

배·급수관망에서의 수질변화 모델링 -저수조 및 관망에서의 잔류염소농도 변화 중심으로-

구 자 용·주 충 남·윤 여 천
(서울시립대학교 환경공학부)

Water Quality modeling in distribution System

Koo, Ja Yong · Joo, Choong Nam · Yoon, Yeo Cheon

ABSTRACT

This paper describes the effects which temperature, volume of reservoirs, reservoirs material and initial chlorine concentration have on the chlorine decay. Experiments are carried out at different temperatures(6 ~ 24°C), volumes(14ℓ, 30ℓ, 60ℓ), materials(P.E, Stainless steel) and initial chlorine concentrations(0.4 mg/ℓ, 0.6 mg/ℓ, 0.8 mg/ℓ).

The results show that the decay constants are found to be inversely proportional to the initial chlorine concentrations, and initial chlorine decay rate is more steep than later. The decay constants are directly proportional to the temperatures. When materials of reservoir are P.E(Poly ethylen)and stainless steel, decay constants are not much related with materials. The decay constants are found to be directly proportional to the ratio of water surface area to unit volume.

As a complement to the field sampling program, computer models that will predict chlorine residual variation in distribution systems are examined and developed by EPANET. This model predicts chlorine residual concentration very well in some limited condition. At overall studied area with pipe diameter 500 mm, Chlorine residual concentration is surveyed over 0.2 mg/ℓ

Key Word : Chlorine decay, Initial concentration, Temperature, Material, Ratio of water surface area to unit volume, EPANET

I. 서론

최근 양질의 수돗물에 대한 국민의 요구가 점차 증가하면서 정수처리 및 정수의 안전한 공급방법에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 지금까지는 전자에 대한 연구가 주를 이루어 왔으며 후자의 경우는 크게 관심을 갖지 않았다. 그러나 수돗물의 공급과정에서 발생하는 2차오염의 심각성이 밝혀지면서 이에 대한 관심이 고조되고 있다.

특히 도·송·배·급수관시설은 그 중요성과 함께 시설규모면에서도 수도시설 전반에 접하는 비율이 매우 크다. 이와같은 운송체계는 주로 관로로 이루어져 있는데, 관로내 적절한 압력유지 및 충분한 유량확보와 더불어 관로내에서의 오염을 예방하는 일은 수요자에게 안전한 물을 원활하게 공급하기 위해 필수적이라 할 수 있다.

또한 상수도관로상에서 발생하는 수돗물의 수질변화를 정확히 예측하고 좀더 상세히 이해하기 위해서는 상수도관로내 정체구역의 발생 유무 그리고 수리인자의 변화를 파악하여야 하며, 향후 더욱더 관심사항이 될 수질인자에 대해서는 자료수집과 함께 실험과 모델을 이용해서 이들 인자들이 상수도관로내에서 변화되는 특성을 적절하게 나타내어야 한다. 따라서 이들 여러 인자들의 변화를 복합적으로 적용하기 위해서는 상수도 관망내의 수리 및 수질변화를 동시에 예측할 수 있는 수리·수질 모델을 개발하여 상수도 관망을 해석할 필요가 있다.

소독제로 사용되는 잔류염소의 배·급수계통에서의 분해는 관망 내에서뿐만 아니라 저수조에서도 발생한다. 저수시설은 직결급수 시스템이 도입이 되더라도 배수지 시설 용량이 충족되기 전까지는 존재하게 되므로 가장 큰 잔류염소농도의 감소지역이 되고, 이로 인해 옥내 배관에서의 미생물 재성장의 주된 원인이 되기도 한다. 그러므로 급·배수계통에서의 잔류염소농도변화를 조사하기 위해서는 관망뿐만 아니라, 저수조에서의 농도변화에 대한 조사가 필요하다.

그러므로 본 연구에서는 국내외 연구결과들을

조사하고 잔류염소의 bulk decay에 영향을 주는 인자들중, 수온, 주입잔류염소농도에 의한 잔류염소감소를 실험하고, wall decay에 영향을 주는 인자로는 재질, 잔류염소와의 접촉면적 영향을 실험하여 잔류염소 분해 특성을 알고, 실제 서울시내 특정 배수구역을 선정하여 대상 배수구역내의 잔류염소농도 변화를 수질측면에서 모델링하여 대상지역의 잔류염소농도 적정성을 평가하려한다.

II. 이론적 고찰

1908년에 Harriette Chick박사에 의해서 소독에 대한 이론이 정립된 후 잔류염소의 감소는 초기 잔류염소농도와 경과시간의 함수로 표현이 되었다. 이러한 감소 모델은 비교적 수체내의 잔류염소 감소를 잘 표현하였다. 그러나, 물 수요량의 증가에 의한 상수도의 보급으로 인해 상수관망이 복잡해지고, 관로연장이 길어져, 관망내 체류시간이 증가되어, 관망내 잔류염소농도의 변화에 이 모델을 적용하는 것에 한계를 나타내게 되어, 여러 연구자들에 의해서 좀더 잔류염소감소현상을 잘 표현할 수 있는 모델 개발이 이루어졌다.

