

## 혼합산화제 발생 System을 이용한 소독 공정 개선 방안

### 1. 서론

인간이 살아가는데 가장 필수적인 요소 중에 하나가 물이다. 수도가 보급되기 이전에는 해마다 수인성 전염병이 돌아 이를 역병이라 하여 수많은 사람이 죽거나 앓았었다. 여름철이 되면 이질이나 콜레라, 장티푸스 등과 같은 수인성 전염병으로 수백 명씩 사망했는데 이러한 문제점을 해결하게 된 것이 수도의 보급이다.

수돗물을 공급하기 위해서는 물을 정수하는 정수장이 필수적으로 필요하며, 또한 여러 공정을 거쳐서 수돗물을 생산하게 된다.

현대 과학 기술의 발달로 정수처리 공정에서의 효율을 높이기 위하여 여러 가지 새로운 기술이 적용되고 있다. 그러나 최종 소독에 쓰이는 소독제는 100년 전이나 지금이나 액체 염소를 쓰는 곳이 거의 대부분이다. 예전의 정수장은 민가에서 멀리 떨어진 곳에 위치하였으나 도시가 팽창을 하면서 정수장 인근까지 사람이 살게 되면서 액체 염소의 문제점이 대두되기 시작하였다. 또한 분석 기술의 발달로 염소 소독으로 인한 소독 부산물이 발암물질로 알려 지게 되었다. 따라서 이에 대한 개선 방안이 시급하다고 판단된다. 여기서는 액체 염소를 이용한 소독의 문제점에 대해 알아보고 그 해결방안의 하나로써 혼합산화제 발생 시스템을 이용한 소독 공정개선에 대해 알아보려고 한다.

### 2. 액체 염소의 문제점

#### 2-1. 정수장에서 사용하는 소독제의 종류

- 1) 액체 염소
- 2) 차아염소산나트륨
- 3) 차아염소산칼슘(일명 클로로칼키)
- 4) 이산화염소(Chlorine Dioxide)
- 5) 오존(Ozone)
- 6) 자외선(Ultra Violet) 등

상기에 기술한 소독제중 이산화염소와 오존, 자외선은 전처리용으로 사용 가능한 소독제이며, 차아염소산나트륨이나 차아염소산칼슘의 경우는 소형 정수장이나 간이 정수장(100 Ton 이하)에서 주로 사용하는 소독제이다. 따라서 중, 대형 정수장에서 주로 많이 쓰이고 있는 액체 염소에 대해 알아보려고 한다.

#### 2-2. 염소의 특징

황등색 기체, 자극성 냄새, 공기보다 무거움(2.5배)  
흡입시 호흡곤란, 청색증, 폐이상 발생

---

※ 공기중에 0.1~1% 존재시 순간적 사망 가능성  
급속을 단시간에 부식시킬수 있는 강산성 물질  
노출시 광범위한 황산성(1 Ton 실린더 노출시 8,000명 치사 가능량)  
유해 위험 물질 분류(산업 안전성)  
독성가스로 분류(고압가스 안전 관리법)

### 2-3. 액체 영소의 문제점

#### 1) 위험성

액체 영소는 고압의 독성 액체로 누출시 바로 기화하여 확산됨. 또한 운반, 저장, 취급시 산업안전 보건법 및 고압가스 안전 관리법에 의하여 여러 가지 계약 및 규제를 받는다. 또한 1 Ton 실린더 1기 누출시 반경 4KM 이내의 8,000명 이상의 인명을 살상할 수 있는 유독가스임. 따라서 유사시 불순분자들의 공격 목표가 될 수도 있음.

#### 2) 소독취로 인한 잦은 민원

수돗물 불신 원인중에 30% 이상이 수돗물에서 나는 영소냄새가 싫다는 것으로 전해 원인중에 1위를 차지하고 있다. 따라서 소독취를 없애는 것이 수돗물 불신을 줄이는 중요한 요소라 하겠다.

#### 3) 소독 부산물

수돗물을 공급하기 위하여 행하는 소독으로 필수적이라 하겠다. 또한 우리나라는 관말에서의 잔류 영소 수치가 0.2ppm 이상으로 의무화 되어 있기 때문에 영소를 이요한 소독은 어쩔수 없는 필요악이라 하지 않을 것이다. 그러나 영소 소독으로 인한 소독부산물(THMS와 HAA5 등)이 암 유발 물질로 알려지면서 소독 부산물을 최소화 하는 것이 중요하다 할 것이다.

#### 4) 잔류성 문제

도시가 팽창을 하고 정수장에서 공급하는 급수체계가 광역화되면서 영소의 잔류성 문제가 심각하게 대두되고 있다. 특히 환절기에는 상당히 많은 지역의 관말에서 병정 잔류 영소가 검출되지 않는 경우가 발생하고 있기 때문에 관로상에서 재영소 투입 시설을 검토, 설치하는 곳이 증가하는 추세이다. 따라서 보다 잔류성이 우수한 영소계 소독제를 사용하는 것이 문제 해결에 도움이 되리라 판단된다.

#### 5) 생물막(Biofilm)문제

관말에서의 법정 잔류 영소 농도를 규정하는 것은 급배수 과정에서의 2차 오염 방지와 불활성화된 미생물의 재성장을 막기 위한 수단이다. 그러나 어떠한 이유에서든 관로상에 생물막이 존재한다면 그것은 바로 미생물의 재성장으로 바로 연결이 되기 때문에 관로상의 생물막을 제거하고, 배관 내부를 깨끗하게 유지하는 것이 안전한 수돗물을 공급하는데 지름길이라 할 수 있다.

---

이외에도 여러 가지 문제점이 있을 수 있을 것이다.

이런 문제점들을 해결하기 위하여 여러 가지 방법과 새로운 기술들이 연구 개발되어 소독 공정을 개선하는데 시도되고 있다. 여기서는 최근에 개발된 혼합산화제 현장 발생기에 대한 적용원리와 사례들을 알아보고, 액체 염소를 대체하여 새로운 소독 공정에 적용 가능 여부를 알아보고자 한다.

### 3. 혼합산화제 발생장치(On-Site Mixed Oxidants Generator)

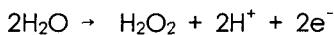
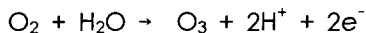
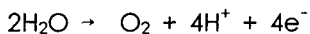
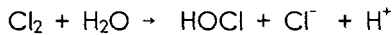
#### 3-1. 혼합산화제 현장 발생기의 원리

소금물을 전기 분해하여 염소를 생산하는 방법은 이미 100년 전에 상업화 되었습니다. 전기분해는 염소의 액체, 기체나 고체 상태를 포함한 모든 염소계 소독제의 생산에 이용됩니다.

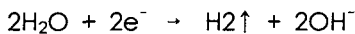
혼합산화제 현장 발생기는 특수 코팅된 촉매를 이용한 전기분해 Cell을 이용하여 여러 가지 산화제를 현장에서 생산하여 투입하는 장치입니다.

전기분해 Cell 내에서의 중요한 전기 화학적 반응은 아래와 같습니다.

