

## 대구 지역의 계절 변화에 따른 급수관내 잔류염소 농도 거동

### The Seasonal Variation of Free Chlorine Residuals by Water Supply Distance in Daegu

이 태 관\*

Tae-Gwan, Lee\*

계명대학교 환경과학과

(2005년 5월 3일 논문 접수; 2005년 6월 9일 최종 수정논문 채택)

#### Abstract

This paper presents the integrated technique of water quality analysis and Geographic Information System(GIS) for assessing the variation of free chlorine residuals by water temperature and supply distance in Sangri water supply system in Daegu. GIS was utilized for mapping projectmap, extraction of a pipeline route, and supply distance. Free chlorine residual is analyzed every month for appraising the seasonal variation.

As a result, free chlorine residuals are affected both water temperature and water supply distance, and it becomes worse as water temperature and water supply distance is increased. To maintain 0.4mg/l of free chlorine residual, initial dose concentration should be over 1.85mg/l in summer.

**Key words:** Free Chlorine Residual, Water Supply System, GIS

**주제어:** 유리 잔류염소, 급수구역, 지리정보시스템

#### 1. 서 론

일반적으로 정수처리 공정에서는 박테리아, 원생동물, 바이러스 등 수인성 전염병을 일으킬 수 있는 미생물을 제거하기 위해 염소, 오존 및 자외선 등을 이용하여 물을 소독하고 있다(서명교, 1998). 이 중 염소는 산화력이 강해 세균(Bacteria)의 제거효과, 잔류성이 높아 현재 우리나라 정수공정에서 가장 많이

사용하고 있다.

정수공정에서 소독을 목적으로 수중에 염소를 투입시키면, 염소는 불균화 반응을 통해 차아염소산과 차아염소산이온 등 유리 잔류염소 형태와 염소가 암모니아와 결합한 모노클로라민, 디클로라민, 삼염화질소 등의 클로라민류 즉, 결합 잔류염소의 형태로 수중에 존재하게 된다. 유리 잔류염소와 결합 잔류염소는 모두 미생물에 대한 소독능을 가지고 있지만, 유리 잔류염소가 결합 잔류염소에 비해 약 25배 높은

\*Corresponding author Tel: +82-53-580-5459, FAX: +82-53-580-5908, E-mail: ltgsy@kmu.ac.kr (Lee, T.G.)

소독능을 가지고 있고, 특히 바이러스에 대해서 이러한 경향이 더욱 더 뚜렷이 나타나고 있어 우리나라 수질기준에서는 수돗물의 미생물학적 안전성을 확보하기 위해 급수관말의 유리 잔류염소 농도를 0.2mg/l 이상 유지 할 것을 규정하고 있다. 특히, 전염병 유행 및 홍수 등의 원인으로 원수 수질이 현저히 악화 될 가능성이 있는 하절기에는 유리 잔류염소의 농도를 0.4mg/l 이상으로 강화할 것을 규정하고 있다(한무영, 1999).

그러나, 유리 잔류염소는 결합 잔류염소에 비해 수중에 존재할 수 있는 시간이 짧은 특성을 가지고 있다. 따라서, 수돗물이 배수지 및 정수장에서 일반가정에 급수되는 동안 그 농도는 점점 감소하여 급수관말에서 수질기준을 만족하지 못하는 문제가 발생하고 있다(주대성 등, 1998; 김성진 등, 2003). 특히, 급수구역 후단의 유리 잔류염소량 부족은 급수관 내부에 바이러스, 원생동물 등 미생물 재성장 현상의 발생과 수인성 전염병 유행 등의 문제를 야기시킬 가능성이 있기 때문에 이에 대한 대책이 시급하다(이현동 등, 2000).

