

**2005 년 환경부의 신기술  
인증.검증받은 기술**

**음용수 처리와 하폐수 처리를 위한  
DOF (Dissolved Ozone Flotation) &  
DAF (Dissolved Air Flotation) 기술**

**미시간기술**

**이병호 /CEO, Ph. D**

**[mitec.mdof@gmail.com](mailto:mitec.mdof@gmail.com)**

**[anussbh@gmail.com](mailto:anussbh@gmail.com)**

**[www.mdafdof.com](http://www.mdafdof.com)**

**전화: 010-5459-0500**

**사무실: 052-249-3517**

**Fax: 052-249-3518**



## 1. 미시간기술이 공급하는 기술의 이론

### 1) DOF (용존오존부상, Dissolved Ozone Flotation)

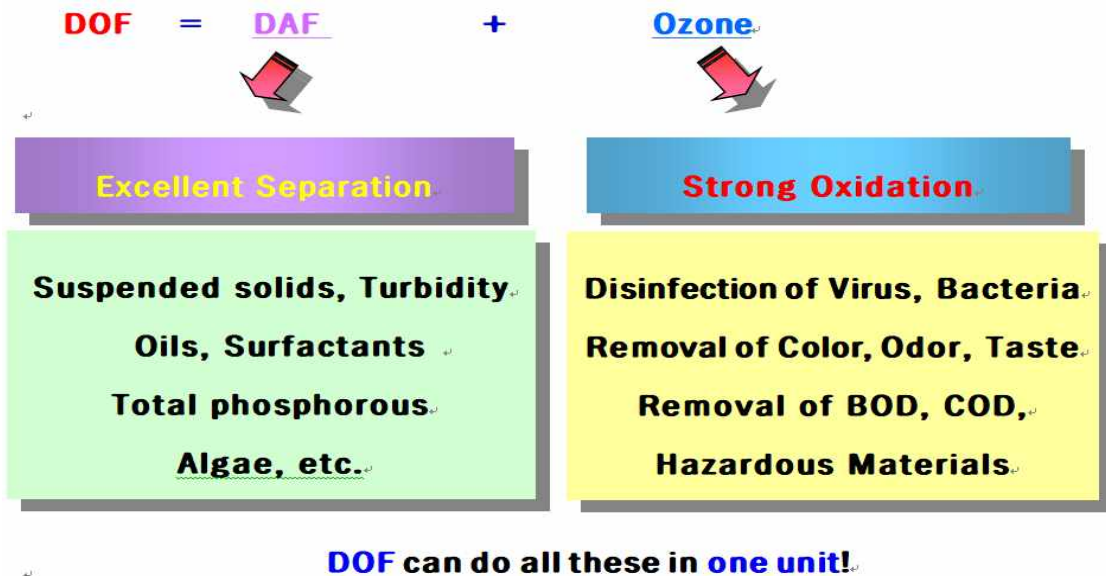


그림 1.1. DOF 시스템의 우수성

그림 1.1에서 볼 수 있는 DOF (Dissolved Ozone Flotation) 시스템은 오존과 DAF (용존공기부상, Dissolved Air Flotation)이 결합된 기술로 용존공기부상에서 공기대신 오존을 사용하는 기술임.

DOF 시스템은 DAF의 탁월한 고액 분리능과 오존의 강력한 산화력을 동시에 가지고 있는 시스템임. 고체와 액체의 탁월한 분리능을 이용하여 SS, turbidity (탁도), oils, surfactants (세제), TP (총인), and algae (조류)등을 제거하고, 오존의 강력한 산화력을 이용하여 바이러스와 박테리아를 비롯한 미생물과 색도, 악취, COD, BOD와 그 외에 유해 잔류 화학물질들을 제거하는 기능을 함께 가지고 있음.

이러한 다양한 기능들이 DOF라는 한 개의 공정 내에서 이루어짐. 이와 같이 DOF 시스템은 다양하고 강력한 처리기능을 가지고 있지만, 모든 처리기능이 한 개의 공정에서 이루어지기 때문에 수리학적 체류시간 (약 30분)이 매우 짧아서 DOF 시스템의 건설비가 매우 저렴하고 운전비도 저렴한 특징을 가지고 있음. 또한 DOF 시스템의 체류시간이 짧기 때문에 처리장의 소요면적

이 매우 적음. DOF 시스템의 다양한 처리특성을 활용하여 음용수의 처리와 하수나 폐수의 처리에도 적합한 시스템임. 특히 DAF 시스템은 하수처리장의 총인을 제거하기에 매우 적합한 기술로 평가받고 있음.

## 2) DOF/DAF 시스템의 기본적인 이론

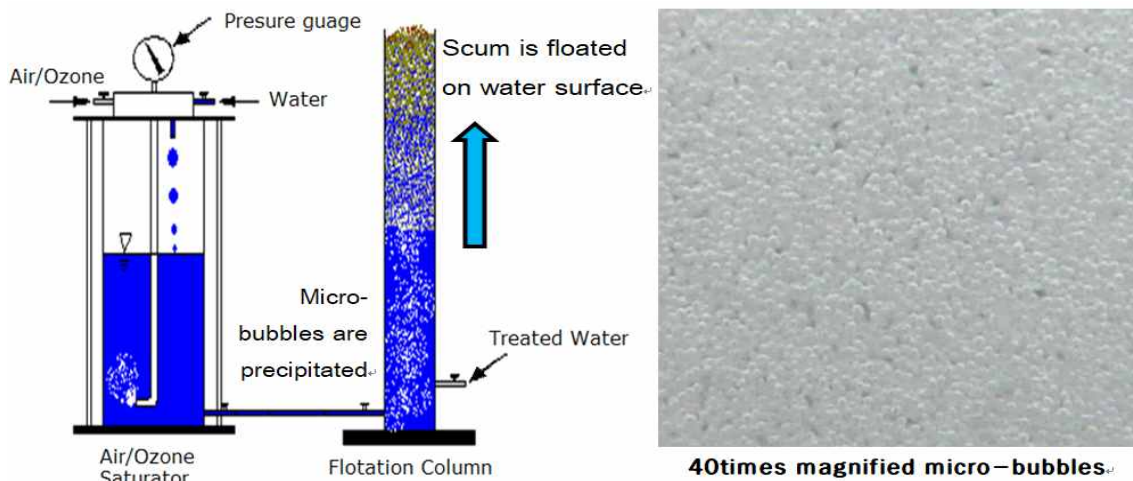


그림 1.2. DOF (DAF)의 기작에 대한 개념도

DOF (DAF) 시스템은 기술의 적용을 위해서 먼저 용존오존 (용존공기)을 만들고, 용존오존으로 부터 오존 마이크로기포와 나노기포를 발생시켜 이용함. 그림 1.2에서 볼 수 있는 것과 같이 물과 오존가스를 동시에 압력을 가하여 압력탱크에 주입하면 오존 (공기)이 물속에 용해됨. 여기서 압력탱크를 오존을 용해시키는 ODT (Ozone Dissolving Tank) (ADT, Air Dissolving Tank)라고 함. 오존이 과포화된 압력수를 대기압 상태의 부상조 (Flotation Column)에서 풀어주면 과포화되었던 오존가스 (공기)가 그림 1.2의 오른쪽 사진과 같이 무수하게 많은 마이크로기포와 나노기포로 석출됨. 마이크로기포와 나노기포의 양은 과포화된 오존 (공기)의 양이나 부피와 같음.

