

오존 및 입상활성탄 도입시 후염소 주입량 저감효과 분석

Reduced Post-Chlorine Dosage Required for Disinfection: Improvement with Ozonation and GAC Process

백영애* · 조우현 · 김종문 · 최영준

Baek, Young-Ae · Joe, Woo-Hyeun · Kim, Jong-Moon · Choi, Young-Jun

서울시 상수도연구원

(2007년 5월 3일 논문 접수; 2007년 8월 7일 최종 수정논문 채택)

Abstract

This study was carried out to examine effect of post-chlorine dosage reduction by ozonation and GAC process in the field plant for 3years in the "G" water purification plant in Seoul. And it is to compare GAC with BAC process in removal effects of TOC, THMs, THMFP, UV_{254} .

As a result, chlorine dosage of ozonation and GAC (=BAC) is less demand than GAC. Seasonal reduction of chlorine demand is from about 37% to 59% with BAC, and from 24 to 46% with GAC. Higher reduction in BAC could be achieved. The efficiency of chlorine demand reduction with ozonation was depending on the organic carbon removal. UV_{254} concentration is less about 0.13~0.74L/mg.m in BAC than GAC. Therefore, the combination of ozonation and GAC was more effective in reducing post-chlorine than the single GAC.

TOC was also monitored, and results show that a linear relationship between TOC and chlorine demand is appropriate under each treatment process.

It means that removal of organic matter(TOC) from finished water is necessary to reduce post-chlorine dosage in clear well and to minimize order of chlorine in distribution systems.

Key words: GAC, BAC, Ozonation, chlorine demand, TOC, THMs, THMFP, UV_{254}

주제어: 입상활성탄, 생물활성탄, 오존처리, 염소요구량, 총유기탄소, 트리할로메탄, 트리할로메탄생성능

1. 서 론

최근 환경부의 「맛있는 물 Guide line 수립연구」결과에 의해 맛있는 물에 대하여 관리 가능한 지침중

수도꼭지 잔류염소에 대해 0.2mg/L 이상, 0.4mg/L 이하로 정하였으며, 향후 염소의 혼적만 남아도 되는 것(미국의 기준)으로 염소농도 기준의 하향조정이 요망된다고 보고한 바 있다. 그 후 2006년 12월 「수도시설의청소및위생관리등에관한규칙」에서 수도꼭지

*Corresponding author Tel: +82-2-2049-1143, FAX: +82-2-2049-1102, E-mail: bya100@seoul.go.kr (Baek, Y.A.)

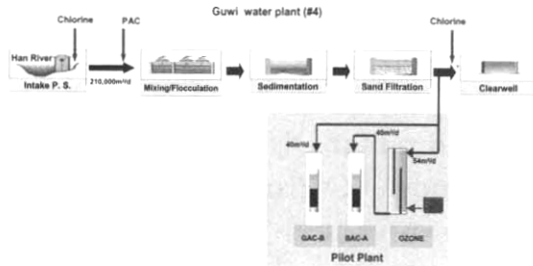


Fig. 1. Schematic of Pilot Plant.

유리 잔류염소농도를 0.2mg/L에서 0.1mg/L로 재조정할 바 있다.

흙, 곰팡이, 염소 등의 맛·냄새문제는 수돗물에 대한 서울시민 설문조사결과에서도 가장 큰 불만을 호소하는 부분이기도 하며 시급하게 해결해야 할 과제이다. 이에 서울시에서는 시민들에게 보다 맛있는 고급화된 수돗물을 공급하고자 고도정수처리 도입계획을 수립하였으며, 일부 정수사업소에 이미 고도정수처리시설을 건설 중에 있다.

고도정수처리는 기존 정수공정처리의 한계를 해결할 수 있는 방법으로서 상수에서는 주로 오존처리 및 입상활성탄 처리, 생물활성탄 처리, 막여과법 등이 있다. 그 중 오존/입상활성탄 처리는 오존에 의해 용존 유기물이 저분자화 되고, 생물분해성이 향상되며, 용존산소가 증대됨에 따라 입상 활성탄 표면의 호기성 미생물에 의해 피흡착물질을 분해함으로써 고도정수처리 과정을 통한 염소 소비물질을 제거하여 후염소 투입량을 절감시키는 효과가 있다.

본 연구에서는 오존의 우수한 산화력과 입상활성탄의 물리적 흡착작용을 이용한 곰팡이 냄새, THMs 등의 유기염소화합물 등 미량유기물의 제거효과를, 또한 생물활성탄 처리로 활성탄의 흡착과 미생물에 의한 분해라는 병행처리를 통해 각 물질의 처리효율을 분석하였다. 또한 총괄적인 유기물 지표인 TOC의 운영기간별 제거율 및 최종처리 단계에서 소독제로 사용하고 있는 후염소 투입량의 절감효과를 분석하고자 한다.