- 양극 반응 :

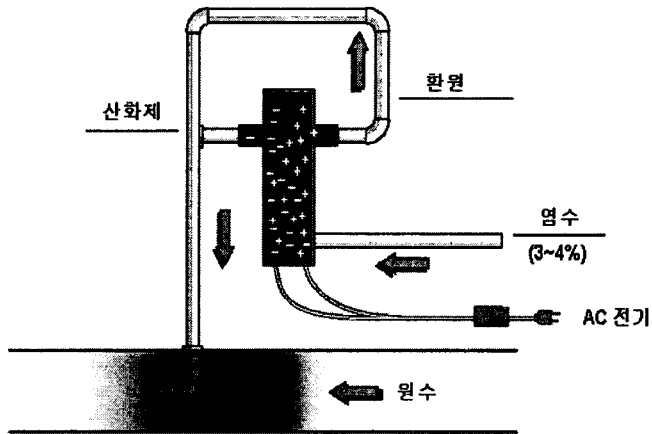


- 음극 반응 :



수소가스는 시스템으로부터 안전하게 배출 ? 위험성이 없음

< 혼합산화제 원리 >



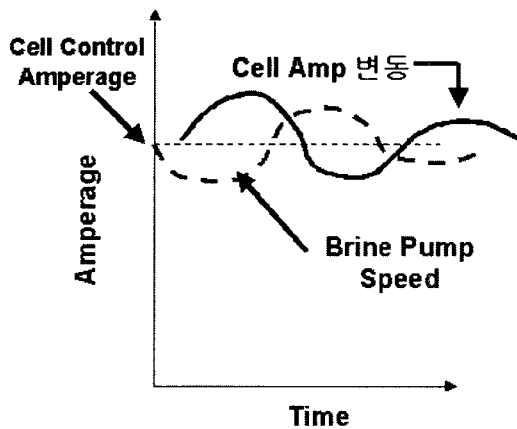
전기분해 Cell Control의 원리는 아래와 같습니다.

Faraday 법칙 Cell 내의 Amperage와 배출되는 염소농도가 비례한다.

만약 Cell Amp가 떨어지면, Controller에서 Brine Pump에 신호를 보내서 회전 속도가 올라가 소금 투입량이 늘어난다.

염도가 증가하거나 전도율이 올라가고 Cell이 더 많은 전류를 당긴다.

Cell Amp가 증가되면 Brine Pump 속도가 감소하여 Cell내에 안정적인 전류 유지 및 염소 생산.



---

### 3-2. 혼합산화제(Mixed Oxidants, 일명 MIOX)의 장점

안정성외에 혼합산화제의 장점 :

- 우수한 살균력
- 발생액의 안정성
- 탁월한 잔류성
- 생물막(Biofilm)이 적게 형성됨
- 미세 응집 효과
- 맛, 냄새 문제 해결
- 간편한 유지 보수
- 암모니아성 질소 제거에 효과적

이상과 같이 혼합산화제는 다른 염소계 소독제가 가지고 있지 않는 장점을 가지고 있습니다. 위와 같은 장점에 대한 미국수도협회(American Waters Association : AWWA) 지에 수록된 현장 보고서를 인용, 고찰해 봄으로써 대체 소독 공정으로써의 가능성을 알아보기로 한다.

< DBPS 절감 >

# 혼합산화제 현장 발생기에 대한 현장 보고서

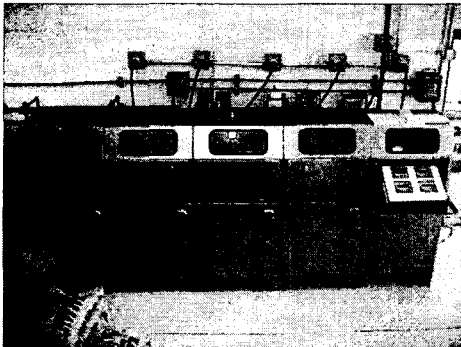
출처 : 2002 American Water Works  
Association(AWWA)

## MIOX 현장발생기 사용으로 DBP 감소

MIOX 현장발생기의 사용으로 Total Trihalomethanes와 Haloacetic Acids가 bromates와 chlorite의 생성 없이 감소되는 것을 증명하였습니다.

안전한 음용수에 관한 법 (Safe Drinking Water Act (SDWA))은 미국 환경청 (US EPA)에 의하여 음용수의 수질을 보호하기 위하여 1974년 제정되었습니다.

음용수에 살균제를 사용하여 여러 균들을 죽이더라도 이런 살균제가 원수와 반응을 하여 건강에 해로운 살균 부산물(Disinfection By-Products, DBPs)을 형성합니다.



이런 기계에서 현장 발생된 혼합산 화제는 염소와 같은 살균력을 가지고 있으며 염소에는 내성을 가진 미생물들도 불활성화를 시킨다는 보고가 계속되고 있습니다.

초기에 정부는 Chloroform, Bromodichloromethane, Dibromochloromethane과 Bromoform(이모든 것을 Total Trihalomethanes(TTHMs)라는 범주로 지명합니다)의 형성을 감소시키는데 주안점을 두었습니다.

TTHMs는 간, 신장 및 신경계통에 문제뿐 아니라 암 발생의 증가 위험을 야기한다는 것을 발견하였습니다.

USEPA는 1979년 10,000명 이상이 음용하는 "대단위 지표수 System"에서 TTHMs의 한계를  $100\mu\text{g}/\text{L}$ 으로 한정하였습니다.

1996년 SDWA에 관한 법 개정에서 미생물 병원체와 DBPs 사이의 위험성에 관한 좀더 균형 있는 시도를 하였습니다.

acid와 mono-, dibromoacetic acids의 새로운 한계를  $60\mu\text{g}/\text{L}$ 로 하였습니다.

Chlorite 와 bromate는 각각 1.0mg/L와 10 µg/L로 한정하였습니다. 이러한 설정1 단계로 살균제/ DBPs 법 (D/DBPR)으로 TTHMs의 허용한계를 80µg/L 이하로 하였습니다. 또한 HAA5 (Five Haloacetic Acids) 즉 mono, di와 trichloroacetic 한계는 규모에 관계없이 모든 살균제를 투입하는 공공 정수처리 system에 적용하게 되었습니다.

이 법은 2002년 1월부터 대규모 지표수 system에 적용되고 2004년 1월부터는 지하수와 소규모 지표수 처리 system에도 적용됩니다. (USEPA 1998)

표 1에서 TTHMs, HAA5, Chlorite와 bromate에 관한 D/DPBR 내용이 있습니다.

## ■ 혼합산화제

MIOX액 현장발생기는 차아염소산 나트륨 현장발생기와 유사한 과정으로 Hypochlorous acid의 근본을 구성합니다.

소금물이 전기 cell을 통하여 혼합산화제를 생산됩니다. 전기 cell의 형태와 작동 특성이 차아염소산나트륨이나 혹은 혼합산화제냐를 결정하는 요소입니다.

< 표 1 > MCLs for Stage 1 D/DBPR \*

DBP†	MCL-mg/L
TTHMs	0.080
HAA5	0.060
Chlorite	1.0
Bromate	0.010

\* MCLs-maximum contaminant levels.  
D/DBPR-Disinfectants/Disinfection By-products Rule  
TTHMs-total trihalomethanes. HAA5-the sum of five haloacetic acids

혼합산화제는 염소와 같은 살균력을 갖고 있습니다. 그러나 여러 곳의 연구기관에서 보고한 바에 따르면 염소에는 저항을 갖고 있는 미생물들도 오존이나 이산화염소와 같이 불활성화 시킨다는 보고가 많이 있습니다.

또한 소금과 물만으로 혼합산화제를 생산하기에 위험한 화학물질에 관계가 없고 안전하다는 것입니다.

더욱이 배수관망에서 염소 잔류가 오래 간다는 것입니다.

혼합산화제액에 염소가 존재하기에 TTHMs와 HAA5의 형성이 일어날 것입니다. 그러나 수많은 사용자들의 사용 증거에서 DBP가 30-50% 감소하였다는 것을 입증하였습니다. 혼합산화제로 처리한 물에서는 chlorite나 bromate가 검출되지 않았습니다.

