

碩士學位論文

제주시 정수장 처리수의 급수과정별
수질변화 특성



濟州大學校 産業大學院

建設環境工學科

韓 敬 龍

2002 年 12 月

碩士學位論文

제주시 정수장 처리수의 급수과정별
수질변화 특성

指導教授 甘 相 奎



濟州大學校 産業大學院

建設環境工學科

韓 敬 龍

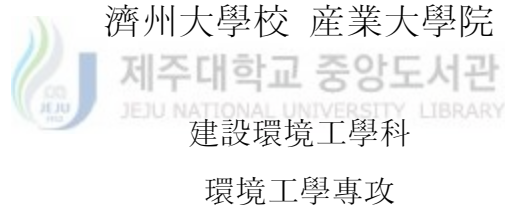
2002 年 12 月

제주시 정수장 처리수의 급수과정별 수질변화 특성

指導教授 甘 相 奎

이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함.

2002 年 12 月



韓 敬 龍

韓敬龍의 工學 碩士學位 論文을 認准함.

2002 年 12 月

審査委員長 허 목 印
委 員 조 은 일 印
委 員 감 상 규 印

Water Quality Change Characteristics of Treated Water in Distribution System of Water Treatment Plant of Jeju City

Kyung-Yong Han

Department of Construction and Environmental Engineering

Graduate School of Industry

Cheju National University

Supervised by Professor Sang-Kyu Kam



In order to investigate the water quality change characteristics of treated water in water distribution systems of four (W, S, B and O) water treatment plants (WTPs) of Jeju city, the raw water, treated water and tap water that did not pass (named as not pass-tap water) and passed through the water storage tank (named as pass-tap water) were sampled and analyzed monthly from September 2001 to August 2002. Moreover, the correlations between the quality of raw water and trihalomethane formation potential (THMFP) at WTPs and between the concentrations of trihalomethanes (THMs) and general items of treated water, not pass-tap water and pass-tap water in water distribution systems, were also examined through the multilinear regression analysis. The results obtained were summarized as follows:

1. For water distribution systems of W, S, B and O WTPs, the concentration ranges (mean±S.D.) of THMs were 6.3~15.3 $\mu\text{g}/\ell$ ($9.3\pm 2.6 \mu\text{g}/\ell$), 5.6~15.8 $\mu\text{g}/\ell$ ($10.0\pm 3.5 \mu\text{g}/\ell$), 2.7~4.6 $\mu\text{g}/\ell$ ($3.5\pm 0.56 \mu\text{g}/\ell$) and 2.7~4.3 $\mu\text{g}/\ell$ ($3.2\pm 0.5 \mu\text{g}/\ell$), respectively, and mean concentrations of CHCl_3 were 0.7 $\mu\text{g}/\ell$, 0.5 $\mu\text{g}/\ell$, 0.3 $\mu\text{g}/\ell$ and 0.3 $\mu\text{g}/\ell$, respectively, indicating that the concentrations of THMs and CHCl_3 were much lower than their water quality criteria. THMs concentrations of pass-tap water were 1.5 to 2.0 higher than those of treated water and not pass-tap water, although THMs concentrations of the latter were similar.
2. The change of residual chlorine concentrations between treated water and not pass-tap water was little because of short residence of the former in pipelines, but that between treated water and pass-tap water was great because of long residence of the former in water storage tank.
3. The concentrations of NO_3^- and Cl^- of treated water in distribution systems did not change. Their seasonal variations were ascribed to the quality of raw water.
4. Although pH of treated water in distribution system did not change for S WTP, for the other WTPs, pH of treated water and not pass-tap water did not change, but pH of pass-tap water was higher than that of treated water. This is considered to be caused by the fact that the water storage tank is made of FRP for S WTP, but for the other WTPs it is made of reinforced concrete and so the calcium oxide which increases water pH was released from it.
5. The turbidity of treated water in distribution systems did not change for B and O WTPs, but the turbidity at W2 of W WTP and S4 and S5 of S WTP was higher than that of each treated water, which is considered to be caused by the fact that the pipelines or water storage tank was very old.
6. It was found that through the multilinear regression analysis, the factors of water quality affecting THMs concentrations were pH, BOD, Br^- , water temp., DO and Cl for raw water, and water temp., pH, residual chlorine, electrical conductivity (EC) for distribution systems of treated water. Among them, the main factors were pH, Br^- , BOD for raw water, and water temp., pH and Cl^- for distribution systems of treated water, although they can change depending on the quality of raw water and the conditions of WTP.

목 차

I. 서론	1
II. 이론적 고찰	3
1. 급수관로에서 수질변화	3
1) 직결급수에서의 수질변화	3
2) 저수조에서의 수질변화	4
(1) 잔류염소 농도의 감소	4
(2) 물리화학적인 수질변화	5
(3) 미생물학적인 수질변화	5
(4) 저수조의 재질과 구조에 따른 수질변화	6
2. THMs 생성 및 농도변화	7
III. 재료 및 분석방법	9
1. 실험재료	9
2. 분석방법	9
IV. 결과 및 고찰	15
1. 수질변화특성	15
1) 원수의 수질변화특성	15
2) 처리수의 급수과정별 수질변화특성	19
(1) 총트리할로메탄(TTHMs) 농도변화	24
(2) 잔류염소 농도변화	31

(3) 질산성질소($\text{NO}_3\text{-N}$)농도변화	34
(4) 염소이온(Cl^-) 농도변화	37
(5) pH(수소이온농도)농도변화	39
(6) 탁도변화	42
2. 수질특성과 TTHMs과의 상관성	45
V. 결론	49
VI. 참고문헌	51



List of Figures

Fig. 1.	Location of sampling sites in Jeju City	11
Fig. 2.	Monthly variation of NO_3^- concentration of raw water at each WTP	18
Fig. 3.	Monthly variation of Cl^- concentration of raw water at each WTP	18
Fig. 4.	Monthly variation of Br^- concentration of raw water at each WTP	19
Fig. 5.	Monthly variation of TTHMs concentration at W water treatment plant(W1) and its distribution systems(W2-W5)	25
Fig. 6.	Monthly variation of TTHMs concentration at S water treatment plant(S1) and its distribution systems(S2-S5)	25
Fig. 7.	Monthly variation of TTHMs concentration at B water treatment plant(B1) and its distribution systems(B2-B5)	26
Fig. 8.	Monthly variation of TTHMs concentration at O water treatment plant(O1) and its distribution systems(O2-O5)	26
Fig. 9.	Comparison of TTHMs concentration between treated water and tap water that passed water tank at each water treatment plant)	27
Fig. 10.	Monthly variation of mean TTHMs concentration at each water treatment plant	28
Fig. 11.	Comparison of average TTHMs concentration of WTP treated water and tap water that did not pass or passed through water storage tank at Jeju city and other cities. 1) and 2) indicate the tap water that did not pass and passed through water storage tank, respectively	29
Fig. 12.	Comparison of average TTHMs concentration of WTP treated water and tap water that did not pass or passed through water storage tank at Jeju city and other cities. 1) and 2) indicate the tap water that	

did not pass and passed through water storage tank, respectively	30
Fig. 13. Monthly variation of RCL concentration at W water treatment plant(W1) and its distribution systems(W2-W5)	32
Fig. 14. Monthly variation of RCL concentration at S water treatment plant(S1) and its distribution systems(S2-S5)	32
Fig. 15. Monthly variation of RCL concentration at B water treatment plant(B1) and its distribution systems(B2-B5)	33
Fig. 16. Monthly variation of RCL concentration at O water treatment plant(O1) and its distribution systems(O2-O5)	33
Fig. 17. Monthly variation of NO ₃ -N concentration at W water treatment plant(W1) and its distribution systems(W2-W5)	35
Fig. 18. Monthly variation of NO ₃ -N concentration at S water treatment plant(S1) and its distribution systems(S2-S5)	35
Fig. 19. Monthly variation of NO ₃ -N concentration at B water treatment plant(B1) and its distribution systems(B2-B5)	36
Fig. 20. Monthly variation of NO ₃ -N concentration at O water treatment plant(O1) and its distribution systems(O2-O5)	36
Fig. 21. Monthly variation of Cl concentration at W water treatment plant(W1) and its distribution systems(W2-W5)	37
Fig. 22. Monthly variation of Cl concentration at S water treatment plant(S1) and its distribution systems(S2-S5)	38
Fig. 23. Monthly variation of Cl concentration at B water treatment plant(B1) and its distribution systems(B2-B5)	38
Fig. 24. Monthly variation of Cl concentration at O water treatment plant(O1) and its distribution systems(O2-O5)	39
Fig. 25. Monthly variation of pH concentration at W water treatment plant(W1) and its distribution systems(W2-W5)	40
Fig. 26. Monthly variation of pH concentration at S water treatment plant(S1)	

and its distribution systems(S2-S5)	40
Fig. 27. Monthly variation of pH concentration at B water treatment plant(B1) and its distribution systems(B2-B5)	41
Fig. 28. Monthly variation of pH concentration at O water treatment plant(O1) and its distribution systems(O2-O5)	41
Fig. 29. Monthly variation of turbidity at W water treatment plant(W1) and its distribution systems(W2-W5)	43
Fig. 30. Monthly variation of turbidity at S water treatment plant(S1) and its distribution systems(S2-S5)	43
Fig. 31. Monthly variation of turbidity at B water treatment plant(B1) and its distribution systems(B2-B5)	44
Fig. 32. Monthly variation of turbidity at O water treatment plant(O1) and its distribution systems(O2-O5)	44



List of Tables

Table 1. Sampling sites at each water treatment plant(WTP)	10
Table 2. The operating condition of purge & trap apparatus, auto sampler, gas chromatograph and mass spectromete	13
Table 3. The operating condition of ion chromatograph	14
Table 4. The analytical results of raw water quality used in water treatment plant(WTP) of Jeju City	17
Table 5. The analytical results of samples at water treatment plant(W1) and its distribution system(W2-W5)	20
Table 6. The analytical results of samples at water treatment plant(S1) and its distribution system(S2-S5)	21
Table 7. The analytical results of samples at water treatment plant(B1) and its distribution system(B2-B5)	22
Table 8. The analytical results of samples at water treatment plant(O1) and its distribution system(O2-O5)	23
Table 9. Comparison of average TTHM _S concentration of WTP treated water and tap water that did not pass or passed through water storage tank at Jeju city and other cities(환경부, 2002)	29
Table 10. Comparison of average CHCl ₃ concentration of WTP treated water and tap water that did not pass or passed through water storage tank at Jeju city and other cities(환경부, 2002)	30
Table 11. Multiple linear regression result of factors affecting TTHMs concentration in raw water of each water treatment plant	47
Table 12. Multiple linear regression result of factors affecting TTHMs concentration in water distribution systems of each water treatment plant	48

I. 서 론

물은 생명의 원천이자 한 나라의 경제성장과 산업발전은 물론 도시성장과 문화활동을 지속하게 하는 인간에게 없어서는 안 될 아주 중요한 기초자원이다. 인체구성 성분의 약 70%는 물로 구성되어 있으며, 이러한 귀중한 물을 섭취하도록 인체에 유익하고 안전한 물을 공급하기 위하여 하천수, 호소수 또는 지하수 등을 취수하여 원수 수질에 맞는 정수처리를 거쳐 안전한 음용수를 생산하게 된다.

음용수는 도시화와 함께 국민의 생활수준 향상에 따라 도시나 농촌에서도 사용량이 크게 증가하고 있으며, 제주도 경우는 1일 평균소요량이 335ℓ에 이르고 있다(제주시, 2001).

일반적으로 정수장에서 처리된 물은 각 가정에 도달하기까지 체류시간, 수도관의 재질, 부식상태 및 원수의 수질에 따라 화학적 및 미생물적인 수질특성이 변한다고 보고되고 있다(최와 왕, 1996; 주와 박, 1996; 이 등, 1997; Hamzah 등, 1997; Nissinen 등, 2000; Rompre 등, 2000; Choi 등, 2002). 특히, 급수관로내부의 부식은 수질을 변화시키는 가장 중요한 요인으로, 부식절편(tubercle)이 존재하면 금속이온 농도의 증가, 적수(red water) 발생 외에 미생물 성장에 좋은 환경을 제공하고(즉 생물막을 형성하며 이러한 경우는 많은 관로에서 관찰되었음, LeChevallier 등, 1987, 1993, 1996; Opheim 등, 1988; Emde 등, 1992; Camper 등, 1996), 관로벽의 부식 또는 부식부산물은 관로내의 살균제(염소)와 반응함으로써 생물막 조절효율을 감소시키거나 살균제와 먼저 반응하여 관로벽 또는 액상 중에 존재하는 미생물을 살균시키지 못한다고 보고되고 있어(LeChevallier 등, 1993) 각 정수장에서는 처리수의 가정말단에서의 잔류염소를 주기적으로 측정하여 미생물 존재 여부를 확인하고 있다. 또한 다세대 주택, 아파트, 연립주택에서는 단수 등 비상시에 대비한 예비수량을 확보하고 시간대별로 변하는 음용수를 안정적으로 공급하기 위해 급수저장탱크(저수조)를 설치하여 이를 통해 각 가정에 음용수를 공급하고 있으나 저수조의 재질, 구조, 음용수의 체류시간 및 관리상태에 따라 물의 맛이나 색이 변화되고 미생물의 서식 등에 의한 인체 보건위생학적 문제를 유발할 수 있는 요인이 되고 있다(Clark 등, 1993, 1996;

고 등, 1996).

그리고 정수장에서는 원수중의 미생물을 살균하기 위해 투여되는 염소는 급수과정에서 존재할 수 있는 미생물을 살균하기 위해 일정량 투입해야 한다. 이 때 염소는 수중에 존재하는 휴믹질 등 유기물과 반응하여 THMs 등 소독부산물을 생성하며 (Rook, 1974; Allgeier 등, 1980), 이는 현재 정수처리기술 및 음용수 수질관리에서 직면하고 있는 주요한 과제중의 하나이고, 생성된 소독부산물의 농도는 급수과정에서 차이를 유발하며(Nissinen 등, 2000), 인간을 비롯한 포유류에게 간독성, 신장독성, 최기형성, 발암성 및 변이원성독성 등 다양하게 위해를 끼치므로(Srikanth, 1997) 각국에서는 이에 대한 수질기준을 설정하여 수질을 관리하고 있다.

이와 같이 정수장에서 양질의 깨끗한 음용수를 공급하더라도 급수관로의 재질, 부식상태, 물의 체류시간 및 처리수의 수질에 따라 수질이 변하며 이의 변화를 예측하기 위해 Clark와 Coyle(1990), Clark 등(1993)은 관로내부의 수리학적 모델과 결합한 오염물질의 확산모델을 개발하였으며, 이는 급수관로를 통한 오염물질의 시간적, 공간적 분포특성을 예측할 수 있다고 보고하고 있다.

제주시는 해안가 용천수를 수원으로 이용하여 음용수를 생산하고 있는데 수질이 비교적 깨끗하여 응집제를 사용하지 않아 정수처리공정이 간단하며 일반적인 정수처리 공정은 취수 및 도수, 모래완속여과, 소독 등을 거쳐 정수지에 저장되면 자연유식 또는 펌프로 가입시켜 각 가정내 수도꼭지까지 음용수를 공급하게 된다. 그러나 적절한 정수처리 방식에 의한 음용수의 공급이 이루어진다 하여도 정수장에서 흘러나와 각 가정에까지 도달되는 과정에서 관의 부식, 이에 따른 미생물막의 형성, 수압의 잦은 변동 및 체류시간 등에 의하여 수질변화가 발생하게 되면 음용수에 불신을 초래할 수 있다.

본 연구에서는 제주시 정수장에서 처리되어 공급되는 음용수가 급수과정에서 일정한 수질로 공급되는지를 그리고 저수조에서 수질변화를 살펴보기 위해 2001년 9월부터 2002년 8월까지 1년 동안 정수장의 원수, 처리수 및 급수관로 및 저수조를 통과한 음용수에 대해 수질변화특성을 살펴보았다. 또한 정수처리과정에서 관심이 집중되고 있는 소독부산물 중 THMs 생성농도와 원수 수질과의 상관성, 급수과정 및 저수조에서의 THMs의 농도와 이들 수질과의 상관성을 검토하였다.

II. 이론적 고찰

1. 급수관로에서 수질변화

음용수의 안정성을 제고하고 소비자의 불쾌감 및 불편성을 해소하기 위해 급수관망시스템에서의 수질 유지는 매우 중요하다. 수도관의 부식에 의한 수질악화는 가장 빈번히 발생하는 민원사항의 하나이며 원수의 처리과정에서 제거되지 않은 입자상 물질의 급수관로내 또는 저수조에서의 침적은 수돗물 불신의 큰 원인이 되기도 한다. 정수장 처리수의 직결급수(급수관로내) 및 저수조에서의 수질변화 특성을 살펴보면 다음과 같다.

1) 직결급수에서의 수질변화

정수장에서 안전하게 정수된 음용수인 경우에도 각 가정으로 급수중 오염되거나 오래전에 포설된 급수도관의 부식 등으로 음용수의 안정성에 관한 문제가 제기되고 있다(한, 1990).

부식은 내면을 지나는 수도수에 의한 내면부식과 외면의 매설토에 의한 토양부식으로 구분되며(박, 1980), 이는 급수관로의 구조적 악화의 주요 요인으로 미국의 East Bay Municipal Utility District(EBMUD)의 관로파손 요인의 46%, Denver Water Department(DWD)의 누수원인의 64%를 차지한다는 보고가 있다(AWWA, 1986). 특히 철관의 부식은 통수능력을 격감시킴으로써 배수계통과 급수시설에 대한 막대한 경제적 손실을 초래하기도 한다. 또한 수도관에서 철분이 용출되어 관망내에서 산산화제이철(녹)로 산화침전된 것이 물 흐름의 변화에 따라 부상하여 음용수중에 함유되어 이른바 적수문제를 일으킨다.(김, 1988). 적수발생의 가장 일반적인 형태는 관부식에 의한 것이고, 수리적 구조에 의한 주로 정체수에 의해 일어난다(최 등, 1992).

급수관로중의 수질저하는 색도, 탁도, 취미(臭味), 유충생물에 기인되기도 하며, 관로중 석회용출, 세균의 재증식, THMs의 생성에 기인하기도 한다. 수도수중의 색도와

탁도는 금속이온이나 원수에 포함되어 있는 식물부식성 물질에서 발생되며, 취미는 상수체계 뿐만 아니라 하수체계에서도 문제가 되며 유출생물은 급수전으로부터 유출되는 동물로서 수충과 뉴스리카의 유충이 제일 많으며 급수관로내에서 생물은 주로 현탁성 유기물을 음료원으로 하는 고행배설물을 생성함으로써 직접 색도를 유발하기도 한다. 급수관로의 석회용출은 콘크리트관과 석면시멘트로부터 pH 변화에 따라 용출되며, 세균의 재증식은 관로내의 잔류살균제의 결여로 발생한다. THMs의 존재는 정수장의 염소처리과정에서 발생되나 원수수질, 정수처리방법 또는 염소와의 접촉시간의 증가가 주원인이 되기도 한다.

급수관의 부식은 보수비용 및 누수 등의 경제적인 손실뿐만 아니라 급수전으로부터 흘러나오는 물의 안정성에도 영향을 미친다. pH가 높을 때 결석(scale)이 발생하여 수도관의 통수단면적이 축소되고 관의 부식으로 이물질이 관내로 유입되고 관의 수명이 단축되는 등 경제적 손실도 막대하다. 관의 부식으로 철, 납, 구리 및 아연 등이 음용수중에 포함될 수 있으며 노후 관로중에 존재하는 부식물은 잔류염소와 반응하여 THMs를 생성하여 정수장의 유출수보다 높아지는 등 음용수의 수질에 미치는 영향이 큰 것으로 보고되고 있다(옥과 정, 1991; 박과 김, 1991).

