

생물활성탄 유동상법에서 충전량과 전오존처리가 생물처리효율에 미치는 영향

우달식 · 곽필재 · 남상호
건국대학교 환경공학과

Effects of media weight and pre-ozonation on the biodegradability enhancement in biological fluidized bed

Dal-Sik Woo · Phill-Jae Kwak · Sang-Ho Nam
Department of Environmental Engineering, Kon-Kuk University

Abstract

Biological drinking water treatment is widely used in Europe for the removal of ammonia nitrogen and organics. During the last 16 years, the deterioration of the quality of surface waters used to produce drinking water has resulted in the widespread use of ozone-biological treatment in Korea.

This study were conducted to determine the effect of media weight and preozonation on the biodegradability enhancement in biological fluidized bed(BFB) using Han river water.

When the carbon weight was increased, $\text{NH}_3\text{-N}$ and DOC removal increased, but turbidity and SS removal decreased. To remove turbidity and SS, the bed depth in 40% expansion rate/total bed depth was very important. Preozonation of raw water was not effective in $\text{NH}_3\text{-N}$, but increased in biodegradable organic fraction about 10-30% with 0.425-0.85 mg O_3/mg DOC.

I. 서 론

각종 산업의 발달과 인구의 도시집중현상으로 인해 상수원수의 오염은 점점 심각하게 진행되면서 급속모래 여과를 중심으로 한 기존의 정수처리공정으로는 용존성 오염물질의 제거가 제대로 이루어지지 못하여 건강장애, 맛·냄새 등의 문제를 야기시키고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 기존의 정수공정에 활성탄 시설, 오존처리 시설 및 생물처리시설을 조합하는 고도정수처리에 대한 연구가 국내외에서 활발히 진행되고 있다.^{1,2,3)}

고도정수처리 기술의 하나인 생물처리는 기존의 정수공정으로는 효과적으로 제어하기 어려운 용존 유기물, 암모니아성 질소 등을 제거하는데 극히 유효한 방법이며 이를 정수처리의 전처리기술로 도입한다면 매우 유용한 공정으로 이용될 수 있을 것이다.^{4,5)} 생물처리의 장점은 용존 유기물을 생물학적으로 안정한 물로 전환시켜 전염소처리의 불필요, 후염소의 저감, 소독부산물에 대한 위험성 감소, 맛·냄새의 감소, 급배수관망내 미생물의 재성장 방지, 비용절감 등이 있다.⁶⁾

생물처리공정중에서 생물활성탄 유동상법은 생물막을 가장 많은 보유하고 막힘 현상이나 손실수두가 요구되지 않으며 용존성 유기물, 암모니아성 질소, 맛·냄새 유발물질 등의 제거효과가 우수하여 오염이 진행된 하천수나 부영양화된 호수에 극히 실용성이 있다.^{7,8)}

생물처리 전단에 전오존처리를 하면 오존자체의 유기물질 제거효과보다는 수중의 일부 고분자 난분해성 유기물질을 생물분해 가능한 저분자물질로 전환시켜 효율을 증대시킬 수 있으며 부차적으로 수중의 용존산소를 증가시켜 생물처리공정내 미생물의 활성을 높일 수도 있다.^{9,10)}

본 연구는 영동대교 상류지점의 한강원수를 대상으로 그 동안 국가 G7연구사업중 생물학적 전처리기술에 대한 연구^{11,12)}를 수행하면서 개발한 생물활성탄 유동상법을 이용하여 활성탄 충전량을 변화시켜 오염물질의 제거 특성을 고찰하고 전오존처리가 생물처리 효율에 미치는 영향을 검토하였다.

II. 재료 및 방법

1. 실험장치

본 연구에 사용된 실험장치는 실험실 규모의 생물활성탄 유동상으로 공정도는 Fig. 1과 같다. 반응조는 두께 1cm의 아크릴 원통을 재질로 하여 내경 5cm, 높이 100cm로 순환조를 포함한 총 유효용적을 3ℓ로 4개를 제작하였다. 산소를 충분히 공급시키기 위해 순환조에 산기석을 설치하였다. 원수는 정량주입펌프(Master flex pump model 7518-00)를 이용하여 유입시켰다. 여재의 유동과 유체의 순환 역할을 동시에 할 수 있도록 Magnet pump(IWAKI, MD-6A)를 이용하였다. 실험에 사용된 활성탄은 독일 NORIT사 제품의 이탄계 정형입상활성탄(NORIT ROW 0.8 SUPRA)이며, 그 특성은 Table 1과 같다.

