

오존처리에 의한 BDOC_{rapid}와 BDOC_{slow} 생성 특성

손희종[†] · 정철우* · 최영익** · 배상대**

부산광역시 상수도사업본부 수질연구소 · *울산산업진흥TP 전략산업기획단 · **신라대학교 환경공학과

(2006년 8월 24일 접수, 2006년 12월 6일 채택)

Formation Characteristics of BDOC_{rapid} and BDOC_{slow} by Ozonation

Hee-Jong Son[†] · Chul-Woo Jung* · Young-Ik Choi** · Sang-Dae Bae**

Water Quality Research Institute, Waterworks Headquarter, Busan

*Ulsan Regional Innovation Agency, Ulsan Industry Promotion Techno Park

**Department of Environmental Engineering, Silla University

ABSTRACT : The formation characteristics of BDOC_{rapid} and BDOC_{slow} with different ozone dosages for 3 different kinds of waters from Maeri raw water in the down stream of Nakdong river, Hoidong reservoir water in Busan City and treated Maeri raw water(sand filtered) has been investigated in this study. The ozone dosages for producing maximum BDOC_{total} in the Maeri raw water, Hoidong reservoir water and sand filtered water of Maeri were 0.9, 1.1 and 1.4 mgO₃/mgDOC respectively. It could be concluded that the ozone dosages for formations of maximum BDOC_{total} were determined by characteristics of water. The ozone dosages for producing maximum BDOC_{rapid} in the Maeri raw water, Hoidong reservoir water and sand filtered water of Maeri were 0.9, 0.9 and 1.0 mgO₃/mgDOC respectively that were same or lower than the used ozone dosages for producing maximum BDOC_{total}. BDOC_{slow} was being formatted and increased continuously with the higher ozone dosages which were the used ozone dosages for maximum formation of BDOC_{total} and BDOC_{rapid}. For the best results of a pre-treatment of biofiltration, the optimum ozone dosage ranges in formation of BDOC_{rapid}/BDOC_{total} were 0.6~1.0 mgO₃/mgDOC that were lower than the ozone dosage ranges of 0.9~1.4 mgO₃/mgDOC for the maximum formation BDOC_{total}. The reported results indicated that the best and effective ways from economic and technical points of view to determine the optimum ozone dosages of the pre-treatment of biofiltration process were investigating and classifying BDOC.

Key Words : Ozonation, Optimum Ozone Dosage, Biofiltration, BDOC_{rapid}, BDOC_{slow}

요약 : 본 연구에서는 낙동강 하류 매리원수, 부산시 회동수원지 원수 및 매리원수를 정수처리하는 pilot-plant의 급속 모래여과 처리수를 이용하여 오존 투입농도별로 BDOC_{rapid}와 BDOC_{slow}의 생성특성에 대하여 조사하였다. BDOC_{total} 농도가 최대가 되는 오존 투입농도는 매리원수, 회동원수 및 모래여과 처리수에서 각각 0.9, 1.1 및 1.4 mgO₃/mgDOC로 조사되어 실험에 사용된 시료수의 특성에 따라 BDOC_{total}이 최대로 생성되는 오존 투입농도는 다르게 나타났다. BDOC_{rapid}를 최대로 생성시키는 오존 투입농도는 BDOC_{total}을 최대로 생성시키는 오존 투입농도 보다 낮은 0.9~1.1 mgO₃/mgDOC로 나타났으며, 1 mgO₃/mgDOC 이상의 오존 투입농도에서는 BDOC_{rapid}의 농도가 오히려 낮아지는 것으로 나타났다. 또한, 오존 처리에 따른 BDOC_{slow}의 생성특성 조사에서 BDOC_{slow}는 BDOC_{total}과 BDOC_{rapid}를 최대로 생성시키는 오존 투입농도 보다 더 높은 오존 투입농도에서도 지속적으로 생성되었다. Biofiltration 공정의 전처리로 사용되는 오존의 최적 투입량을 결정할 수 있는 BDOC_{rapid}/BDOC_{total} 비를 실험에 사용된 시료수별로 조사한 결과 0.6~1.0 mgO₃/mgDOC로 조사되어 BDOC_{total}이 최대로 생성되는 오존 투입농도 0.9~1.4 mgO₃/mgDOC 보다 낮은 것으로 나타났다. 따라서 최적의 오존 투입을 결정시 BDOC 분류를 통한 접근법이 경제성 측면이나 biofiltration 공정의 효율면에서도 훨씬 효율적인 것으로 조사되었다.