2) 저수조에서의 수질변화(환경보전협회, 2002)

저수조의 설치목적은 안정적인 배급수 체계의 구축과 비상시 식수문제를 해결하기 위한 차원에서 일정규모 이상의 건축물에 대하여 설치토록 의무화하고 있다. 관압 등 출수상태가 불안정할 때에는 저수조는 안정급수에 상당한 기여를 하고, 빌딩, 아파트 등 고층건물의 경우에 안정급수에 꼭 필요한 시설이다. 그러나 저수조에서 음용수의 장시간 체류, 저수조의 구조, 재질, 수온 등 다양한 요인으로 인해 다음과 같은 수질 변화가 발생하고 있다.

(1) 잔류염소 농도의 감소

수돗물에서의 적정잔류염소 유지는 미생물에 대한 안전성을 나타내는 지표이다. 정수장에서 적정농도의 잔류염소가 유지 공급되더라도 수질상태와 배급수 여건에 따라 염소가 소비되어, 최종 수도꼭지에서의 잔류염소가 적정농도(0.2 mg/ℓ) 이하로 떨어지는 경우가 있으며, 특히 여름철 저수조(물탱크)에서 체류시간이 긴 경우에 잔류염

소가 부족하여 문제가 될 수 있다.

수도시설의 청소 및 위생관리 등에 관한 규칙 제2조 3호에 의하면, 수도꼭지에 있어서의 먹는물의 잔류염소는 항상 $0.2 \text{ mg}/\ell$ (결합 잔류염소의 경우 $1.5 \text{ mg}/\ell$) 이상 유지되도록 하고, 병원미생물에 대한 오염 또는 오염의 우려가 있는 경우에는 잔류염소를 $0.4 \text{ mg}/\ell$ (결합잔류 염소의 경우 $1.8 \text{ mg}/\ell$) 이상 유지하도록 규정하고 있다.

저수조에서의 잔류염소 감소패턴은 수온 등 여건에 따라 다르나 시험결과에 의하면 여름철 급수장치 전에서의 잔류염소 농도가 $0.3\sim 0.4 \text{ mg}/\ell$ 유지되어야 하며, 저수조에서의 체류시간이 5시간 이내가 되도록 하는 것이 바람직하다.

(2) 물리화학적인 수질변화

저수조에서 수돗물이 체류하는 동안에 예상되는 물리화학적인 변화요인은 저수조의 재질, 구조, 수온 등 환경여건에 따라 다르나, 일반적으로 입자상 물질의 침전퇴적, 재질에서의 용출, 외부에서의 이물질 침투혼합, 화학반응에 의한 새로운 물질의 합성생성 등이 예상되지만 재질과 구조상 결함이 없는 한 입자상 물질의 퇴적문제가 대부분을 차지하고 있다. 이러한 입자상물질은 정수장에서 제거되지 않은 미세한 탁질외에 관부식 이탈물질, 각종 배관공사시 혼입된 이물질 등이며, 이러한 물질이 저수조에서 침전 퇴적되어 미생물학적인 변화와 2차오염 문제를 야기하게 된다. 또한 환기구(air vent) 등 외부 노출부위에서의 이물질 혼입, 누수부분에서 외수침투 등에 의한 오염방지가 중요한 문제가 되고 있다. 재질의 용출문제로서는 철재의 경우 녹물 발생, 코팅, 도장재료에 따른 휘발성 유기화합물질(PCE, TEC 등)의 용출문제가 발생되고 있다. 화학물질의 합성생성 문제는 THMs 등 염소소독 부산물외에 암모니아성 질소의 클로라민화 등이 발생될 수 있다.

(3) 미생물학적인 수질변화

저수조내에서의 미생물 문제는 잔류염소 농도와 밀접한 관계가 있으며, 잔류염소 농도가 $0.1 \text{ mg}/\ell$ 이상 유지된다면 미생물의 부활재성장 증식은 정지된다고 본다. 그러나 저수조의 재질, 퇴적층의 상태, 벽체, 등의 생물막의 형태와 환경조건에 따라 미생물에 대한 안전성은 불확실해 진다.

미생물은 적당한 영양분과 온도, pH 등 조건이 알맞게 되면 순식간에 증식될 수

있다. 상수도에 있어서의 미생물 문제는 원생동물, 조류, 세균 및 바이러스로 대별되며, 이중 저수조에서 문제시 될 수 있는 계통은 세균류가 대부분이고 차광이 되지 않은 특수한 여건에서는 조류의 증식발생이 예상된다. 재질에 따라 철박테리아는 철을 부식시키고, 유황박테리아는 콘크리트 부식에 관계가 있다.

(4) 저수조의 재질과 구조에 따른 수질변화

수돗물은 정수장에서 생산하여 수용가까지 공급하는 소요시간이 길어질수록 일반적으로 수질변화의 위험성은 커진다. 이러한 이유로 저수조를 통하여 공급되는 물은 최단 시간내에 수요자에게 공급하는 것이 이상적이나 저수조의 구조와 상태에 따라 국지적으로 정체현상에 의한 수질저하를 가져올 수 있다.

이러한 경우에 나중에 들어온 물이 먼저 수용가에게 공급되고 먼저 들어온 물이 정체되어 수질이 나빠지게 된다.

또한 저수조의 구조물과 배관 등 부대시설의 재질에 따라 수질에 영향을 미칠 수 있다. 서울시의 경우 지하저수조의 재질은 콘크리트 구조가 많고 옥상물탱크(고가수조)의 경우는 FRP가 제일 많은 비율로 차지하고 있다.

관부식에 영향을 미치는 인자는 유속, 온도에 따른 물리적 요인과 용존산소(DO), 수소이온농도(pH), 잔류염소농도 등에 따라 좌우된다.

철근콘크리트와 실리카계통의 방수재 등은 무기물질의 용출오염을 예상할 수 있으나, 농도와 유해성 측면에서 야기될 수 있고, FRP, PE 등 합성수지 계통은 특히 설치초기에 휘발성유기합성화합물의 용출 가능성이 있다.

특히 고가수조의 경우 외부 햇빛에 노출될 경우 열화변질 문제와 PE 제품과 같이 투명성일 경우 조류번식의 원인이 되므로 반드시 햇빛을 차단할 수 있는 시설을 요한다.

또한 바닥면과 벽면의 상태는 요철이 없는 매끄러운 상태를 유지하여야 미생물의 서식을 감소시킬 수 있다. 이밖에 구리(Cu), 납(Pb), 아연(Zn) 등의 금속재질을 사용 시에는 용출 오염문제가 야기된다.

2. THMs 생성 및 농도변화

정수장에서는 원수 중의 미생물을 살균하기 위해 투여되는 염소는 급수과정에서 존재할 수 있는 미생물을 살균하기 위해 일정량 이상 투입해야 한다. 이때 염소는 미생물 살균 외에 수중에 존재하는 휴믹질(humic substances) 등 다양한 유기물과 반응하여 상당한 양의 THMs과 총유기할로젠화합물(TOX) 등 소독부산물(DBPs)이 생성된다고 보고되고 있다(Rook, 1976; Fleischacker와 Randtke, 1983).

최근 염소 소독부산물과 이의 건강에 미치는 영향에 대한 분석기술의 발달로, 많은 휘발성, 비휘발성 유기할로젠화합물(haloacetic acids, haloacetonitriles, haloketones 과 chloropicrin)이 미량으로 동정되었고 이들은 약간의 독성 및 변이원성의 영향을 가지고 있음이 밝혀졌다(Krasner 등, 1989 ; Orme 등, 1990).

염소소독시 생성되는 DBPs의 농도와 종분포는 유기전구물질의 형태에 크게 의존하고, 수중 휴믹질은 음용수에서 DBPs에 대한 주요 유기전구물질로서 관련이 되어 있다. 많은 연구자가 자연유기물로부터 DBPs 생성을 평가 또는 DBPs 생성에 대한 화학적성질의 관련성을 이해하기 위해 유용한 surrogate 파라미터를 찾기 위한 노력의 일환으로 휴믹질 또는 원수의 특징과 DBPs생성과의 관계를 검토하였다. Oliver와 Thurman(1983)은 THM 생성능(THMFP)과 12종의 수중 폴빅산의 기본적인 특징(즉 UV흡광도, 분자크기, 카르복실성 또는 페놀성 OH기의 함량 등)사이의 관계를 연구한 결과 분자크기와 UV흡광도는 THM 생성능(THMFP)과 가장 강한 상관성이 있음을 밝혔고, Reckhow 등(1990)은 10개의 다른 휴믹질의 활성화된 방향족 함량과 DBPs생성과의 관계를 검토한 결과 THMFP 및 TOXFP는 활성화된 방향족 함량과 매우 높은 상관성을 가지고 있음을 밝혔다.

브롬치환할로젠화합물, 예를 들면 CHBrCl_2 , CHBr_2Cl , CHBr_3 , CH_2BrCOOH , CHBrClCOOH , CHBr_2COOH 등은 일반적으로 대부분의 자연수 중에 녹아있는 Br^- 의 배경 농도 위에서 염소의 작용에 의해 개시되는 같은 방향의 브롬화 반응에 기인되는 것으로 사료되고, 염소화존 및 브롬화존 사이의 분포는 Cl_2/Br^- 의 비와 전구물질의 특성에 좌우한다(Huang 과 Yeh, 1997). Rook와 Gras(1978)는 Cl_2 과 Br_2 이 혼합되어 작용하였을때 Br_2 이 더 강력한 할로젠화제라고 보고하였다. 그리고 휴믹산의 염소처

리시 Br^- 의 농도를 증가 시키면 브롬화된 THM_5 특히 CHBr_3 의 생성이 증가하고, CHCl_3 의 농도는 급격히 감소하고, CHBrCl_2 및 CHBr_2Cl 농도는 최대농도를 지나 및 CHBr_3 이 계속적으로 증가한다고 보고되고 있다(Minear와 Bird, 1980). 그리고 Huang 과 Yeh(1997)는 소독부산물에 대한 연구에서 수중 유기물의 특성(카르복실성 및 페놀성산도, 방향족/지방족 함량, UV흡광도 등)이 DBP_5 의 생성에 영향을 미치며, 더 높은 페놀성 산도와 방향족 함량 및 UV흡광도를 가지고 있는 소수성유기물은 친수성유기물보다 더 많은 잔류염소를 소모하고 더 높은 DBP_5 를 생성하고, 휴믹산의 THMFP 는 브롬이온의 농도가 증가 할수록 감소하나 폴빅산에 대해서는 이에 따른 차이는 거의 없는 다고 보고하고 있다.

그리고 급수관로 중에는 존재할 수 있는 미생물을 사멸하기 위해 일정농도의 잔류염소가 존재하고 있는데, 이는 관로의 상태에 따라 존재하고 있는 유기물과 반응하여 계속적으로 THM_5 을 형성하여 정수장의 처리수에서 보다 높아질 수 있다(최 등, 1992).



Ⅲ. 재료 및 분석방법

1. 실험재료

제주시 정수장의 급수과정별 수질특성을 파악하기 위해 제주시에서 음용수를 공급되는 5개 정수장중 물의 공급이 균일하지 않은 D 정수장을 제외한 4개 정수장(W, S, B, O 정수장)을 대상으로 원수로부터 일반적인 처리방식(완속모래여과, 소독)을 거친 정수장의 처리수와 이로부터 급수되는 4개 지점 등 5개 지점에서 음용수를 채수하였다. 이 중 3개 지점은 정수장으로부터 시내 수도관에서 직접연결 되어진 일반주택지이며, 나머지 1개소는 지하 저수조와 물탱크에 저장되었다가 공급되어지는 아파트내 수도꼭지에서 각각 시료를 채취하였다. 이 때 급수구역이 타 정수장 급수구역과 인접한 지역은 음용수가 혼합될 소지가 있어 그러한 지역을 피하였으며, 또한 고지 배수지에서 공급되는 지역도 음용수가 혼합되어서 급수되므로 배제하였다. 4개 정수장 급수 공급지역으로 구분하여 채수 장소를 정하였으며 이에 대한 것은 Table 1과 Fig. 1에 나타내었다. 채수한 시료는 즉시 아이스박스에 냉장시켜 실험실로 운반한 후 냉장보관하면서 분석에 사용하였다.

2. 분석방법

정수장의 처리수 및 급수과정별 수질은 먹는물수질기준 47개 항목과 수온, 잔류염소, 전기전도도 등 50개 항목에 대해, 그리고 정수장에 공급되는 원수의 수질은 수도법상의 측정항목인 24개 항목에 대해 먹는물공정시험방법 및 Standard Method에 준하여 측정하였다.

THM₅과 VOC₅중 톨루엔, 벤젠, 에틸벤젠, 크실렌, 1,1,1-트리클로로에탄, 테트라클로로에틸렌, 트리클로로에틸렌, 디클로로메탄, 1,1-디클로로에틸렌, 사염화탄소 등 10

Table 1. Sampling sites at each water treatment plant(WTP)

WTP	Sampling sites	Address	Remark
W	W1	Nohyungdong 2261-1	Water treatment plant
	W2	Dopyungdong 872-1	Tap water
	W3	Dodu 1 dong 2560	Tap water
	W4	Iho 2 dong 116-2	Tap water
	W5	Iho 2 dong 116-2	W4 site water tank
S	S1	Gunipdong 441	Water treatment plant
	S2	Gunipdong 1184-1	Tap water
	S3	Gunipdong 1057-10	Tap water
	S4	Samdo 2 dong 10-2	Tap water
	S5	Samdo 2 dong 10-2	S4 site water tank
B	B1	Hwabuk 1 dong 4494-1	Water treatment plant
	B2	Ildo 1 dong 987-24	Tap water
	B3	Samdo 1 dong 811-4	Tap water
	B4	Ido 1 dong 1694-1	Tap water
	B5	Ido 1 dong 1694-1	B4 site water tank
O	O1	Ora 2 dong 2033-1	Water treatment plant
	O2	Yundong 295-9	Tap water
	O3	Yundong 290-95	Tap water
	O4	Yundong 290-84	Tap water
	O5	Yundong 290-84	O4 site water tank

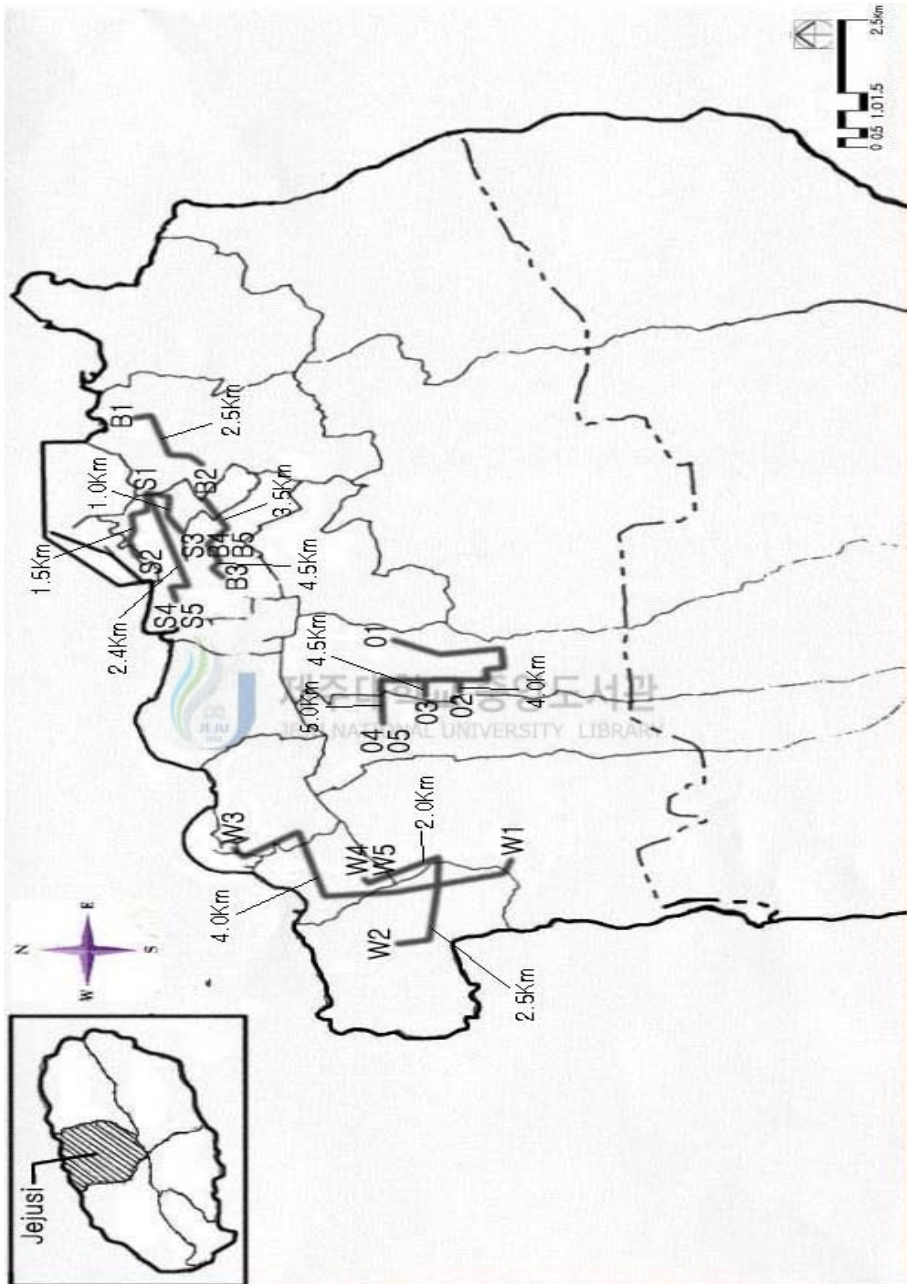


Fig. 1. Location of the sampling sites in Jeju City

종류의 수질항목은 GC/MSD-Purge Trap방법을 사용하여 분석하였고, 자동주입장치(AQUATEk50, Tekmar Co.)를 부착한 Purge Trap(Tekmar 2000, Tekmar Co.)장치와 Gas Chromatograph(STAR 3400CX, Varian Co.)-Mass Spectrometer(SATUR N 3, Varian Co.)를 이용하여 분석하였으며 분석조건은 Table 2 와 같다.

THM₅과 VOC₅분석은 분석용 시료수 40 mL vial을 purge & trap 자동 주입 장치에 장착시키면 vial속의 시료를 5 mL sample loop에 채우고 purge & trap sparge vessel로 이동시킨다. 이동된 시료는 30 mL/min의 유량으로 11분 동안 헬륨가스로 purge하여 휘발성 유기물질을 trap에 흡착시킨다. 흡착 종료 후 trap을 190℃까지 급상승시키면 휘발성 유기물질이 trap에서 탈착 되면서 GC로 자동 주입하여 column의 특성을 이용 분리 mass spectrometer에서 정성·정량분석을 하였다.

미생물 검사는 먹는물공정시험방법에 의하여 일반세균과 총대장균 검사를 실시하였으며, 수온은 휴대용 수온측정기(Thermocouple Thermometer, GLAS-COL Co., Model 104APR 1000, USA), 탁도는 Nephelometric Turbidity Units 탁도계(2100AN Turbidimeter, HACH Co., USA), 수소이온농도는 pH Meter(520A pH Meter, ORION Co., USA), 전기전도도는 Conductivity Meter(4020 Conductivity Meter, JENWAY Co.), 잔류염소농도는 휴대용측정기(Chlorine Meter, HACH Co., USA)를, 염소이온농도, 질산성질소농도, 브롬이온농도 및 황산이온농도 분석은 이온크로마토그래피(Dionex 500)를 이용하여 분석하였으며, 분석조건은 Table 3과 같다.