무수하게 많은 숫자로 석출된 기포에 의해 SS, 기름, 세제, 플러, 조류 등의 고형물을 부상조의 표면으로 부상시켜 제거함. 오존마이크로기포나 나노기포는 오존가스를 기포 내부에 포함하고 있기 때문에 오존의 산화력을 이용하여 색도, 악취, BOD, COD, 바이러스와 박테리아 등의 미생물과 VOC나 농약 등의 유해물질을 산화시켜 제거함.

### 3) 전통적인 기술과 미시간기술의 오존적용에 대한 비교

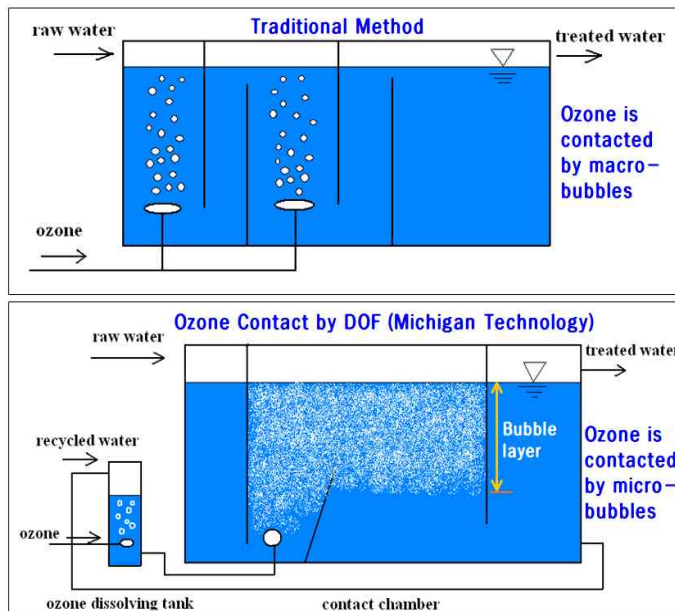


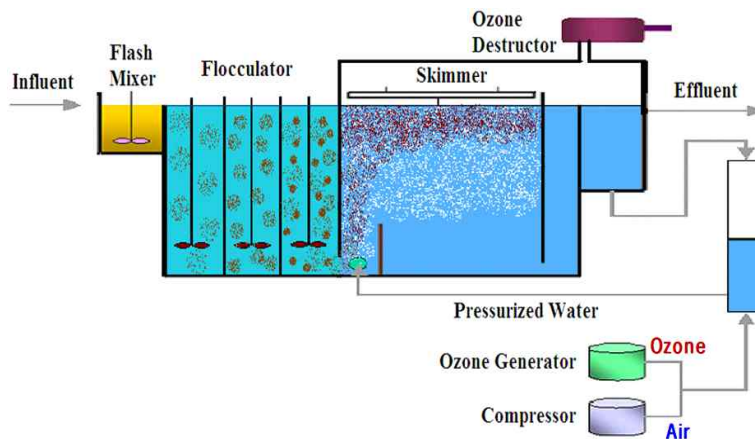
그림 1.3. 전통적인 방법과 미시간기술의 오존 접촉방법에 대한 비교

오존은 그림 1.3 위의 그림과 같이 현재까지 전통적인 기술을 이용하여 현장의 음용수처리나 하폐수처리에 적용되어 있음. 전통적인 기술은 오존가스를 세라믹 디퓨저를 통해 주입하는 형태로 적용되고 있으며 오존은 그림 1.3 위의 그림처럼 오존매크로기포 (큰기포)로 발생하게 되며, 이와 같은 매크로기포는 부상속도가 매우 빠르고 기포가 물의 표면에 이르자마자 사라지게 됨. 또한 오존기

포와 물과의 접촉 면적이 매우 적음.

미시간기술이 공급하는 기술은 오존이 마이크로기포와 나노기포로 발생되어 물과 접촉하게 되어 우선 오존기포와 물과의 접촉면적이 무한대에 가깝게 넓어짐. 마이크로기포와 나노기포는 플럭 (고형물, 슬러지)을 물의 표면으로 부상을 시킨 후에도 즉시 사라지지 않고 물에 잔류하게 되어 그림 1.3의 아래그림과 같이 기포층 (bubble layer)를 형성하여 부상된 플럭을 안정적으로 지지해 줄뿐만 아니라 부상된 플럭이 부상조 하부로 유출되는 것도 막아주기 때문에 SS 등의 처리수질이 높아짐. 마이크로기포와 나노기포는 기포층에 오래 머무르기 때문에 오존의 이용효율이 극대화되고, 이곳에서 유기물질의 산화가 주로 일어나게 되어 미생물 (바이러스, 박테리아), 색도, 약취, BOD, COD, 유해물질 등이 제거됨. 미시간기술은 오존의 가압장치를 통해서 투입되는 오존의 농도를 조절할 수 있는 기술을 보유하고 있으며, 이는 세계에서 미시간기술만 가지고 있는 유일한 기술임. 이런 특성을 적용하여 DOF를 음용수의 처리와 하수나 공장폐수 등에도 적용하고 있음. 처리할 물의 특성과 목적에 따라 주입하는 오존의 농도를 달리해서 처리하게 됨.

#### 4) DOF (DAF) 시스템의 기본적인 구조



❖ **DAF and DOF are alternatively operated depending on influent quality**

그림 1.4. DOF (DAF) 시스템의 기본적인 구조

부상조로 유입된 플록 (슬러지)은 무수한 마이크로기포와 나노기포에 의해 부상조 수면에 떠오르고 그림 1.4에 보여주는 것과 같이 슬러지제거장치 (Skimmer)에 의해 시스템 밖으로 제거시킴. 슬러지를 제거함으로써 슬러지에 포함된 SS, 고형성분의 BOD, COD 물질, 총인 (TP), 중금속, 조류 등이 제거 됨.

발생된 오존가스를 함유한 마이크로기포와 나노기포들은 부상조를 즉시 벗어나지 않고 오랜 시간 동안 기포층을 이루며 잔류하게 됨. 무수한 마이크로기포와 나노기포는 오존을 함유하고 있기 때문에 물이 기포층을 통과해서 하부로 유출될 때까지 오존과 접촉하게 되고, 이 때 바이러스와 박테리아를 포함한 미생물, BOD, COD, 색도, 악취, 그리고 VOC (휘발성 유기오염물질), PCB, 다이옥신, 기타 발암물질로 알려진 염화 유기물질 등이 제거됨.

미시간기술은 물속에 투입되는 오존의 농도를 조절할 수 있는 세계 유일의 기술을 보유하고 있음. 이러한 기술에 의해 DOF 시스템을 음용수의 처리는 물론이고 하수나 일반적인 폐수처리에도 사용이 가능함. 특히, 고농도의 오존투입이 소요되는 공단의 폐수처리에도 어려움 없이 적용이 가능함.

DOF 시스템은 비록 한 개의 시스템이지만 유입수질이 낮을 때는 오존을 사용하여 DOF로 사용하고, 유입수질이 좋을 때는 공기를 사용하여 DAF가 됨.