2. 연구방법

2.1. 연구시설

본 연구의 고도정수처리 실증시설은 서울시 구의

Table 1. Design and operation parameters for the pilot plant

Ozone	· Ozone generator: OZONIA, Lab2B, 10g/hr · Oxygen generator: purity 90%, 7L/min · Contactor type: Side stream pump injection and Mixing nozzle 25Ax3 · Contactor size : 0.6 × 0.5 × 4m H · Ozone dosage : 1-2mg/L · Contact time : 20min
GAC	· Column size : φ450mm × 6m H · GAC: Coal base (Calgon F-400) · EBCT: 15min (bed height: 3m) · Linear velocity: 10m/hr · Back washing: air scouring and water rinse, 30% expansion

*BAC와 GAC 공정의 설계 및 운전조건은 동일.

정수사업소 4공장 내에 설치되어 있으며 2002년 9월에 건설하여 약 4년간 운영하였다. Fig. 1과 같이 입상 활성탄(GAC) 단독공정과 후오존 + 입상활성탄(BAC) 2개 공정으로 구성되어 있으며, 최종처리로는 염소소독(MIOX) 공정을 이용하였다. 오존과 입상활성탄에 대한 세부내역은 Table 1과 같다.

2.2. 염소 소비속도 시험(동력학 실험)

염소 처리는 NaOCl을 사용하여 이루어졌으며, 이를 위하여 염소처리 전 유효염소를 측정하였다. 유효염소량 기준으로 1000mg/L의 stock solution을 조제하였으며, 실험에 앞서 DR2010을 이용하여 stock solution의 정확한 농도를 구하였다. 주입되는 유효염소량은 대상 원수의 TOC 농도에 대비하여 결정하였으며, 기본적으로 1mg Cl₂/mg DOC의 주입비로 염소 처리를 수행하였다. 이 때, 염소주입량은 염소이온으로 자체 분해 및 가스로 휘발되는 등 소실될 수 있으므로 이를 고려하여 목표 초기 염소농도에 0.3mg/L을 더 주입하였다.

염소 주입 후 약 5분간 반응시켰으며, 시료를 250mg/L 갈색 병에 최대한 기포가 생기지 않도록 옮겨 담은 후, 설정된 온도(25 ± 2°C)에 따라 incubator에서 배양하였다. 배양기에 넣기 전에 초기농도를 분석하였으며, 이때의 시간을 0hr로 간주하였다. 일정 시간 경과에 따라 시료를 꺼내어 잔류염소(Free, total), THMs, THMFP, UV₂₅₄, TOC 등을 분석하였다.

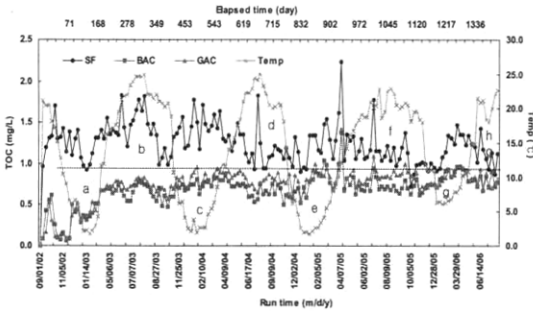


Fig. 2. Variation of TOC concentration in SF, BAC and GAC.

3. 결과 및 고찰

3.1. 유기물질

Fig. 2은 실증시설 내 모래 여과수 및 활성탄 칼럼 (BAC, GAC) 유출수의 TOC를 나타내고 있다(BAC 및 GAC 칼럼의 EBCT는 15min). BAC 및 GAC 공정 모두 약 30~40일간의 운전 동안 활성탄 자체에서 용출되거나 또는 충분하지 않은 흡착지 층고의 불안정화 등에 의해 유출수의 농도가 불안정하였다.

운전개시 100일 이후부터는 흡착가능한 물질의 파과에 따른 정상적인 파과를 나타내어 TOC가 안정적으로 빠르게 증가하는 경향을 보였다. 입상활성탄에 의한 유기물질 제거는 단순흡착과 미생물에 의한 유기물 분해효과로 구분되며, 단순흡착의 경우 운영초기에 나타나고 a구간과 같이 BAC와 GAC의 유출수 TOC 농도의 차이는 거의 없었다. 그러나 운전개시 240일(2003년 5월) 이후부터는 유출수 TOC의 완만한 증가 단계를 보이고 있다. b~f구간의 경우 단순흡착의 효과는 감소되고 주로 미생물에 의한 유기물질 분해효과가 나타나는 구간으로 수온의 영향을 받는다.

