

# 순오존소비량(ID, kCT)을 이용한 오존공정 자동제어기술 개발

글 오현제 \_ 한국건설기술연구원 수석연구원



## 1. 서론

사회의 발달과 함께 환경오염이 날로 심각해지고 있으며, 미량유해물질에 의한 수질오염 문제가 다양한 형태로 발생하고 있다. 이러한 상수원의 오염에 대처하기 위하여 오존 및 활성탄 조합정수공정을 중심으로 한 고도정수처리시설이 도입되고 있으며, 앞으로 이러한 고도정수공정의 도입은 전국으로 확산될 것으로 예상된다. 따라서 도입된 고도정수처리시설을 어떻게 효율적으로 유지하고 관리하느냐에 대한 문제가 매우 중요하게 제기되는 시점에 이르렀다고 할 수 있다.

특히, 오존공정은 고도정수처리시스템의 핵심공정이기 때문에 수준 높은 운전 및 유지관리기술이 요구된다. 지금까지 실용화된 오존공정의 제어기법으로는 주입오존농도 일정제어기법과 잔류오존농도 및 배오존농도에 의한 제어기법 등이 있다. 주입오존농도 일정제어기법은 오존의 주입농도를 미리 결정하고, 유입수량에 비례하도록 일정한 발생량을 주입하는 방식으로서 국내에서는 전오존공정에 흔히 사용되고 있다. 전오존공정을 주입오존농도 일정제어기법으로 제어할 경우에는 운전이 간편하다는 장점이 있으나, 원수의 수질변화에 대한 대처가 곤란하기 때문에 전오존 처리의 효율성을 떨어뜨리는 대표적인 요인으로 지적되고 있다. 잔류오존농도 일정제어기법은 오존접촉설비 유출수의 잔류오존농도를 일정하게 유지하는 제어기법으로서 국내의 후오존공정에서는 대부분 이 제어기법을 사용하고 있다. 후오존공정을 잔류오존농도 일정제어기법으로 운전하면 상대적으로 제어가 간편하고 수질변화에 부분적으로 대처할 수 있는 등의 장점이 있으나, 국내 정수장과 같이 수질 및 수량 변동이 큰 경우에는 제어가 불안정하여 과소하거나 과다한 양의 오존이 주입될 가능성이 커서 오존산화처리가 불충분하거나 후속 활성탄공정에서 과도한 잔류오존이 휘산되고, 산화부산물질이 과다하게 생성되는 등의 문제를 유발할 수 있다. 배오존농도 일정제어기법은 오존접촉설비에서 배출되는 배오존

농도를 일정하게 유지하도록 제어하는 방식으로서 정확한 배오존농도의 측정이 쉽지 않고, 배가스를 활용한 오존 Mass Balance의 분석이 어렵기 때문에 수질 및 유량의 변화에 실시간으로 대처하는 데에 한계가 있어서 국내에서는 사용된 예가 없다. 위에서 언급된 잔류오존농도 및 배오존농도 일정제어기법은 전형적인 Feed-back 제어기법이다. 이러한 제어기법들은 제어시스템의 구성 및 로직이 단순하다는 장점이 있는 반면, 오존주입 이후 잔류오존 및 배오존으로 측정되기까지 물질전달과 접촉설비 내부의 체류 및 확산 과정에 의해서 응답성이 늦어지기 때문에 실시간 자동제어가 어렵고, 유입수의 성상 및 수량변화에 대응하는 정확한 제어가 불가능하다는 단점을 가지고 있다.

따라서 본 연구는 G7 환경기술개발사업의 지원 아래 1998년부터 2001년까지 3년 동안 ‘오존, 활성탄 정수시스템의 자동화 및 관련설비의 개발’ 사업에서 일부 수행되었다. 주입오존농도 일정제어기법 및 잔류오존농도 일정제어기법 등 기존 오존공정의 제어기법들을 정리하는 한편, 본 연구의 개발성과를 바탕으로 유입 수질 및 수량의 변화가 심한 국내 고도정수처리시설의 운전여건에 대응하여 실시간 자동제어를 수행할 수 있고, 처리수질의 안전성과 안정성을 확보할 수 있으며, 경제성이 높은 오존/AOP공정의 자동제어기법을 개발하고자 하였다. 본고에서는 그중에서 개발된 ID(Instantaneous ozone Demand : 순간오존요구량) kCT(kinetic CT)를 이용한 오존공정 자동제어기술에 대하여 연재하여 소개하고자 한다.

## 2. 오존공정 자동제어기법

오존공정의 제어기법에는 주입오존농도 일정제어기법(수량비례 제어기법)과 잔류오존농도 일정제어기법 및 배오존농도에 의한 제어기법 등이 지금까지 활용되어 왔다. 본 연구에서는 기존의 제어기법들과 연구 개발된 오존공정 제어기법들을 활용하여 자동제어

시스템을 구축하고, 각 자동제어시스템별 장단점 및 현장 적용성을 비교·분석하였다.

### (1) 전오존공정

#### ① ID 자동제어기법

ID 자동제어기법은 우선 원수의 유입수량을 측정하고, ID 자동 측정장치에 의해서 원수의 ID를 산출하며, 산출된 ID에 비례하도록 유입수량을 고려하여 오존주입농도를 제어하는 기법이다. 유입수의 오존소비특성 및 실시간 수질변화와 유량 변화에 따른 대응이 가능하고, Pilot Test의 부담을 경감할 수 있는 장점이 있으나, ID를 자동으로 측정할 수 있는 별도의 장치와 제어시스템이 필요하다.

