

클로라민 소독에 의한 종속영양세균과 질산화세균의 불활성화 및 재생장 억제

조 관 형·김 평 청·우 달 식^{*}·조 영 태^{**}
청운대학교·국립환경연구원·(재)한국계면공학연구소^{***}·충청대학^{***}
(2000년 12월 16일 접수)

The Inactivation and Microbial Regrowth Inhibition of Heterotrophic and Nitrifying Bacteria by Chloramination

Kwan-Hyung Jo, Pyung-Chong Kim^{*}, Dal-Sik Woo^{**} and Young-Tai Cho^{***}
Chungwoon University, ^{*}National Institute of Environmental Research
^{**}Korea Interfacial Science and Engineering Institute, ^{***}Chungcheong College
(Manuscript received 16 December, 2000)

This study was performed to evaluate the inactivation and microbial regrowth of heterotrophic and nitrifying bacteria using chloramine as a secondary disinfectant for drinking water distribution system. Three sets of the three reactors filled with the Cl_2/NH_3-N ratio of 3:1, 4:1 and 5:1 were used in these experiments. Chloramine concentration were applied to each set of the reactors with 1mg/l, 2mg/l and 3mg/l, respectively. For the set with 1mg/l was applied, all the reactors showed that the residual chloramine concentration gradually decreased with elapsed time and reached to zero level after 7 days. Heterotrophic bacteria remarkably increased and nitrification occurred after 11 days. For the sets with 2mg/l and 3mg/l, however, the residual chloramine was maintained through the experimental period (21 day). Furthermore the regrowth of heterotrophic bacteria and nitrification were not found. More than 2mg/l of chloramine with Cl_2/NH_3-N ratio of 3:1, the nitrification could be inhibited by 2 days of contact time.

Key words : chloramination, inactivation, microbial regrowth, heterotrophic bacteria, nitrifying bacteria, water distribution system.

1. 서 론

지금까지 소독제로 가장 널리 사용되고 있는 염소는 소독력이 강하고 잔류성이 뛰어나며 가격이 저렴한 장점이 있다. 그러나 잔류염소농도가 감소하면 종속영양세균이 유기탄소 등의 영양물질을 이용하여 배·급수관망내에서 재생장을 할 수 있다.¹⁾ 배급수계통에서 미생물 재생장은 주로 일반세균 및 질산화균에 의해 발생된다. 저영양배지(oligotrophic medium)를 이용한 HPC(heterotrophic plate count)는 수돗물 중 종속영양세균을 검출하는 방법으로 권장되고 있다. 일반세균은 지금까지 Plate count agar, R2A, NWRI(HPCA) agar 등 여러 종류의 배지를 사용하여 분석하였다. Plate count agar 등의 부영양배지는 과거에 사용해왔던 자료와 지속적인 비교를 위해 사용되어 왔지만, 상수도환경이 빈영양상태이므로 최근에는 빈영양배지인 R2A와 NWRI배지를 사용하도록 권장하고 있다. 수돗물이 저영양상태이며 낮은 수온임을 감안할 때 일반세균은 응집, 침전, 여과 등 정수처리 공정

의 효과판정, 배·급수관의 청결성 판단인자로서 보건위생 지표미생물(총대장균군 등)의 존재와 상관관계가 있다.²⁾

질산화세균은 독립영양세균(autotrophic bacteria)으로 이산화탄소를 이용하여 무기화합물을 산화함으로써 에너지를 공급받는다. 질산화는 유기 및 암모니아성 질소가 NO_2^- 와 NO_3^- 로 산화하는 과정이다.³⁾ 질산화에 관여하는 미생물 속(genus)은 *Nitrosomonas*, *Nitrobacter*이다. 이러한 질산화세균은 수중에서 일반적으로 발견되는 호기성미생물이다. 질산화세균의 성장속도는 기질농도, 온도, pH, 빛, 산소농도 등에 의해 영향을 받는다. 2차소독을 위해 클로라민을 사용하는 정수장에서의 주요 관심사는 배·급수계통에서의 질산화이다. 질산화가 발생할 때 질산화세균은 유기화합물들을 분해하여 종속영양세균의 성장과 질산(nitric acid)을 방출하여 배·급수관의 부식을 촉진시킬 수도 있다.⁴⁾ 미생물 재생장은 수인성 질병의 원인이 될 뿐만 아니라 수돗물의 탁도와 맛·냄

