대한기계학회 2000년도 춘계학술대회논문집 B pp. 807~812 KSME 00S288

# 정수장내 염소요구량 자동결정시스템 개발

오석영*·이성룡*

# Development of Automatic Decision System for Cholrination Demand in Water treatment Plant

Sueg-Young OH, Sung-Ryong Lee

Key Words: Chlorination Demand, Automatic Control, Chemical Reaction, System Development.

**Abstract**

Chlorination dosage in water treatment plant of field is determined by chlorination demand experiment through two or three hours after raw water was sampled in inflow. It is impossible to continuously control for real time because sampled water is adapted chlorination dosage after water treatment process had been proceeded.

Therefore in this study, we will design informal chlorination demand system, this designed system will be experimented as to water quality and accuracy of control in various conditions. Throughout these experimental results, we will revise the system and revised system is enable to optimal control of chlorination dosage.

Finally, We have developed chlorination demand system, which can automatically determination of chlorination dosage to be determined according to variety of raw water quality inflow in water treatment plant.

## 1. 서 론

점차 악화되어 가는 수질에 대응하여 처리수의 처리기준을 만족하기 위한 노력이 갈수록 증가되고 있는 추세이다. 특히, 수돗물로 이용되는 정수에는 많은 음용수 기준들이 있으며, 수질의 기준이 강화됨에 따라서 처리된 정수의 기준도 점차 많은 항목들이 추가되고 있는 추세에 있다. 이와 병행하여 국민들이 수돗물에 대해서 지니는 관심은 점차로 고조되고 있으나, 수질상태는 악화되는 경향에 있어서 원수(Raw Water)를 정수로 처리하기 위한 수처리기술의 향상과 더불어서 수처리용설비의 안정성과 효율성에 관심이 높아지고 있다. 맑고 깨끗한 음용수를 국민들에 공급하기 위해서는 수처리기술의 확립도 중요하지만 그에 못지 않게 수처리설비의 개발도 중요한 과제의 하나이다. 국내 수처리설비 제작업체는 영세하기 때문에 기업부설 연구소등을 통한 기술축적이 열악한 환경이므로 신뢰성이 있는 설비를 자동화와 연계하여 구축하기에는 많은 어려움이 있는 실정이다. 이와 같은 국내의 실정에 비하여 외국 선진국인 미국이나 일본등에서는 수도와 관련된 연구 및 맑은 물을 공급하기 위한 기술확립을 위한 노력을 경주하기 시작한 기간이 이미 1세기가 넘어섰다. 그러나 최근에 들어서 점차적으로 환경에 대한 국민들의 관심이 높아짐에 따라서 맑고 깨끗한 물을 얻기 위한 노력이 범 국민적으로 추진되고 있는 점은 참으로 다행스런 일이다.

국내 정수장에서는 최소한의 염소량을 유지해야 하는 법적인 문제가 있으므로, 정수된 물에 일정한 양의 염소를 투입시켜 물속의 미생물을 살균 및 억제시키고 있다. 그러나, 염소를 과량으로 주입할 경우에는 인체에 해로운 THM등을 유발할 가능성이 있으므로 정수장으로 유입되는 원수의 수질에 따라서 적정량의 염소를 투입하는 것은 중요한 과제중의 하나이다. 그러나, 국내 정수장에서 실시하고 있는 염소투입율 결정방법은 정수장으로 유입된 원수를 채수(Sampling Water)한 후 수질실험실에서 2-3시간에 걸친 염소요구량시험에 의하여 인위적으로 결정하고 있으므로

