

상수중 Trihalomethanes, 농약, 중금속 및 합성세제의 효율적인 제거를 위한 수처리 방법 제 1보. 상수중 Trihalomethanes의 효율적인 제거방법

박종우 · 김장억*

경북대학교 농과대학 농화학과

초록 : 상수처리시 토양현탁액과 같은 유기물이 있을 때 산화제, 응집제 및 흡착제의 종류를 달리하고 처리방법을 변경시켰을 때 THMs 및 유기물의 제거정도를 조사하였다. 산화제로 처리된 ClO_2 가 다른 산화제인 Cl_2 , NH_2Cl , KMnO_4 및 O_3 보다 THMs 생성억제와 THMs의 전구물질인 유기물을 제거시키는데 가장 효율적이었다. 산화제(Cl_2 , NH_2Cl , KMnO_4 , ClO_2 , O_3)를 응집 이후에 처리하였을 때 유기물의 양은 거의 변화가 없었으나 THMs의 생성량은 응집 이전 처리보다 약 36.7~8.2% 정도 감소하였다. 수중 유기물을 응집 제거시키기 위하여 응집제로 alum과 ferric sulfate를 처리하였을 때 응집 효율은 유기물의 분자량 분포에 따라 상이하게 나타났다. THMs 제거 및 생성 억제를 위한 활성탄의 처리는 여과 이후의 처리가 산화제 처리 이전의 활성탄 처리보다 효과적이었다(1994년 10월 17일 접수, 1994년 11월 11일 수리).

찾는말 : 상수처리, 산화제, 응집제, 활성탄, THMs

서 론

1991년에 발생한 대구직할시의 수도물 폐늘 오염사건에 이어서 1994년 1월에 낙동강 달성정수장의 암모니아 약취사건과 dichloromethane, benzene 등의 검출 사건으로 인해 깨끗한 물에 대한 욕구가 한층 더 일게 되었다. 산업과 생활의 다양화로 인해 수계로 배출되는 오염물질들의 종류나 양도 계속 증가하고 있어서 유역별로 수질보존대책을 수립하여 관리하더라도 처음부터 처리되지 않은 폐수, 폐수 처리과정에서 제거되지 않는 난분해성 물질과 농경지와 산림에서의 농업용 화학물질들의 유출 등은 불가피한 실정이므로 이러한 물을 상수원으로 이용할 경우 적절하게 대처할 수 있는 수처리방법이 있어야 할 것이다. 안전하고 깨끗한 수도물을 얻기 위해서는 상수원수의 성질에 따른 적절한 처리방법들이 제시되어야 하며 그 중에서도 특히 농약, 중금속, 합성세제 등이 함유된 물은 반드시 이들이 제거될 수 있는 수처리 방법이 있어야 하며 또한 근원적으로 원수 중에 함유되어 있는 유기물질을 제거하여야만 염소소독으로 인한 THMs(trihalomethanes) 이라는 발암성

물질을 제거시킬 수 있을 것이다. 즉, 상수원수의 수질 상태를 충분히 검토한 후에 상수원수의 수질에 맞는 적절한 수처리 방법이 도입되어야 할 것으로 생각된다.

따라서 본 연구에서는 수중에 토양현탁액과 같은 유기물이 있을 때 응집제 및 산화제의 종류 및 방법을 변경시켜 THMs, 농약, 중금속 및 합성세제 등이 어느 정도 제거되는지를 알고자 하였다. 본 논문에서는 먼저 THMs의 효율적인 제거방법에 대하여 기술하고자 한다.

Chloroform을 포함한 dichlorobromomethane, chlorodibromomethane 그리고 bromoform 등 methane에 3개의 할로젠족 원소가 치환된 형태를 trihalomethanes 즉 THMs라 칭하고 이들 유기 화합물들은 발암성 물질로 알려져 미국 EPA에 의해 음용수 중 그 허용한계가 100 ppb이하로 규정되고 있으며¹⁾ 우리나라의 경우에도 1990년 1월 보사부령 제841호에 의해 음용수 중 그 허용한계가 100 ppb이하로 규정되었다.

