

오존발생기를 이용한 고도정수처리기술 동향 및 전망

조 국희*, 김 영배*, 서 길수*, 이 형호*, 이 광식**, 송 현직**, 이 상근**

* 한국전기연구소, ** 영남대학교

The Trend and Prospect of Advanced Water Treatment Process using Ozonizer

Kook-Hee Cho*, Young-Bae Kim*, Kil-Soo Seo*, Hyeong-Ho Lee*, Kwang-Sik Lee**, Hyun-Jig Song**, Sang-Keun Lee**

* Korea Electrotechnology Research Institute, ** Yeungnam University

Abstract

Over the years manufacturers have become increasingly aware of the importance of water purity and its effect on the quality of the final product. One of the largest problems that confronts pure water system operators is bacterial recontamination shortly after the water purification equipment. There are several recommended methods of either preventing or removing such contamination but most have inherent disadvantages.

Drinking water has required new treatment techniques such as ozonation and granular activated carbon(GAC) filtration. Ozone is known to be a powerful oxidant and disinfectant. Therefore it has been found to be necessary for the treatment of taste, odor and color as an oxidant of inorganic and organic compounds.

1. 서 론

최근 산업사회의 고도정수장으로 수질은 가정하수, 공장 폐수, 농경지 및 골프장 유출수 등에 의해 오염물질이 다양화되고 있으며, 소량이지만 물에 400종 이상의 유기 화합물이 있는 것으로 알려져 있다. 또한 저수지의 부영 양화 현상과 하천 중하류 지역의 오염심화로 유기물, 조류 및 냄새등이 다량 발생함에 따라 이를 상수원으로 이용하고 있는 기존의 정수장에서는 수처리에 상당한 어려움을 겪고 있는 실정이다.

현재 정수장에서 소독을 주목적으로 사용하는 염소는 값이 싸고 사용법이 간편하며 수십년동안 소독제로 사용되었으며, 하천의 수질오염 정도에 따라 전처리로서 파괴점 염소처리법(Breakpoint Chlorination)에 의해 사용량은 계속 하였다. 그러나 1970년대에 이르러 염소의 주입으로 발암성 물질로 알려진 THM(Triharomethane)과 다른 소독부산물의 생성으로 2차적인 오염이 유발된다고 보도된 이래 정수처리법을 근본적으로 변경할 필요성이 대두되었으며 특히, 오존(Ozone)에 의한 탈황, 탈색 및 유기물의 산화와 활성탄을 이용한 흡착과 활성탄 표면에 생성된 미생물에 의한 정수처리에 관심을 갖게 되었다.

오존을 이용한 수처리는 1906년 프랑스 NICE 정수장에서 처음 설치한 이래 유럽지역을 중심으로 운영되었으

며 현재 약 1,100개 정수장에서 사용하고 있다.

미국에서는 식수에 THM 생성과 관련한 유기할로젠 화합물질의 함유 사실이 밝혀진 후 수질규제가 강화됨에 따라 오존 수처리에 관심을 갖게 되었고, 일본에서는 오존을 이용한 고도정수처리에 많은 연구를 수행하고 있다. 우리나라에서는 THM, 유기인 계통의 물질에 대한 수질기준을 설정하였으나 대부분 재래식 수처리공정으로 써 안전하고 깨끗한 물공급을 위한 새로운 수처리법의 도입이 절실히 요구되고 있는 실정이다.

2. 본 론

2-1 오존의 일반적 특성

오존은 산소의 동위체로서 분자기호 O_3 , 분자량 48[g, 밀도 2.14[kg/m³(0℃, 1기압)], 융점 -112[℃(760mmHg)], 비중 1.7로서 상온에서 두꺼운 청색의 층을 형성하지만 일반적으로 무색의 기체로 강한 자극성 냄새(대기중에서 0.01~0.1[ppm]에서도 냄새가 감지됨)가 나며 대기중에서는 산소와 혼합된 형태로 농도가 낮고 육안식별도 어렵다 이와같은 오존은 상수원의 오염이 날로 심각해짐에 따라 정수장 유입원수의 질이 저하됨은 물론 음용수에 대한 수질 규제항목 및 기준이 점차 강화되고 있어 적절한 대처방안으로 이용되고 있고, 수처리 분야에서 오존을 이용하는 주요 목적은 아래와 같다.