#### ② 주입오존농도 일정제어기법

주입오존농도 일정제어기법은 원수의 유입수량에 대한 오존주입 농도를 미리 결정하고, 유입수량을 측정하여 일정농도의 오존을 주입하는 기법이다. 운전이 간편하다는 장점이 있어서 많은 정수장에서 사용하고 있으나, 원수의 수질변화에 대한 대처가 매우 제한적이라는 단점이 있다.

### (2) 후오존공정

#### ① kCT 자동제어기법

kCT 자동제어기법은 유입수의 오존소비특성을 분석함으로써, 유입수질 및 수량의 변동에 대응하여 후오존공정의 kCT(kinetic CT)를 설정값으로 항상 일정하게 유지시키는 제어기법이다. kCT 자동제어기법은 후오존공정 유입수를 직접 분석하기 때문에 순환 루프식의 제어알고리즘을 갖고 있지 않으므로 원하는 오존주입농도 제어를 실시간 연속적으로 용이하게 수행할 수 있는 장점이 있어, 처리수질의 안전성과 안정성을 확보하기가 용이하다.

또한, 오존 산화처리 시 부적절한 제어로 인한 산화부산물질의 생성을 효과적으로 제어할 수 있으며, 특히 자동제어시스템의 구축이 용이하여 경제적인 이점이 많은 제어방식이라고 할 수 있다.

오존공정에서는 유입수의 수질특성 및 처리목적에 부합되는 제어가 필요하며, 이를 위해서는 직접적인 오존 산화능을 나타내는 CT 값 개념을 적용한 제어가 이상적이라고 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 CT 개념을 적극적으로 반영한 제어기법으로서 kCT 자동제어기법을 개발하였다.

#### ② CT 자동제어기법

CT 자동제어기법은 기본적으로 잔류오존농도 일정제어기법을 포

함하고 있다. 즉, CT 자동제어기법의 측정인자 중에서 유입수량을 반영하지 않으면 기존 잔류오존농도 일정제어기법과 동일한 제어가 구현된다.

#### ③ 잔류오존농도 일정제어기법

잔류오존농도 일정제어기법은 주입오존농도 일정제어기법이 원수의 수질변화에 능동적으로 대처하지 못하는 단점을 해소하기 위하여 개발된 제어기법으로서 제어가 간편하고, 수질변화에 부분적으로 대응할 수 있는 장점이 있다. 국내의 일반적인 정수장과 같이 밤낮으로 유입수량의 변동폭이 큰 경우에는 수질변화에 실시간으로 대처하는 데 한계가 있다.

또한, 오존접촉지 유출수의 잔류오존농도를 측정하기 때문에 오존소비특성의 반영이 제한적이어서 과다하거나 과소한 양의 오존을 주입할 가능성이 크다. 따라서 잔류오존농도 일정제어기법은 주입오존농도 일정제어기법과 마찬가지로 수질변화가 크지 않고 유입수량의 변화가 크지 않은 경우에 적합한 제어기법이라고 할 수 있다.

#### ④ CT 자동제어기법

CT 자동제어기법은 체류시간의 변화를 반영할 수 없었던 기존의 잔류오존농도 일정제어방식을 보완하여 잔류오존농도(C) 및 접촉시간(T)을 동시에 제어할 수 있는 자동제어기법이다.

즉, 후오존공정 내부의 체류시간과 접촉단별 잔류오존농도를 측정하여 후오존접촉설비의 총 CT를 항상 일정하게 유지하는 제어기법이다. 제어가 상대적으로 단순하고 유입수질 및 수량의 변화에 동시에 대응할 수 있는 장점이 있다.

#### ⑤ TOC 자동제어기법

TOC 자동제어기법은 오존소비를 유발하는 유기물질의 총량적 오염지표인 총유기탄소(TOC) 또는 용존유기탄소(DOC)를 측정하고, 이에 비례하도록 오존주입농도를 제어하는 제어기법이다. 제어가 간편하고 실시간 수질변화에 대응하는 제어가 가능하지만 TOC(DOC)를 측정하기 위한 별도의 분석기기 및 전처리 장치가 필요한 제어기법이라고 할 수 있다.

## 3. ID를 이용한 전오존공정 자동제어시스템

### (1) ID 자동제어시스템 개요

#### ① ID 자동측정장치

본 연구에서는 ID를 자동으로 측정할 수 있는 ID 자동측정장치를

발명·제조하였다. ID 자동측정장치는 오존발생기에서 생성되는 고농도의 오존으로 오존과포화수를 제조하여 측정하고자 하는 원수에 직접 원하는 농도를 주입한 후 흐름주입분석법(Flow Injection Analysis, FIA)으로 Indigo 시약과 반응시켜 반응시간의 경과에 따른 잔류오존농도를 측정하여 잔류오존이 소비되는 속도를 자동으로 측정하는 장치이다. ID 자동측정장치의 개략적 개념도는 그림 1)과 같다.

ID 자동측정장치는 그림 2)와 같이 구성하였다. 시료채취, 오존과포화수 주입 및 Indigo Trisulfonate 주입을 위한 유로는 전동식 솔레노이드 밸브(Cole Parmer, USA)를 사용하여 구성하였고, 시료와 Indigo 시약을 주입하는 펌프((주)성림계전)를 단일화하여 장치의 구성 및 제어조작과정을 단순화하였다. 시료 및 오존과포화수는 제어프로그램에서 채취용량을 변화시킬 수 있도록 프로그래밍하여 저농도에서 고농도까지 정확히 주입할 수 있도록 하였다.