Bellar는 THMs가 정수처리 중 염소처리 과정에서 생성됨을 보고²⁾하였고 이후 THMs는 염소와 수중 humic물질 즉 humic acid 및 fulvic acid와의 반응에 의해 생성됨이 밝혀졌다.^{3,4)} 이들의 생성 메카니즘은 화학적

Key words : Drinking water, oxidant, coagulant, activated carbon, THMs

Corresponding author : J.-E. Kim

으로 완전히 규명되고 있지 않지만 이 반응에서 온도와 pH가 증가함에 따라서 THMs의 생성량이 증가됨이 밝혀졌고^{4,5)} 또한 색도가 THMs의 생성량과 높은 상관관계가 있음이 보고되고 있다.⁵⁾

Humic acid와 fulvic acid의 상대적인 chloroform형성 정도를 조사한 결과 humic acid가 더 많은 활성 경로에서 염소와 반응함이 보고되고 있다.⁶⁾ 그러나 수중 유기물 중에는 humic acid가 차지하는 비율이 10%이하이고 대부분이 fulvic acid로서 존재함이 보고되고 있다.⁷⁾

THMs의 보건학적 위해성으로 인해 이것을 제거하기 위한 여러 방법들이 제안되고 있으며 이들 방법들은 THMs생성 후의 제거, 염소 처리전 전구물질의 제거, 그리고 산화제의 대체 등으로 구분할 수 있다.⁸⁾ 그리고 생성된 THMs의 제거를 위해 수처리 중 냄새와 색도제거를 위해 사용되고 있는 활성탄의 사용이 널리 보급되고 있으며 이것의 효율적 사용에 관한 많은 연구들이 진행되고 있다.⁹⁻¹²⁾ 그러나, 지금까지 THMs의 생성억제 및 제거에 대한 연구들이 단일 처리 조건으로 행하여져 이들 방법들의 효율을 객관적으로 비교하는데는 약간의 문제점이 있었다. 따라서 본 실험에서는 동일 조건하에서 상수 처리중 THMs의 생성억제를 위하여 산화제의 대체 및 처리위치의 변경, 수중 humic물질의 분자량 분포에 따른 응집제 효율의 변화, 그리고 활성탄의 처리위치에 따른 흡착효율을 비교 조사함으로써 이들 처리조건들의 효율을 객관적으로 비교하고자 한다.

재료 및 방법

실험 재료

THMs

본 실험에 사용된 THMs 표준품은 Wako사(일본)의

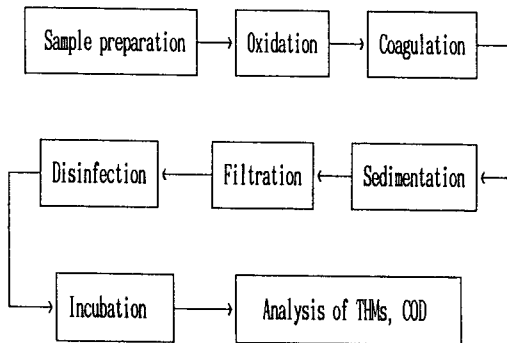


Fig. 1. Flow diagram for water treatment in pilot system

chloroform, dichlorobromomethane, dibromochloromethane, bromoform 등이 혼합된 표준용액을 사용하였으며 이들의 GLC peak는 Aldrich사(미국)의 표준품으로 확인 하였다.

유기물

유기물 함량이 약 3.8%인 토양 100g에 0.5N-NaOH 200 ml를 가하고 20시간 왕복 진탕한 후 10,000 rpm에서 약 20분간 원심분리하여 상정액을 모았다. 이 상정액을 본 실험의 유기물원으로 사용하였으며 또한 경북대학교 농화학과 토양학 실험실에서 Tan의 방법¹³⁾으로 추출한 humic acid를 사용하였다.

실험방법

Pilot test

증류수 2l에 토양에서 추출한 유기물 일정량을 첨가하여 정수처리할 시료를 조제하고 pH를 7로 조정하여 Fig. 1과 같은 순서로 처리하였으며 정수처리시의 실험 조건과 약품 처리량은 Table 1에 나타내었다.

산화제 처리

Cl₂처리는 NaOCl을 Iodometric method¹⁴⁾로 유효염소의 농도를 구한 뒤 증류수로 희석하여 일정농도를 처리하였다. NH₂Cl은 암모니아원으로서 NH₄Cl을 사용하여 Cl₂와 ammonia태 질소의 중량비가 3 : 1이 되게 처리하여 NH₂Cl이 생성되게 하여 처리하였다.¹⁵⁾ ClO₂는 Iodometric method¹⁴⁾로 유효농도를 구한 뒤 증류수에 희석하여 일정농도를 처리하였다. KMnO₄는 500 ppm으로 제조한 후 일정량을 처리하였다. O₃은 산소를 이용하여 오존발

