

후염소 공정제어의 시지연 공정식별

신강욱, 홍성택
한국수자원공사 수자원연구원

Time-delay process identification for pro-chlorine process control

Gang-Wook Shin, Sung-Taek Hong
KOWACO KIWE

Abstract - 정수처리시스템에서의 염소소독공정은 염소투입설비의 지연요소와 염소반응시간에 의한 지연요소 등으로 매우 큰 시지연특성을 갖는 대표적인 공정이다. 본 논문에서는 염소소독공정 중 후염소공정을 조사 분석하여 공정에 영향이 큰 파라메타를 선정하고 이를 통하여 각 파라메타간 상관관계를 분석함으로써, 시지연공정의 모델을 개발하였다.

1. 서 론

모든 정수 처리 공정은 미생물에 대한 안정성 확보를 위하여 모든 소독공정은 '먹는물 수질기준 및 검사 등에 관한 규칙'에 의거 국내 정수장은 수돗물에서 잔류염소가 4.0 mg/L이하 검출되어야 하며, '수도시설의 청소 및 위생등에 관한 규칙'에 의거 국내 정수장은 수돗물에서 잔류염소가 0.1 mg/L이상 검출되어야 한다고 명시되어 있다. 하지만 과도한 염소의 투입은 수중의 유기물과 반응하여 196종의 소독부산물의 발생한다는 것으로 알려져 있으며, 소독과정에 발생하는 소독 부산물 중 일부는 인체에 잠재적 위험성을 갖고 있다.

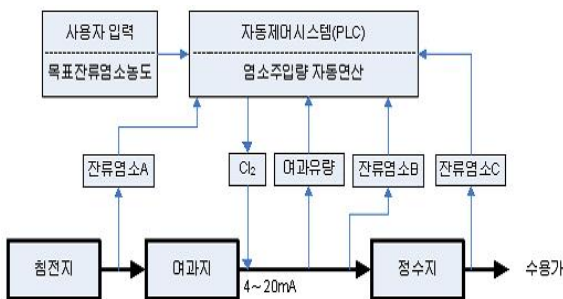
일반적인 소독공정운영 현황은 염소 투입량 산정을 통하여 중앙조정실 시스템 입력 설정값으로 투입량을 입력하여 유량변동에 추종하여 제어하는 방식을 채택하고 있으나 원수수질 변동시 염소요구량의 변동함에 따라 운영기준에 적절한 잔류염소량을 유지키 위해 근무자가 경험치를 고려하여 가감시킴으로써 정수의 적정 잔류염소 농도를 유지하는데 어려움을 겪고 있다.

본 논문에서는 후염소공정의 효율적 운영을 위하여, 정수지 전단과 후단에서의 상관관계를 분석하고 이를 이용하여 염소공정을 식별하였으며, 이는 최적의 염소공정제어가 가능하도록 적용하고자 한다.

2. 후염소 공정 현황

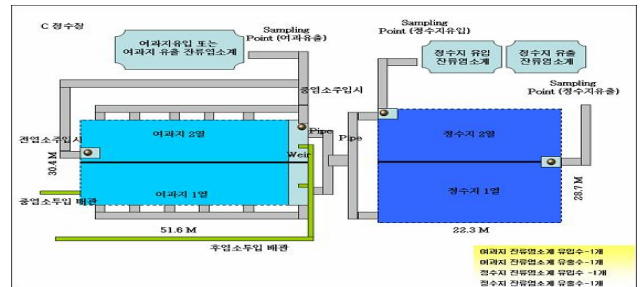
2.1 공정일반

염소처리 공정 중 후염소 공정은 그림 1과 같으며 침전지, 여과지, 그리고 정수지 후단에 설치된 잔류염소계와 여과지를 통하여 유출된 유량을 산출하는 유량계, 그리고 염소투입량을 제어하는 염소투입기와 자동제어시스템으로 구성되어 있다.



