

## 생물처리를 이용한 상수원수의 전처리공정에 관한 비교연구

우달식 · 남상호  
건국대학교 환경공학과

### Comparative Study on Biological Pretreatment Processes for Biologically Stable Drinking Water

Dal-Sik Woo, Sang-Ho Nam  
Department of Environmental Engineering, Kon-Kuk University

#### ABSTRACT

Biological process have the potential to remove pollutants such as biodegradable organic fraction,  $\text{NH}_3\text{-N}$ , ABS, etc. that may be partially removed by conventional water treatment.

This study was performed to evaluate four different processes of biological pretreatment as Biological Fluidized Bed(BFB), Biological Filter(BF), Rotating Biological Contactor(RBC) and Honey Comb(HC)

In a given condition it proved out that BFB and BF are prospective biological pretreatment processes because they were the most effective on the removal of organic matter and ammonia. Preozonation of raw water for biological processes increased in biodegradable organic fraction about 10-40% with 0.425-0.85 mg  $\text{O}_3$ /mg DOC.

**Keywords :** Biological process, biological fluidized bed, biological filter, preozonation, dissolved organic carbon

#### I. 서 론

상수원수중 용존유기오염물질은 일부가 재래식 물리화학적 정수공정에 의하여 제거되지만 대부분 처리수에 포함되어 관내 미생물의 재성장 또는 유해 소독부산물을 생성하므로 활성탄흡착, 생물활성탄 또는 오존+생물활성탄여과방식을 후속공정으로 채택하는 경향이 있다.<sup>1,2)</sup> 오염에 노출된 지표수의 경우 때로는 전처리로 제방고수부지여과방식(Bank filtration)을 채택하고 있다. 자연의 맛을 훼손시키지 않고 "맛있는 물"을 경제적으로 생산할 수 있으며 발암성물질로 지목받고 있는 트리할로메탄의 생성량을 저감시킬 수 있고 부지가 적게 소요되며 유지관리가 용이한 생물처리에 의한 전처리공정들이 연구되기 시작하였다.<sup>3-8)</sup>

생물처리는 기존의 정수처리 공정에 의하여 효과적으로 제거하기 어려운 유기물, 암모니아성 질소 등의 제거에 극히 유효한 방법이며 원수가 유기물질

을 함유하고 있는 경우 채택될 수 있는 공정이다.<sup>9)</sup> 생물산화에 의해 생분해성 유기물과 일부 난분해성 유기물을 제거하여 급·배수관망에서의 미생물재성장 및 맛·냄새의 원인물질을 대부분 제거할 뿐만 아니라 소독부산물의 전구물질도 감소시킬 수 있다.<sup>1,2)</sup> 다른 처리방식에 비해 처리비용이 비교적 저렴하고 조작성이 용이하다는 장점이 있다.<sup>9)</sup>

전오존처리를 생물학적 전처리공정과 결합시켜 사용하면 오존자체의 유기물질 제거효과보다는 수중의 일부 고분자 난분해성 유기물질을 생물분해 가능한 저분자물질로 전환시켜 미생물이 분해하기 쉽게 함으로써 후속의 생물처리에 효율을 증대시킬 수 있으며 부차적으로 수중의 용존산소를 증가시켜 생물학적 전처리공정내 미생물의 활성을 높일 수도 있다.<sup>10,11)</sup>

본 연구는 정수처리의 시설공간을 정수장 밖으로 정할 수도 있으며 경제적이고 비교적 시설공간이 작게 소요될 뿐만 아니라 기술적으로도 유지관리가 용이한 생물학적 전처리 공정을 개발하기 위해 수행되

었다. 지금까지의 연구들은 주로 단일 공정을 선택하여 실험하였으므로 그 공정의 유용성을 평가하기에는 다소 무리가 있다. 서로 다른 공정간의 단순비교는 어려운 일이지만 개략적인 결과를 고찰하기 위해 본 연구를 시도해 보았다. 한강원수를 대상으로 실험실규모의 생물활성탄 유동상(Biological Fluidized Bed: BFB), 생물활성탄 여과상(Biological Filter: BF), 회전원판법(Rotating Biological Contactor: RBC) 및 하니콤법(Honey Comb: HC)과 같은 4개의 생물처리공정에 의한 유기오염물질의 제거특성을 비교하였고 아울러 전오존처리가 후속 생물처리에 미치는 영향을 검토하였다.

## II. 실험

### 1. 원수의 수질특성

본 연구에 사용된 대상원수는 한강수계의 영동대교 상류지점에서 매일 채수하여 실험에 이용하였다. 각 생물처리공정에 통수를 시작한 후 약 2개월의 순응단계를 거치고 정상상태를 확인한 후 실험하였다. 실험기간인 1994년 7월 26일부터 9월 26일까지 2개월 동안 대상원수의 수질특성은 Table 1과 같다. 실험기간중 지속적인 고온의 이상기후현상으로 수온이 매우 높아 최고 33°C까지 올라가 수중의 용존산소(DO)는 평균 6.9 mg/l로 낮은 경향을 나타내었

다. 우리나라 환경수질기준에 의하면 BOD값을 기준으로 볼 때 상수원수의 수질등급은 평균 2급수에 해당하나 최저 최대치를 고려한다면 2급에서 3급사이의 수질이었다.