## 5) DOF (DAF)의 현장 적용에 대한 구체적인 내용



(a) Sealing of DOF by cover

DOF시스템은 그림 1.5의 (a)와 같이 오존이 외부로 유출되지 않도록 특수 재질로 제작하여 완벽하게 밀폐가 이루어짐. 미처 사용되지 않고 배기가스에 남아 있는 미량의 오존은 외부로 유출되지 않도록 오존파괴기에서 분해시킨 후 산소만 외부로 배출시킴.



(b) Removing scum (floated flocs) by skimmer

DOF나 DAF의 부상조 상부에 떠오르는 플럭으로 이루어진 슬러지는 스크레이퍼 (scraper) 혹은 스키머 (skimmer)에 의해 그림 1.5의 (b)와 같이 시스템 밖으로 배출시킴. 부상조의 상부에 물의 색깔이 하얀 것은 마이크로기포와 나노기포가 기포층을 이루고 있는 현상이고, 일반적으로 기포층은 2~2.5m 정도가 됨.



(c) Comparison of sludge removing capacities

그림 1.5의 (c)의 왼쪽에서 볼 수 있는 것과 같이 여름철에는 침전지에서 플럭이 잘 가라앉지 않고 수표면에 부상하는 현상이 종종 일어남. 이는 플럭내에 존재하는 미생물들이 물의 온도가 올라

### 그림 1.5. DOF (DAF)의 현장 적용 과정에서 일어나는 현상들

가면 왕성한 활동을 하게 되고 이 과정에서 이산화탄소와 질소가스나 수소가스 등을 발생시키게 되고 발생된 기포가 플럭에 갇히게 되면 플럭의 비중이 물보다 낮아져서 일어나는 현상임. 반면에 그림 1.5의 (c)의 오른쪽 부분과 같이 DOF나 DAF에 의해 처리된 물은 응집된 플럭을 바로 수표면에 부상시키게 되고, 부상된 슬러지를 즉시 시스템 밖으로 배출시키게 되어 높은 수질을 생산하게 됨.

## 2. DOF (DAF) 기술에 의한 음용수처리

### 1) 전통적인 음용수처리 공정

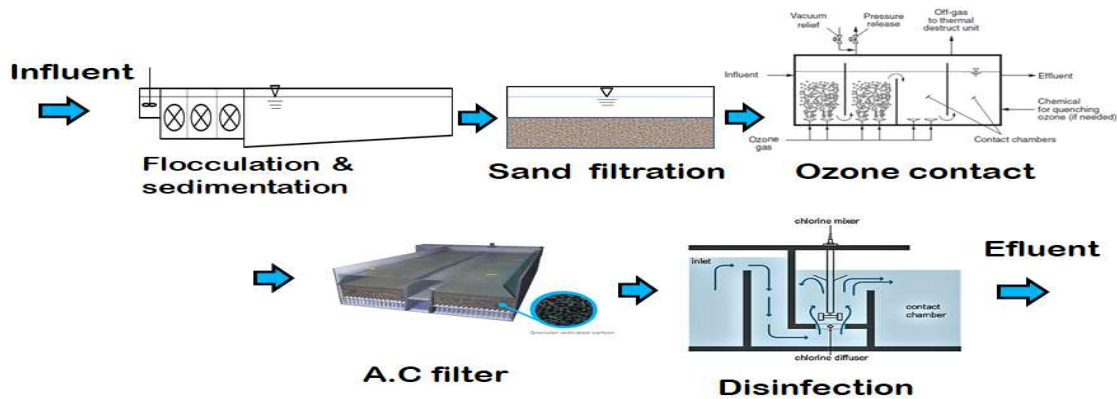


그림 2.1. 전통적인 음용수처리 공정라인

전통적인 음용수처리 공정들을 그림 2.1에 나타내었음. 상수원으로부터 원수가 정수처리장에 유입되면 그림 2.1에서 볼 수 있는 것과 같이 전체 처리장을 통과하는 동안 많은 공정들을 거치게 됨. 이처럼 많은 공정이 필요한 이유는 상수원에 다양한 오염물질들이 함유되어 있기 때문에 각 항목을 제거할 때마다 한 개나 두 개의 공정을 거쳐야하기 때문임.

전통적인 정수처리 방식은 상수원수가 정수장에 유입되면 응집제가 투여되고, 응집을 시킨 후 침전지로 보냄. 응집지에서 유입된 물을 약 5시간가량 침전시킨 후 침전되지 않고 남아있는 미세플록들을 제거시키기 위해서 모래여과지로 보내게 됨. 모래여과를 거친 물은 오존처리조로 이송되고 오존 처리조에서 세라믹 디퓨저에 의해 유입된 오존가스와 접촉하게 됨. 오존접촉에 의해 색도, 맛, 냄새 등도 동시에 제거되고, 발암물질로 알려진 THM전구물질도 오존산화에 의해 일부 제거됨. 오존처리가 끝난 물은 활성탄 접촉조 (AC, Activated Carbon)로 보내서 활성탄 접촉조에 자생하고 있는 미생물에 의해 잔류하는 THM 전구물질, 암모니아, 그리고 잔류하는 유기물질들을 제거하게 됨. 마지막 단계로 활성탄접촉까지 마친 맑은 물은 염소소독을 거친 후 각 가정에 송수하게 됨.

## 2) 미시간기술의 정수 (음용수)처리 공정

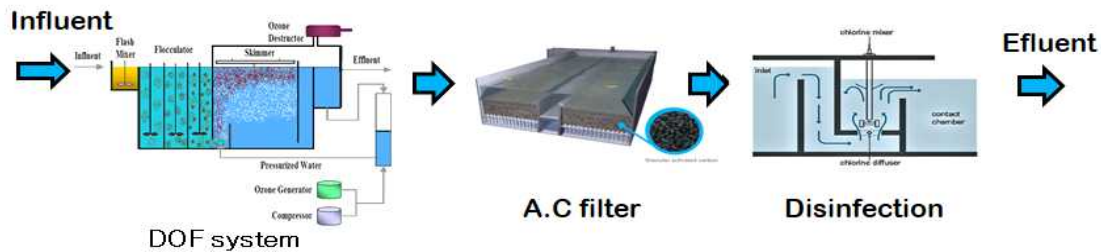


그림 2.2. 미시간기술의 정수처리공정

미시간기술의 정수처리공정은 그림 2.2에 보여주고 있는 것과 같이 그림 2.1의 전통적인 방법에 비해서 비교적 간단함. 미시간기술의 DOF 시스템이 전통적인 공정에서 도입되고 있는 응집지, 침전지, 모래여과지, 오존접촉지를 대체할 수 있음. DOF 시스템은 응집된 플러를 침전지의 처리수질보다 훨씬 좋은 1NTU이하로 매우 효과적인 처리가 가능하고, 수리화적인 체류시간도 30분에 불과하여 전통적인 공정에서 6시간가량 소요되는 것보다 10배 이상 짧음. 미시간기술의 DOF공정이 짧은 체류시간으로 인하여 건설비가 전통적인 처리공정에 비해 현저하게 낮으며, 운전비도 낮음. 전통적인 공정은 정수처리장의 면적도 미시간기술의 DOF시스템에 비해서 훨씬 크게 소요됨.