새를 유발시키고, 관의 부식 및 관단면을 축소시키는 등의 문제를 야기한다. 미생물의 재성장을 방지하기 위해 과량의 염소를 주입하면 수중의 용존 유기물질과 반응하여 발암물질인 THMs(trihalomethanes) 및 기타 소독 부산물을 생성하기도 한다.⁵⁾ 소독부산물의 생성을 억제하기 위한 방법은 염소주입 위치의 변경, 정수처리공정의 개선, 클로라민과 같은 염소이외의 대체 소독제 사용 등이 있다. 지금까지 이와 관련된 국내 연구의 대부분은 기존 처리공정의 개선, 즉 응집공정의 후속공정으로써 오존 전처리에 이은 생물활성탄(biological activated carbon)공정 등이고 소독방법, 특히 클로라민 소독방법에 관한 연구는 미미하였다.⁶⁾

클로라민은 1차소독제라기보다 배급수관내 2차오염을 방지하기 위한 소독제로서 염소와 암모니아성 질소를 반응시켜 얻은 모노클로라민을 주입하는 방법이다.⁷⁾ 클로라민 공정은 암모니아성 질소와 염소를 어떻게 주입하는가에 따라 1) 별도의 공정에서 고농도의 염소와 암모니아성 질소주입(preformed chloramine) 2) 염소와 암모니아성 질소의 동시주입(concurrent addition) 3) 염소주입 후 암모니아성 질소주입(postammoniation) 4) 암모니아성 질소주입 후 염소주입(preammoniation)으로 나눌 수 있다.⁸⁾ 클로라민 소독제의 이용은 THMs와 같은 유해소독부산물의 생성을 최소화할 수 있을 뿐만 아니라 유리염소에 비하여 잔류성이 뛰어나 배·급수관망에서 일정 잔류농도를 지속적으로 유지시킬 수 있다. 또한 생물막을 쉽게 파괴시킬 수 있고, 배·급수계통의 미생물 재성장을 억제하며 맛과 냄새를 감소시킬 수 있다.^{9,10)} 이러한 클로라민의 장점으로 인하여 미국 캘리포니아주의 Metropolitan water district에서는 미국환경보호청(US EPA)의 THMs 등 염소소독 부산물에 대한 규제에 대응하기 위해 클로라민소독법으로 전환하였다.¹¹⁾ 미국에서는 클로라민 소독공정이 1958년 2.6%에 불과하던 것이 1990년에는 약 23%로 증가하였다.¹²⁾ 미국환경보호청은 THMs의 최대허용농도(maximum contaminant level, MCL)를 0.1mg/ℓ에서 제1단계로 1998년 6월부터 0.08mg/ℓ로 감소시키는 1차소독제/소독부산물(D/DBPs)에 관한 법률을 제정하였으며, 2002년까지는 건강위해성을 고려하여 THMs 및 HAAs(haloacetic acids)를 각각 0.04mg/ℓ와 0.03mg/ℓ로 강화할 계획이다. 따라서 수도사업자들은 배·급수관망내 2차 소독제로서 클로라민을 더욱 많이 사용할 것으로 예상된다. 반면 클로라민은 유리염소에 비하여 소독력이 약하고 반응시간이 길며, 경우에 따라 암모니아성 질소의 존재로 이미 관내에 형성되어 있는 생물막에 의해 질산화가 일어날 수 있는 개연성도 배제할 수 없다.¹³⁾ 그러나 염소와 암모니아성 질소의 비(Cl_2/NH_3-N 비) 증가, 클로라민 잔류농도 증가, 간헐적인 유리염소 주입 등으로 이러한 문제점을 해결할 수 있다.¹⁴⁾ 본 연구는 국내 실제 정수장에서 한번도 적용해 보지 못한 클로라민 소독법(chloramination)에 대한 기초자료를 제공하고자 클로라민 잔류농도에 따른 종속영양세균 및 질산화미생물의 불활성화와 재성장에 대하여 고찰하였다.

2. 실험재료 및 방법

2.1. 실험재료

본 연구에 사용된 시료는 올림픽대교 인근의 한강 상수원수를 임의채취방법(grab sampling)으로 채취하였다. 시료는 Whatman No. 42 여지(pore size 2.5 μ m)로 여과하고 25℃에서 하루동안 배양한 후 일부를 취하여 실험하였다. 시료의 pH는 7.3~7.6, DOC(dissolved organic carbon)는 2.3~2.8mg/ℓ, NH_3-N 은 0.15~0.35mg/ℓ, 알칼리도는 55~65mg/ℓ as $CaCO_3$ 이었다.

염소 표준용액은 12% 차아염소산나트륨($NaOCl$)용액을 Millipore사의 초순수발생장치(Bedford, USA)에서 제조된 초순수로 희석하여 실험할 때마다 1000mg Cl_2 /ℓ로 조제하여 사용하였다. 암모니아성 질소 표준용액은 염화암모늄(NH_4Cl)용액을 사용하여 1000mg NH_3-N /ℓ로 조제하였다. 클로라민 표준용액은 0.1N H_2SO_4 와 0.1N NaOH를 이용하여 pH 8.5이상으로 조절한 후, 염소 표준용액과 암모니아성 질소 표준용액의 질량비를 각각 3:1, 4:1, 5:1로 하여 클로라민농도 1000mg Cl_2 /ℓ를 조제하였다.