### 2. 실험장치

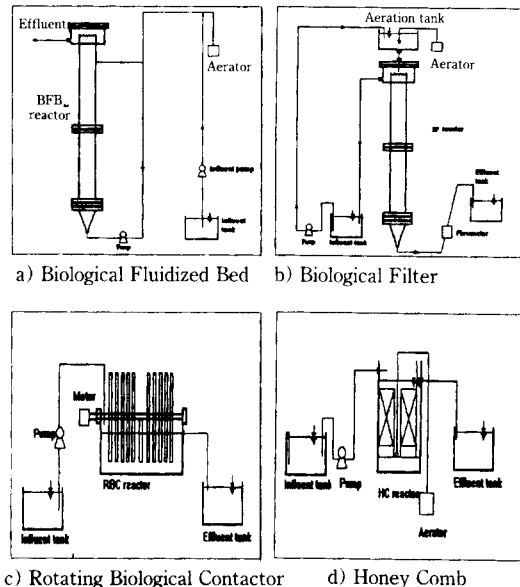
본 연구에서 사용된 실험장치는 실험실규모의 생물활성탄 유동상, 생물활성탄 여과상, 회전원판법 및 하니콤법으로 공정도는 Fig. 1과 같다.

생물활성탄 유동상은 아크릴원통으로 내경 50 mm, 높이 1200 mm로 유효용적을 3000 ml로 제작하였다. 원수는 정량주입펌프(Master flex pump model 7518-00)를 이용하여 유입시켰다. 실험에 이용된 활성탄은 NORIT사 제품의 이탄계 정형입상활성탄(NORIT ROW 0.8 SUPRA)을 사용하였으며, 그 특성은 Table 2와 같다. 여재의 유동과 유체의 순환 역할을 동시에 할 수 있도록 Magnet pump (IWAKI, MD-6A)를 이용하였다. 여층의 팽창률은 처음 활성탄 주입시의 높이를 기준으로 하여 40%를 유지시켰다. 400 g의 활성탄을 주입하였을 때의 초기 활성탄 충전 높이는 450 mm이었으며 40% 팽창시의 높이는 630 mm이었다. 반응조로의 유입유속은 22 ml/min이었으며 유체의 흐름은 상향류로 조절하였다.

생물활성탄 여과상은 아크릴원통으로 내경 50

**Table 1.** Quality of raw water

Parameter	Range	Average
Water temp(°C)	21.4-33.0	27.0
Turbidity(NTU)	2.7-10.0	5.3
pH	6.4-7.5	7.0
DO(mg/l)	4.7-8.7	6.9
Conductivity(μmhos/cm)	144-241	196
Alkalinity(mg/l)	40-57	47.1
NH <sub>3</sub> -N(mg/l)	0.02-0.17	0.08
ABS(mg/l)	0.01-0.22	0.03
SS(mg/l)	4.5-87	22.4
VSS(mg/l)	2.0-19.5	7.4
BOD(mg/l)	1.4-3.4	2.6
COD <sub>c</sub> (mg/l)	3.1-7.2	4.8
TOC(mg/l)	7.0-8.8	7.8
DOC(mg/l)	3.8-7.4	4.7
Total Coliform Group (MPN/100 ml)	5425-7798	7470
HPC(10°CFCU/ml)	29.5-2110	692.4
UV <sub>254</sub> (cm <sup>-1</sup> )	0.066-0.097	0.083
Chlorophyll-a(μg/l)	33.9-54.0	45.0



**Fig. 1.** Schematic diagrams of experimental apparatuses

**Table 2.** Properties of NORIT ROW 0.8 SUPRA

Classification	Unit	Values
Apparent density	g/l	380
Density backwashed & drained	g/l	335
Moisture (as packed)	%	2
Ash content	%	8
Phenol adsorption	%	6
Iodine adsorption	mg/g	1100
Total pore volume	cm <sup>3</sup> /g	1.0
Dechlorination halving value	cm	4
Ball pan hardness	%	94
Surface area	m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>	1200

**Table 3.** RBC design specification

Parameter	Values
Number of stage	2
Number of disk per stage	5
Disk thickness(cm)	0.3
Disk diameter(cm)	20
Disk spacing(cm)	1.7
Peripheral velocity(m/min)	18
Submerged area(%)	40
Tank volume(l)	5

mm, 높이 1200 mm, 유효용량 2400 ml로 제작하였다. 사용된 여재는 생물활성탄 유동상과 같이 NORIT사의 정형입상활성탄(NORIT ROW 0.8 SUPRA)을 400 g 투입하여 높이 450 mm까지 충전시켰다. 원수의 유입은 정량주입펌프(Master flex pump model 7518-00)를 이용하였으며 유속은 18 ml/min으로 하향류의 흐름을 유지하였다.