* 한국수자원공사 수자원연구소

연속적으로 24시간 내내 실험을 할 수 없다. 또한, 채취된 원수가 일부 수처리공정을 거친 후에야 비로서 염소투입율이 결정되므로 민감하게 변화되는 원수의 수질에 능동적으로 대처할 수 없다. 이와같은 원인에 의하여 법적인 염소농도를 유지하기 위한 수단으로 수질변화 등을 고려하여 충분한 양의 염소를 투입시킴에 따라서 인체에 유해한 THM생성과 정수처리설비, 수도관, 저수조 및 배수관망 등의 부식을 가속화시킬 수 있으므로 원수의 수질에 따라서 적정량의 염소투입여부가 경제적·사회적으로 미치는 영향은 지대하다고 볼 수 있다. 염소요구량을 반자동으로 결정하기 위한 방안으로 일본의 나가다(長田 利明) 등은 차아염소산나트륨을 사용하여 오소톨리딘 염산염과 반응시킨 후 발색된 상태를 비색용Cell을 이용하여 발색된 색깔이 0.3 ppm ~0.4 ppm의 범위에 상당하도록 정량펌프의 다이얼(Dial)을 수동으로 조정하는 방안을 제시하였다[1]. 또한, 우에다(上田敏夫)[2]는 염소발생기에서 발생된 염소를 자외선 램프로 투사시켜 염소수와 수중의 염소소비물질의 반응을 촉진시켜 염소소비량을 연속적으로 측정하는 방안을 제안한 바[2] 있다. 이와 같이 시스템에 근거하여 염소주입율을 결정하는 외국의 사례와는 다르게 국내에서는 퍼지추론에 의하여 염소소비에 영향을 미치는 일사량을 추론하여 염소요구량을 추론하는 방안을 제시한 바 있다.[3] 그러나, 국내외에서 발표된 이들 방법은 염소요구량을 간이적으로 결정하거나 혹은 실험실내에서 염소의 직접 사용에 의한 염소가스의 누기에 따른 사고우려 등을 지녀왔다.

따라서 본 연구에서는 정수장으로 유입되는 원수수질에 따라서 염소투입율을 자동으로 결정하고 결정된 염소투입율 신호값을 염소투입기의 클로머틱밸브에 전송할 수 있는 염소요구량 자동결정시스템을 개발하였다.

## 2. 본론

### 2.1 기존의 잔류염소측정법

정수장에는 법적으로 만족시켜야 하는 수질측정항목 등의 측정을 위한 수질실험실이 있으며, 이들 실험실에서는 염소요구량을 결정하기 위하여 2~3 시간 정도가 소요되는 염소요구량 실험을 인위적으로 실시하며 염소요구량 실험에는 DPD법과OT(Orthotolidin)법이 있다.

#### 2.1.1 DPD법

이 방법은 I-(Iodide)가 없는 상태에서 DPD지시약이 유리잔류염소와 순간적으로 반응하며, 소량의 요오드가 존재할 경우에는 $NH_2CL$ (Mono-chloramine)과 반응하여, 과량의 요오드가 존재할 경우 $NHCL_2$(Dichloramine)과 반응하는 원리를 이용하여 유리잔류염소와 결합잔류염소를 분리하여 측정하는 방법이다. 이 방법은 염소 중 $NH_2CL$의 비가 높을 때는 유리잔류염소 측정에 간섭을 받게 되며 망간(Mn) 등에 의해서도 약간의 간섭을 받게 된다.

#### 2.1.2 OT법

OT법은 차아염소산나트륨 1000 ppm의 표준용액을 1ℓ의 비이커에 주입율별로 주입시킨 후에 OT시약과 반응시켜 발색된 상태로 잔류염소를 측정하여 염소주입량과 잔류염소량과의 상관관계를 그래프로 도시(Plot)한 후에 잔류염소량이 최소가 되는 임계점을 찾아서 염소주입율을 결정하는 방법으로 그림 1과 같은 과정으로 실시한다.

