

## 유출량 변동에 따른 모형배수지내 잔류염소농도의 변화

### The Variation of the Residual Chlorine Concentration in a Distribution Reservoir

이 상 준\* / 현 인 환\*\*  
Lee, Sang Jun / Hyun, In-Hwan

---

#### Abstract

In this study, variation of effluent of residual chlorine concentration was estimated from bench scale distribution reservoir test according to variation of flow and baffle condition. According to the bench scale test results, when the flow rate was an unsteady state, difference between the case of no-baffle in the reservoir and the case of two-baffles in the reservoir became less than the condition when the effluent flow was in a steady state. Consequently, the results are caused by the flow rate variation. Thus, the baffle is less effective than a clearwell of steady state condition.

*keywords* : effluent flow, baffle, residual chlorine concentration, distribution reservoir

---

#### 요 지

본 연구에서는 모형배수지를 이용하여 유출량의 변동여부와 도류벽의 설치여부에 따른 유출수의 잔류염소농도의 변화를 추적하였다. 모형배수지의 실험결과를 고찰해 보면, 유출량을 변동시킨 경우에 있어서 도류벽이 없을 때와 도류벽이 2개 있을 때, 유출수의 평균 잔류염소농도의 차이가 유출량을 일정하게 유지한 경우에 비하여 줄어들었다. 이는 유출량 변동의 영향에 의한 것으로 유출량의 변동이 심한 배수지에 있어서는 유출량의 변동이 심하지 않은 정수지에서 보다는 도류벽 설치의 효과가 적은 것으로 판단된다.

**핵심용어** : 유출량, 도류벽, 잔류염소농도, 배수지

---

\* 단국대학교 토목환경공학과 공학박사  
Doctor, Depart. of Civil & Environmental Eng., Dankook Univ., 8, Hannam-Dong, Yongsan-Ku, Seoul 140-714, Korea  
(E-mail : ikoung@hanmail.net)

\*\* 단국대학교 토목환경공학과 교수  
Professor, Depart. of Civil & Environmental Eng., Dankook Univ., 8, Hannam-Dong, Yongsan-Ku, Seoul 140-714, Korea  
(E-mail : ihyun@dankook.ac.kr)

## 1. 서 론

양질의 수돗물을 안전하고 안정적으로 소비자에게 공급하기 위해서는 정수장에서의 처리수 못지 않게 정수를 소비자에게 직접적으로 공급하는 배·급수계통에서의 수질보존도 중요하다.

수돗물 공급시스템에서 배수지는 수요와 공급의 차이를 조절하는 것을 주목적으로 설치되며, 배·급수관로상의 일정압력유지 및 비상시 저류기능을 가지고 있는 구조물이다. 외국의 경우 1980년대 말 이전에는 배수지의 설계시에 그 기능과 미적 요구 및 경제성에 기초를 두었을 뿐, 수질효과는 배수지 설계에서 일반적으로 제기되지 않았다(Kennedy 등, 1993). 따라서 배수지의 설계시 구조물의 안전성과 경제성을 바탕으로 상수사용량, 소화용수량, 최소압력, 그리고 배수지 운영의 편의성 등이 주로 고려되었다. 그러나, 1990년대에 들어서는 배수지가 수질에 미치는 영향에 관한 연구로서 염소농도의 모형화, 혼화특성 등이 연구되었으며(Bishop 등, 1993; Boulos 등, 1996; Elton 등, 1995), 이러한 연구는 현재까지 진행되고 있다.

본 연구에서는 배수지에서 도류벽의 설치여부 및 유출량 변동에 따른 유출수의 잔류염소농도의 변화특성을 고찰하고자, 모형배수지를 이용하여 도류벽 없는 경우와 도류벽 2개인 경우, 유출량 변동에 따른 유출수의 잔류염소농도의 변화를 추적하였다. 그리고, 모형배수지 내의 지점을 선정하여 만수시와 저수시의 지점별 잔류염소농도를 측정함으로써 사수지역의 잔류염소농도차를 분석하였다.

## 2. 실험 방법

본 연구의 실험에서는 모형배수지에서 도류벽이 없을 때와 도류벽이 2개 있을 때, 유입·유출량을 일정하게 유지한 경우와 유입량은 일정하고 유출량을 변동시킨 경우에 있어서, 유출수 및 모형배수지내 사수지역(dead zone)의 잔류염소농도의 변화를 분석하고자 하였다.