Table 2. The operating condition of purge & trap apparatus,
auto sampler, gas chromatograph and mass spectrometer

Purge & Trap apparatus	
Purge time	11 min
Purge flow	30 mL/min
Sample mount	30 °C at low
Transfer line temperature	110 °C
Sparge vessel	5 mL
Trap	Vocarb 4000(24918, Supelco co.) Desorb 2 min at 250 °C, Bake 15 min at 260 °C
Autosampler for purge & trap apparatus	
Sample loop	5 mL
Sample vial	40 mL
Gas chromatograph	
Column	60 meter Rtx-502.2 0.32 mm-ID, 1.8 μ m film thickness
Flow rate	0.8 mL/min
Split ratio	80 : 1
Split rate	65 mL/min
Transfer line temperature	220 °C
Injector temperature	125 °C
Column program	35 °C, hold 2 min, 4 °C/min to 50 °C 7 °C/min to 200 °C, hold 0.83 min
Mass spectrometer	
Manifold temperature	125 °C
Scan rate	0.7 s/scan
Filament delay	4.0 min
Background mass	45 u
Mass range	47 u to 260u

Table 3. The operating condition of ion chromatograph

System Parts	
Column flow	ANION AS12A(4 mm) 1.5 mL/min
Sample loop	100 μ l
Detector	Conductivity
Range	1.0 μ s
Suppressor	ASRS- I (4 mm)
Suppressor voltage	50 mA
Pump	IP20 Isocratic pump



IV. 결과 및 고찰

1. 수질변화특성

1) 원수의 수질변화특성

원수의 수질은 정수처리 및 급수과정에서 처리수의 농도에 영향을 미칠 수 있으므로 본 연구에 사용된 4개 정수장의 원수의 수질을 2001년 9월부터 2002년 8월까지 1년동안 측정하여 그 결과를 Table 4에 나타내었다. Table 4에서 알 수 있는 바와 같이 제주시 정수장의 원수의 수질이 매우 양호함을 알 수 있고, 특히 유기물의 지표로 사용되고 있는 BOD는 0.00~0.25 mg/L로 유기물이 미량 함유되어 있음을 알 수 있다. 이는 상수원으로 사용하고 있는 원수는 해안변에서 용출되는 용천수로 비교적 하천수나 호소수보다 수질이 안정하고 깨끗하기 때문이다. 원수 수질검사항목에서 월별 농도변화가 비교적 큰 질산성질소(NO_3^-), 염소이온(Cl^-), 브롬이온(Br^-)농도 대하여 변화를 각각 Fig. 2~Fig. 4에 나타내었다.

각 정수장 원수의 질산성질소농도범위(평균±표준편차)는 W 정수장, S정수장, B정수장 및 O정수장에 대해 각각 3.0~6.1 mg/l (4.3 ± 1.060 mg/l), 6.4~8.9 mg/l (7.6 ± 0.840 mg/l), 1.7~3.8 mg/l (2.8 ± 0.60 mg/l), 2.7~4.6 mg/l (3.5 ± 0.057 mg/l)의 농도로 검출되었으며, 원수 수질 양호도는 B정수장>O정수장>W정수장>S정수장의 순으로 감소하였고, 이의 최대농도 및 농도변화는 정수장에 따라 다소 차이는 있지만 대체적으로 여름철에 높게 나타났다(Fig. 2). 이는 이 기간 동안 강수량이 119~496 mm(평균 324 mm)로 1년 월평균 142 mm보다 약 2.6배 높아 이로 인해 상류지역의 토양중에 흡착되어 있는 질산성질소가 보다 쉽게 용탈되어 원수중에 유입되었기 때문인 것으로 판단된다.

농어촌진흥공사(1994)에 의하면 제주도는 화산섬이 지닌 특수한 지형조건으로 연강우량의 45%정도가 지하로 쉽게 침투하는 특성을 갖고 있어 강수의 지하침투가 용이하고 오·폐수의 지하침투 또한 용이하므로 토양중의 성분이 용탈되어 지하수질에

영향을 미칠 수 있고 지표 및 지하수는 그 성분이 변할 수 있다고 보고하고 있고, 오 (1994)는 제주도의 투수성지질(꽃자왈 및 숲골)이 강수를 지하수체로 유입시키는 통로와 같은 역할을 하기 때문에 토양 중의 질산성질소는 음전하를 갖는 이온으로 토양 점토의 전하와 반발하여 쉽게 용탈 할 수 있는 이온이며, 지하수 중의 질산성질소의 농도에 영향을 미치는 것에는 가정 하수, 가축 분뇨 그리고 농업활동에 사용된 비료 등이 있다고 보고하고 있다.

각 정수장 원수의 염소이온농도범위(평균±표준편차)는 W 정수장, S정수장, B정수장 및 O정수장에 대해 각각 43~117 mg/l (75±21.950 mg/l), 27~53 mg/l (38±8.854 mg/l), 9.0~22 mg/l (13±4.859 mg/l), 15~31 mg/l (22±5.664 mg/l)로 나타났으며, W 정수장 수원이 염소이온농도 변화가 제일 컸으며, 겨울철 및 봄에 비교적 높았다 (Fig. 3).

각 정수장 원수의 브롬이온농도범위(평균±표준편차)는 W 정수장, S정수장, B정수장 및 O정수장에 대해 각각 1.08~2.92 mg/l (1.91±0.707 mg/l), 0.76~1.27 mg/l (0.95±0.175 mg/l), 0.0~0.15 mg/l (0.10±0.034 mg/l), 0.15~0.32 mg/l (0.24±0.057 mg/l)를 나타냈으며, W, S 정수장 수원이 B, O 정수장 수원보다 높으며 이러한 현상은 염소이온과 비슷하며, 브롬이온 역시 겨울철 및 봄에 높게 나타났다(Fig. 4). W 또는 S 정수장에서 염소이온과 브롬이온은 질산성질소와는 달리 겨울철 및 봄에 농도가 높게 검출되는 이유는 강수량이 적어 지하수체가 해수의 영향을 받기 때문인 것으로 추정된다. 연세대학교(1996)의 보고에 의하면 제주도과 같이 화산암체로 이루어진 하와이(Hawaii)의 오후우(Ohau)도에서 해안지역 지하수를 장기간 관측하여 분석한 결과에 의하면 강수의 함양량이 감소하게 되면 해안지역이 지하수체는 조석간만에 의한 지하수위가 주기적으로 반복하듯이 해안지역 지하수를 주기적으로 채수하게 되면 수두변화에 따른 주기적인 지하수체의 수축, 팽창현상으로 인해 담수와 해수가 혼합된 점이대가 시간이 지남에 따라 확산되어 담수체내로 염소이온 또는 브롬이온을 증가시키는 원인이 된다고 보고하고 있다.

Table 4. The analytical results of raw water quality used in water treatment plant(WTP) of Jeju City

(Unit : mg/ℓ)

Item	W	S	B	O
pH	7.6~8.3 (7.9±0.235)	7.0~7.4 (7.3±0.193)	7.6~7.9 (7.7±0.094)	7.2~7.4 (7.2±0.067)
DO	9.6~11.3 (10.3±0.623)	4.6~6.4 (5.6±0.614)	9.3~10.2 (9.9±0.261)	8.0~9.5 (8.4±0.454)
BOD	0.1~0.2 (0.17±0.049)	0.05~0.25 (0.18±0.101)	0.0~0.25 (0.10±0.072)	0.05~0.25 (0.14±0.071)
SS	0.0~0.6 (0.14±0.162)	0.0~2.3 (0.26±0.649)	0.0~0.1 (0.03±0.045)	0.0~1.3 (0.17±0.410)
NH ₄ -N	0	0	0	0
NO ₃ -N	3.0~6.1 (4.3±1.060)	6.4~9.1 (7.6±0.840)	1.7~3.8 (2.8±0.60)	2.7~4.6 (3.5±0.573)
Chloride	43~117 (75±21.950)	27~53 (38±8.854)	9.0~22 (13±4.859)	15~31 (22±5.664)
Bromide	1.08~2.92 (1.91±0.707)	0.76~1.27 (0.95±0.175)	0.0~0.15 (0.10±0.034)	0.15~0.32 (0.24±0.057)
TDS	113~250 (167±45.410)	98~175 (137±28.478)	41~82 (60±12.152)	60~145 (84±24.739)
Temp. (°C)	13~18 (16.2±1.528)	16~19 (17.0±1.084)	13~16 (14.3±0.754)	14~16 (15.0±0.739)
Rainfall (mm)	34~495.7 (142±140.115)	34~495.7 (142±140.115)	34~495.7 (142±140.115)	34~495.7 (142±140.115)

(): Mean value ±S.D., * anionic surfactant, As, Hg, Pb, Cr⁶⁺, Cd, Se, malathion, parathion, diazinon, fenitrothion, F, carbaryl, phenol, 1,1,1-trichloroethane, tetrachloroethylene and trichloroethylene: not detected

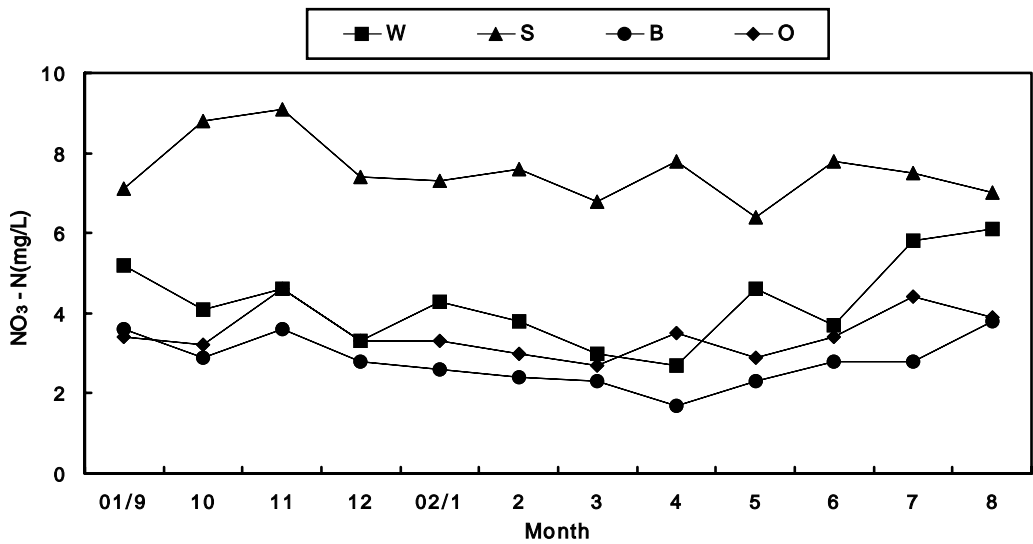


Fig. 2. Monthly variation of NO₃⁻ concentration of raw water at each WTP.

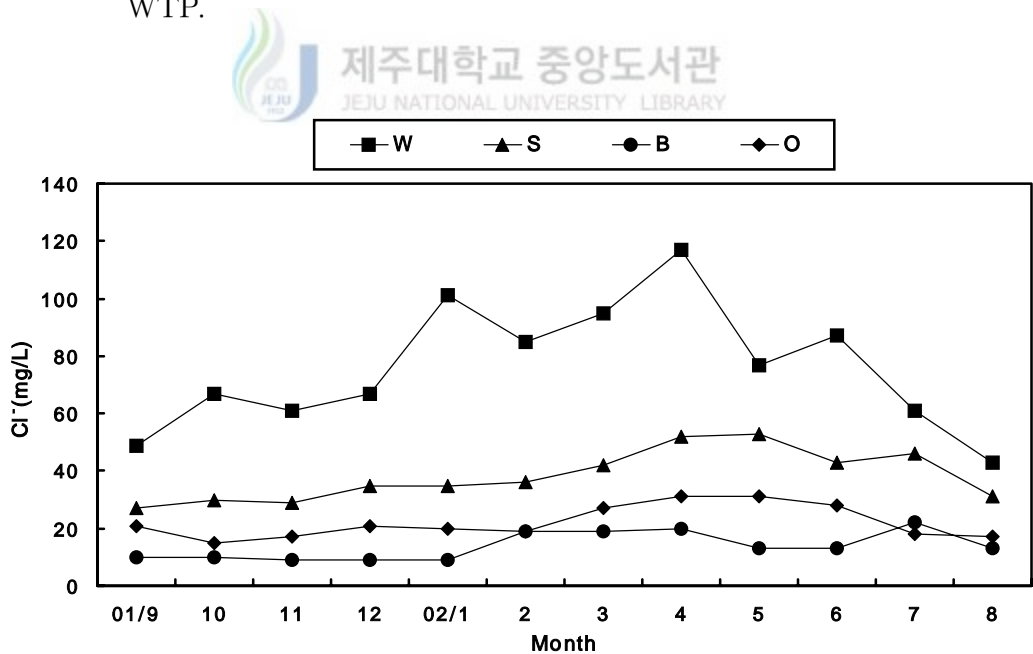


Fig. 3. Monthly variation of Cl⁻ concentration of raw water at each WTP.

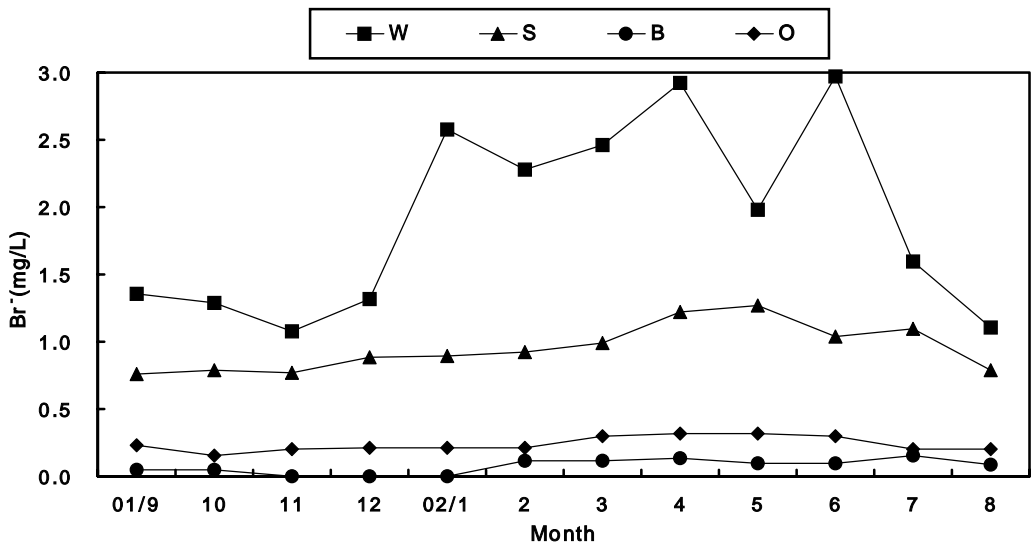


Fig. 4. Monthly variation of Br⁻ concentration of raw water at each WTP.



2) 처리수의 급수과정별 수질변화특성

제주시 4개 정수장에서 2001년 9월부터 2002년 8월까지 처리수와 급수과정별로 채수한 수질 중 검출되고 있는 10개 항목의 평균치(± 표준편차)를 Table 5~Table 8에 나타내었다. 아연 및 알루미늄이 미량 또는 불검출 되었으며, 색도, 맛, 냄새 등은 수질기준에 적합하였으며, 미생물(일반세균, 대장균군) 및 휘발성 유기물을 포함한 기타 수질항목은 모두 불검출 이었다. Table 5~Table 8의 검출항목 중 TDS, 전기전도도 및 SO₄²⁻를 제외한 각 항목의 수질변화를 살펴보면 다음과 같다.

Table 5. The analytical results of samples at water treatment plant(W1) and its distribution system(W2-W5)

Item	W1	W2	W3	W4	W5	
Temp. (°C)	12.1~18.5 (15.6±1.9)	8.7~23.9 (16.7±5.3)	11.2~23.5 (16.9±4.2)	11.6~22.0 (16.4±4.0)	9.8~23.0 (16.6±5.0)	
Residual chlorine (mg/ℓ)	0.6~1.0 (0.8±0.1)	0.1~0.7 (0.5±0.2)	0.5~0.8 (0.6±0.1)	0.5~0.8 (0.6±0.1)	0.2~0.5 (0.4±0.1)	
pH	7.6~7.9 (7.7±0.1)	7.5~7.9 (7.7±0.1)	7.6~8.0 (7.7±0.1)	7.5~7.9 (7.7±0.1)	8.0~8.5 (8.2±0.2)	
NO ₃ -N (mg/ℓ)	2.7~6.3 (4.6±1.3)	2.9~6.9 (4.6±1.4)	2.9~6.0 (4.6±1.4)	3.2~6.0 (4.7±1.4)	3.0~6.7 (4.5±1.3)	
TDS (mg/ℓ)	85~186 (131±30)	89~193 (133±27)	88~189 (131±27)	88~198 (133±28)	111~169 (137±22)	
Conductivity (μs/cm)	124~424 (290±81)	126~461 (288±79)	125~431 (280±74)	125~480 (286±83)	139~403 (306±75)	
SO ₄ ²⁻ (mg/ℓ)	3~15 (9±3)	4~17 (8±4)	4~16 (8±3)	4~18 (9±4)	4~14 (9±3)	
Turbidity (mg/ℓ)	0.10~0.44 (0.20±0.09)	0.14~0.48 (0.39±0.11)	0.12~0.43 (0.28±0.13)	0.13~0.45 (0.28±0.11)	0.17~0.59 (0.33±0.11)	
Cl ⁻ (mg/ℓ)	21~107 (52±24)	23~128 (54±28)	23~117 (52±26)	23~131 (54±28)	34~97 (56±19)	
THM _s (μg/ℓ)	CHCl ₃	0.5~0.9 (0.7±0.1)	0.6~0.9 (0.7±0.1)	0.6~0.9 (0.8±0.1)	0.7~0.9 (0.8±0.1)	0.4~0.9 (0.7±0.1)
	CHBrCl ₂	0.9~2.1 (1.4±0.4)	0.9~2.8 (1.6±0.5)	1.1~2.7 (1.6±0.5)	0.9~2.6 (1.5±0.5)	1.0~2.9 (1.9±0.6)
	CHBr ₂ Cl	2.3~4.6 (3.1±0.7)	2.4~5.8 (3.6±1.1)	2.8~5.8 (3.5±0.9)	2.4~5.3 (3.3±0.8)	3.5~10.0 (5.5±2.3)
	CHBr ₃	2.4~7.7 (4.1±1.7)	2.8~10.6 (5.2±2.5)	3.2~10.2 (4.9±2.1)	2.8~9.4 (4.8±1.9)	4.7~21.0 (10.0±4.7)
	Total (TTHMs)	6.3~15.3 (9.3±2.6)	6.8~20.0 (11.2±3.7)	7.9~19.6 (10.8±3.2)	6.8~18.1 (10.4±2.9)	10.2~32.3 (18.1±6.9)

Table 6. The analytical results of samples at water treatment plant(S1) and its distribution system(S2-S5)

Item	S1	S2	S3	S4	S5	
Temp. (°C)	13.8~17.7 (16.0±1.3)	10.7~18.3 (15.6±2.2)	14.1~17.9 (15.9±1.4)	12.4~20.8 (16.7±2.9)	8.8~23.9 (16.6±5.1)	
Residual chlorine (mg/ℓ)	0.7~1.0 (0.8±0.1)	0.6~0.9 (0.7±0.1)	0.6~0.9 (0.7±0.1)	0.3~0.8 (0.5±0.2)	0.1~0.3 (0.2±0.1)	
pH	7.2~7.4 (7.2±0.1)	7.2~7.4 (7.3±0.1)	7.2~7.4 (7.3±0.1)	7.2~7.4 (7.3±0.1)	7.2~7.6 (7.4±0.1)	
NO ₃ -N (mg/ℓ)	6.6~8.6 (7.2±0.7)	6.5~8.3 (7.1±0.6)	6.2~9.2 (7.1±1.0)	6.5~9.1 (7.2±0.8)	6.5~9.1 (7.1±0.8)	
TDS (mg/ℓ)	120~146 (136±11)	120~144 (134±10)	118~146 (134±10)	119~146 (135±10)	119~144 (135±10)	
Conductivity (μS/cm)	270~347 (311±29)	270~346 (309±28)	280~346 (309±28)	280~348 (311±29)	280~345 (310±27)	
SO ₄ ²⁻ (mg/ℓ)	6~15 (11±3)	6~14 (11±3)	5~14 (11±3)	6~15 (11±3)	6~14 (11±3)	
Turbidity (mg/ℓ)	0.17~0.32 (0.24±0.05)	0.15~0.45 (0.26±0.09)	0.19~0.35 (0.26±0.06)	0.29~0.46 (0.38±0.05)	0.30~0.96 (0.48±0.17)	
Cl ⁻ (mg/ℓ)	27~49 (38±8)	27~49 (38±8)	26~50 (38±8)	27~50 (39±8)	25~49 (36±7)	
THM _S (μg/ℓ)	CHCl ₃	0.3~0.7 (0.5±0.2)	0.2~0.7 (0.5±0.2)	0.2~0.7 (0.5±0.2)	0.3~0.7 (0.5±0.2)	0.2~0.8 (0.5±0.2)
	CHBrCl ₂	0.9~2.3 (1.3±0.4)	0.9~1.3 (1.2±0.3)	0.9~2.0 (1.2±0.3)	0.9~2.1 (1.3±0.3)	1.1~2.8 (1.6±0.5)
	CHBr ₂ Cl	2.1~5.9 (4.0±1.3)	2.1~6.2 (3.8±1.2)	2.2~5.9 (4.0±1.2)	2.2~5.6 (4.1±1.1)	2.9~6.9 (5.4±1.3)
	CHBr ₃	2.3~8.9 (5.1±2.2)	2.3~8.6 (4.6±1.9)	2.3~6.3 (4.9±1.9)	2.4~8.5 (4.8±1.8)	2.9~10.2 (7.1±2.6)
	Total (TTHM _S)	5.6~15.8 (10.0±3.5)	5.5~15.4 (10.0±3.3)	5.7~13.9 (10.6±3.1)	5.8~15.5 (10.7±2.9)	7.3~19.0 (14.6±4.1)