가) 소독 및 조류제거

나) 무기물질의 산화

① 철 및 망간의 산화

② 질소 및 황화합물의 산화

다) 유기물질의 산화

① 맛, 냄새 유발 물질 산화

② 폐물: 화합물 산화

③ 농약(살충제) 제거

④ 색도 유발 물질 제거

⑤ THMF(트리할로메탄 생성능), TOXFP(총유기할로젠 화합물 생성능), 유기물질의 생물분해 능력 증대

⑥ 유기물질의 생물분해 능력 증대

라) 용집능력 향상

오존은 각종 병원균의 사멸, 바이러스의 불활성화, 산

화제 및 처리공정을 효율적으로 수행하기 위한 목적으로 이용되고 있으며 또한 수처리에 있어서도 입상활성탄이나 모래여과전에 오존처리를 실시하면 산화반응의 결과 일부를 생물학적으로 분해시켜 활성화될 수 있으며, 응집전에 오존처리를 하면 응집효과를 증대시킬 수 있다.

2-2 각국의 오존이용 현황

가) 미국

미국에서는 맛, 냄새 유발물질의 제거, 탈색, 염소소독 부산물을 감소시킬 목적으로 오존을 이용하고 있으며, 대상물질이 한가지 이상으로 이용되는 경우가 많다. 그리고 원수의 유기물 농도가 높을 때 이를 제거할 목적으로 응집전이나 금속여과전에 이용한다. 미국 Drinking Water Act 수정안등에 규제 대상목이 보다 세분화되고, 기준이 강화되는 등 세계적인 추세를 감안하면 수처리에 오존처리작용이 보다 확대될 전망이다, 1990년 기준으로 약 40개의 정수장이 가동되고 있다.

나) 캐나다

캐나다는 프랑스의 오존처리기술의 영향을 많이 받았으며 염소소독 부산물의 생성을 최소화하거나 색도제거를 위해 많이 이용하고 있다.

다) 프랑스

유럽 특히 프랑스, 독일, 스위스등에서 소독제로서 오존을 가장 먼저 이용하기 시작했으며, 규모가 큰 정수장은 물론 소규모 중규모에 이르기까지 다양하게 이용되고 있다. 프랑스에서는 바이러스를 불활성화시키는데 잔류오존량으로 규제하고 있으며, 오존을 이용하는 정수장의 대부분(80% 이상)이 후오존처리를 하고 있다.

최근에는 여과이전에 오존처리를 하는 중오존처리방법이 크게 주목되고 있다. 이 방법은 자연유기물질의 생물분해성 향상 및 암모니아를 제거할 수 있는 생물학적 처리효과를 얻을 수 있으며 지하수중에 포함된 철과 망간을 제거하기 위해 전오존처리도 하고 있다. 그리고 전오존처리는 응집침전 효과를 증대시킬 수 있으며, 프랑스에서 오존처리를 하고 있는 700개 정수장의 15%정도가 전오존처리 시설을 갖추고 있다. 전오존처리는 색도 제거 효과도 얻을 수 있으며 원수가 부영양화 되었을 때 이용된다.

라) 스위스

1950년 이래 약간 오염된 지하수를 소독을 하거나 심하게 오염된 지표수내의 유기물을 산화시키기 위해 80개 이상의 정수장에서 오존처리를 하고 있으며, 1980년 이후 오존처리 정수장이 계속 증가되고 있으며 이들 정수장의 약 80%가 활성탄 흡착설비도 함께 갖추고 있다.

마) 독일

독일에서는 1950년대에 오존처리설비가 설치되기 시작하여 현재 70개의 정수장으로 그 이용이 확대이용되고 있다. 특히 Mulheim 정수장에서는 지표수 원수를 지하로 채취투시시키기 이전에 오존처리를 하고 있다.

2-3 오존의 발생원리 및 영향 인자

2-3-1 오존 발생 원리

오존은 높은 전기장의 교차 발생의 영향으로 이온화된 산소의 합성을 통해 얻어진다. 이 전극은 매우 좁은 간격으로 분리되어 있고, 전극 사이는 방전을 위한 것으로 단단한 절연 물질이 두전극 간에 삽입되어 있다.