<그림 1> 후염소 공정제어 개념도

정수장에서의 후염소 공정제어를 위한 염소투입기와 잔류염소계의 설치조건 등을 알 수 있는 전체공정은 그림 2와 같다. 잔류염소계 설치 위치는 여과지 유입 및 유출지점 각 1개소, 정수지 유입 및 유출지점 각 1개소이다. 여과지 및 정수지의 지별 특성 차이는 미미한 것으로 고려되어 운영되며, 후염소 투입배관 및 투입지점은 여과지 유출 유량 합류지점인 웨어 지점에 공급되도록 구성되어 있다.

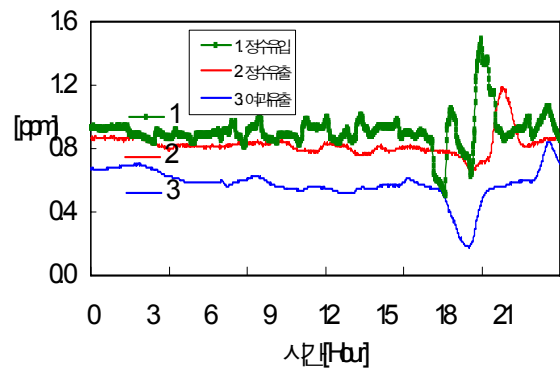


<그림 2> 정수장 구조

2.2 운영 데이터 현황

본 절에서는 기존 정수장에서 운영 중인 후염소 공정제어에 대한 데이터를 분석하기 위하여 현재 운영 중인 정수장의 실제 데이터를 수집하여 후염소 공정제어에 요구되는 제어인자와 제어응답 특성에 대하여 분석하였다.

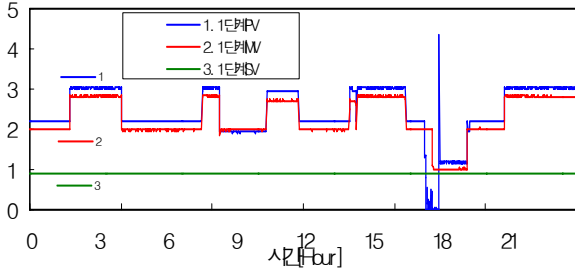
그림 3은 2007년 1월 운전 데이터를 시간대 따른 후염소 공정 출력값의 응답특성에 대한 그래프를 나타낸 것이다. 그림에서의 데이터에서 알 수 있는 바와 같이 정수유출의 목표 잔류염소 농도의 변화량이 상당히 심하게 변화되고 있음을 알 수 있다. 이는 정수유입 지점에서의 제어 출력값에 대한 제어량이 달라지고 있음에도 불구하고 극심한 유량 및 수질의 변동에 따른 영향이라 할 수 있다. 현재 운영되고 있는 정수장의 시간지연 설정 값은 염소투입 지점과 정수유입 지점에서의 잔류염소간의 시간지연을 10 ~ 20분으로 설정하고, 정수유입 지점과 유출 지점간의 확산 시간을 약 1 ~ 3시간으로 고려하고 있다. 이러한 조건에서, 그림 3에서 확인하는 바와 같이 정수유입 잔류염소의 변동 폭이 큰 결과를 보이고 있고, 정수 유출 잔류염소의 경우 0.64 ~ 0.93 ppm의 넓은 범위를 보이고 있다.



<그림 3> 정수 유입 및 유출 잔류염소 변화량

그림 4에서 나타난 그래프의 결과는 유량, 설정 값, 조작 값, 그리고 출력값과의 응답특성을 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 염소주입량의 설정 값(MV)은 염소 투입량(SV)과 유량의 변화에 따라 기준 값이 추종되고 있음을 알 수 있다. 그러나 유량 투입량의 설정 값(MV)을 제어하는 염소투입기의 조작 값과 실제 투입된 염소 투입량간에는 지속적인 편차가 발생되고 있음을 알 수 있다. 이는 염소투입기의 제어모듈에서 정확한 제어성능을 발휘하지 못하거나 시량계와 밸브 등의 액츄에이터의 성능에 따른

영향이라 할 수 있다.