Table 1. Test conditions and chemicals dosage in pilot system

Parameter	Value
Humic material dosage (%)	
soil extracts	0.2
Oxidants dosage (mg/l)	
Cl ₂	5
NH ₂ Cl	3
KMnO ₄	2
ClO ₂	2
O ₃	2
Alum dosage (mg/l)	30
Calcium hydroxide dosage (mg/l)	10
Coagulation time (min)	30
Sedimentation time (hour)	2.5
Oxidant contact time (min)	20
pH	7.0

생기(Fischer Model 502)에서 전기적 방전에 의해 생성된 O₃을 오존측정기(Fischer Ozotron 22)에 통과시켜 O₃의 농도를 측정하여 1L ozone demand flask에 시료를 넣고 일정량의 O₃ 농도가 되도록 주입한 후 마개를 막고 5분간 격렬하게 흔들어 O₃이 시료와 완전히 접촉하도록 하였다.

응집제 처리

두 종류의 유기물 즉 토양추출물과 humic acid를 각각 0.2% 및 1.5 ppm으로 처리한 후 alum(aluminium sulfate·14-18H₂O) 처리구와 ferric sulfate 처리구로 각각 구분하여 응집 처리하고 Cl₂를 5 ppm씩 각각 처리한 뒤 암실에서 24시간 incubation하여 THMs생성량을 정량 분석하였다.

활성탄 처리

토양추출물 0.2% 및 0.5%를 처리한 시료를 정수처리하는 과정중 분말활성탄 200 mg/L를 산화제 처리전(전처리)과 여과후(후처리)에 각각 처리하여 30분간 접촉시킨 후 여과하여 4일 동안 THMs생성량과 COD의 변화를 조사하였다.

THMs 분석

정수처리 과정을 거친 시료 일정량을 취하여 cap test tube에 넣고 n-pentane 일정량을 가한 뒤 약 3~4분간 격렬하게 흔든 후 수층과 n-pentane층이 완전히 분리된 것을 확인하고 microsyringe로 1 μl를 정확하게 취하여 전자포획 검출기가 장착된 GLC에 주입하여 THMs를 정량분석하였다. GLC(Pye Unicam 304)의 column 충전 물질은 10% DC-200을 사용하였으며 column의 온도는 90°C 이었으며 carrier gas(N₂)의 속도는 35 ml/min이었다.

COD(chemical oxygen demand) 측정

정수처리된 시료의 유기물 함량을 측정하기 위하여 보사부령 제 871호에 의한 음용수 수질검사 방법¹⁰⁾에 준한 KMnO₄소모량 방법으로 COD를 측정하였다.

Gel permeation chromatography

Manos 등^{17,18)}의 방법을 약간 변형하여 gel permeation chromatography를 실시하였다. Sephadex G-50 gel(Sigma사)을 내경 20 mm, 높이 250 mm의 bore glass column에 충전시켰다. 용출용매로 pH를 9.5로 조절한 0.01 N NaCl용액을 사용하였다. Flow. rate는 0.1~0.15 ml/min 정도를 유지시켰으며 5 ml/씩 분획하여 UV 280 nm에서 흡광도를 측정하였다.

결과 및 고찰

수중 THMs의 분석

여러 가지 조건으로 처리된 시료에서의 THMs분석은 n-pentane을 추출 용매로 사용하여 액액 추출법으로 추출하여 GLC-ECD로 정량 분석하였으며 그 chromatogram은 Fig. 2와 같았다.

THMs 표준품의 머무름 시간은 CHCl₃, CHCl₂Br, CH-

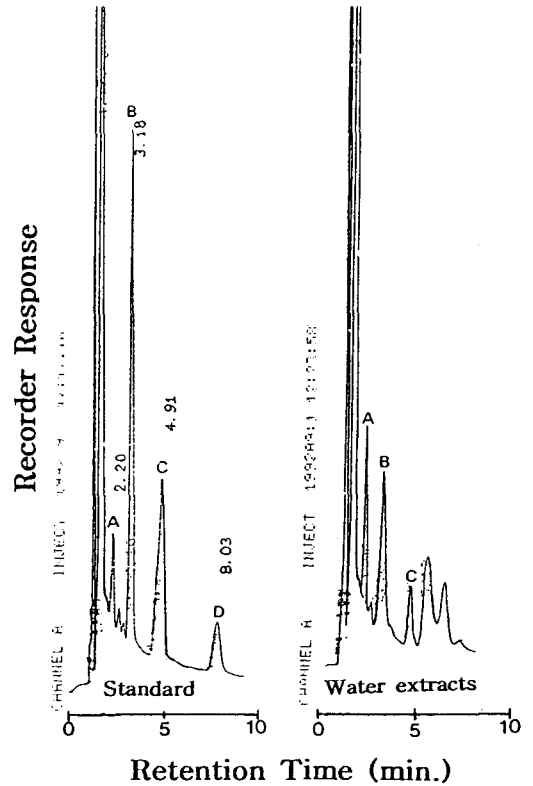


Fig. 2. GLC chromatogram of THMs in water extracts A, CHCl₃; B, CHCl₂Br; C, CHClBr₂; D, CHBr₃.