소독실험에 사용하는 모든 초자기구와 시료배양을 위한 유효용량 4ℓ의 갈색경질 유리병은 황산원액과 증크롬산을 혼합한 용액에 24시간 이상 방치한 후 증류수로 수회 세척하고, 고압증기멸균기를 이용하여 121℃에서 15분간 멸균하였다.

본 연구에 이용된 회분식 반응조는 암모니아성 질소와 염소의 혼합, 소독제와 시료와의 반응을 위해 준비되었으며, Fig. 1과 같다. 반응조는 유효용량 4ℓ의 사각유리 jar로 가로 15cm, 세로 15cm, 높이 20cm이며, 반응조내의 혼합을 위한 사각 임펠러는 폭 3cm, 높이 7.5cm로 제작하였다. 반응조의 온도조절은 자동온도 조절장치가 부착된 수욕조를 사용하였다.

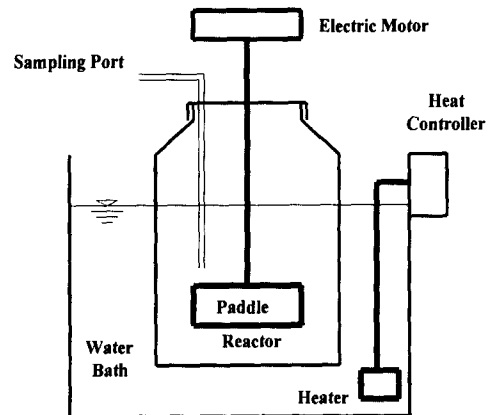


Fig. 1. Schematic diagram of batch reactor.

2.2. 실험방법

실험에 사용한 한강원수는 Whatman No. 42(pore size 2.5 μ m)로 여과하여 원생동물을 제거한 후 유효용량 4ℓ의 유리jar에 넣었다. 모노클로라민을 조제하기 위해 Cl_2/NH_3-N 비를 각각 3:1, 4:1, 5:1로 하여 암모니아성 질

소를 먼저 주입한 후 염소(preammioniation)를 주입하여 클로라민 농도를 1, 2, 3mg/ℓ 로 조절하였다. 200rpm으로 2시간동안 혼합한 다음 갈색유리병에 넣은 후 25℃에서 배양하였다.

종속영양세균과 질산화세균의 불활성화 실험은 상기 시료를 21일 동안 배양하면서 시간에 따른 잔류 클로라민, 암모니아성 질소, 아질산성 질소, 질산성 질소를 측정하여 평가하였다. 그리고, R2A배지를 이용하여 HPC 방법으로 종속영양세균을 측정하였다. 종속영양세균과 질산화세균의 재성장 실험은 상기 시료를 접촉시간 2일 후 0.1N Na₂S₂O₃으로 모노클로라민을 제거한 다음 3, 7, 10, 17일째에 시료를 채취하여 R2A배지를 이용한 종속영양세균 및 암모니아성 질소, 아질산성 질소, 질산성 질소를 측정하여 평가하였다. 본 실험에서 사용한 분석방법은 Table 1과 같고, 수질오염공정시험법¹⁵⁾ 및 Standard method¹⁶⁾에 준하였다.

Table 1. Analytical methods for determining water quality.

| Items | Analytical methods | Apparatus |
|---|--------------------------------------|--|
| Free chlorine, Monochloramine, Dichloramine | Amperometric titration method | Amperometric titrator (Series A-70, W&T, U.S.A.) |
| NH ₃ -N | Direct nesslerization | DR-2000 (HACH) |
| NO ₂ -N | Colorimetric method | UV-VIS spectrophotometer (SHIMADZU ModelUV-1601) |
| NO ₃ -N | Colorimetric method | UV-VIS spectrophotometer (SHIMADZU ModelUV-1601) |
| Alkalinity | Titration method | |
| pH | Electrometric method | Digital pH meter (CORNING Ion Analyzer 250) |
| Heteropic Bacteria | R2A media | - |
| DOC | Combustion/ non-dispersive detection | TOC analyzer (TOC-5000, SHIMAZU, JAPAN) |

3. 결과 및 고찰

3.1. 종속영양세균과 질산화세균의 불활성화

25℃에서 배양한 한강수에 암모니아성 질소주입 후 염소주입(preammioniation)을 클로라민농도는 1mg/ℓ로 맞춘 조건에서 Cl₂/NH₃-N비 3:1, 4:1, 5:1의 비로 각각 주입한 후 시간에 따른 클로라민 잔류농도와 종속영양세균의 변화는 Fig. 2, 3과 같다.