우리나라에서는 지하수를 수원으로 하는 외국과 달리 지표수를 수원으로 하고, 전체 수도관 중 10년 이상 노후된 수도관이 전체의 약 54% 정도로 많은 비중을 차지하고 있으며, 배수지에서 일반가정까지 급수되는 동안 수돗물이 관로 내에 체류하는 시간이 길기 때문에 수돗물 중 유리 잔류염소의 농도를 제어하기가 매우 까다로운 특성을 지니고 있다(이태관, 2004). 또한, 국내·외적으로 이러한 유리 잔류염소 농도 감소의 원인을 찾고 이에 대한 상관관계를 도출하고자 하는 연구들이 활발히 진행되고 있지만, 원수 및 정수 수질, 관거 재질 및 구경, 관거 부식 정도, 누수율, 관거 시공 방법, 관거 경사, 관내 압력 등 급수 중 유리 잔류염소 농도의 변화에 영향을 주는 인자들이 너무 많아 전체 인자들에 대한 조사 및 전체 급수구역에 대한 조사 자체가 불가능하기 때문에 사실상 급수과정중 발생하는 유리 잔류염소 농도의 변화를 체계적으로 관리하지는 못하고 있는 실정이다(Clark 등, 1985; 이현동 등, 1998).

따라서, 본 연구에서는 각 인자들에 대한 상관관계 도출 보다는 대상 지역내 유리 잔류염소 농도의 감소 경향을 바탕으로 급수시 유리 잔류염소 농도를 관리

할 수 있는 방안을 마련하고자 배수지에서 일반 가정에 급수되는 동안의 급수관내 유리 잔류염소 농도를 조사하고, 계절과 급수거리의 변화에 따른 농도 변화를 비교하며, 그 경향을 GIS를 이용하여 대상 지역에 도입함으로써 계절에 따른 유리 잔류염소 농도의 분포와 급수 초기에 필요한 최소 유리 잔류염소량을 산정하였다.

## 2. 연구내용 및 방법

본 연구에서는 수돗물의 급수시 계절 및 급수거리의 증가에 따른 급수관내 유리 잔류염소 농도의 변화 경향을 도출하여 유리 잔류염소 농도를 적절히 관리할 수 있는 방안을 마련하고자 상리 배수구역을 중심으로 배수지에서 일반 가정에 급수되는 동안의 급수관내 유리 잔류염소 농도를 매월 조사하여 계절과 급수거리의 변화에 따른 농도 변화를 비교하였다. 또한, 급수거리의 증가에 따른 급수관내 유리 잔류염소의 감소 경향을 GIS를 이용하여 대상 지역에 도입함으로써 계절에 따른 유리 잔류염소 농도의 분포와 급수 초기에 필요한 최소 유리 잔류염소량을 산정하였다.

### 2.1. 대상지역의 선정

대구는 전체 인구의 약 99.5%인 약 2,544,000명이 수도에 의해 생활용수를 공급받고 있고, 매일 약 1,030,000m<sup>3</sup>의 수돗물이 생산되어 생활용수 및 공업용수 등으로 활용되고 있으며, 낙동강 및 운문댐, 가창댐, 공산댐을 수원으로 하는 두류, 매곡, 고산, 가창, 공산, 달성 정수장 등에서 수돗물을 공급받고 있다. 본 연구에서 대상 지역으로 선정한 상리 배수구역은 대구시 정수장 중 가장 규모가 큰 매곡 정수장의 정수를 공급받고 있고, 30,000m<sup>3</sup>의 용량을 가지는 상리배수지에서부터 달서구와 서구 일부를 거쳐 북구에 이르기까지 매우 넓은 지역에 수돗물을 급수하고 있으며, 대구시 전체 급수인구의 10%에 해당되는 총 87,102세대, 252,853명이 상리배수구역에서 수돗물을 공급받고 있다(환경부, 2003; 대구광역시, 2004).