Wable 등¹⁾은 플라스크에서 측정된 잔류염소감소와 강관과 덕틸강관에서의 감소를 비교하여 관의 재질에 따른 영향을 조사하였고 부식이 금속성관에서의 잔류염소의 안전성을 제어하는 주요한 역할을 한다는 것을 보고하였다.

LeChevallier 등²⁾은 bulk 흐름과 관벽사이에서의 물질전달이 배수시스템에서 잔류염소의 소비에 영향을 끼치는 중요한 인자를 구성한다는 것을 알아냈다. Rossman 등³⁾은 난류와 층류 조건하에서 비정상상태 흐름에 적용한 bulk 흐름에서 관벽으로 이동하는 잔류염소의 반응에 의해 영향을 받는 wall decay의 총괄반응으로 물질전달에 기초를 한 관망에서의 잔류염소 감소모델을 제안하였다. 이러한 다양한 잔류염소 감소에 대한 연구를 통해, 보편적으로 알게된 사실은 잔류염소의 감소는 물 자체에서의 감소(bulk decay)와 관벽에서의 감소(wall decay)의 영향을 가장 크게 받는다는 사실

이다.

Bulk decay와 wall decay에 영향을 주는 인자들은 살펴보면, bulk decay의 경우, 초기 잔류염소 농도, 수체내의 유기물량, 수온을 들수 있으며, wall decay의 경우는 관재질, 관경, 관의 부식정도, 생물막형성등의 영향을 받는 것으로 나타났으며, 두가지 decay 모두 잔류염소의 관내 체류시간의 영향을 받는다.

1) 초기잔류염소농도

잔류염소의 초기 농도에 따른 잔류염소의 감소는 bottle test를 통해 실험되어 wall decay로부터 영향을 배제할수 있다. 잔류염소의 초기농도가 잔류염소감소에 영향을 미치는 것에 대한 연구로부터 잔류염소 감소경향은 1차 감소식을 따르는 것으로 알려져있다.

$$C_t = C_0 e^{-k_b t} \quad (1)$$

여기서 k_b 는 제한된 실험에서 대략적으로 다음과 같이 표현된다.

$$k_b = \frac{0.018}{C_0} - 0.024 \quad (2)$$

식 (2)을 통해 감소상수값이 초기농도에 반비례한다는 것을 알 수 있다⁶⁾.

초기잔류염소농도에 대한 또다른 실험에서 James⁵⁾는 똑같은 시료에 초기농도가 다르게 잔류염소처리를 한후 실시한 실험을 통해, 초기잔류염소농도가 높은 것이 더 낮은 감소율을 나타낸다는 사실을 확인했다. 즉 k_b 가 가장 낮은 시료에서 가장 높은 C_0 값을 갖으며, C_0 와 k_b 값을 도식하여 R^2 값이 0.9이상인 직선적 비례관계식을 얻었다.

2) 수온

온도에 따른 반응 상수의 변화는 Arrhenius equation에 의해 수학적으로 표현된다.

$$k_b = A e^{-E/RT} \quad (3)$$

위 식에서 $\ln k_b$ 와 $1/T$ 의 관계는 직선식이 된다. Fang 등⁶⁾은 정수장에서 채취한 시료와 이 정수장에서 물을 공급받는 곳에서 채취한 시료에

NaOCl를 일정 농도(0.5 mg/l)로 첨가하여 재처리된 물(rechlorination)에 대해 실험하였고, 정수장에서 채취한 시료에 대한 온도에 따른 bulk decay constant를 구하였다.

James 등⁵⁾은 반응율은 온도가 10℃ 올라갈 때마다 2배씩 증가하며, 온도가 10에서 20℃로 증가하면, 식 (3)에서 E/R값은 5750℃값을 갖고 반응상수와 온도와의 관계를 식 (4)로 표현하였다.

$$k = a TOC \exp[-b/(T + 273)] \quad (4)$$

a는 1.8×10^6 l/mgh의 값을 갖고 b는 605 0℃의 값을 갖는다. 온도가 10에서 20℃로 증가하면 감소상수는 2.05배 증가한다는 사실을 알아냈고, 식 (4)를 이용한 실험을 통해 예측값과 실측값은 R^2 값이 0.98이상으로 나타났다. 모델값과 실측값간의 최대편차는 0.004 l/h였으며, 측정오차 ± 0.01 l/h내에서 양호한 값을 가졌다.

3) 관의 재질

Kiene 등⁷⁾은 고밀도 PolyEthylene (HDPE), 비소성PVC(U-PVC), Molecular Oriented PVC(MO-PVC), Polypropylene(PP), 유리보강 Polyester (GRP)등의 다른 재질을 갖는 관을 사용하여 잔류염소 감소상수를 구하였다. 이 실험에서 각 관들을 몇 분동안 수돗물로 세척하여 초기잔류염소농도 1 ± 0.2 mg/l, 온도 18℃, pH 6.6의 잔류염소용액에 담아 12시간동안 잔류염소농도의 변화를 관측하였다. 이 실험에서 물과 관재질에 따른 잔류염소의 소모를 나타내기위해 'global kinetic constant'를 구했는데, PP재질의 관이 가장 많은 잔류염소 소비를 나타냈으며, HDPE관이 가장 적은 잔류염소 소비를 나타냈고 나머지 관들은 거의 비슷한 잔류염소소비 경향을 나타냈다.