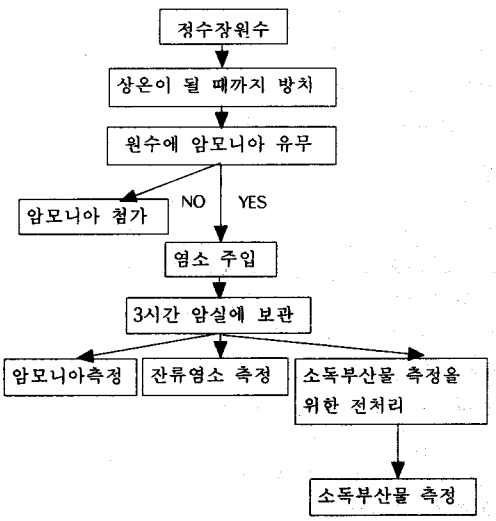


그림 1. 파괴점염소처리의 순서도

일반적으로 임계점 이전에는 결합잔류염소가 검출되고 임계점을 지나서 검출되는 잔류염소는 유리잔류염소와 결합잔류염소가 동시에 검출되는 특성을 지니고 있다. 이와 같은 방법에 의하여 측정되는 OT법은 잔류염소 측정방법으로 널리 알려져 있으나 미국의 경우 시약의 발암성과 측정의 부정확성을 이유로 현재 사용되지 않고 있다[4]

## 2.2 잔류염소 자동검지방안

일반적으로 화학물질의 농도측정방법은 분광측정분석 (Spectral Analysis)에 의하여 정성 및 정량분석을 정밀하게 수행 할 수 있다. 농도를 정확하게 맞춘 기준 시료액으로는 잔류염소농도를 0.1 ppm에서부터 1.5 ppm까지 0.1 ppm범위로 15개의 기준 시료액을 만든 후 이들이 지니고 있는 파장과 분광투과율(혹은 흡광율)과의 관계를 표준장비인 표준스펙트로포토메타(CARY 5E)로 측정한 결과를 그림 2에 나타내었다.

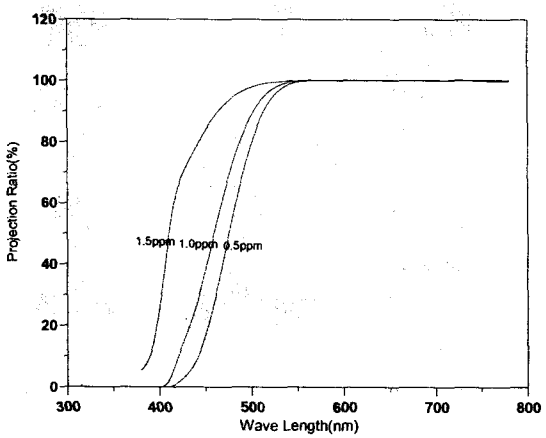


그림 2 유리잔류염소 농도별 측정된 파장값

그림 2는 유리잔류 염소농도에 따른 파장별로 표준장비인 스펙트로포토메타를 이용하여 농도별로 파장값에 따른 빛의 투과율을 측정한 결과를 나타낸 것이다. 그림에서 나타내듯이 유리잔류염소농도가 크면 클수록 낮은 파장에서의 할로겐램프의 광원의 투과율값이 높아지며, 550 nm이상의 파장에서는 유리잔류염소농도에 관계없이 97~99%정도의 투과율을 일정하게 지니고 있음을 나타내고 있다. 본 실험에서 유리잔류염소농도는 파장값이 550 nm이상에서는 농도에 따라서 차별화되지 않고 동일한 빛을 투과하고 있으나 550 nm 이하의 파장 대역에서는 농도가 진하면 진할수록 빛의 투과율이 높게 나타나고 있다. 특히 파장값이 460 nm부근에서는 잔류염소농도별로 등 간격에 근접하는 투과율 값을 보이고 있으므로, 광학적인 방법을 이용하여 유리잔류염소농도별 투과율을 측정하는 방안을 본 연구에서는 제안하였다. 본 연구에서 개발하고자 하는 장비는 측정현장에서 간편하고 빠르게 정확한 잔류농도를 측정할 수 있도록 설계되어야 하며, 이를 위하여 측정잡음이 적고 안정된 광원과 광검출기가 사용되도록 해야만 한다. 또한 측정의 정밀성과 정확도를 확보하기 위해서는 시험광선이 평행화되어야 하며 미광(Stray light)에 의한 측정오차가 제거되어야 한다. 장비의 간편성을 살리기 위하여 단순비임(Single Beam)방식을 사용하는 것이 필수적이다. 단순비임방식으로 정확한 측정을 하기 위해서는 광원이 안정되어야 한다. 이러한 측정장치의 기본조건을 충족하기 위해서는 광원이 안정화된 직류전원을 사용하는 투과형(Projection Type)의 텅스텐 할로겐램프(50W, 12V)를 사용하였고 미광을 최소화하고 광선을 평행화시키기 위하여 특별히 설계된 램프실을 제작하였다. 샘플홀더는 시험용액의 투과거리가 일정하고 시험광선의 산란과 외부광선의 혼입을 최대한으로 차단해야 한다. 광검출기는 신호의 안정성, 감도, 직선성이 좋은 실리콘 포토다이오드(Photodiode)를 사용하였다. 측정된 광신호는 투과율로 환산된 후 앞에서 말한 농도 측정기준과 대응시켜 염소잔류농도로 측정되어야 한다.