### 2.2. 연구방법

본 연구에서는 대상지역내 유리 잔류염소 농도의

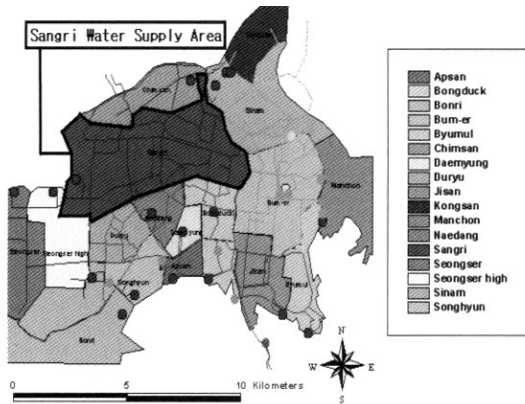


Fig. 1. Sangri water supply area in Daegu.

변화 특성을 평가하기 위해 대상 지역인 상리 배수구역의 급수 관로 중 직경, 재질, 관경 등 관로 구성 요소가 동일한 관로를 선정하여 호환기를 제외한 2월에서 10월까지 총 9개월간 유리 잔류염소 농도를 측정하였다. 측정 지점은 상리 배수지와 배수지에서 급수관말까지 분포되어 있는 급수 분기점으로부터 20m 이내의 거리에 위치한 옥외 직수관에 연결된 수도를 이용하였고, 관로내 사수 제거시간을 고려하여 유리 잔류염소 농도의 측정을 통해 유리 잔류염소의 농도 변화가 안정화되는 시점을 산정하였으며, 산정된 시간 동안 일정량의 물을 제거한 후 채수하여 유리 잔



Characteristics of water distribution pipe	
Matter	Cast Iron
Year	1995
Pore size[φ]	1,200mm
Length	1.2 × 10 <sup>4</sup> m

Fig. 2. Location of sampling point and characteristics of water supply pipe in Sangri.

류염소 농도를 측정 하였다. 유리 잔류염소 농도의 측정은 DPD Method(Harch DR 2400)를 이용하여 측정하였고, 현장에서 즉시 측정함을 원칙으로 하였다. 대상지역내 수질 측정 지점과 대상 관로에 대한 특성은 Fig. 2에 나타난 바와 같다.

또한, 본 연구에서는 대상구역내 계절에 따른 유리 잔류염소 농도의 감소 경향을 평가하기 위해 측정된 유리 잔류염소의 농도를 동계, 춘계, 하계, 추계의 사계절로 나누어 평가하였다. 각 계절의 평가자료는 잔류염소 농도의 감소 경향이 가장 작고, 수온이 가장 낮은 2월의 측정자료를 동계 유리 잔류염소 농도의 변화를 나타내는 지표로 사용하였고, 3~5월은 춘계로, 6~8월은 하계, 9~10월은 추계로 각각 분류하여 유리 잔류염소 농도의 감소 경향을 나타내는 지표로 활용하였다.

### 2.3. 모니터링 프로그램 개발

본 연구에서 개발한 급수관내 유리 잔류염소 모니터링 프로그램은 일반적으로 도시계획 및 공공시설의 입지 선정시 많이 사용되는 주제도 중첩법을 응용하여 제작하였다. Fig. 3에 나타난 바와 같이 대상 지역인 상리 배수구역을 100m 간격으로 격자화하여 GIS를 이용한 거리 분석으로 각 격자에 대한 급수거리를 산정하고, 계절에 따른 유리 잔류염소 농도의 변화율을 각 격자에 대입하여 상리 배수구역내 각 격자 지역의 잔류 염소 농도를 예측하고, 급수 관말에서 유리 잔류염소의 수질기준을 만족시키기 위한 초기 유리 잔류염소 농도를 역산출 하였다. 또한, 예측된 유리 잔류염소 농도는 Table 1에 나타난 바와 같이 Danger 등급은 수질기준 이하, Warning 등급은 수질기준을 만족시키지 못할 우려가 있는 유리 잔류염소 수질기준+0.1mg/l, Safe 등급은 유리 잔류염소 수질기준+0.1mg/l 이상으로 구분하여 표시함으로써 급수구역내의 계절별 유리 잔류염소 분포도를 작성하였고, 각 계절의 유리 잔류염소 농도 분포도를 다시 중첩하여 전체 유리 잔류염소 농도 분포도를 작성 하였다. 전체 유리 잔류염소 분포도의 등급 평가는 Table 2에 나타난 바와 같다.