III. 실험방법

1. 잔류염소분해특성실험

1) 실험장치

저수조에서의 잔류염소농도변화를 알아보기 위

한 실험장치는 Fig. 1, Fig. 2와 같다. Fig. 1에서 저수조 1, 2, 3, 4의 용량은 각각 14ℓ, 30ℓ, 60ℓ, 60ℓ이며 저수조 1, 3의 재질은 P. E, 저수조 2, 4의 재질은 스테인레스이다.

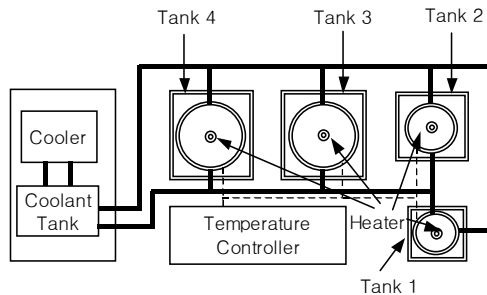


Fig. 1. Schematic diagram of experimental facilities.

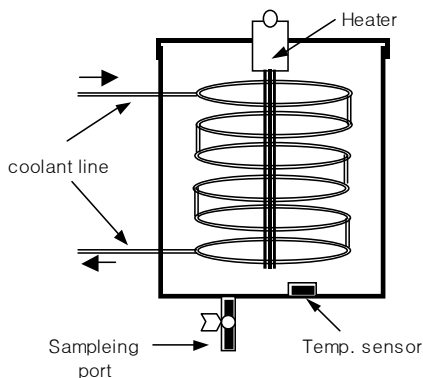


Fig. 2. Schematic diagram of facilities inside.

수온조절은 냉각장치에 연결된 냉각관이 조 내부에 설치되어 냉각수가 냉각관을 순환하면서 수온을 낮추고, 조 내에 설치된 온도센서에 의해 작동되는 히터에 의해 수온을 높여 설정온도를 유지하게했다.

본 실험에서는 실제 공급되는 수돗물과 동일한 조건을 위해 서울시립대학교 실험동 수도전에서 취수한 수돗물을 사용하였으며 초기 잔류염소농도를 조절하기 위해 Sodium Hypochlorite (NaOCl)을 사용하였다.

저수조의 내부 상태는 실제 저수조의 현상을 감안하여 기·액 경계면이 존재하는 open space인 상태로 실험하였으며 먼지와 같은 이물질의 유입을 방지하기 위해 뚜껑을 설치하여 밀봉된 상태로 실험을 수행하였다.

2) 실험방법

저수조에 수돗물을 채운 후 설정온도에 도달할 때까지 냉각장치와 히터를 가동시킨다. 수온이 설정온도에서 안정을 이루면 Sodium Hypochlorite (NaOCl)용액을 가해 초기 잔류염소농도를 4개의 저수조 모두 동일하게 조절한다. 처음 30분까지는 10분 간격, 3시간까지는 30분 간격으로 잔류염소농도를 측정하고 그 후 측정시간 간격을 늘려가며 잔류염소농도의 변화가 없을 때까지 측정한다.

잔류염소분해에 영향을 주는 인자들에 대한 실험은 온도, 잔류염소의 초기농도, 저수조의 용량, 재질에 따라서 이루어졌으며, 각 실험에 있어서 실험조건은 온도의 경우 6℃, 12℃, 18℃, 24℃에서 실험하였다, 특히 6℃의 경우는 겨울철의 일반적인 온도조건을 맞추기 위해서 설정하였고, 18℃의 경우는 여름철을 고려하여 설정하였다. 초기 잔류염소농도에 따른 영향을 실험하기 위해 초기 농도를 0.4 mg/ℓ, 0.6 mg/ℓ, 0.8 mg/ℓ로 하여 실험하였고, 잔류염소의 측정방법은 Table 1과 같다.

Table 1. Analysis Method

Object	Method	Measure unit	Background
Chlorine residual Con.	Spectrophotometer	DPD Colorimeter, HACH	Standard Method 4500-Cl G

※본 연구에서는 유리잔류염소인 HOCl과 OCl⁻만을 측정하였다.

2. EPANET을 이용한 관망수질모델링

EPANET을 이용한 관망에서의 잔류염소농도변화를 모델링 하기 위해서 서울시에 있는 배수지를 선택하여 배수지내에서의 잔류염소농도변화를 측정하였다. 연속잔류염소측정기(Model CL17, HACH)를 배수지내에 설치하여, 배수지에서의 시간에 따른 잔류염소농도를 자동으로 기록하였다. 또한 배수지의 운전기록장부에서 배수지의 유입·유출량자료를 얻어, EPANET에 입력되는 유량 패턴 자료로 사용하였다. 그리고, 신정배수지로부터 물을 공급받는 배수구역내 임의 지점을 선택하여 그

지점에서의 잔류염소농도 변화를 24시간 간이잔류염소분석기(DPD Colorimeter, HACH)를 사용하여 측정하였다. 또한 신정배수지로부터 물을 공급받는 배수구역에 대한 배관도로부터 500 mm이상의 관경을 갖는 관들에 대해서 EPANET을 이용하여 실제 관망 배치와 같도록 EPANET의 input file에 관망을 구축하였다.

