

정수처리에서 염소요구량 및 반응거동에 관한 연구

이윤진[†] · 조관형* · 최종현** · 명복태 · 남상호

진국대학교 환경공학과
*청운대학교 토목환경공학과
**한국계면공학연구소

Evaluation of Chlorine Demand and Chlorine Decay Kinetics for Drinking Water

Yoon Jin Lee[†], Jo, Kwan Hyung*, Jong Heun Choi**, Bok Tae Myung and Sang Ho Nam

Department of Environmental Engineering, Konkuk University

*Dept. of Civil and Environmental Engineering, Chungwoon University

**Korea Interfacial Science and Engineering Institute

(Received 5 January 2001 ; Accepted 30 January 2001)

ABSTRACT

This aim of the work presented in this paper is to investigate the factors that affect chlorine decay and to develop functional relationships that can be used to enhance the durability of network models. Predictive relationships were established that correlated the rate of chlorine decay to the various water conditions such as DOC, NH₃-N, initial chlorine, contact time, temperature and pH values. Free chlorine residual decreased with increasing temperature, DOC, NH₃-N, reaction time and chlorine dose. At 20°C, pH 7, The initial chlorine demand per mg as DOC/L and mg as NH₃-N/L was about 0.43, 2.69 mg/l respectively at 5 minutes contact time and the consumed chlorine per mg as DOC/L and mg as NH₃-N/L was about 0.47, 3.40 mg/l respectively at 180 minutes contact time. The Reaction between chlorine and humic acids was lasted until 48 hr, but the reaction between chlorine and NH₃-N was almost completed in 180 min. When the temperature is raised by 10°C, chlorine is more consumed about 0.25 mg/l in the absence of organic substances and it is more consumed about 3.4 mg/l in the presence of humic acid (5 mg/l) in water at pH 7 for 180 min. Regression Analysis created the resulting prediction equation for the chlorine decay in a SPSS package of the computer system. The model is as follows; $C_t = 1.239 + 0.707(C_0) - 0.000529(\text{Time}) - 0.0112(\text{Temp}) + 0.02227(\text{pH}) - 0.421(\text{DOC}) - 2.132(\text{NH}_3\text{-N})$.

Keywords : Chlorine, Decay, Model, Kinetics, Factors

I. 서 론

상수의 정수처리 및 배급수과정에서의 소독은 바이러 스, 세균, 원생동물류에 의한 각종 수인성 질병을 예방 할 목적으로 행해진다.¹⁾ 현재 염소, 이산화염소, 오존 등의 다양한 소독제들이 수돗물의 소독제로 이용되고 있으나 이중 염소는 비교적 큰 소독력, 잔류염소의 보 전성, 취급의 용이성, 경제성을 갖추고 있어 가장 많이 사용되어 왔다.^{1,2)}

정수장에서 생산된 수돗물은 배급수관망에 유입되어 관말지점으로 공급되면서 세균의 증가현상인 “세균의 재성장”을 일으킨다는 보고가 다수 있다.^{3,4)} 소독후의 정수에서도 배급수계통, 관말지점에서 소독제가 없거 나, 기준치보다 낮은 농도로 검출되는 곳에서 세균의 재성장이 활발한 것으로 보고되고 있으며 이는 생물막 의 형태로 성장되어 소독제에 대한 내성을 증가시키는 것으로 연구되어 진 바 있다.^{3,5)}

미국 연방환경청(USEPA)은 1989년에 개정된 미국음 용수 수질기준법(National Drinking Water Regulation) 과 관련하여 지표수처리에 관한 규정(Surface Water Treatment Rule)을 제정하여 배급수계통에 유입되기 이 전에 잔류염소의 농도를 0.2 mg/l 이상으로 규제하고 있

[†]Corresponding author : Department of Environmental Engineering, Konkuk University
Tel: 02-455-6957, Fax: 02-455-6957
E-mail: yjlee@konkuk.ac.kr

고 배급수관망에서의 일반세균의 농도가 500 CFU/m³ 이하가 되도록 하고 있다.⁶⁾ 국내에서 관망에서의 2차오염에 대한 잔류염소 유지를 위해 유리잔류염소를 기준으로 봄, 가을, 겨울에는 0.2 mg/l 이상, 여름에는 0.4 mg/l 이상, 수인성 병원미생물에 의한 질병이 발생하거나 발생할 우려가 있을 때는 계절에 상관없이 0.4 mg/l 이상을 유지하는 수준에서 염소소독제를 투입하고 있다.⁷⁾

정수처리 및 배급수 계통에서 염소의 소모는 수중의 pH, 온도, 주입염소의 농도, 유·무기물 및 부식 등의 관로내에서 여러 인자에 의해 영향을 받는 것으로 알려져 있다.^{8,9)} 따라서 관망에서 기준치 이상의 잔류염소 농도를 확보하기 위해서는 적정 염소 요구량이 산출되어야 하고 이에 따라 염소의 주입량이 결정되어야 한다.