운영기간이 증가함에 따라 BAC와 GAC의 제거율의 차이가 심화됨을 알 수 있으며, d와 f구간의 고수온 시에는 제거율의 차이가 10% 이상으로 벌어지고 있다(Table 2). 이는 활성탄 흡착에 영향을 미치는 고분자물질이 오존 처리에 의하여 저분자화 되어 활성탄 파과에 영향을 적게 미치고, 수온의 증가에 따라 활성탄내 미생물량 및 활성의 증가에 기인한 것으로 간주된다. 그러나 e~f 구간에서는 GAC와 BAC의 차이가 거의 없는 것으로 나타났으며 이는 장기간 운

Table 2. % TOC Breakthrough with variation of water temperature in operation periods

경과일 (day)	a 저온 0~240	b 고온 240~422	c 저온 422~584	d 고온 584~795	e 저온 796~943	f 고온 945~
GAC	29%	53%	59%	70%	66%	66%
BAC	30%	47%	53%	57%	64%	64%

영에 따른 부착세균의 증가 및 정착으로 GAC 역시 생물활성탄으로서의 역할을 하고 있는 것으로 판단된다.

현재까지의 결과로서는 c구간에서 한계수질에 근접한 결과를 보였으며, 수질의 안정성 측면에서 TOC 농도의 60% 파과(Ceff/Cinf = 0.6) 수준, 즉 BV 40,000~60,000 범위 내에서 입상활성탄의 재생 및 교체가 이루어지는 것이 바람직할 것으로 판단된다(Fig. 2).

3.2. 소독부산물

오존은 기존 유기물의 산화, 휴믹질 등의 분자가 큰 오염물질(예, Humic Substances)의 산화, 소독부산물의 전구물질을 산화시켜 염소소독부산물(DBPs: Disinfection by Products)의 생성을 최소화시키며, 염소요구량을 감소시키는 것으로 잘 알려져 있다. 이러한 이유로 오존처리에 의해 THMs의 전구물질을 저감하여 THMs 생성을 억제하는 것을 목적으로 하여 염소사용 전에 오존처리를 채용하는 것에 대한 검토가 많이 행해지고 있다.

Fig. 3과 Fig. 4에서 THMs 및 THMFP는 겨울철에 일시 감소되는 경향을 보이다가 수온이 증가함에 따라 증가되는 경향을 보였다. 이는 본 실험에서 전염소 처리된 원수를 분석함으로써 THMs의 경우 이미 전염소 처리에 의하여 생성되는 양이 포함됨으로 수온의 증가가 염소와 수중 유기물간의 반응성을 높여 생성능을 증가시킨 것으로 간주된다.

THMs의 경우 각 공정별 제거율은 큰 차이를 보이지 않고 있다. 이는 이미 전염소 처리에 의하여 생성된 THMs는 오존 처리에 의하여 직접 산화될 가능성이 적고 수중에 미량 THMs이 존재한다고 해도 어떠한 화학적 반응성이 잘 나타나지 않는다. 이는 오존에 의한 chlorinated DBP의 산화는 높은 할로겐화도

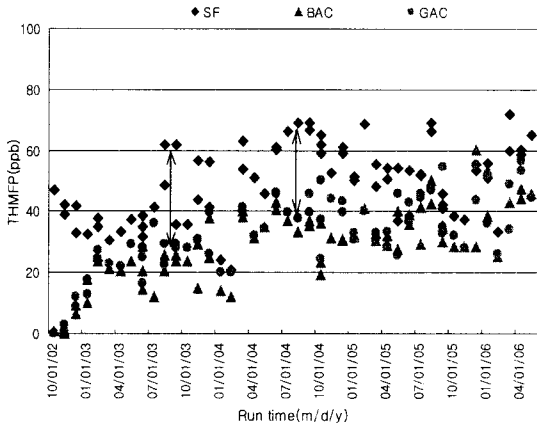


Fig. 3. Variation of THMs in BAC, GAC and SF.

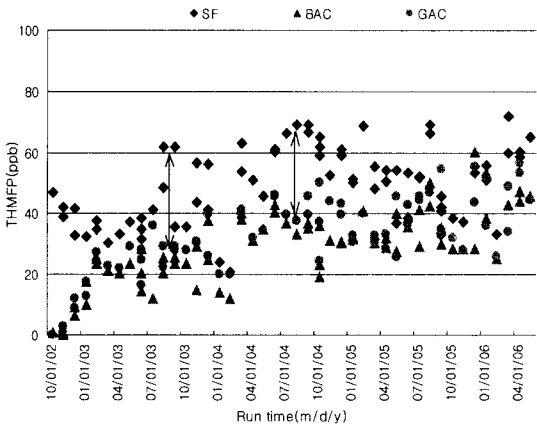


Fig. 4. Variation of THMFP in BAC, GAC and SF.

인해 속도가 느리며, 이러한 현상은 할로젠화로 인해 탄소의 중앙에 낮은 전자밀도를 유발시키기 때문이다. 따라서 오존처리는 전염소처리에 의해 이미 생성된 DBPs 제어에는 적절하지 않으며, DBPs 전구물질을 제거하는 것이 효과적임을(Carl Nebel, 1981) 명시하고 있다.