IV. 결과 및 고찰

1. 온도와 초기농도에 따른 잔류염소분해 특성

잔류염소농도 감소의 경향을 알아보기 위해 1차 모델을 적용하였으며, 상관계수는 0.7418 ~ 0.9925로 비교적 높은 상관관계를 나타내었다. Fig. 3의 (a), (b)는 재질이 PE인 저수조를 가지고 실험한 경우의 잔류염소감소경향을 나타내고 있다. Fig. 3의 (a), (b)에서 잔류염소농도는 온도에 비례하여 빠르게 감소하는 것을 알 수 있다. 이로부터 겨울철보다 여름철에 저수조에서의 잔류염소농도의 감소가 신속히 진행됨을 알 수 있으며, 잔류염소감소상수측면에서 1.5 ~ 2.8배의 차이가 났다. 따라서 적정수준의 잔류염소농도를 유지하기 위해 여름철에는 겨울철보다 짧은 체류시간을 갖도록 해야 할 것이다.

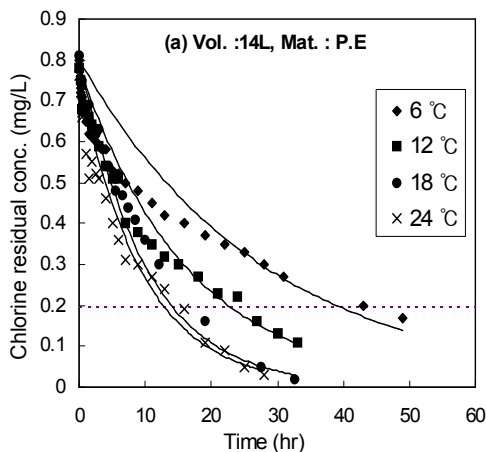


Fig. 3. Variation of chlorine residual concentration with different temperature.

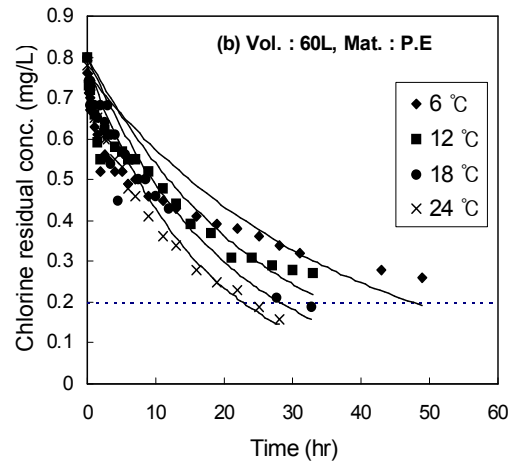


Fig. 3. Variation of chlorine residual concentration with different temperature.

잔류염소의 초기 농도에 따른 잔류염소농도감소에 대한 결과를 Fig. 4 (a), (b) 및 Table 2에 나타내었다. 잔류염소의 초기농도가 낮을수록 빠르게 감소하는 것으로 나타났다. 잔류염소농도의 감소는 처음에는 빠르게 감소하다가 일정시간이 지나면 매우 느리게 감소하는 특성을 갖는다. 초기농도를 다르게 하면 처음의 감소속도는 비슷하지만 시간이 지날수록 초기 잔류염소농도가 높은 경우가 낮은 경우 보다 상대적으로 감소속도가 느린 경향을 나타낸다.

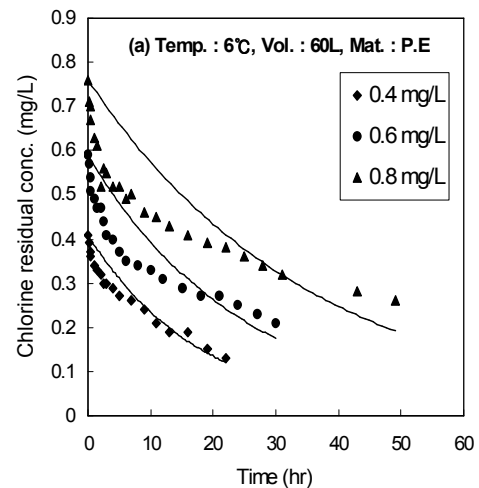


Fig. 4. Variation of chlorine residual concentration with different initial concentration.

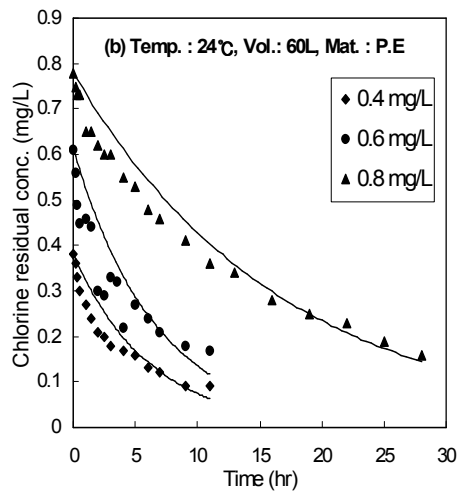


Fig. 4. Variation of chlorine residual concentration with different initial concentration.