주제어 : 오존처리, 최적 오존 투입농도, 생물여과, BDOC_{rapid}, BDOC_{slow}

1. 서론

상수원수나 정수처리 공정의 처리수에 잔존하는 생분해 가능한 유기물질(biodegradable organic matter: BOM)은 배급수관망에서 생물막 형성과 같은 미생물 재성장 유발 및 수중의 잔류염소 손실과 같은 수질에 악영향을 미치기 때문에

정수처리에 있어서 이들의 제거는 주요한 관심사로 지속되어 오고 있으며,^{1,2)} 최근에는 수중 용존 유기물질(dissolved organic matter: DOM) 중의 생분해 가능한 부분에 대한 관심이 지속적으로 증대되고 있다.^{3,4)}

현재까지 수중의 BOM을 측정하는 방법으로는 박테리아에 의해 쉽게 동화가능한 유기탄소(assimilable organic carbon: AOC)를 측정하는 방법⁵⁾과 생분해되는 유기탄소(biodegradable dissolved organic carbon: BDOC)를 측정하는 방법⁶⁾이 있다. 정수처리에서 AOC와 BDOC는 배·급수관망에서 이들 물

[†] Corresponding author

E-mail: menuturk@hanmail.net

Tel: 055-323-4718

Fax: 055-323-4719

질들이 종속영양 박테리아들에 대해 성장의 제한인자로 작용하기 때문에 이들의 측정은 매우 중요하다.⁷⁾ BDOC는 종속영양 박테리아에 의해 무기화(mineralization)되는 DOC의 한 부분을 나타내는 것으로 정수처리 공정에서 생물학적으로 산화되어질 수 있는 유기탄소를 측정하는 것이며,⁸⁾ AOC는 BDOC 중에서 종속영양 박테리아들의 생체량(biomass)으로 전환되는 한 부분을 나타내는 것으로 박테리아의 재성장 잠재성을 측정하는 것이기 때문에 AOC와 BDOC는 근본적으로 차이가 있다.⁸⁾

BDOC의 측정은 초기 DOC 농도와 박테리아 식종(inoculation) 후 일정기간 배양하여 DOC가 최소농도에 도달하였을 때와의 차이를 측정하는 원리이며, 최근에는 BDOC를 더욱 세분화시켜 빠르게 생분해되는 부분과 느리게 생분해되는 부분으로 분류하고 있다.⁹⁾ BDOC의 세분화된 분류는 정수처리 공정에서 aldehyde와 같은 유기 오존부산물과 염소 소독부산물 전구물질의 제거에 효과적인 공정으로 알려져 있는 생물활성탄(biological activated carbon: BAC)과 같은 생물여과(biofiltration) 공정에서 유기물 제거능을 최적화하고자 하는 목적으로 이용되고 있다.^{10~13)} 생물여과 공정을 최적의 조건으로 설계하거나 운전하고자 할 때, 수중의 DOC와 같은 유기물 제거능은 일반적으로 오존처리에 의해 생성되는 BDOC의 생성 특성에 의해 제한되어진다.¹⁴⁾ 오존처리에 의해 생성되는 BDOC는 빠르게 생분해되는 BDOC 부분(BDOC_{rapid})과 느리게 생분해되는 BDOC 부분(BDOC_{slow})으로 나눌 수 있다. BDOC_{rapid}는 생물여과 공정에서 실제로 산화 가능한 BDOC이고, BDOC_{slow}는 생물여과 공정에서 제거되지 않고 배·급수관망으로 유출될 가능성이 있는 BDOC를 의미한다.^{15,16)}

일반적으로 오존-생물여과 공정은 오존처리에 의해 BOM을 최대 생성시켜, 후단의 생물여과 공정에서 생성된 BOM을 제거하는 공정으로 NOM 제거능을 최대 높이며 관망으로 유출될 가능성이 있는 BOM을 최대 줄이는 것이다. 따라서, 오존-생물여과 공정에서의 최적 오존투입농도는 생물여과 공정에서 제거되어질 수 있는 BDOC_{rapid}를 최대 생성시키는 오존 투입농도 및 배·급수관망으로 유출될 수 있는 BDOC_{slow}를 최소로 생성시키는 농도를 의미한다.

하지만 현재까지의 연구에서 오존-BAC 공정의 효율을 평가하면서 DOC와 BDOC 같은 총량적인 개념에서의 접근만 있었고, 이런 분류를 통한 접근은 거의 없었으며, 몇몇 연구자들에 의해서 기초적인 연구가 진행되어 오고 있다.^{17~19)}

따라서, 본 연구에서는 부산시의 상수원수로 이용되고 있

는 낙동강 하류 매리원수와 부산시 회동동에 위치한 회동수원지 원수 및 매리원수를 정수처리하는 pilot-plant의 급속 모래여과 처리수를 이용하여 오존 투입농도별로 BDOC의 생성능을 조사하였고, 또한, BDOC를 BDOC_{rapid}와 BDOC_{slow}로 분류하여 실험에 사용된 여러 시수에 대해 biofiltration 공정의 효율을 최대로 높일 수 있는 최적의 오존 투입농도를 조사하였다.