실험시 이용한 모형배수지의 구성과 유입·유출의 개략도를 도류벽 없는 경우를 예로하여 그림 1에 나타내었다. 이 모형 배수지는 A배수지를 원형배수지로 하여 Froude 상사법칙에 의해 축척 1/30을 바탕으로 폭과 길이는 1.2m, 높이는 0.25m로써 용적은 0.36m<sup>3</sup>이며, 아크릴 수지로 제작하여 벽면효과에 의한 잔류염소소모량을 최소로 하였다. 그리고, 배수지내에는 도류벽을 장·탈착시킬 수 있는 홈을 설치하였다.

유입수는 유입수농도 조절수조에서 잔류염소농도를 일정하게 유지하여 펌프를 통해 유입수조로 옮겨진다. 유입수조에는 위어(weir)를 설치하여 일정 이상의 유량이 항상 월류되도록 하여, 유입수조의 수두를 일정하게 유지함으로써 수두변화에 의한 유입량의 변화를 최소화하였다. 그리고, 유입구는 배수지 상부에, 유출구는 배수지 하부에 두었으며, 유입·유출량의 조절을 위하여 유량 조절밸브를 설치하였다. 또한 도류벽을 2개 설치할 경우에는 도류벽 설치로 형성되는 모형배수지내 수로의 폭이 0.4m로 어디서나 갈아질 수 있도록 도류벽의 간격과 길이를 결정하였다(그림 5).

유입량과 최소수위는 각각 1.61L/min, 15cm이고,

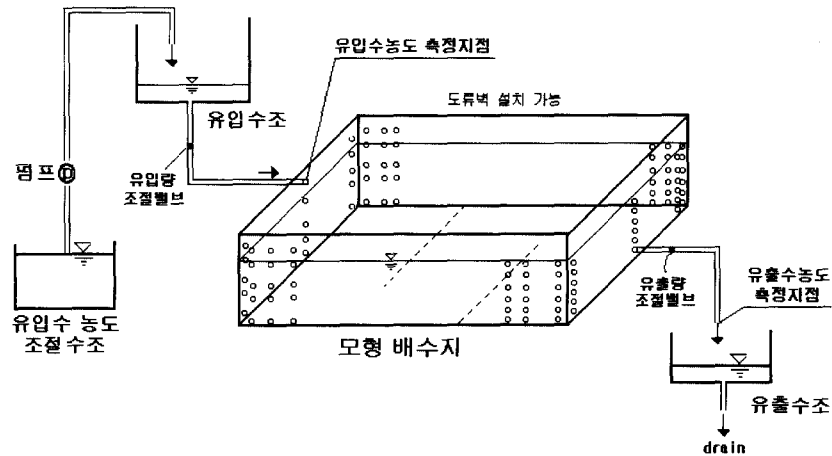


그림 1. 모형배수지 실험 장치(도류벽 없는 경우)

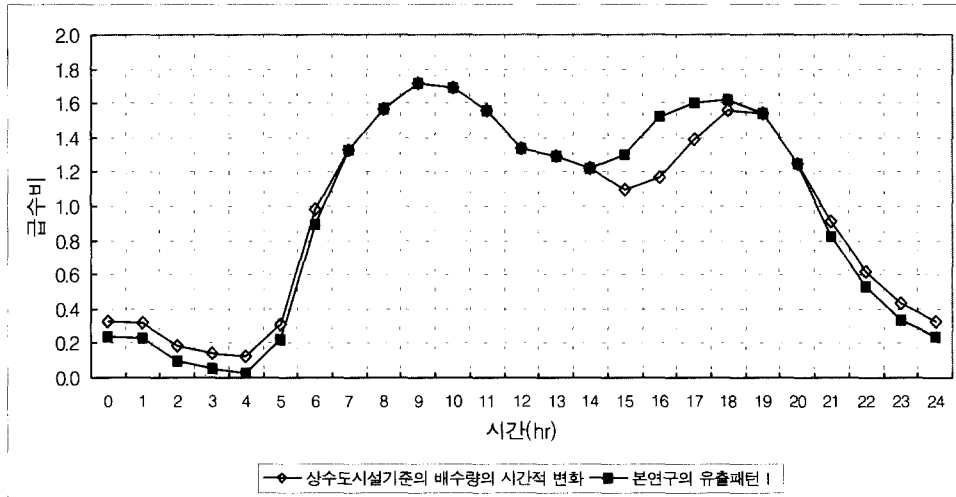


그림 2. 배수량의 시간적 변화

평균체류시간은 2.23hr인 조건에서 실험하였다. 또한 평균체류시간이 2.23hr이므로 도류벽 없는 경우의 실험 결과는 소용량의 고기수조 등의 수질 특성으로 고려할 수 있을 것이다.