높은 교차 전기적 전위가 발생하면 두 전극 사이에 희미한 보라빛 전열이 방전 극간에 발생한다. 발생하는 발열빛은 '웅' 하는 특성음을 수반하는데 이는 전기적 방전의 증거이다. 이러한 방전은 원료가스가 이온화되는 원인을 제공하여 부분적으로 오존으로 변환시킨다. 보다 적절한 오존발생을 위해 최소한 하나의 절연물은 단단한 것이어야 하며 이것은 전극간에서 원활한 방전을 하게 하고 전극간 전기적 아크를 발생시킨다. 이와 같은 방전 형태는 모든 전극 부분의 표면에서 방전이 되어 흔히 코로나 방전이라고 불리우며 이 방식은 가장 효율성이 높은 오존발생의 형태이다. 절연체는 방전점에서 고른 전위 표피막을 형성시킨다. 이와 같은 절연체는 내구성이 강한 절연체 이어야 하며 교류통과 지점의 저항을 최소화 하기 위해 비유전율이 높아야 한다.

오존발생기는 교류만을 사용하여 작동하며, 절연체는 전자와 이온전하를 교류의 반 사이클 동안 수집하고 교류파장의 다음 반 사이클 동안 다시 방출한다. 전기적 방전에 의해 열이 동반되기 때문에 냉각되어야 하는데 일반적으로 각 집지 전극 주위를 순환하는 물로 이루어져 있다.

2-3-2 오존발생의 영향 인자

오존발생량은 전기공급에 비례한다. 오존발생기의 크기를 제한하기 위해서는 최고치의 전원공급이 절연체의 용융에 가능한 효율성을 유지한 상태로 전달되던 가능하다. 오존 발생기의 농도는 오존발생기의 구조(절연체의 수와 형태, 방전간극 등), 원료가스 특성(산소, 공기), 냉각수 온도, 가스 유량, 전압 및 주파수 등에 영향을 받는다.

3. 활성탄 및 오존을 이용한 고도정수처리기술

3-1 활성탄 공정방식

활성탄은 수 처리시 흡착작용으로 가장 널리 쓰이는 성분이다. 코코넛 껍질이나 석탄 및 나무 등을 고온에서 탄화시켜 만든 활성탄 내부의 무수한 세공들을 이용하여 흡착 가능한 유해물질들을 제거하는 것으로서 과망간산 칼륨 소비물질 등의 용해성 유기물질, 트리할로메탄 전구물질, 맛·냄새물질, 농약성분 등의 미량 유해물질을 제거할 목적으로 도입하는 것이다. 최근 활성탄 처리기술은 안정된 활성탄의 흡착기능을 확보하고 생물활성탄으로서의 처리기능을 유효하게 작용시키는 기법이 사용되고 있다. 고도정수처리기술에서의 활성탄 공정은 활성탄 계량시설, 저장시설, 이송시설, 흡착시설, 재생시설 및 계측시설로 구성되어 있다.

3-2 오존 공정방식

오존은 강력한 산화제이며, 오존처리는 철,망간 등의

무기물의 산화와 맛·냄새 유발물질 제거, 유기물의 부분 산화를 통한 활성탄 처리능 향상 및 일부 유기물의 완전 산화 기능을 가진것으로서 오존공정은 오존발생시설, 오존주입시설, 오존접촉시설, 및 배오존시설 및 감시제어시설로 이루어진다. 오존발생시설은 그림 1과 같이 전원 및 제어장치, 원료공기 공급장치, 냉각장치 및 오존발생기 등으로 이루어져 있으며, 원료공기가 순 산소식 및 공기식인 종류에 따라 발생오존의 농도와 전력사용량에 영향을 준다. 또한 오존은 부식성이 강하므로 사용되는 재질은 금속으로서 스텐레스, 염화비닐수지, 경질 콘크리트 및 유리제품이 선정되어야 한다.

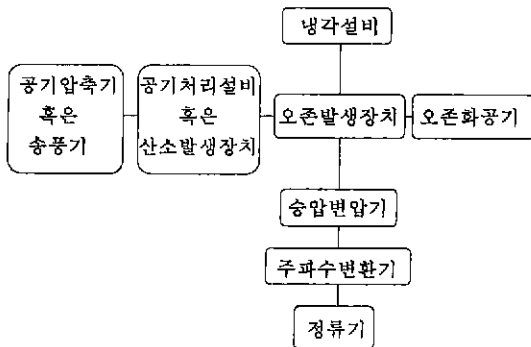


그림 1. 무성방전에 의한 오존발생장치의 구성

오존주입에 있어서 원수의 수질과 수량은 정수장에 따라 다르며, 변동폭의 차이도 있으므로 오존의 주입율과 주입량은 각 정수장에서의 실험결과치를 이용하여 추정하여야 하며, 오존 주입량의 제어는 처리수량에 따른 수량비례 제어방식이나 오존농도 일정제어방식, 잔류오존 제어방식 및 처리 수의 UV값에 의한 제어방식 중에서 적절한 것을 선정하여야 하며 현재로서는 수량비례 제어방식이 가장 실용적이다. 오존공정은 다양한 유해물질을 처리할 수 있는 산화력을 가진 반면에 산화특성에 의해 생성되는 부산물에 대하여 고려해야 하며, 설계 및 운전 인자는 표 1와 같이 나타낼 수 있다.