또한 BAC공정과 GAC공정 유출수에서 THMFP 농도의 뚜렷한 차이는 관찰되지 않았으나, 제거율에 있어서는 BAC공정이 다소 높았다.

3.3. 염소 요구량

오존 및 입상활성탄공정 도입은 배급수 계통에서의 잔류염소유지 관리에도 큰 변화를 일으킨다. 정수 단계에서 유기물을 제거하므로 배급수 계통에서의 염소소비속도를 줄임으로써, 종전보다 적은 양의 염소

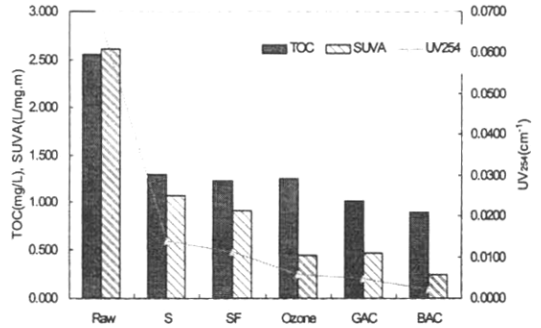


Fig. 5. Change of TOC, UV₂₅₄ and SUVA (May).

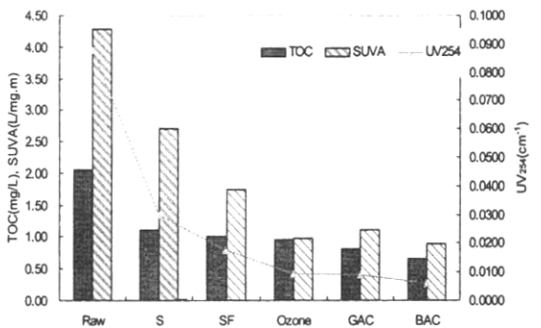


Fig. 6. Change of TOC, UV₂₅₄ and SUVA (August).

를 주입이 가능하며, 관말에서의 DBPs 저감과 높은 농도의 염소취로 인한 물맛의 저해를 막을 수 있다 (Langlais et al., 1991).

일본의 오사카시 사례에 따르면 오존/활성탄공정 도입으로 염소감소속도를 기존정수처리에 비해 1/2로 줄일 수 있었으며, 송수의 유리잔류염소를 기존정수처리에 비해 0.21mg/L 낮추어 공급하는 것이 가능하다고 보고하고 있다(Fuchigami et al., 2003).

따라서 한강원수에 대한 기존 정수처리수 및 고도정수처리수의 염소 소비특성을 파악하기 위하여 계절별 각 공정별 처리수를 대상으로 유기물질 변화와 이때의 염소 소비속도 및 염소 요구량을 측정하였다. Fig. 5~8는 계절별(2월, 5월, 8월, 11월) 기존 정수처리 및 고도처리에 따른 공정별 유기물질 농도 변화를 나타내고 있다. 모래여과 후 오존 처리수의 TOC는 모래여과수에 비하여 약 0.95~1.06%의 범위를 보였다. 1~2mg/L 내외의 낮은 오존 주입은 유기물을 완전히 무기물화 시키지 못하므로 TOC 농도 감소는 변동이 없거나 감소 정도는 매우 낮았다. 그러나

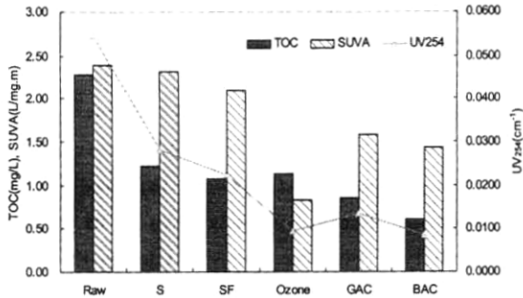


Fig. 7. Change of TOC, UV₂₅₄ and SUVA (November).

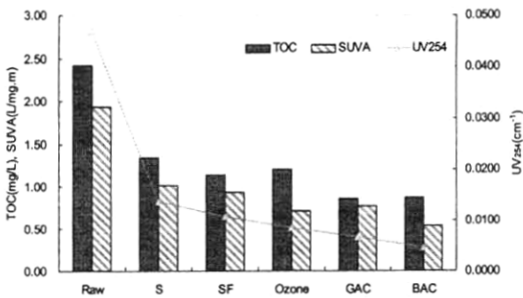


Fig. 8. Change of TOC, UV₂₅₄ and SUVA (February).

TOC 변화와 상관없이 오존 처리는 유기물질을 저분자화시키며, 생분해성이 증가되어 최종 소독 단계 이전에 TOC의 제거에 매우 효과적이다. BAC 처리수는 GAC에 비하여 TOC 농도가 대부분의 경우 낮게 유지되었으며, 최대 30%까지 낮았으며, 그 정도는 하절기 고수온시 크게 나타났다. 그러나 동절기의 경우에는 그 차이는 작았다.