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

Table 1. Properties of NORIT ROW 0.8 SUPRA

Classification	Unit	Value
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 ³ /g	1.0
Dechlorination halving value	cm	4
Ball pan hardness	%	94
Surface area	m ² /g	1200

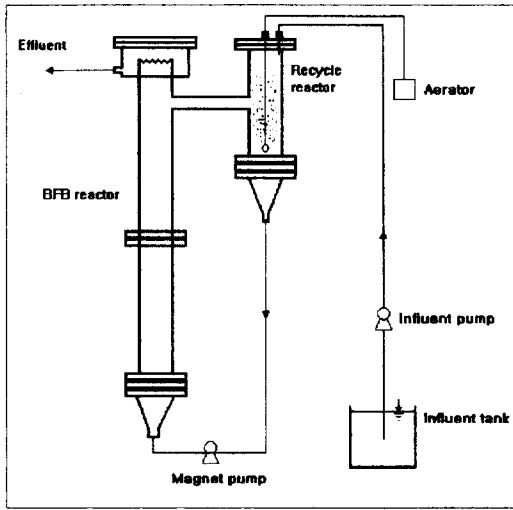


Fig. 1. Schematic diagram of biological fluidized bed

2. 실험방법

실험에 사용된 대상원수는 한강수계인 영동대교 상류지점에서 채수하였다. 반응조의 팽창율은 처음 활성탄 투입시의 높이를 기준으로 40%로 운전하였다. 반응조로의 유입유속은 22ml/min이었으며 유체의 흐름은 상향류로 조절하였다. 동일조건하에서 비교 검토할 수 있도록 체류시간은 반응조의 용량에 따라 원수유입량을 조절하여 반응조 모두 2시간으로 실험하였다.

Table 2. Packed depth in BFB

Reactor	Carbon weight (g)	Initial Packed Bed depth (cm)	Packed Bed depth in expansion rate 40% (cm)
BFB1	100	12.0	16.8
BFB2	200	23.0	32.2
BFB3	300	34.0	47.6
BFB4	400	45.0	63.0

2.1 활성탄 충전량에 따른 오염물질의 제거특성

4개의 반응조에 활성탄을 각각 100g, 200g, 300g, 400g씩 충전한 후 별도의 미생물 식중없이 한강원수를 직접 통수시켰다. 약 2개월 정도 운전기간을 거친 후 약 3개월동안 오염물질의 제거특성을 평가하였다. 팽창률 40%에서 활성탄 충전높이는 Table 2와 같다.

2, 2 전오존처리가 생물처리 효율에 미치는 영향

본 연구의 실험조건으로 오존주입율은 0 mg O₃/mg DOC, 0.425 mg O₃/mg DOC, 0.85 mg O₃/mg DOC로 하고 오존접촉조의 체류시간은 10분으로 하였다. 오존접촉 후 잔류오존의 영향을 최대한 줄이기 위해 저류조에서 30분의 체류시간을 갖고 각 반응조에 유입하였다. 기체상태의 오존주입량은 오존을 2% KI 수용액에 통과시켜 적정법으로 측정하였고 액체상태의 잔류오존량은 Indigo trisulfonate를 사용한 인디고 탈색법으로 측정하였다. 이외의 수질분석은 Table 3과 같이 미국의 표준수질조사방법,¹³⁾ 공해공정시험법¹⁴⁾에 준하였다.