클로라민 잔류농도는 실험초기인 2시간 후 Cl₂/NH₃-N비 3:1, 4:1, 5:1에서 각각 0.96, 0.91, 0.83mg/ℓ이었으며 종속영양세균의 사멸율은 2시간 후 각각 95, 95, 96%이었다. 7일 후 Cl₂/NH₃-N비 3:1, 4:1, 5:1에서 클로라민 잔류농도는 각각 0, 0.03, 0.24mg/ℓ이었다. 클로라민이 잔류하는 7일동안 종속영양세균은 4.2~4.3log cfu/ml로 유지되었다. 그러나 잔류클로라민이 완전히 소모된 7일 이후 종속영양세균이 재성장하기 시작하였다. 11일 이후에 종속영양세균은 Cl₂/NH₃-N비 3:1, 4:1, 5:1에서 평균 5.

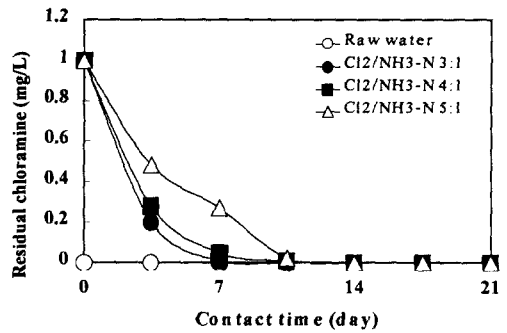


Fig. 2. Residual chloramine with contact time in 1mg/ℓ chloramine.

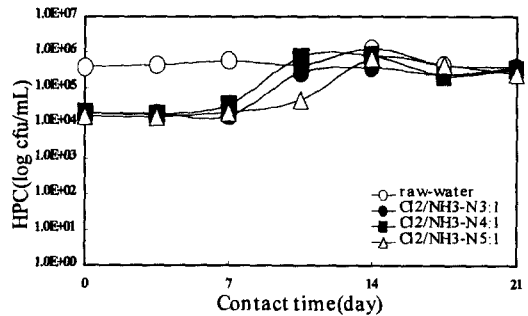


Fig. 3. Variations of heterotrophic bacteria with contact time in 1mg/ℓ chloramine.

5~5.7log cfu/ml이었다. Cl₂/NH₃-N비 5:1에서 종속영양세균의 재성장은 다른 두 조건에 비해 상대적으로 느렸다.

Cl₂/NH₃-N비는 각각 3:1, 4:1, 5:1이면서 클로라민농도는 1mg/ℓ로 맞춘 조건에서 시간에 따른 암모니아성 질소, 아질산성 질소, 질산성 질소의 변화는 Fig. 4와 같다.

실험초기인 2시간 후 한강원수와 Cl₂/NH₃-N비 3:1, 4:1, 5:1에서 암모니아성 질소는 0.15, 0.22, 0.19, 0.16mg/ℓ, 아질산성 질소는 0.023, 0.019, 0.018, 0.019mg/ℓ, 질산성 질소는 2.9, 2.6, 2.6, 2.2mg/ℓ이었다. 한강원수의 암모니아성 질소는 시간에 따라 서서히 감소하다가 11일 이후 급격히 감소하였다. Cl₂/NH₃-N비 3:1, 4:1, 5:1의 경우 클로라민이 소모된 이후 암모니아성 질소는 약간 증가하다 11일 이후 서서히 감소하였다. 한강원수의 아질산성 질소는 암모니아성 질소의 변화와 정반대의 양상을 보였다. 즉, 11일까지는 서서히 증가하였고, 이후 급격히 증가하였다. 클로라민을 주입한 경우 아질산성 질소는 11일까지 변화가 거의 없었으나 이후 서서히 증가하였고 18일 이후 급격히 증가하였다. 한강원수의 질산성 질소는 14일 이후 서서히 증가하였으나, 클로라민을 주입한 경우에는 거의 변화가 없었다. Ike 등¹⁷⁾에 의하면 클로라민을 함유한 배·급수계통에서 질산화는 잔류클로라민을 급격히 감소시키며 종속영양세균의 성장에 기여한다고 하였다. 질산화세균의 재성장정도는 잔류클로라민, 아질산성 질소, 질산성 질소, 종속영양세균의 양을 측정함