Table 7. The analytical results of samples at water treatment plant(B1) and its distribution system(B2-B5)

Item	B1	B2	B3	B4	B5	
Temp. (°C)	11.4~17.5 (14.5±2.2)	11.8~24.7 (16.4±4.5)	11.8~22.7 (15.3±3.3)	12.6~17.8 (14.8±1.7)	12.5~23.0 (16.7±3.6)	
Residual chlorine (mg/ℓ)	0.6~1.0 (0.9±0.1)	0.5~0.9 (0.8±0.1)	0.5~0.9 (0.7±0.1)	0.6~0.8 (0.8±0.1)	0.4~0.7 (0.6±0.1)	
pH	7.6~7.9 (7.7±0.1)	7.6~7.8 (7.7±0.1)	7.6~7.8 (7.7±0.1)	7.6~7.9 (7.7±0.1)	7.8~8.2 (8.0±0.1)	
NO ₃ -N (mg/ℓ)	2.0~3.5 (2.5±0.5)	2.0~3.5 (2.7±0.5)	2.0~3.5 (2.7±0.5)	2.0~3.5 (2.7±0.5)	2.1~3.5 (2.7±0.5)	
TDS (mg/ℓ)	55~79 (67±9)	54~79 (67±8)	56~79 (67±8.7)	56~77 (68±8)	56~81 (72±9)	
Conductivity (μs/cm)	125~170 (149±17)	124~171 (152±16)	124~171 (152±16)	127~169 (153±15)	139~201 (165±20)	
SO ₄ ²⁻ (mg/ℓ)	2~6 (4±1)	2~6 (4±1)	2~6 (4±1)	2~6 (4±1)	2~6 (4±1)	
Turbidity (mg/ℓ)	0.10~0.22 (0.15±0.03)	0.10~0.21 (0.15±0.04)	0.11~0.19 (0.15±0.03)	0.11~0.19 (0.16±0.03)	0.14~0.21 (0.17±0.03)	
Cl ⁻ (mg/ℓ)	10~24 (15±5)	10~26 (16±5)	10~26 (17±5)	10~26 (17±5)	11~26 (19±5)	
THM ₅ (μg/ℓ)	CHCl ₃	0.1~0.5 (0.3±0.2)	0.1~0.5 (0.3±0.2)	0.0~0.5 (0.3±0.2)	0.0~0.5 (0.3±0.2)	0.1~0.5 (0.4±0.2)
	CHBrCl ₂	0.4~0.8 (0.5±0.1)	0.4~0.8 (0.5±0.1)	0.4~0.8 (0.5±0.1)	0.4~0.8 (0.5±0.1)	0.5~1.2 (0.7±0.2)
	CHBr ₂ Cl	0.8~1.5 (1.2±0.2)	0.9~1.6 (1.2±0.2)	0.8~1.6 (1.2±0.2)	0.8~1.6 (1.2±0.2)	1.2~2.1 (1.8±0.2)
	CHBr ₃	1.4~1.8 (1.5±0.1)	1.5~1.9 (1.6±0.1)	1.5~1.9 (1.6±0.1)	1.5~1.9 (1.6±0.1)	1.8~2.7 (2.4±0.3)
	Total (TTHM ₅)	2.7~4.6 (3.5±0.5)	2.9~4.8 (3.7±0.4)	2.9~4.8 (3.6±0.5)	2.8~4.8 (3.6±0.5)	3.7~6.0 (5.2±0.7)

Table 8. The analytical results of samples at water treatment plant(O1) and its distribution system(O2-O5)

Item	O1	O2	O3	O4	O5	
Temp. (°C)	14.7~15.9 (15.3±0.4)	12.4~20.4 (16.2±2.9)	13.6~20.2 (15.8±1.9)	13.6~18.9 (16.0±1.9)	12.8~23.6 (17.7±4.2)	
Residual chlorine (mg/ℓ)	0.6~0.8 (0.8±0.1)	0.4~0.7 (0.6±0.1)	0.5~0.7 (0.6±0.1)	0.5~0.7 (0.6±0.1)	0.3~0.5 (0.4±0.1)	
pH	7.2~7.4 (7.3±0.1)	7.1~7.4 (7.3±0.1)	7.2~7.4 (7.3±0.1)	7.1~7.3 (7.3±0.1)	7.3~8.0 (7.8±0.2)	
NO ₃ -N (mg/ℓ)	2.7~4.5 (3.3±0.6)	2.7~4.3 (3.4±0.6)	2.7~4.4 (3.3±0.6)	2.7~4.3 (3.4±0.6)	2.7~4.3 (3.3±0.6)	
TDS (mg/ℓ)	70~91 (78±8)	70~90 (78±8)	70~91 (78±8)	70~91 (77±8)	70~90 (79±7)	
Conductivity (μS/cm)	142~201 (176±16)	142~20 (176±16)	142~198 (176±16)	142~198 (175±15)	142~195 (177±16)	
SO ₄ ²⁻ (mg/ℓ)	4~8 (6±1)	4~8 (6±1)	4~7 (6±1)	4~8 (6±1)	3~8 (6±1)	
Turbidity (mg/ℓ)	0.18~0.32 (0.24±0.05)	0.21~0.30 (0.28±0.04)	0.22~0.40 (0.29±0.05)	0.22~0.35 (0.28±0.04)	0.26~0.45 (0.32±0.06)	
Cl ⁻ (mg/ℓ)	14~29 (19±5)	15~27 (19±4)	15~27 (19±4)	15~27 (19±4)	15~27 (19±4)	
THM _S (μg/ℓ)	CHCl ₃	0.0~0.5 (0.3±0.1)	0.1~0.6 (0.3±0.2)	0.0~0.4 (0.3±0.2)	0.0~0.5 (0.3±0.2)	0.0~0.6 (0.4±0.2)
	CHBrCl ₂	0.3~0.8 (0.4±0.2)	0.4~0.9 (0.6±0.1)	0.3~0.9 (0.5±0.2)	0.4~0.9 (0.5±0.1)	0.5~1.5 (1.0±0.3)
	CHBr ₂ Cl	0.8~1.5 (1.0±0.2)	0.9~2.1 (1.5±0.3)	0.9~1.8 (1.4±0.3)	1.0~2.0 (1.4±0.3)	1.5~3.1 (2.5±0.6)
	CHBr ₃	1.2~1.8 (1.5±0.2)	1.3~2.0 (1.7±0.2)	1.2~1.9 (1.5±0.2)	1.2~1.9 (1.6±0.2)	1.7~3.9 (2.6±0.7)
	Total (TTHM _S)	2.7~4.3 (3.2±0.5)	3.2~5.1 (4.1±0.6)	2.6~4.9 (3.7±0.6)	3.0~4.7 (3.8±0.5)	4.1~8.5 (6.5±1.5)

(1) 총트리할로메탄(TTHM_S) 농도변화

국내에서도 먹는물수질기준에 TTHM_S(CHCl₃, CHCl₂Br, CHClBr₂과 CHBr₃농도의 합) 및 CHCl₃ 대한 기준이 각각 100 $\mu\text{g}/\ell$, 80 $\mu\text{g}/\ell$ 이하로 처리하도록 규정되어 있다. W, S, B 및 O 정수장에서 TTHM_S 농도범위(평균 \pm 표준편차)는 각각 6.3~15.3 $\mu\text{g}/\ell$ (9.3 \pm 2.6 $\mu\text{g}/\ell$), 5.6~15.8 $\mu\text{g}/\ell$ (10.0 \pm 3.5 $\mu\text{g}/\ell$), 2.7~4.6 $\mu\text{g}/\ell$ (3.5 \pm 0.56 $\mu\text{g}/\ell$), 2.7~4.3 $\mu\text{g}/\ell$ (3.2 \pm 0.5 $\mu\text{g}/\ell$)이고, CHCl₃ 평균농도는 각각 0.7 $\mu\text{g}/\ell$, 0.5 $\mu\text{g}/\ell$, 0.3 $\mu\text{g}/\ell$, 0.3 $\mu\text{g}/\ell$ 으로 기준치에 훨씬 미치지 않음을 알 수 있었고(Table 5~Table 8 참조), 정수장 사이에서는 O 정수장 \geq B 정수장 $>$ W 정수장 $>$ S 정수장의 순으로 양호한 수질을 보임을 알 수 있었다.

Fig. 5~Fig. 8은 2001년 9월부터 2002년 8월사이의 1년동안 월별 각 정수장 처리수의 급수과정별 TTHM_S 농도변화를 표시한 것으로 그림에서 알 수 있는 바와 같이 정수장 급수과정별 TTHM_S 농도는 정수장과 저수조를 거치지 않은 수도꼭지에서는 비슷한 농도로 검출되었으나 저수조를 거친 수도꼭지에서는 저수조를 거치지 않은 급수과정에서보다 약 1.5~2배 이상 높은 농도로 검출되고 있음을 알 수 있다(Fig. 9). 이는 정수장에서 급수되는 음용수가 급수관로에서 체류시간이 짧고(정수장에서 취수지점까지의 최대거리는 4.5 Km임), 잔류염소와 반응할 수 있는 유기물이 거의 존재하지 않기 때문인 것으로 사료된다. 그러나 저수조에 도달한 물은 체류시간이 길기(체류시간은 W5의 경우 9.6시간, S5의 경우 11.6시간, B5의 경우 12.6시간, O5의 경우 11.7시간) 이에 따라 수중에 존재하는 잔류염소와 저수조 중의 유기물이 반응하여 THMs을 계속적으로 생성하기 때문인 것으로 판단된다.

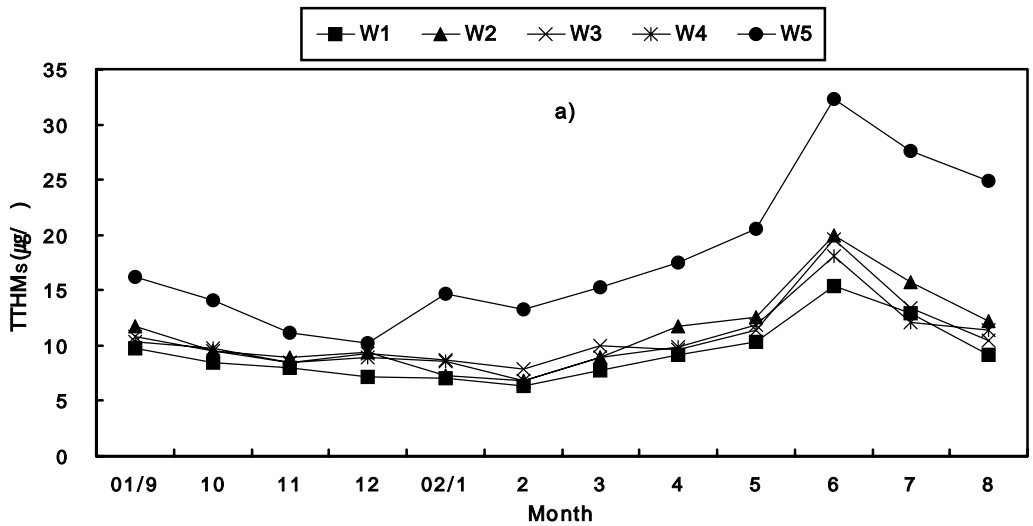


Fig. 5. Monthly variation of TTHMs concentration at W water treatment plant(W1) and its distribution systems(W2-W5).

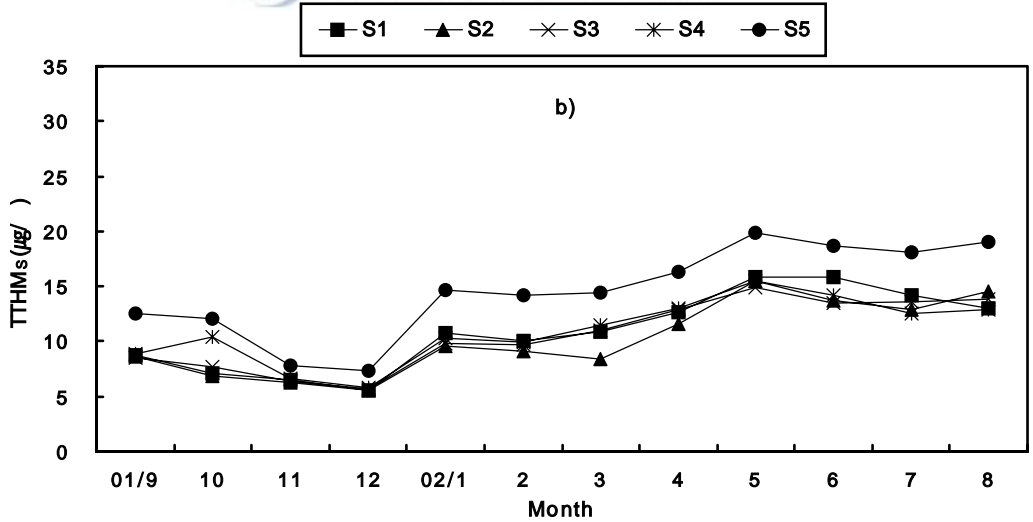


Fig 6. Monthly variation of TTHMs concentration at S water treatment plant(S1) and its distribution systems(S2-S5).

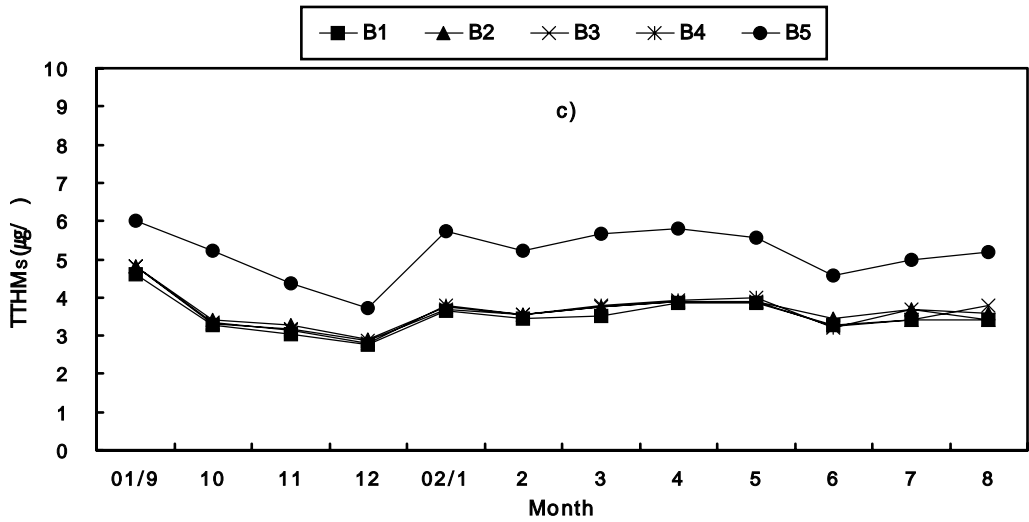


Fig. 7. Monthly variation of TTHM_s concentration at B water treatment plant(B1) and its distribution systems(B2-B5).

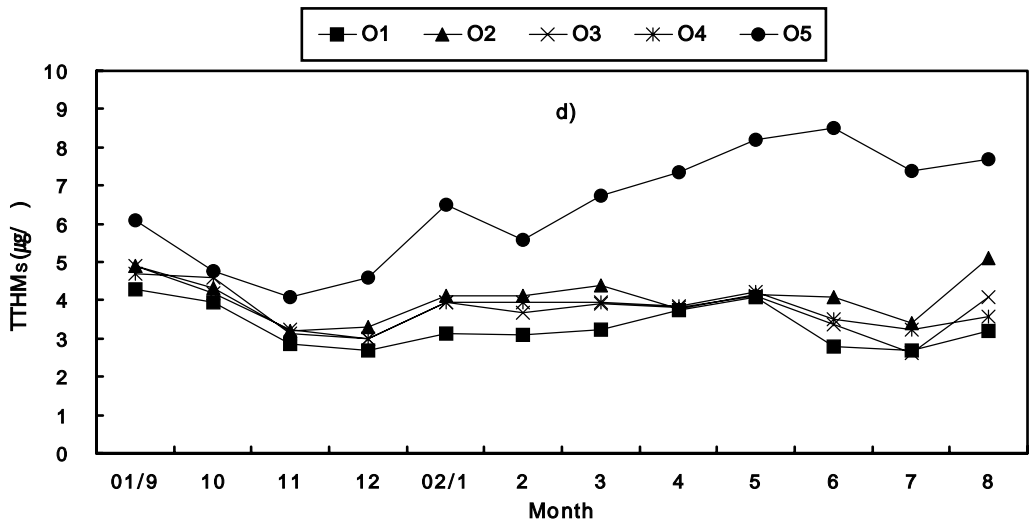


Fig. 8. Monthly variation of TTHM_s concentration at O water treatment plant(O1) and its distribution systems(O2-O5).

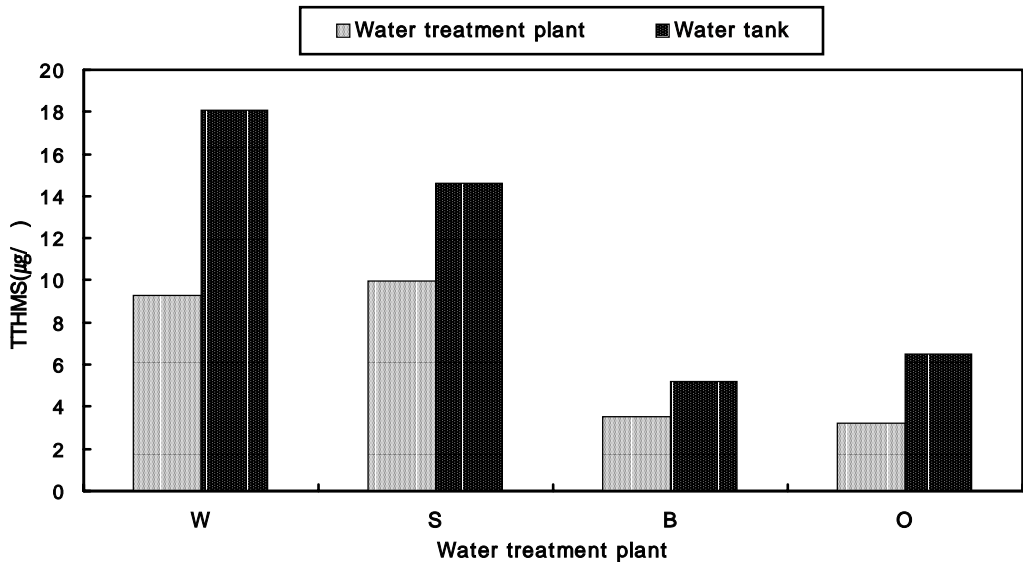


Fig. 9. Comparison of TTHM_S concentration between treated water and tap water that passed water tank at each water treatment plant.