유출량의 변동시 시간에 따른 유출량의 변화패턴은 유출패턴 I 과 유출패턴 II를 적용하였다. 유출패턴 I 에서는 그림 2와 같이, 상수도시설기준(1997)에서 소개하고 있는 배수량의 시간적 변화를 수정하여 이 결과를 유출패턴 I으로 하였다. 그리고, 유출량 변동의 실험시간을 6hr으로 줄여 실험을 반복 수행해 보고, 또한 실험결과의 경향을 더욱 단순하고도 명확한 경향으로 다시 확인해 보고자, 유출패턴 II에서는 유입량에 대한 유출량의 비(유출율)를 1.9와 0.1로 단순화한 값(그림 4)을 적용하여 실험하였다.

그리고, 유입수의 잔류염소농도는 1.00mg/L를 목표로 하여, 유입수가 자유낙하하여 모형배수지내로 유입하는 시료를 채수하여 그 농도가 0.98~1.02mg/L가 되도록 하였다. 또한, 유출수의 잔류염소농도의 측정에는 유출량 조절밸브를 통과한 직후 시료수를 채수하여 측정하였다.

실험시 사용한 원수로는 급수전에서 채수한 수돗물을 사용하였고, 유리잔류염소농도(이하 잔류염소농도)의 측정에는 DR-4000 spectrophotometer(HACH Inc.)을 이용하여 측정하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 유출패턴 I

본 실험에서는 그림 2와 같은 유출패턴을 적용하고, 모형배수지의 수위가 중간 수위에서 최저수위로, 다시 최고수위로 변화하는 조건에서 실험하고자 하였다. 이를 위하여 그림 2의 15hr를 유출량 변동의 시작 시점으로 하여, 그 때의 유출율 1.30부터 시작하여 유출율을 순차적으로 적용하여 실험하였다. 따라서, 실험에 있어서 유출패턴 I 적용의 유출량 변동시, 유출율과 수위는 그림 3과 같이 되며, 24hr동안 유출량 변동 싸이클이 2회 반복된다.

초기 수돗물의 잔류염소농도는 도류벽 없는 경우와 도류벽 2개인 경우에 각각 0.45 mg/L, 0.50mg/L이었다. 그리고, 초기 수돗물의 잔류염소농도를 약 1.00mg/L로 조절한 시료수의 철은 각각 0.01mg/L, 0.012mg/L, 중발잔류물은 122mg/L, 117mg/L, 탁도는 0.19NTU, 0.16NTU이었다. 또한 실험시 시료수의 수온변화는 각각 24.8~26.4℃, 22.3~22.8℃의 범위로 측정되었다.

##### 3.1.1 유입 · 유출량이 일정한 경우

모형배수지의 도류벽 없는 경우와 도류벽 2개인 경우에 있어서, 유입수의 잔류염소농도를 0.98~1.02mg/L의 범위에서 일정하게 주입하고, 유입 · 유출량을 1.6l/min으로 동일하게 일정 유지하여(steady state) 평균체류시간인 2.23hr의 3배인 6.69hr후의 유출수의 잔류염소

표 1. 유출량 일정시와 유출량 변동시 유출수의 잔류염소농도 (유출페턴 I)

(단위: mg/L)

구분		도류벽 없는 경우	도류벽 2개인 경우
유출량 일정시		0.84	0.77
유출량 변동시	최고수질	0.89	0.91
	최저수질	0.66	0.60
	최중수질	0.85	0.79
	평균수질	0.84	0.82

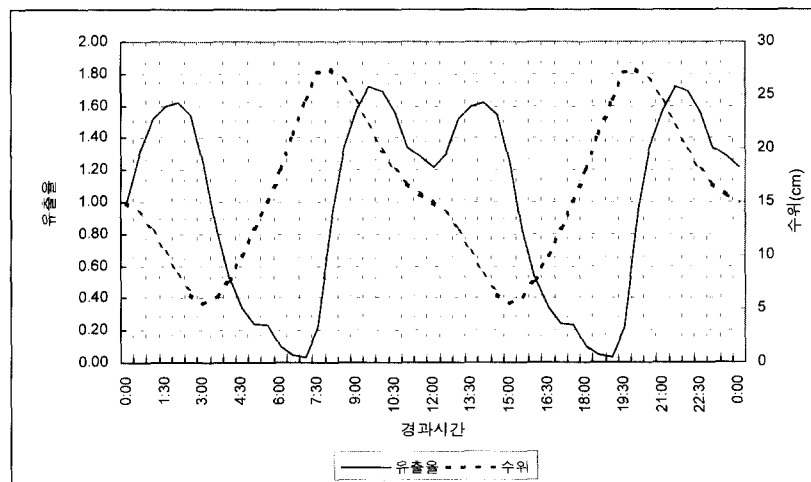
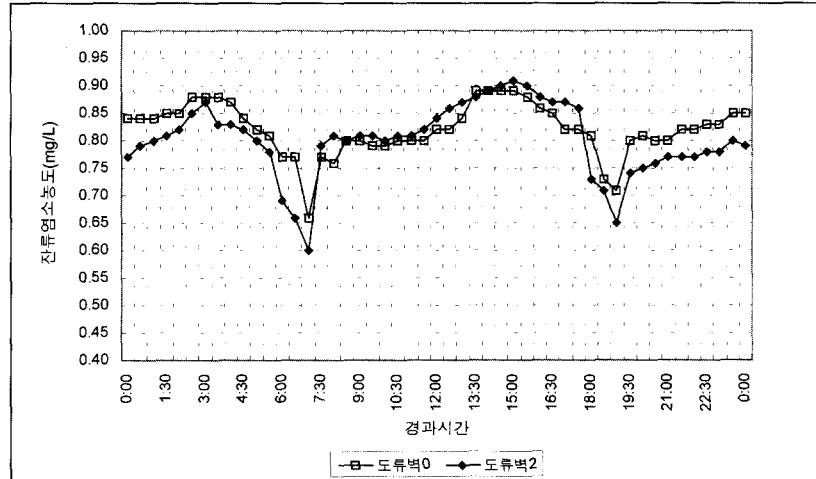


그림 3. 유출량 변동시 유출수의 잔류염소농도의 변화와 유출농도 및 수위(유출페턴 I)

농도를 측정하였다.

실험 결과, 표 1에서와 같이, 도류벽 없는 경우에는 유출수의 잔류염소농도가 0.84mg/L이었고, 도류벽 2개인 경우에는 0.77mg/L로 측정되었다.

이와 같이, 도류벽 없는 경우에 유출수의 잔류염소농도가 0.07mg/L 높게 측정된 주된 원인은 도류벽 2개인 경우에 비해 물의 순차적 흐름이 양호하지 못하여 단락류가 발생한 것을 생각할 수 있다.

### 3.1.2 유출량을 변동시킨 경우

유입량은 1.61L/min으로 정속 주입하고, 유출량은 유출패턴 I을 적용하여 30분 간격으로 유출량을 변동시키면서 유출수의 잔류염소농도를 측정하였다. 이 경우에, 유출량을 변동시키기 시작하기까지는 평균체류시간의 3배인 6.69hr 동안 steady state 상태를 유지하였다. 실험시 적용된 유출율과 수위 및 측정된 유출수의 잔류염소농도의 변화는 그림 3과 같다.

유출량 변동시, 측정된 유출수의 최고수질과 최종수질 및 24hr 유출량 변동시 유출수의 평균수질을 표 1에 나타내었다. 이 표에서와 같이 유출량 변동시 유출수의 잔류염소농도의 변화 범위는 도류벽 없는 경우와 도류벽 2개인 경우에 각각 0.66mg/L~0.89mg/L, 0.60mg/L~0.91mg/L로써 도류벽 2개인 경우 유출수의 잔류염소농도가 넓은 측정값의 범위로 측정되었다. 이것은 저수위에서는 도류벽 2개인 경우에 비해 도류벽 없는 경우에 더욱 악화된 사수지역의 물이 혼합되어 유출함으로써 최고수질이 도류벽 없는 경우에 더욱 작은 값을 나타내며, 고수위에서는 도류벽 없는 경우에 단락류의 영향을 더욱 많이 받아 도류벽 2개인 경우에 비해 최저수질은 높은 값을 나타내는 것으로 사료된다. 그리고 유출량을 변동시킨 동안의 유출수의 평균수질은 도류벽 없는 경우와 도류벽 2개인 경우에 각각 0.84mg/L와 0.82mg/L로써 그 차이가 유출량 일정시의 측정값인 0.84mg/L와 0.77mg/L에 비하여 작아졌다.

## 3.2 유출패턴 II

유출패턴 II 실험에서는 그림 4와 같이 유출율을 1.9와 0.1로 단순화하고, 유출량 변동의 실험시간을 6hr으로 줄여 실험을 반복수행하였다. 유출율을 1.9와 0.1로 적용한 것은 상수도 시설기준에 소개된 배수량의 시간적 변화내에서 급수비의 최대값인 1.72와 최소값인 0.12를 감안한 것이다.

실험은 1차 실험과 2차 실험으로 나누어 실험하였고,

수온은 각각 19.9~21.3℃, 18.1~19.4℃의 범위내에서 변화하였다.

### 3.2.1 유입·유출량이 일정한 경우

실험조건으로서 유출패턴 I 적용시에 비해 시료수의 수질과 유출율이 달라졌을 뿐, 그 밖의 실험방법은 유출패턴 I의 유입·유출량이 일정한 경우와 동일하게 실험을 실시하였다.

표 2에 실험결과를 나타내었는데, 도류벽 없는 경우에는 유출수의 잔류염소농도가 0.83~0.84mg/L이었고, 도류벽 2개인 경우에는 0.79~0.80mg/L로 측정되었다. 이 값은 다른 초기원수를 사용한 3.1절의 유출율패턴 I 적용 실험결과인 0.84mg/L(도류벽 없는 경우)와 0.77mg/L(도류벽 2개인 경우)의 값과 비교해 볼 때, 그 값과도 큰 차이가 없음을 볼 수 있다. 또한, 1차실험과 2차실험의 유출수의 잔류염소농도도 도류벽 없는 경우와 도류벽 2개인 경우 모두 0.01mg/L의 차이를 보이고 있다.

따라서 수돗물 수질의 영향은 적은 것으로 사료된다. 이와 같은 평가시 참고로 할 수 있는 것은 後藤(1982)이 일본 동경의 9개 정수장 계통에서 관망내 잔류염소농도에 관한 실험을 실시했을 때, 정수장 계통별 정수수질의 영향은 검출되지 않았다는 보고를 참고할 수 있다. 다만, 0.01mg/L씩 2차실험의 결과값이 높는데, 이것은 1차실험시 수온과 2차실험시 수온이 각각 19.9~21.3℃와 18.1~19.4℃임을 감안할때, 2차실험시 수온이 낮은 관계로 잔류염소 소모량이 적었던 원인에 기인된 것으로 사료된다.

### 3.2.2 유출량을 변동시킨 경우

유출량을 변동시킨 실험시 적용한 유출율과 수위는 그림 4와 같다. 모형배수지내의 수위는 최초수위 15cm가 최고수위인 상태에서 경과시간 1hr 30min에 최저수위인 5.94cm가 되며, 3hr에 다시 최고수위 15cm로 되어 1사이클을 이루며, 그 후 3시간 동안 다시 1사이클을 반복하게 된다.

실험결과, 유출패턴 II 적용시 1, 2차 실험에서 도류벽 없는 경우와 도류벽 2개인 경우, 유출수의 잔류염소농도의 변화를 그림 4에서 보는 바와 같이, 도류벽 없는 경우보다 도류벽 2개인 경우에 유출수의 잔류염소농도의 변화 범위가 넓었는데, 여기서 유출패턴이 일정치 않은 유출패턴 I 적용시의 변화경향인 그림 3과 비교해 보았을 때, 유출수의 잔류염소농도의 변화 범위가

표 2. 유출량 일정시와 유출량 변동시 유출수의 잔류염소농도(유출패턴 II)  
(단위:mg/L)

구분		도류벽 없는 경우		도류벽 2개인 경우	
		1차 실험	2차 실험	1차 실험	2차 실험
유출량 일정시		0.83	0.84	0.79	0.80
유출량 변동시	최고수질	0.86	0.87	0.89	0.90
	최저수질	0.80	0.81	0.76	0.78
	최종수질	0.81	0.82	0.78	0.81
	평균수질	0.83	0.84	0.82	0.84