오존처리수의 UV₂₅₄는 큰 폭으로 감소하였으며, 이는 NOM의 aromatic 구조와 이중결합의 제거에 기인한다. 오존 처리수와 GAC 처리수의 SUVA값은 대부분 큰 차이를 보이지 않았으며, BAC의 경우 GAC에 비하여 약 0.13~0.74L/mg·m보다 더 낮은 값을 나타내었다. 이는 오존처리에 의한 유기물의 분해로 불포화 결합이 붕괴되고 방향성이 낮아진데 기인한 것으로 생각되며, GAC의 경우 소수성 성분의 흡착우위로 인하여 SUVA값이 감소된 것으로 보인다. 이러한 유기물 농도 및 특성의 변화는 염소감소 특성 및 소독부산물의 생성특성에 영향을 미칠 것으로 예상된다. 자연수의 오존 처리는 유기물질의 저분자를 유도하고, 이러한 화합물은 활성탄에 더 잘 흡착된다 (Odegaard et al., 1986). 그러나 오존 처리에 의하여

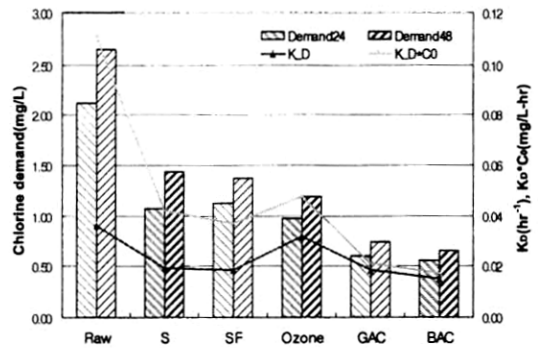


Fig. 9. Change of chlorine demand and decomposition rate (May).

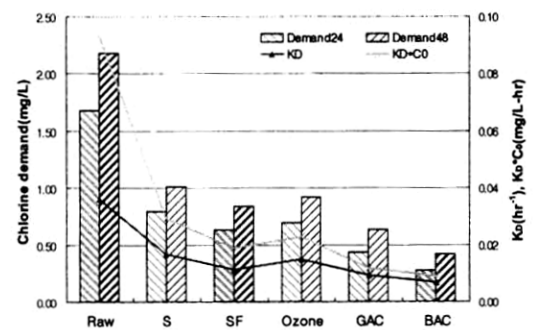


Fig. 10. Change of chlorine demand and decomposition rate (August).

유기화합물은 더 높은 극성과 용해성을 가지며, 이는 GAC로의 흡착을 감소시키는 원인이 되기도 한다 (Glaze and Wallace, 1984; Chang et al., 1995).

Fig. 9~12은 염소소비속도상수(k)와 24, 48hr의 염소 요구량을 나타내고 있다. 염소 주입비는 1mgCl₂/mgDOC에 초기에 손실되는 양을 고려하여 0.3mg/L를 추가하여 주입하였다. 본 실험에서는 순간 염소 소비량을 고려하지 않고, 약 5min 반응 후의 잔류 염소농도를 초기 염소농도(C₀)로 하여 염소 소비속도상수 및 염소 요구량을 추정하였다. 또한 각 공정수의 TOC 농도에 따라 주입되는 초기 염소농도의 차이에서 기인하는 염소 소비속도의 영향을 보정하기 위하여 염소 소비속도상수가 초기 염소농도에 반비례한다는 이전의 결과에 기초하여 kxC₀로 염소 소비특성을 평가하였다.

활성탄 처리에 의하여 kxC₀값이 크게 감소되는 경향을 보이고 있으나, 오존 처리에 의해서는 오히려 증가되는 양상을 나타내었다.

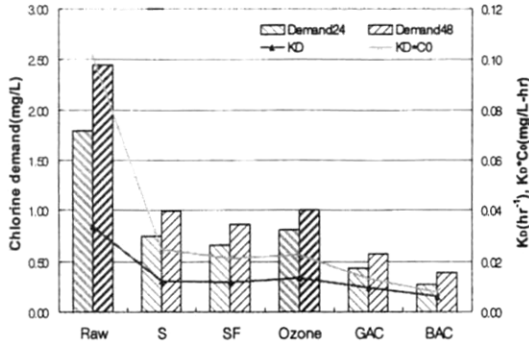


Fig 11. Change of chlorine demand and decomposition rate (November).