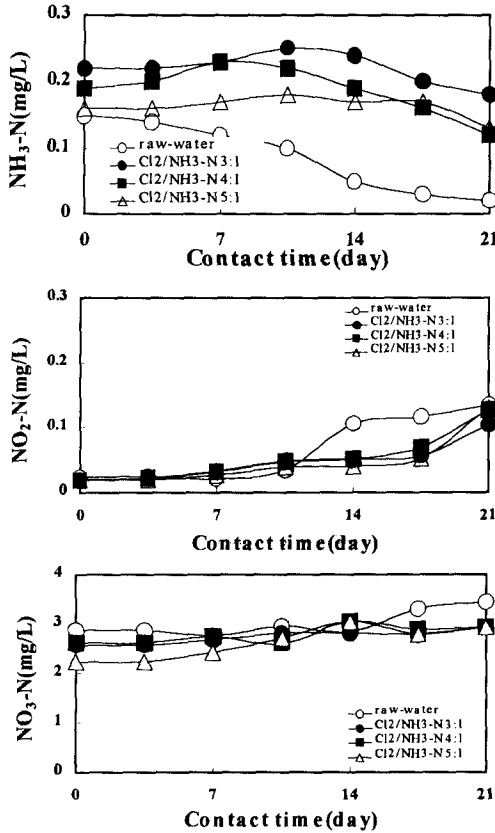


Fig. 4. Variations of nitrogen concentration with contact time in 1mg/l chloramine.

으로써 알 수 있다. 클로라민농도의 감소는 질산화의 초기를 암시하는 신호로 볼 수 있다. 이상을 종합하면 클로라민이 소모된 11일 이후 서서히 질산화세균이 재성장하기 시작한다는 것을 알 수 있었다. 미생물 재성장은 소독제가 소모된 후 종속영양세균에 의해 먼저 발생하고, 이후 질산화세균에 의한 재성장이 일어난다는 것을 확인하였다.

25°C에서 배양한 한강수에 Cl₂/NH₃-N비 3:1, 4:1, 5:1인 상태에서 클로라민 농도를 2mg/l로 유지시킨 후 시간에 따른 클로라민 잔류농도와 종속영양세균의 변화는 Fig. 5, 6과 같다.

2시간의 접촉시간으로 Cl₂/NH₃-N비 3:1, 4:1, 5:1에서 클로라민 잔류농도는 각각 1.94, 1.90, 1.85mg/l이었다. 종속영양세균은 2시간 이후 각각 3.5, 3.5, 3.4log cfu/ml이었으며, 모두 약 99%의 불활성화를 보였다. 클로라민은 21일 동안 계속 잔류하였으며, Cl₂/NH₃-N비 3:1, 4:1, 5:1에서 각각 0.35, 0.3, 0.21mg/l이었다. 종속영양세균은 21일 동안 일정한 변화없이 평균 3.3~3.5log cfu/ml이었다. 따라서, 클로라민이 잔류하는 동안 종속영양세균의 재성장은 일어나지 않았음을 알 수 있었다. Cl₂/NH₃-N비 3:1, 4:1, 5:1에서 클로라민 농도를 2mg/l로 조절후 시간에 따른 암모니아성 질소, 아질산성 질소, 질산성 질소의 변화는 Fig. 7과 같다.

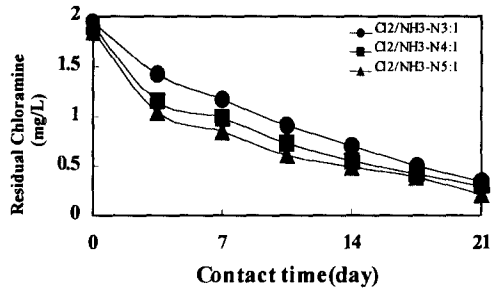


Fig. 5. Residual chloramine with contact time in 2mg/l chloramine.

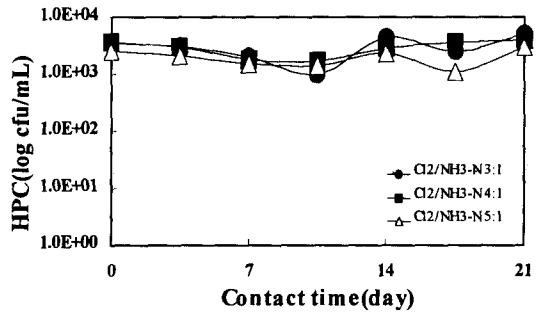


Fig. 6. Variations of HPC bacteria with contact time in 2mg/l chloramine.