Table 2. k value with different initial concentration

Initial Con. (mg/L)		0.4	0.6	0.8
k (hr ⁻¹)	6°C	0.0557	0.0405	0.0280
	24°C	0.1636	0.1505	0.0601

2. 저수조 용량과 재질에 따른 잔류염소분해특성

재질이 같고 용량의 차가 큰 저수조 1과 저수조 3에 대해 잔류염소농도변화를 비교하였다. 저수조 1과 저수조 3의 용량은 각각 14ℓ, 60ℓ로 약 4배의 차이가 난다. 6°C에서 저수조 1과 저수조 3의 k값은 각각 0.0357과 0.0280(hr⁻¹)이었으며, 24°C에서 저수조 1과 저수조 3의 k값은 0.1052와 0.0601(hr⁻¹)이었다. 단순한 산술적 용량크기 관점에서 용량이 작을수록 잔류염소감소가 큰 것으로 볼 수 있으나, 이러한 현상이 나타나는 이유는 단위용적당 기·액경계면의 면적차에 의한 것으로 해석할 수 있다. 단위용적당 기·액 경계면적 (Table 3)이 클수록 수표면을 통해 대기중으로 증발되는 잔류염소가스의 양이 증가하기 때문에 수체내 잔류염소감소량이 증가한다. 그러나 만약 저

수조내벽에 생물막이 증식할 경우에는 단위용적당 기·액 경계면적뿐만 아니라 저수조내 물이 접촉하는 면적에 의한 잔류염소감소도(용량이 클수록 접촉면적이 커짐) 고려해야 한다.

Table 3. Comparison between Tanks with the ratio of water surface area to unit volume.

Tank No.	Vol. (m ³)	Surface area(cm ²)	the ratio of water surface area to unit volume (cm ⁻¹)
1	14000	625	625/14000=0.0446
3	60000	1600	1600/60000=0.0267

저수조의 재질에 따른 잔류염소감소실험 결과는 Fig. 5에 나타나있듯이 재질이외의 조건이 동일한 경우 잔류염소농도감소 경향의 차이는 매우 적었다. 본 실험에서 재질에 따른 k값의 차이가 적은 것은 저수조에서는 온도차에 의한 대류현상 외에는 물의 흐름이 없으므로 저수조벽과의 접촉율이 매우 낮고, 실험이 batch형태로 이루어졌기 때문에 저수조내 연속적인 물의 유출에 의한 난류 발생이 없어 수체내에서 저수조 벽면과 잔류염소의 wall decay에 의한 잔류염소감소가 상대적으로 적게 일어났기 때문이다. 그러나 실제 저수조의 경우 재질에 따라 생물막이 형성되는 속도차, 생물막이 탈리되는 정도가 다르고, 저수조가 금속재질일 경우, 표면부식정도에 따른 영향이 저수조내 잔류염소농도 변화에 많은 영향을 미치게 된다

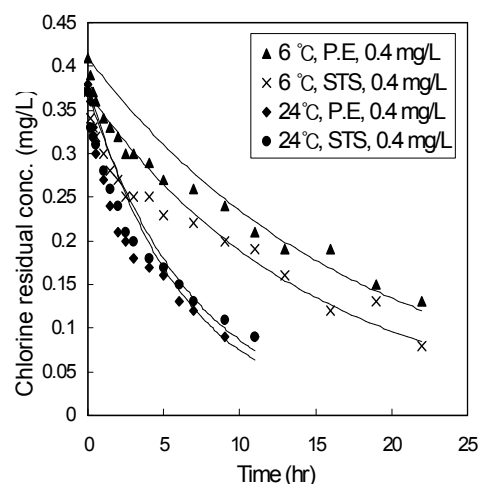


Fig. 5. Variation of chlorine residual con. with different tank material.

3. 실제 관망에서의 잔류염소농도 모델링

잔류염소감소에 영향을 주는 인자들에 대한 연구를 실제 급·배수계통에서 적용하기 위해 서울시의 신정배수지로부터 물을 공급받는 배수구역을 선정하여, 미국 EPA에서 관망내 수리·수질을 모델링 하기 위해 만들어 널리 사용되고 있는 EPANET을 이용하여 관망내 잔류염소농도변화를 시뮬레이션 해보았다. 연구대상지역으로 선정된 배수구역(양천구4개동, 구로구 9개동)은 단일 배수지로부터 물을 공급받기 때문에 관망내에서의 잔류염소농도변화를 관측하기가 용이하다.

배수지로부터 배수구역으로 유출되는 유출량을 4달(1월, 5월, 7월, 8월)에 걸쳐 조사하여 시간에 따른 물사용 패턴을 분석하였다(Fig. 6). 5월을 제외하고 거의 비슷한 경향을 나타내며, 물사용량이 적은 새벽에 유출량이 감소하고 사람들이 활동이 시작되는 낮시간대 급격히 유출량이 증가하는 것으로 조사되었다. 또한 모델링을 위해 EPANET에 입력되는 저수지의 유출량 패턴으로 실측당일 배수지의 시간대별 유출량 변동을 입력하였다(Fig. 7).