회전원판법의 반응조는 아크릴 판을 이용하여 높이 120 mm×폭 240 mm×길이 240 mm, 유효용량 5000 ml의 정사각형 반응조로 중간에 정류판을 설치하였으며 1층 2단의 직렬로 제작하였다. 유수방향은 원판회전축에 대해 직각으로 하였으며 회전체는 모터를 이용하여 회전시켰다. RBC반응조의 재원은 Table 3과 같다.

하니콤법의 반응조는 아크릴 판을 이용하여 가로 150 mm×세로 150 mm×높이 330 mm, 유효용량 5500 ml로 중앙부에 통기관(Draft tube)을 설치하고 주위에 하니콤튜브를 충전시킨 중심연속폭기형 방식으로 제작하였다. 유체의 혼합과 산소공급을 위해 산기석을 통기관 하부에 설치하였다. 하니콤튜브(Honey Comb Tube)의 재질은 신일본고아(주) 제품으로 균일한 6각형의 벌집모양으로 성형된 경질염

**Table 4.** Specification of Honey Comb Tube

Cell size (mm)	Film thickness (μ)	Density (kg/m <sup>3</sup> )	Surface area (m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> )	Pressure strength (ton/m <sup>3</sup> )
13	100	28	306	2.0

화비닐이며 압축강도가 크고 내약품성, 내구성이 우수하며 단위체적당 점유하는 비표면적이 커서 수처리용 접촉재로서 이상적이며, 그 성상은 Table 4와 같다.

동일조건하에서 비교 검토할 수 있도록 체류시간은 반응조의 용량에 따라 원수유입량을 조절하여 4반응조 모두 2시간으로 실험하였다.

전오존처리가 생물처리에 미치는 영향을 검토하기 위해 미국 PCI제품의 오존발생기를 사용하였으며 오존접촉조는 내경 10 cm, 실용량 6.5 l의 원통형 아크릴로 제작하였다.

### 3. 실험방법

실험에 사용된 원수는 한강수계의 영동대교 상류 지점에서 채수하였다. 원수의 암모니아성 질소와 ABS농도가 매우 낮았기 때문에 효과적인 제거효율의 관찰을 위해서 염화암모늄(NH<sub>4</sub>Cl) 수용액과 Sodium Lauryl Sulfate (CH<sub>3</sub>(CH<sub>2</sub>)<sub>11</sub>OSO<sub>3</sub>Na)를 주입하여 각각 1 mg/l, 3 mg/l이 되도록 하였다. 정상상태를 확인한 후 효과적인 전처리공정의 선택을 위해 오염물질의 제거특성을 고찰하였다. 전오존처리가 생물학적 전처리공정에 어떠한 영향을 미치는지 고찰하기 위해 오존주입농도를 0 mg O<sub>3</sub>/mg DOC, 0.425 mg O<sub>3</sub>/mg DOC, 0.85 mg O<sub>3</sub>/mg DOC로 하고, 오존접촉조의 체류시간을 10분으로 하였다. 오존접촉후 잔류오존의 영향을 최대한 줄이기 위해 저류조에서 30분의 체류시간을 갖고 각 공정에 유입하였다. 기체상태의 오존주입량은 오존을 2% KI 수용액에 통과시켜 적정법으로 측정하였고 액체상태의 잔류오존량은 Indigo trisulfonate를 사용한 인디고 탈색법으로 측정하였다. 이외의 수질분석은 Table 5와 같이 미국의 표준수질조사방법,<sup>12)</sup> 공해공정시험법<sup>13)</sup>에 의해 분석하였다.

## III. 결과 및 고찰

### 1. 오염물질의 제거특성

**Table 5.** Analytical methods for water quality

Items	Analytical methods
Temperature	Alcohol thermometer
Turbidity	Nephelometric method(HACH Model 2100A Turbidimeter)
pH	Digital pH meter(CORNING Ion Analyzer 250)
DO	Membrane electrode method(YSI Model 57)
Conductivity	Conductivity meter(SUNTEX Model SC-17A)
Alkalinity	Titration method
BOD	US Standard method(18th)
COD	US Standard method(18th)
TOC	TOC meter(Shimadzu TOC-500)
DOC	TOC meter, 0.45 $\mu$ m filter
NH <sub>3</sub> -N	Indophenol method
ABS	Methylene blue method
SS & VSS	US Standard method(18th)
UV <sub>254</sub>	UV-VIS spectrophotometer(Shimadzu, Model No. UV-240)
Total Coliform Group	MPN method
HPC	Heterotrophic plate count method
Chl.a	UV-VIS spectrophotometer(Shimadzu, Model No. UV-240)