2. 실험재료 및 방법

2.1. 실험 재료

2.1.1. 시료수 성상

실험에 사용된 시료수는 부산시의 상수원수로 이용되고 있는 낙동강 하류 매리원수(Maeri raw water: MR)와 부산시 회동동에 위치한 회동수원지 원수(Hoedong raw water: HD) 및 매리원수를 정수처리하는 300 m³/일 규모의 pilot-plant 급속 모래여과 처리수(Sand filtered water: SF)를 이용하였다. 실험에 사용된 시료수들의 성상을 Table 1에 나타내었다.

2.1.2. 오존 접촉조 및 오존 접촉실험

실험에 사용된 오존 접촉조를 Fig. 1에 나타내었다. 오존 접촉조는 조용량 10 L로 시료수를 채운 후 오존을 연속적으로 접촉시키는 semi-batch식이며, 아크릴로 제작하였다. 오존 접촉조는 직경 10 cm, 높이 150 cm이며, 오존의 접촉율을 높이기 위해 하부에 diffuser를 설치하였다. 연결 tube는 부식 및 오존과의 반응을 고려하여 실리콘 tube를 사용하여 가능한 짧게 연결하였다.

Table 1. Water quality characteristics of samples used in this study(June 2005)

Item	Water quality		
	MR	HD	SF
DOC	(mg/L) 3.16	2.11	1.58
UV ₂₅₄	(cm ⁻¹) 0.0683	0.0352	0.0191
SUVA	(m · mg/L) ⁻¹ 2.16	1.67	1.21
pH	(-) 7.6	7.2	7.2

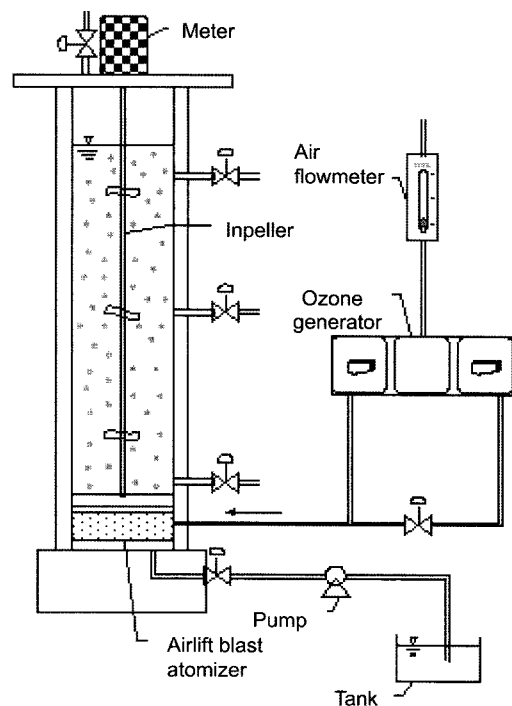


Fig. 1. Schematic diagram of ozonation apparatus.

오존 발생장치는 OZAT[®] CFS-1A(Ozonias社, Swiss)를 이용하였으며, 발생된 오존 양은 오존 모니터(PCI Ozone & Control System Inc., U.S.A.)에 자동적으로 표시되며, 이를 근거로 오존 접촉조에 투입되는 오존 양을 조절하였다. 오존 접촉시간은 20분으로 고정하여 실험하였으며, 오존 접촉조에 투입된 오존농도는 각 시료수의 DOC 농도비로 1~3 mgO₃/mgDOC 범위에서 실험하였다. 오존 처리수는 오존 접촉조에 30분 동안 방치하여 잔류오존이 충분히 수중의 유기물과 반응할 수 있도록 하였다. 이는 실험조건을 실제 정수장과 동일하게 해주기 위함으로 실제 정수장에는 오존 저류조가 있어 오존 접촉 후의 잔류오존이 수중에서 충분히 반응할 수 있도록 하는 목적과 수중의 잔류오존을 소비시켜 후단의 BAC 공정으로 유입되는 것을 방지하는 목적을 동시에 수행한다. 또한, 30분 동안의 저류시간 이후에 잔류하는 오존은 Na₂S₂O₃를 20 mg/L 농도 이하로 주입하여 잔류오존을 모두 제거한 후에 BDOC 실험에 사용하였다.²⁰⁾

2.2. 분석방법

수중에 함유된 UV₂₅₄와 DOC 측정은 0.2 μm 멤브레인 필터(Sartorius, Germany)로 여과한 여액을 UV-Vis spectrophotometer(UV-2401PC, Shimadzu, Japan)와 TOC analyzer(Sievers 820, Sievers, U.S.A.)로 분석하였으며, SUVA(specific ultraviolet absorbance)는 DOC 농도와 UV₂₅₄값을 이용하여 직접 계산하였다.