Table 2. The formation rate of THMs and COD by treatment of oxidants in water treated with 0.2% soil extracts

Oxidant		Disinfectant	COD (mg/l)	TTHM* (ppb)
1st	2nd			
Cl ₂		Cl ₂	1.8± 0.2	125.4± 29.6
NH ₂ Cl		Cl ₂	3.1± 0.7	38.2± 6.1
KMnO ₄		Cl ₂	2.3± 0.5	76.7± 9.7
KMnO ₄	Cl ₂	Cl ₂	2.1± 0.2	152.3± 30.2
ClO ₂		Cl ₂	2.0± 0.1	50.5± 5.2
O ₃		Cl ₂	1.7± 0.1	103.5± 0.4

This values were measured after 72 hour.

*TTHM=Total trihalomethane

CIBr₂ 및 CHBr₃에 대해 각각 2.20분, 3.18분, 4.91분 및 8.03분이었으며 이들을 각각 정량하여 그 합을 total THMs(TTHMs)의 양으로 계산하였다.

산화제 처리

상수처리에 있어서 산화제로 사용될 수 있는 Cl₂, NH₂Cl, KMnO₄, ClO₂ 및 O₃를 Fig. 1과 같은 방법으로 처리하고 소독제로서 Cl₂를 처리하였을 때 COD와 THMs생성량의 변화를 조사한 결과는 Table 2와 같았다.

토양추출물을 0.2% 넣어 주었을 때 COD 값은 15 mg/l이었다. 산화제 및 소독제로 주로 사용되고 있는 Cl₂를 처리하였을 때 유기물원으로 토양추출물 0.2%를 넣어준 시료에서 72시간 후 THMs생성량은 125.4 ppb, COD는 1.8 mg/l로 나타났다. 산화제로 NH₂Cl을 처리하였을 때 THMs생성량이 38.2 ppb로 THMs생성량 억제는 가장 효과적이었으나 COD는 3.1 mg/l로 유기물의 제거 효율은 상대적으로 매우 낮게 나타났다. 유기물의 제거 효과는 Cl₂와 O₃를 처리하였을 때 COD가 1.8과 1.7 mg/l로 가장 효과적으로 나타났다. 그리고 산화제로서 KMnO₄+Cl₂ 처리구와 O₃ 처리구의 경우 THMs생성량이 각각 152.3 ppb와 103.5 ppb로 비교적 매우 크게 나타났다. 이러한 결과는 Chang 등¹⁹⁾이 O₃처리에 의하여 수중 유기물이 완전히 무기화되어 제거되는 것이 아니라 다른 물리 화학적 특성을 지닌 유기물의 합성을 유도하며, O₃ 처리시 THMs의 생성율이 약 10%정도 밖에 감소하지 않는다는 보고와 거의 비슷한 경향을 나타내었다. 그러므로 산화제로서 KMnO₄+Cl₂ 처리구와 O₃ 처리구에서 THMs생성량이 매우 크게 나타난 것은 유기물이 KMnO₄와 O₃의 처리에 의해 제거되었다기 보다는 다른 분자량 범위로 전환되었기 때문일 것으로 추측된다. 유기물 제거와 THMs 생성 억제효율을 종합적으로 생각해 볼 때 산화제 및 소독제로서 ClO₂ 및 Cl₂를 처리하였을 때 THMs의 생성량은 50.5 ppb 그리고 COD는 2.0 mg/l로 다른 산화제 및 소독제 처리에 비해 비교적 효율적인 것으로 나타났다. 그러나 Lykins 등²⁰⁻²²⁾은 산화제로서 ClO₂ 처리시 부산물로서 인체에 유독한 chlorite(ClO₂⁻)와 chlorate(ClO₃⁻) 이온을 생성하기 때문에 이들을 제거하기 위한 연구가 필요하다고 보고하고 있다. 또한 산화제로서 NH₂Cl의 사용은 Johson 등²³⁾이 THMs의 생성량은 매우 적게 나타났지만 다른 유기 할로젠 화합물을 생성하며 산화력이 약하다는 단점을 지니고 있다고 보고하고 있다. 그러므로 상수처리시 사용되는 이들 산화제는 각기 장단점을 가지고 있어 처리하여야 할 원수의 특성, 처리 조건에 따라서 적절한 산화제의 선택이 필요할 것으로 생각된다.