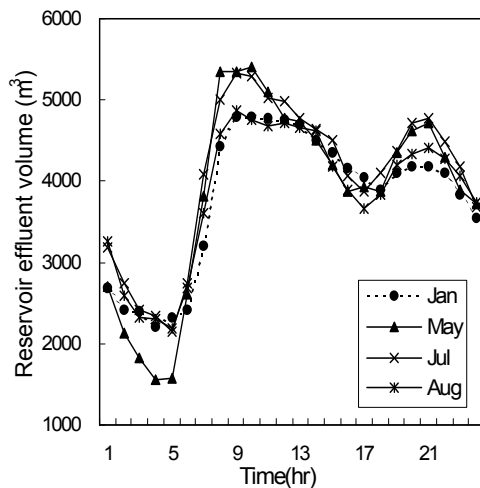


Fig. 6. Variation of reservoir effluent volume with time.

또한 신정배수지내에서의 잔류염소농도변화(Fig. 8)를 측정하여 EPANET의 배수지내 초기잔류염소농도 패턴 입력값(Fig. 9)으로 사용하였다.

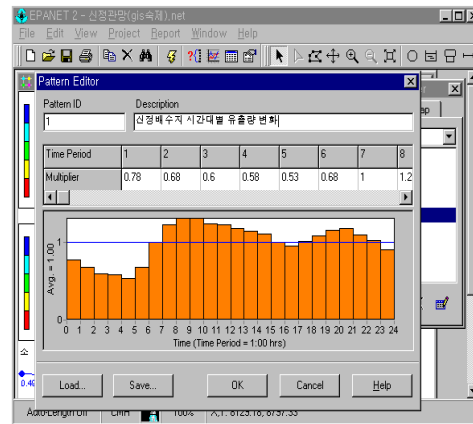


Fig. 7. Reservoir effluent pattern.

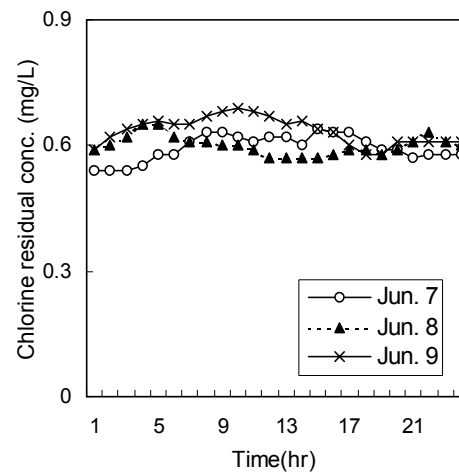


Fig. 8. Variation of chlorine residual con. with time.

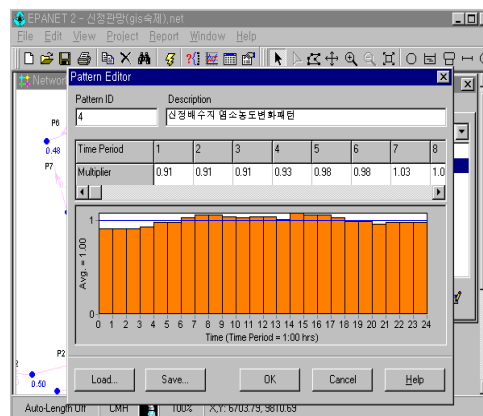


Fig. 9. Chlorine residual concentration pattern.

EPANET에서 각 노드점에서의 평균 물사용량으로 대상 급수구역의 동별 최대물사용량을 전체 배수구역에대한 각 동의 면적으로 나누값에 곱하

여 입력하였고, 이 값들은 시간대별 물사용량 패턴에 따라서 변하게 된다. EPANET으로 관망을 모델링할 때 가장 중요한 인자인 관내 bulk decay와 wall decay값의 경우 문헌상 wall decay값의 경우 -0.1 과 $-0.05(\text{hr}^{-1})^{10}$ 를 적용하여 가장모델에 잘 맞는 값을 선택하였고, 고정된 wall decay으로부터 bulk decay값을 변화시켜가면서 현장측정을 통해 얻은 자료를 가장 잘 묘사하도록 시행착오법으로 구하였다.

bulk decay값을 보정하기 위해 실측이 실시된 지역은 수궁동 동사무소근처 지점으로 이 지점은 배수지로부터 관로 연장으로 약 3.8km지점이다. 이 지점에서의 잔류염소농도측정은 배수본관으로부터 직접 나오는 수돗물을 DPD Colorimeter (HACH)에 의해 측정하여 구하였다. 측정은 7월7일 17시부터 7월8일 16시까지 24시간동안 1시간 간격으로 측정되었고, 그 측정결과는 Table 4에 나타나 있다.