BDOC 분류는 손 등¹⁹⁾의 방법을 이용하였으며, 실험에 사용된 유리 초자는 세계로 여러 번 세척한 후, 질산으로 세정하여 3차 증류수로 3번 이상 행군 다음, 회화로에서 550℃로 4시간 동안 열처리하여 잔존하는 유기물질을 모두 태운 후 실험에 사용하였다. 실험은 300 mL BOD병에 0.2 μm 멤브레인 필터(Sartorius, Germany)로 여과한 시료수(초기 DOC) 200 mL를 주입하였고, 시료수 중의 유기탄소가 미생물 대사에 제한인자로 작용되도록 하기 위해 시료 200 mL에 KH₂PO₄ 8.5 mg/L, K₂HPO₄ 21.75 mg/L, Na₂HPO₄ 33.4 mg/L, FeCl₃ 6H₂O 0.25 mg/L, MgSO₄ 22.5 mg/L, CaCl₂ 27.5 mg/L의 농도가 되도록 농축된 무기영양염 용액을 주입하였으며,²¹⁾ 고순도 산소(99.999%)를 산기시켜 시료수중의 용존산소 농도를 포화상태로 만든 후 미생물을 식중하였다. 미생물의 식중은 매리원수(MR)와 회동수원지 원수(HD)의 경우 각각의 원수를 식중액으로 사용하였으며, 급속 모래여과 처리수(SF)는 pilot-plant의 BAC에 부착된 미생물을 초음파 처리(F550, Fisher Scientific, U.S.A.)하여 탈리시킨 것을 식중액으로 사용하였다. 그리고 원수 중에 존재하는 큰 유기·무기물 입자 및 원생동물(protozoa)을 제거하기 위해 식중액을 2 μm polycarbonate 필터(Millipore, U.S.A.)로 여과하여 시료 100 mL 당 식중액 1 mL를 식중하였다. 식중 후 shaking incubator(HB201SF, 한백과학)내에서 22.5℃, 150rpm의 조건에서 배양하였으며, BDOC 농도 산정은 초기 DOC 농도를 TOC analyzer(Sievers 820, Sievers, U.S.A.)로 측정하여, 미생물을 접촉한 후 배양기간 동안 배양 후의 잔존하는 DOC 농도를 초기 DOC 농도에서 뺀 값으로 하였다.

총 BDOC(BDOC_{total}) 농도는 초기 DOC 농도(DOC₀)에서 8일간 shaking하면서 생분해되고 남은 DOC 농도(DOC_{8days})를 뺀 값이며(식 (1)), 또한, BDOC_{rapid} 농도는 초기 DOC 농도(DOC₀)에서 3일간 shaking하면서 생분해되고 남은 DOC(DOC_{3days}) 농도를 뺀 값이며(식 (2)), BDOC_{slow}는 총 BDOC 농도(BDOC_{total})에서 BDOC_{rapid} 농도를 뺀 값이다(식 (3)).¹⁹⁾

$$BDOC_{total} = BDOC_{8days} = DOC_0 - DOC_{8days} \quad (1)$$

$$BDOC_{rapid} = BDOC_{3days} = DOC_0 - DOC_{3days} \quad (2)$$

$$BDOC_{slow} = BDOC_{total} - BDOC_{rapid} = DOC_{3days} - DOC_{8days} \quad (3)$$

3. 결과 및 고찰

실험에 사용된 시료수들에 대해 오존 투입농도별로 생성된 총 BDOC(BDOC_{total}) 농도 변화를 Fig. 2에 나타내었다. 세 시료수 모두 오존 투입농도가 증가할수록 생성된 BDOC_{total} 농도는 증가하는 것으로 나타나고 있으며, BDOC_{total}을 최대 생성시키는 오존 투입농도는 매리원수의 경우 0.9 mgO₃/mgDOC, 회동원수 1.1 mgO₃/mgDOC 및 모래여과 처리수 1.4 mgO₃/mgDOC로 조사되어 실험에 사용된 시료수의 특성에 따라 BDOC_{total}이 최대 생성되는 오존 투입농도는 다르게 나타났다. 이는 실험에 사용된 시료수의 성상에 따른 결과로 판단되며, Siddiqui 등²²⁾과 Digiano 등²³⁾은 오존 주입농도가 수중의 DOC 농도에 대한 비(mgO₃/mgDOC)로 1 부근에서 BDOC나 AOC의 생성이 최대로 나타난다고 보고하여 본 연구와 유사한 결과를 보여주었다.