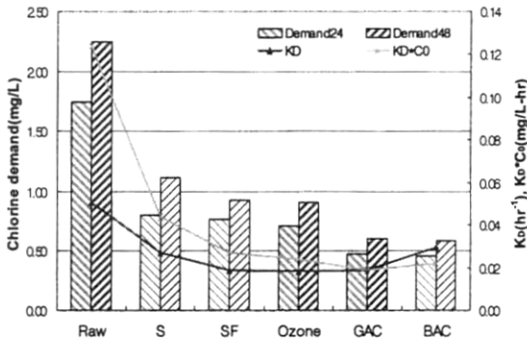


Fig 12. Change of chlorine demand and decomposition rate (February).

오존 처리는 겔보기 분자량의 감소, 방향성의 감소, Carboxyl 작용기의 증가, 지방산(Aliphatic acid), Aldehyde, Alkanes의 증가(Langlais 등, 1991) 등의 유기물 특성변화를 가져온다. 또한 대상화합물과 오존의 반응성에 기초하여 유기탄소 구조와 작용기는 오존 소비(분해) 기작에 영향을 준다. 예를 들어, 불포화 결합은 직접적으로 오존을 소비하고 alkyl 화합물은 오존의 분해를 저해하며, aryl 화합물은 오존의 분

Table 3. Results of chlorine demand (mgCl₂/L)

	February		May		August		November	
	24hr	48hr	24hr	48hr	24hr	48hr	24hr	48hr
Raw	1.75	2.25	2.12	2.65	1.68	2.18	1.79	2.45
Settle	0.80	1.11	1.07	1.44	0.80	1.01	0.75	0.99
SF	0.76	0.92	1.12	1.37	0.64	0.84	0.66	0.86
Ozone	0.71	0.91	0.97	1.19	0.70	0.92	0.81	1.00
BAC	0.45	0.58	0.56	0.65	0.28	0.42	0.27	0.39
GAC	0.47	0.60	0.60	0.74	0.44	0.64	0.43	0.57

해를 촉진시키거나 저해한다. 이에 따라 이분해성 유기물이 증가되어 낮은 유기물 농도에도 불구하고 높은 $kx C_0$ 을 나타낸 것으로 판단된다. 모래여과수에 비하여 오존처리에 의한 $kx C_0$ 값이 약 1.0~1.7배 정도 증가였다. BAC공정과 GAC공정의 경우는 각각 18~63%, 24~46% 감소하였으며, BAC공정에서 그 편차는 크게 나타나고 있었다.

계절별 염소 요구량의 차이는 크게 나타나고 있었으며, 기존 공정에 비하여 GAC 공정에서 37~59%, BAC 공정에서 24~46%로 BAC 공정에서 더 낮은 염소 요구량을 보였다.

겨울철, 봄철 갈수기에 BAC 및 GAC공정에서 다른 시기에 비하여 더 높은 염소 요구량을 보였으며 (Table 3), 이는 이 시기에 원수 수질의 악화와 활성탄 칼럼내에서 생물학적 기능이 감소했기 때문이라 판단된다.

기존공정에 비해 24, 48hr 평균 염소 요구량 감소량은 BAC공정에서 각각 0.41mg/L, 0.49mg/L, GAC공정에서 각각 0.31mg/L, 0.36mg/L였다 (Table 4).

다음 Fig. 13는 TOC와 염소요구량 사이의 상관관계를 나타내고 있다. TOC의 증가함에 따라 염소요구량은 선형적으로 증가하였다. TOC와 24시간 염소요구량은 0.95mgCl₂/mgTOC, 48시간 염소요구량은

Table 4. Results of chlorine decomposition rate (hr⁻¹, mg/L-hr)

	February		May		August		November	
	k	$kx C_0$	k	$kx C_0$	k	$kx C_0$	k	$kx C_0$
Raw	0.0506	0.1240	0.0359	0.1106	0.0361	0.0931	0.0339	0.1016
Settle	0.0268	0.0434	0.0191	0.0420	0.0167	0.0294	0.0121	0.0245
SF	0.0189	0.0269	0.0184	0.0370	0.0115	0.0191	0.0116	0.0212
Ozone	0.0180	0.0240	0.0318	0.0477	0.0151	0.0230	0.0136	0.0225
BAC	0.0293	0.0220	0.0150	0.0173	0.0069	0.0091	0.0062	0.0078
GAC	0.0186	0.0190	0.0183	0.0209	0.0093	0.0117	0.0094	0.0131

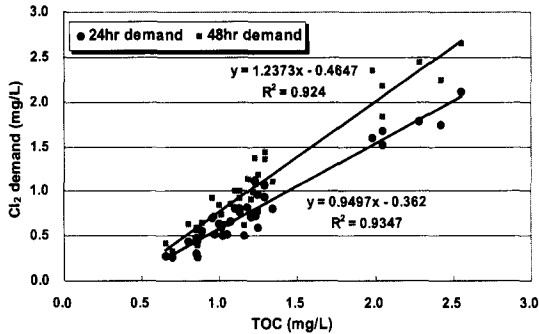


Fig. 13. Relationship of TOC and Chlorine demand.