## 2.3 시스템제어알고리즘 구성

잔류염소의 종류에는 유리잔류염소와 결합잔류염소로 나눌 수 있으며, 이들 잔류염소가 검출되는 시점에는 커다란 차이가 있다. 즉, OT법에 의해서 잔류염소를 측정할 경우에 차염소산나트륨과 검수와 혼합된 혼합수에 OT시약을 투약시킨 후 5초 이내에는 유리잔류염소만이 검출하며, 5초 후에는 유리잔류염소와 결합잔류염소가 혼합된 잔류염소가 검출된다. 그림 3에서와 같이 유

리잔류염소는 염소파괴점 이후에서 검출되기 시작하며, 염소파괴점 이전에는 단지 결합잔류염소만이 검출될 뿐이다. 염소파괴점 이후에는 염소주입율을 증가시켜도 결합잔류염소의 양에는 변함이 없이 일정한 값인 D만큼을 지닌다. 염소파괴점인 점 C 이후에는 일정한 크기의 D양만큼의 결합잔류염소농도는 형태별 차이는 있으나 이들을 합한 결합잔류염소의 농도인 D의 크기는 일정하게 나타난다. 이와 같이 염소파괴점 이후에는 결합잔류염소농도는 일정하지만, 염소주입율에 비례하여 유리잔류염소의 농도는 증가된다. 결국, 대상 원수와 차염소산나트륨과의 혼합물에 OT시약을 투여한 후 5초 이내에 검출되도록 하면, 이때 검출되는 잔류염소는 파괴점을 지난 유리잔류염소의 농도만이 검출된다. 이들 기본원리를 이용하여 적용하고 있는 각 정수장의 목표점 유리잔류염소의 농도인 그림 3의 E의 유리잔류염소의 농도가 암모니아성질소가 다량 유입되는 정수장에서는 침전지 유입 분배수로 지점 혹은 침전지 유출수의 유리잔류염소농도가 1.0~1.5 ppm으로 유지되도록 염소주입율을 F범위 이내에 있도록 제어하고 암모니아성 질소가 많이 유입되지 않는 모든 정수장에서는 침전지 유출수의 농도가 0.1~0.2 ppm(E의 영역이 0.1~0.2 ppm으로 유지되도록 염소주입율의 제어 폭을 F내에 들도록 실시간(Real Time)으로 염소주입율 신호를 얻은 후, 이들 신호값을 염소투입기의 클로머틱밸브 및 중앙제어실에 실시간으로 전송시켜 결정된 주입율 값에 따라 시스템의 추종 및 근무자들이 감시할 수 있도록 하였다.