각 정수장의 급수과정의 평균농도로 계절별 변화특성을 살펴보면(Fig. 10), TTHM_S의 검출 농도는 W정수장과 S정수장은 여름(6월~8월)에 높게 나타났으나 B정수장과 D정수장은 계절에 관계없이 일정한 농도를 보임을 알 수 있었다.

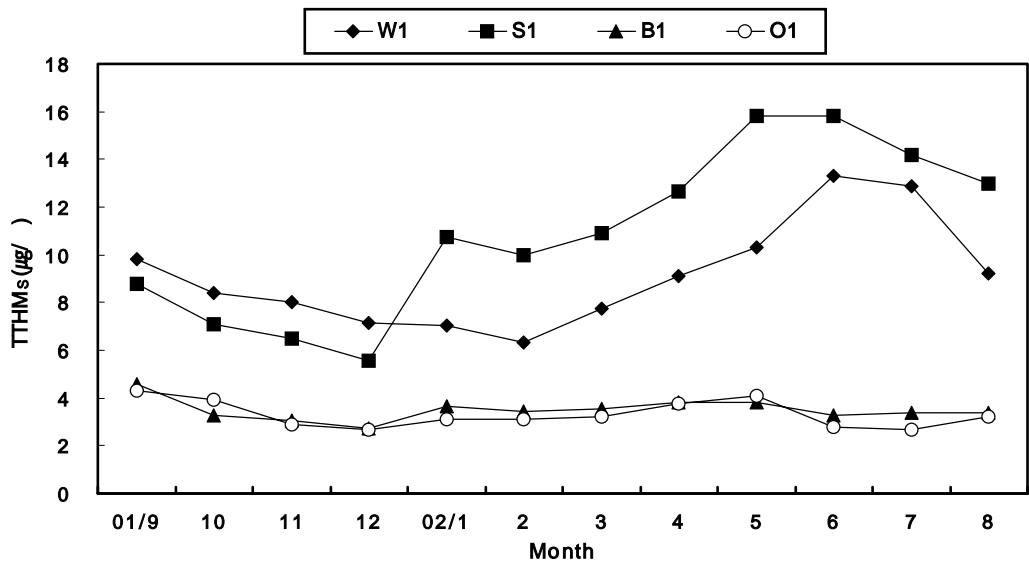


Fig. 10. Monthly variation of mean TTHMs concentration at each water treatment plant.

TTHMs은 앞에서 언급한 바와 같이 4종류의 THMs의 합으로 일반적으로 수돗물에서 생성되는 TTHMs 중에는 대부분 CHCl_3 으로 검출되며 brominated THMs은 거의 검출되지 않는 것으로 보고되고 있다(Symons 등, 1975; 김 등, 1987, 1995). 그러나 본 4개 정수장에서는 CHBr_3 이 가장 높게 나타났으며 다음으로 CHClBr_2 , CHCl_2Br , CHCl_3 순으로 나타났다. 해수에 의한 영향이 있는 지역에서는 원수 중의 브롬농도에 의해 브롬화된 TTHMs이 큰 비율을 차지한다고 보고하고 있다(송, 1997). 따라서 브롬화합물이 많이 생성된 것으로 봐서 제주시 수원이 해안가에 위치하고 있어 용천수 중에 브롬이온을 미량 함유하고 있어 이에 따른 영향인 것으로 사료된다(Table 4 참조).

Table 9 및 Fig. 10은 제주시와 다른 도시와의 정수장 처리수, 저수조를 통과하지 않은 수돗물 및 저수조를 통과한 수돗물의 TTHMs의 평균농도를 비교한 것이고, Table 10 및 Fig. 11은 각각에 대해 CHCl_3 의 평균농도를 비교한 것이다. 그림 및 표에서 알 수 있는 바와 같이 제주시의 정수장 처리수, 저수조를 통과하지 않은 수돗물 및 저수조를 통과한 수돗물에서 TTHMs 평균농도는 타도시지역에 비해 각각 0.24~

Table 9. Comparison of average TTHM_S concentration of WTP treated water and tap water that did not pass or passed through water storage tank at Jeju city and other cities(환경부, 2002) (unit: $\mu\text{g}/\ell$)

Item	WTP treated water	Tap water ¹⁾	Tap water ²⁾
Seoul	1.0~43.0 (20.0±8.5)	0.0~96 (22.0±2.8)	0.0~59 (17.5±2.1)
Busan	9.0~54.0 (23.5±6.4)	1.0~69.0 (27.5±7.8)	6.0~66 (30.0±8.5)
Daegu	15.0~38.0 (27.5±4.9)	4.0~59.0 (31.0±0.0)	12~48 (31.5±3.5)
Jeju	2.7~15.8 (6.5±3.8)	2.9~18.9 (8.5±4.1)	3.7~23.9 (11.1±7.7)

1) and 2) indicate the tap water that did not pass and passed through water storage tank, respectively.

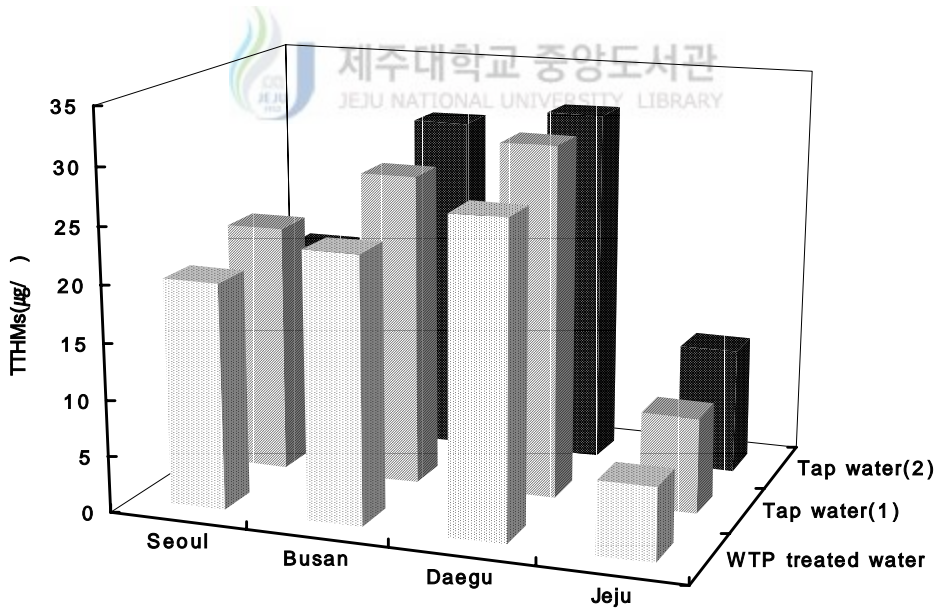


Fig. 11. Comparison of average TTHM_S concentration of WTP treated water and tap water that did not pass or passed through water storage tank at Jeju city and other cities. 1) and 2) indicate the tap water that did not pass and passed through water storage tank, respectively.

Table 10. Comparison of average CHCl_3 concentration of WTP treated water and tap water that did not pass or passed through water storage tank at Jeju city and other cities(환경부, 2002) (unit: $\mu\text{g}/\ell$)

Item	WTP treated water	Tap water ¹⁾	Tap water ²⁾
Seoul	0.5~32.9	0.0~71.9	0.0~49.1
	(15.8±4.7)	(17.9±0.1)	(15.4±2.6)
Busan	1.9~26.3	0.0~50.6	2.1~42.4
	(11.7±3.9)	(14.4±5.2)	(15.7±8.1)
Daegu	9.6~20.9	2.4~36.7	7.3~24.6
	(15.4±1.7)	(15.1±2.5)	(16.5±0.2)
Jeju	0.0~0.9	0.0~0.9	0.0~0.9
	(0.5±0.2)	(0.5±0.3)	(0.5±0.1)

1) and 2) indicate the tap water that did not pass and passed through water storage tank, respectively.

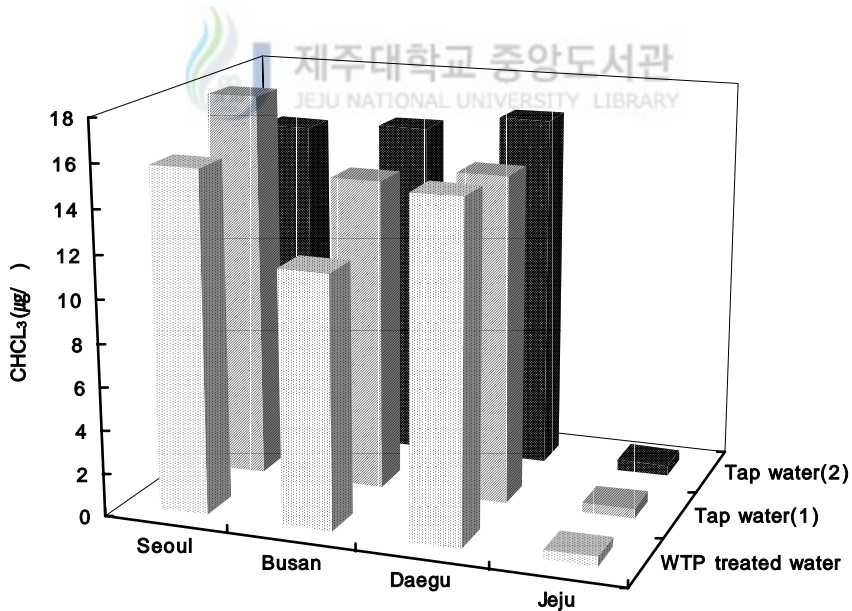


Fig. 12. Comparison of average TTHMs concentration of WTP treated water and tap water that did not pass or passed through water storage tank at Jeju city and other cities. 1) and 2) indicate the tap water that did not pass and passed through water storage tank, respectively.

0.33배, 0.27~0.39배, 0.35~0.63배, CHCl_3 의 평균농도는 타도시지역에 비해 각각 0.032~0.042배, 0.028~0.034배, 0.030~0.032배로 정수장 처리수, 저수조를 통과하지 않은 수돗물 및 저수조를 통과한 수돗물의 TTHMs 및 CHCl_3 은 타도시지역에 비해 매우 낮은 농도를 보임을 알 수 있는데 이는 타 도시지역과 달리 제주도 정수장의 원수는 용천수를 사용하고 있어 수질이 매우 양호하기 때문이다.

(2) 잔류염소 농도변화

먹는물수질기준에 관할 수도꼭지에서 잔류염소농도가 0.2 mg/l 이상 유지되어야 하고, 수인성 전염균이 우려되는 하절기 등에는 0.4 mg/l 이상의 유리잔류염소를 유지하여야 한다(환경부, 1999). 비록 정수장에서 완전하게 소독 처리되어 각 가정에 수돗물을 공급한다하더라도 도달되는 거리 및 관속에서의 2차 오염 그리고 미생물의 재번식 등을 방지하기 위하여 이토록 법규화 되어있다. 잔류염소 부족시 수도관의 수중에 존재하는 부유성 박테리아에 의하여 부착성 미생물이 상당량 발생한다는 연구가 보고 되어있다. 또한 정수처리시 투입된 염소는 물과 반응하여 유리염소로 된다. 산화력은 유리잔류염소가 매우 강하다. 이들 잔류염소가 철관 등의 부식을 촉진시키지만 다른 영향과 비교할 때 그 영향은 적다고 알려져 있다. 잔류염소가 관부식에 관계를 가진 것은 사실이지만 부식속도와는 정확히 판명되지 않고 있다.

본 연구를 통해 조사한 결과 각 수도꼭지에서의 잔류염소농도는 먹는물수질기준인 0.2 mg/l 이상으로 대체로 만족할 정도의 값을 나타내었으며 저수조를 거치지 않은 가정수도꼭지에서는 정수장에서 잔류염소농도가 0.7 mg/l 보다 낮은 0.4 mg/l 이상 유지하였으며, 저수조를 거친 수돗물의 경우에도 0.2 mg/l 이상 유지하였다(Fig. 13~Fig. 16).

정수장 마다 검출농도범위(평균±표준편차)는 W정수장 잔류염소농도는 0.6~1.0 mg/l (0.8 ± 0.1 mg/l), S정수장 잔류염소농도는 0.7~1.0 mg/l (0.8 ± 0.1 mg/l), B정수장 잔류염소농도는 0.6~1.0 mg/l (0.9 ± 0.1 mg/l), O정수장 잔류염소농도는 0.6~0.8 mg/l (0.7 ± 0.1 mg/l)을 나타냈다. 정수장 급수계통의 잔류염소농도 변화를 살펴보면 저수조를 통과하지 않은 수도꼭지는 잔류염소가 약간 감소하였으나 저수조 수도꼭지에서 잔류염소농도 변화는 비교적 높게 나타났다. 이는 저수조를 통과하지 않은 수도꼭지에서는 체류시간이 짧으나 관로내의 반응물질과의 작용에 의해 일부가 소모되거나 저

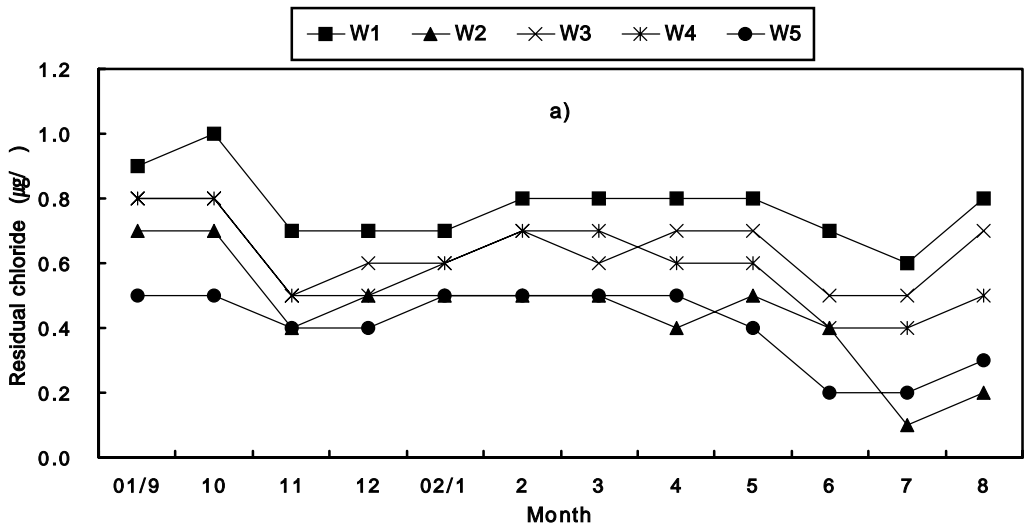


Fig. 13. Monthly variation of RCL concentration at W water treatment plant(W1) and its distribution systems(W2-W5).

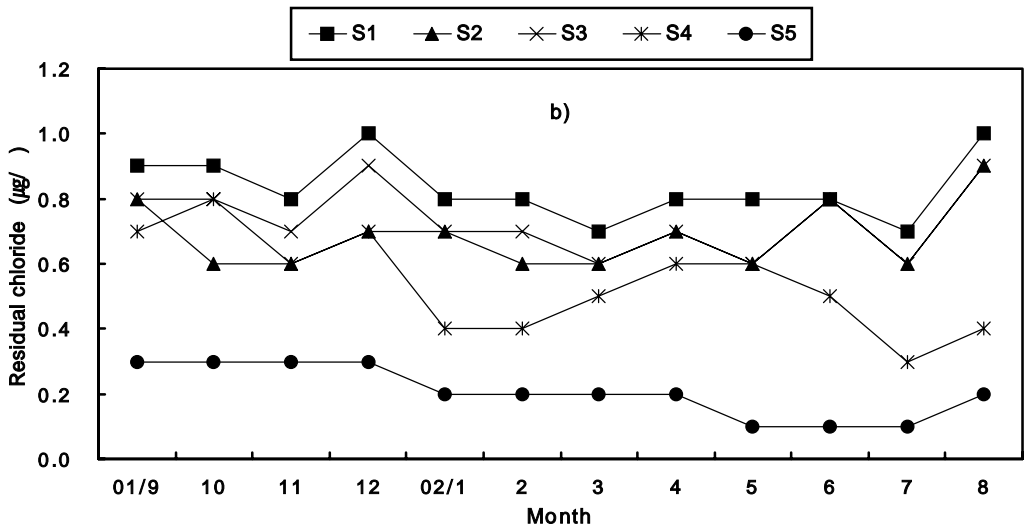


Fig. 14. Monthly variation of RCL concentration at S water treatment plant(S1) and its distribution systems(S2-S5).

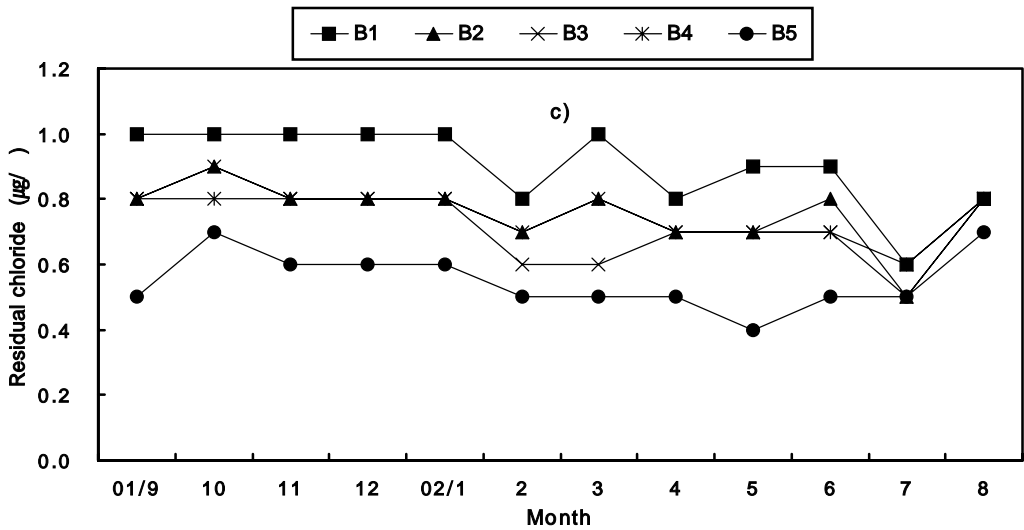


Fig. 15. Monthly variation of RCL concentration at B water treatment plant(B1) and its distribution systems(B2-B5).

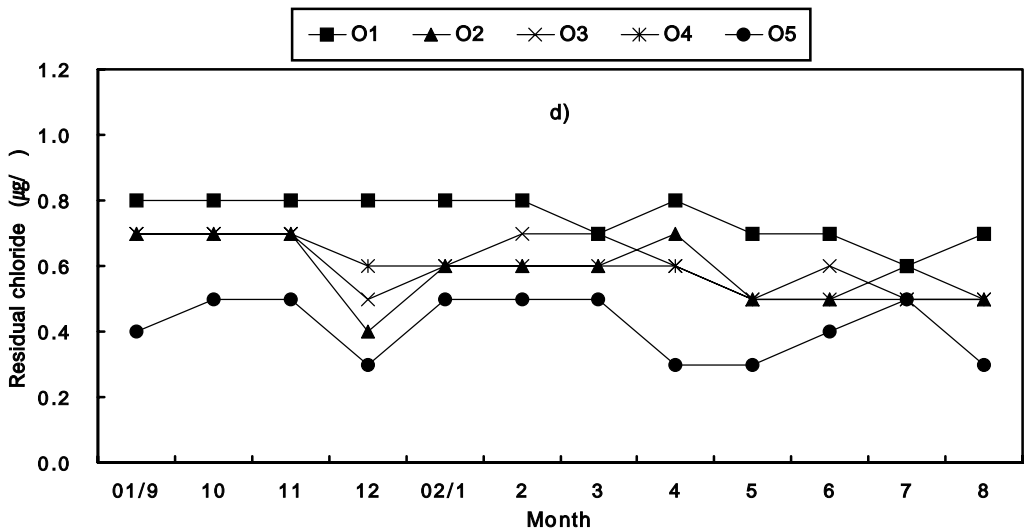


Fig. 16. Monthly variation of RCL concentration at O water treatment plant(O1) and its distribution systems(O2-O5).