수중의 유기물 중 Humic 물질은 THM생성전구물질로 알려져 있으며 수중의 색도 및 맛과 냄새의 원인이 되며,¹⁰⁾ 배급수관에서의 미생물 성장에 영향을 미치는 물질과 깊은 관계가 있다.^{4,11)} 그러나 Humic 물질의 구조 및 특성에 대해 명확히 보고된 바 없어 이를 정량화하기 어렵기 때문에 Surogate인자로 UV₂₅₄가 널리 이용하고 있다.^{12,13)} UV를 흡수하는 유기물은 그 농도에 비례하여 UV를 흡수하기 때문에 UV₂₅₄를 측정함으로써 비교적 정확하게 그 양을 측정할 수 있다. Bartels의 연구에 의하면 퇴적물의 DOC, TOC, UV₂₅₄와의 관계에서 1차관계를 도출하였으며, 그 상관계수가 0.99이상이었다고 보고한 바 있다.¹⁴⁾

본 연구에서는 염소의 소모 반응에 영향을 주는 인자들에 대해 검토하여 인자간의 함수관계를 정립하고 각 수질조건에 대한 최적 염소요구량을 산정하기 위해 수행되었다. 또한 각 영향인자에 따른 소모량의 관계를 고찰하고 더불어 실험 결과를 토대로 수질조건에 대한 모델식을 도출하여 보았다.

II. 실험재료 및 방법

1. 실험재료

본 실험에 이용된 시약들은 초순수급 또는 HPLC급을 사용하였고, 조제 방법은 다음과 같다. 염소 표준용액은 12%의 차아염소산 나트륨 용액(NaOCl)을 초순수 증류수로 희석하여 5000 mg/l의 stock solution을 조제하였고, DPD비색법¹⁵⁾을 이용하여 그 농도를 측정하였다. 고농도의 염소용액은 사용하기 직전에 농도를 측정하여 주입농도에 따라 분취하여 시료에 주입하였다.

Humic acid(Aldrich Chemical)는 1N의 NaOH를 첨가하여 녹인 후 1000 mg/l가 되도록 증류수를 첨가하여

Table 1. Operating conditions for the TOC analyzer

Item	Analyzing condition
TC catalyst	High sensitive
TC furnace temperature	680°C
Cyringe size	250 μl
Number of washes	4
Number of injects	4
Max number of injects	5
Carrier gas	N ₂ /O ₂
SD(standard deviation)	200
CV(%)	2.0

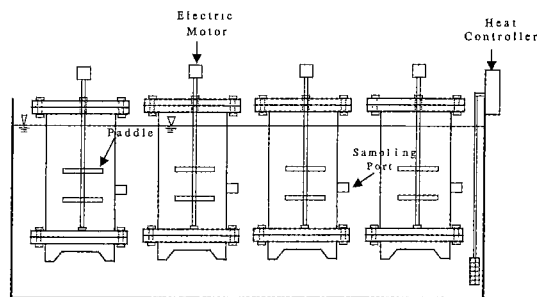


Fig. 1. Schematic diagram of the chlorine decay system.

24시간동안 상온에서 교반하였고, 이를 0.45 μm membrane filter로 여과하여 4°C이하에서 보관하였다. Humic acid의 초기 DOC 농도는 Table 1에서의 운전 조건에서 combustion/non-dispersive detection 방식인 TOC analyzer(TOC 5000, Shimadzu)로 분석하였다. UV₂₅₄는 10 mm cell로 UV-Visible Spectrophotometer (UV-1601, Shimadzu)를 이용하여 파장 254 nm에서 측정하였다.