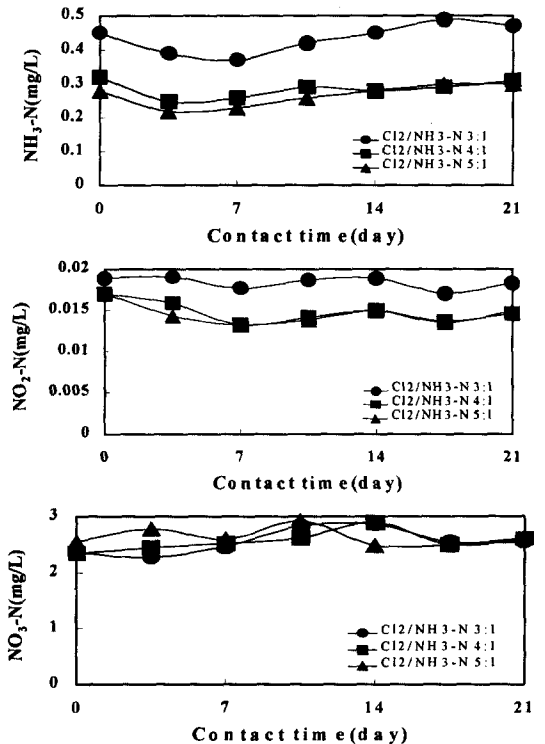


Fig. 7. Variations of nitrogen concentration with contact time in 2mg/l chloramine.

2시간의 접촉시간에 의해 Cl_2/NH_3-N 비 3:1, 4:1, 5:1에서 암모니아성 질소는 각각 0.45, 0.32, 0.28mg/l, 아질산성 질소는 0.019, 0.017, 0.017mg/l, 질산성 질소는 2.4, 2.4, 2.6mg/l이었다. 21일의 실험기간동안 암모니아성 질소, 아질산성 질소, 질산성 질소는 변화가 거의 없었다. 클로라민의 농도가 2mg/l 일 때 잔류성이 지속되어 실험기간동안 질산화세균의 재성장은 일어나지 않았다.

25°C에서 배양한 한강수에 Cl_2/NH_3-N 비를 각각 3:1, 4:1, 5:1로 조절후 클로라민을 3mg/l로 유지한 다음 시간에 따른 클로라민 잔류농도, 종속영양세균의 변화, 암모니아성 질소, 아질산성 질소, 질산성 질소의 변화는 Table 2와 같다.

Table 2. Variations of residual chloramine, heterotrophic bacteria, and nitrogen concentration with contact time in 3mg/l chloramine.

| Parameter | Cl_2/NH_3-N | Contact time(day) | | | | | | |
|---------------------|---------------|-------------------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|
| | | 0.083 | 4 | 7 | 11 | 14 | 18 | 21 |
| NH_2Cl (mg/l) | 3:1 | 2.86 | 2.57 | 2.26 | 1.95 | 1.67 | 1.4 | 1.3 |
| | 4:1 | 2.67 | 2.04 | 1.79 | 1.53 | 1.31 | 1.07 | 1.04 |
| | 5:1 | 2.51 | 1.7 | 1.42 | 1.21 | 0.95 | 0.75 | 0.64 |
| HPC (log cfu/ml) | 3:1 | 690 | 430 | 290 | 250 | 500 | 400 | 410 |
| | 4:1 | 540 | 450 | 410 | 370 | 450 | 330 | 200 |
| | 5:1 | 560 | 390 | 250 | 330 | 340 | 270 | 340 |
| NH_3-N (mg/l) | 3:1 | 0.53 | 0.47 | 0.51 | 0.47 | 0.5 | 0.52 | 0.51 |
| | 4:1 | 0.38 | 0.3 | 0.3 | 0.32 | 0.39 | 0.4 | 0.38 |
| | 5:1 | 0.3 | 0.2 | 0.24 | 0.25 | 0.28 | 0.28 | 0.32 |
| NO_2-N (mg/l) | 3:1 | 0.022 | 0.015 | 0.014 | 0.014 | 0.015 | 0.014 | 0.015 |
| | 4:1 | 0.018 | 0.014 | 0.013 | 0.013 | 0.014 | 0.013 | 0.014 |
| | 5:1 | 0.017 | 0.013 | 0.013 | 0.012 | 0.013 | 0.012 | 0.013 |
| NO_3-N (mg/l) | 3:1 | 2.812 | 2.715 | 2.626 | 2.915 | 2.804 | 2.411 | 2.893 |
| | 4:1 | 2.798 | 2.827 | 2.893 | 2.612 | 2.678 | 2.8411 | 2.619 |
| | 5:1 | 2.689 | 2.76 | 2.701 | 2.641 | 2.552 | 2.886 | 2.871 |

클로라민 잔류농도는 Cl_2/NH_3-N 비 3:1, 4:1, 5:1에서 각각 2.86, 2.67, 2.51mg/l이었다. 종속영양세균은 2시간의 접촉시간이 지난 다음 각각 2.8, 2.7, 2.7log cfu/ml이었으며, 모두 약 99.9%의 불활성화를 보였다. 잔류클로라민은 21일 동안 계속 잔류하여 Cl_2/NH_3-N 비 3:1, 4:1, 5:1에서 각각 1.3, 1.04, 0.64mg/l이었다. 종속영양세균은 21일 동안 거의 변화없이 평균 2.5~2.6log cfu/ml이었다. 클로라민이 잔류하는 동안 종속영양세균의 재성장이 일어나지 않았다. 암모니아성 질소, 아질산성 질소, 질산성 질소도 거의 변화가 없었다. 따라서 클로라민 잔류농도가 Cl_2/NH_3-N 비 3:1, 4:1, 5:1일 때 염소주입량이 2, 3mg/l에서 종속영양세균과 질산화세균의 재성장은 일어나지 않았음을 알 수 있었다.