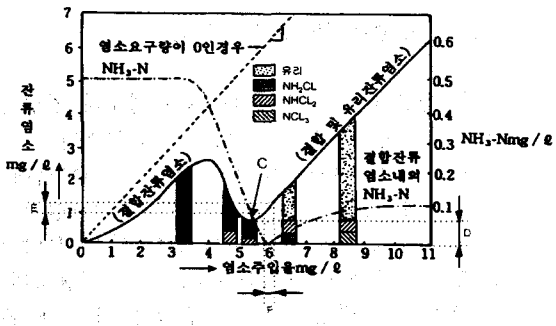


그림 3 잔류염소요구량과 파괴점염소제어

## 3. 시스템구성

유리잔류염소 농도는 소독능은 강하나, 인체에 유해한 소독부산물을 생성시키는 반면 결합잔류염소는 소독부산물을 적게 생성한다는 장점이 있으나 소독능이 상당히 약해 충분한 접촉시간을 유지하거나 유리잔류염소에 비하여 높은 농도를 유지해야 한다. 따라서, 현 공정의 염소주입상태를 파악하고 우리가 원하는 소독능을 얻기 위해서는 잔류염소의 정확한 측정은 물론, 측정된 잔류염소농도가 일정한 범위의 값을 유지할 수 있도록 제어하는 것이 중요하다. 이와 같이 목표값으로 하는 농도값으로 유지하기 위해서는 염소요구량자동결정시스템의 소프트웨어적인 구성이 필요하다고 볼 수 있다. 자동염소요구량 결정시스템의 각부 동작을 시키기 위한 화면 구성을 그림 4에 나타내었다.

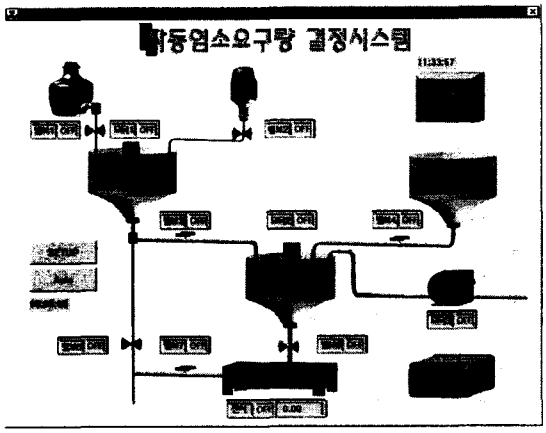


그림 4 자동염소요구량 결정시스템 초기화면

그림 4는 염소요구량자동결정시스템의 하드웨어적인 구성에 대해서 나타낸 것으로 각부 시스템의 동작상태를 화면으로 나타냄으로서 중앙제어실 근무자가 확인 및 감시토록 하였다.

그림 5는 자동염소요구량 결정시스템에서 염소의 농도를 검지한 후에, 이들 검지된 농도값이 목표로 하는 염소농도에 비하여 높거나 낮을 때에 솔레노이드밸브의 개도를 조절하여 목표값에 추종하도록 하기 위한 제어알고리즘 나타낸 것이

다.

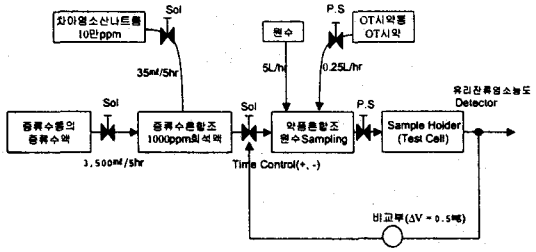


그림 5 루푸-제어 (Loop Control)를 위한 개요도

이들 신호는 1시간에 1회씩 연속적으로 피이드백(Feed Back)되면서 목표값을 따라서 추종하게 된다.