**Table 6.** Removal efficiency of organic matter.

Items	Inf	BFB		BF		RBC		HC	
		Range (mean)	Removal rate(%)	Range (mean)	Removal rate(%)	Range (mean)	Removal rate(%)	Range (mean)	Removal rate(%)
BOD(mg/l)	2.6	0.8~2.3(1.3)	50.8	0.2~2.0(0.8)	70.0	0.4~2.1(1.2)	54.3	0.3~2.0(1.2)	54.0
COD <sub>cr</sub> (mg/l)	4.8	1.9~3.8(2.9)	40.0	0.4~2.2(1.3)	72.7	3.0~4.6(3.8)	21.1	2.4~4.8(3.7)	22.2
TOC(mg/l)	7.8	3.8~6.4(5.1)	35.0	2.9~4.1(3.5)	55.8	5.0~7.3	19.5	5.3~7.2(6.6)	15.3
DOC(mg/l)	4.7	1.4~2.6(1.9)	58.5	2.0~4.0(2.5)	46.5	3.0~6.0(4.3)	8.3	3.7~8.9(4.5)	2.8
UV <sub>254</sub> (cm <sup>-1</sup> )	0.083	0.037~0.061 (0.042)	48.8	0.011~0.030 (0.020)	76.1	0.065~0.088 (0.072)	13.0	0.068~0.102 (0.081)	2.4

### 1) 유기물질

생물처리에 의해 BOD, COD<sub>cr</sub>, TOC, DOC 및 UV<sub>254</sub>와 같은 유기물질 관련 항목의 제거율을 고찰하였고 그 결과는 Table 6과 같다.

수중의 오염지표로서 가장 많이 이용되고 있는 BOD는 모든 공정이 50%이상의 양호한 제거율을 나타내었으며, COD<sub>cr</sub>은 생물활성탄 여과상에서만 72.7%의 양호한 제거율을 보였을 뿐 다른 공정에서는 50%이하의 저조한 제거율을 나타내었다.

상수원수중 유기물질의 존재는 소독시 유해부산물(DBPs)과 급배수관망의 미생물재성장을 초래할 수 있다. 유기물질은 총유기탄소(TOC)와 용존유기탄소(DOC)에 의해 정량할 수 있다.<sup>12,14,15</sup> 입자상 유기탄소(POC)가 함유된 총유기탄소(TOC)의 제거율은 생물활성탄 여과상이 55.8%로 가장 좋았으며 생물활성탄

유동상, 회전원판법, 하니콤법은 각각 35.0%, 19.5%, 15.3%의 제거율을 나타내었다. 이는 Takasaki 등<sup>3)</sup>이 가스미가우라호의 원수를 대상으로 하니콤법에 의해 1시간 및 8시간의 체류시간에서 TOC의 제거율이 각각 6%, 12%이었음을 감안하면 양호한 결과라 할 수 있다.

용존유기탄소(DOC)의 유입농도는 4.7 mg/l이었으며, 생물활성탄 유동상과 생물활성탄 여과상은 각각 58.5%, 46.5%의 평균제거율을 나타내었지만 회전원판법과 하니콤법은 8.3%, 2.8%로 거의 제거되지 않았다. 이것은 여재의 특성상 하니콤법이나 회전원판법은 유기물질의 흡착이 일어나지 않으나 입상활성탄을 여재로 사용한 생물활성탄 유동상이나 생물활성탄 여과상은 미생물에 의한 유기물분해 뿐만 아니라 활성탄흡착도 동시에 일어났기 때문인 것으로 추정된다.

일반적으로 침전·여과공정후의 TOC/DOC비는 매우 적어진다.<sup>14)</sup> 본 연구에 이용된 원수의 TOC/DOC비는 1.66이었으며 생물활성탄 여과상에서 유출수의 TOC/DOC비는 1.40으로 줄어 들었으나 생물활성탄 유동상에서는 2.68로 오히려 유입수보다 훨씬 높았다. 이것은 입상활성탄의 유동에 의한 생물막의 탈리와 유기물이 흡착된 활성탄분말의 유출로 인해 증가한 것으로 판단된다.

난분해성물질의 지표로서 자외부흡광을 표시하는 UV<sub>254</sub>는 생물활성탄 유동상과 생물활성탄 여과상에서 각각 48.8%, 76.1%의 감소율을 보인 반면 하니콤법과 회전원판법에서는 2.4%, 13.0%이었다. 난분해성 유기물질이 생물활성탄 여과상에서 생물활성탄 유동상보다 감소가 크게 나타난 것은 난분해성 물질이 대부분 소수성이고 분자량이 크기 때문에 여과기능에 의해 감소율이 비교적 큰 것으로 추정된다.