수조를 통과한 수도꼭지에서는 저수조에서 체류시간이 길어 저수조내의 유기물 등과의 충분한 반응 또는 휘발에 의해 소비되었기 때문이라고 사료된다.

(3) 질산성질소($\text{NO}_3\text{-N}$)농도변화

질산성질소는 암모니아성질소가 질산화과정을 거쳐 최종적으로 생성되어지는 것으로서 우리나라 먹는물수질기준은 $10\text{mg}/\ell$ 이하로 규정되어 있다. 고농도의 질산성질소가 함유된 물을 장기간 음용시 유아들에게는 메트헤모글로빈혈증을 유발시키는 것으로 알려져 있다.

Fig. 17~Fig. 20은 본 연구에서 조사한 제주시 4개 정수장의 급수과정별 질산성질소의 월별변화를 나타낸 것으로 검출된 질산성질소 농도는 정수장마다 상수원이 구분되어 있어 정수장별 특성이 뚜렷하게 나타나고 있음을 알 수 있었다. 각 정수장의 질산성질소 검출농도범위(평균 \pm 표준편차)는 W정수장의 경우 $2.7\sim 6.3\text{ mg}/\ell$ ($4.6\pm 1.3\text{ mg}/\ell$), S정수장의 경우 $6.6\sim 8.6\text{ mg}/\ell$ ($7.2\pm 0.7\text{ mg}/\ell$), B정수장의 경우 $2.0\sim 3.5\text{ mg}/\ell$ ($2.5\pm 0.5\text{ mg}/\ell$), O정수장의 경우 $2.7\sim 4.5\text{ mg}/\ell$ ($3.3\pm 0.6\text{ mg}/\ell$)를 보였다. 그리고 각 정수장 급수과정별 및 저수조의 농도는 정수장 처리수의 농도와 변화를 나타내지 않음을 알 수 있었다. 그리고 각 정수장 처리수의 수질이 계절에 따라 차이를 보이는데 이는 사용된 원수의 수질이 계절에 따라 차이를 보이기 때문이다(Fig. 2 참조).

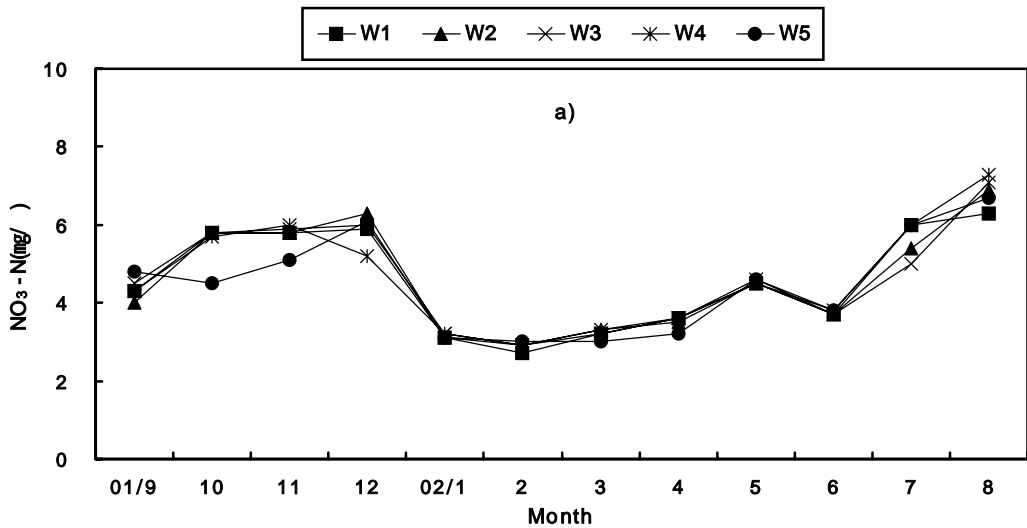


Fig. 17. Monthly variation of $\text{NO}_3\text{-N}$ concentration at W water treatment plant(W1) and its distribution systems(W2-W5).

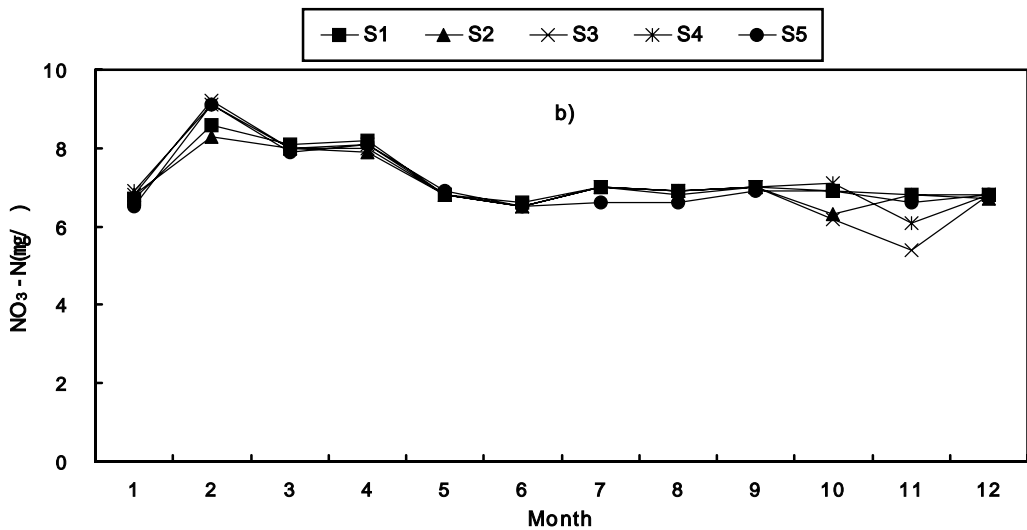


Fig. 18. Monthly variation of $\text{NO}_3\text{-N}$ concentration at S water treatment plant(S1) and its distribution systems(S2-S5).

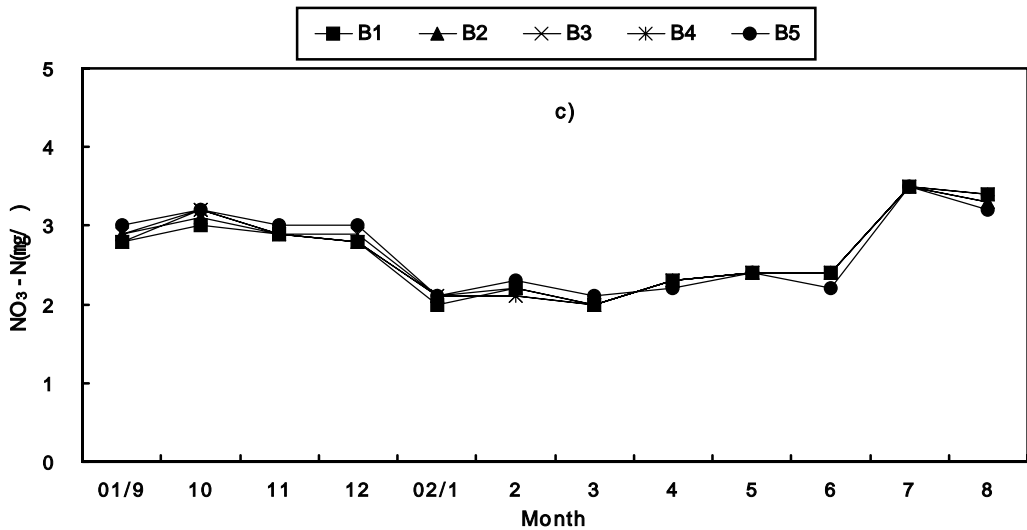


Fig. 19. Monthly variation of NO₃-N concentration at B water treatment plant(B1) and its distribution systems(B2-B5).

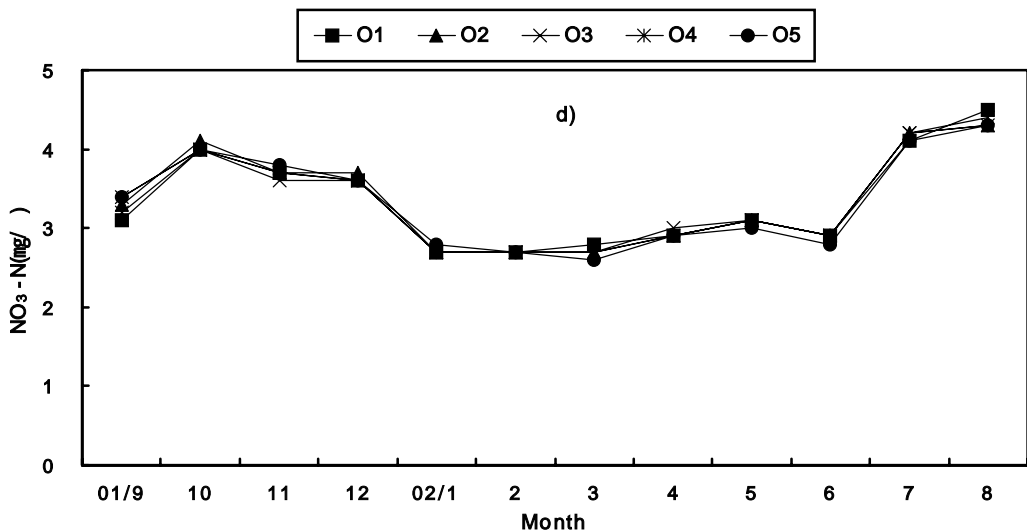


Fig. 20. Monthly variation of NO₃-N concentration at O water treatment plant(O1) and its distribution systems(O2-O5).

(4) 염소이온 농도변화

지표수와 지하수에 존재하는 염소이온은 자연적, 혹은 문명적 근원으로부터 유래한다. 근원으로는 빙판도로의 얼음제거용 염화염류, 무기비료, 정화조 유출수, 가축사료, 산업폐기물, 관개용 배수, 해안지역의 해수침입 등이 있다. 염소이온농도는 맛을 유발시키는 물질로 현재 우리나라 먹는물수질기준은 250 mg/l 이하로 규정되어 있으며, 먹는물 중 염소이온에 관한 공중보건상의 권장치는 제안되지 않았다. 제주시가 상수원으로 사용하는 해안변 용천수는 강우량에 따라 지하수 함양량이 증·감이 있어 이에 따라 수원지 염소이온농도가 계절별 차이를 보이고 있다(Fig. 3). 그리고 Fig. 21~Fig. 24에서 보이는 바와 같이 정수장 4개소에 공급되는 수원지의 특성에 따라 정수장마다 염소이온농도가 다르게 변화함을 알 수 있다. 각 정수장의 검출농도범위(평균±표준편차)는 W정수장의 경우 21~107 mg/l (52±24 mg/l), S정수장의 경우 27 ~ 49 mg/l (38±8 mg/l), B정수장의 경우 10~24 mg/l (15±5 mg/l), O정수장의 경우 14~29 mg/l (19±5 mg/l)를 보였다. 그리고 각 정수장 급수과정별 및 저수조의 농도 변화는 나타나지 않았다. W정수장은 다른 정수장과는 달리 농도변화가 큰데 이는 정수장 주변 5개지하수 및 2곳의 용천수를 이용하여 정수를 공급하는데 공급 수원의 취수량에 따라 수질변화가 크기 때문이다.

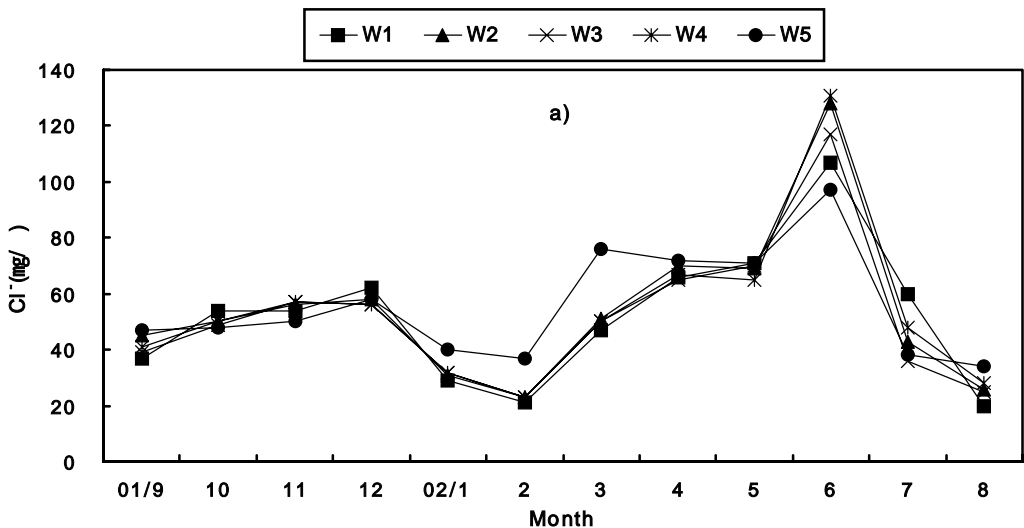


Fig. 21. Monthly variation of Cl⁻ concentration at W water treatment plant(W1) and its distribution systems(W2-W5).

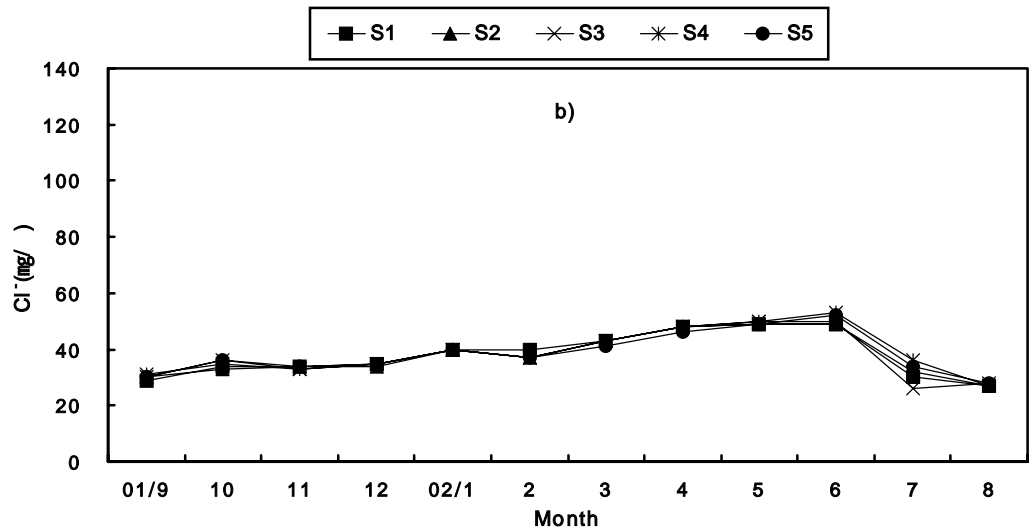


Fig. 22. Monthly variation of Cl^- concentration at S water treatment plant(S1) and its distribution systems(S2-S5).

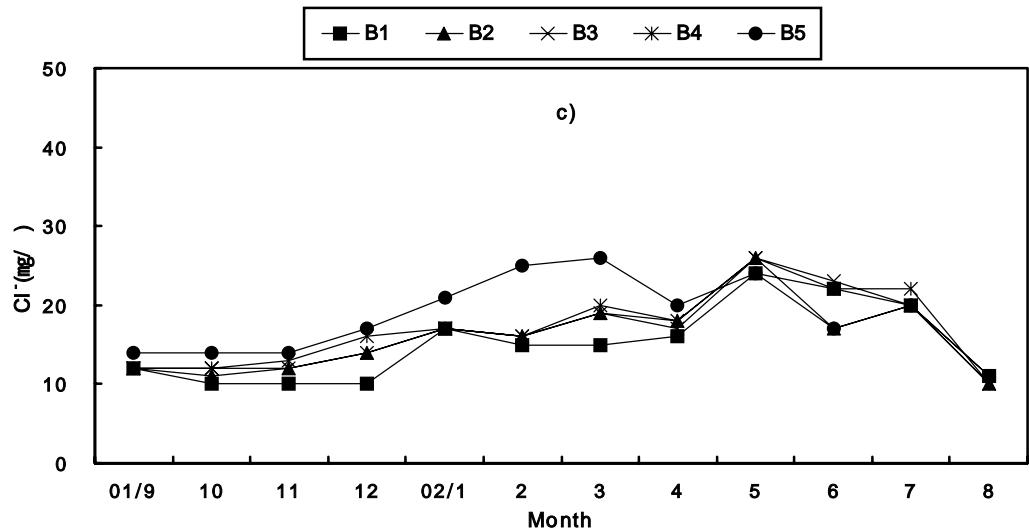


Fig. 23. Monthly variation of Cl^- concentration at B water treatment plant(B1) and its distribution systems(B2-B5).

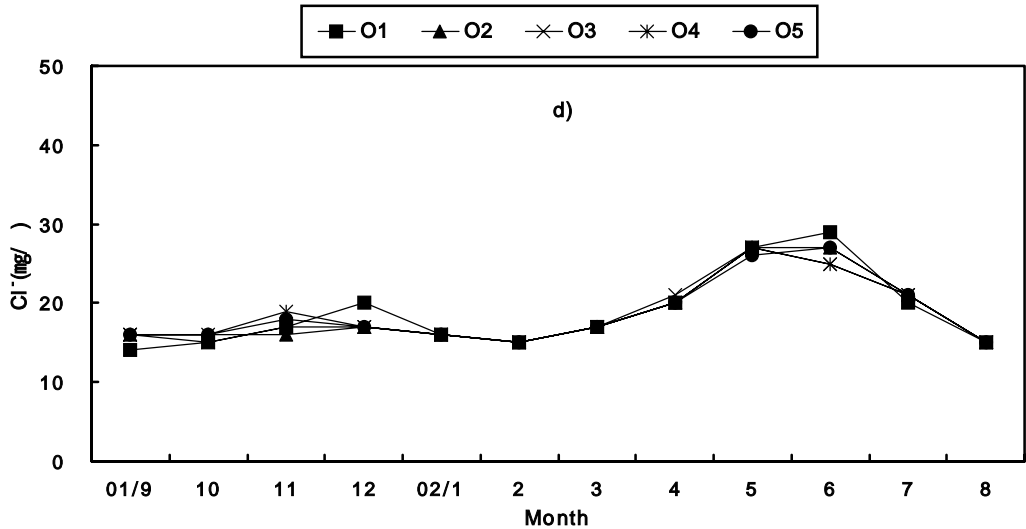


Fig. 24. Monthly variation of Cl⁻ concentration at O water treatment plant(O1) and its distribution systems(O2-O5).

(5) pH(수소이온농도)농도변화

제주시 상수원은 해안변 용천수로서 정수처리과정에서 응집약품을 투입하지 않고 모래완속여과를 거친 다음 염소소독을 하여 급수하고 있어 별도의 pH를 조정하기 위하여 알카리제 투입을 하지 않고 있다. 각 수원마다 수소이온농도는 다르나 일반적으로 평균 pH 7.2~pH 7.8를 유지하고 있어 약 염기성을 띠고 있다(Fig. 25~Fig. 28). 각 정수장의 pH 농도범위(평균±표준편차)는 W정수장의 경우 7.6~7.9(7.7±0.1), S정수장의 경우 7.2~7.4(7.2±0.1), B정수장의 경우 7.6~7.9(7.7±0.1), O정수장의 경우 7.2~7.4(7.3±0.1)를 나타내었다. 정수장의 급수과정에서의 pH 변화를 살펴보면 S정수장에서는 정수장 및 저수조 통과 또는 통과하지 않은 수도꼭지의 pH는 거의 변화가 없었으나 타 정수장에서는 저수조를 통과하지 않은 수도꼭지는 정수장의 pH와 거의 변화가 없었으나 저수조를 통과한 수도꼭지는 pH가 높음을 알 수 있었다. 이는 S정수장 급수시스템의 저수조가 FRP탱크이므로 pH 변화를 나타내지 않으나 나머지 정수장 급수시스템의 저수조는 콘크리트탱크이므로 이로부터 알카리성분인 생석회가 유리되어 pH를 증가시키기 때문인 것으로 판단된다.