DOF시스템은 24시간 기준으로 완전하게 자동화되어 운전될 수 있고, 인터넷이나 핸드폰에서 온라인 터치스크린에 의한 제어로 시스템의 운전이 가능하기 때문에 전체의 운전과 가동상황을 누구나 지켜볼 수 있고 운전자가 어떠한 응급상황에서도 빠르게 대처할 수 있는 장점이 있음.

DOF시스템은 유입수질이 낮을 때에는 오존을 사용하여 DOF로 운전하고, 유입수질 매우 좋아서 오존을 사용할 필요가 없을 때는 공기를 사용하여 DAF로 운전할 수 있음. 비록 한 개의 시스템이지만 DOF와 DAF 두 개의 시스템을 가지고 있는 효과가 있음.

소규모 (10 ~ 500m<sup>3</sup>/일)의 DOF시스템은 철구조물로 제작하여 공급하고 있으며, 대개 1,000m<sup>3</sup>/일 이상의 규모는 발주처에서 특별하게 요청하지 않으면 철근콘크리트 구조물로 시공하고 있음.



### 3) 현장에 적용된 전통적인 정수처리공정과 DOF로 대체하는 효과의 비교



그림 2.3. 전통적인 정수처리 공정에 의해 시공된 현장 (위 사진)과 DOF 시스템 (아래 사진)에 의해 대체될 수 있는 시스템의 모습

그림 2.3에서 볼 수 있는 것과 같이 DOF시스템은 많은 전통적인 공정을 대체할 수 있을 뿐만 아니라 넓은 정수처리장의 면적도 현저하게 줄일 수 있음. 그림 2.3으로 유추할 수 있는 것과 같이 DOF시스템에 의해서 높은 처리수질을 얻을 수 있고, 건설비와 운영비도 현저하게 줄일 수 있는 특징을 가지고 있음.

최적화된 DOF 시스템에 의해 오존의 농도를 적절하게 조절하여 바이러스와 박테리아와 같은 미생물을 효과적으로 제거하고, 조류가 생산하는 흙냄새와 비릿내와 같은 맛과 냄새를 제거함. 또한 누런색을 띠고 있는 색도의 제거와 미끌거리고 거품끼의 느낌이 있는 세제, 미량의 잔류약품, 기타 미량의 잔류 유기오염물질도 제거 함.

오존은 분해가 되고나면 산소가 되기 때문에 처리 후 잔류물질에 대한 우려가 없음.

### 3. DOF (DAF) 기술의 하수처리와 하수의 재이용에 응용

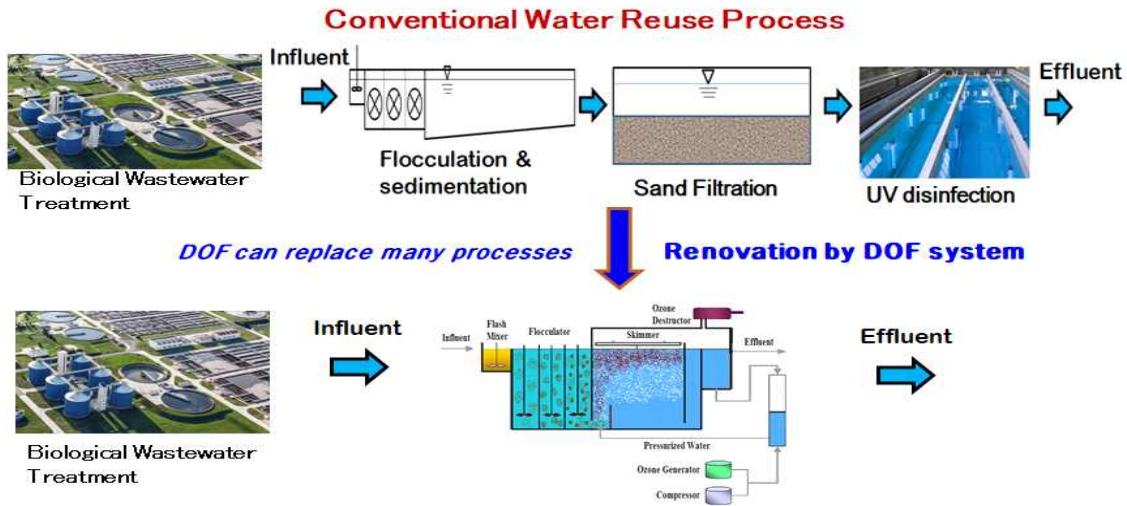


그림 3.1. DOF (DAF) 시스템의 하수처리와 하수의 재이용에 응용하는 예

DOF 시스템은 그림 3.1에 보여주는 것과 같은 형태로 새로 건설하는 하수처리장이나 기존의 하수처리장에서 미생물처리에 의해 충분하게 제거되지 않은 BOD, COD, TP (총인), 색도, 악취 등을 제거하기 위하여 도입되는 공정임. DOF 시스템에 의해 여러 가지 수질인자들이 제거되는 것은 DOF의 앞선 공정인 미생물처리장의 유출수에 포함되어 있는 부유물질을 제거하는 것과 DOF 시스템에 2~2.5m 깊이로 형성되어 있는 오존 마이크로기포와 나노기포로 빈틈없이 채워진 기포층에서 오존의 강력한 산화력을 이용해서 물속에 용존되어 있는 유기물질을 산화시켜서 이루어짐.

하수나 폐수를 재이용하기 위해서 전통적인 기술을 사용할 경우에는 그림 3.1의 위 그림처럼 여러 가지 공정을 거쳐야 하며 목적하는 수질을 얻기가 쉽지 않음. 반면에 DOF 시스템을 이용하여 하수나 폐수를 처리를 하면 그림 3.1의 아래 그림처럼 DOF 한 개의 공정으로 가능하기 때문에 건설비가 현저하게 적고 운영비도 낮지만 처리해야 할 다양한 수질인자들은 강력한 오존의 산화력에 의해 쉽게 제거됨. DOF 시스템은 BOD, COD, 미관을 해치는 색도, 재이용을 꺼리게 만드는 냄새, 부유물질 등의 제거가 용이하여 하수나 폐수의 재이용을 위해서 최적화된 시스템임.

하수처리장에서 생활하수를 미생물에 의해 처리한 후의 유출수를 DOF 시스템에 의해서 처리한 결과를 그림 3.2에 나타내었음. 그림 3.2에 표시된 유입수 (Influent)는 미생물처리장에서 처리한 후에 DOF 시스템으로 유입되는 수질이고, 유출수 (Effluent)로 표시된 값은 DOF 시스템에 의해 처리된 후 배출되는 DOF 처리수의 수질임.