위의 결과로부터 생물활성탄 유동상과 생물활성탄 여과상은 유기물제거에 매우 효과적이었다. 특히 생물활성탄 유동상은 용존 유기물의 생물분해가 다른 공정에 비해 보다 잘 진행되어 DOC 제거에 매우 유리한 공정임을 확인하였다.

2) 탁도 및 부유물질

전처리공정에서 탁도와 부유물질의 제거는 후속의 응집·침전시 약품투여량의 절감 및 여과지속시간을 늘릴 수 있다는 데 중요한 의미를 가지고 있다.<sup>16,17)</sup> 생물처리에 의한 탁도제거는 유기성 부유물질의 생물분해에 의한 것과 무기성 부유물질이 생물막에 부착되어 조대입자로 변하기 때문인 것으로 생각할 수 있다.<sup>7)</sup>

Fig. 2와 같이 모든 공정에서 탁도는 평균 50% 이상 안정적인 제거효율을 보였으며, 부유물질은

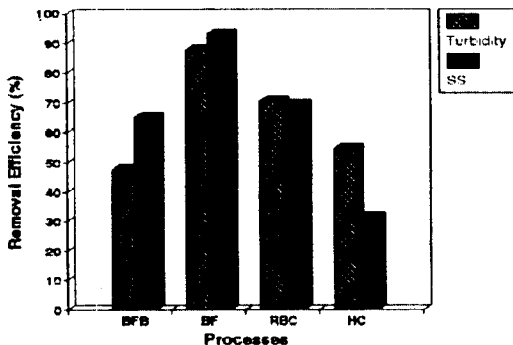


Fig. 2. Removal efficiency of turbidity and SS

하니콤법을 제외한 나머지 공정들이 70%이상의 매우 우수한 제거효율을 보여 후속공정의 부하를 상당히 경감시킬 수 있을 것으로 생각된다. 생물활성탄 유동상은 활성탄에 부착된 미생물의 탈리현상으로 인해 탁도 제거율이 다른 공정에 비해 약간 저조하였다.

3) ABS

ABS는 정수장내 침전지, 여과지 등에 거품을 발생시켜 운전에 장애를 유발시키며 기존정수공정으로는 제거하기 어려운 물질이다.<sup>18)</sup> 본 연구에서는 원수의 ABS농도가 평균 0.034 mg/l로 매우 낮았기 때문에 Sodium Lauryl Sulfate를 인공적으로 약 3 mg/l이 되도록 조제하여 유입원수에 주입하였다. 생물활성탄 유동상과 생물활성탄 여과상은 Fig. 3에 나타낸 바와 같이 각각 94.8%, 95.2%로 매우 높은 제거율을 보였으며 회전원판법과 하니콤법도 77.7%, 77.6%로 양호한 제거율을 나타내어 생물처리가 ABS제거에 매우 효과적인 공정임을 알 수 있었다.

4) 암모니아성 질소

상수원수를 평가하는데 이용되는 여러 수질항목 중 중요한 요소중 하나가 암모니아성 질소이다.<sup>3)</sup> 상수원수에 암모니아성 질소가 존재하면 처리수중 질소성분은 관내 미생물의 재성장을 가져올 수 있는 영양물질로 이용될 수 있으며 정수처리수의 소독효과를 감소시키고, 높은 농도의 염소는 유해부산물을 유기물과 반응하여 생성하고 처리비용을 증가시키는 요인이 된다.<sup>12)</sup> 유럽에서는 정수과정중에 암모니아성 질소를 생물학적으로 산화시키는 공정이 보편화되어 있으나<sup>19)</sup> 국내에서는 초보적인 연구수준에 머물러 있다.