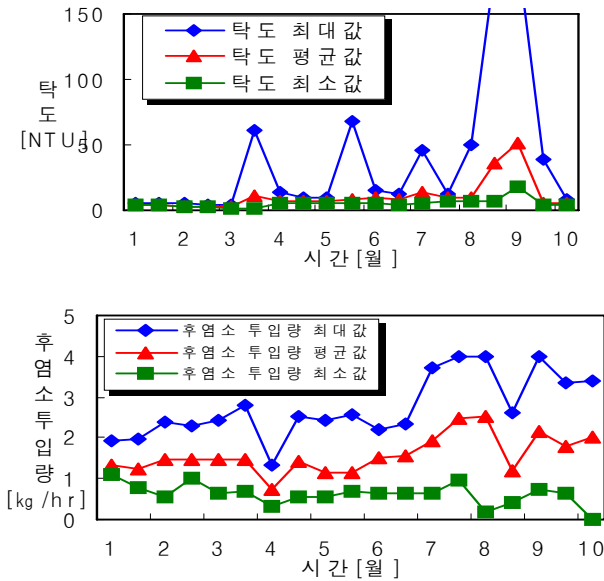


〈그림 4〉 목표주입량에 따른 실제 주입량

3. 공정 식별

3.1 입력변수 선정

후염소 공정에 있어서 정수유입과 정수유출 지점에 각각 잔류염소 농도를 측정하고 있기 때문에 이 지점들의 잔류염소 측정에 영향을 미치는 인자를 도출하기 위하여 탁도, 온도, 유입유량, 염소 투입량, 여과유출 잔류염소, 정수지 수위, 정수지 유출 유량 등에 대하여 조사 분석하였다. 그중 현장에서 실시간 모니터링이 가능하며, 염소의 소비 특성과 관련 있는 측정 인자들을 선정하여야 함은 물론, 염소투입량 산정을 위한 기준 잔류염소를 측정하는 정수유입과 정수유출 지점에서의 영향인자를 도출할 필요가 있다. 따라서, 본 논문에서는 각 지점에서의 데이터를 1분단위로 분석하고 계절에 따른 잔류염소 농도 변화의 영향을 확인하기 위하여 월별 자료를 동시에 분석하였다.



〈그림 5〉 입력변수 월별 추이변화량

3.2 공정 모델

후염소 공정제어를 위한 공정모델은 실제 공정으로부터 직접 수집한 운영 데이터를 이용하여 도출한 ARX(Auto Regression eXogenous) 모델 방정식으로 정수유입 잔류염소 농도제어와 정수유출 잔류염소 농도제어로 분류하여 적용할 수 있다. 두 공정 모델의 ARX 모델식은 다음과 같다.

$$A(q^{-1})y(t) = q^{-d}B(q^{-1})u(t-1)$$

여기서, 정수유입 잔류염소 농도제어를 위한 입·출력 파라메타를 다항식으로 표현하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} A(q^{-1}) &= 1 - 0.9753q^{-1} - 0.06857q^{-2} - 0.04425q^{-3} + 0.1654q^{-4} \\ B_1(q^{-1}) &= -0.000531 - 0.002424q^{-1} \\ B_2(q^{-1}) &= -0.003707 + 0.01038q^{-1} \\ B_3(q^{-1}) &= 0.2942 - 0.2021q^{-1} \end{aligned}$$

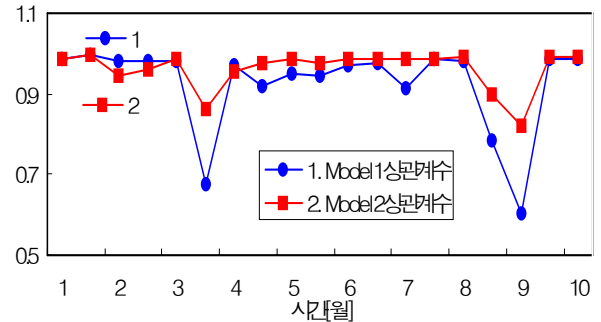
$$B_4(q^{-1}) = 0.007105q^{-10} + 0.002798q^{-11}$$