## 4. 개발된 시스템의 제어성능평가

그림 6은 본 연구에서 개발한 자동염소요구량 결정시스템에서 광학적인 방법을 이용하여 측정된 유리잔류염소 농도값을 디지털화 하여 중앙제어실에서 원격제어 및 감시를 위한 구성도를 나타낸 것이다. 자동염소요구량 결정시스템 내에는 시스템 제어를 위한 싱글칩 마이크로프로세서(One Chip Microproccer)로 구성된 전용콘트롤러가 내장되어 있다. 신호처리를 위한 전기회로에서는 광검출기로부터 측정된 전기신호인 0~1 mV의 주신호(Raw Signal)값이 0~1 V정도의 값으로 1차 증폭된 후, 2차증폭부의 Offset와 가변저항기에 의해서 0~5 V정도로 변환되고 다시 이 신호는 신호의 안정성을 확보하기 위하여 외부 잡음(Noise)을 차단하기 위해 콘덴서와 전용제어기의 증폭부 Offset를 통하여 0~5 V의 신호값이 -5~5 V로 상당 분활되고, 이들 신호의 안정성을 고려하여 -4~5 V만의 신호를 취한 후 측정코자 하는 유리잔류염소농도의 최소값인 0 ppm일 때는 -4 V로 하고 최대값인 2.5 ppm일때에는 +5 V의 신호값으로 하여 A/D변환기로 입력된다. 이들 신호는 다시 A/D변환기에서 12Bit인 0~4095의 신호값으로 변환된 후 콘트롤러의 RS232C 통신포트를 통해서 컴퓨터에는 디지탈 신호값으로 전송된다. 컴퓨터에서는 PC와의 제어를 위한 제어프로그램을 Visual C++ Version 6.0으로 구성하였다.

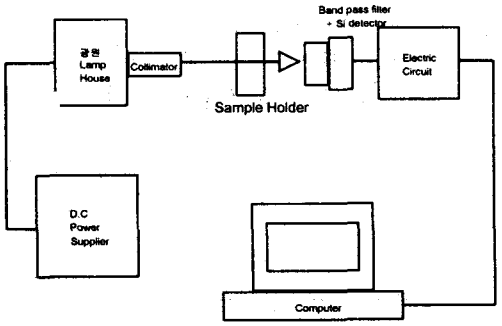


그림 6 System 개요도

또한, 광학적인 방법을 이용하여 피측정액의 농도를 측정할 경우에 오차가 일어날 수 있는 잡음(Noise) 성분을 최소화시키기 위하여 시스템에서 발생될 수 있는 최소의 잡음(Noise)을 0으로 설정하도록 프로그램화하였다. 또한, 잡음에 의한 신호의 왜곡이외에도 일정한 유리잔류염소농도로 발색시킬 때의 인위적인 시료혼합에 의한 오차율, 할로겐램프에서 샘플홀더를 조사(照射)하는 시간, 샘플홀더내의 세정(Flushing)유무 등에 따라서도 오차가 발생될 수 있으므로 유리잔류염소농도를 디지털 값으로 설정할 때의 기준설정값은 많은 실험결과를 통하여 평균시킨 값을 채택하여 영점조정을 실시하여 시스템신호의 재현성을 지니도록 하였다. 측정파장을 460 nm에서의 분광투과율(혹은 분광흡광율)로부터 잔류염소 농도를 측정하는 원리를 추정할 수 있다. 일반적으로 광선이 용액을 투과할 때 입사광은 식 (1)과 같다.

$$I = R + A + T \qquad (1)$$

여기서, R : 표면반사율
A : 분광흡광율
T : 분광투과율

식 (1)은 입사된 빛은 시료와 샘플홀더의 경계면 등에서 반사되고 용액을 통과하는 동안 용액의 분광학적인 특성에 의하여 흡광이 일어나는데

이것이 바로 용액의 농도와 관련되는 값이다. 그러나 실질적으로 흡광률을 직접 측정할 수 없으므로 투과율을 측정하여 분광흡광률을 간접적으로 추정하게 된다. 이때 표면반사율에 의한 오차를 제거하기 위하여 100 %를 잡을 때 증류수 (농도가 0인 용액)를 사용하면 된다.