우리나라에서 지표수를 상수원으로 이용하고 있는

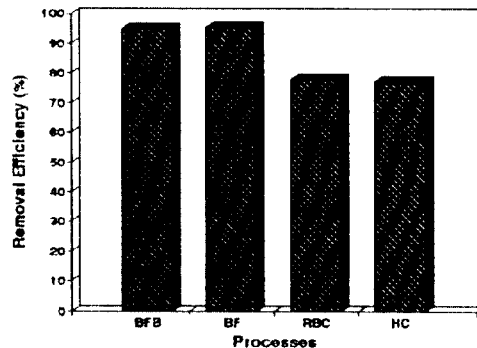


Fig. 3. Variations of ABS in processes

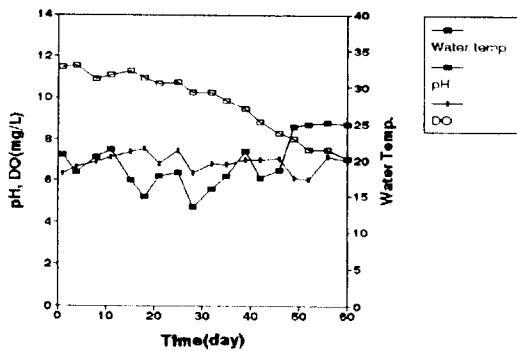


Fig. 4. Variation of Temp, DO and pH in raw water

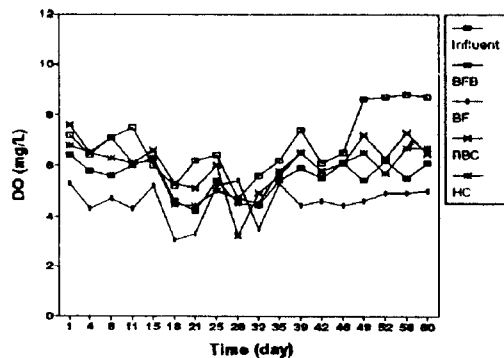


Fig. 6. Variations of DO in processes

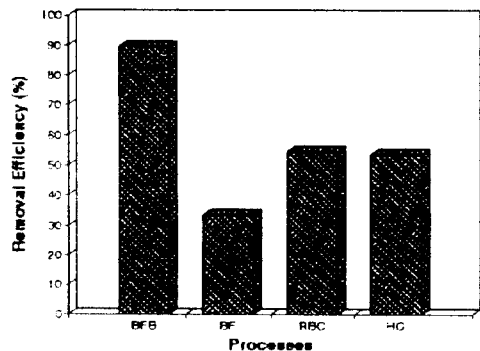


Fig. 5. Variations of NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N in processes

상수원수에서는 갈수기에 암모니아성 질소가 대부분 3 mg/l를 넘지 않으며 평상시에는 0.2 mg/l을 초과하지 않는 것으로 알려져 있다. 암모니아성 질소는 독립영양세균인 질산화박테리아의 성장을 위한 전자공여체로서 작용하며 0.25 mg/l이상 존재할 때 질산화박테리아에 영향을 줄 수 있다.<sup>20)</sup> 본 연구에서 이용한 대상원수의 암모니아성 질소는 평균 0.082 mg/l로서 질산화박테리아의 성장에 매우 부족하므로 인위적으로 NH<sub>4</sub>Cl 수용액을 주입하였으며 실제 측정된 유입수의 암모니아성 질소는 평균 0.84 mg/l이었다.

미생물에 의한 암모니아성 질소의 질산화는 호기성 조건에서 독립영양세균에 의해 진행된다. 반응속도는 DO농도가 2.0 mg/l이상일 때 안정화되고 이론적으로 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 1.0 mg에 대해서 O<sub>2</sub> 3.55 mg/l가 요구된다. 따라서 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>이 1.0 mg/l이상일 때에는 산소를 공급해야만 한다. NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N가 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N으로 완전산화하기 위한 이론적 산소요구량은 4.57 mg O<sub>2</sub>/mg N이다.<sup>21)</sup> 본 연구에서 DO농도가 6.9 mg/l, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N이 0.84 mg/l이므로 DO/NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N비는 약 8.21이므로 이론적인 값의 약

Table 7. Removal efficiencies in processes

Processes Items	BFB	BF	RBC	HC
BOD	△	△	△	△
COD	△	△	×	×
DOC	△	△	×	×
Turbidity	△	○	△	△
SS	○	○	○	×
ABS	○	○	○	○
NH <sub>4</sub> -N	○	×	△	△
Ranks of processes	1	2	3	4

note) ○ : very good △ : good × : bad

2배정도이므로 DO부족은 없는 것으로 판단된다. 질산화가 진행되는 동안 pH는 낮아지며 pH가 낮게 떨어지는 것을 방지하기 위해 알칼리도를 보충시켜야 하며, pH가 6.0이하로 떨어지면 질산화는 일어나지 않는다.<sup>22)</sup> 본 연구에서 유입수의 pH는 평균 7.0이었으며 각 처리 공정후 유출수의 pH는 6.6-6.9로 질산화의 진행에는 별 영향이 없었다. 연구기간동안 유입수의 온도, DO 및 pH 변화는 Fig. 4와 같다.

Fig. 5는 각 공정에서 암모니아성 질소의 제거율을 나타낸 것이다. 실험기간중 생물활성탄 유동상에 의한 암모니아성 질소의 제거율은 89.7%로 가장 좋았으나, 생물활성탄 여과상에서는 33.5%의 매우 낮은 제거율을 보였다. 이는 Fig. 6에서 나타난 바와 같이 생물활성탄 여과상에서 유출수의 DO가 평균 4.5 mg/l로 다른 공정에 비해서 약 1 mg/l 이상 소모되었으며 잦은 막힘현상으로 인해 충분한 산소공급이 이루어지지 않았기 때문인 것으로 사료된다. 이를 통해서 DO는 질산화효율을 조절하는 매우 중요한 인자임