위의 $A(q^{-1})$ 다항식은 중속변수인 정수유입 잔류염소농도의 파라메타를 의미하며, $B_1(q^{-1})$, $B_2(q^{-1})$, $B_3(q^{-1})$, 그리고 $B_4(q^{-1})$ 는 입력 파라메타 중 탁도, 수온, 여과유출 잔류염소, 그리고 염소투입량을 각각 나타낸다. 제어입력값으로 설정하였으며, 염소투입량은 유입유량의 변화에 대응할 수 있도록 내부적으로 제어입력은 염소투입률이며 이를 유입유량과 비례적으로 환산되도록 하였다. 이는 실제 염소투입률 데이터와 염소투입량은 유입유량과 비례적으로 환산되지 못한다. 이러한 원인은 염소투입기의 제어방식과 액츄에이터 상의 기초적인 오차요인에 의한 것이라 할 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 이러한 오차요인을 보정하기 위하여 염소투입량과 유입유량의 실시간 데이터를 이용하여 염소투입률을 역으로 환산하여 상관계수 및 제어 입력률을 계산하였다.

정수유출 잔류염소 농도제어를 위한 입·출력 파라메타를 다항식으로 표현하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} A(q^{-1}) &= 1 - 0.4138q^{-1} - 0.2126q^{-2} - 0.2095q^{-3} - 0.117q^{-4} \\ B_1(q^{-1}) &= -0.003547 + 0.002297q^{-1} \\ B_2(q^{-1}) &= +0.005601 - 0.002329q^{-1} \\ B_3(q^{-1}) &= -0.1439 + 0.1996q^{-1} \\ B_4(q^{-1}) &= -0.0009049q^{-50} + 0.006163q^{-51} \end{aligned}$$

위의 $A(q^{-1})$ 다항식은 중속변수인 정수유출 잔류염소농도의 파라메타를 의미하며, $B_1(q^{-1})$, $B_2(q^{-1})$, $B_3(q^{-1})$, 그리고 $B_4(q^{-1})$ 는 입력 파라메타 중 탁도, 수온, 침전유출 잔류염소, 그리고 염소투입량을 각각 나타낸다.



〈그림 6〉 공정모델별 상관계수

4. 결 론

본 연구에서는 시간지연 특성을 갖는 염소 공정중 후염소 공정의 잔류염소 농도를 예측하기 위하여 탁도를 비롯한 환경인자와 염소투입량에 따른 반응시간 등의 상관성을 각각 분석하였다. 시간지연이 큰 후염소공정에 대하여 자기 회귀모형을 이용하여 공정식별하였고, 이 결과에 대한 평가를 실측값과의 상관성으로 분석한 결과 최소 0.915부터 최대 0.995까지 매우 높은 상관성을 갖는 결과를 얻었다. 따라서, 본 연구에서 개발한 공정식별을 통하여 시간지연이 큰 후염소 공정 제어를 위한 실시간 공정모델로 적용될 수 있음을 알 수 있었다.

[참 고 문 헌]

- [1] Ljung, L. "System identification: Theory for the user", New Jersey, USA: Prentice Hall., 1987.
- [2] Qin, S.J. and Badgwell, T.A. "A survey of industrial model predictive control technology", Control Engineering Practice, **11**, pp. 733-764, 2003.
- [3] Duran, M.J., Cros, Daniel, and Riquelme, Jesus "Short-term wind power forecast based on ARX models", Journal of Energy Engineering, **133**, pp. 172-180, 2007.
- [4] Chang, Ho and Tzenog, P.K. "Analysis of the dynamic characteristics of pressure sensors using ARX system identification", Sensors and Actuators A: Physical, **141**(2), pp.367-375, 2008.