1.24mgCl₂/mgTOC였으며, 상관계수(R²)는 각각 0.93, 0.92로 높은 상관성을 보이고 있다. 이와 같은 염소 요구량의 감소는 유기물질(TOC)의 감소에 일차적으로 기인한다고 생각되며, 이중결합이 많은 경우 산화와 치환에 필요한 염소 요구량이 높아진다는 Gang 등(2002)의 보고도 하나의 설명이 될 수 있을 것으로 여겨진다.

따라서 수도물의 잔류염소 농도를 낮게 유지시켜 염소내해를 최소화하는 방법은 최종처리수의 TOC를 최대한 제거하는 것이라는 사실을 알 수 있다.

3.4. 수온에 따른 염소소비 특성

기존정수처리공정에서 급수계통에서의 잔류염소 유지에 어려움을 나타나는 시기는 겨울철 보다는 고수온시기인 여름철이다. 염소감소속도에 대한 수온의 영향을 고찰하기 위해, 기존공정(모래여과수)과 고도정수공정(GAC) 처리수에 대해 수온을 5°C, 15°C, 25°C로 변화시키는 조건에서 염소소비속도를 측정하였다. Fig. 14와 같이 모래여과수(TOC; 1.64mg/L)는 염소소비속도는 5°C에서 0.0063hr⁻¹, 15°C에서 0.0095hr⁻¹, 25°C에서 0.0206hr⁻¹으로 나타나 수온변화에 따라 최대 3.3배가 차이가 났으며, GAC(TOC; 0.81mg/L)는 Fig. 15에서 나타난 것 같이 5°C에서 0.0032hr⁻¹, 15°C에서 0.0053hr⁻¹, 25°C에서 0.0076hr⁻¹으로 나타나 2.4배가 차이를 보여, 기존정수처리공정에 비해 고도정수처리공정은 수온변화에 따른 염소소비속도의 변화가 크지 않은 것으로 나타나, 급수계통에서의 잔류염소 안정화에도 크게 기여할 것으로 판단된다.

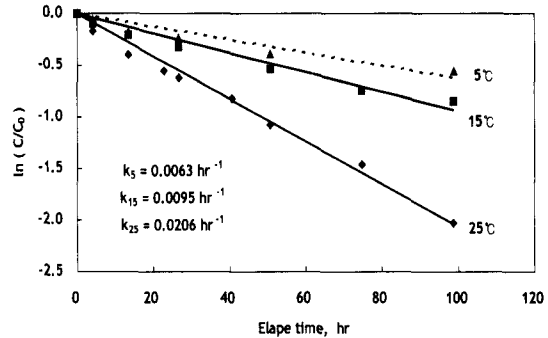


Fig. 14. Chlorine decay rate of sand filter water with water temperature.

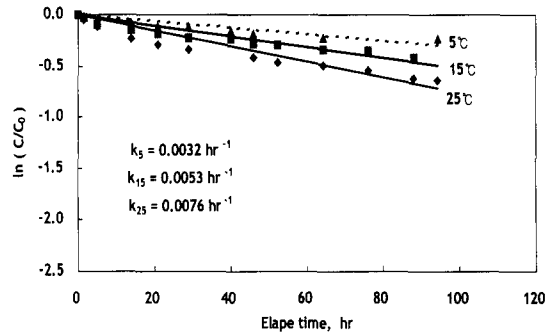


Fig. 15. Chlorine decay rate of GAC water with water temperature.

4. 결 론

1) G정수장의 여과수를 이용한 실증플랜트 운전결과 BAC, GAC공정에서 운전개시 약 240일을 전후하여 유기물질(TOC)이 흡착 평형상태에 도달하였으며, 이후 GAC에 비하여 BAC공정의 유출수가 수질상 다소 안정적으로 유지되고 있다. 이는 활성탄 흡착에 영향을 미치는 고분자물질이 오존 처리에 의하여 저분자화 되어 활성탄 파과에 영향을 적게 미치고, 수온의 증가에 따라 활성탄내 미생물량 및 활성의 증가에 기인한 것으로 간주된다.

2) 운전개시 240일 전후로 한계수질에 근접한 결과를 보여, 수질의 안정성 측면에서 TOC 농도의 60% 파과(C_{eff}/C_{inf} = 0.6) 수준, 즉 BV 40,000~60,000 범위 내에서 입상활성탄의 재생 및 교체가 이루어지는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

3) THMs과 THMFP는 겨울철에 일시 감소되는

경향을 보이다가 수온이 증가함에 따라 증가하는 경향을 보였다. 또한 BAC공정과 GAC공정 유출수에서 THMFP 농도의 뚜렷한 차이는 관찰되지 않았으나, 제거율에 있어서는 BAC공정이 다소 높았다.