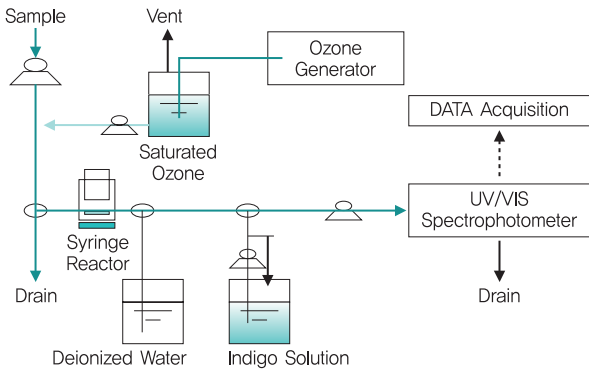
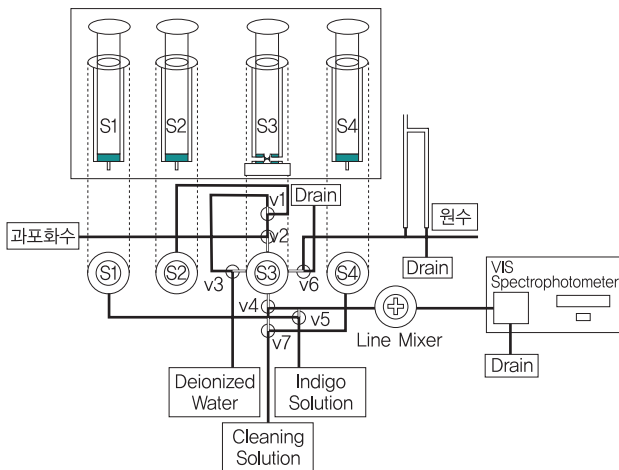


그림 1) FIA(Flow Injection Analysis) System for ID Measurement



S1 : Syringe No.1 for Indigo Solution  
 S2 : Syringe No.2 for Saturated Ozone Solution  
 S3 : Syringe No.3 for Reaction  
 S4 : Syringe No.4 for Cleaning Solution  
 V1~V7 : Solenoid Valve No.

그림 2) Apparatus of Automatic Analyzer for Measuring ID

시료와 오존과포화수는 3번 시린지로 순차적으로 흡입한 후 오존 소비반응을 개시하고, 즉시 1번 시린지로 Indigo Trisulfonate 용액을 유로상에서 혼합하여 VIS 흡광광도계에 주입하여 흡광도를 측정하고, 흡광광도계에서 측정된 흡광도는 0~1 V DC로, 제어 Controller에서 초당 2회로 수집하여 저장하였다. 측정파장은 600nm를 사용하였다.

저장된 Raw Signal로부터 0.5초 간격으로 각 시간에 상응하는 Raw Signal 대비 잔류오존농도로 환산한 후, 그래프에서 순간적으로 감소하는 순간오존요구량인 ID를 산출하였다. 또한, 시간에 따른 오존농도 변화비 Ct/C0의 log값의 기울기로부터 오존소비속도상수,  $kc(\text{min}^{-1})$ 를 산출하였다.

그림 3)에는 동일한 시점에서 고도정수 자동화 실증플랜트로 유입되는 PD 원수와 PN 원수에 대한 오존소비특성의 측정 예를 나타내었다. PD 원수에 대한 ID는 0.6mg/l로 측정되었으며, PN 원수에서는 약 0.8mg/l로 측정되었다. ID뿐만 아니라 오존의 결보기 소비속도에도 큰 차이를 보이고 있음을 알 수 있다. 이 결과로부터, PD 원수가 ID 및 오존소비속도상수,  $kc$ 가 작아서 PN 원

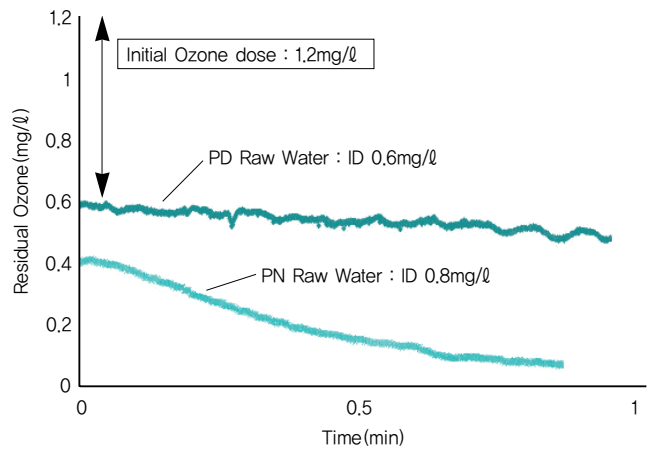
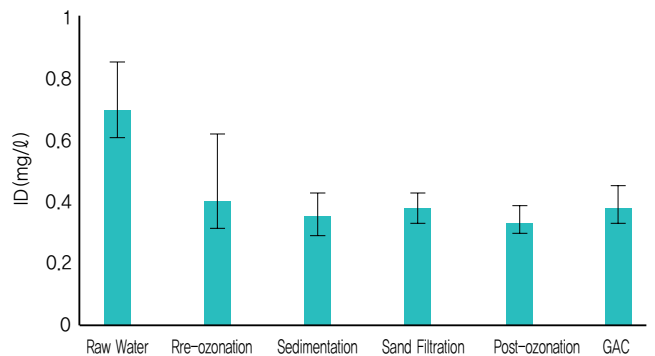