원수에 전 처리 정도에 따라서 혼합산화제는 DBP 감소에 대한 실용적인 대안이 되고 기존 염소에서 수반되는 안전성과 취급의 번거러움 없이 잔류염소 유지를 용이하게 합니다.



## ■ 혼합산화제 Chemistry

MIOX 사에서 혼합산화제 내에 염소와의 성분에 대한 규명을 직접 밝혀내지 못한 이유는 현존하는 분석 기술의 한계와 복합성 및 여러 산화 화학물의 상호 방해 작용 때문입니다. 전통적인 실험실 방법으로는 대량의 염소 모체 속에서 다른 산화제를 발견하기에는 별 효과를 발휘할 수 없습니다. ; 따라서 이런 방법으로는 혼합산화제 내에서 단지 염소만이 검출될 뿐입니다. (Gordon 1998)

혼합산화제 액의 화학적인 분석은 해결하기 어려운 일 일지라도 생화학적으로는 주목하지 않을 수 없습니다. 혼합산화제 액은 여러 곳에서 사용결과가 단지 염소뿐만이 아닌 다른 성분이 함유되어 있다는 것을 보여 줍니다.

가장 대표적인 증거가 혼합산화제가 염소에는 저항력을 가진 미생물의 불활성화를 시키는 능력이 있다는 것과 (예를 들면 *Cryptosporidium parvum* oocyst) 차아염소산에서 요구되는 것보다 훨씬 낮은 CT값에서 다른 미생물들을 불활성화 시킨다는 것입니다.

혼합산화제를 사용하여 수많은 미생물들을 우수하게 불활성화 시킨 능력은 여러 연구소 및 기관에서 보여주었으며 다음 항에서 언급합니다.

## ■ 불활성화 연구 : *Cryptosporidium. parvum* oocysts.

1996년 Tucson에 있는 University of Arizona에서 최초 실험은 자극법(excitation method)을 사용하였습니다. 연구에서 혼합산화제가 약 2 log10 의 불활성화를 이룬 반면 차아염소산은 아무런 효과가 없었습니다. (Sterling 1993)

1997년 Chapel Hill 에 있는 University of North Carolina와 CDC (Centers for Disease Control and Protection)에서는 신생 쥐에 불임 분석을 통한 *C. parvum* oocyst 의 불활성화에 대하여 혼합산화제와 차아염소산 나트륨을 비교하였습니다. 혼합산화제는 농도 5 mg/L에서 4시간으로 3.6 log10 이상의 불활성화를 이루었으나 같은 CT 값에서 차아염소산 나트륨은 전혀 불활성화가 되지 않았습니다. (Venczel et al, 1997)

*C. parvum* oocysts은 열 유도성 Hsp 70 유전자의 표현을 내성하고 있다는 것을 명백히 지적하였습니다. 억제 범위는 살균 소독처리제의 성질, 접촉시간과 직접적인 연관이 있다는 것을 보여 주었습니다. 2000년에 Colorado Springs의 University of Colorado에서 형광 분류로 열 충격 유전자의 polymerase 연결 반응 확대를 사용하여 2-3-log10 불활성화 실험을 하였습니다. 보고서의 결과는 다른 기간동안 MIOX 액으로 처리된 살아있는 2000년 Chapel Hill의 University of North Carolina의 연구자들은 AWWA의 수질 기술 회의에서 그들이 발견한 것을 발표하였습니다.

혼합산화제는 세균, 세균포자 및 병원체의 불활성화를 1-10분내에 광범위한 효과를 보였습니다. 10분내의 *C. parvum* oocysts의 불활성화는 0 - >3 log10의 범위를 보였으며 이는 세포 모양, 실험 조건 및 경험도에 따라 다르게 나옵니다. (Sobsey et al, 2000)

## • *Legionella pneumophila.*

혼합산화제를 2 mg/L로 10분간 사용으로 pH 8에서 모두 살균을 하였습니다. 반면 차아염소산 나트륨은 세균 농도가 >2 CFU/mL 었습니다. (Barton 1996). 계속된 연구에서 혼합산화제가 차아염소산 나트륨보다 훨씬 우수한 불활성화를 나타내고 있습니다. (Bradford et al, 1997)

- **Pseudomonas aeruginosa. Pseudomonas aeruginosa.**

2 mg/L와 10분간 노출의 사용으로 혼합산화제는 전부 불활성화를 성취하였습니다. 반면 같은 조건으로 차아염소산 나트륨을 사용하였을 땐 세균이 1,200 CFU/mL 남아 있었습니다. (Barton, 1996) 계속된 연구에서 혼합산화제는 차아염소산 나트륨보다 1.6-3.7 log10 높은 불활성화를 나타냈습니다. (Bradford et al, 1997).

2 mg/L와 10분간 노출의 사용으로 혼합산화제는 전부 불활성화를 성취하였습니다. 반면 같은 조건으로 차아염소산 나트륨을 사용하였을 땐 세균이 1,200 CFU/mL 남아 있었습니다. (Barton, 1996) 계속된 연구에서 혼합산화제는 차아염소산 나트륨보다 1.6-3.7 log10 높은 불활성화를 나타냈습니다. (Bradford et al, 1997).

- **Bacillus stearothermophilus. Bacillus stearothermophilus.**

4mg/L, 5분간 노출 및 pH8의 사용으로 혼합산화제는 모두 살균하였으나 차아염소산 나트륨은 세균 농도가 >12 CFU/mL 남았습니다. (Bradford et al, 1997). 계속된 연구에서 혼합산화제가 차아염소산 나트륨 보다 1.5-2.5 log10 높은 불활성화를 나타냈습니다. (Bradford et al 1997)

- **Escherichia coli**

1996년 University of Arkansas 의 Fayetteville에 있는 Center of Excellence for Poultry Science에서 미국 농무성(USDA)의 인가를 받은 대규모 가금(家禽) 공장에 대한 연구를 하였습니다. 조사에서 혼합산화제와 차아염소산 나트륨의 E.coli 불활성화에 대한 비교를 하였습니다. (USDA의 규제에는 100 CFU/mL 이하로 한계를 설정하였습니다.) 혼합산화제 sample에서는 평균 22 CFU/mL로 100% 규제이하로 나온 반면 차아염소산 sample의 반은 허용 한계치의 2배 이상인 222CFU/mL로 한계치 이상으로 나왔습니다. (Waldrop et al, 1996)

2001년 University of Georgia의 Athens에 있는 Department of Poultry Science에서 4mg/L, 5분간 노출 및 pH8의 사용으로 혼합산화제는 모두 살균하였으나 차아염소산 나트륨은 세균 농도가 >12 CFU/mL 남았습니다. (Bradford et al, 1997). 계속된 연구에서 혼합산화제가 차아염소산 나트륨 보다 1.5-2.5 log10 높은 불활성화를 나타냈습니다. (Bradford et al 1997)

- **Escherichia coli**

1996년 University of Arkansas 의 Fayetteville에 있는 Center of Excellence for Poultry Science에서 미국 농무성(USDA)의 인가를 받은 대규모 가금(家禽) 공장에 대한 연구를 하였습니다. 조사에서 혼합산화제와 차아염소산 나트륨의 E.coli 불활성화에 대한 비교를 하였습니다. (USDA의 규제에는 100 CFU/mL 이하로 한계를 설정하였습니다.) 혼합산화제 sample에서는 평균 22 CFU/mL로 100% 규제이하로 나온 반면 차아염소산 sample의 반은 허용 한계치의 2배 이상인 222CFU/mL로 한계치 이상으로 나왔습니다. (Waldrop et al, 1996)

2001년 University of Georgia의 Athens에 있는 Department of Poultry Science의 계속된 연구에서 E-coli의 불활성화에 있어 혼합산화제는 같은 조건의 사용에서 차아염소산 나트륨보다 2.4 log10의 우수성이 있었습니다.