Table 3. Analytical methods for water quality

Items	Analytical methods
Temperature	Alcohol thermometer
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
Turbidity	Nephelometric method(HACH Model 2100A Turbidimeter)
SS	US Standard method(18th)
NH ₃ -N	Indophenol method
BOD	US Standard method(18th)
DOC	TOC meter(Shimadzu TOC-500), 0.45µm filter

D O : Dissolved Oxygen SS : Suspended Solid

BOD : Biochemical Oxygen Demand

DOC : Dissolved Organic Carbon

III. 결과 및 고찰

1. 충전량에 따른 오염물질의 제거특성

본 연구에 사용된 대상원수는 한강수계의 영동대교 상류지점에서 매일 채수하여 실험에 이용하였다. 별도의 미생물 식종없이 직접 생물활성탄 유동상에 통수를 시작한 후 약 2개월의 순응단계를 거치고 정상상태를 확인한 후 실험하였다. 실험은 7월에서 9월사이에 이루어 졌기 때문에 대상원수의 수온은 매우 높았으며 용존산소는 상대적으로 낮았다. 암모니아성 질소는 평균 0.08mg/ℓ로 매우 낮았으며, 유기물 항목인 BOD는 상수원수 수질등급으로 평균 3급수에 가까운 2급수의 수준이었으며 DOC는 평균 4.7mg/ℓ로 높았다.

실험기간 동안 각 반응조에서 오염물질의 제거특성에 대한 결과는 Table 4와 같다.

Table 4. The results of laboratory in the BFB

	Inf.	BFB1		BFB2		BFB3		BFB4	
		Range	Mean	Range	Mean	Range	Mean	Range	Mean
Temp.(°C)	27.0	21.6-33.3	29.7	20.5-33.2	28.8	22.6-33.3	30.5	21.4-33.0	29.0
pH	7.0	5.5-7.8	6.7	5.1-7.9	6.7	5.2-7.8	6.9	5.0-7.6	6.6
DO(mg/ℓ)	6.9	4.0-6.8	5.6	3.8-7.2	5.7	3.6-7.1	5.8	4.2-6.4	5.4
Conductivity (μmhos/cm)	196	163-224	195	165-223	196	165-223	196	166-227	199
Alkalinity (mg/ℓ as CaCO ₃)	47.1	28-57	37.6	30-56	39	32-57	40.6	32-56	41.1
Turbidity (NTU)	5.3	1.1-3.6	2.0	1.2-7.4	2.7	1.7-9.8	3.2	1.7-5.6	2.6
SS(mg/ℓ)	22.7	1.3-6.0	3.2	1.0-6.0	3.6	2.5-8.0	3.9	2.0-7.0	3.8
NH ₃ -N(mg/ℓ)	0.08	0.01-0.51	0.20	0.02-0.43	0.19	0.02-0.39	0.15	0.01-0.19	0.09
BOD(mg/ℓ)	2.6	0.4-1.5	1.1	0.7-2.5	1.3	0.6-2.2	1.4	0.8-2.3	1.3
DOC(mg/ℓ)	4.7	1.6-3.7	2.4	1.0-3.1	2.1	1.2-3.0	2.3	1.4-2.6	1.9

1.1 탁도 및 부유물질

전처리공정에서 탁도와 부유물질의 제거는 후속의 응집침전시 약품투여량을 절감시키고 여과지속시간을 늘릴 수 있다는 데 중요한 의미를 가지고 있다.¹⁵⁾ 생물처리에 의한 탁도제거는 유기성 부유물질의 생물분해에 의한 것과 무기성 부유물질이 생물막에 부착되어 조대입자로 변하기 때문인 것으로 생각할 수 있다.⁷⁾ 상수원수중 부유물질은 용존이온의 형태로 화학적으로 명확한 특징을 갖고 있지 않으며 다양한 형태(무기~유기, 생물~비생물)와 크기를 갖고 있다.¹⁶⁾

실험기간중 탁도의 변화는 Fig. 2와 같다. 활성탄을 100g 충전한 BFB1의 탁도제거율은 62.3%로 활성탄을 많이 충전한 BFB2 49.1%, BFB3 39.6%, BFB4 50.9% 보다 오히려 평균 탁도제거율이 좋았다. BFB1은 40%팽창시 충전높이가 16.8cm로 BFB2, BFB3, BFB4의 34.0cm, 47.7cm, 60.0cm보다 충전높이가 낮아 유출부와 팽창시 활성탄 충전상부와의 간격이 커서 미세 분말활성탄 입자와 탈리된 미생물의 유출이 상대적으로 어려워져서 탁도 제거율이 좋았다.