그림 3) Typical decomposition pattern of ozone in raw water



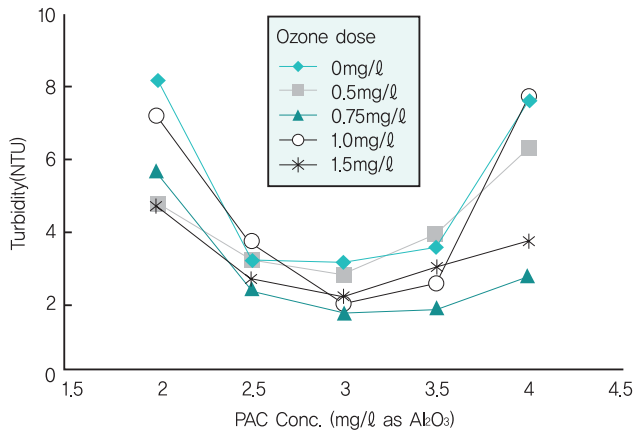
Raw water:pH=7.4, Temp.=24.80, Ozone dose=2.0mg/l, DOC=2.0mg/l

그림 4) Variation of the ID along the demonstration treatment line

수보다 오존소비특성의 측면에서 수질이 양호한 것을 알 수 있다. 또한, 그림 4)에서는 정수공정별 시료수를 채취하여 각각에 대하여 ID를 측정된 결과이다. 정수공정별로 순간적으로 오존을 소모시킬 수 있는 각종 수질인자가 제거됨에 따라 ID도 감소하고 있음을 확인할 수 있었다.

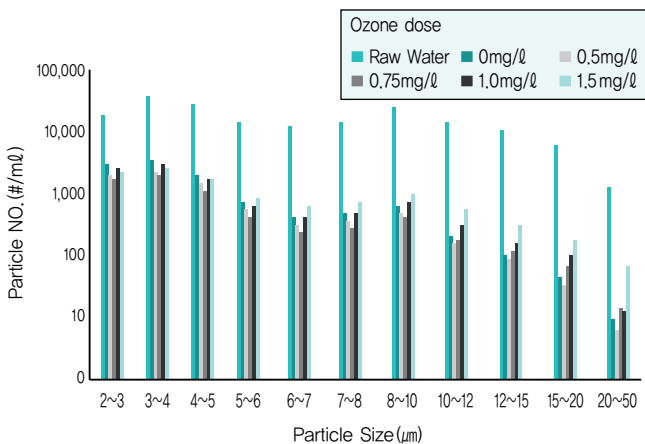
별도의 실험에서 ID는 일중에도 원수의 수질에 따라 변화한다는 사실이 관찰되었다. 이처럼 ID는 원수의 수질적 특성에 따라 다르게 측정되기 때문에, 원수의 수질을 대변하는 지표인자로도 사용이 가능할 것으로 판단된다. 따라서 이상의 결과로부터 ID는 유입수질을 반영하는 전오존공정의 총량적 지표라 할 수 있고, 측정이 용이하며, 전오존공정의 제어를 위해서 현장에 적용하기가 편리한 수질인자로 판단된다.

## ② ID 자동제어기법 적용



ID: 0.75mg/l, tested ozone doses: 0, 0.5, 0.75, 1.0, 1.5mg/l

그림 5) Ozone doses versus coagulant doses.



ID: 0.75mg/l, tested ozone doses: 0, 0.5, 0.75, 1.0, 1.5mg/l, PAC conc.: 3.0mg/l as Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> mg/l

그림 6) Ozone doses versus particulate concentration

그림 5)의 결과에 따르면, 오존주입농도가 증가하여 0.75mg/l에 이를 때까지는 탁도의 제거율 또한 증가하는 경향을 보이고 있으나, 이 이상으로 주입되었을 때에는 오히려 감소하는 경향을 명확하게 보여주고 있다. 대부분의 PAC 주입농도에 대해서 오존주입농도가 0.75mg/l인 경우에 탁도 제거율이 가장 높게 나타나고 있다. 그림 6)은 오존주입농도에 따라 Jar Test를 실시하여 최저의 탁도를 나타내는 응집조건에서 응집·침전수의 입자수를 나타내었다. 탁도의 경우와 마찬가지로 적정농도의 오존이 주입될 때 최고의 입자수 제거효율을 보여주고 있다. 중상위 수준의 탁도(21.2NTU)를 갖는 원수인 경우 0.5mg/l의 오존이 주입될 때가 최적이었으며, 고탁도(87.1NTU)인 경우에는 0.75mg/l의 오존이 주입될 때 최적의 응집조건을 나타내었다. 역시 과도하게 오존이 주입되는 때에는 역효과가 있음을 보여주고 있다. 오존주입농도 증가에 따라 큰 입경대의 분포가 증가한다는 사실로부터 적정한 농도의 전오존처리에 의해 응집·침전효율의 향상 효과를 충분히 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

## (2) ID를 이용한 자동제어시스템 개발

전오존공정은 원수의 높은 탁도 등의 문제로 인하여 잔류오존농도 일정제어기법으로는 제어가 곤란하다. 또한, 주입오존농도 일정제어기법으로 운전 시에는 적정 오존주입농도의 결정이 선행되어야 하나, 오존의 주입농도를 달리하여 실시하는 Jar Test는 현장에