---

2001년 University of Georgia의 Department of Poultry Science의 연구에서 2 mg/L 사용에서 혼합산화제는 차아염소산 나트륨보다 불활성화에서 2.1 log10의 우수성을 보였습니다. (Russell 2001)

- **Salmonella typhimurium**

2001년 University of Georgia의 Department of Poultry Science의 연구에서 2 mg/L 사용에서 혼합산화제는 차아염소산 나트륨보다 불활성화에서 2.1 log10의 우수성을 보였습니다. (Russell 2001)

- **Staphylococcus aureus**

University of Georgia의 연구에서 2mg/L의 사용으로 혼합산화제는 차아염소산 나트륨보다 1.4 log10의 우수성이 있었습니다. (Russell 2001)

- **Listeria monocytogenes**

University of Georgia의 연구 결과 2mg/L의 사용으로 혼합산화제와 차아염소산 나트륨의 비교에서 혼합산화제의 불활성화가 2.3 log10의 우수성을 나타냈습니다. (Russell 2001)

- **Bacillus anthracis**

Utah주 Dugway에 있는 미 육군 Dugway Proving Grounds에서 연구가 진행 중입니다. 초기 결과로는 B. anthracis, Yersinia pestis(plague virus), Klebsiella terrigena, Francisella tularensis와 Vaccina(smallpox)의 불활성화를 나타내고 있습니다. (Wright et al, 2001)

## ■ DBP 감소

혼합산화제 내에 염소외의 다른 산화제가 존재한다는 중요한 다른 요소가 TTHM와 HAA5의 감소에 있습니다. 이런 증거로는 수많은 곳에서 기존 염소 대신 MIOX 제품으로 대체, 사용하여 증명하였습니다.

실사 이런 현상이 혼합산화제를 사용하는 모든 곳에서 나타나지 않았다 하더라도 혼합산화제를 사용하는 곳은 어떤 곳이든 염소를 사용 하는곳 보다 DBP 농도가 높지 않았습니다. 실제 혼합산화제의 가장 큰 잇점 중 하나가 TTHM와 HAA5가 염소를 사용하여 형성된 수위와 비교 시 30-50% 감소한다는 것입니다.

혼합산화제 설비가 설치되어 있는 여러 곳의 현장에서 chlorites, chlorates와 bromates가 생성되는지를 실험하였습니다.

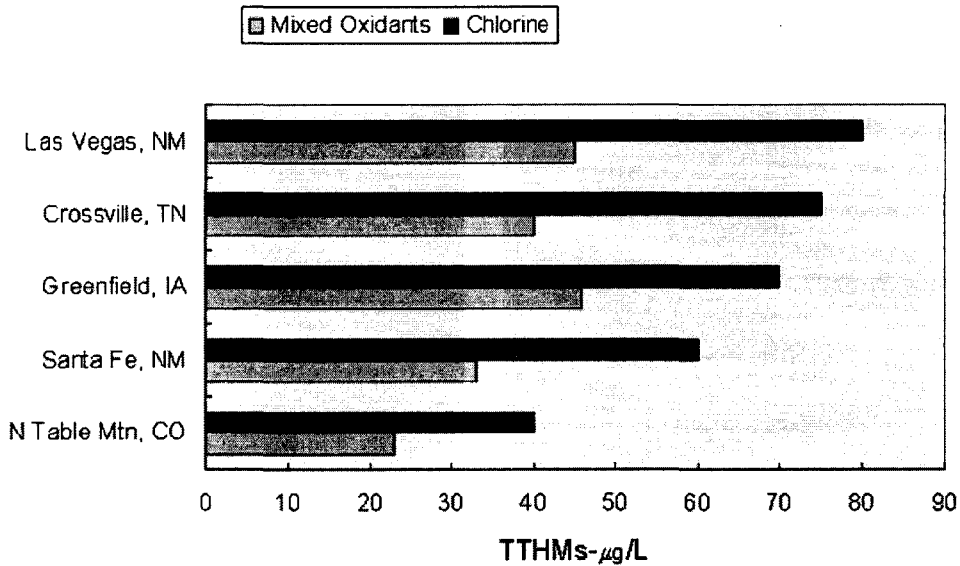
(Herrington et al 1999, Yu & Murphy, 1998; Mangold Environmental Testing, 1997).

---

Chlorite나 bromate 모두 D/DBPR하에 규정되어 있듯이 혼합산화제로 처리된 물에서는 검출되지 않았습니다. 검출된 부산물은 단지 chlorate로 규정되어 있지 않은 물질이며 건강에 무해하다고 알려지고 있습니다.

Chlorate의 형성도 최소화로 FAC 1 mg/L 사용 시 15-33 ug/L 정도 생성되고 있으며 이는 일반 상업용 bleach 에서 검출되는 것보다 비슷하거나 적은 수치입니다. (Environmental Health Laboratories, 1995)

< 도표 1 > 염소와 혼합산화제를 사용하여 DBP 형성 비교



DBP-disinfection by-product. TTHMs-total trihalomethanes

• **Las Vegas, N.M.,**

후처리를 염소 gas에서 혼합산화제로 교체 및 전 처리 소독이 없던 것을 전 처리에도 혼합산화제를 설치하였습니다.

염소 소독 시 TTHM 농도가 평균 80 µg/L 였으나 혼합산화제로 교체, 3 개월 안에 TTHM 형성이 45 µg/L로 감소하여 44%의 감소율을 보였습니다.

이런 감소는 염소 사용 시에는 TTHM의 형성이 너무 과도하여 하지 못했던 청정제의 추가에도 불구하고 혼합산화제 사용 시 되었던 것입니다. (Armijo 2000).

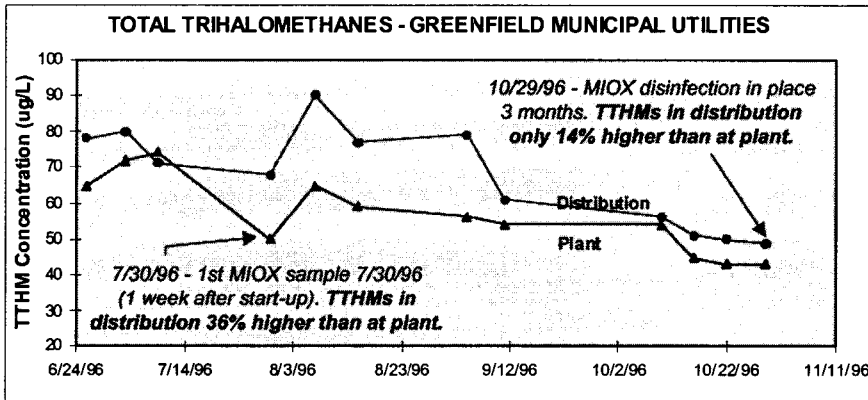
• **Tenn주 Crossville**

Tenn주 Crossville에 있는 Holiday Hills 정수장에서는 2000년 1/4분기에 염소로 살균 소독할 때 평균 75 µg/L의 TTHM과 79 µg/L의 HAA5의 수치를 보였습니다. 작년 후반기 혼합산화제로 교체 후 2001년 1/4분기에 TTHM와 HAA5 모두 40 µg/L로 감소, 각47과 49%의 감소를 보였습니다.(Brownfield, 2001).