오존 투입농도별 세 시료수에서의 BDOC_{rapid} 생성농도 변화를 Fig. 3에 나타내었다. 오존처리에 의해 DOC를 구성하는 물질 중에서 BDOC_{rapid}를 최대 생성시키는 오존 투입농도는 BDOC_{total}을 최대 생성시키는 오존 투입농도 보다 낮은 0.9~1.1 mgO₃/mgDOC로 나타났다. 이는 오존 사용 목적 중 소독개념(CT value)을 제외하고 단지 천연유기물질의 생분해능 향상을 위한 목적으로 사용할 경우, BDOC_{total}이 최대 생성되는 오존 투입농도가 최적의 오존 투입농도가 아님을 증명하고 있다. 또한, 1 mgO₃/mgDOC 이상의 오존 투입농도에서는 BDOC_{rapid}의 농도가 오히려 낮아지는 것으로 나타나 1 mgO₃/mgDOC 농도 이상의 오존 투입에서는 수중의 BDOC_{rapid}가 산화되어 무기화(mineralization)된 것으로 판단된다. Fahmi 등²⁴⁾은 biofiltration 공정의 전처리로 오존을 사용하여 수중의 유기물질 변화를 조사한 결과, 투입된 오존은 수중의 유기물질을 산화시켜 BDOC를 생성시키며, 적정농도 이상으로 투입된 오존은 계속적으로 난분해성 유기물질을 생분해 가능한 BDOC 물질로 전환시키는 것이 아니라 이미 생성된 수중의 BDOC 물질과 반응하여 BDOC 물질을 먼저 산화시켜 무기화시킨다고 보고하였다. 본 연구에서 1 mgO₃/mgDOC 이상의 오존 투입농도에서 BDOC_{rapid}가 감소하는 이유도 BDOC_{rapid}를 구성하는 물질이 수중의 오존과 반응하여 무기화된 결과로 판단된다. 따라서, 본 실험에

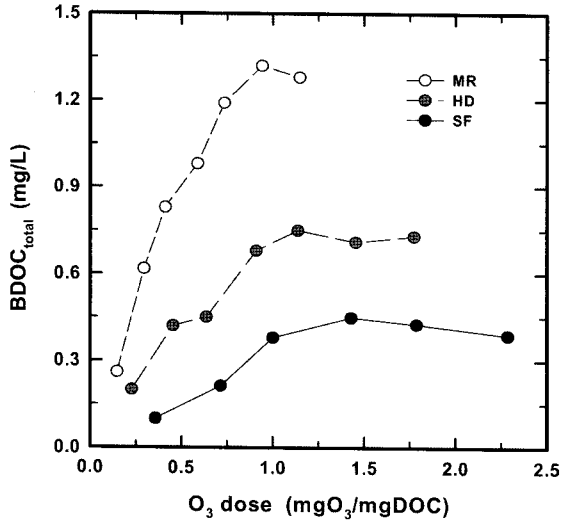


Fig. 2. BDOC_{total} formation versus O₃ dose for three water samples.

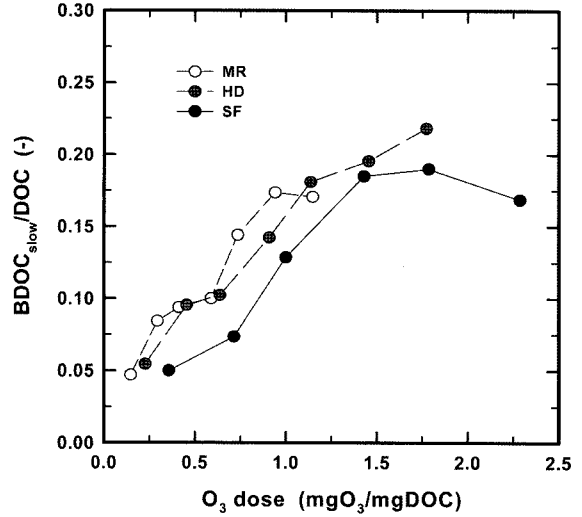


Fig. 4. BDOC_{slow} as a function of DOC versus O₃ dose for three water samples.

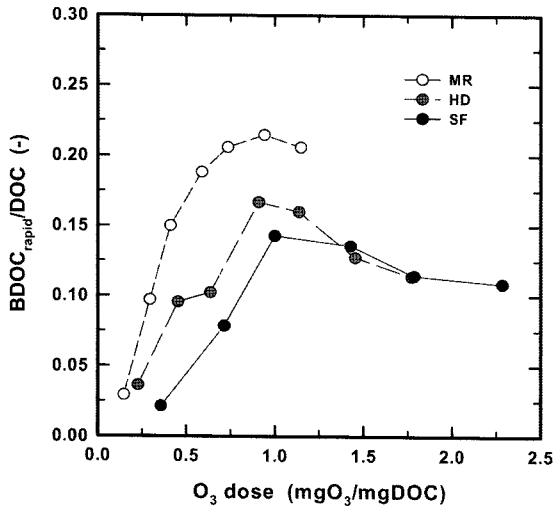


Fig. 3. BDOC_{rapid} formation versus O₃ dose for three water samples.