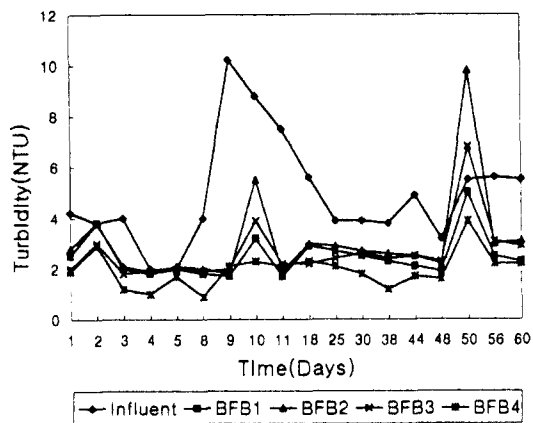


Fig. 2. Variation of turbidity with time

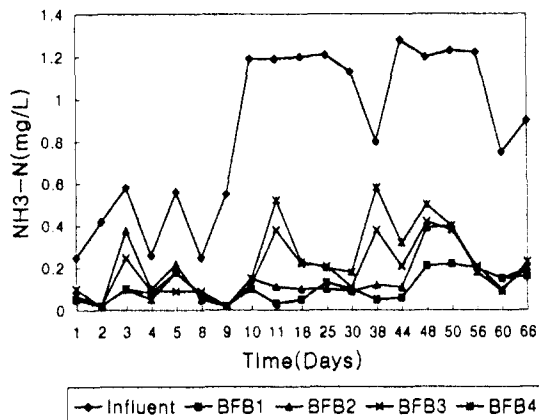


Fig. 3. Variation of NH₃-N with time

부유물질의 제거율은 BFB1 85.7%, BFB2 84.1%, BFB3 82.8%, BFB4 83.3%로 4반응조 모두 80%이상의 높은 제거율을 보였으며, 탁도와 마찬가지로 충전량이 적은 BFB1이 가장 좋은 제거율을 나타냈다. 따라서 생물활성탄 유동상법에서 탁도와 부유물질의 제거는 충전량보다 전체 반응조높이에 대한 팽창시 충전높이의 비가 보다 중요하였다.

본 연구에서는 반응조 전체높이가 100cm이고 가장 좋은 효율을 보인 BFB1의 팽창시 충전높이가 16.8cm이므로 반응조 전체높이와 팽창시 충전높이의 최적비는 1/6이었으며, 이는 실제 설계에 중요한 인자로 적용할 수 있을 것이다.

1.2 암모니아성 질소

본 연구에 이용된 대상원수의 암모니아성 질소는 평균 0.08mg/l로 매우 낮았기 때문에 효과적인 제거효율의 관찰을 위해서 염화암모늄(NH₄Cl) 수용액을 주입하여 약 20일 정도까지는 0.5mg/l이 되도록 서서히 농도를 높였으며, 이후 1.0mg/l이 되도록 spiking test를 하였다.

실험기간동안 암모니아성 질소의 변화는 Fig. 3과 같다. 충전량을 많이 할수록 암모니아성 질소의 제거율은 향상되었다. 활성탄량이 400g 충전된 BFB4는 평균 90%에 가까운 높은 제거효율을 보였으며 부하 변동에 관계없이 거의 일정한 제거율을 나타내었다. BFB1, BFB2, BFB3도 각각 76.2%, 77.2%, 82.2%의 높은 제거율을 나타내었다.