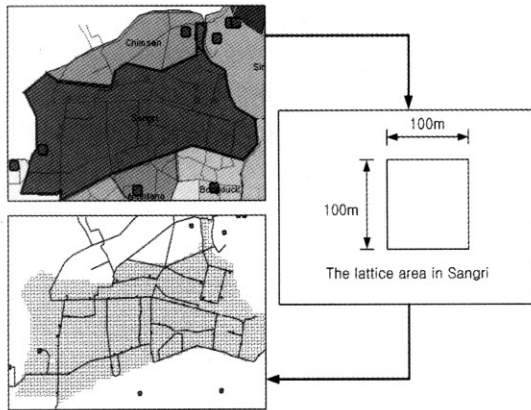


Fig. 3. The map of lattice area in Sangri.

Table 1. Grades of seasonal free chlorine residuals

Season	Grades	Free Chlorine Residual Conc. [mg/l]
Autumn	Safe	Over 0.3
Spring	Warning	0.2 0.3
Winter	Danger	Below 0.2
Summer	Safe	Over 0.5
	Warning	0.4 0.5
	Danger	Below 0.4

### 3. 결과 및 고찰

Fig. 4는 대구시 상리 배수구역의 계절별 유리 잔류염소의 급수거리에 따른 농도 분포 및 변화율을 정리하여 나타낸 것이다. 상리 배수구역의 춘계 유리 잔류염소 농도는 0.66~0.27mg/l의 범위를 나타내고 있었고, 평균농도는 0.58~0.36mg/l의 범위로 급수 거리의 증가에 따라 꾸준히 농도가 감소하는 경향을 나타내고 있었으며, 급수 관말에서의 유리 잔류염소의 농도 변화율은 약 38%를 나타내고 있었다. 또한, 하계의 유리 잔류염소 농도는 0.81~0.15mg/l의 범위로 평균농도는 0.78~0.23mg/l, 급수관말에서의 변화율은 약 71%의 변화율을 나타내고 있었고, 추계는 0.75~0.27mg/l의 범위로 평균 0.63~0.31mg/l, 급수관말에서의 변화율은 약 51%를 나타내고 있었으며, 동계는 0.56~0.43mg/l의 범위로 급수관말 유리 잔류염소 농도의 변화율은 약 20% 내외의 범위를 나타내고 있었다.

Table 2. Grades of annual free chlorine residuals distribution

Grades	Valuation
Safe	Most of all safe grades
Warning	One Warning grade.
Danger	Over two Warning or Danger grade.

급수 거리에 따른 유리 잔류염소의 농도 변화는 급수 거리가 증가함에 따라 꾸준히 감소하는 경향을 나타내고 있었고, 그 경향은 수온이 높아지는 하절기에 가까워 올수록 더욱더 뚜렷이 나타나고 있었으며, 배수지의 유리 잔류염소 농도에 대한 급수 관말 지역의 유리 잔류염소 농도의 감소율은 하계, 추계, 춘계, 동계의 순으로 나타났다. 특히, 각 계절의 급수거리 증가에 따른 유리 잔류염소의 농도 변화율의 상관관계 수  $R^2$ 값은 춘계, 하계, 추계 및 동계에 각각 0.75, 0.85, 0.93 및 0.76으로 나타나 높은 신뢰도를 나타내고 있었다. 이러한 계절적 차이는 수온 증가에 의한 염소의 용해도 감소와 유리 잔류염소 농도의 감소에 영향을 줄 수 있는 급수관내 여러 요인들의 활성화 차이가 복합적으로 작용한 것으로 사료된다.

유리 잔류염소의 예상 농도는 각 계절의 초기 평균 유리 잔류염소 농도를 기준으로 계절별 유리 잔류염소 농도의 변화율과 급수거리의 상관관계식을 이용하여 각 급수구역내의 예상농도를 산출하고, Table 1의 기준에 의해 Safe, Warning, Danger의 세 등급으로 구분하여 이를 각각의 격자에 대입함으로써 상리 배수구역내 유리 잔류염소의 농도 분포를 나타내었다.