염소요구량 자동결정시스템을 이용하여 유리잔류염소 농도값을 최소 0 ppm과 최대 2.5 ppm으로 12 Bit를 상당분할하여 유리잔류염소의 농도변화별 전압측정치를 도시(Plot)하여 그림 7에 나타내었다.

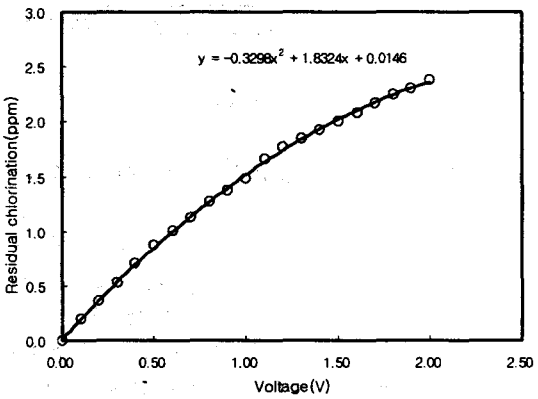


그림 7 유리잔류염소 농도변화별 전압측정치

실험결과 유리잔류염소의 농도값은 광학적인 방법에 의하여 460 nm를 중심으로 한 일정영역에서는 염소농도는 광학적인 방법에 의하여 출력되는 전기적인 신호값과 일정한 관계를 지니고 있으며 관계식은 다음 식 (2)와 같이 2차원 함수로 나타낼 수 있다.

$$y = -0.3298x^2 + 1.8324x + 0.0146 \quad (2)$$

여기서 y : 유리 혹은 결합잔류염소농도
x : 전기적인 출력값

자동염소요구량 결정시스템의 하드웨어를 구축하기 위하여 각부에서 시약과 원수, 차염소산나트륨 등이 정량적으로 제어 및 혼합될 수 있도록 시스템을 구성하였다.

## 5. 결론

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 정수장에서 실시하고 있는 파괴점 염소처리에 의한 염소투입율을 결정하는 방안은 염소요구량자동결정시스템의 핵심알고리즘이 될 수 있다.

2. 혼화지 유출측 및 침전지 유출측의 유리잔류염소의 농도를 제어목표값으로 하되, 하천수를 원수로 취하는 정수장에서는 혼화지 유출측의 유리잔류염소농도를 1.0~1.5 ppm으로 유지하도록 한다. 또한, 댐수를 원수로 하는 정수장에서는 침전지 유출측의 유리잔류염소 농도를 0.1~0.2 ppm으로 유지하도록 제어목표값을 설정함에 의해서 연속적인 염소투입율 결정이 가능하다.

3. 인위적으로 실험에 의하여 결정되어왔던 염소주입율값은 460 nm 파장대역에서 전압에 선형적인 관계를 지님으로서 자동제어가 가능함을 확인하였다.

## 참고문헌


1. 長田 利明, 沼田 盛, 平井 博, "簡易連續鹽素要求計による前鹽素注入制御", 제38회일본수도연구발표회, 1988. 5.
2. 上田 敏夫, "素要求量計を用いる前鹽素自動注入制御", 제40회 일본수도연구발표회, 1990. 5.
3. 이상석, "퍼지추론기법을 이용한 정수장 전염소주입제어에 관한 연구", 동아대 석사학위논문, 1995. 6
4. 김윤용, "上水道 消毒의 意義와 殘留鹽素 測定法의 比較實驗", 상수도기술세미나, 서울특별시 수도기술연구소, pp. 191~220, 1993.
5. 한국수자원공사, "유량 및 수질에 따른 염소투입신뢰도 향상에 관한 연구(2차년도)", 한국수자원공사 연구보고서, 1998. 12.
6. 환경부, 한국수자원공사, "기존정수장 효율향상 기술(G-7:최적염소처리 및 소독부산물 제어기법 연구)", 1996.
7. Bill Cobban, "The Chlorination /Chloram -ination hand book", AWWA, 1996.