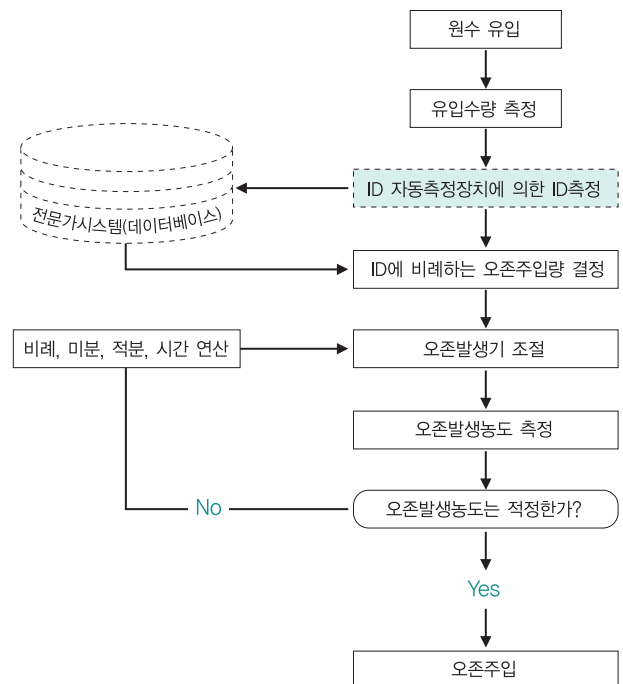


그림 7) Logic of automatic ID control

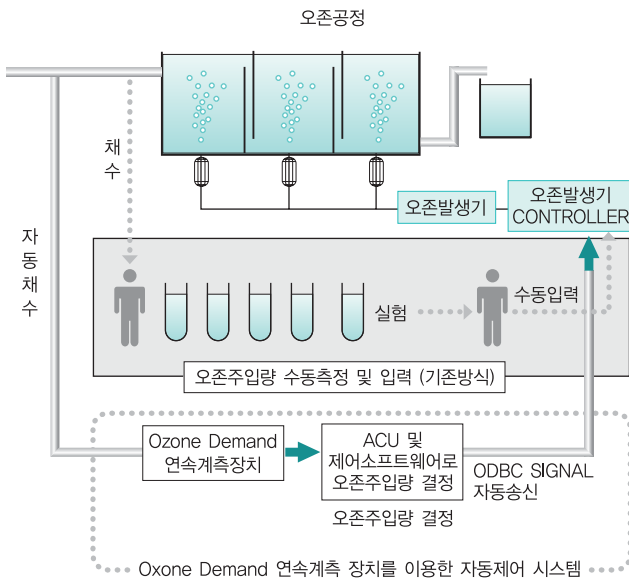


그림 8) Schematics of ID control system

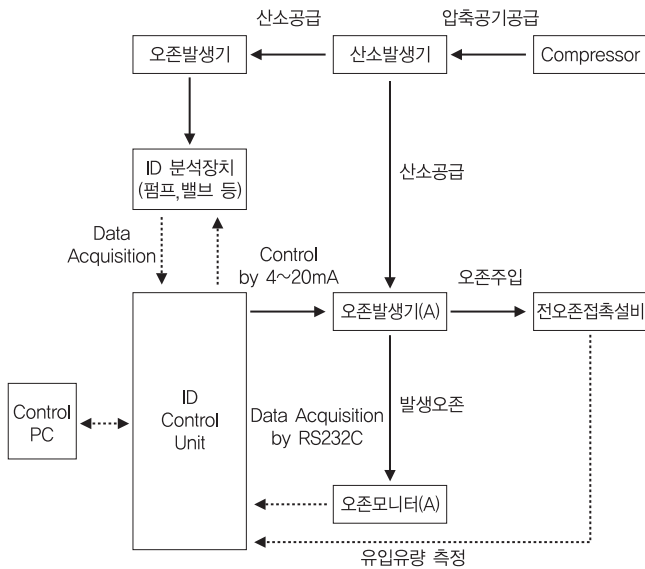


그림 9) Flow of automatic ID control

서 일상적으로 활용하기에는 어려움이 따른다. 이는 많은 시간과 노력을 필요로 하며, 또한 원수수질이 다변하는 국내에서는 적극적인 대처가 되지 못한다.

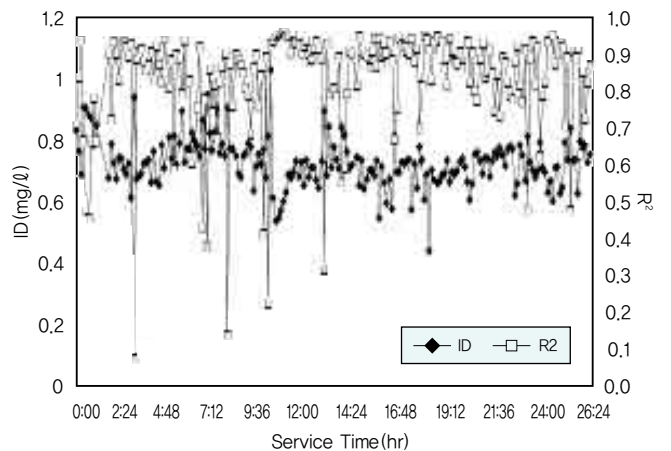
전오존공정에서 오존이 과도하게 주입되면, 오히려 역효과를 나타낼 수 있기 때문에, 각별한 주의와 관리가 필요한데, 이를 제어하기 위해서는 원수 유입수량을 항시 계측하고, 적절한 오존주입농도를 산출하여 실시간으로 오존공정을 제어하는 것이 중요하다.

따라서 본 연구에서는 이상의 연구결과를 바탕으로 하여 ID 자동제어기법을 개발하였으며, 이를 자동제어시스템으로 도출하였다. 그림 7)에서는 유입되는 원수의 유입수량을 측정하고, ID 자동측

정장치를 이용하여 ID를 산출하고, 적정 오존주입농도를 결정하고, ACU(Automatic Ozone Control Unit)에서 오존발생량을 조절한 후 적정 오존주입농도로 주입하는 ID 자동제어기법의 제어 로직을 도시하였다. 그림 8)은 ACU 및 ID 자동측정장치 등의 구성도를 나타낸 것으로 원격지에서는 자동으로 조작할 수 있도록 구성하였다. 그림 9)는 ID 자동측정장치를 이용해 ID를 산출하여 자동으로 전오존공정을 제어하고 운전하는 ID 자동제어시스템의 구성도를 나타내었다. 이러한 시스템은 중앙제어 감시실에서 원격 제어할 수 있으며, 현장에서는 수동으로 작동 가능하도록 구성하여 실공정에 쉽게 적용할 수 있는 Package Type으로 제작, 설치하였다.