• Iowa주 Greenfield Municipal Utilities

Iowa주 Greenfield Municipal Utilities의 보고서에서 혼합산화제로 교체 후 TTHM의 형성이 20-40% 감소하였다고 하였습니다. 처음에는 배수관망의 TTHM 이 정수장의 TTHM 수준보다 약 36% 정도 높았습니다. 혼합산화제를 사용한 2개월 후 배수관망의 TTHM은 정수장보다 단지 14% 높았을 뿐 아니라 배수관망내의 유기물질도 제거되었습니다. (Duben 1996).

< 도표 2 > Iowa 주의 Greenfield Municipal 설비에서 TTHM의 감소



TTHMs-total trihalomethanes

• N.M주 Santa Fe

N.M주 Santa Fe시에 있는 The Sangre de Cristo Water Company에서도 전, 후처리에 혼합산화제를 사용합니다. 이곳에서는 TTHM 형성이 너무 과도하여 전 처리에 염소를 사용할 수가 없었습니다. 그럼에도 불구하고 혼합산화제는 전 처리 및 우물에도 투여하였습니다. 염소의 경우에는 한곳에만 투입되던 것입니다. TTHM은 >80 µg/L의 정점에서 평균 60 µg/L 였던 것이 33 µg/L로 감소하였습니다. 약 50% 감소하였습니다. (Herrinton et al, 1999)

• Colorado주 Golden시

Colorado 주 Golden시 근처에 있는 Jefferson county의 North Table Mountain 정수처리장에서는 여과와 소독 공정의 2단계로 분리되어 있습니다. 여과 공정에서 TTHM 형성이 약 37%, HAA5가 30%정도 감소하였습니다. 계속해서 염소에서 혼합산화제로 교체 후 추가로 TTHM 및 HAA5가 각 44%씩 감소하게 되었습니다. 이렇게되어 여과와 혼합산화제 소독에서 총 TTHM이 64%, HAA5가 61% 감소하였습니다. (Jeschke 2000a). 도표 1은 5곳에서 염소와 혼합산화제를 사용하여 DBP 감소를 비교하였습니다.

## ■ 반응 차이에 대한 이론

실험실 및 현장에서의 사용결과 비록 분석학적으로 혼합산화제에서 염소만이 측정되었다고 하더라도 염소와 혼합산화제의 반응에 확실한 차이가 있습니다.

혼합산화제는 차아염소산 보다 확실하게 DBP 형성이 현저히 감소되었다는 여러 현장 보고서들이 있습니다. 이런 이론에는 비염소계 (nonchlorine) 산화제의 우선적 활동, biofilm 제거, 적은 사용량으로도 오랜 잔류 유지, 전구물질 제거를 위한 미세 응집 등이 포함되어 있습니다.

### • 비염소계(nonchlorine) 산화제의 우선적 - 작용

혼합산화제 내에는 염소 성분 외에 chlo-oxygen 종류가 물 속의 유기물질과 반응, 산화 요구량의 감소, THM 및 HAA5의 원인이 되는 물질을 제거하는 등의 반응을 할지도 모릅니다.

이런 다른 종류가 더 빠른 활동을 하고 혼합산화제내의 염소의 출현보다 물 속의 성분들과 우선적인 반응을 하여 반대 효과의 원인이 될 것입니다.

이런 다른 종류의 것들은 염소량에 비해 수 분 혹은 단기간 존재하기 때문에 전체를 제거하기에는 충분치 않습니다. 그래서 남아있는 유기물질이 염소와 반응을 하여 THM 과 HAA5를 만들어 내게 됩니다. 이 이론은 추론적이고 아직 검증이 완료되지 않았습니다.

### • Biofilm 제거

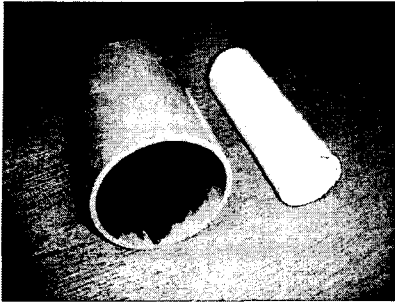
혼합산화제가 배수관망 및 정화조에서 biofilm과 algae를 깨끗이 한다는 확실한 실증적 증거가 있습니다. 소독제로의 염소와 같이 존재할 수 있는 biogrowth는 혼합산화제로 교체 후 짧은 기간에 전형적으로 제거되었습니다. 혼합산화제 발생기를 처음 설치 후 배수관망에서의 분출은 system이 안정될 때 까지 기존에 부착되어 있는 biosolid를 제거하기 위하여 필요합니다. 안정이 되는 기간은 일반적으로 1-2개월이 걸립니다. 그러면 관망에는 혼합산화제를 사용하는 한 biofilm과 algae가 없는 깨끗한 상태가 됩니다.

궁극적인 효과는 biogrowth 감소는 염소와 반응을 할 수 있는 유기물질을 줄여서 DBP 형성이 감소됩니다. 배수관망에서 biofilm의 제거는 배수관망에서 DBP 수위가 정수장에서 관찰된 수위보다 현저히 높아지지는 않는다는 것을 의미합니다. H.R. Green Engineers에서 행한 연구 data에서 이런 효과(Duben, 1996)를 실증하였습니다. 혼합산화제를 사용한지 3개월 후 배수관망에서 THMs의 감소가 정수장에서의 수위 보다 더 빨리 감소하였습니다.

처음 혼합산화제 시설로 교체 하였을 때 배수관에서의 THMs는 정수장보다 36% 정도 높았습니다. 3개월 연속 작동 후 배수관에서의 THMs는 정수장보다 단지 14% 높았습니다. 결국 배수관에서의 THMs 감소가 정수장보다 2배 가량 좋아졌다는 것입니다. 도표 2에서 위치별 THMs 감소를 요약해 놓았습니다.

혼합산화제를 사용한 Biofilm 제거 및 감소에 대한 보고는 다른 수많은 곳에서도 있습니다.

< 사진 1 >



염소 gas로 살균하여 biofilm이 관속에 응고한 sample (왼쪽) 혼합산화제 처리로 관내부에 한정도 응고물이 없는 깨끗한 상태(오른쪽)

• Texas주 Diana

Texas주 Diana의 Diana water Supply Corp에서는 2개의 배수관을 동시에 개봉하였습니다. 2곳의 관은 모두 같은 대수층(aquifer)에서 물을 끌어 오나 한곳은 염소 gas로 소독하고 다른 한 곳은 혼합산화제로 소독을 하였습니다. 염소로 소독을 한 관은 소독 장소로부터 단지 200 ft(61m 떨어진 곳)에 biofilm이 존재하였습니다. 혼합산화제를 사용한 곳은 0.5 mil (0.8km)지점에서 개봉을 하였습니다. 예상은 훨씬 오염이 많이 되어 있을 것이라는 것입니다. 그러나 혼합산화제를 사용한 곳의 관은 점(Spotless)조차 없었습니다.

< 사진1 > 참조

• Mont주 Great Fall에 있는 KOA 야영장

Mont주 Great Fall에 있는 KOA 야영장에서는 수영장과 음용수 소독으로 종전에는 차아염소산나트륨을 사용하였습니다. 혼합산화제로 교체 후 전부터 배수관망에 누적되었던 biofouling이 제거 되었다고 관계자는 보고 하였습니다.

차아염소산나트륨을 사용할 때 샤워기에 형성되었던 검은 slim이 사라졌습니다.

차아염소산나트륨을 사용할 때 잦은 정전으로 배수관에 압의 손실이 발생하여 관내에 biofouling의 결과가 되었고 압이 차면 배수관에서는 항상 배출이 되었습니다. 반면 혼합산화제 발생기로 교체 후 배수관에서는 배출이 전혀 없습니다. 혼합산화제로는 수영장 표면에 algae 성장이 없었고 차아염소산나트륨을 사용하는 실외 수영장에서 일반적으로 필요한 살조제의 필요가 없어졌습니다.