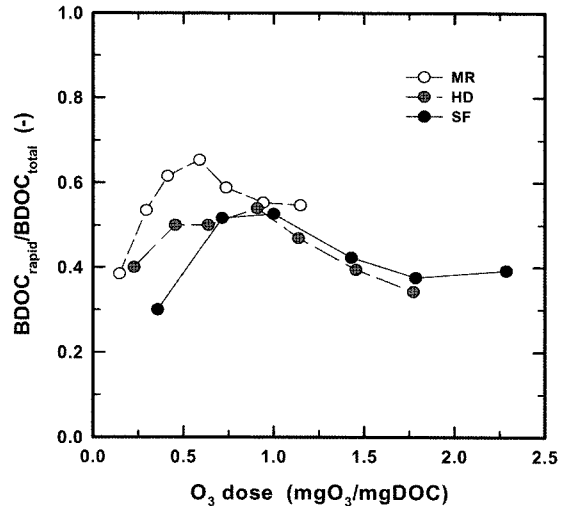


Fig. 5. BDOC_{rapid} as a function of total BDOC versus O₃ dose for three water samples.

사용된 시료수들을 대상으로 후단의 생물여과 공정을 위한 전처리 공정으로서의 적정 오존 투입농도를 선정할 경우 1 mgO₃/mgDOC 이상의 오존 투입은 오히려 경제성 측면 및 biofiltration 공정의 효율면에서도 의미가 없는 것으로 판단되었다.

오존 투입농도별 세 시료수들에서의 BDOC_{slow} 생성농도 변화를 Fig. 4에 나타내었다. 오존 처리에 따른 BDOC_{slow}의 생성특성은 BDOC_{total}과 BDOC_{rapid}와는 다른 생성특성을 나타내고 있다. BDOC_{slow}의 경우는 BDOC_{total}과 BDOC_{rapid} 보다 더 높은 오존 투입농도에서도 계속적으로 생성되는 것을 볼 수 있다. 이는 적정 투입농도 이상의 오존처리는 BDOC_{total}의 생성량도 증가시키지만 BDOC_{total} 중 생물활성탄과 같은 biofiltration 공정에서의 제거능이 낮은 BDOC_{slow}의 생성량도 증가시켜 오히려 배·급수관망에서의 미생물 재성장능 (bacterial regrowth potential)을 증가시킬 위험이 있는 것으로 나타났다.

Carlson 등¹³⁾은 biofiltration 공정의 전처리로 사용되는 오존의 최적 투입량을 다음의 3가지로 정의하고 있다.

- 1) Biofiltration 공정에서 생분해가 가능한(biodegradable) 유기물질 즉, BDOC_{rapid}를 최대한 생성시키는 농도
- 2) Biofiltration 공정에서 제거되지 않고, 배·급수관망으로 유출될 가능성이 있는 BDOC_{slow}를 최소로 생성시키면서 BDOC_{rapid}를 최대한 생성시키는 농도
- 3) BDOC_{total} 중 BDOC_{rapid}가 차지하는 비율이 가장 높은 오존 투입농도

이런 접근법은 배·급수관망에서의 2차 오염문제와 정수장 운영비를 절감할 수 있으면서, biofiltration 공정에서 최대의 BOM 제거효율을 얻을 수 있는 접근법으로 Fig. 5에서 매리원수, 회동원수 및 모래여과 처리수에서의 BDOC_{rapid}/BDOC_{total} 비의 변화를 나타내었다. 매리원수의 경우는 앞의

Table 2. Comparison of the O₃ doses and process performance parameters for two approaches to O₃ process definition

Approach for process definition	Maeri raw water			Hoedong reservoir water			Rapid sand filtered water		
	O ₃ dose [mg/L]	DOC removed during biofiltration [% of DOC ₀]	BDOC released to distribution system [mg/L]	O ₃ dose [mg/L]	DOC removed during biofiltration [% of DOC ₀]	BDOC released to distribution system [mg/L]	O ₃ dose [mg/L]	DOC removed during biofiltration [% of DOC ₀]	BDOC released to distribution system [mg/L]
Dose to maximize BDOC _{total}	3.2	21.5	0.59	2.5	16.0	0.40	2.0	13.6	0.26
Dose to maximize BDOC _{rapid}	2.0	18.8	0.34	2	16.7	0.31	1.0	7.9	0.10
Minimum dose to maximize BDOC _{rapid} /BDOC _{total}	3.2	21.5	0.59	2.5	16.7	0.31	1.0	7.9	0.10