### Treated Water Quality by DOF (Domestic Wastewater)

items	Ozone Dose: 1.98 mg/L		
	Influent	Effluent	Removal (%)
SS (mg/ℓ)	6.9	3.0	57.2
UV-254 (ABS)	0.145	0.044	69.9
BOD (mg/ℓ)	9.5	1.4	84.9
COD <sub>Mn</sub> (mg/ℓ)	10.7	6.5	39.6
Color (CU)	24.7	4.3	82.4
T-N (mg/ℓ)	8.497	7.230	14.9
T-P (mg/ℓ)	0.39	0.04	89.7
Coliform Bac.(MPN/mℓ)	193	0	100
HTP Bac.(CFU/mℓ)	6,933	0	100

**DOF treated effluent quality is a level of reuse**

그림 3.2. 하수처리장 미생물처리공정의 유출수를 DOF에 의해 처리한 결과

그림 3.2에서 볼 수 있는 것과 같이 미생물 처리장의 유출수가 DOF 시스템의 유입수이고, DOF 시스템에 의해 부유물질(SS)은 6.9mg/l에서 3.0mg/l까지 BOD와 COD는 9.5와 10.7mg/l에서 1.4와 6.5mg/l까지 제거가 됨. 색도(Color)는 24.7CU에서 4.3CU까지 현저하게 제거가 됨. 미생물인 대장균과 일반세균도 오존 1.98mg/l의 접촉에 의해 완벽하게 제거된 것을 볼 수 있음.

DOF 시스템에 의해 처리된 정도의 수질을 가지고 있는 물은 수변공간의 건설을 위한 인공호수나 인공냇물, 농업용수, 청소, 정원을 가꾸기 위한 목적으로도 사용될 수 있음.

#### 4. DOF 기술의 산업폐수 처리 응용

##### 1) DOF 시스템에 의한 안료폐수의 처리

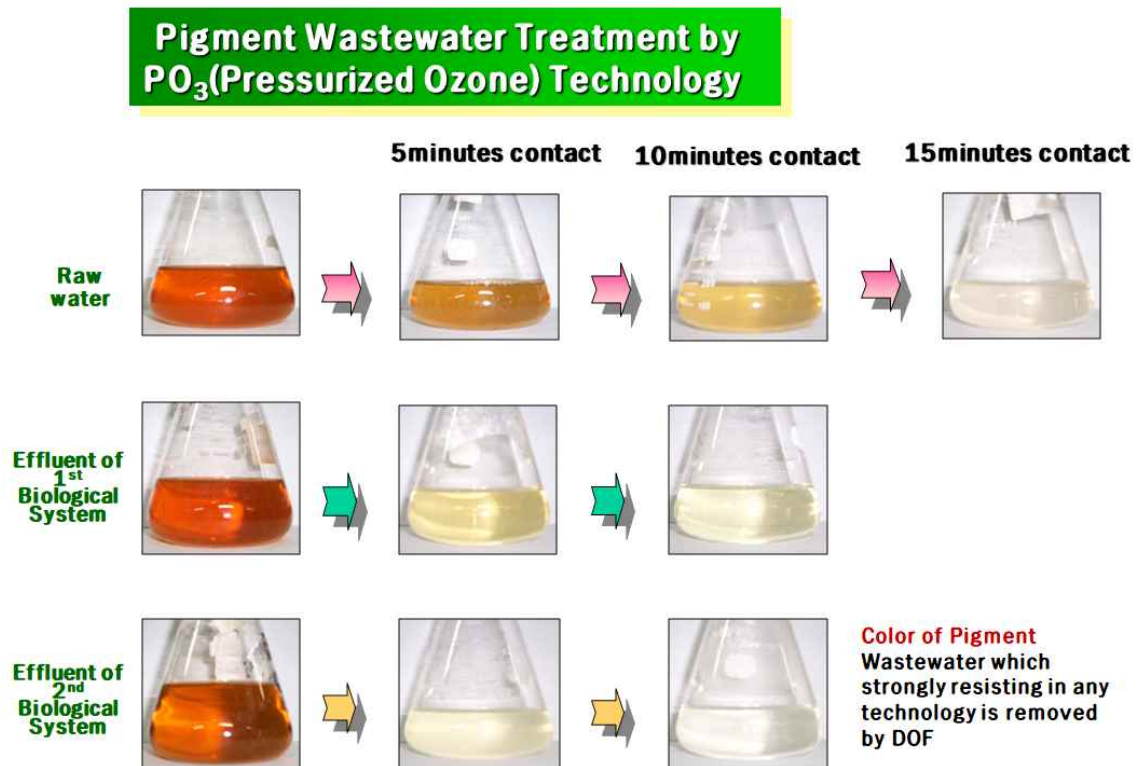


그림 4.1. DOF 시스템에 의한 안료폐수의 처리

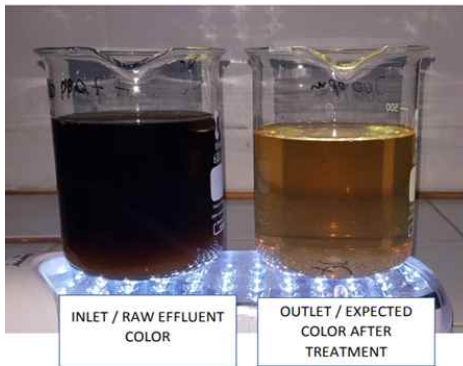
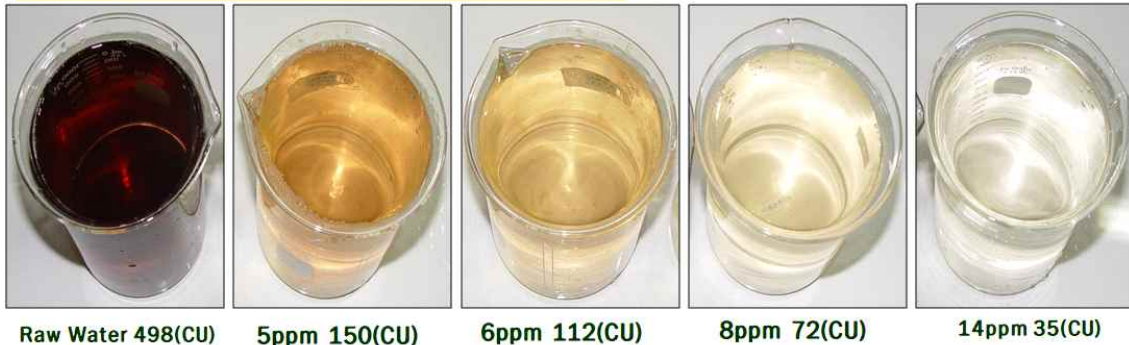
DOF 시스템은 염색폐수, 축산폐수, 석유화학폐수 등에 적용이 가능함. 그림 4.1 에 보여주는 것과 같이 안료폐수의 색도는 용존되어 있는 입자형식으로 이루어져 있기 때문에 일반적인 산화반응에도 잘 제거가 되지 않음. 심지어는 전통적인 오존처리 방식으로 오존가스를 세라믹 디퓨저를 통해 접촉을 시켜도 안료폐수의 색도가 제거되지 않는 것으로 알려짐. 하지만 DOF 시스템에 의해 안료폐수의 원수와 안료폐수의 미생물처리수에 적용시킨 결과 그림 4.1 처럼 색도가 오존의 적용조건에 따라 잘 제거가 되는 것을 볼 수 있음. 석유화학공단에서 발생하는 폐수에 의한 악취와 기름성분도 효과적으로 제거됨.

DOF 시스템에 의해서 산업폐수에서 발생하는 색도, 악취, COD 등도 효과적으로 제거됨.