상리 배수구역의 유리 잔류염소 농도 분포는 Fig. 5-(a)와 Fig 5-(d)에 나타난 바와 같이 춘계와 동계에는 구역 전체에서 유리 잔류염소 농도가 0.3mg/l 이상으로 예측되어 급수구역내 모든 격자가 Safe 등급을 나타낸 반면, Fig. 5-(b)의 하계에는 배수지에서 약 5.8Km 이후에서 Warning 등급으로, 7.3Km 이후에는 Danger 등급으로 나타났고, Fig. 5-(c)의 추계에는 배수지에서 10.5Km 이후부터 Warning 등급을 나타내고 있었다. 즉, 유리 잔류염소는 동계와 춘계보다 하계와 추계에 급수거리 증가에 따른 유리 잔류염소 농도의 감소 경향이 더 크게 나타나고 있고, 이 때 급수관말 지역은 대부분 수질기준을 만족하지 못하고 있는 것으로 조사되었다. 특히, 이러한 경향은 하계에 가장 심하게 나타나고 있었다. 유리 잔류염소 농도

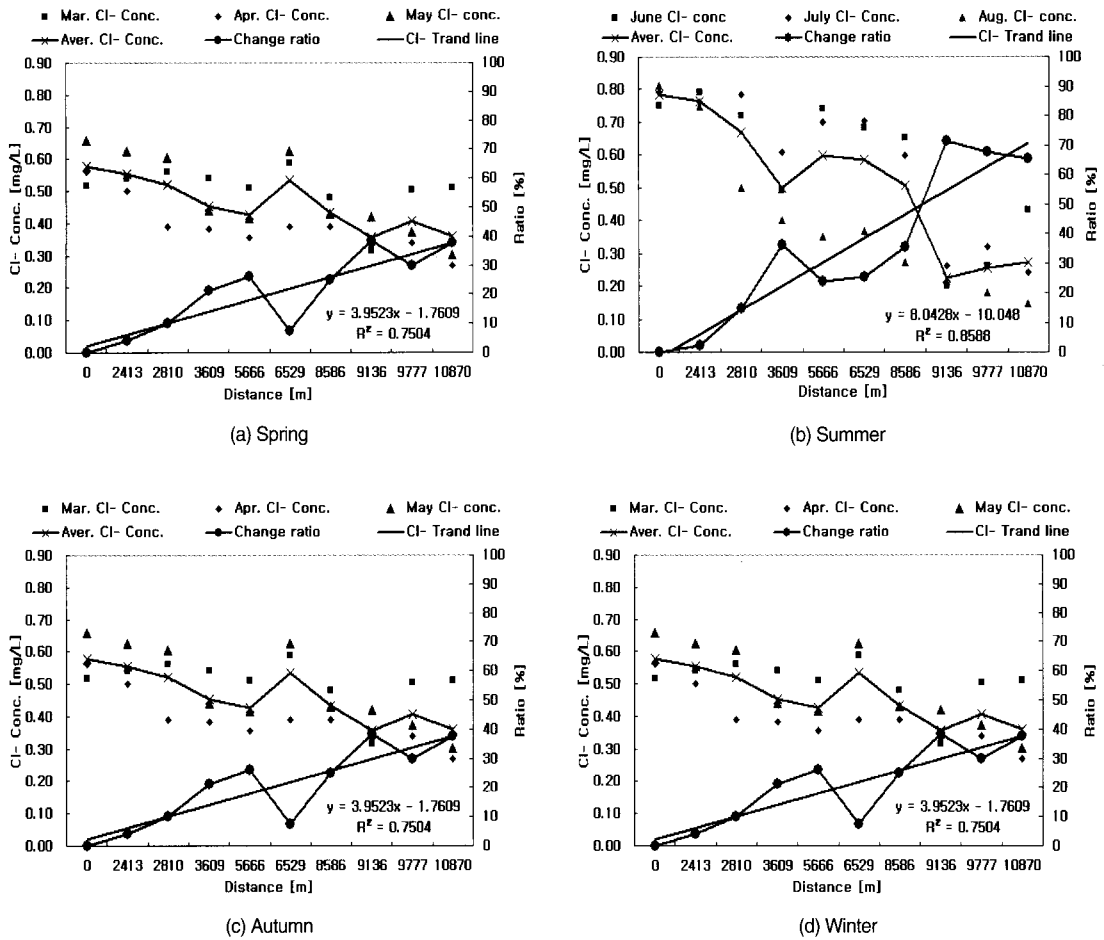


Fig. 4. The seasonal variation of free chlorine residuals concentration in Sangri.

의 저하에 따른 수돗물의 소독능 저하는 급수관로 내 미생물의 재성장예 의한 수인성 전염병 발생 등 여러 가지 문제를 발생시키기 때문에 이에 대한 대책이 마련이 시급히 이루어져야 할 것으로 사료된다.