2. 실험장치 및 방법

본 연구에 사용된 실험장치는 Fig. 1과 같다. 반응조는 내경 180 mm, 높이 250 mm, 유효용적 5 l의 원형 이크릴로 제작되었으며 반응기 하단으로부터 125 mm의 높이에서 시료의 채취가 가능하도록 하였다. 반응조 상단에 패들을 설치하여 G(The velocity of gradient)를 100 rpm으로 균일하게 교반하였고, 인큐베이터내에 반응기를 설치하여 각각의 실험조건에 따라 온도를 0~30±0.5°C로 변화시켜 주었다.

이온교환수지 및 역삼투 정수기를 거친 후 약 30%를 증발시킨 상수의 pH를 1% H₃PO₄ 또는 NaOH로 조정된 후 humic acid를 연구목적에 따라 적당한 농도로 주입하였다. 준비된 시료와 염소용액을 반응조에 넣고 교반한 후 반응시간에 도달하면 유리염소(Free

chlorine)와 UV₂₅₄의 농도를 측정하였다. 본 연구에서는 염소처리시 잔류염소의 소모반응에 대한 수중영향인자들과의 반응을 고찰하기 위해 염소의 주입 농도, 시간, pH, DOC, 암모니아성 질소 등을 변화시켜 각각의 소모특성과 유기물의 거동을 고찰하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 주입염소의 농도에 따른 변화

수중에 유기물이 존재하지 않는 경우 염소의 자연분해 및 5 mg/l의 유기물을 첨가한 경우 잔류 염소의 시간에 따른 변화는 각각 Fig. 2, 3과 같다. 염소는 반응시간이 경과함에 따라 점차 감소하였다. 주입 염소가 0.1, 0.25, 0.5, 1, 5, 10 mg/l에서 48시간 반응 후 염

소의 소모량은 각각 0.06, 0.11, 0.11, 0.18, 0.50, 0.51 mg/l로 주입염소의 60, 44, 22, 18, 10, 3%가 소모되어 고농도로 주입할수록 전체농도에 대한 전환율이 감소하였다. 반면 전체 소모량은 수중에 유기물이나 환원물질이 존재하지 않는 경우에도 상당량의 염소가 소모되므로 저류탱크내에서 오랜 정체시간이 발생할 경우에는 염소의 자연분해만으로도 미생물에 의한 수질 오염이 발생할 수 있으므로 이에 대한 관리가 요구될 것으로 사료된다.

유기물과 염소의 농도비가 1(5 mg/l):1(5 mg/l)로 존재하는 경우, 염소의 주입농도가 0.1, 0.25 mg/l일때에는 반응 5분이후에, 0.5, 1 mg/l일때에는 각각 반응 30, 60분 이후에 유리염소가 모두 소모되었다.

Fig. 3의 수질 조건에서 주입 염소에 따른 UV₂₅₄의 변화는 Fig. 4와 같다. UV₂₅₄는 주입염소 1 mg/l이상의 고농도 범위에서 더 많은 양이 감소되어 유기물산화를 목적으로 염소를 투입할 때 유기물 농도에 상응하는 농도의 염소를 투입하여야 할 것으로 보여진다. 주입염소 0.1, 0.25, 0.5, 1, 5, 10 mg/l일 때 각각의 염소 농도를 1이라고 할 때 유기물에 대응하는 값은 50, 20, 10, 5, 1, 0.5가 되는데, 3시간의 반응 후 각각의 경우의 UV₂₅₄는 4.32, 4.3, 4.23, 4.19, 3.83, 3.70 m⁻¹로 염소에 대한 유기물의 비가 낮을수록 UV₂₅₄의 농도가 더 많이 감소되었다.

2. pH에 따른 변화

수중에 환원물질이나 유기물이 존재하지 않는 조건에서 pH변화에 따른 유리 염소의 순수 분해율을 고찰해 보기 위해 온도 20°C, 염소 5 mg/l를 주입한 후 pH

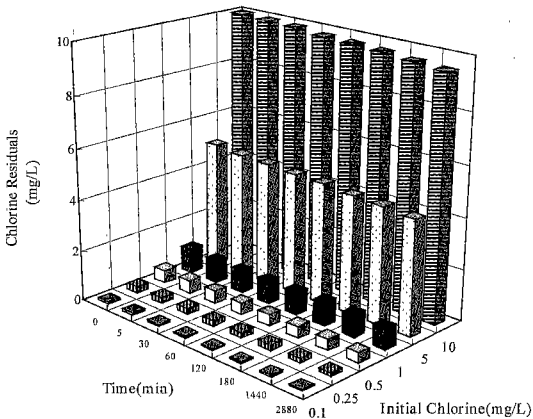


Fig. 2. Chlorine decay reaction without humic acid depending on initial chlorine concentration.