4) 오존처리수의 UV₂₅₄는 큰 폭으로 감소하였으며, 오존 처리수와 GAC 처리수의 SUVA값은 대부분 큰 차이를 보이지 않았으며, BAC의 경우 GAC에 비하여 약 0.13~0.74L/mg·m보다 더 낮은 값을 나타내었다.

5) 한강원수에 대한 기존정수처리수 및 고도정수처리수의 염소소비특성을 분석한 결과 활성탄 처리에 의하여 kxC₀값이 크게 감소되는 경향을 보이고 있으나, 오존 처리에 의해서는 오히려 모래여과수에 비해 약 1.0~1.7배 정도 증가였다. BAC공정과 GAC공정의 경우는 각각 18~63%, 24~46% 감소하였으며, BAC공정에서의 편차는 크게 나타나고 있었다.

6) 계절별 염소 요구량의 차이는 크게 나타나고 있었으며, 기존 공정에 비하여 GAC 공정에서 37~59%, BAC 공정에서 24~46%로 BAC 공정에서 더 높은 염소 요구량 감소를 보였다.

7) 기존공정에 비해 24, 48hr 평균 염소 요구량 감소량은 BAC공정에서 각각 0.41mg/L, 0.49mg/L, GAC공정에서 각각 0.31mg/L, 0.36mg/L였다.

8) TOC와 염소요구량은 높은 상관성이 보였는데, 24시간 염소요구량이 0.95mgCl₂/mgTOC, 48시간 염소요구량은 1.24mgCl₂/mgTOC로, 상관계수(R²)는 각각 0.93, 0.92였다.

9) 결국 염소 요구량의 감소는 유기물질(TOC)의 감소에 일차적으로 기인한다고 판단된다. 따라서 수돗물의 잔류염소를 낮게 유지시켜 염소냄새를 최소화하기 위해서는 최종처리수의 TOC를 최대한 제거해야 한다.

특히 수온변화에 영향을 덜 받는 것으로 나타나 고수온시에도 급수계통에서 잔류염소농도를 오랫동안 낮게 유지하여 수도꼭지 잔류염소농도 목표치인 0.1mg/L 유지하는데 유리할 것으로 보인다.

참고문헌

1. 서울시고도정수처리연구1단계보고서, 서울시상수도연구

소(2000).

2. 서울시고도정수처리연구2단계보고서, 서울시상수도연구소 (2003).
3. 이성우, 이현동, 한명호, 광동희, 김충환 (2004) 고도상수처리, pp. 146-147. 동화기술.
4. 잔류염소 관리개선효과검토, 일본수도협회잡지 (2003) 72(6), pp. 12-24
5. Can ZS, Gurol M. (2003) Formaldehyde formation during ozonation of drinking, *Ozone science and engineering*, 25(1), pp. 41-51.
6. Dianchen Gang, Thomas E. Clevenger, Shankha K. Banerji (2003). Relationship of chlorine decay and THMs formation to NOM size, *Journal of Hazardous Materials*, A96, pp. 1-12.
7. Dominic L. Boccelli, Michael E. Tryby, James G. Uber and R. Scott Summers (2003) A reactive species model for chlorine decay and THM formation under rechlorination conditions, *Water Research*, 37, pp. 2654-2666.
8. Fang Hua, J.R. West, R.A. Barker and C.F. Forster (1999) Modelling of chlorine decay in municipal water supplies, *Water Research*, 33, pp. 2735-2746.
9. In-line Ozone and Hydrogen Peroxide Treatment for Removal of Organic Chemicals (1992) *IWA Research Foundation*.
10. James C. Powell, Nicholas B. Hallam, John R. West, Christopher F. Forster and John Simms (2003) Factors which control bulk chlorine decay rates, *Water Research*, 34, pp. 117-126.
11. Jinsik Sohn, Gary Amy, Jaewon Cho, Yonghun Lee, Yeomin Yoon (2004) Disinfectant decay and disinfection by-products formation model development: chlorination and ozonation by-products. *Water Research*, 38, pp. 2461-2478.
12. Khalil Z. Atasi, Theping Chen, Judith I. Huddleston, Connie C. Young, I.H. (Mel) Suffet (1999) Factor Screening for Ozonating the Taste and Odor Causing Compound in Source Water at Detroit, *W&T*, 40(6), pp. 115-122. U.S.A.
13. L. Ho, J.P. Crou and G. Newcomb (2004) The Effect of Quality and NOM Character on the Ozonation of MIB and Geosmin, *W&T*, 49(9), pp. 249-255.
14. Lionel Ho, Gayle Newcomb, Jean-Philippe Crou (2002). Influence of the Character of NOM on the Ozonation of MIB and Geosmin, *Water Research*, 36, pp.511-518.
15. Vieira P, Coelho ST and Loureiro D.(2004). Accounting for the influence of initial chlorine concentration, TOC, iron and temperature when modelling chlorine decay in water supply, *Journal of water supply research and technology-aqua*, 53(7), pp. 453-467.