3.2. 종속영양세균과 질산화세균의 재성장

25°C에서 배양한 한강수에 Cl_2/NH_3-N 비 3:1로 하여 염소 1, 2, 3mg/l로 맞춘 다음 2일 후 $Na_2S_2O_3$ 를 넣어 클로라민을 탈염소화 하였다. 배양시간에 따라 종속영양

세균의 재성장은 Fig. 8과 같다.

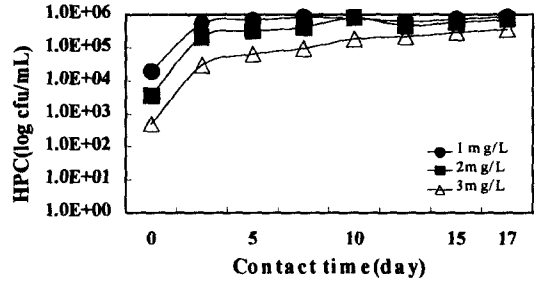


Fig. 8. Variations of heterotrophic bacteria in 1, 2 and 3 mg/l chloramine.

염소에 의해 불활성화된 세균이라도 클로라민 잔류농도가 낮아지고 영양물질이 존재하면 증식할 수 있다. 염소소독 후 처음 형성된 집락은 세균이 재생된 것이고 그 이후의 집락은 세균의 재생과 증식이 동시에 일어난 것이라 할 수 있다.¹⁾ 본 실험에서 종속영양세균은 탈염소화직후 각각 4.4, 3.5, 2.6log cfu/ml이었으며, 3일 후 각각

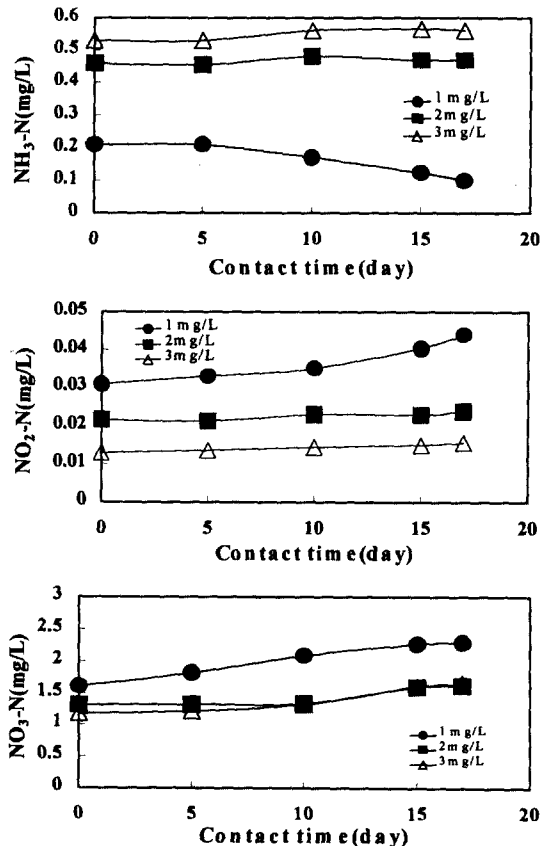


Fig. 9. Variations of nitrogen concentration with contact time in 1, 2 and 3mg/l chloramine.

5.7, 5.3, 4.5log cfu/ml로 증가하였다. 이후에도 종속영양 세균은 서서히 증가하였으며, 21일에는 각각 5.9, 5.8, 5.5 log cfu/ml이었다. 따라서, 클로라민 잔류농도가 높을수록 종속영양세균수가 상대적으로 느리게 재성장하였는데, 이는 클로라민농도가 높을수록 손상된 세균수가 많거나 생존세균수가 적었기 때문이라 판단된다.

Cl₂/NH₃-N비 3:1로 하여 염소 1, 2, 3mg/l를 주입할 때 암모니아성 질소, 아질산성 질소, 질산성 질소의 변화는 Fig. 9와 같다.