Table 4. Measured field data at Sugung-dong

Time	Con. (mg/L)	Time	Con. (mg/L)
7/7 17:00	0.52	5:00	0.44
18:00	0.52	6:00	0.41
19:00	0.5	7:00	0.44
20:00	0.49	8:00	0.48
21:00	0.48	9:00	0.51
22:00	0.51	10:00	0.51
23:00	0.47	11:00	0.54
7/8 0:00	0.46	12:00	0.49
1:00	0.48	13:00	0.49
2:00	0.49	14:00	0.51
3:00	0.47	15:00	0.53
4:00	0.43	16:00	0.49

※수궁동 동사무소지역

이렇게 구한 실측치를 가지고 모델치를 보정하는 과정을 걸쳐 가장 실측치를 정확하게 묘사하는 모델을 찾아 보았다. 그 결과 wall decay는 -0.05 hr^{-1} 로하고 bulk decay값을 -0.40 hr^{-1} 으로 한 경우가 대략적으로 실측값을 잘 묘사하는 것으로 조사되었다. 이 값을 적용하여 구한 모델치와 실측치의 비교 결과를 Fig. 10에 나타냈다.

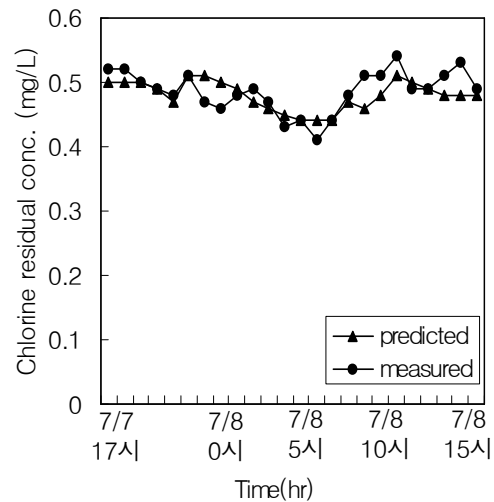


Fig. 10. Comparison between predicted and measured value.

위에서 구한 bulk decay와 wall decay를 가지고 신정배수구역의 잔류염소농도를 모델링한 결과는 다음과 같다.

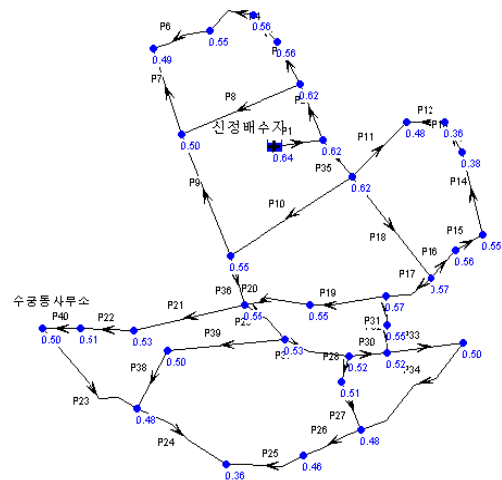


Fig. 11. Result of Simulation.

모델링의 적용은 직경 500mm이상의 배수본관에 대해서 행해졌으며, 각 노드점에서의 평균 유출량은 대상 급수구역의 동별 최대물사용량을 전체 배수구역에 대한 각 동의 면적으로 나눈값에 곱하여 입력하였다. 그 결과 Fig. 11은 모델링 적용시점에서 24시간이 지난 시간에서의 각 노드점에서의 잔류염소농도변화를 나타내고 있다. 그림에서 전체 배수구역에 걸쳐 잔류염소농도는 $0.3 \sim 0.62$

mg/l을 유지하였으며, 잔류염소농도를 실측했던 수궁동 동사무소 인근의 경우 0.48~0.50 mg/l으로 모델링되었고 이 값은 실측된값과 같은 범위를 갖는다. 또한 가장 배수지로부터 멀리 위치한 P 25지점의 경우 잔류염소농도가 0.36mg/l로 모델링되어 배수관망내에서 오랜 체류시간에도 불구하고 안정적인 잔류염소농도가 유지되는 것으로 나타났다. 모델링의 보정을 위해 조사되었던 수궁동 동사무소 인근의 건물은 대부분 다세대주택이 많이 있고, 이러한 다세대 주택의 경우 소형 물탱크를 두고 있다. 소형물탱크의 경우 평균 체류시간이 5~8시간정도¹²⁾를 유지하고 있어, 앞의 저수조 실험으로부터 얻은 결과로부터 저수조내 잔류염소 감소(저수조의 재질이 PE이고, 수온이 18℃인 경우)를 감안할 경우 각 가정의 수도전의 잔류염소 농도는 0.2 mg/l 정도의 잔류염소농도를 갖게되나, 본 실험에서 구한 반응식은 저수조내 이물질 유입, 다양한 저수조 재질에의한 영향, 저수조내 난류발생에의한 잔류염소감소현상을 표현하지 못하므로, 실제 저수조에서의 잔류염소농도는 더 낮을수 있다. 따라서 적정 잔류염소농도를 유지시키기 위해서는 저수조내 체류시간을 짧게해줄 필요가 있다.

V. 결론

잔류염소농도의 감소속도에 영향을 미치는 것으로 알려진 수온, 잔류염소의 초기농도, 가·액 경계면, 유속, 수질특성등 여러 인자들중 수온과 초기농도, 저수용량 등의 영향이 큰 것으로 나타났다.