(Crayton et al, 1997)

• N.M의 Las Vegas시

N.M의 Las Vegas시 역시 혼합산화제 사용으로 현저히 개선된 사항을 보고하였습니다. 염소 gas를 사용할 때에는 1.5~2 in 두께(38~51 mm)정도의 algae mat가 침전조에서 자라고 있었습니다. 종사자들은 몇 주에 한번씩 배수시키고 algae를 끌어내는 일을 하였습니다. 세척 과정도 약 20 시간 소요되었습니다. 혼합산화제로 교체 후 어떤 algae의 성장도 관찰되지 않았습니다. (Armijo 2000)

- **Hazlet, Sask**

Hazlet, Sask 에서는 우물물 소독에 차아염소산 나트륨 대신에 혼합산화제 발생기로 교체하였습니다. 차아염소산나트륨을 사용할 때에는 수질에 대한 심각한 경험과 물탱크 사다리와 벽에 검은 film의 성장을 경험하였습니다.

혼합산화제로 교체 한 달내에 사다리와 벽의 검은 film이 거의 사라졌습니다. (Sletten, 2000)

- **중서부의 pilot test**

중서부의 pilot test 장소에서 혼합산화제가 4개의 표준 침전조<sup>1)</sup> 중 한곳에 주입이 되었습니다. 8시간 안에 튜브내의 biogrowth 제거가 관찰되었고 1주일 후에는 튜브 내의 고형물질들이 짙은 갈색으로 변해서 떨어져 나갔습니다. ( Gould, 2000)

- **California 주 Los Angeles시의 Orange County**

California 주 Los Angeles시의 Orange County 에서는 biofilm의 형성과 제거에 대한 새로운 기술을 개발하였습니다. 실험은 미 첨단 방위 연구청(Defense Advanced Research Projects Agency)의 기금으로 선별된 biofilm에 혼합산화제와 염소를 사용하여 하였습니다. 첫 결과는 biofilm을 제거하기 위하여 혼합산화제의 사용량이 염소 보다 많이 소요되었습니다.

그러나 계속된 연구결과 혼합산화제는 biofilm이 물질의 표면에 달라붙기 위하여 발전되는 단백질 기질(基質, substrate)까지도 제거한다는 것입니다. 그러나 염소는 기질을 제거하지 못합니다.

초기 결론은 혼합산화제 처리를 한 막(membrane)에는 염소로 처리한 막보다 biofilm이 자체의 힘으로 재 생성되기에는 더 많은 시간이 필요하며 더 어렵다는 것입니다.

- **적은 양으로도 오랜 잔류**

혼합산화제는 기존 전통적인 염소 보다 훨씬 긴 FAC 잔류를 합니다.

혼합산화제 FAC 잔류는 긴 관망에서 오랜 시간 잔류합니다. 이것은 배수 관망내에 산화 요구를 만들어내는 Biofilm 같은 기질의 제거와 관련이 있습니다. 추가로 오랜 잔류로 관망에서 같은 잔류량을 유지하기 위해서 정수장에서는 사용량을 줄입니다. 배수관망이 안정된 후에는 대부분의 혼합산화제 사용자들은 최종 30%의 사용량 감소가 있다고 보고하였습니다. 사용량 감소의 두번째 효과는 DBP 형성 감소와 관련이 있습니다. 염소 요구가 줄어들기 때문에 System 내에 적은 염소가 유기물질과 반응하게 됩니다. 마지막 결과는 DBP의 감소와 연관이 있습니다.

다음의 장소는 사용량을 줄여서도 잔류가 개선된 것을 관찰한 것입니다.

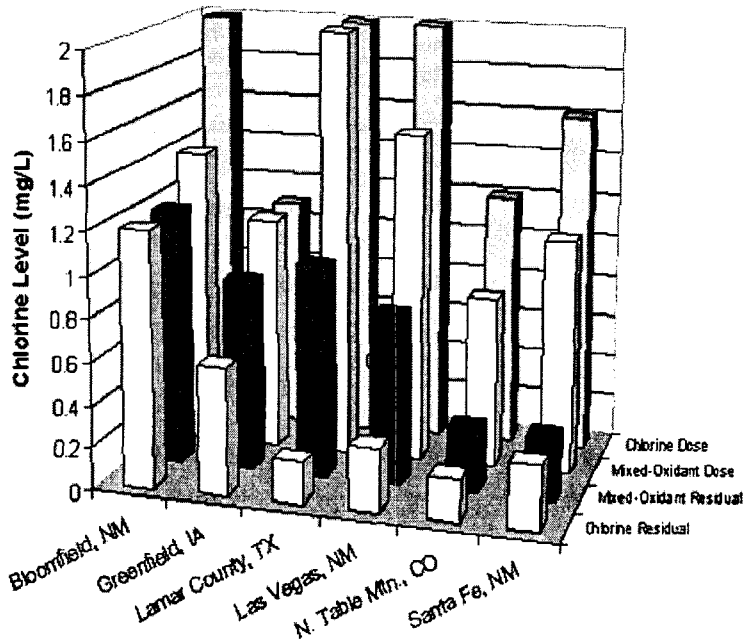
그들 중의 대부분은 또한 TTHM, HAA5가 둘 다 감소되었다고 보고하였습니다.

---

1) Infilco Accelator, Richmond, Va



< 도표 3 > 염소와 혼합산화제의 투입량과 잔류량 비교



• **Bloomfield NM**

Bloomfield NM 에서는 관망에서 1.2mg/L 잔류를 유지하기 위하여 염소가스로 2mg/L를 사용하였습니다. 혼합산화제로는 사용량을 30% 줄여서 단지 1.4mg/L를 사용하여, 관망 모든 곳에서 잔류 1.2mg/L를 유지하였습니다. 추가로 정수장에서는 염소가스를 사용할 때는 방새 잔류염소의 손실로 인하여 아침에 몇 시간씩 가동을 하여 잔류염소를 필요수준으로 올렸습니다.

(Ruybalid, 1999)

• **Iowa주 Greenfield municipal utilities**

Iowa주 Greenfield municipal utilities 에서는 9마일 떨어진 Orient에 수돗물을 공급하였습니다. 염소가스를 살균제로 사용할 때는 Orient에서는 유입수의 염소잔류를 유지하기 위하여 재염소 설비를 투입하였습니다.

Greenfield에서는 혼합산화제 교체 후 Orient지역 전 배수 관망의 FAC 잔류량이 유지되었고, 추가 재염소 투입설비는 중단되었습니다. 또한 교체 후 수개월 안에 Greenfield에서는 THM이 20~40% 감소하였다고 보고하였습니다.

- **Texas, Brookstone 시 Lamer Count 정수장**

Texas, Brookstone 시 Lamer Count 정수장에서는 염소가스를 사용하였을 때 40km의 배수관망에 관말 잔류염소 0.2mg/L를 유지할 수 없었습니다.

반면 혼합산화제를 같은 양으로 사용하였을 때 관말에 1mg/L의 잔류를 유지하였습니다. (American City & County, 1997)

- **NM Las Vegas**

NM Las Vegas에서는 배수관망에 0.3mg/L의 잔류 염소를 유지하기 위하여 염소가스를 사용하여 2mg/L를 주입하였습니다.

혼합산화제를 사용함으로써 사용량을 15~30% 줄였습니다. (1.4~1.7mg/L) 그리고 배수관망에서 0.8mg/L 이상의 잔류염소를 유지하였습니다.