택이 필요할 것으로 생각된다.

산화제의 처리 위치를 응집제(alum) 이전처리(전처리)와 응집 이후처리(후처리)로 구분하여 THMs을 생성하는데 관여한다고 알려진 유기물에 산화제를 각각 처리함으로써 THMs생성 정도를 비교 조사한 결과는 Table 3과 같았다.

산화제의 처리 위치를 변경시킨 결과 전처리와 후처리에서 유기물의 제거율에 있어서는 큰 차이를 나타내지 않았지만 THMs의 생성량은 산화제로 ClO₂을 처리한 구를 제외하고는 전처리에 비해 후처리시 약 36.7~8.2% 정도 감소하였다. 특히 산화제로 Cl₂를 처리한 경우 전처리에 비해 후처리의 경우 THMs생성량에서 36.7%로 크게 감소되는 것으로 나타났다.

응집제 처리

Alum과 ferric sulfate, 두 종류의 응집제를 분자량의 분포가 상이한 두 종류의 유기물에 처리한 후 Cl₂를 처리하여 THMs생성량을 조사한 결과는 Table 4와 같았다.

수중 유기물원으로 토양추출물 0.2%를 처리한 경우 ferric sulfate가 처리되었을 때 THMs생성량이 126.6

Table 3. The formation rate of THMs and COD by treatment position of oxidants in water treated with 0.2% soil extracts

Oxidant	Treatment*	Disinfectant	COD (mg/l)	TTHM (ppb)
Cl ₂	pre	Cl ₂	1.8±0.2	125.4±29.6
Cl ₂	post	Cl ₂	1.8±0.3	79.4±16.8
NH ₂ Cl	pre	Cl ₂	3.1±0.7	38.2±6.1
NH ₂ Cl	post	Cl ₂	3.3±0.3	27.1±3.3
ClO ₂	pre	Cl ₂	2.0±0.1	50.5±5.2
ClO ₂	post	Cl ₂	1.9±0.2	53.6±1.1
O ₃	pre	Cl ₂	1.7±0.1	103.5±0.4
O ₃	post	Cl ₂	1.4±0.1	95.0±13.4

This values were measured after 72 hour.

*pre, pre-treatment; post, post-treatment.

Table 4. The effect of alum and ferric sulfate on the formation of THMs in water treated with soil extracts and humic acid

Coagulant	TTHM (ppb)	
	Soil extracts (0.2%)	Humic acid (3 mg/l)
Alum (50 mg/l)	83.8	105.6
Ferric sulfate (50 mg/l)	126.6	70.4

ppb로서 alum처리시의 83.8 ppb보다 더 큰 THMs생성량을 보인 반면 humic acid의 경우 alum처리시 THMs생성량이 105.6 ppb로서 ferric sulfate 처리시 70.4 ppb보다 더 큰 THMs생성량을 보여 서로 상반된 결과를 나타내었다. 유기물의 종류에 따라서 두 응집제의 응집 효율이 상이하게 나타남으로 이 결과를 추론하기 위해 gel permeation chromatography를 행하여 두 유기물 종류의 분자량 분포를 조사한 결과는 Fig. 3과 같았다.

토양추출물의 경우 분자량 분포가 humic acid의 분자량 분포에 비해 저 분자량쪽에 더 큰 분포를 나타내어 토양추출물과 humic acid의 분자량 분포가 서로 상이함을 알 수 있었다. 그래서 humic acid에 alum과 ferric sulfate를 각각 처리하여 이들을 응집 제거시킨 후의 유출수를 모아 gel permeation chromatography를 통해 alum과 ferric sulfate의 응집 특이성을 조사한 결과는 Fig. 4와 같았다.