1. 온도에 따른 잔류염소의 감소경향을 파악하기 위해 1차모델을 적용하여 표현하였을 때 상관계수는 0.74~0.99로 비교적 높게 나타났다. 특히 수온에 따른 잔류염소감소는 온도에 비례하여 빠르게 감소하는 것을 알 수있으며 여름철의 잔류염소 감소상수(decay constant)값이 겨울철에 비해서 1.5~2.8배의 더 높았다.

2. 잔류염소의 초기 농도에 따른 잔류염소농도

감소에 대한 실험에서 잔류염소의 초기농도가 낮을수록 잔류염소가 빠르게 분해되었다. 이것은 초기 잔류염소의 분해는 2차식에 근사하여 반응이 빠르게 진행되다가, 잔류염소 농도가 낮아지면, 1차식으로 반응이 느리게 이루어지기 때문이다.

3. 재질이 같고 용량이 다른 두 저수조에 대해 잔류염소농도변화를 비교해본 결과, 단위용적당 가·액경계면의 면적이 1.67배 증가함에 따라 6℃에서 1.28배, 24℃에서 1.75배로 잔류염소농도의 감소가 증가하는 것으로 조사되었다.

4. 저수조 재질에 따른 잔류염소감소실험 결과, 재질이외의 조건이 동일한 경우 잔류염소농도감소 경향의 차이는 매우 적어, 잔류염소 농도감소에 미치는 영향이 미미한 것으로 나타났다

5. 서울시의 신정배수지로부터 물을 공급받는 배수구역에 대해 EPANET을 이용하여 관망내 잔류염소농도변화를 시뮬레이션해본 결과, 연구대상 지역의 배수본관에서의 잔류염소농도가 0.2 mg/l 이상을 유지하고 있어 위생적 측면에서 수질이 안정적인 것으로 조사되었으나, 저수조에서의 잔류염소감소현상을 고려할 경우, 적정잔류염소농도를 유지하기 위해 세심한 관리가 필요하다.

본 실험은 저수조모형에 의한 것으로 저수조에서의 침전물, 이물질의 유입 등의 영향과 유출입형태, 수위변화, 체류시간에 따른 특성 등은 고려하지 못하였으며 다양한 재질에 대한 실험을 수행하지 못하였다. 따라서 향후 각 특성에 대한 연구가 필요하다고 판단된다.

사사

본 연구는 2000년 서울시립대학교 학술연구조성비로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

<참고문헌>

1. Wable, O., Dumoutier, N., Duguet, J. P., Jarrige, P. A., " Modeling chlorine concentration in a network and application to paris

- distribution network " Proc. Water Quality Modeling in Distribution Systems, pp. 77-87, 1991
2. LeChevallier, M. W., Lowry, C. D., Lee, R. G., " Disinfecting biofilms in a model distribution systems " J. AWWA Vol. 82, No. 7, pp. 87-99, 1990
3. Rossman, L. A., Clark, R. M., Grayman, W. M., " Modeling chlorine residual in drinking water distribution systems " J. Environ. Eng. Vol. 120, pp. 803-820, 1994
4. Biswas, P., Clark, R. M., " A Model for Chlorine Concentration Decay in Pipes " Water Research, Vol. 27, No. 1, pp. 1715-1724, 1993
5. James, C. P., Nicholas B. H., " Factors Which Control Bulk Chlorine Decay Rates ", Water Research, Vol. 34, No. 1, pp. 117-126, 2000
6. Fang, H., West J. R., Barker R. A., " Modeling of Chlorine Decay in Municipal Water Supplies ", Water Research, Vol. 33, No. 12, pp. 2735-2746, 1999
7. Kiene, L., Lu, W., Levi, Y., "Relative Importance of Phenomena Responsible of The Chlorine Decay in Drinking Water Distribution Systems " ASCE, Vol. 8, pp. 214-221, 1998
8. 後藤圭司, " 配水管網における水質變化(Ⅲ) - 管網内の残留鹽素濃度減少速度係數-, 水道協會雜誌, No. 571, pp. 51 - 65, 1982
9. Vsconcelos, J. J., Rossman, L. A., Grayman, W. M., Boulous, P. F., Clark, R. M., "Kinetics of chlorine decay", J. AWWA, Vol.89, No.7, pp. 54-65, 1997
10. 박노석, 주대성, 박희경, "배·급수 관망내에서 상수오염에 관한 연구(Ⅰ)", 대한환경공학회지, Vol. 20, No. 8, pp. 1095-1101, 1998
11. 이현동, 정원식, 지재성, "상수도관망내 잔류염소분해 및 수질변화 특성", 한국수질보전학회지, 제1권 제1호, pp. 283-292, 1997
12. 서울특별시 수도기술연구소, "저수조 실태조사 및 개선방안 연구", 1997
13. 이희수, 이현동, 정원식, 김만기, "EPANET의 수질보정을 위한 잔류염소분해상수의 적보정방안 도출에 관한 연구", 대한환경공학회 추계학술대회논문집(I), pp. 283-284, 2000