추가로 정수장에서는 TTHM이 43% 감소하였다고 보고하였습니다. (Armijo, 2000)

- **Colorado 주에 있는 North Table Mountain 정수장**

Colorado 주에 있는 North Table Mountain 정수장에서는 배수관망에 잔류염소 0.2mg/L 을 유지하기 위하여 염소 가스로 1.2mg/L를 사용하였습니다. 혼합산화제로 사용 후 사용량이 33% 감소한 0.8mg/L를 주입하였습니다. 전 배수관망을 통하여 0.3~0.4mg/L의 안정적인 잔류를 유지하였습니다. 이곳에서도 역시 TTHM과 HAA5가 44% 감소하였다고 보고하였습니다.(Jeschke, 2000)

- **Santa Fe의 Sanzre de Cristo Water Co**

Santa Fe의 Sanzre de Cristo Water Co에서는 혼합산화제로 교체 후 염소 사용량의 31%(1.6~1.1mg/L) 를 감소시킬 수 있었습니다. 그리고 관망의 모든 지점에서 같은 잔류를 유지할 수 있었습니다. 이곳에서도 역시 TTHM형성이 50% 줄었다고 보고 하였습니다. (Herrington et al, 1999)

도표 3은 여섯 군데의 정수장에서 혼합산화제로 교체 하기전과 후에 사용량과 잔류를 비교하였습니다.

- **미세응집**

미세응집은 같은 최종 탁도를 위한 응집요구의 감소 혹은 같은 응집요구에 대한 최종 탁도의 감소중 하나에 대한 응집생산을 향상시키는 것으로 한정합니다. 진행과정은 미세응집이 발생하는가를 결정하기 위하여 개발되어 왔으며 미세 응집효과를 최대화하기 위하여 개발되어 왔습니다. 정화과정의 개선은 탁도의 감소와 DBP 감소 그리고 alum과 polymer같은 화공약품의 투입감소를 가져왔습니다. 응집과정의 향상은 DBP형성에 대한 여러 가지 전조를 제공합니다. 전처리로 혼합산화제를 설치한 곳에서는 미세응집 효과를 보고하였고 전통적인 염소에서는 볼 수 없었던 TTHM과 HAA5의 감소에 대한 보고가 있었습니다. 이러한 곳에서는 TTHM의 과도한 형성으로 염소 전처리를 할 수 없었습니다. 두 곳의 투입지점에서 더 많은 양의 산화제를 투입하여 전체적으로 DBP감소를 보았습니다. 표2는 혼합산화제를 사용한 다섯 곳에서 미세 응집효과를 보여줍니다.

---

< 표2 > 혼합산화제를 사용한 미세응집 효과

설치 장소	응집제 소모			탁도 효과			응집제 소모
	종 전	현사용	전후 감소 %	종 전	현사용	전후 감소 %	감소 %
Crossville, Tenn.	90gpd (0.34m <sup>3</sup> /d)	70 gpd (0.26m <sup>3</sup> /d)	22	NA†	NA	NA	47
Greenfield, Iowa	14.7mg/L	8.9mg/L	40	0.107	0.065	39	>20
Las Vegas, N.M.	10.5mg/L	7.5mg/L	29	0.07	0.03	57	44
Midwestern site	Data not available	Data not available	Data not available	2.0	0.4	80	NA
Santa Fe, N.M.	90mg/L	54 mg/L	40	0.60	0.18	70	>45

\* TTHM-total trihalomethane

† NA-not applicable

• **Tenn주 Crossville**

Tenn주 Crossville에서는 혼합산화제를 전처리와 후처리에 사용합니다. 처리된 물의 탁도는 염소를 사용할 때에도 굉장히 낮았습니다.(~0.1NTU)혼합산화제액을 사용하여 더 이상의 탁도는 없었습니다. 그러나 혼합산화제로 교체 후 alum소비가 22% 줄었으며 TTHM과 HAA5 농도는 47~49%로 떨어졌습니다.(Brownfield, 2001)

• **Iowa주 Greenfield Municipal Utilities**

Iowa주 Greenfield Municipal Utilities에서는 망간의 제거를 위하여 혼합산화제로 전처리 합니다. 이 시설에서 조건이 최적일 때 과망간산칼륨의 사용을 재고 할 수 있습니다. alum의 사용을 40% 적게 하였고 탁도는 39% 감소하였습니다. 이곳에서도 역시 TTHM이 20~40%정도 감소하였다고 보고하였습니다. (Herrington et al, 1997)

• **N. M주 Las Vegas**

N. M주 Las Vegas에서는 혼합산화제를 전처리로 사용하여 alum요구가 29%감소 처리수의 탁도가 57%감소하게 되었습니다. TTHM수위도 44% 감소하였습니다. (Armijo, 2000)

• **Midwest pilot-test**

Midwest pilot-test에서 혼합산화제를 물의 sidestream 흐름의 전처리로 사용하였고, 기존 4군데의 Upflow 침전조의 한군데의 full scale로 사용하였습니다. 기술자는 침전조의 방출수에서 pinfloc재고와 다른 침전조에 비하여 방출수질이 괄목할 만 하게 개선되었고 침전조의 algae 제거에 긍정적인 효과가 있었다고 보고하였습니다. 추가로 총 유기 carbon이 12% 떨어졌고, 전조의 재고에 대한 자료를 준비하고 있습니다. (Gould, 2000)

## • Sangre de Cristo

Sangre de Cristo 정수장에서는 1998년 지표수 8mgd(30,000Ton/d)의 전처리에 혼합산화제를 사용하였습니다. 교체하기 전의 탁도 수위는 0.6NTU로 0.5NTU 한계선을 넘었습니다. 이 정수장에서는 봄철에는 탁도 유지를 위하여 단지 4mgd의 방출을 유지하였습니다. 혼합산화제로 교체 후 종업원들은 alum요구가 감소되었다는 것을 알았습니다. 그들은 초기 보고에서 alum요구가 39% 감소되었고 탁도가 여름철에 0.25NTU 겨울철 0.01NTU로 감소하였다고 보고하였습니다. 또한 그들은 방출수를 10mgd (38 ML/d)로 까지 증가시켰습니다. 봄철 기간에도 floc 형성률이 더욱 빨라서 탁도 농도의 영향이 없었습니다. (Herrington et al, 1999)

최근 운전반원들의 보고서에서는 alum요구가 60% 감소하였고 탁도가 더욱 낮아졌다고 보고합니다.

## ■ 결 론

수많은 소독 대체품 중에 혼합산화제는 안전성과 USEPA에서 요구하는 염소 잔류 그리고 DBP감소를 제공할 수 있는 유일한 기술입니다. USEPA는 새로운 DBP한계의 법을 집행하기 때문에 모든 정수장은 그들의 실정에 맞는 최고 기술을 조사할 필요가 있을 것입니다. 혼합산화제는 다른 염소 기술들과 비교 하였을 때 괄목할 만한 이점이 있습니다. 즉, 우수한 불활성 능력과 DBP형성 감소 등은 차아염소산 나트륨 현장 발생기 보다 월등한 효과가 있습니다. TTHM과 HAA5 형성의 감소에 대한 것과 비염소계 산화제의 우선적 활동, biofilm의 제거, 적은 양으로도 오랜 염소 잔류, 전조 제거를 위한 미세응집에 대한 많은 보고서가 있습니다. 단지 단하나 - 비염소계 산화제의 우선적 활동- 만이 아직 입증되지는 않았습니 다 그 이외의 다른 모든 것은 수많은 현장에 설치하여 운영근거로 입증되었습니다.