Fig. 6의 상리 배수구역내 잔류염소 분포도는 Fig. 5의 계절별 유리 잔류염소 농도 분포도를 중첩하여 나타낸 것으로, 각 격자의 등급의 중첩횟수를 기준으로 전체 등급을 평가하였다. 평가결과, Warning 등급은 배수지에서 5.8Km 이후부터 7.7Km 사이의 범위로 나타났고, 7.8Km 이후부터는 Danger 등급으로 나타나 하계의 유리 잔류염소 분포도와 동일한 양상을 나타내는 것으로 나타났다. 이는 유리 잔류염소 농도의 감소가 하계에 가장 두드러지게 나타나기 때문으

로, 급수시 유리 잔류염소 농도 관리는 타계절보다 하계를 중심으로 이루어져야 할 것으로 사료된다. 상리 배수구역내 잔류염소 분포도는 Fig. 6에 나타난 바와 같다.

Fig. 7은 급수관말에서 수질기준을 만족시키기 위한 배수지에서의 초기 염소주입량을 유리 잔류염소 변화율(Fig. 4)과 본 연구 조사기간 동안의 수온변화와의 관계를 기초로 산정하여 나타낸 것이다. 배수지내 초기 염소주입량은 춘계에 수온이 14°C일 때 0.34mg/l로 나타났고, 하계는 24 일 때 1.85mg/l, 추계는 17°C일 때 0.45mg/l, 동계는 5 일 때 0.24mg/l의 초기 농도를 요구하는 것으로 조사되어 배수지에서 요구되는 초기 유리 잔류염소의 농도는 수온이 증