표 1. 오존 공정의 설계 및 운전인자

설계인자	운전인자
계획설계유량	
유효수심	
오존 주입량	오존주입농도
오존화 공기농도	오존잔류농도
오존화 공기량	배오존농도
산기방식	
제질	

3-3 오존/입성 활성탄 공정의 혼합

오존과 활성탄의 혼합방식은 1975년에 처음 적용되었으며 GAC(Granular Activated Carbon : 입성활성탄) 여과장치전의 오존 처리방식은 용해된 탄소유기 화합물과 농약성분을 줄이고 활성탄의 수명을 연장한다. 초기 오

존처리의 효율은 과산화수소(H_2O_2)를 첨가하므로 증대되며, 플랜트 처리공정에서 방출되는 방출수에 첨가되는 염소도 줄인다. 또한 분해된 유기체 물질외에 물에 섞여 있는 철과 망간에도 사용된다 오존처리는 주입지점에 따라 분류될 수 있는데 즉 전오존처리(Preozonation), 중오존처리(Interozonation), 후오존처리(Postozonation)이며 활성탄은 일반적으로 모래여과공정 후에 설치된다. 공정 과정에서 전오존처리와 후오존처리를 사용할 때 전오존처리의 주 목적은 유기물 산화, 냄새 및 THM전구 물질이며, 후오존처리의 주 목적은 난분해성 물질산화이다. 그리고 후오존처리만 사용할때의 주 목적은 냄새, THM전구물질이다

4. 결 론

고도정수기술이란 기존정수공정인 응집/침전→여과→소독방법으로 처리되지 않은 미량 유기물질, 맛냄새 유발물질, 또는 트리할로메탄 전구물질 등을 제거하기 위해 사용되는 가장 적합한 정수기술이며, 상수원 주변지역의 오염원 입지상황, 원수 수질의 오염정도, 댐 등 저수지의 부영양화 진행상황으로 수질문제 발생이 예측되면 고도정수시설의 도입여부를 고려해야 한다.

고도정수시설의 도입이 필요한 정수장에서는 유입 원수의 수질특성을 정확히 분석하여 문제 수질을 도출하고, 처리대상물질 및 처리목표치를 설정한 후, 효율적이며 경제적인 적합한 처리방식을 결정하여야 하며, 이 경우 시설의 건설 뿐 아니라, 유지관리적 측면에서 충분한 고려가 있어야 한다. 지금까지 사용되고 있는 고도정수 시설 중에서 활성탄과 오존을 이용한 처리기술이 가장 널리 상용화되고 있다. 활성탄 및 오존 처리기술은 다양한 수질에 대하여 대응력이 높은 공정들로서 현재 규제되고 세계 각국의 수질기준에 가장 잘 부합되는 것으로 알려져 있으며, 실험적 검증과 함께 현장에 적용되고 있다. 이는 모래여과공정을 주력공정으로 사용하던 20세기 정수체계가 상수원 수질의 악화에 대비하고 식수의 고급화를 지향하는 21세기 정수기술로서 전환될 수 있는 가장 유력한 정수시설임을 나타내는 것이다. 우리나라에서도 순수 우리기술에 의한 고도정수시설의 건설 및 운영이 이루어져야 하며, 고도정수기술의 개발에 박차를 가하여 차세대 정수기술의 기틀을 마련하고 국내뿐 아니라 세계시장에 진출할 수 있는 기술력을 갖추 수 있도록 노력해야 할 것이다.

【참고 문헌】

- [1] 일본수도협회, "고도정수시설기술자료", 1988.
- [2] 공해대책기술동우회, "오존이용수처리기술", 1988.
- [3] B. Eliasson, M. Hirth and U. Kogelschatz, "Ozone Synthesis from Oxygen in Dielectric Barrier Discharges Transformer." BBC BROWN, BOVERI and COMPANY, October, 1986.
- [4] AWWA, "Identification and Occurrence of Ozonation by Products in Drinking Water", pp 13-130, 1993.