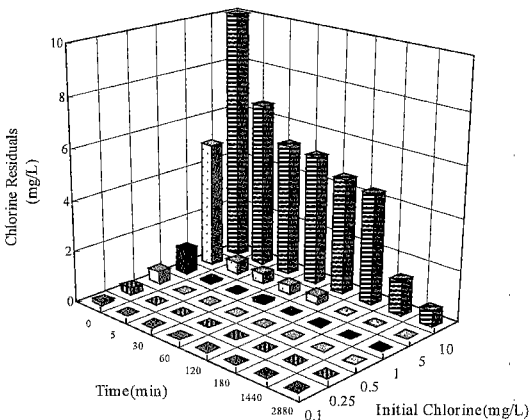


Fig. 3. Chlorine decay reaction in the presence of humic acid depending on initial chlorine concentration.

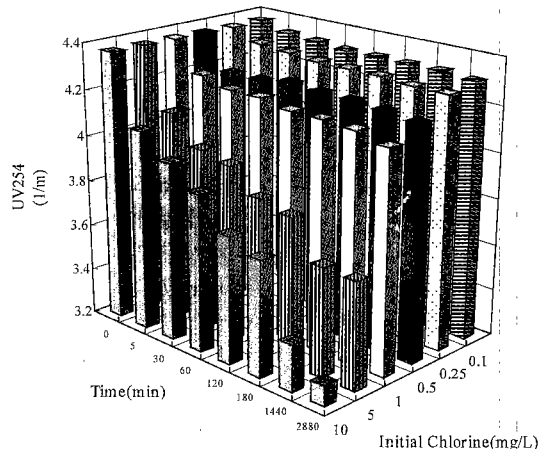


Fig. 4. Change of UV₂₅₄ in the presence of humic acid depending on initial chlorine concentration.

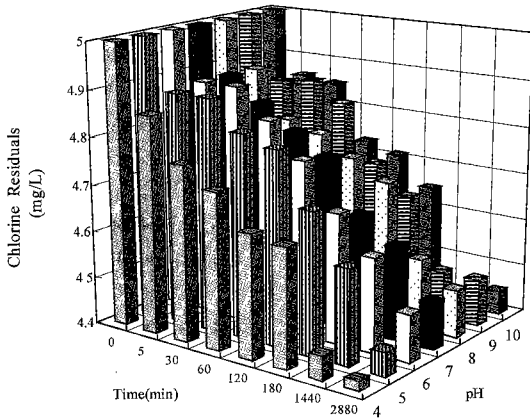


Fig. 5. Chlorine decay reaction without humic acid depending on pH.

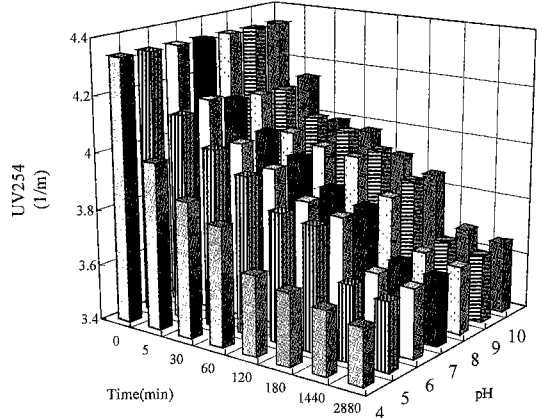


Fig. 7. Change of UV₂₅₄ in the presence of humic acid depending on pH.

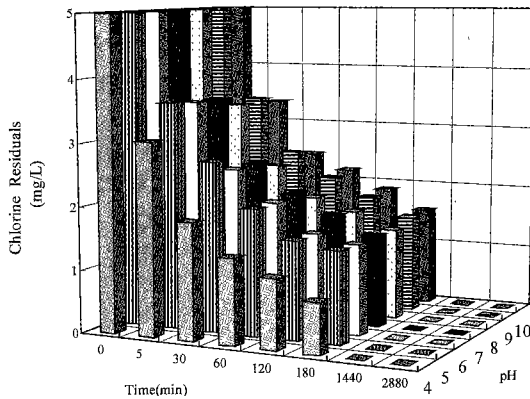


Fig. 6. Chlorine decay reaction in the presence of humic acid depending on pH.