**Table 8.** Comparison of removal efficiency by processes with ozone dose

Parameter	BFB			BF			RBC			HC		
	0	0.425	0.85	0	0.425	0.85	0	0.425	0.85	0	0.425	0.85
Ozone dose (mg O <sub>3</sub> /mg DOC)												
COD <sub>Cr</sub>	40.0	70.9	76.7	72.7	72.7	78.7	21.1	49.1	56.7	22.2	38.2	43.3
TOC	35.0	61.1	66.7	55.8	77.8	87.2	19.5	37.5	43.6	15.3	34.7	41.0
DOC	58.5	67.3	77.4	48.5	78.8	87.1	8.3	40.4	45.2	2.8	32.7	38.7
UV <sub>254</sub>	48.8	50.9	53.3	78.1	78.4	77.1	13.0	33.0	34.4	2.4	34.9	33.5
NH <sub>3</sub> -N	89.7	89.5	88.4	33.5	34.8	34.9	54.8	57.8	57.1	53.7	54.8	54.5
ABS	94.8	98.3	99.0	95.2	98.8	99.4	77.7	94.8	96.8	77.8	95.2	97.1

을 확인할 수 있었다. 암모니아성 질소는 활성탄의 흡착제거가 어렵기 때문<sup>22)</sup>에 이러한 제거는 미생물의 질산화에 의해 이루어진 것이라 판단된다.

회전원판법과 하니콤법은 일본에서 1980년 초부터 오염된 상수원수의 전처리 공정으로 이용되고 있다.<sup>3,6,23)</sup> 본 연구는 Fig. 5와 같이 회전원판법 54.8%, 하니콤법 53.7%의 제거율을 보여 일본에서의 연구<sup>6,23)</sup>와 별 차이가 없었다.

이러한 결과로부터 생물활성탄 유동상은 암모니아성 질소제거를 위해 매우 좋은 공정임을 확인할 수 있었다.

## 2. 생물학적 전처리공정 선택

4개의 생물학적 전처리공정을 통해 오염물질의 제거 특성을 비교검토하여 정리한 결과는 Table 7과 같다.

생물활성탄 유동상과 생물활성탄 여과상은 회전원판법과 하니콤법에 비해 유리한 제거 특성을 보였다. 특히 생물활성탄 유동상은 생물활성탄 여과상에서 용존산소의 부족으로 제거가 제대로 되지 않은 암모니아성 질소의 제거에 매우 우수한 효율을 보였으며 ABS, SS, 유기물제거에도 양호한 결과를 나타내었다.

## 3. 전오존처리가 생물처리에 미치는 영향

본 연구에서는 전오존처리가 생물학적 전처리공정에 미치는 영향을 검토하기 위해 오존주입량을 각각 0 mg O<sub>3</sub>/mg DOC, 0.425 mg O<sub>3</sub>/mg DOC, 0.85 mg O<sub>3</sub>/mg DOC로 각각 달리 주입하고, 접촉시간을 10분으로 유지시켜 4개의 전처리공정인 생물활성탄 유동상(BFB), 생물활성탄 여과상(BF), 회전원판법(RBC) 및 하니콤법(HC)에 적용하여 실험한 결과는 Table 8과 같다.

COD<sub>Cr</sub>, TOC, DOC 및 UV<sub>254</sub>와 같은 유기물 측정

항목들의 감소율은 오존처리하지 않은 것과 비교하여 상당히 증가하였다. 오존주입농도 0.425 mg O<sub>3</sub>/mg DOC, 0.85 mg O<sub>3</sub>/mg DOC로 생물활성탄 유동상에서 DOC는 약 10-20%정도의 제거율의 향상을 가져왔으며 생물활성탄 여과상에서는 약 30-40%의 제거율이 증가하여 전오존처리하는 유기물제거에 효과가 있는 것으로 판단된다.

오존주입농도에 관계없이 모든 공정에서 암모니아성 질소의 제거율은 전오존처리에 거의 영향을 받지 않았다. 오존에 의한 암모니아성 질소의 직접산화는 pH8.5이상일 때 일부 일어나지만<sup>11)</sup> 본 연구에서 유입원수의 pH는 6.4-7.5이므로 오존에 의한 영향이 없는 것으로 판단된다. 생물활성탄 유동상과 생물활성탄 여과상에서 ABS는 오존의 산화력에 의해 거의 100%의 제거율을 보였으며, 회전원판법과 하니콤법에서도 오존주입 전보다 월등히 제거효율이 향상됨을 알았다.

결론적으로 전오존처리후 생물학적 전처리의 효과는 유기물 제거에 상당한 효과를 얻을 수 있었으나 암모니아성 질소의 제거에는 거의 추가적인 효과를 나타내지 않았다.

## IV. 결 론

상수원수의 생물학적 전처리공정 선택을 위해 영동대교 상류에서 채수한 한강수를 대상원수로 하여 생물활성탄 유동상, 생물활성탄 여과상, 회전원판법 및 하니콤법을 적용하여 오염물질의 제거특성을 비교한 후 전오존처리의 영향을 검토하여 얻은 결론은 다음과 같다.