## 2) 염색폐수와 팜오일 (Palm Oil)의 색도제거

### Expected Color Removal by DOF



Palm oil wastewater color



그림 4.2. 염색폐수와 팜오일 폐수의 색도제거

DOF 시스템은 그림 4.2에 보여주는 것과 같이 염색폐수나 팜오일 폐수와 같은 다양한 폐수의 색도제거에 적용할 수 있음. 공장에서 발생하는 폐수를 색도가 함유한 채로 방류하는 것은 법을 위반할 여지도 있으며, 시각적으로 유쾌하지 않은 환경이 조성되어 기업의 이미지가 훼손될 가능성이 있음.

이렇게 발생하는 다양한 폐수가 가지고 있는 색도제거의 정도는 오존의 투입농도를 통하여 조절할 수 있음. 폐수에서 색도를 유발하는 물질이 유기물질인 경우가 많고, 이 유기물질은 COD의 유발물질이기도 하기 때문에 색도를 제거하는 과정에서 자연스럽게 COD의 제거효과도 얻을 수 있음. DOF 시스템이 다양한 폐수에 적용이 가능하기 때문에 팜오일 생산공정 폐수와 석유화학폐수는 물론이고, 색도와 불쾌한 악취를 발생시키는 음식물 제조공정 폐수의 처리에도 적용이 가능함.



### 3) DOF 시스템에 의한 축산폐수의 처리

#### Livestock Wastewater Treatment by DOF-PO<sub>3</sub>

item	Raw water (mg/L)	Effluent (mg/L)	Removal Rate (%)
COD <sub>Mn</sub>	619.9	63.0	89.8
SS	409	22	94.7
T-P	27.04	0.35	98.7
Color	850(CU)	42(CU)	95.1
HTP	U.C	0	100.0

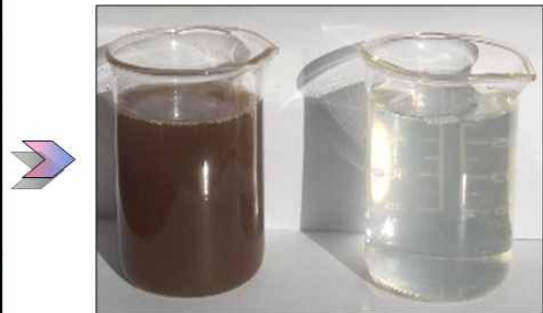


그림 4.3. DOF 시스템에 의한 축산폐수의 처리결과

일반적으로 축산폐수는 그림 4.3에서 볼 수 있는 것과 같이 많은 양의 부유물질과 유기물질을 함유하고 있는데, 이것이 축산폐수의 부유물질 농도 (SS)와 COD의 농도를 높이는 원인 물질임. 축산폐수의 원수의 상태를 그림 4.3의 오른쪽 사진의 왼편 비이커에 채수해 놓은 모습이고, 오른쪽 비이커에 채취해 놓은 샘플은 DOF에 의해 원수를 처리한 처리수임. 대부분의 수질인자들이 90%이상 제거되었음. 그림 4.3의 테이블에서 볼 수 있는 것과 같이 COD는 90%정도 제거되었고, SS는 약 95% 제거되었음. 셀 수 없이 많은 숫자의 일반세균도 20mg/l의 투입오존에 의해 완벽하게 제거됨. 그리고 850CU의 원 축산폐수의 색도가 42CU까지 제거되어 하천에 방류가 가능한 수준으로 처리가 됨.

일반적으로 물속의 유기물질을 제거하는 데는 미생물처리가 훨씬 효과적이고 경제적이기 때문에 축산폐수에 DOF기술을 적용할 때는 미생물처리 공정과 같이 동시에 적용되는 경우가 많음.



- Capacity: 120ton/day (20hr/day)
- Size: 4.0M X 3.5M
- Ozone generation : Using Oxygen generator
- Site : Chung Nam
- COD Influent 484.9 – Effluent 86.0 (RR: 82.5%), SS Influent 392.5 – Effluent 39.4 (RR 90%)

#### 그림 4.4. 축산폐수처리를 위해 제작 공급된 DOF 시스템

미시간기술이 축산폐수처리를 위해서 설계 제작하여 공급한 DOF 시스템의 모습을 그림 4.4에 나타냄. 그림 4.4의 DOF시스템의 규모는 120m<sup>3</sup>/day이고, DOF 시스템에 의해 처리한 축산폐수는 COD를 약 80% 제거하였고, 부유물질 (SS)를 90%정도 제거하였음.