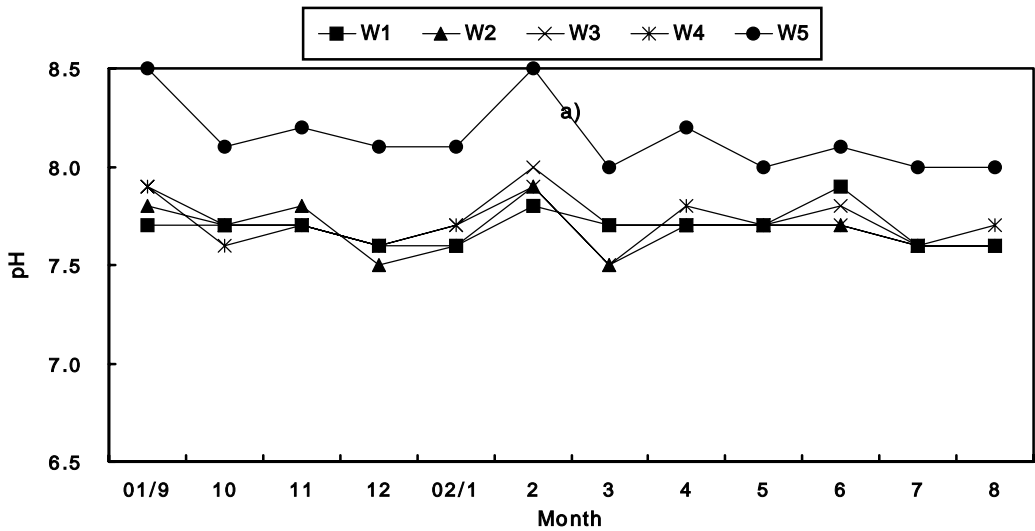


Fig. 25. Monthly variation of pH concentration at W water treatment plant(W1) and its distribution systems(W2-W5).

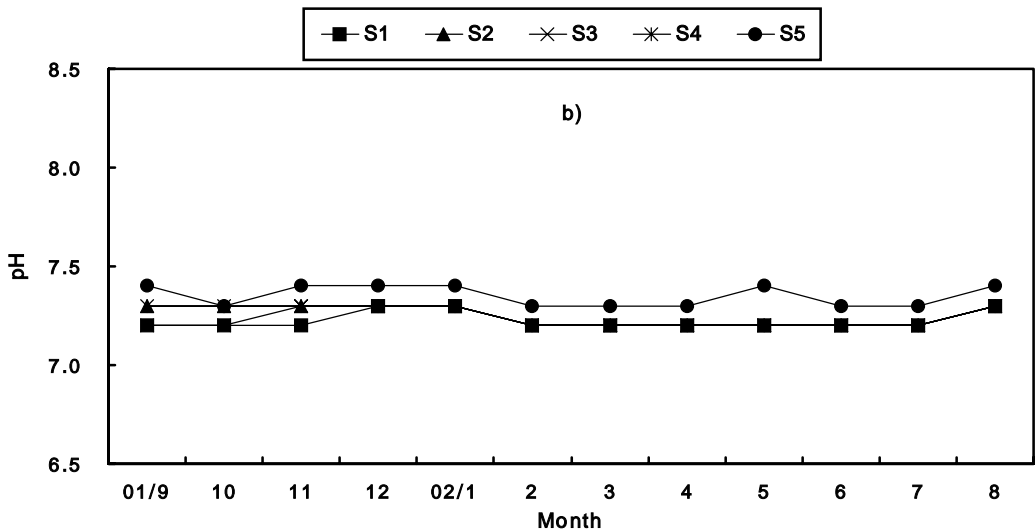


Fig. 26. Monthly variation of pH concentration at S water treatment plant(S1) and its distribution systems(S2-S5).

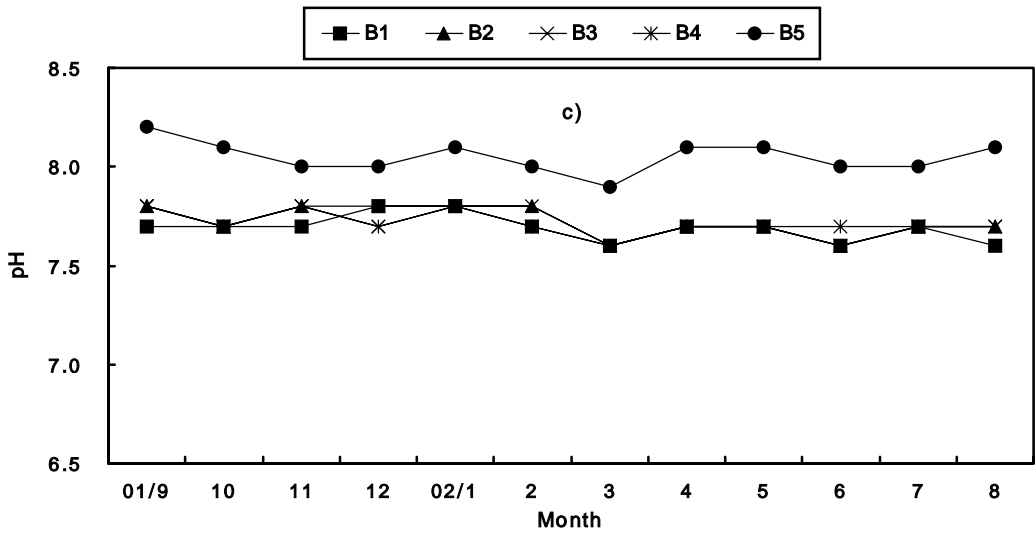


Fig. 27. Monthly variation of pH concentration at B water treatment plant(B1) and its distribution systems(B2-B5).

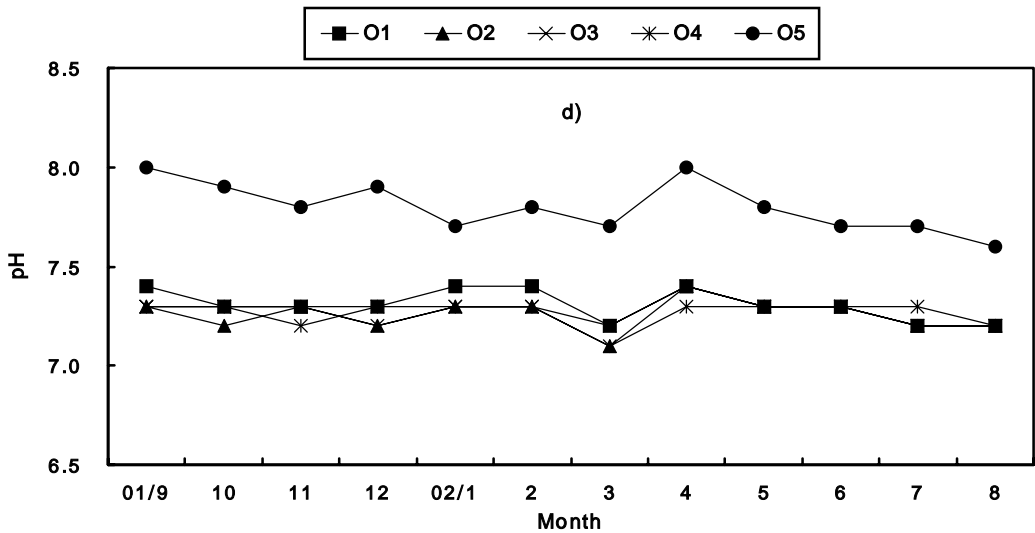


Fig. 28. Monthly variation of pH concentration at O water treatment plant(O1) and its distribution systems(O2-O5).

(6) 탁도변화

적절한 정수처리 과정을 거쳐서 깨끗한 수돗물을 생산하여 공급되어도 상수도 급·배수관의 부식에 의하여 수질변화가 발생하게 되고 인체에 해로움을 주는 것보다는 탁도 등을 유발시킨다. 탁도는 점토, 콜로이드입자, 조류, 미생물, 부유물질 등에 의하여 탁해지는 정도를 말하며 수돗물이 외관을 나쁘게 하며 소독효과 저감 및 약품의 소비를 증가시키고 수도관내에 침적되면 세균을 번식시키는 요인이 된다. 또한 관의 부식을 촉진시킬 뿐 아니라 관의 부식에 의하여 다시 탁도의 증가 현상을 발생시키게 된다.

제주시는 정수과정이 단순하게 모래완속여과 방식으로 응집시설을 갖추지 않아 탁도는 원수의 탁도에 따라 정수의 탁도가 결정된다. 정수장 급수계통의 처리수 및 가정 수도꼭지 모두 먹는물수질기준 0.5NTU 이하로 수질기준을 만족하였다(Fig. 29~, Fig. 32).

각 정수장의 탁도검출농도범위(평균±표준편차)는 W정수장의 경우 0.10~0.44 NTU(0.20±0.09 NTU), S정수장의 경우 0.17~0.32 NTU(0.24±0.05 NTU), B정수장의 경우 0.10~0.22 NTU(0.15±0.03 NTU), O정수장의 경우 0.18~0.32 NTU(0.24±0.05 NTU)를 나타냈다. 급수과정별 탁도변화를 살펴보면 B 및 O 정수장에서는 정수장 처리수와 거의 변화가 없었고, W정수장의 경우 W2지점은 다른 지점보다 농도가 높게 검출되었으며 또한 다른 지점에서도 농도변화가 비교적 크게 나타났다. W2지점의 경우 급수관으로부터 가정꼭지로의 인입관이 10년 이상된 강관으로 이로부터 탁도유발이 유발된 것으로 사료되며, 또한 W정수장은 정수장 주변 5개 지하수 및 2곳의 용천수를 이용하여 정수를 공급하는데 공급수원의 취수량에 따라 탁도 변화가 있어 조사기간 동안 많은 변화를 나타냈다. 즉 원수의 수질때문에 급수관로에서 탁도 변화가 일어나는 것으로 사료된다. S정수장의 경우 S4 및 저수조를 통과한 S5지점에서 정수장에서보다 농도가 높게 검출되었다. 이는 S4수도꼭지는 급수배관이 15년 이상 사용한 노후관 지역이라 다른 수도꼭지 탁도보다 높게 나타나는 것으로 사료되고, S5 지점 역시 15년 이상 사용한 다세대건물이어서 수도배관이 많이 노후 되어 탁도가 정수장 보다 2배 이상 높게 나타났다.

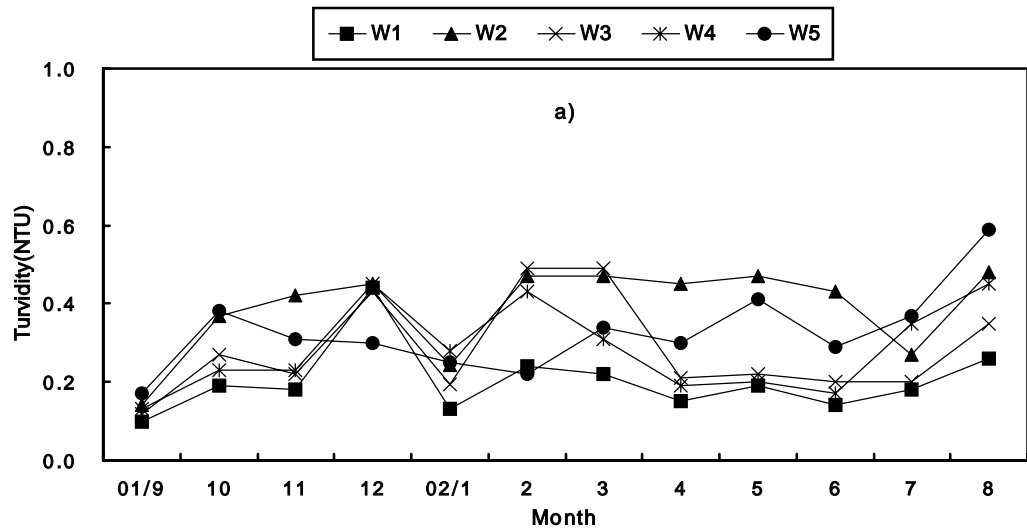


Fig. 29. Monthly variation of turbidity at W water treatment plant(W1) and its distribution systems(W2-W5).

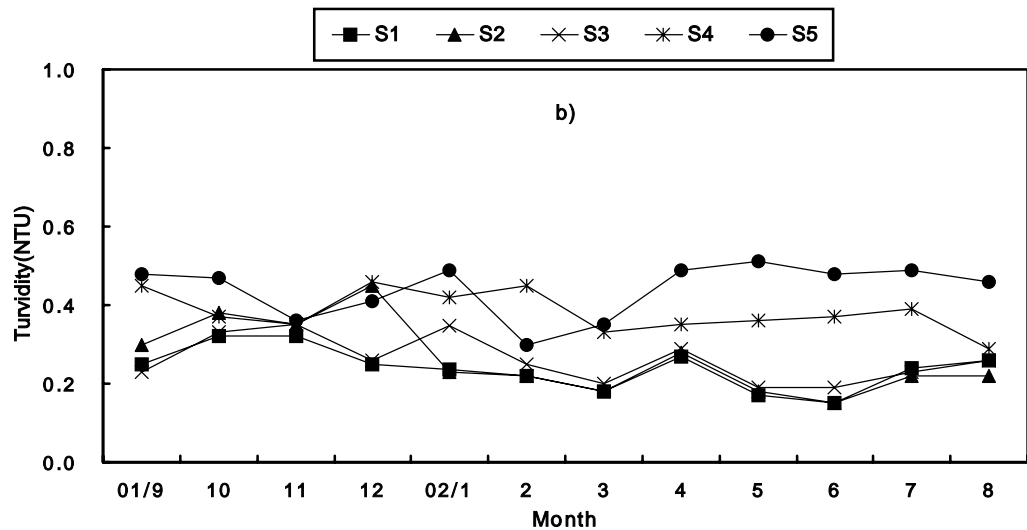


Fig. 30. Monthly variation of turbidity at S water treatment plant(S1) and its distribution systems(S2-S5).

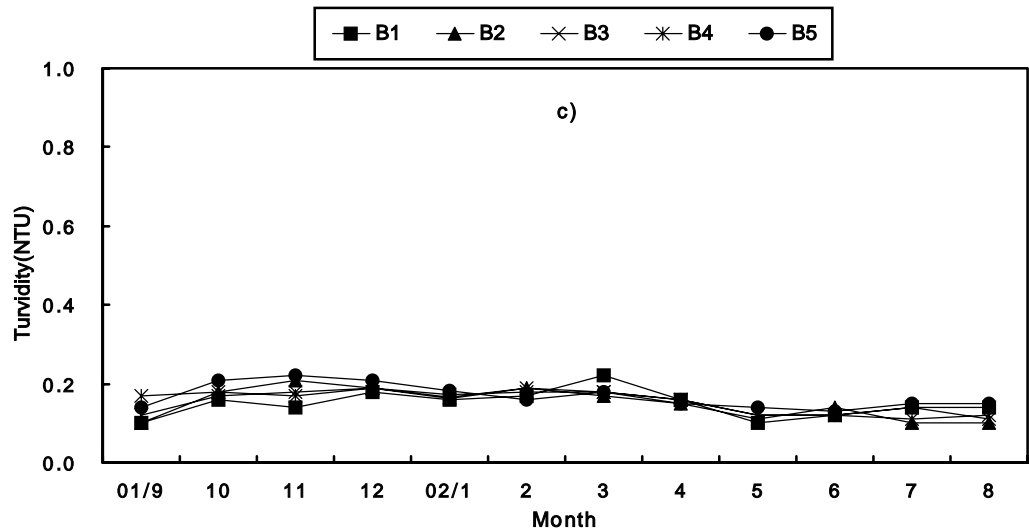


Fig. 31. Monthly variation of turbidity at B water treatment plant(B1) and its distribution systems(B2-B5).

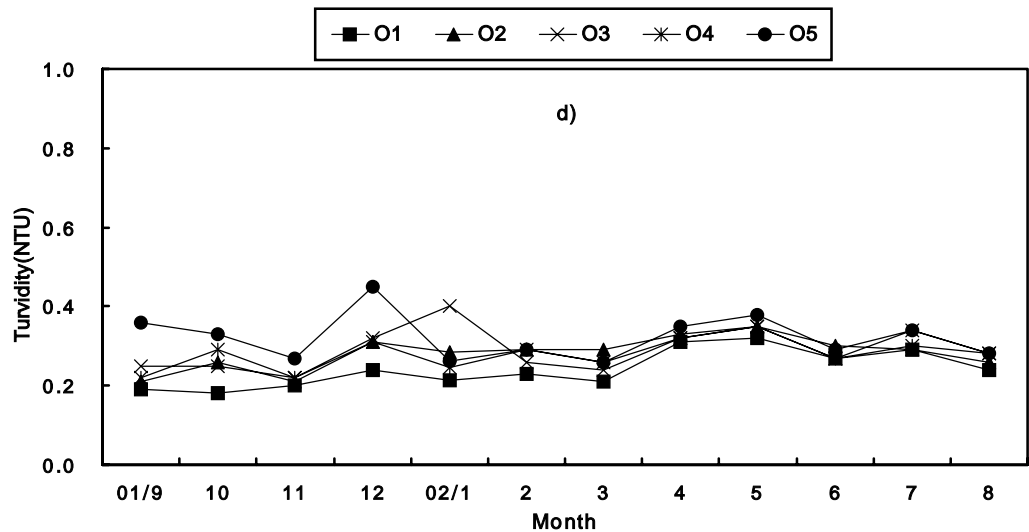


Fig. 32. Monthly variation of turbidity at O water treatment plant(O1) and its distribution systems(O2-O5).

2. 수질특성과 THMs과의 상관성

각 정수장에서 THMs의 생성과 생성된 THMs 농도의 급수관로에서 농도변화에 미치는 중요한 변수를 찾기 위하여 MS Excell과 SPSS 7.5 통계프로그램을 이용하여 다중 선형회귀분석을 수행하였다. 다중선형회귀분석 결과에서 표준화된 계수 β 는 영향력의 크기를 나타내며, 유의 수준 P값은 변수의 자료가 통계적으로 의미를 갖는지의 여부를 판단할 수 있는 척도가 된다. 표준화된 계수의 크기는 영향력, 유의 수준은 신뢰구간과 관계되며, 95%의 신뢰구간에서는 $P=0.05$ 이므로 $P<0.05$ 이면 95% 신뢰구간에 해당하므로 그 변수의 영향은 통계적으로 의미가 있다는 것을 뜻한다.

원수의 수질과 TTHMs 생성농도와의 다중회귀분석결과는 Table 11에 나타내었다. W정수장의 TTHMs 농도에 영향을 미치는 수질인자는 총고형물질(TDS), pH, 염소이온, S정수장의 경우 BOD, Br^- , DO, 질산성질소, pH, 강수량, 수온, TDS, B정수장의 경우 Cl^- , pH, 수온, 강수량, TDS로 나타났으며, O정수장은 BOD, Br^- , Cl^- , DO, 질산성질소, pH, 강수량, 수온, TDS로 나타났다. 원수의 수질인자 중 4개정수장 모두에서 공통적으로 TTHMs농도에 영향을 미치는 인자는 pH로 나타났다. 그러나 W와 S정수장에서는 음의 영향을 미치는 것으로 나타났으며, B와 O정수장에서는 양의 영향을 미치는 것으로 나타나 pH의 영향은 다른 수질인자와 연관되어 있는 것으로 사료되며, 추가적인 연구가 필요한 것으로 사료된다. 원수의 Br^- 농도는 S와 O정수장에서 영향인자로 나타났으며, W와 B정수장에서는 통계적인 의미를 부여할 수 없는 인자로 나타났다. Br^- 농도가 TTHMs의 영향인자로 나타나지 않은 W정수장의 경우 1.08~2.92 mg/L, B정수장의 경우에는 0~0.15 mg/L이며 영향인자로 나타난 S정수장은 0.76~1.27 mg/L, O정수장은 0.15~0.32 mg/L로, 원수중의 Br^- 농도가 높을수록 TTHMs농도가 증가하나 Br^- 농도에 따라 0.15~1.27 mg/L 범위에서 TTHMs형성에 영향을 미치는 인자로 나타나는 것으로 사료되며, Br^- 농도에 대한 영향에 대해서도 추가적인 연구가 필요한 것으로 사료된다.