(3) ID 자동제어시스템 운전특성

대상원수를 PN원수로 하여 26시간동안 연속운전하면서 측정된 ID의 결과는 그림 10)과 같다. 이 때 오존과포화수의 주입농도는 1.26mg/L였다. 대체로 0.5~0.7mg/l의 범위를 만족하면서 수질의 변화에 따라 변동하고 있는 것으로 나타났다. ID 자동측정장치에서 ID 측정시의 결정계수(R2)는 대부분 0.7 이상으로서 측정값의 신뢰도 및 연속운전 시 제어시스템으로서의 안정성이 동시에 확보되고 있는 것으로 판단된다. 결정계수가 낮게 나타난 일부의 데이터는 원수의 탁도유발물질이 측정 시 영향을 미친 경우로 판단되며, 이처럼 결정계수가 낮은 데이터는 제어에 활용하지 않도록 하여 안전성을 확보하였다.



(Initial Ozone dose : 1.26mg/l)

그림 10) Variation of ID in pre-ozonation

ID 자동측정장치에서 ID가 산출되면 일정한 Factor값을 고려하여 오존주입농도가 결정된다. 본 실험에서는 ID 대 오존주입농도의 비를 (1:1)로 설정하였다. 이때 결정계수가 낮거나 비정상적

인 ID가 산출되면 제어에 반영하지 않으며, 오존주입농도가 지나치게 급격하게 변동하는 것을 방지하기 위하여 제어의 안정성을 확보하기 위한 알고리즘을 여러 단계에 걸쳐 마련하였다. 오존주입농도가 결정되면 유입수량, 오존전달효율 및 주입풍량 등에 따라 오존발생농도가 결정된다. 오존발생농도가 결정되면 ID Control Unit는 PID연산에 따라 오존발생설비를 제어한다. ID 자동측정장치에 의해서 측정된 ID와 이에 의해 결정되는 오존주입농도와의 관계를 도시하면 그림 11)과 같다. 오존주입농도는 측정된 ID에 오존전달효율 90%를 반영하고, 제어의 안정성을 확보하기 위한 알고리즘이 추가로 반영되어 산출되고 있음을 나타내고 있다. 이 그래프는 ID 측정결과에 비해서 다소 완만한 형태로 오존주입농도가 실시간으로 제어되고 있음을 잘 보여주고 있다.

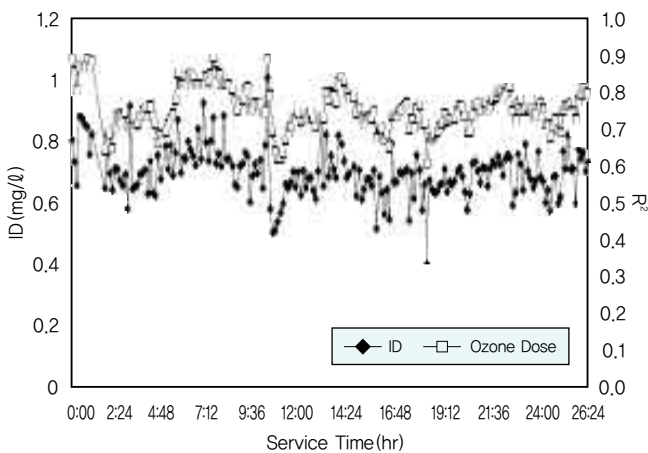


그림 11) Variation of ID and injection ozone concentration in ID auto control system

#### (4) ID 자동제어시스템 운전효율 분석

전오존공정에서 ID 자동제어시스템의 운전특성 및 운전효율을 비교평가하기 위하여 0.0~1.0mg/l로 변화시킨 주입오존농도 일정 제어시스템과 ID 자동제어시스템에 대해서 전오존 및 응집/침전 공정을 운전하였다.

##### ① DOC

실험기간동안 PN원수의 DOC는 대략 0.8~1.0mg/l로 변화하였으며, 운전결과 및 제거율은 표 1) 및 그림 12)와 같다. ID 자동측정장치를 이용하여 ID를 측정된 결과, 0.5mg/l 주입오존농도 일정 제어기법으로 운전할 때의 ID는 0.30~0.43mg/l로 나타났으며, 1.0mg/l 주입오존농도 일정 제어기법으로 운전할 때의 ID는 0.4mg/l로 나타났다. ID 자동제어시스템에서는 측정된 ID에 따라 0.20~0.55mg/l 농도범위의 오존이 주입되었다.

ID 자동제어시스템과 0.5mg/l 주입오존농도 일정 제어기법의 운전 결과, 평균제거율이 거의 동일한 것으로 나타났는데 이는 측정된 ID와 주입오존농도 0.5mg/l가 크게 차이를 보이지 않기 때문으로 판단된다.

전오존 처리후의 수질 및 처리효율의 차이는 ID 및 주입오존농도 제어기법에서 크게 나타나지 않았으나, 응집/침전공정 이후에는 주입오존농도 일정 제어기법에서는 오존을 주입하지 않은 경우 평균 23.9%, 0.5mg/l 주입시 평균 36.5%, 1.0mg/l 주입시에는 24.5%로 나타났으며, ID 제어시에는 35.9%로 나타났다.