## 5. DOF 기술의 탐구

### 1) 오존의 적용에 대한 전통적인 기술과 미시간 기술의 비교

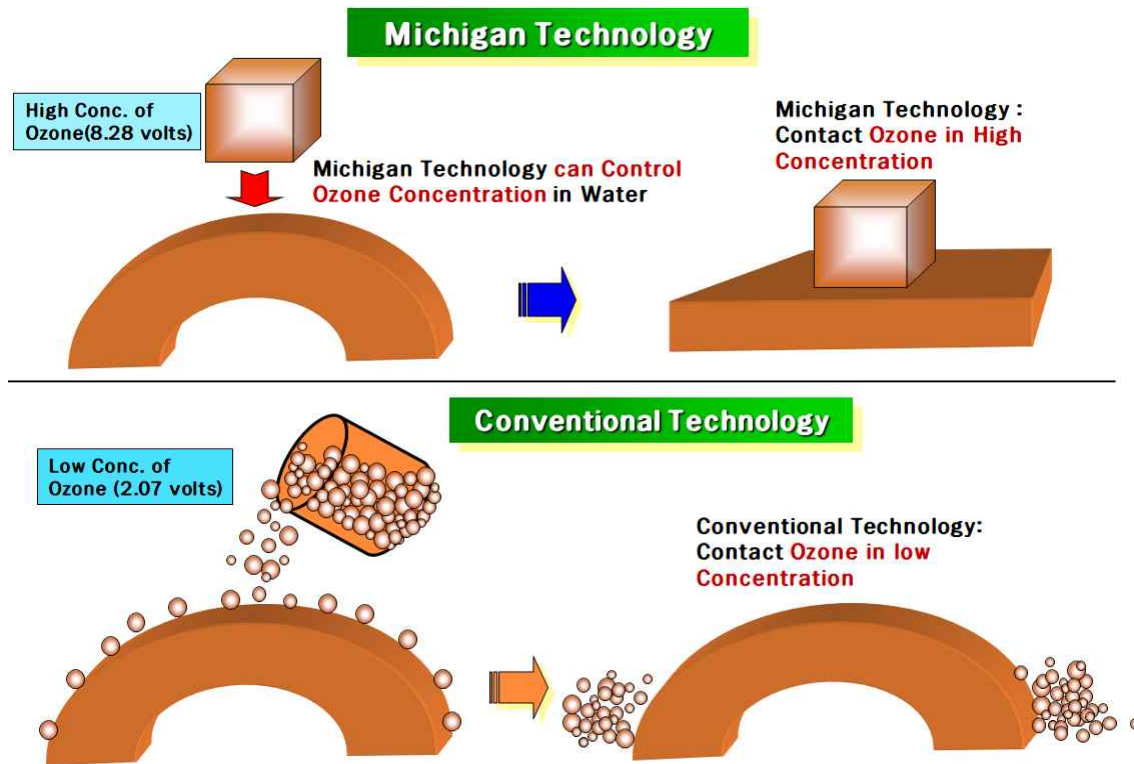


그림 5.1. 오존 적용에 대한 전통적인 기술과 미시간기술의 비교

전통적인 오존접촉 방법은 세라믹 디퓨저를 이용하여 오존을 접촉하고자 하는 물에 대기압 상태에서 불어넣는 방식으로 수행하고 있음. 이와 같이 대기압 상태에서 오존을 물에 용해시키면 오존이 물에 용해도에 해당하는 만큼만 용해되어 오존이 물의 처리에 사용될 수 있는 전기화학적인 에너지는 2.07볼트가 됨. 반면, 미시간기술에 의한 오존의 적용방법은 오존가스를 물에 4~5 kg/cm<sup>2</sup>의 압력을 가하여 용해시키기 때문에 오존의 용해농도가 대기압 상태에서 용해되는 농도보다 4~5배 높게 됨. 따라서 물의 처리에 사용될 수 있는 전기화학적인 에너지도 용해된 오존의 농도에 비례해서 높아지기 때문에 같은 양의 오존으로 같은 물을 처리한다고 해도 처리효율이 비례해서 높아지게 됨. 용해되는 오존의 농도는 오존가스를 오존용해탱크 (ODT)에 용해시킬 때 적용하는 압력으로 조절함.

만약에 물속에 존재하는 유기물을 처리하기 위해서 산화시키거나 제거하고자 할 때, 그를 위한 활성화에너지 (Activation energy)가 2.07 볼트보다 높으면 대기압 상태에서 아무리 오존을 많이 접촉시켜도 산화되거나 제거되지 않음. 이러한 예는 4 절에서 전통적인 방법과 미시간기술의 DOF를 이용해서 안료폐수를 처리한 비교에서 잘 나타남. 색도를 없애는 것을 그림 5.1에서 구부러진 긴 철판을 평평하게 펴는 과정에 비유하면, 그림 5.1의 아래 그림에서와 같이 오존을 아무리 적용해도 판은 펴지지 않은 채로 남아 있고 색도가 제거되지 않는 것을 상징적으로 표현하고 있음. 반면에 그림 5.1의 상부에 보여주는 그림에서와 같이 미시간기술의 오존 적용방법은 전통적인 방법에서 사용하는 오존과 같은 양의 오존을 모아서 높은 농도로 적용시키면 전기화학적 에너지가 높아지게 되고 철판은 순간적으로 펴지게 되는 형상이 되어 색도가 제거가 된 것을 의미하고, 실제로 4절의 안료폐수의 처리에 대한 예에 전형적으로 잘 나타남. 미시간기술은 오존을 가압탱크에 가압하는 기압을 조절하여 물속의 오존 농도를 제어할 수 있는 기술을 가지고 있으며 이것은 오존적용 업계에서는 세계의 유일한 기술임.

따라서 상기에 설명한 내용이 미시간기술의 DOF기술이 강력한 경쟁력을 갖는 이유임.

## 2) 산업폐수처리를 위한 미시간기술과 전통적인 기술의 비교

현지의 화학공장에서 발생하는 폐수를 처리하기 위하여 전통적인 오존접촉 방법과 미시간기술의 DOF 기술을 동시에 적용하였고, 처리결과를 그림 5.2에 나타내었음. 그림 5.2의 그래프에서 푸른색의 다이아몬드형의 표시는 미시간기술의 DOF에 의한 처리결과를 나타내었고 핑크빛의 사각형 모양의 표시는 전통적인 오존접촉방법인 디퓨저에 의한 오존 접촉결과를 나타낸 그래프임. DOF 시스템에 의해 오존 100mg/l를 폐수에 적용했을 때 COD가 60%가량 제거가 된 것과 달리 전통적인 방법인 세라믹 디퓨저를 통해서 오존 500mg/l을 접촉시켰음에도 불구하고 COD의 제거율이 40%정도 밖에 되지 않는 것을 그림 5.2에서 확인할 수 있음. 이런 처리결과의 현저한 차이는 색도의 제거에서도 비슷한 경향을 나타내는 것을 그림 5.2의 우측 그래프에서 확

인 할 수 있음. 그림 5.2의 우측에 있는 색도제거에 대한 그래프를 살펴보면 화학폐수의 색도가 오존 100mg/l를 주입한 DOF 기술에 의해 90% 이상제거가 된 반면, 전통적인 오존의 접촉방법에 의해서는 오존 500mg/l를 투입했음에도 불구하고 80% 정도밖에 제거되지 않음. 전통적인 오존의 적용기술에 비해서 미시간기술의 DOF 시스템을 이용한 처리방법이 훨씬 우수한 것을 증명하고 있음.

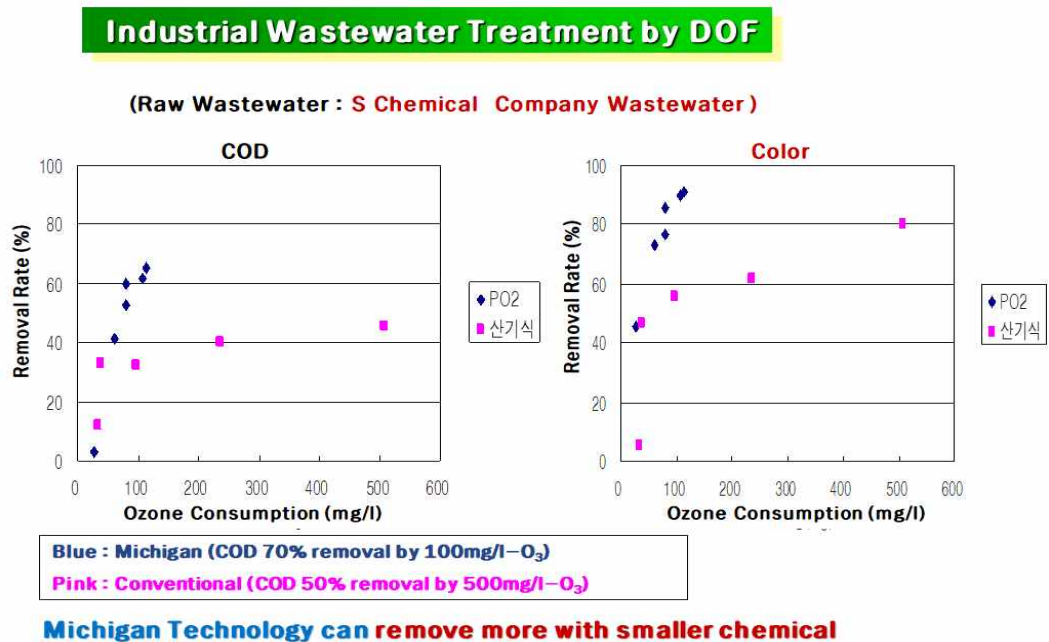


그림 5.2. 전통적인 오존접촉 방법과 DOF 기술을 산업폐수에 적용한 결과의 비교



## 6. 미시간기술이 공급하고 있는 DOF (DAF) 시스템

### 1) 음용수나 하폐수 처리를 위한 소규모 시스템

#### DOF Small Plant (200m<sup>3</sup>/day)

Operating Cost : about 5cents/m<sup>3</sup>



Size : 2m x 1.5m x 2.5m (May be carried inside Container Box)  
Drinking water : may supply to 1000 people

그림 6.1. 음용수나 하폐수처리를 위한 소규모 DOF (DAF) 시스템

미시간기술은 음용수처리를 위해서 20m<sup>3</sup>/일 ~ 500m<sup>3</sup>/일 정도의 소규모 DOF 와 DAF를 제작하여 공급하고 있음. 예를 들면 소규모 음용수 처리를 위한 DOF 시스템을 그림 6.1에 보여주고 있는데 200m<sup>3</sup>/일 규모이고 음용수 목적으로만 사용될 경우 200리터/일.인을 공급한다고 가정하면 약 1,000명에게 공급할 수 있는 시스템임. 이 시스템의 운전비용은 인건비를 제외하고 50원/m<sup>3</sup> 이하인데 전기세, 응집제 비용, 슬러지 처리비가 모두 포함된 비용임.