Fraction No. 6에서 alum의 응집 효율이 증가한 것을 제외하고는 fraction No. 13을 중심으로 상대적으로 고 분자량에서는 ferric sulfate, 저분자량에서는 alum의 응집 효율이 증가됨을 알 수 있었다. 이들 결과는 Knocke 등²⁰⁾이 한외여과를 통해 유기물의 분자량을 1,000 이하와 1,000~10,000으로 나누어 alum과 ferric sulfate의 THMs생성 억제정도를 조사한 결과 1,000 이하의 분자량 범위에서는 alum이 그리고 1,000~10,000의 분자량 범위에서는 ferric sulfate가 더 효과적이었음을 보고한 것과 동일한 결과를 나타내었다. 그러므로 ferric sulfate의 경우 고분자량의 유기물을 보다 잘 응집 제거하고 alum은 보다 저분자량의 유기물을 보다 잘 응집 제거할 것으로 추론된다. 따라서 상수원수 중의 유기물의 분자량

분포 특성에 따라 이들 응집제의 적절한 선택이 필요할 것으로 생각된다.

활성탄 처리

상수 처리중 활성탄의 사용은 주로 조류 등에 의한 냄새의 제거를 위해 사용되었다. 그러나 요즘은 이들의 뛰어난 흡착성으로 인해 수중에 잔류하는 유기 화합물을 제거할 목적으로 많이 사용되고 있다. THMs 생성 억제제를 위해 활성탄은 주로 전구물질의 제거를 위한 목적과 이미 생성된 THMs을 제거하기 위한 목적으로 사용되어 진다. 그래서 이들 활성탄의 두가지 사용 목적에 의한 THMs 생성 억제효율을 비교 조사하기 위해 활성탄을 산화제 처리 이전처리(전처리)와 여과이후 처리(후처리)에 의한 유기물 제거 및 THMs의 생성량을 비교한 결과는 Fig. 5 및 6과 같았다.

유기물이 0.2%와 0.05% 처리된 두 시료 모두에서 활성탄을 후처리한 결과 전처리 보다 각각 약 50%와 10%정도의 THMs생성량의 감소가 나타났다. 유기물의 분해·제거율도 전처리시 보다 증가하였다. 이러한 결과를 추론하기 위해 Cl₂처리에 의한 유기물의 분자량 분포 변화를 gel permeation chromatography로 조사한 결과는 Fig. 7과 같았다.

Humic acid에 Cl₂를 처리한 결과 유기물의 분자량 분포가 전체적으로 저분자량 쪽으로 이동되었다. 이는 Cl₂처리에 의해 유기물이 보다 작은 분자량으로 전환된 것을 의미하며 Manos 등¹⁷⁾은 활성탄의 흡착특성을 조사한 결과 활성탄이 보다 저분자량의 humic acid를 잘 흡착함을 보고하고 있다. 이 결과들을 기초로 활성탄의

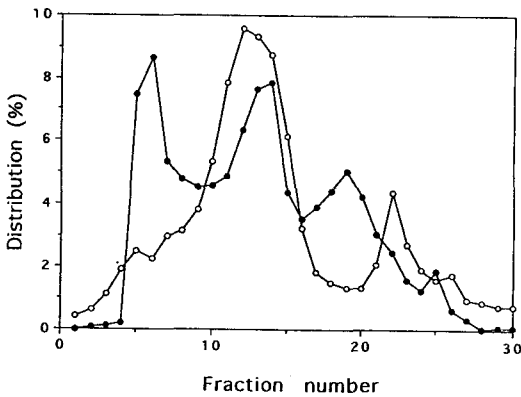


Fig. 3. Comparison of molecular weight distribution of humic acid with soil extracts. ○—○, soil extracts; ●—●, humic acid.

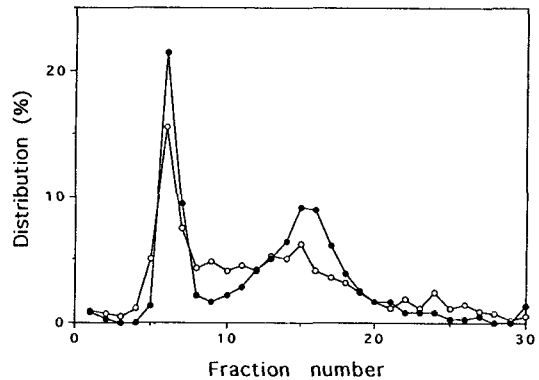


Fig. 4. Comparison of molecular weight distribution of humic acid coagulated by alum and ferric sulfate in water. ○—○, alum; ●—●, ferric sulfate.