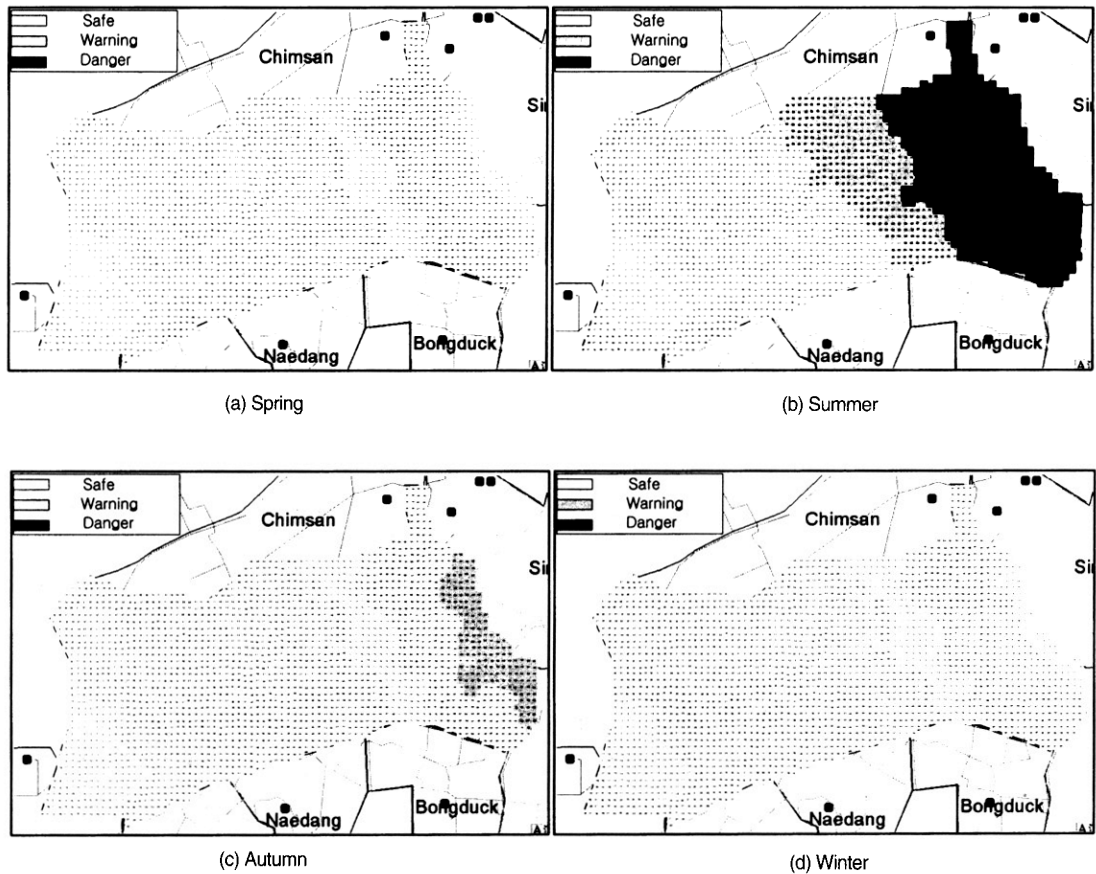


Fig. 5. The seasonal status of free chlorine residuals by water distribution distance.

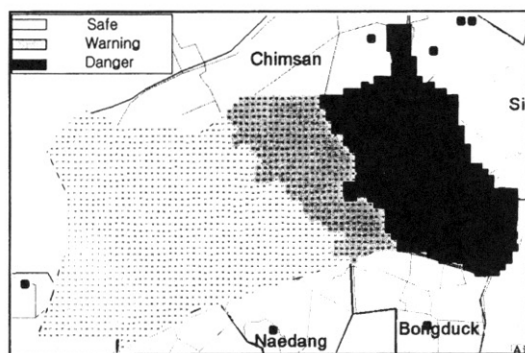


Fig. 6. The status of free chloride residuals in Sangri water supply area.

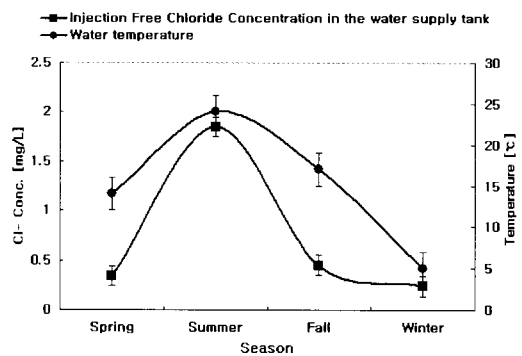


Fig. 7. The annual water temperature variation and the estimated injection chlorine concentration in Sangri service reservoir.

가할수록 증가하고 있었다. 그러나, Fig. 7의 결과는 관경 1,200mm의 대규모 급수관의 수질변화를 기준으로 산정한 것이기 때문에 관의 분기가 거듭될수록 급수관의 관경이 작아지고, 급수관에서 각 가정까지 급

수거리가 증가하는 등의 요인에 의해 실제 초기 유리 잔류염소 농도는 Fig. 7의 산정치보다 더 높아야 할 것으로 사료된다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 배수지에서 일반 가정으로 수돗물이 급수되는 동안 유리 잔류염소 농도를 적절히 관리할 수 있는 방안을 모색하기 위해 대구시 상리 배수구역을 중심으로 배수지에서 일반 가정에 급수되는 동안의 급수관내 유리 잔류염소 농도를 조사하여 계절과 급수거리의 변화에 따른 농도 변화를 비교·평가함으로써 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

1. 수돗물의 급수시 유리 잔류염소의 농도는 급수거리 즉, 수돗물이 급수관로내에 체류하는 시간이 증가함에 따라 지속적으로 감소하는 경향을 나타내고 있었다.