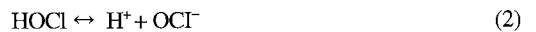
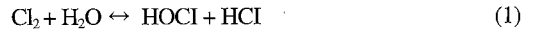
4, 5, 6, 7, 8, 9, 10일때 각각의 반응시간에서 감소되는 염소의 농도를 살펴본 결과는 Fig. 5와 같다.

대부분의 정수처리시 범위인 pH 6~8의 중성조건에서 유리염소는 3시간의 접촉시간까지 pH가 증가할수록 소폭 감소하는 경향을 보였다. 그러나, 3시간 이후의 반응 시간에서는 소모량이 거의 동일하였고 반응 2일 동안 감소되는 염소의 농도는 모두 동일하게 0.5 mg/l이었다. 반응 2일 이후 pH 5, 10에서 각각 0.55 mg/l의 염소가 소모되었고 pH 4에서 0.1 mg/l 감소하여 가장 많은 양의 염소가 소모되었다.

Humic acid 5 mg/l가 함유된 수중에 유리 염소 5 mg/l을 주입한 후 각 pH조건에서 반응시간 경과에 따라 소모된 잔류염소의 변화는 Fig. 6과 같고, 이때 UV₂₅₄의 변화는 Fig. 7과 같다.

일반적으로 염소는 수중에서 식 (1)과 식 (2) 반응식

에 따라 분해된다. 일반적으로 낮은 pH에서는 (1)의 반응이 우세하나, 높은 pH에서는 (2)의 반응이 우세하다.²⁾



pH에 따라 산성조건으로 갈수록 염소의 소모량은 증가하였다. 반응 3시간후에 pH 5~8의 범위에서는 염소의 소모량이 큰 차이를 보이지 않았고 평균 1.45 mg/l 소모되었다. pH 4 조건에서의 4.2 mg/l 소모되어 감소량이 가장 많았고, pH 9, 10의 염기성 조건에서는 각각 3.45, 3.43 mg/l 소모되어 염기성 시료의 소모량이 상대적으로 적었다. 이는 pH가 낮을수록 염소가 HOCl 형태로 존재하게 되므로 산화력이 높아지게 되어 많은 양 소모된 것으로 판단된다.

유리염소는 시간이 경과함에 따라 전환율이 증가하였고 모든 반응시간대에서 중성범위에서는 비교적 일정한 소모율을 보였다. 5분동안 pH 4, 5, 6, 7, 8에서 유리염소가 수중의 유기물과 반응하여 주입염소의 각각 39, 28, 29, 29, 32, 31, 33%가 소모되었다. 반응 3시간의 반응 후 pH 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10에서 소모된 이산화염소는 각각 84, 71, 71, 71, 71, 71, 69, 69%가 전환되었고 반응 1일 이후에는 모든 pH 조건에서 유리 염소가 고갈되었다.

pH조건에 따른 UV₂₅₄를 살펴보면 전반적으로 낮은 pH에서 농도가 낮았고, 모든 범위에서 시간에 따라 점차 감소하였다. 또한 염소의 소모반응과 동일하게 pH 5~8범위에서는 UV₂₅₄값의 큰 차이를 보이지 않았다. 낮은 pH에서 UV₂₅₄값이 낮게 나타난 것은 식 (1)반응에

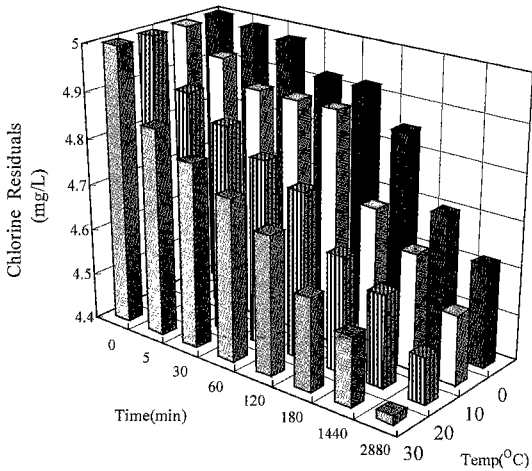


Fig. 8. Chlorine decay reaction without humic acid depending on temperature.