1단계 D/DBPR에 대한 법령에서 US EPA는 염소, chloramines와 이산화염소를 사용하는 사용자들은, “ 최상의 기술은 소독제 요구량 감소를 위한 처리과정의 Control과 살균제의 수위를 줄일 수 있는 살균 처리과정의 Control ” 이라고 언급하였습니다.(US EPA, 2000)

혼합산화제는 단독으로 다른 화학약품의 사용이나 취급기술이 없이도 산화제 요구의 감소 및 화학약품의 전반적인 사용을 둘 다 줄일 수 있는 것을 보여줍니다. 비록 현존 분석기술로는 혼합산화제에서 단지 염소만이 검출되지만 염소 단독으로는 혼합산화제를 설치한 곳에서 보고한 사용량의 감소, 높은 잔류성과 DBP 수위의 감소 등을 이루어낼 수 없습니다. 혼합산화제 액은 Sodium(Salt)와 물(H<sub>2</sub>O)로부터 생산됩니다.

액 안의 다른 구성요소로는 Chlor-Oxygen 요소라는 것이 확실합니다. 수백 곳의 혼합산화제를 사용하는 사용자 중 단 한곳도 염소를 사용하였을 때보다 DBP 형성이 높다고 한 곳은 없습니다. 실제 혼합산화제액안의 가능한 요소를 가지고 부산물과 관련된 테스트를 한 결과 염소나 혹은 차아염소산나트륨 현장발생기 보다 낮은 TTHM 과 HAA5의 형성을 보였습니다. 추가로 혼합산화제로 처리된 물에서는 Chlorite와 Bromate가 발견되지 않았고, Chlorate의 생산은 일반적인 모든 차아염소산액보다 훨씬 낮은 수준이었습니다.

요약을 하면 정수장 및 California의 물 재사용(California Cod Regulations 2001)을 위한 물 순환 요구에 따른 하수처리장 시설은 우수한 살균력과 안정된 염소잔류, 안전성 및 낮은 DBP 형성을 구비하여야 될 것입니다. 혼합산화제로의 향상된 처리능력에 대한 보고는 문서화가 되어 있습니다. 그리고 살균 소독이 요구되는 새로운 계획이 있는 곳이나 재구성하려고 하는 곳은 고려를 하여야 할 것입니다.

**\* Beth Hamm**

\* 저자 소개 : Beth Hamm is water utility consultant with Tetra Tech Inc.,  
800 Corporate Dr., Lexington, KY 40503, (859)223-8000, e-mail  
hamme@tetrattech.com.

저자는 Cumberland에서 “화학 BS” 학위 Eastern Kentucky University  
에서 화학 MS 학위를 받았습니다. 저자는 정수장에서 14년간에 종사하였고,  
AWWA에서 활동하였습니다. AWWA National Disinfection Committee  
응집, 여과 및 운영표준화 위원회에 속해있습니다.

## REFERENCES

- American City & County, 1997. Supplier Using Mixed Oxidants for Better Quality
- Armijo, F., 2000. Personal Communication
- Barton, LL, 1996. Disinfection of Simulated Cooling Water University of New Mexico, Albuquerque.
- Bradford, W. et al, 1997. Results of Tests Comparing the Disinfection Effectiveness of Mixed-Oxidant Solution and Sodium Hypochlorite in Simulate Cooling Water. Los Alamos Technical Associates, Los Alamos, N.M.
- Brownfield, J., 2001. Memorandum Regarding Crossville Data. S.O.S. Inc., Cleveland, Tenn.
- California Code of Regulations, 2001. California Health Laws Related to Recycled Water. " The Purple Book" Excerpts From the Health and Safety Code, Water Code, and Titles 22 and 17 of the California Code of Regulations, Berkeley, Calif.
- Crayton, C. et al, 1997. Final Report on the Validation of Mixed Oxidants for the Disinfection and Removal of Biofilms From Distribution System. Montana Water Resources Center, Montana State University, Bozeman.
- Duben, M., 1996. Pilot Study Final Report Mixed-Oxidant Disinfection System at Greenfield, Iowa. Howard R. Green Co. Consulting Engineers, Des Moines, Iowa.
- Environmental Health Laboratories, 1995. Analysis of Sample From a MIOX SAL-80 Cell. South Bend, Ind.
- Gordon, G., 1998. Electrochemical Mixed-Oxidant Treatment Chemical Detail of Electrolyzed Salt Brine Technology. Miami University, Oxford, Ohio.
- Gould, B., 2000. Midwestern Water System Claricone and MIOX Pilot Study Results. Lawrence A. Lipe & Assoc., Benton, III
- Herrington, R. et al, 1999. Performance of a Conventional Surface Water Plant Using Mixed Oxidants for Microflocculation and Final Disinfection. Proc. 1999 AWWA Ann. Conf., Chicago.
- Herrington, R. et al, 1997. Pilot Study Report. Mixed-Oxidant Disinfection System at Greenfield, Iowa. MIOX Corp., Albuquerque, NM.
- Jeschke, R., 2000a. Memorandum to the North Table Mountain Water and Sanitation District Board of Directors. Golden, Colo.
- Jeschke, R., 2000b. Personal Communication.

- Mangold Environmental Testing Inc., 1997. Analysis of Sample From Greenfield Municipal Water Utilities. Greenfield, Iowa.
- Phipps, D. & Rodriguez, G., 2001. Comparison of the Efficiency of Bacterial Removal and Reduction of Bacterial Viability by Mixed-Oxidant Solution(MOS) and Chlorine(as NaOCl) on a Reverse Osmosis Membrane. Water Resources & Technol. Dept., Orange County Water District, Los Angeles.
- Russell, S. M., 2001. A Comparison of MIOX Versus Bleach for Eliminating Pathogenic Bacteria Associated With Poultry Products. University of Georgia, Department of Poultry Science, Athens, Ga.
- Ruybalid, C., 1999. Personal Communication.
- Sletten, L, 2000. Personal Communication
- Sobsey, M.D. et al, 2000. Inactivation of *Cryptosporidium Parvum* Oocysts and Other Waterborne Microbes by Oxidants Generated Electrochemically From Sodium Chloride From Portable Pen and Bench-scale Systems. University of North Carolina, Chapel Hill, N.C.
- Sterling, C., 1993. Testing of the MIOX Electrolytic Disinfecting System for Inactivation of *Cryptosporidium* Oocysts. University of Arizona, Tucson, Ariz.
- USEPA(US Environmental Protection Agency), 2001. Implementation Guidance for the Stage 1 Disinfectants/ Disinfection Byproducts Rule. EPA 816-R-01-012, Ofce. of Water(4606), Washington.
- USEPA. 1998. Stage 1 Disinfectants and Disinfection Byproducts Rule, EPA 815-F-98-010, Ofce. of Water(4607), Washington.
- Venczel, Let al, 1997. Inactivation of *Cryptosporidium Parvum* Oocysts and *Clostridium Perfringens* Spores by a Mixed-Oxidant Disinfectant and by Free Chlorine. *Applied & Envir. Microbiol.*, 63:4:1598
- Waldroup, A ; Doyle, M.; & Scantling. M., 1996. Onsite Generation of Chlorine Solutions for Poultry Processing Applications. University of Arkansas, Center of Excellence for Poultry Science, Fayetteville. Ark.
- Wright, J.D.; Dvorak, T.J. ; & Harper, B.G., 2001. Interim Report. MIOX Disinfection Pen and the Mesosystems. Mesostill Agents of Biological Origin(ABO)Disinfection Test Life Sciences Div., W. Desert Test Ctr., US Army Dugway Proving Ground, Dugway, Utah.
- Yu, C.H. & Murphy, J.K., 1998. Demonstration Testing of Onsite Electrolytic Generation of Disinfectants. EPRI-CEC, St. Louis, Mo.

COPYRIGHT@2002 AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION