

Hazen-Williams 계수에 따른 상수관로내 잔류염소 농도 변화

Prediction of the Concentration of Remaining Chlorine on Applying Hazen-Williams Coefficient in Water Distribution System

김태경*, 이경훈**, 문병석***, 오창주****

Tae Kyoung Kim, Kyoung Hoon Rhee, Byoung seok Moon, Chang Ju Oh

1. 서 론

산업의 발달, 경제성장 그리고 인구의 증가로 인해 상수의 수요는 크게 증가되고 있으며, 급속한 도시화로 상수도 시설물의 규모와 범위가 확대되고 있는 실정이다. 또한, 국민은 소득수준이 향상되면서 보다 질 좋은 상수의 공급을 원하게 됨으로써 상수도 시설물의 관리뿐만 아니라 음용수의 좋은 수질을 유지하면서 증가하는 수요량에 맞게 원활한 공급이 이루어지도록 해야 한다. 그러므로, 본 연구에서는 상수 관로내에서의 수질변화의 중요성을 인식하여 보다 효율적이고 위생적으로 안전한 상수 공급을 위하여 관로내에서 미생물의 재성장과 활성회복 등의 가능성을 최소화하기 위해 상수관로내에서 EPANET 모형을 이용하여 잔류염소의 거동과 농도변화에 대하여 예측하고 대상지역의 실측치와 시간적, 공간적 분포를 비교·분석하였다. 또한, 상수관로시스템의 설계시 흔히 이용되고 있는 Hazen-Williams의 손실수두 공식에서 표현되는 조도계수 C 계수 값에 따른 잔류염소 농도 분포를 예측하여 C 계수가 상수관로내에서 잔류염소 농도에 미치는 영향에 대하여 분석하였다.

2. 이론적 고찰

2.1 염소의 반응

염소가 물 속에 주입되면 물과 화학 반응이 일어나 다음 식 (2.1)과 같이 가수분해하여 염소산(HOCl)과 염산(HCl)이 생기게 된다. 식 (2.1)과 식 (2.2)는 pH와 관계가 있는데 낮은 pH에서는 식 (2.1)의 반응이 크게 작용하고 높은 pH에서는 식 (2.2)의 반응이 우세하게 작용한다.



염소산(HOCl)은 다음 식 (2.3.2)과 같이 차아염소산(OCl)과 H⁺ 로 해리한다.



2.2 잔류염소 농도의 감소

상수 관로 내의 세균오염 또는 세균의 재성장을 방지하기 위해서는 잔류염소 농도가 수질 기준치인 0.2mg/l 이상으로 유지되어야 하는데, 이 잔류염소는 관의 내부 벽과의 접촉 반응 또는 유기물의 산화 등으로 인해 관로를 통한 배수 도중 계속해서 감소하게 된다. Clark 등(1993)은 염소의 감소가 주로 수체내에서의 감소와 관벽에서의 반응에 의해 일어난다고 얘기했으며 일반적으로 수체내에서의 염소감소 공식은 식 (2.3)과

* 정희원 · 전남대학교 지리정보토목과 겸임교수 · ktk2028@hanmail.net

** 정희원 · 전남대학교 공과대학 토목공학과 교수 · khrhee@chonnam.ac.kr

*** 정희원 · 서남대학교 공과대학 토목공학과 조교수 · mbs0235@tiger.seonam.ac.kr

**** 정희원 · 전남과학대학 지리정보토목과 전임강사 · cjoh21@hanmail.net

같이 1차 반응 모델로 나타난다고 했다. 식 (2.3)을 적분하면 시간 t에서의 잔류염소농도 C를 나타낸 식 (2.4)로 유도해 낼 수 있다.

$$\frac{dC}{dt} = -KC \quad (2.3)$$

$$C(t) = C_0 \cdot e^{-kt} \quad (2.4)$$

여기서, C : 염소농도(mg/ℓ), K : 1차 염소소비계수(1/day)

C(t) : 시간 t에서 잔류염소농도(mg/ℓ), t : 도달시간(days)

2.3 배수관망의 해석

배수관망해석은 배수기지의 수위, 노선배치, 관경, 관의 내벽면 상태, 그리고, 절점사용 수량 등을 알고 있는 상태에서 관로유량과 절점수압의 분포상황을 밝히는 것을 말한다. 이에, 수리적 신뢰성을 검토하고, 관로가 결손 되었을 때의 수압상황을 조사하여 응급성을 평가하며, 관망내의 체류시간을 산출하여 수리적 안정성을 평가할 수 있는 등 신설 및 기존 관망의 수량, 수압, 수질상태를 파악하여 여기에 적합한 운전상황이나 설계인자를 결정하기 위한 기초 자료를 얻을 수 있어서 배수관망설계에 중요한 인자가 중 하나가 된다.

$$V = 0.84935 C R^{0.63} I^{0.54} (m/sec) \quad (2.5)$$

여기서, R은 경심으로 유변 P에 대한 유수단면적 A의 비로 정의되며, I는 동수경사선이며, C는 본 연구에서 사용하고자 하는 Hazen-Williams의 조도계수이다.

Hazen-Williams 손실수두공식의 조도계수(C)는 관의 재료, 매설 경과년수, 관경 등에 따라 다양한 값을 가지게 되는데, 표 2.1은 각 관의 재료 및 매설 경과년수를 고려한 C 값을 표시한 것이다. Hazen-Williams의 공식에서 C 계수의 추정은 관재료 및 경과년수에 따라 변화하게 되는데 현재 배수관망의 설계에 있어서는 이러한 C 계수의 차이를 감안하여 C 계수를 증가(대표적으로 10~20%), C 계수를 감소(대표적으로 10~20%)시키면서 배수관망해석을 행하고 있는데, 배수관망의 설계가 장래의 수요량을 대비하여야 하기 때문에 이러한 C 계수의 정확한 추정은 공학적으로 대단히 중요한 문제로 대두되고 있다. 한편, 상수 관로의 설계시에는 C 값을 선택함에 있어서 신관의 C 값이 아니라 관을 매설하고 어느 정도 경과한 후의 C 값을 취해서 설계해야함으로 일반적으로 관로의 매설 경과년수가 15~20년이 경과한 관으로 고려하여 C 값을 100으로 결정하여 주로 관망 설계에 반영하고 있다.

표 2.1 관 재료에 따른 Hazen-Williams의 조도계수

관 재료	C	관 재료	C
주철(신품)	130	아연	120
10년 경과	107~113	주석	130
20년 경과	89~100	청동	130~140
30년 경과	75~90	납	130~140
40년 경과	64~83	벽돌	100
콘크리트, 강철거푸집	140	흙	110
합판거푸집	130	나무	120
강철 신품	140~150	유리	140
리벳 강철	110	플라스틱	140~150
석면 시멘트	140	소방호스	110~140
구리	120		

표 2.2 관로 설계용 Hazen-Williams의 조도계수

관 재료	C	관 재료	C
주 철 관	100	흙 관	120 ~140
강 관	100	석면시멘트관	140

3. 대상지역 현황

3.1 대상지역의 현황

본 연구에서 모의하고 시료를 채취하여 검사를 수행하여 조사된 광주광역시 북구 두암동은 두암 1동, 두암 2동, 두암 3동의 3구역으로 나뉘어 있으며, 99년 12월말 현재 총 인구는 63,676명이며 광주시 전체인구 대비 4.68%의 인구 비율을 유지하고 있다. 한편, 급수인구는 58,110명으로서 광주시 전체 급수인구 대비 4.77%의 비율을 갖으며 급수 보급률은 91.3%로 나타났다.

3.2 수질검사 결과

시뮬레이션 대상지역인 광주광역시 북구 두암동에 위치한 각화정수장의 수질검사 결과를 분석하였다. 검사기간은 2001년 2월 19일 ~ 2001년 2월 21일 이며 표 3.3과 같다. 여러 가지 수질검사 항목 중에 잔류염소, PH, 탁도, 색도, 과망간산칼륨 등의 수질검사 항목들을 2000년 1월부터 2000년 12월까지의 수질검사 결과를 분석한 결과, 각화정수장의 수질은 먹는 물 수질기준에 적합한 것으로 판단된다.

표 3.3 각화정수장의 수질 검사결과

분석항목	검사결과	수질기준	분석항목	검사결과	수질기준	분석항목	검사결과	수질기준
PH	7.0	5.8 ~ 8.5	NO ₃ -N	0.7 mg/l	10이하	KMnO ₄ 소비량	1.4 mg/l	10이하
수온	5.6 ℃	-	일반세균	0 cfu/ml	100이하	증발잔류물	46 mg/l	500이하
탁도	0.12 NTU	1이하	대장균군수	음성	음성	잔류염소	0.4 mg/l	0.2이상
색도	1.4 도	5이하	황산이온	4 mg/l	200이하	냄새·맛	적	적
NH ₃ -N	0.00 mg/l	0.5이하	망간(Mn)	0.000 mg/l	0.3이하	철(Fe)	0.00 mg/l	0.3이하

4. 분석방법

대상지역에 대한 실측된 잔류염소의 농도변화를 분석하고, 정수장 계통별 수리적인 흐름특성 분석, 관내 정체에 따른 수질변화 분석, 체류시간에 따른 수질변화 분석 및 환경적 요인에 의한 수질변화 분석을 위해서 컴퓨터 시뮬레이션 모형인 EPANET 모형을 이용하여 상수관망에서의 수체의 수리 및 수질변화를 비교·분석하였다. EPANET 모형을 이용하여 예측한 잔류염소 농도와 현장에서 채취하여 실측한 잔류염소 농도를 비교하여 반응상수를 보정하고, 상관계수와 결정계수를 구하여 통계분석을 수행하여 EPANET 모형이 실제 현장에서 적용 할 수 있는지에 대한 적용 타당성을 검토한다. 실측치에 가장 가깝게 프로그램의 구성을 확정한 다음 대상지역에 대한 관망해석 자료를 이용하여 대상지역에 대한 관로의 매설 경과년수를 고려한 Hazen-Williams 조도계수 C값의 변화에 잔류염소 농도를 예측하여 C값이 배수 관망에서의 잔류염소 농도에 어떠한 영향을 미치는지에 대하여 분석한다. 한편, 관망해석 및 설계시 사용되는 C 계수(100)으로 예측된 대상지역을 기준으로 하여 관로의 매설 경과년수에 따른 C 계수는 74(40년), 83(30년), 95(20년), 110(10년), 130(신품)으로 변화시키면서 잔류염소 농도의 변화를 분석하였다. 일반적으로, 관로의 매설 경과년수 오래 될수록 C 값은 작아지게 되며, 상수관로는 매설 최대 경과년수를 40년으로 보고 그때의 조도계수 C 값을 최저 C값으로 결정하였으며, 최대 C 값은 관로를 신품으로 보고 C 값을 130으로 결정하였다.

5. 모의결과

Hazen-Williams 조도계수 C 값을 100을 사용하여 예측한 결과 I 지역은 0.42 ~ 0.43 mg/l 의 잔류염소 농도 분포를 보이고 있으며, II 지역은 0.42 ~ 0.45 mg/l 잔류염소 농도를 보이고 있으며 III 지역의 잔류염소 농도는 0.24 ~ 0.45 mg/l의 분포를 나타내고 있다. 관로의 매설경과 년수에 따라 변화되는 C값을 변화시켜 예측한 C값에 따른 잔류염소 평균농도는 표 5.1과 같이 C 값이 130 일 때는 0.43mg/l, C 값이 110 일 때는 0.43mg/l, C 값이 100 일 때는 0.43mg/l, C 값이 95 일 때는 0.43mg/l C 값이 74 일 때는 0.42mg/l로 나타났다. 또한, C 값을 변화시킨 절점별 잔류염소 농도를 예측한 결과는 표 5.2에 나타난 바와 같이 상수관로시스템의 설계시 주로 이용되고 있고 본 논문에서도 사용한 기준 C값 100을 사용할 때와 큰 차이를 나타내고 있지 않고 있으므로 C 값이 잔류염소 농도에 미치는 영향은 미비한 것으로 판단된다.

표 5.1 C 값에 따른 평균 잔류염소 농도 변화

C 값	130 일때	110 일때	100 일때	95 일때	83 일때	74 일때
잔류염소 평균농도 (mg/l)	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.34

표 5.2 Hazen-Williams C 값에 따른 절점별 잔류염소 농도 변화

절점번호 \ C 값	130 일때 (mg/l)	110 일때 (mg/l)	95 일때 (mg/l)	83 일때 (mg/l)	74 일때 (mg/l)
127	0.43	0.43	0.43	0.43	0.42
143	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32
152	0.33	0.32	0.32	0.32	0.31
156	0.31	0.31	0.31	0.31	0.30
158	0.40	0.39	0.39	0.39	0.38

6. 결 론

본 연구에서는 EPANET 모형을 이용하여 광주광역시 북구 두암동의 상수도 관망에서의 수리 및 수질의 변화를 파악하여 상수 관로내에서의 수질 향상에 기여하는 염소 소독에 대한 상수 관로내의 잔류염소 농도가 수리학적 특성 변화에 대하여 미치는 영향과 상관관계를 살펴보고자 관로의 매설년수에 영향을 주고 있는 Hazen-Williams 조도계수 값(C 값)에 따른 잔류염소 농도를 예측한 결과, 본 논문에서 이용한 EPANET 모형은 현장에서 채취하여 실측한 잔류염소 농도와 EPANET 모형을 이용하여 예측한 잔류염소 농도의 평균 오차율 5.41%이고 최대오차율은 11.76%로 나타났으며, 잔류염소 농도의 실측치와 시뮬레이션을 통한 예측치의 잔류염소 농도는 각각 평균적으로 0.37mg/l와 0.35mg/l의 농도 분포를 나타내고 있으므로 음용수 수질기준 농도인 0.2mg/l 보다 높게 나타났다. 또한, 관로의 매설년도를 고려한 C 값의 변화에 따른 잔류염소 평균 농도는 C 값이 130 일 때는 0.35mg/l, C 값이 110 일 때는 0.35mg/l, C 값이 100 일 때는 0.35mg/l, C 값이 95 일 때는 0.35mg/l, C 값이 74 일 때는 0.34mg/l로 나타났다. 한편, 상수 관로내의 C 값의 변화에 따른 잔류염소 농도를 예측한 결과 상수관로시스템 설계시 자주 이용되고 있는 C 값(100)을 기준으로 볼 때, C 값을 증감시켜가며 잔류염소농도에 대하여 분석한 결과, 잔류염소 농도는 큰 변화를 나타내지 않아 C 값이 잔류염소 농도에 미치는 영향이 미비한 것으로 판단된다.

향후, 계속되는 도시화로 상수 수질의 저하로 야기되는 문제를 해결하기 위해 수질에 영향을 미치는 인자들의 정확한 자료의 확보와 분석이 무엇보다 시급하며, 상수 관로내에서 발생하는 수리학적 특성들을 보다 더 정밀하게 검토하여 안전한 수질관리에 대한 연구가 지속적으로 이루어져야 할 것으로 판단된다.

7. 참고문헌

- 1) Sharp, W. W, Walski, T. M, "Predicting Internal Roughness in Water Mains", Jour. AWWA., Vol. 80, No 11, pp.34~40, 1998.
- 2) Lewis A. Rossman, "EPANET USERS MANUAL", Risk reduction engineering laboratory office of research and development u.s. environmental protection agency Cincinnati, 1994.
- 3) 장점현, "상수도 관망해석 및 최적화 설계기법에 관한 연구", 전남대학교 석사학위 논문, 1998.
- 4) 최재호, 왕창근, "EPANET을 이용한 모델도시 상수도 관망에서의 수리 및 수질 simulation", 대한환경공학회지, 제 19권 제 7호, pp915~927. 1997.