고 있는 금호강에서 103~162(평균 132) $\mu\text{g/L}$ 을 보여 수질오염물질 붕소의 지속적인 관리가 필요한 것으로 사료된다.

참고문헌

환경부, 수질오염공정시험법 (1991).
 APHA AWWA WPCF, *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 18th Edition (1992).

APHA AWWA WPCF, *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 19th Edition (1995).
 APHA AWWA WPCF, *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 20th Edition (1998).
 Christ, C. L. and Harder, H. Boron. In: Wedepohl, K. H.(Ed.), *Handbook of Geochemistry*, Vol II/1, Elements H(1) to Al(13), *Springer Verlag*, Berlin, pp. 5-A-1-5-O-10 (1978).
 De Mora, S. J., The oceans. In: Harrison, R. M. (Ed.), *Understanding Our Environment: An Introduction to Environmental Chemistry and Pollution*. *Royal Society of Chemistry*, Cambridge, pp. 99-136 (1992).
 Health and Welfare(Canada). *Guidelines for Canadian drinking water quality. Supporting documentatin*, Ottawa (1990).
 Horne, R. A., *Marine Chemistry*, Wiley Interscience, New York, pp. 151-152 (1969).
 International Organization for Standardization. *Water Quality-determination of Borate-Spectrometric Method using Azomethine-H*, Geneva (ISO 9390:1990).
 Larsen LA. Boron. In: Selier HG, Sigel H, eds. *Handbook on Toxicity of Inorganic Compounds*, New York, NY, Marcel Dekker (1988).
 Neal., C., Fox, K. K., Harrow, M. and Neal, M., Boron in the Major UK Rivers Entering the North Sea, *Sci. Total Environ.*, 210/211, pp. 41-51 (1998).