BDOC_{total}, BDOC_{rapid} 및 BDOC_{slow}를 나타낸 Fig. 2~4의 결과와는 달리 0.6 mgO₃/mgDOC의 투입량이 biofiltration 공정의 제거효율을 높이면서 배·급관망에서의 미생물 재생장에 의한 2차 오염도 줄일 수 있는 최적 오존 투입농도로 나타났다. 회동원수 및 모래여과 처리수는 각각 0.9와 1 mgO₃/mgDOC로 나타나 회동원수와 모래여과 처리수의 경우는 앞의 Fig. 2 및 Fig. 3과 비교하여 볼 때 거의 유사한 경향을 보이고 있다.

본 연구결과, biofiltration 공정을 위한 최적의 오존 투입농도는 시료수의 성상에 따라 다르게 나타났으며, 이상의 내용을 요약·정리하여 Table 2에 나타내었다. Table 2에서는 오존 투입농도를 실제 오존 투입농도(mg/L)로 환산하여 나타내었다. 최적의 오존투입율, 즉 BDOC_{total} 중 BDOC_{rapid}가 차지하는 비율이 가장 높은 오존 투입농도는 매리, 회동 및 모래여과 처리수의 경우 각각 3.2, 2.5 및 1.0 mg/L로 조사되었고, 이때 biofiltration 공정에서 제거 가능한 BDOC(BDOC_{rapid})는 DOC의 21.5%, 16.7% 및 7.9%로 조사되었다. 또한, 관망으로 유출될 가능성이 있는 BDOC(BDOC_{slow})의 농도는 매리, 회동 및 모래여과 처리수에서 각각 0.59, 0.31 및 0.1 mg/L로 나타났다.

따라서, 본 실험결과 오존/biofiltration 공정에서의 최적의 오존 투입농도 결정은 DOC 제거율이나 BDOC_{total} 생성량으로 결정하기보다는 본 연구에서와 같은 BDOC 분류를 통하여 접근하는 방법이 biofiltration 공정의 효율적인 운영과 관망의 유지관리에 적합할 것으로 판단되었다.

4. 결론

본 연구에서는 부산시의 상수원수로 이용되고 있는 낙동강 하류 매리원수와 부산시 회동동에 위치한 회동수원지 원수 및 매리원수를 정수처리하는 pilot-plant의 급속 모래여과 처리수를 이용하여 오존 투입농도별로 BDOC_{total} 생성능과 BDOC를 BDOC_{rapid}와 BDOC_{slow}로 분류하여 biofiltration 공정을 최적으로 운전하기 위한 최적의 오존 투입농도를 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) BDOC_{total} 농도가 최대가 되는 오존 투입농도는 매리원수, 회동원수 및 모래여과 처리수에서 각각 0.9, 1.1 및 1.4 mgO₃/mgDOC로 조사되어 실험에 사용된 시료수의 특성에 따라 BDOC_{total}이 최대로 생성되는 오존 투입농도는 다르게 나타났다.

2) BDOC_{rapid}를 최대 생성시키는 오존 투입농도는 BDOC_{total}을 최대 생성시키는 오존 투입농도 보다 낮은 0.9~1.1 mgO₃/mgDOC로 나타났으며, 1 mgO₃/mgDOC 이상의 오존 투입농도에서는 BDOC_{rapid}의 농도가 오히려 낮아지는 것으로 나타났다.

3) 오존 처리에 따른 BDOC_{slow}의 생성특성 조사에서 BDOC_{slow}는 BDOC_{total}과 BDOC_{rapid}를 최대 생성시키는 오존 투입농도 보다 더 높은 오존 투입농도에서도 계속적으로 생성되었다.

4) Biofiltration 공정의 전처리로 사용되는 오존의 최적 투입량을 결정할 수 있는 BDOC_{rapid}/BDOC_{total} 비를 실험에 사용된 시료수 별로 조사한 결과 0.6~1.0 mgO₃/mgDOC로 조사되어 BDOC_{total}이 최대로 생성되는 오존 투입농도 0.9~1.4 mgO₃/mgDOC 보다 낮은 것으로 나타났다. 따라서 최적의 오존 투입을 결정시 BDOC 분류를 통한 접근법이 경제성 측면이나 biofiltration 공정의 효율면에서도 훨씬 효율적인 것으로 조사되었다.