1.3 유기물

BOD는 그 동안 유기물 정량방법으로 가장 많이 이용되어 왔으나 자연수중 유기물은 매우 저농도로 존재하고 있기 때문에 정확한 정량은 어렵다. 반면 DOC는 유기물질에 대한 개별적인 분석이 어려운 상황에서 수중에 포함된 총유기물질의 농도를 나타내 주는 유용한 지표로써 최근 많이 이용되고 있다.^{1,17)}

본 연구는 유기물 분석항목으로 BOD, DOC를 선정하여 제거특성을 평가하였다. 실험기간중 BOD와 DOC의 변화는 Fig. 4, Fig. 5와 같다. BOD의 평균 제거율은 BFB1, BFB2,

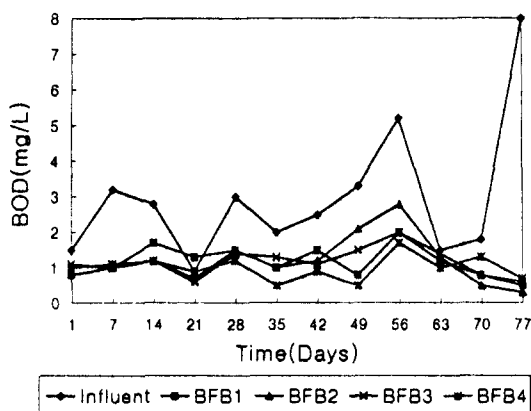


Fig. 4. Variation of BOD with time

BFB3, BFB4에서 각각 58.1%, 52.2%, 48.7%, 50.8%이었으며 활성탄 충전량이 가장 작은 BFB1이 나머지 반응조보다 다소 제거율이 좋았으나, 4반응조 모두 큰 차이는 없었다. 반면 DOC는 BFB4에서 58.5%의 제거율을 보여 충전량이 적은 BFB1에서의 48.2%보다 약 10%정도 높은 제거율을 보였으며, 이는 활성탄량을 많이 충전함으로써 흡착에 의한 영향이 다소 있기 때문으로 생각된다.

2. 전오존처리가 생물활성탄 유동상법에 미치는 영향

전오존처리가 생물활성탄 유동상법에 미치는 영향을 검토하기 위해 오존주입량을 각각 0mg O₃/mg DOC, 0.425 mg O₃/mg DOC, 0.85 mg O₃/mg DOC로 각각 달리 주입하고, 접촉시간을 10분으로 유지시켜 실험한 결과는 Table 5와 같다.

오존주입에 관계없이 암모니아성 질소의 제거율은 거의 변화가 없었다. 오존에 의한 암모니아성 질소의 직접산화는 아주 느리며 pH 8.5이상일 때 일부 일어난다.¹²⁾ 본 연구에서 유입원수의 pH는 6.4-7.5이므로 오존에 의한 영향은 거의 없는 것으로 판단된다.

BOD, DOC와 같은 유기물 측정항목은 전오존처리에 의해서 어느 정도 제거되었다. 오존주입을 0.425 mg O₃/mg DOC, 0.85 mg O₃/mg DOC에서 BOD는 약10% 미만의 제거율의 증가를 보였으나, DOC제거율은 10 - 30%정도 향상을 보였다. 결론적으로 생물활성탄 유동상법의 전단에 오존산화를 하면 암모니아성 질소의 제거에는 거의 영향을 미치지 못하였으나 용존 유기물의 제거에는 상당한 효과를 얻을 수 있었다.

Table 5. Comparison of removal efficiency with ozone dose

Reactor		BFB1			BFB2			BFB3			BFB4		
Ozone dose (mg O ₃ /mg DOC)		0	0.425	0.85	0	0.425	0.85	0	0.425	0.85	0	0.425	0.85
Removal (%)	NH ₃ -N	76.2	79.4	78.8	77.2	78.6	77.1	82.2	82.0	80.2	89.7	88.4	88.4
	BOD	58.1	62.1	66.7	52.2	55.2	60.0	48.7	51.7	56.7	50.8	51.7	53.3
	DOC	48.2	59.6	71.0	55.2	65.4	77.4	51.6	69.2	80.6	58.5	67.3	77.4