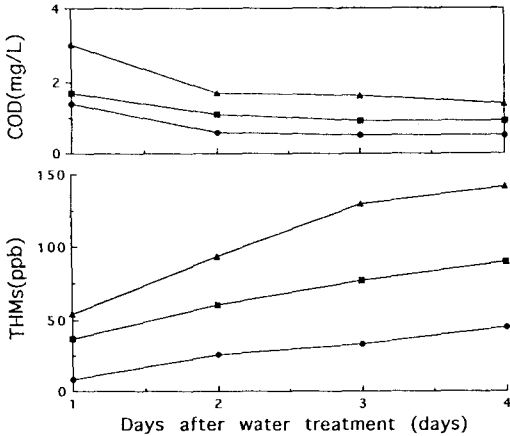


Fig. 5. Effect of treatment position of activated carbon on the formation rate of THMs and COD in water treated with 0.2% soil extracts in pilot system. ●—●, post; ■—■, pre; ▲—▲, blank.

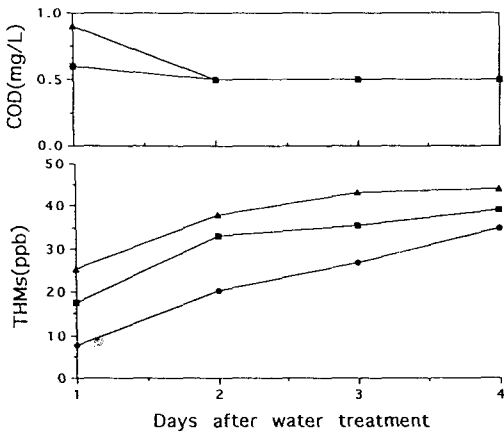


Fig. 6. Effect of treatment position of activated carbon on the formation rate of THMs and COD in water treated with 0.05% soil extracts in pilot system. ●—●, post; ■—■, pre; ▲—▲, blank.

후처리시 Cl_2 에 의해 유기물의 분자량이 상대적으로 저 분자량으로 전환되고 전환된 저분자량이 활성탄에 의해 보다 잘 흡착됨으로 전처리보다 후처리시 더 큰 효율을 보였을 것으로 추정된다. 또한 활성탄의 후처리시 부수적으로 생성된 THMs가 활성탄에 의해 흡착됨으로 후처리시의 THMs생성을 감소 및 유기물 제거 효율이 전처리시 보다 크게 증가된 것으로도 추정된다.

이상의 결론을 토대로 THMs 및 유기물 제거를 위한 가장 효율적인 수처리방법을 제시하면 산화제를 응집

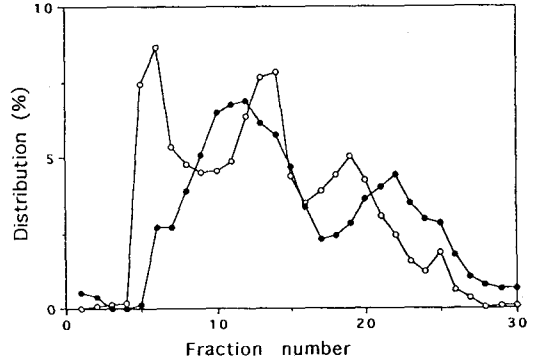


Fig. 7. Change of molecular weight distribution of humic acid by treatment of Cl_2 in water. ○—○, humic acid; ●—●, Cl_2 treatment.

이후에 처리하는 후처리를 채택한 Cl_2 처리에 여과 이후 활성탄의 처리가 부가되는 처리 방법이 경제적으로나 처리 효율 면에서 가장 효율적이라 생각되며 상수원수중 humic material의 분자량 분포에 따라 적절한 응집제의 선택이 필요한 것으로 나타났다.

감사의 말

본 연구는 한국학술진흥재단의 1993년도 자유공모과제 연구비 지원에 의해 수행된 것으로 당 재단에 감사드립니다.

참고 문헌

1. Christman, R. F., D. L. Norwood, D. S. Millington, J. D. Johnson and A. A. Steven (1983) Identity and yields of major halogenated products of aquatic fulvic acid chlorination, *Environ. Sci. Technol.*, 17, 625-628.
2. Bellar, T. A., J. J. Lichtenberg and R. C. Korner (1974) The occurrence of organohalide in chlorinate drinking water, *J. AWWA*, 66, 703-706
3. Rook, J. J. (1972) Production of potable water from a highly polluted river, *Water Treat. & Exam.*, 21, 235-243
4. Trusell, R. R. and M. D. Umphres (1978) The formation of trihalomethane, *J. AWWA*, 70(11), 604-612
5. 방백원 (1986) 낙동강 하류 상수도원의 trihalomethane 생성과 전구물질 제거에 대하여, 부산개방대학 연구보고, 제 28집, 613-628