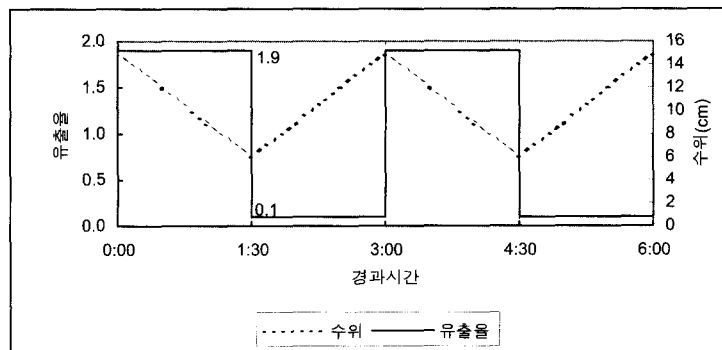
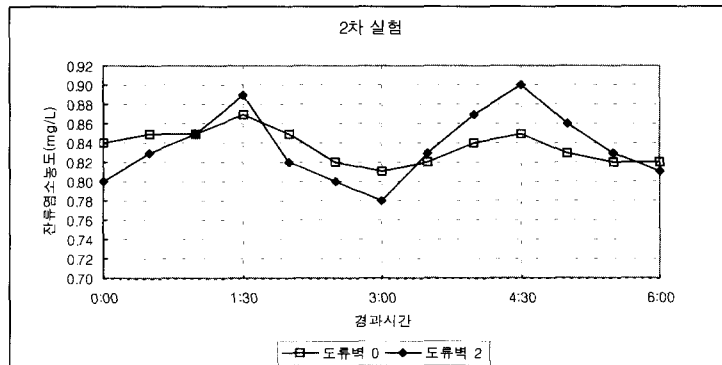
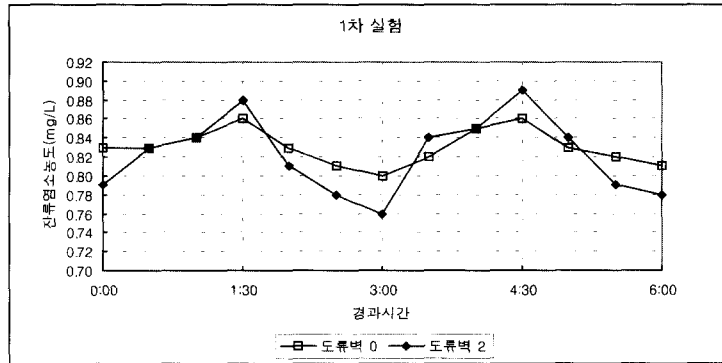


그림 4. 1, 2차 실험의 결과와 유출 및 수위(유출패턴 II)