참고 문헌

1. LeChevallier, M. W., Babcock, T. M., and Lee, R. G., "Examination and characterization of distribution system biofilms," *Applied & Environmental Microbiology*, **53**(12), 2714(1987).
2. LeChevallier, M. W., Cawthon, C. D., and Lee, R. G., "Inactivation of biofilm bacteria," *Applied & Environmental Microbiology*, **54**, 2492(1988).
3. Volk, C. J. and LeChevallier, M. W., "Assessing biodegradable organic matter," *J. AWWA*, **92**(5), 64~76 (2000).

4. Trulleyová, Š. and Rulik, M., "Determination of biodegradable dissolved organic carbon in waters: comparison of batch methods," *Science of the Total Environment*, **332**, 253~260(2004).
5. Van der Kooij, D., Visser, A., and Hijnen, W. A. M., "Determining the concentration of easily assimilable organic carbon in drinking water," *J. AWWA*, **74**(10), 540~545(1982).
6. Servais, P., Billen, G., and Hascoët, M. C., "Determination of the biodegradable fraction of dissolved organic matter in waters," *Water Res.*, **21**(4), 445~450(1987).
7. Bourbigot, M. M., Dodin, A., and Lheritier, R., "La flore bactérienne dans un réseau de distribution," *Water Res.*, **18**, 585~591(1984).
8. Huck, P. M., "Measurement of biodegradable organic matter and bacterial growth potential in drinking water," *J. AWWA*, **82**(7), 78~86(1990).
9. Langlas, B., Reckhow, D. A., and Brink, D. R., "Practical application of ozone," In *Ozone in Water Treatment: Applications and Engineering*, Lewis Publisher, Chelsea, Mich.(1991).
10. Huck, P. M., Zhang, S., and Price, M. L., "BOM removal during biological treatment: a first-order model," *J. AWWA*, **86**(6), 61(1994).
11. Hozalski, R. M., Goel, S., and Bouwer, E. J., "TOC removal in biological filters," *J. AWWA*, **87**(12), 40(1995).
12. Wang, J. Z., Summers, R. S., and Miltner, R. J., "Biofiltration performance: part 1, relationship to biomass," *J. AWWA*, **87**(12), 55(1995).
13. Carlson, K. H., and Amy, G. L., "Ozone and biofiltration optimization for multiple objective", *J. AWWA*, **93**(1), 88~98(2001).
14. Carlson, K. H. and Amy, G. L., "The relative importance of HLR and EBCT in biofiltration," *Proceeding of 1995 AWWA Water Quality Technology Conference*, New Orleans(1995).
15. Wang, J. Z. and Summers, R. S., "Modeling of biofiltration of natural organic matter in drinking water treatment," *Proceeding of 1994 ASCE Environmental Engineering Conference*, Boulder(1994).
16. Carlson, K. H., Amy, G. L., Garside, J., and Blais, G., "Ozone induced biodegradation and removal of NOM and ozonation by-products in biological filters," In *Alternative Biological Filtration*, Collins M. R. and Graham N. J. D.(eds.), John Wiley & Sons, New York(1996).
17. Allgeier, S. A., Simmers, R. S., and Jacangelo, J. G., "Determination of the BDOC of natural and treated waters using a scaled batch reactor," *Proceeding of AWWA Water Quality Technology Conference*, Boston(1996).
18. Carlson, K. H. and Amy, G. L., "The formation of filter removable biodegradable organic matter during ozonation," *Ozone Science & Engineering*, **19**(2), 179~199(1997).
19. 손희종, 노재순, 강임석, "회분식 생물반응기를 이용한 BDOC_{rapid}와 BDOC_{slow} 결정," *한국물환경학회지*, **20**(4), 357~364(2004).
20. Maclean, R. G., Prévost, M., Coallier, J., Duchesne, D., and Mailly, J., "Thiosulfate interference in the biodegradable dissolved organic carbon assay," *Water Res.*, **30**(8), 1858~1864(1996).
21. Goel, S., Hozalski, R. M., and Bouwer, E. J., "Biodegradation of NOM: effect of NOM source and ozone dose," *J. AWWA*, **87**(1), 90~105(1995).
22. Siddiqui, M. S., Amy, G. L., and Murphy, B. D., "Ozone enhanced removal of natural organic matter from drinking water sources," *Water Res.*, **31**(12), 3098~3106(1997).
23. DiGiano, F. A., Singer, P. C., Parameswar, C., and Lecourt, T. D., "Biodegradation Kinetics of ozonated NOM and aldehydes," *J. AWWA*, **93**(8), 92~104(2001).
24. Fahmi, Nishijima, W., and Okada, M., "Characterization of organic matter in ozonation and biological treatment," *Water Supply: Research & Technology-Aqua*, **52**(4), 291~297(2003).