1. 생물활성탄 유동상 및 생물활성탄 여과상은 용존 유기물의 생물분해가 잘 되어 유기물질 제거가 우수하였다.

2. 탁도, 부유물질 및 ABS의 제거는 모든 공정에서 잘 이루어져 생물처리가 후속공정의 부하감에 매우 유리함을 알 수 있었다.

3. 생물활성탄 유동상에서 암모니아성 질소의 제거율은 89.7%로 다른 공정에 비해 매우 안정적인 제거특성을 보였다.

4. 전오존처리후 생물학적 전처리의 효과는 난분해성 물질의 분해효과로 인해 유기물 제거에 효과가 있었으나 암모니아성 질소의 제거에는 별 다른 효과를 보이지 않았다.

### 참고문헌

- 1) Kenneth H. Carlson, Gary L. Amy : The relative importance of EBCT and HLR on the Removal of BOM during biofiltration. AWWA Conference Proceedings, New Orleans, 1995.
- 2) P.Westerhoff, Gary L. Amy, G. Aiken, and J. De-broux : Effects of NOM structure on ozone decomposition rates, biodegradability surrogates, and by-products. AWWA Conference Proceedings, Anaheim, California, 1995.
- 3) M.Takasaki, et al. : The submerged biofilm process as a pretreatment for polluted raw water for tap water supply. *Wat. Sci. Tech.*, **22**(1/2), 137-148, 1990.
- 4) Bruce E. Rittmann, Vernon L. Snoyink : Achieving Biologically Stable Drinking Water. *J.AWWA*, **76**(10), 106-114, 1984.
- 5) Hsuan-Hsien Yeh, Hsien-Cheng Kao : Testing a Coke Biofilter for the Pretreatment of Polluted Surface Water in Taiwan. *J.AWWA*, **85**(5), 96-102, 1993.
- 6) 松本哲也 外 : 浄水處理の前處理としての生物處理(回轉圓板法)について. *環境技術*, **21**(2), 40-43, 1992.
- 7) 小島貞男 外 : 流動床生物膜處理による河川水のアンモニア除去實驗. *用水と廢水*, **35**(8), 20-30, 1993.
- 8) 신항식, 임경호, 이상민 : 생물막을 이용한 상수원수에서의 암모니아제거특성. *대한상하수도학회지*, **10**(1), 78-84, 1996.
- 9) 佐藤敦久 : 水處理. 第1版. 技報堂出版. 東京, 1993.
- 10) Peter M. Huck : Biological drinking water treatment ; concepts, issues and performance. AWWA Conference Proceedings, New York, 1994.
- 11) Bruno Langlais, David A. Reckhow, Deborah R. Brink : Ozone in Water Treatment ; application and engineering. 2nd ed., AWWA Research Foundation and Lewis Publishers, INC., Colorado, 1991.
- 12) APHA-AWWA-WPCF. : Standard methods for the examination of water and waste-water, 18th ed., Washington. D. C., 1992.
- 13) 환경처 : 수질오염 폐기물 공정시험방법. 동화기술, 1993.
- 14) R. Scott Summers, Seongho Hong, Stuart Hooper, Gabriele Solarik : Adsorption of Natural organic matter and disinfection by-product precursors. AWWA Conference Proceedings, New York, 1994.
- 15) Gerald E. Speital Jr., Alicia C. Diehl : Biodegradation of Natural organic matter and disinfection by-product precursors. AWWA Conference Proceedings, New York, 1994.
- 16) 신항식, 임경호, 전항배, 곽창호 : 생물막 공정을 이용한 상수의 고도처리. *대한환경공학회*, **17**(8), 763-773, 1995.
- 17) 신항식, 임경호, 이의신, 최계운 : 생물막 공정을 이용한 상수원수의 유기물제거. *한국수질보전학회지*, **11**(4), 341-349, 1995.
- 18) 韓國建設技術研究院 : 合成洗劑가 上水處理 工程에 미치는 影響에 關한 研究. 1991.
- 19) Jennifer Kurtz Crooks, et al. : Technical Note ; Biological Removal of Ammonia at Roxana, Illinois. *J.AWWA*, **78**(5), 94-95, 1986.
- 20) Edward J. Bouwer and Patricia B. Crowe : Biological processes in drinking water treatment. *J. AWWA*, **80**(9), 82-93, 1988.
- 21) Alan L. Larson : Biological Water Treatment Provides Economical Solution in Washington. AWWA Conference Proceedings, Anaheim, California, 1995.
- 22) 우달식, 남상호 : 기존 정수처리방법으로 제거가 어려운 유기물에 대한 실험적연구. *한국환경위생학회지*, **21**(4), 17-23, 1995.
- 23) 須藤侍郎 : 東京都における生物膜接觸酸化法の比較實驗. *用水と廢水*, **25**(8), 36-42, 1983.