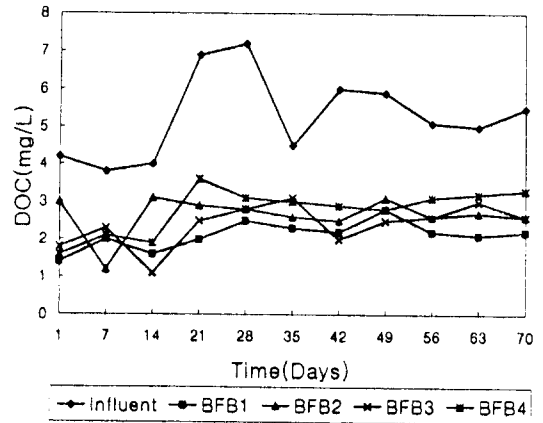


Fig. 5. Variation of DOC with time

IV. 결론

본 연구는 생물학적 전처리기술의 대안중에서 최적 공정으로 선정된 실험실 규모의 생물활성탄 유동상법을 이용하여 영동대교 상류지점에서 채수한 한강원수를 대상으로 활성탄 충전량에 따른 오염물질의 제거특성과 전오존처리의 영향을 고찰하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 탁도와 부유물질의 제거는 활성탄 충전량이 많을 때보다 오히려 적을 때 좋았다. 따라서 충전량보다는 반응조 전체높이에 대한 팽창시 충전높이가 보다 중요한 인자임을 확인하였으며, 그 최적 비는 1/6이었다.
2. 암모니아성 질소는 활성탄 충전량을 증가시킬 수록 제거율이 향상되었다. 활성탄 충전량이 가장 많은 BFB4

에서 약 90%의 제거율을 보였으며 나머지 반응조에서도 약 80%이상의 높은 제거율을 얻었다.

3. 활성탄 충전량을 증가시킬 수록 흡착에 의한 영향으로 DOC의 제거율은 향상되었다.
4. 전오존처리에 의한 암모니아성 질소의 제거는 거의 영향이 없었으나, 용존 유기물은 10 - 30%의 제거효과를 얻을 수 있었다.

참 고 문 헌

- 1) 왕창근 : 지역특성 및 처리목표수질을 고려한 고도정수처리시설계획, 수도, 24(2), 39-48, 1997.
- 2) Lori A. Cipparone et al. : Ozonation and BDOC removal. AWWA, 89(2), 84-97, 1997.
- 3) Kenneth H. Carlson : Optimization of the ozone and biofiltration processes for multiple drinking water treatment objectives, Ph.D. Dissertation, Univ. of Boulder, Co., 1996.
- 4) 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.
- 5) 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.
- 6) Bruce E. Rittmann, Vernon L. Snoyink : Achieving biologically stable drinking water, J.AWWA, 76(10), 106-114, 1984.
- 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) 藤木昭義, 安樂幸一 : 相模川原水の生物活性炭流動床による處理, 用水と廢水, 35(8), 50-56, 1993.
- 9) Peter M. Huck : Biological drinking water treatment, concepts, issues and performance, AWWA Conference Proceedings, New York, 1994.
- 10) 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.
- 11) 우달식, 남상호 : 기존 정수처리방법으로 제거가 어려운 유기물에 대한 실험적연구, 한국환경위생학회지, 21(4), 17-23, 1995.
- 12) 우달식, 남상호 : 생물처리를 이용한 상수원수의 전처리공정에 관한 비교연구, 한국환경위생학회지, 22(4), 69-76, 1996.
- 13) APHA-AWWA-WPCF. : Standard methods for the examination of water and waste-water, 18th ed., Washington. D. C., 1992.
- 14) 환경처 : 수질오염·폐기물 공정시험방법, 동화기술, 1993.
- 15) 신항식, 임경호, 전항배, 광창호 : 생물막 공정을 이용한 상수의 고도처리, 대한환경공학회, 17(8), 763-773, 1995.
- 16) 高崎みつる, 佐藤敦久 : 水道原水の生物酸化處理による懸濁物質除去特性が他水質へ及ぼす影響, 環境技術, 19(5), 42-46, 1990.
- 17) John Wooschlager, Bruce E. Rittmann : Determining the actual amount of biodegradable organic matter in drinking water supplies, AWWA Conference Proceedings, Anaheim, California, 1995.