2. 급수거리 증가에 의한 급수관내 유리 잔류염소 농도의 감소 정도는 하계, 추계, 춘계, 동계의 순으로 나타났다.

3. 급수거리 증가에 의한 급수관내 유리 잔류염소 농도의 감소가 가장 심하게 나타난 하계의 경우, 급수 관말에서의 유리 잔류염소 농도 감소율은 약 70% 정도로 나타났다.

4. 상리 배수구역내의 유리 잔류염소 분포는 하계가 다른 계절에 비해 가장 불안정한 것으로 나타났고, 이 때 각 격자별 등급은 급수거리를 기준으로 5.8Km 이후부터는 Warning 등급, 7.8Km 이후부터는 Danger 등급으로 평가 되었다.

5. 상리 배수구역의 급수관말 유리 잔류염소의 수질기준을 만족시키기 위한 배수지내 최초 염소주입량은 최소한 춘계, 하계, 추계, 동계에 각각 0.34mg/l, 1.85mg/l, 0.45mg/l, 0.24mg/l로 예측되었다.

수돗물의 급수시 수중 유리 잔류염소 농도의 변화는 수온과 급수거리의 두 가지 조건에 모두 영향을 받고 있음을 알 수 있고, 급수관말 지역의 적정 유리

잔류염소 농도의 확보를 위해서는 각 수온에 따라 염소주입량을 달리 해야 한다. 배수지내 초기 염소주입량이 하계에는 최대 1.85mg/l로 본 연구 범위내 배관 총 연장 11km에서 높게 나타나, 수온이 높은 하계시에는 수인성 전염병 등의 예방을 위하여 현 관로 시스템 하에서는 많은 염소주입량이 요구되므로 적절한 관리가 요구된다. 그러나, 염소의 과주입은 THMs 등의 소독 부산물 발생, 배수지 인근 주민들의 민원 발생 가능성 및 급수관의 부식 문제 등 여러 가지 문제점의 발생 가능성이 있으므로, 급수 구역 조정, 급수중 염소 재투입 등 급수관내 적정 유리 잔류염소량의 유지를 위한 방안들이 강구 되어져야 할 것으로 사료된다.

#### 참고문헌

- 김성진, 홍성호 (2003) 김정현 상수관내의 부식생성물에 의한 잔류염소 감소특성, *상수도학회지*, 17(6), pp. 898-905.
- 김종택, 김종찬 (2001) 먹는물공정시험방법 이론 및 해설, 신광출판사, 서울.
- 대구광역시 상수도 사업본부 (2004) 2004 상수도 급수현황.
- 이태관 (2004) 급수거리와 수질변화에 관한 기초적 연구, *수처리기술*, 12(3), pp. 45-53.
- 이현동, 정원식, 광필재 (2000) 상수도관의 잔류염소 분해 특성, *한국수도협회*, 26(2), pp. 33-39.
- 이현동, 정원식, 지재성 (1998) 상수도관망내 잔류염소 분해 및 수질변화 특성, *한국수질보전학회지*, 14(1), pp. 79-86.
- 주대성 등 (1998) 상수도관망내 잔류염소 농도 분포 예측, *상수도학회지*, 12(3), pp. 118-124.
- 한무영 (1999) WHO 음용수 수질 가이드라인, 대한상수도학회 수도연구회, 서울.
- 환경부 (2003) 상수도통계.
- Clark, R.M. and Males, R.M. (1985) Simulating Cost and Quality in Water Distribution, *Jour. Water Resources Planning and Management*, 111(4), pp. 454-466.