따라서 전오존 및 응집/침전공정에서 ID 자동제어시스템이 전오존처리를 하지 않거나, 과도한 오존주입보다 처리효율이 약 8% 이상 우수하고 안정적인 것으로 나타나, 처리대상물질을 DOC로 선정할 경우에는 ID 자동제어시스템을 도입하는 것이 유효할 것으로 판단된다.

Removal Efficiency(%)	Injection control			ID control
	0.0mg/l	0.5mg/l	1.0mg/l	
Min.	15.5	27.7	14.0	23.6
Max.	29.4	50.3	39.0	43.4
Mean	23.9	36.5	24.5	35.9

표 1) Result for variation of DOC removal in ID control & injection ozone control after coagulation/sedimentation

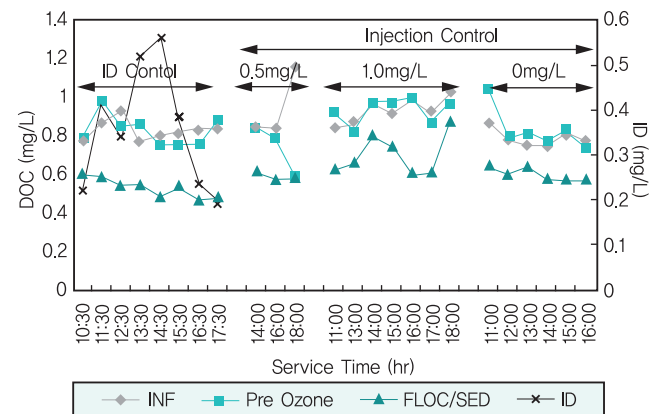


그림 12) Results for variation of DOC in ID control & injection ozone Control after coagulation/sedimentation

##### ② UV254 흡수물질

실험기간동안 PN원수의 UV254 흡수물질은 0.032~0.063Abs./cm의 범위로 변화하였으며, 운전결과 및 제거율은 표 2)와 그림 13)과 같다.

DOC의 경우와 유사하게 ID 자동제어시스템과 0.5mg/l 주입오

존농도 일정제어기법의 평균 제거율이 거의 동일한 것으로 나타났는데, 이는 유입원수의 특성상 주입된 0.5mg/l의 농도가 측정된 ID와 유사하며 이 값이 이 유입수질에 적절한 전오존 주입농도였음을 의미하는 것으로 판단된다.

전오존공정에서는 오존산화처리를 실시한 경우의 처리효율이 10% 이상 우수한 것으로 나타났다. 또한, 주입농도가 증가함에 따라 처리효율 0.5mg/l 주입시에는 평균 20%, 1.0mg/l 주입시에는 30%로 증가하는 것으로 나타났다.

전오존 및 응집/침전공정 후의 제거효율을 비교하면, 표 2) 및 그림 13)과 같이 주입오존농도 일정제어기법에서 오존을 주입하지 않은 경우에는 평균 49.4%, 0.5mg/l 주입시에는 63.4%, 1.0mg/l 주입시에는 59.8%로 나타났으며, ID 자동제어시에는 평균 72.6%로 나타났다.

따라서 전오존 및 응집/침전공정에서는 ID 자동제어시스템의 운영시가 전오존처리를 하지 않거나 과도한 오존이 주입된 주입오존농도 일정제어기법보다 처리효율이 약 15% 정도 우수한 것으로 나타났으며, 주요 처리대상물질을 난분해성 유기물질의 지표인자인 UV254 흡수물질로 선정할 경우 ID 자동제어시스템의 구축이 유효한 것으로 판단된다.

Removal Efficiency(%)	Injection Control			ID control
	0.0mg/l	0.5mg/l	1.0mg/l	
Min.	42.1	63.0	54.8	66.0
Max.	58.1	63.6	67.4	78.7
Mean	49.4	63.4	59.8	72.6

표 2) Results for Variation of UV254 Removal in ID Control & Injection Ozone Control after Coagulation/Sedimentation

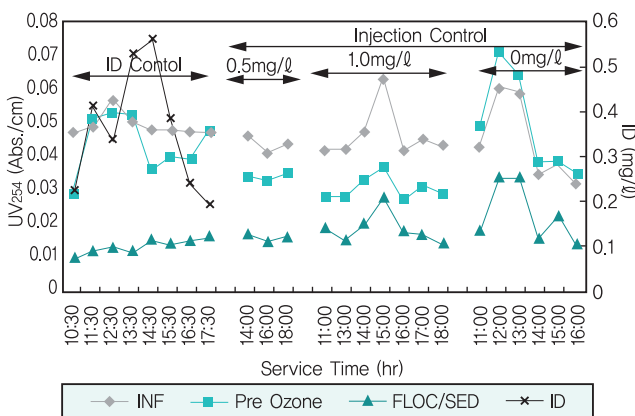


그림 13) Results for Variation of UV254 in ID Control & Injection Ozone Control after Coagulation/Sedimentation

③ 탁도

실험기간동안 PN원수의 탁도는 5.82~12.15 NTU의 범위로 변화하였으며, 운전결과 및 제거율은 표 3) 및 그림 14)와 같다.

전오존 처리 후의 수질 및 처리효율의 차이는 ID 및 주입오존농도 일정제어기법에서 크게 나타나지 않았으나, 응집/침전공정 이후에는 주입오존농도 일정제어기법에서는 오존을 주입하지 않은 경우 평균 56.1%, 0.5 mg/l 주입시 평균 76.8%, 1.0 mg/l 주입시에는 78.6%로 나타났으며, ID 제어시에는 83.8%로 나타났다.