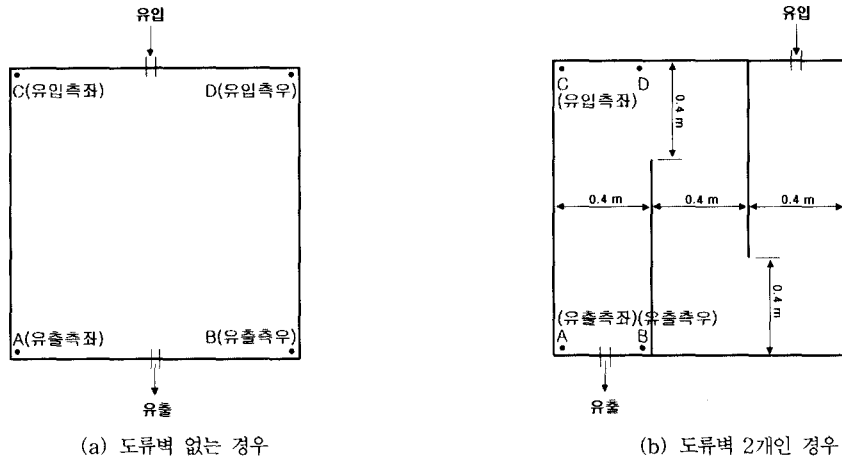


그림 5. 모형배수지내 지점별 잔류염소농도의 측정지점

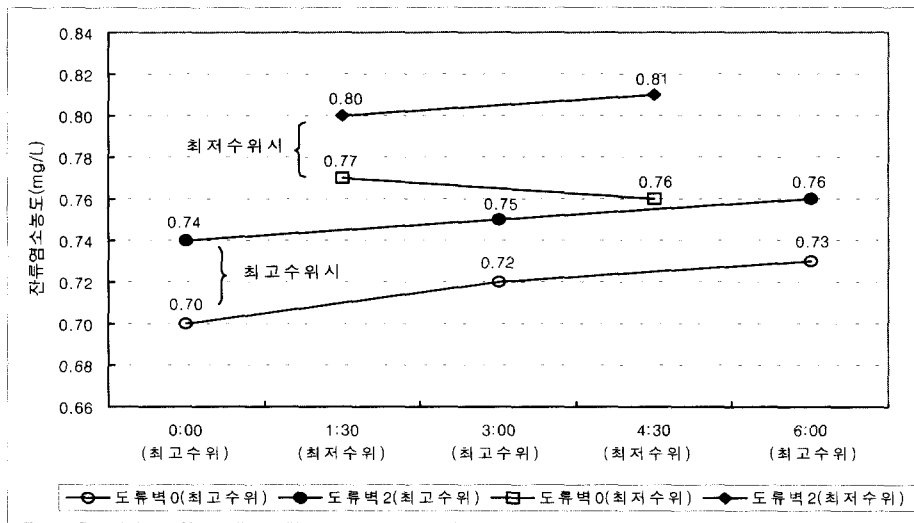


그림 6. 최고·최저수위시 모형배수지내 사수지역의 잔류염소농도의 평균값 (유출패턴 II)

도류벽이 2개인 경우에 더욱 넓다는 것을 확연히 볼 수 있다.

표 2는 유출패턴 II 적용시 측정된 유출수의 최고수질과 최종수질 및 24hr 유출량 변동시의 유출수의 평균 수질을 나타낸 것이다. 이 표에서와 같이 24hr 동안 유출량의 변동시 유출수의 평균잔류염소농도는 도류벽 없는 경우와 도류벽 2개인 경우에 각각 0.83~0.84mg/L, 0.82~0.84mg/L이었다.

또한, 본 실험에서는 모형배수지내 사수지역(dead zone)의 수질변화 정도를 알아 보고자, 모형배수지내 지점을 그림 5와 같이 선정하여 최고수위와 최저수위

에 모서리끝 최하단부의 지점별 잔류염소농도를 측정하였다.

측정결과, 도류벽 없는 경우와 도류벽 2개인 경우에 측정된 사수지역 전체의 평균 잔류염소농도는 각각 0.74mg/L와 0.77mg/L로써, 사수지역의 평균잔류염소농도는 도류벽 2개인 경우에 0.03mg/L가 높았다. 이 측정값은 대상 수질을 잔류염소로 한정하였을 경우, 그 혼화에 의한 사수지역의 잔류염소 농도차의 범위가 어느 정도인지를 검토해 볼 때 고려되어야 하는 결과이다.

그리고, 사수지역 전체의 평균 잔류염소농도를 수위에 따라서 살펴볼 때, 그림 6에서와 같이 첫번째 최저

수위(1:30hr)와 두번째 최저수위(4:30hr)에는 도류벽 없는 경우 0.77mg/L에서 0.76mg/L으로, 도류벽 2개인 경우 0.80mg/L에서 0.81mg/L로 뚜렷한 경향을 보인다고 평가하기 어렵다. 이는 사수지역의 물이 많이 유출한 원인으로 평가해 볼 수 있다. 한편, 첫번째 최고수위(0:00hr)와 두번째 최고수위(3:00hr) 및 세번째 최고수위(6:00hr)에는 도류벽 없는 경우와 도류벽 2개인 경우 모두 0.01mg/L씩 규칙적으로 잔류염소농도가 상승하고 있다. 이 또한 유출의 싸이클이 반복될수록 사수지역의 물이 혼합되어 유출하므로, 사수지역의 수질도 상승하고 있음을 볼 수 있다.

따라서, 체류시간이 2.23hr 정도의 소규모 고가수조에서는 유출의 싸이클이 계속적으로 진행된 상태이므로 유입수의 수질이 비교적 일정하다면 최고·최저수위의 사수지역 잔류염소농도도 어느 정도 각각 수렴된 값을 유지하고 있을 것으로 사료된다

#### 4. 결 론

모형배수지에서 잔류염소농도의 변화특성을 고찰하기 위하여, 도류벽의 설치여부 및 유출량 변동에 따른 유출수의 잔류염소농도를 모형실험을 통하여 추적하였으며, 모형배수지내 사수지역의 지점을 선정하여 만수시와 저수시의 지점별 잔류염소농도를 분석하였다. 실험결과를 고찰하여 다음과 같은 연구결과를 얻었다.