암모니아성 질소는 염소 1mg/l를 주입할 경우 13일 이후 다소 감소하였으며, 2, 3mg/l에서는 변화가 없었다. 아질산성 질소는 염소 1mg/l를 주입했을 때 13일 이후 증가하였으며, 2, 3mg/l에서는 변화가 없었다. 질산성 질소는 17일 동안 거의 변화가 없었다. 따라서 2, 3mg/l 염소주입으로 질산화는 일어나지 않았다는 것을 알 수 있었다. 결론적으로 클로라민 2mg/l 이상, 접촉시간 2일의 조건으로 질산화세균의 재성장은 억제할 수 있다고 판단된다.

4. 결 론

본 연구는 현재 서울특별시와 수도권 도시들에서 상수원수로 이용하고 있는 한강수를 대상으로 배·급수계통의 2차 소독제로서 이용 가능한 클로라민소독시 클로라민 잔류농도에 따른 종속영양세균 및 질산화미생물의 불활성화와 재성장에 대하여 고찰하였다. 1mg/l의 클로라민 농도에서 소독제가 소모된 후 종속영양세균의 재성장이 먼저 일어났고, 질산화는 늦게 발생하였다. 클로라민 2mg/l 이상의 조건에서는 실험기간 21일동안 클로라민이 잔류하였으며, 그동안 종속영양세균의 재성장과 질산화는 일어나지 않았다. Cl₂/NH₃-N비를 3:1로 하고 클로라민의 농도를 1~3mg/l의 범위로 유지하는 경우 접촉시간의 조절을 통하여 종속영양세균의 재성장 억제 및 질산화 억제가 가능한 수준의 클로라민 잔류농도를 유지할 수 있었다. 클로라민농도를 2mg/l 이상 유지하는 경우에는 2일의 접촉시간으로 질산화세균의 재성장을 억제할 수 있음을 확인하였다.

감사의 글

이 논문은 2000년 청운대학교 학술조성 연구비에 의하여 연구되었습니다.

참 고 문 헌

- Gibbs, R. A., 1992, Bacterial regrowth within a water distribution system, Ph. D. Dissertation, University College of London, Gower Sta, London.
- Reasoner, D. J. and Geldreich, E. E., 1985, A new medium for the enumeration and subculture of bacteria from potable water, Appl. Environ. Microbiol., 49(1), 1~7.
- Gaudy, A. F. Jr. and Gaudy, E. T., 1980, Microbiology for environmental scientists and engineers, McGraw-Hill, Inc., 352pp.
- Watson, S. W., Bock, E. E., Harms, H., Koops, H. P., and Hooper, A. B., 1989, Nitrifying bacteria, Bergey's Manual of Systematic Bacteriology, Vol. 3, Williams & Wilkins.
- Krasner, S. W., McGuire, M. J., Jacangelo, J. G., Patania, N. L., Reagan, K. M., and Aieta, E. M., 1989, The occurrence of disinfection by-products in U. S. drinking water, J. AWWA, 81(8), 41~50.
- 우달식, 남상호, 1998, 생물활성탄 유동상법에 의한 상수원수의 생물학적 전처리공정, 한국환경위생학회지, 24(1), 38~46.
- Wolfe, R. L. and Olson, B. H., 1984, Inorganic chloramines as drinking water disinfectants, J. AWWA, 76(3), 74~88.
- Kirmeyer, G. J., Foust, G. W., Pierson, G. L., Simmler, J. J. and LeChevallier, M.W., 1993, Optimizing chloramine treatment, AWWA Research Foundation.
- Douglas, G. N. and Ferguson, A. M., 1992, Great Vancouver's water quality improvement plan-balancing the risks, in Proceedings of the 1992 AWWA Annual Water Quality Technology Conference, Philadelphia.
- Kreft, P., Umphres, M., Hand, J., Tate, C., McGuire, M. J., and Trussell, R. R., 1985, Converting from chlorine to chloramines, J. AWWA., 77(1), 38~45.
- Edward, G. M., Michael, J. M., Marshall, K. D., Sylvia, E. B., and Stuart, W. K. 1987, History of converting from chlorine to chloramines in southern california, 12th Federal Convention Australian Water and Wastewater Association.
- AWWA and AWWARF., 1990, Water industry data base, Denver, Colo.
- Kirmeyer, G. J., Jacangelo, J., Wilczak, A., Wolfe, R., 1995, Nitrification occurrence and control in chloraminated water system, AWWARF report.
- Kouame, Y. and Haas C. N., 1991, Inactivation of E. Coli by combined action of free chlorine and monochloramine, Wat. Res., 25, 1027~1032.
- 환경부, 1999, 먹는물 수질공정시험방법.
- APHA, AWWA and WPCF, 1995, Standard method for examination of water and wastewater, 19th edition, Washington, D. C.
- Ike, N. R., Wolfe, R. L., and Means, E. G., 1988, Nitrifying bacteria in chloraminated drinking water systems, Water Sci. Tech., 20(11/12), 441~444.