이 소규모 DOF (DAF) 시스템은 하수나 폐수의 처리에도 동일하게 사용될 수 있음. 단지, 하수나 폐수마다 특성이 너무 다르기 때문에 폐수의 특성에 따라서 오존의 투입농도가 불과 1 ~ 3mg/l에서 100 ~ 300mg/l까지 다를 수밖에 없고 미시간기술은 하수나 폐수의 특성에 맞는 오존의 농도를 조절해서 투입할 수 있는 기술을 보유하고 있음.

## 2) 이동식 DOF (DAF) 시스템



그림 6.2. 이동식 DOF (DAF) 시스템

미시간기술은 그림 6.2와 같이 이동식 DOF (DAF) 시스템을 공급하고 있음. 이동식 DOF (DAF)시스템은 홍수나 가뭄 등으로 인한 재난지역이나 도심지역과 멀리 떨어져서 공공의 상수도 공급이 어려운 지역, 또는 정수처리장을 건설하기에는 경제적으로나 지역적으로 어려운 곳에 이용될 수 있음. 산발적으로 존재하는 주거지마다 정수장을 건설하기 어려운 곳에 이동하면서 물을 처리해서 공급한 후 다음지역으로 이동하는 식으로 적용할 수도 있음.

이동식 DOF 시스템은 정수처리뿐만 아니라 하폐수 처리에도 이용할 수 있음. 특히, 산발적으로 존재하는 오염원에서 간헐적으로 발생하는 폐수는 폐수를 모아서 처리하는 것 보다 이동식 처리장치를 가지고 오염원으로 이동하여 처리하는 것이 쉽고 경제적일 수 있음.

## 3) 스케일이 큰 DOF (DAF) 시스템

### (1) 큰 스케일의 DAF 시스템

미시간기술은 정수처리나 하폐수처리를 위해서 수천톤/일 ~ 수십만톤/일과 같이 큰 규모의 DOF와 DAF시스템을 공급하고 있으며, 이런 규모의 시스템은 주로 철근콘크리트 구조물로 시공하고 있음. 대표적인 DAF 시스템과

DOF 시스템에 대한 예를 그림 6.3과 6.4에 나타내었음.

	<b>Site Location</b>	46, Gyungan-ro 87-gil, Gyeongsan-si, Gyeongsangbuk-do
	<b>Operation</b>	October, 2019
	<b>Capacity</b>	100,000 m <sup>3</sup> /day
	<b>Technology</b>	Dissolved Air Flotation (DAF system)
	<b>Raw Water</b>	Municipal Wastewater from City sewage
	<b>Power (US\$/m<sup>3</sup>)</b>	0.006
	<b>Construction cost (US\$)</b>	650,000
	<b>Total Operating cost (US\$/m<sup>3</sup>)</b>	5.0 cents

그림 6.3. 큰 규모의 DAF 시스템

작은 규모의 DOF (DAF)는 통상적으로 그림 6.1과 같이 철구조물을 이용해서 제작하는 반면 큰 규모의 시스템은 철근콘크리트 구조물로 건설함. 그림 6.3에 나타난 DAF시스템은 2019년 10월에 건설된 100,000m<sup>3</sup>/일 규모의 하수처리장임. 이 처리장은 철근콘크리트 구조물로 건설되었으며 도시하수와 일부 공장폐수가 혼합된 복합 하폐수처리장임. 이 처리장의 운영비는 인건비를 제외하고 전기비, 응집제비용, 슬러지 처리비용을 합쳐서 약 40원/m<sup>3</sup> 정도함.

## (2) 큰 규모의 DOF 시스템

미시간기술이 설계와 시공을 해서 납품한 산업폐수를 처리하기 위한 큰 규모의 DOF 시스템을 그림 6.4에 나타냄. 이 처리장으로 유입되는 폐수는 전자산업공단의 LCD 디스플레이 공장에서 배출되는 폐수이며, 이 처리장의 DOF 시스템의 규모는 17,000m<sup>3</sup>/일로 2012년 6월에 준공되어 현재까지 잘 운영되고 있음. 처리장의 운영비는 인건비를 제외하고 전기비, 응집제비용, 슬러지 처리비를 포함하여 50원/m<sup>3</sup> 이하임.

이 DOF 시스템은 두 가지 방법으로 운전이 가능함. 유입폐수의 수질이 충분히 좋은 때는 오존 대신 공기를 이용하여 DAF로 운전하고, 유입폐수의 수질이 낮을 때는 오존을 사용하여 DOF로 운전할 수 있고, 실제로 현장에서 그렇게 운전하고 있음. 비록 한 개의 DOF 시스템이지만 DOF와 DAF의 두가지 시스템을 가지고 있는 것과 같은 효과가 있음.

	<b>Site Location</b>	434, Hyuam-ro, Wollongmyeon, Paju-si, Gyeonggi-do
	<b>Operation</b>	June, 2012
	<b>Capacity</b>	17,000 m <sup>3</sup> /day
	<b>Technology</b>	Dissolved Ozone Flotation (DOF system)
	<b>Raw Water</b>	Industrial Wastewater from LG Display + City sewage
	<b>Power (US\$/m<sup>3</sup>)</b>	0.038
	<b>Construction cost (US\$)</b>	4,190,000
	<b>Total Operating cost (US\$/m<sup>3</sup>)</b>	5.0 cents

그림 6.4. 미시간기술이 공급한 큰 규모의 of DOF 시스템

미시간기술이 공급하는 DOF (DAF) 시스템의 규모는 작은 규모에서 크기는 무한대까지 제한이 없음. 미시간기술은 작은 시스템에서 큰 시스템까지 설계, 엔지니어링, 현장시공까지 책임지고 있음.

## 6. 미시간기술의 장점

- 1) 미시간 DOF (DAF) 기술은 타 회사가 제공하는 것보다 높은 처리수질을 제공함.
- 2) 건설비용이 저렴함.
- 3) 운전비용 (50원/m<sup>3</sup> 이하)이 매우 낮음.
- 4) 처리장의 면적이 작음.
- 5) 멤브레인이나 필터기술에서 필연적으로 발생하는 막힘 현상이 없음.
- 6) 역삼투막 (RO) 공정에서 발생하는 것과 같은 농축수 문제가 없음.