1. 모형배수지에 있어서 유입수의 잔류염소농도를 약 1.0mg/L으로 일정하게 주입하고, 유입·유출량 또한 일정하게 유지하여 유출수의 잔류염소농도를 측정된 결과, 평균체류시간이 2.23hr일 때, 도류벽 없는 경우와 도류벽 2개인 경우에 유출수의 잔류염소농도는 각각 0.84mg/L와 0.77mg/L로 나타났다.
2. 유입량은 일정하게 유지하고, 유출량을 유출패턴 I으로 변동시킨 실험조건에서는 도류벽 없는 경우와 도류벽 2개인 경우, 유출수의 잔류염소농도가 각각 0.66~0.89mg/L와 0.60~0.91mg/L의 범위로 측정되었으며, 유출량을 변동시킨 24hr동안의 평균수질은 각각 0.84mg/L와 0.82mg/L로써 유출량 변동시에는 잔류염소농도의 평균값의 차이가 유출량을 일정하게 유지한 경우에 비해 그 차이값이 상당히 줄어 들었다. 따라서, 소독제 투입의 기능을 고려하지 않는다면 유출량의 변동이 심한 배수지에서는 유출량의 변동이 적은 경우에 비하여 도류벽 설치의 효과가 작게 나타나

는 것으로 판단된다.

3. 도류벽 없는 경우와 도류벽 2개인 경우 모형배수지내에서 측정된 사수지역 전체의 평균 잔류염소농도는 유출패턴 II의 적용에 있어서 각각 0.74mg/L와 0.77mg/L로써, 사수지역의 평균잔류염소농도는 도류벽 2개인 경우에 0.03mg/L가 높았다. 이 측정값은 대상 수질을 잔류염소로 한정하였을 경우, 평균체류시간이 2.23hr에 있어서 혼합특성이 반영된 사수지역의 잔류염소 농도차의 범위가 어느 정도인지를 검토해 볼 때 고려될 수 있다.
4. 사수지역 전체의 평균 잔류염소농도를 수위에 따라서 고찰하여 보면, 첫 번째 최저수위와 두 번째 최저수위가 반복됨에 따라 사수지역의 평균 잔류염소농도의 변화에는 뚜렷한 차이가 없었으나, 최고수위가 반복됨에 따라서는 0.01mg/L씩 규칙적으로 잔류염소농도가 상승하였다. 따라서 체류시간이 2.23hr 정도의 소규모 고가수조 등에서 사수지역의 잔류염소농도는 최저수위시 처음부터 일정한 정도의 농도값을 나타내며, 최고수위시에는 유출의 싸이클이 계속적으로 반복된 후에 유출수의 잔류염소농도도 일정 수준을 유지할 것으로 판단된다.

#### 참 고 문 헌

- 한국수도협회 (1997). 상수도 시설기준, pp. 446-447.
- 後藤圭司 (1982). "配水管網における水質変化(III).", *日本水道協會雜誌*, 제571号, pp. 51-65.
- Bishop, M.M., Morgan, J.M., Cornwell, B., Jamison, D.K., (1993). "Improving the disinfection detention time of a water plant clearwell.", *Journal American Water Works Association*, Vol. 85, No. 3, pp. 68-75.
- Boulos, P.F., Grayman, W.M., Bowcock, R.W., Clapp, J.W., Rossman, L.A., Clark, R.M., Deininger, R.A., Dhingra, A.K. (1996). "Hydraulic mixing and free chlorine residual in reservoirs.", *Journal American Water Works Association*, Vol. 88, No. 7, pp. 48-59.
- Elton, A., Brammer, L.F., Transley, N.S. (1995). "Water quality modeling in distribution networks.", *Journal American Water Works Association*, Vol. 87, No. 7, pp. 44-52.



Kennedy, M.S., Moegling, S., Sarikelle, S.,  
Suravallop, K. (1993). "Assessing the effects of  
storage tank design on water quality.", *Journal  
American Water Works Association*, Vol. 85,

No. 7, pp. 78-88.

(논문번호:01-063/접수:2001.08.18/심사완료:2001.11.29)