6. Reckhow D. A., Singer P. C. and R. L. Malcolm (1990) Chlorination of humic materials : Byproduct formation and chemical interpretation, *Environ. Sci. Technol.*, 24(11), 1655-1664
7. Staoshi, M. (1992) Humic substance in soil and streams, 영남대학교 한일공동환경 symposium.
8. Blanck, C. A. (1979) Trihalomethane reduction in operating water treatment plant, *J. AWWA*, 71(9), 525-528
9. MacGuire, M. J., M. K. Davis, C. H. Tate, E. M. Aieta, E. W. Howe and J. C. Crittenden (1991) Evaluating GAC for trihalomethane control, *J. AWWA*, 83(1), 38-48
10. Lykins, B. W., R. M. Clark and J. Q. Adams (1988) Granular activated carbon for controlling THMs, *J. AWWA*, 80(5), 85-92
11. Alben, K. T., E. Shpirt and J. H. Kaczmarczyk (1988) Temperature dependence of trihalomethane adsorption on activated carbon : Implications for systems with seasonal variations in temperature and concentration, *Environ. Sci. Technol.*, 22(4), 406-412
12. Weber, W. T. and B. M. Viot (1981) Synthetic adsorbents and activated carbon for water treatment : Statistical analysis and interpretations, *J. AWWA*, 73(8), 426-431
13. Tan, K. H. (1977) Infrared spectra of humic and fulvic acid containing silica, metal ions and hydropscopic moisture, *Soil Sci.*, 123, 235-240
14. Greenbery, A. E., L. S. Clesceri and A. D. Eaton (1985) In "Standard methods for the examination of water and wastewater, Chlorine (residual)", p. 298-325, 16th Ed., APHA, Washington DC, U.S.A
15. Myers, A. G. (1990) Evaluation alternative disinfectants for THM control in small systems, *J. AWWA*, 82(6), 77-84
16. 대구시 상수도 사업본부 (1991) "상수도 수질검사요원 교육자료", p.134-136
17. Manos, G. P. and E. Tasi (1981) Mechanisms of humic material adsorption on kaolin clay and activated carbon, *Water Air Soil Pollut.*, 14, 419-427
18. Manos, G. P. and E. Tasi (1980) Chromatographic behavior of humic materials extracted from barberton sludge, *Water Air Soil Pollut.*, 13, 373-377
19. Chang, S. D. and P. C. Singer (1991) The impact of ozonation on particle stability and the removal of TOC and THM precursors, *J. AWWA*, 83(3), 71-79
20. Lykins, S. D. and M. H. Griese (1986) Using chlorine dioxide for trihalomethane control, *J. AWWA*, 78(6), 88-93
21. Griese, M. H., K. Hauser, M. Berkemeier and G. Gordom (1991) Using reduction agents to eliminate chlorine dioxide and chlorite ion residuals in drinking water, *J. AWWA*, 83(5), 56-61
22. Dixon, K. L. and R. G. Lee (1991) The effect of sulfur-based reducing agent and GAC filtration on chlorine dioxide byproducts, *J. AWWA*, 83(5), 48-55
23. Johnson, J. D. and J. N. Jensen (1986) THM and TOX formation : Routes, rates and precursors, *J. AWWA*, 78(4), 156-162
24. Knocke, W. R., S. West and R. C. Hoehn (1986) Effect of low temperature on the removal of trihalomethane precursors by coagulation, *J. AWWA*, 78(4), 189-195

Water Treatment Method for Removal of Trihalomethanes, Pesticides, Heavy Metals and Detergent in Drinking Water (1). Effective Removal Method of Trihalomethanes in Drinking Water

Jong-Woo Park and Jang-Eok Kim*(Department of Agricultural Chemistry, Kyungpook National University Taegu 702-701, Korea)

Abstract : This study was conducted to determine the effective removal method of THMs and humic material in drinking water when the doses of oxidants, coagulants, and activated carbon, and the points of oxidants treatment were changed in the drinking water treatment process. The inhibition of THMs formation and the removal of humic matter were more effectively achieved by ClO_2 than by other oxidants, Cl_2 , NH_2Cl , KMnO_4 and O_3 . By changing the point of oxidant treatment, the formation of THMs was reduced by about 36.7 to 8.2% on treatment after coagulation, but the content of humic matter was not affected. The coagulation efficiency of alum and ferric sulfate to coagulate organic materials in water was affected by the molecular weight of humic matter in drinking water. The treatment of activated carbon after filtration was found to be more effective than that before oxidation in inhibiting THMs formation and removing THMs.