각 정수장에서 생성된 TTHMs 농도의 급수과정별 변화에 영향을 미치는 인자에 대한 다중선형회귀분석 결과를 Table 12에 나타내었다. W정수장의 경우 잔류염소, 온도, pH와 Cl^- 의 영향을 받는 것으로 나타났으며 잔류염소의 경우를 제외하고는 양

의 상관관계를 보이는 것으로 나타났다. S정수장의 경우 온도, 전기전도도(EC), 탁도, NO₃-N 및 TDS가 증가할수록, NO₃-N가 감소할수록 TTHMs 농도가 증가하는 것으로 나타났다. B정수장의 경우 TTHMs 농도는 pH, 온도, SO₄²⁻, Cl⁻, 및 EC의 영향을, O 정수장의 경우 pH, 온도, Cl⁻, NO₃-N 의 영향을 받는 것으로 나타났다. 급수 과정 중 TTHMs 농도에 영향을 미치는 수질인자는 4개정수장에서 공통적으로 수온으로 나타났으며, 수온이 증가할수록 TTHMs의 농도는 증가하는 것으로 나타났다. 잔류염소의 경우 W정수장에서 음의 영향을 미치는 것으로 나타났는데 이는 체류시간의 증가가 잔류염소의 소모를 유발하고, 이에 따라 TTHMs의 농도도 증가한 것으로 사료된다. 정수의 pH는 W, B, O 3개정수장에서 TTHMs의 농도에 양의 영향을 미치는 것으로 나타났다.

제주시 4개정수장의 경우 TTHMs의 농도에 영향을 미치는 원수의 수질인자는 pH, BOD, Br⁻, 수온, DO, Cl⁻ 등이며, 정수의 수질인자는 수온, pH, 잔류염소, EC, Cl⁻ 등으로 나타났으며, 이 중 주요 영향인자는 원수의 pH, Br⁻, BOD, 정수의 수온, pH, Cl⁻며, 정수장의 조건이나 원수의 수질 등에 따라 주 영향인자가 달라지는 것으로 사료된다.



Table 11. Multiple linear regression result of factors affecting TTHMs concentration in raw water of each water treatment plant

WTP	D.V.	R	R ²	Adj. R ²	STD Err	I.V.	Regression		β	t	p
							Coefficient				
							B	Err			
W	TTHMs	0.967	0.935	0.897	0.8319	C	45.875	11.384	TTHMs	4.030	0.005
						Cl ⁻	-0.210	0.023	-1.773	-8.946	0.000
						pH	-5.918	1.799	-0.535	-3.289	0.013
						TS	0.1180	0.013	2.058	9.272	0.000
S	TTHMs	1.000	1.000	1.000	0.03063	C	77.992	0.640	-	121.803	0.000
						BOD	-9.627	0.250	-0.277	-38.447	0.001
						Br ⁻	0.536	0.101	0.027	5.317	0.034
						DO	-4.435	0.066	-0.776	-67.479	0.000
						NO ₃	-0.634	0.036	-0.152	-17.661	0.003
						pH	-2.959	0.068	-0.163	-43.782	0.001
						PRECI	0.007	0.000	0.311	47.415	0.000
						Temp	-0.826	0.010	-0.255	-82.727	0.000
B	TTHMs	0.764	0.584	0.346	0.3793	C	-22.105	13.301	-	-1.662	0.140
						pH	2.295	1.591	0.459	1.443	0.192
						Temp	0.617	0.200	0.991	3.082	0.018
						Ts	-0.04094	0.020	-1.061	-2.024	0.083
						Cl ⁻	0.113	0.048	1.173	2.361	0.050
O	TTHMs	0.999	0.998	0.990	0.05137	C	-21.631	2.616	-	-8.268	0.014
						BOD	1.220	0.288	0.171	4.236	0.051
						Br ⁻	-14.381	1.828	-1.614	-7.868	0.016
						Cl ⁻	0.07919	0.019	0.884	4.233	0.052
						DO	-0.792	0.063	-0.708	-12.667	0.006
						NO ₃	0.203	0.049	0.229	4.170	0.053
						pH	4.536	0.330	0.598	13.735	0.005
						PRECI	0.00211	0.000	-0.582	-12.770	0.006
Temp	-0.217	0.031	-0.316	-6.997	0.020						
TS	0.03590	0.001	1.751	24.141	0.002						

R² : Coefficient of determination, Adj. R² : Adjusted coefficient of determination

C : Constant, D.V : Dependent variable I.V : Independent variable

Table 12. Multiple linear regression result of factors affecting TTHMs concentration in water distribution systems of each water treatment plant

WTP	D.V.	R	R ²	Adj. R ²	STD Err	I.V.	Regression Coefficient		β	t	p
							B	Err			
W	TTHMs	0.845	0.714	0.690	2.9103	C	-46.95	14.862	-	-3.159	0.003
						RCI	-12.34	2.377	-0.427	-5.192	0.000
						Temp	0.467	0.102	0.367	4.595	0.000
						pH	7.087	1.847	0.310	3.837	0.000
						Cl ⁻	0.059	0.018	0.261	3.292	0.002
S	TTHMs	0.842	0.710	0.683	2.3612	C	-11.7	7.683	-	-1.524	0.133
						Temp	0.67	0.115	0.460	5.844	0.000
						EC	0.047	0.010	668	4.690	0.000
						TURB	11.17	2.474	0.349	4.518	0.000
						NO ₃	-1.42	0.490	-0.260	-2.899	0.005
						TDS	0.036	0.013	0.355	2.762	0.008
B	TTHMs	0.723	0.522	0.478	1.1999	C	-38.9	8.515	-	-4.563	0.000
						pH	4.328	1.116	0.381	3.879	0.000
						Temp	0.229	0.057	0.445	3.995	0.000
						SO ₄	0.968	0.233	0.621	4.150	0.000
						Cl ⁻	-0.280	0.075	-0.804	-3.706	0.000
						EC	0.041	0.018	0.431	2.345	0.023
O	TTHMs	0.801	0.642	0.616	1.4158	C	-27.82	6.520	-	-4.267	0.000
						pH	4.235	0.870	0.405	4.870	0.000
						Temp	0.631	0.087	0.722	7.222	0.000
						Cl ⁻	-0.220	0.051	-0.397	-4.297	0.000
						NO ₃	-1.46	0.368	-0.378	-3.988	0.000

R² : Coefficient of determination, Adj. R² : Adjusted coefficient of determination

C : Constant, D.V : Dependent variable I.V : Independent variable

V. 결 론

제주시의 4개 정수장(W, O, B 및 O 정수장)에서 처리되어 공급되는 음용수가 급수과정에서 일정한 수질로 공급되는지를 그리고 저수조에서 수질변화를 살펴보기 위해 2001년 9월부터 2002년 8월까지 1년 동안 정수장의 원수, 처리수 및 급수관로 및 저수조를 통과한 음용수에 대해 수질변화특성을 살펴보았다. 또한 정수처리과정에서 관심이 집중되고 있는 소독부산물 중 TTHMs 생성농도와 원수 수질과의 상관성, 급수과정 및 저수조에서의 TTHMs의 농도와 이들 수질과의 상관성을 다중선형회귀분석을 통해 검토하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 제주시 정수장의 처리수의 급수과정에서의 TTHMs 농도범위(평균±표준편차)는 W, S, B 및 O 정수장에 대해 각각 $6.3\sim 15.3 \mu\text{g}/\ell$ ($9.3\pm 2.6 \mu\text{g}/\ell$), $5.6\sim 15.8 \mu\text{g}/\ell$ ($10.0\pm 3.5 \mu\text{g}/\ell$), $2.7\sim 4.6 \mu\text{g}/\ell$ ($3.5\pm 0.56 \mu\text{g}/\ell$), $2.7\sim 4.3 \mu\text{g}/\ell$ ($3.2\pm 0.5 \mu\text{g}/\ell$)이고, CHCl_3 평균농도는 각각 $0.7 \mu\text{g}/\ell$, $0.5 \mu\text{g}/\ell$, $0.3 \mu\text{g}/\ell$, $0.3 \mu\text{g}/\ell$ 으로 기준치에 훨씬 미치지 않음을 알 수 있었다. 그리고 TTHMs 농도는 정수장과 저수조를 거치지 않은 수도꼭지에서는 비슷한 농도로 검출되었으나 저수조를 거친 수도꼭지에서는 이보다 약 1.5~2배 이상 높은 농도로 검출되었다.

2. 정수장 급수계통의 잔류염소농도 변화를 살펴보면 저수조를 통과하지 않은 수도꼭지는 잔류염소가 약간 감소하였으나 저수조 수도꼭지에서 잔류염소농도 변화는 비교적 높게 나타났다. 이는 저수조를 통과하지 않은 수도꼭지에서는 체류시간이 짧으나 관로내의 반응물질과의 작용에 의해 일부가 소모되나 저수조를 통과한 수도꼭지에서는 저수조에서 체류시간이 길어 저수조내의 유기물 등과의 충분한 반응 또는 휘발에 의해 소비되었기 때문이라고 사료된다.

3. 질산성질소 및 염소이온은 각 정수장 처리수의 급수과정에서 농도와 변화를 나타내지 않았으며, 이들의 계절에 따른 변화는 원수의 수질에 기인하는 것으로 사료된다.

4. 정수장의 급수과정에서의 pH 변화를 살펴보면 S정수장에서는 정수장 및 저수조 통과 또는 통과하지 않은 수도꼭지의 pH는 거의 변화가 없었고, 타 정수장에서는 저수조를 통과하지 않은 수도꼭지는 정수장의 pH와 거의 변화가 없었으나 저수조를 통과한 수도꼭지는 pH가 높음을 알 수 있었다. 이는 S정수장 급수계통의 저수조가 FRP탱크이므로 pH 변화를 나타내지 않으나 나머지 정수장 급수계통의 저수조는 콘크리트탱크이므로 이로부터 알칼리성분인 생석회가 유리되어 pH를 증가시키기 때문인 것으로 판단된다.

5. 급수과정별 탁도변화를 살펴보면 B 및 O 정수장에서는 정수장 처리수와 거의 변화가 없었고, W정수장의 경우 W2지점, S정수장의 경우 S4 및 S5지점은 각 정수장의 다른 지점보다 농도가 높게 검출되었는데 이는 수도배관이 노후되었기 때문인 것으로 사료된다.

6. 제주시 4개정수장의 경우 TTHMs의 농도에 영향을 미치는 원수의 수질인자는 pH, BOD, Br^- , 수온, DO, Cl^- 등이며, 정수의 수질인자는 수온, pH, 잔류염소, EC, Cl^- 등으로 나타났으며, 이 중 주요 영향인자는 원수의 pH, Br^- , BOD, 정수의 수온, pH, Cl^- 며, 정수장의 조건이나 원수의 수질 등에 따라 주 영향인자가 달라지는 것으로 사료된다.

V. 참고문헌

- 고봉선, 이연희, 조용모, 유명진, 1996, 수돗물 직결급수에 관한 연구, 대한환경공학회 '96 추계학술연구발표회 논문초록집, pp. 189~191.
- 김교봉, 박성배, 정용, 권숙표, 1987, 상수오염에 따른 Trihalomethane 생성능에 관한 연구- 한강수와 도시하천수를 중심으로-, 대한수질보전학회지, 3(2), 44~52.
- 김수원, 1988, 수도수의 부식성(적수) 문제와 그 대책, 대구시 시정연구, 8, 123~133.
- 김영진, 이상원, 송미정, 류병순, 1995, 상수계통의 THM생성에 관한 연구, 부산광역시 상수도연구보, pp. 21~53.
- 박중현, 김병수, 1991, 수도관로 내에서의 THM 발생량 추정, 대한상하수도학회지, 5(1), 110~118.
- 박중현, 1980, 수도관 부식문제의 해결과 앞으로의 전망, 삼척공전논문집, 13, 205~217.
- 송영철, 1997, 제주도 지하수의 염소처리시 Trihalomethanes의 생성특성에 관한 연구, 제주대학교 대학원 석사학위논문, 52pp.
- 연세대학교, 1996, 지하수·토양 환경 연구소 보고서, 삼양3수원지 수리지질 조사 연구, pp. 81~83
- 오상실, 1994, 제주도 지하수의 수질특성에 관한 연구, 제주도보건환경연구원보고서.
- 옥치상, 정용, 1991, 염소 및 이산화염소 소독에 따른 음용수의 안정성에 관한 비교 연구, 한국수질보전학회지, 5, 110~118.
- 이현동, 정원식, 문숙미, 1997, SDLS를 이용한 상수도관로내 수질변화 연구, 대한환경공학회 '97 추계학술연구발표회 논문초록집, pp. 284~288.
- 제주시, 2001, 통계연보 p145
- 주대성, 박희경, 1996, 관재질 및 수질변화가 관로내 염소분해상수에 미치는 영향, 대한환경공학회 '96추계학술연구발표회 논문초록집, pp. 177~180.
- 최연정, 박중용, 옥치상, 1992, 노후 상수도관중 잔류염소가 음용수 수질에 미치는 영향, 대한환경공학회지, 14(4), 289~298.

- 최재호, 왕창근, 1996, 상수도 관망에서의 수질변화 및 Computer Simulation, 대한 환경공학회 '96 춘계학술연구발표회 논문초록집, pp. 354~355.
- 한동수, 1990, 대구시 상수도 수질관리 개선방향, 대한상하수도학회지, 4(1), 73~80.
- 현승규, 2001, 제주도 옹포천 유역 지하수의 질산성질소 오염원 규명, 제주대학교 대학원 석사학위논문, 56 pp.
- 환경부, 1999, 환경부령제77호(수도시설의청소및운영등에관한규칙).
- Allgeier, G. D., R. L. Jr. Mullins, D. A. Wilding, J. S. Zogorski and S. A. Hubbs, 1980, Trihalomethane levels at selected water utilities in Kentucky, USA, In International Symposium on the Analysis of Hydrocarbons and Halogenated Hydrocarbons in the Aquatic Environment(ed. by Afghan, B. K. and D. Mackay), Plenum Press, New York, p. 473.
- Camper, A. K., W. L. Jones and J. T. Hayes, 1996, Effect of growth conditions and substratum composition on the persistence of coliforms in mixed-population biofilms, *Appl. Environ. Microbiol.*, 62(11), 4014~4018.
- Choi, Y. I., D. S. Woo, Y. T. Cho, K. H. Jo and S. H. Nam, 2002, Application of corrosion inhibitors to water distribution system, *J. Environ. Sci.*, 11(5), 411~418.
- Clark, R. M., F. Abdesaken, P. F. Boulos and R. E. Mau, 1996, Mixing in distribution system storage tanks: Its effect on water quality, *J. Environ. Eng.*, 122(9), 814~821.
- Clark, R. M. and J. A. Coyle, 1990, Measuring and modeling variations in distribution system water quality, *J. AWWA*, 82, 46.
- Clark, R. M., W. M. Grayman, R. M. Males and A. F. Hess, 1993, Modelling contaminant propagation in drinking-water distribution system, *J. Environ. Eng.*, 119(2), 349~364.
- Emde, K. M., D. W. Smith and R. Facey, 1992, Initial investigation of microbially influenced corrosion (MIC) in a low temperature water distribution system, *Water Res.*, 26(2), 169~175.
- Fleischacker, S. J. and S. J. Randtke, 1983, Formation and control of organic

- chlorine in public water supplies, J. AWWA, 75, 132~138.
- Hamzah, A., M. P. Abdullah, S. Sarmani and M. Akbarjohari, 1997, Chemical and bacteriological monitoring of drinking water from an urbanised water catchment drainage basin, Environmental Monitoring and Assessment, 44, 327~338.
- Huang, W. J. and H. H. Yeh, 1997, The effect of organic characteristics and bromide on disinfection by-products formation by chlorination, J. Environ. Sci. Health, A32(8), 2311~2336.
- Kajino, M. K. and M. Yahi, 1980, Formation of trihalomethanes during chlorination and determination of halogenated hydrocarbons in drinking water, In International Symposium on the Analysis of Hydrocarbons and Halogenated Hydrocarbons in the Aquatic Environment(ed. by Afghan, B. K. and D. Mackay), Plenum Press, New York, pp. 491~501.
- Krasner, S. W., M. J. McGuire, J. G. Jacangelo, N. L. Patania, K. M. Reagan and E. M. Aieta, 1989, The occurrence of disinfection by-products in U.S. drinking water, J. AWWA, 81, 41~53.
- LeChevallier, M. W., T. M. Babcock and R. G. Lee, 1987, Examination and characterization of distribution system biofilms, Appl. Environ. Microbiol., 53(12), 2714~2724.
- LeChevallier, M. W., C. D. Lowry, R. G. Lee and D. L. Gibbon, 1993, Examining the relationship between iron corrosion and the disinfection of biofilm bacteria, J. AWWA, 85, 111~123.
- LeChevallier, M. W., N. J. Welch and D. B. Smith, 1996, Full-scale studies of factors related to coliform regrowth in drinking water, Appl. Environ. Microbiol., 62(7), 2201~2211.
- Minear, R. A. and J. D. Bird, 1980, Trihalomethanes Impact of Bromide Ion Concentration on the Yield, Species Distribution, Rate of Formation and Influence of Other Variables, Water Chlorination: Water Chlorination Environmental Impact and Health Effects, Vol 3, Ann Arbor Sci. Publ., Ann Arbor, Mich., USA.

- Nissinen, T. K., T. Vartiainen and P. J. Martikainen, 2000, The effect of pipe cleaning on disinfection by-products, Texts of Posters of 1st World Water Congress of the International Water Association, Paris, France, 3-7 July, Np-051.
- Oliver, B. G. and E. M. Thurman, 1983, Influence of Aquatic Humic Substance Properties on Trihalomethane Potential: Water Chlorination Environmental Impact and Health Effects, Vol 4, Ann Arbor Sci. Publ., Ann Arbor, Mich., USA.
- Orme, J., C. S. Mullin and E. V. Ohanian, 1990, Health Effects of Disinfectants and Disinfection By-Products, A Regulatory Perspective: Water Chlorination Environmental Impact and Health Effects, Vol 6, Ann Arbor Sci. Publ., Ann Arbor, Mich., USA.
- Reckhow, D. A., P. C. Singer and R. L. Malcolm, 1990, Chlorination of humic materials: By-product formation and chemical interpretations, Environ. Sci. Technol., 24, 1655~1664.
- Rompre, A., M. Prevost, J. Coallier, P. Brisebois and J. Lavoie, 2000, Impacts of implementing a corrosion control strategy on biofilm growth, Water Sci. Technol., 41(4-5), 287~294.
- Rook, J. J., 1974, Formation of haloform during chlorination of natural waters, Water Treat Exam., 23, 234~243.
- Rook, J. J., 1976, Haloforms in drinking water, J. AWWA, 68, 168~172.
- Rook, J. J. and A. A. Gras, 1978, Bromide oxidation and organic substitution in water treatment, J. Environ. Sci. Health, 13, 91~98.
- Srikanth, R., 1997, Chloroform levels in the drinking water of Hyderabad City, India, Environmental Monitoring and Assessment, 45, 195~199.
- Symons, J. M., T. A. Bellar, I. K. Carswell, J. DeMarco, K. L. Kropp, G. G. Robeck, D. R. Seeger, C. J. Slocum, B. L. Smith and A. A. Stevens, 1975, National organic reconnaissance survey for halogenated organics, J. AWWA, 67, 634.