따라서, 전오존 및 응집/침전공정에서는 ID 자동제어시스템의 운영시가 오존을 주입하지 않거나 주입오존농도 일정제어기법으로 운전했을 때보다 처리효율이 약 13% 이상 우수한 것으로 나타났으며, 주요 처리대상물질을 탁도로 선정하고 운전할 경우에는 ID 자동제어시스템의 구축이 유효한 것으로 판단된다.

Removal Efficiency(%)	Injection control			ID control
	0.0mg/l	0.5mg/l	1.0mg/l	
Min.	30.8	73.5	65.8	78.0
Max.	69.7	79.4	84.0	87.8
Mean	56.1	76.8	78.6	83.8

표 3) Results for Variation of Turbidity Removal in ID Control & Injection Ozone Control after Coagulation/Sedimentation

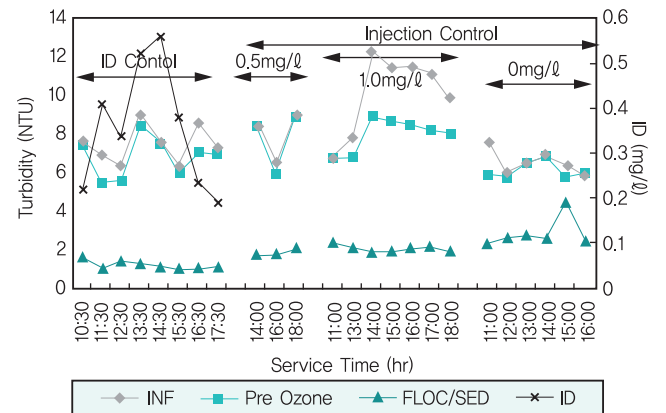


그림 14) Results for Variation of Turbidity in ID Control & Injection Ozone Control after Coagulation/Sedimentation

4. 결론

ID 자동제어기법을 개발하기 위해 수행된 본 연구의 주요 결과는 다음과 같다.

- (1) 오존을 대상수에 주입하면 즉시 일정량이 급속하게 소모되는 현상이 관찰되는데, 순간적으로 소비되는 오존량을 순간오존요구

량(ID)이라고 한다. 다양한 수질 및 오존주입조건에 따른 ID를 관찰한 결과, ID가 원수의 수질특성을 반영하며, 동일한 수질에 대해서도 초기 오존과포화수의 주입농도에 따라 선형적으로 증가하는 것으로 나타났다. ID는 유입수질을 직접적으로 대변하는 지표이기 때문에 이러한 ID의 변화는 곧 수질의 실시간적인 변화를 나타낸다고 할 수 있다. 특히, ID는 실험적으로 관찰된 적정 전오존 주입농도와 직접적으로 비례하는 관계를 보여주어 전오존공정의 운전인자로 활용할 수 있는 것으로 나타났다.

존 및 응집/침전공정의 처리수질 및 처리효율이 기존의 주입오존 농도 일정제어기법보다 탁월하고 안정적인 것으로 나타났다. 따라서, 오존공정에 의한 처리기능 뿐 아니라, 탁도 및 DOC, UV254 흡수물질 등 유입 수질의 변화가 다양한 원수의 처리를 위하여 ID 자동제어시스템의 구축이 기존의 제어기법에 비해 보다 유용한 것으로 판단된다. ㉔

(2) 전오존공정에서 ID 자동측정장치를 도입하여 ID를 기준으로 오존주입농도를 결정하는 ID 자동제어기법을 도입하면, 원수의 수질변화에 대한 실시간적인 최적 대응이 가능할 것으로 분석된다.

(3) 현장에서 ID 자동측정장치를 이용하여 ID를 연속적으로 실측한 결과, ID가 실시간 수질의 변화를 잘 대변하였으며, ID 자동측정장치가 높은 정밀성 및 재현성을 갖고 있어서 ID 자동측정장치를 기반으로 하는 전오존공정 제어의 효율성 및 안정성을 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

(4) ID 자동제어시스템을 이용하여 전오존공정을 연속 운전한 결과, 유입원수의 실시간 수질변화에 적절하게 대응하였으며, 전오

## 일본수도협회(JWWA) 「2004 총회 및 수도기자재전」 참가안내

일본수도협회 제73회 총회 및 수도연합단체에서 개최하는 수도기자재전은 일본 수도산업계의 주요 단체와 기업의 최신기술을 적용하여 신규로 개발한 수도관련 기자재 및 개량 기자재 등 폭넓은 분야의 제품 등을 전시하고 수도시설을 견학할 수 있는 기회를 제공하며, 한국상하수도협회에서는 아래와 같은 일정으로 참가코자 하오니, 관심 있는 회원 여러분들의 많은 참여를 바랍니다.

1. 행 사 명 : 「일본수도협회(JWWA) '04 구마모토 총회 및 수도기자재전」
2. 주요행사 : 총회 및 수도기자재 전시회
3. 기 간 : 2004. 10. 26(화) ~ 10. 29(금) (3박 4일)
4. 장 소 : 일본 구마모토시(熊本市)
5. 모집기간 : 9월 20일(월) ~ 10월 1일(금)

교육  
훈련

정보

행사

시험

[www.kwwa.or.kr](http://www.kwwa.or.kr)

물은 생명 그리고 미래입니다

☞ 문의처 : 한국상하수도협회 기술지원처 위미경 (Tel : 02-384-8151~4)

※ 보다 자세한 사항은 추후 협회 홈페이지 및 공문 등을 통해 공지예정