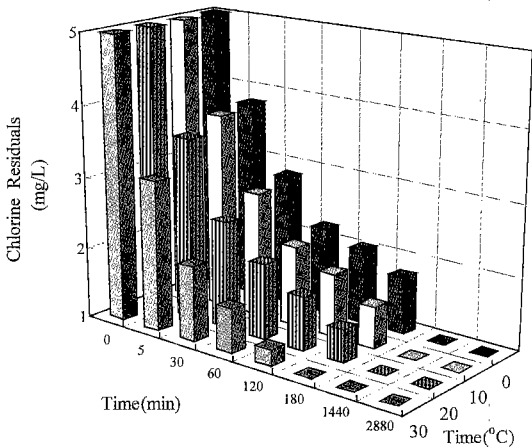


Fig. 9. Chlorine decay reaction in the presence of humic acid depending on temperature.

의하여 염소의 산화작용이 우세해져 수중의 유기물이 상당량 분해되었고 이에 따라 염소의 소모율도 높았던 것으로 판단된다. 따라서, pH가 낮은 처리수에서 염소를 투입할 경우 유기물과의 반응이 더욱 활발함을 알 수 있다.

3. 온도에 따른 변화

Fig. 8은 유리 염소 5mg/l를 주입하였을 때 온도 0, 10, 20, 30°C에서 반응시간별 잔류염소의 변화를 도시한 것이다. 수중의 잔류염소는 반응물이 함유되어 있지 않더라도 반응 초기부터 온도에 따라 상이한 변화를 나타내었다.

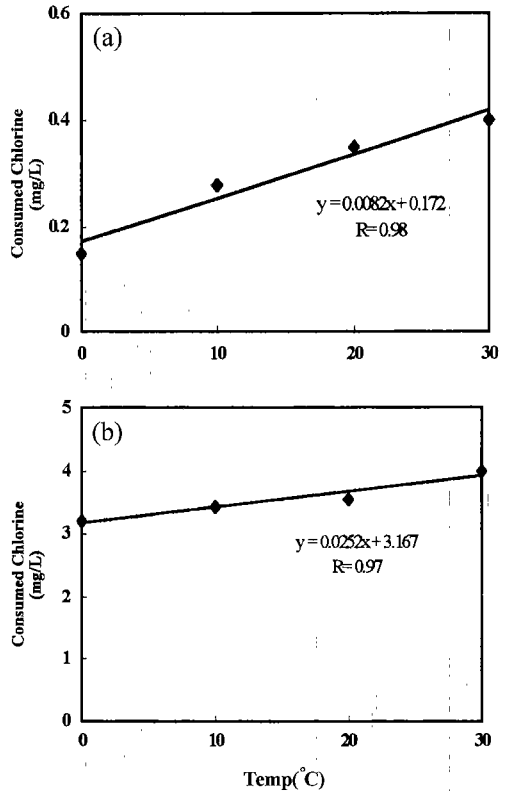


Fig. 10. Correlation with chlorine residuals and temperature (a) Reaction of chlorine without humic acid (b) Reaction of chlorine with humic acid.

유리염소는 온도가 증가함에 따라 더 많은 양이 감소하였고 반응 시간이 경과함에 따라 소모량의 차가 더 컸다. 0°C와 30°C에서 감소율의 차이는 반응 5분에서 0.14 mg/l, 2일에서 0.2 mg/l이었다.

pH 7, 주입염소와 반응 유기물의 농도가 1(5 mg/l):1(5 mg/l)인 조건에서 온도 0, 10, 20, 30°C인 조건에서 잔류염소의 농도는 Fig. 9와 같다. 유리염소의 소모반응은 온도가 높을수록 활발하게 진행되었고, 모든 온도 조건에서 접촉시간 초기에 가장 많은 양의 염소가 소모되었다.

유리염소는 반응 시간이 증가함에 따라 각 온도간의 소모비가 점차 증가하였다. 5분동안에 수중의 유기물과 반응하여 소모된 염소농도는 온도 0, 10, 20, 30°C에서 주입량의 각각 24, 25, 29, 38%, 3시간의 반응 후에는 64, 69, 71, 80%가 전환되었다. 특히 20°C와 30°C의 소모량의 차이는 다른 온도조건에서 상위온도와의 차에 비해 다소 컸다.

특히 3시간의 반응 후 다른 온도조건에서는 상당량의

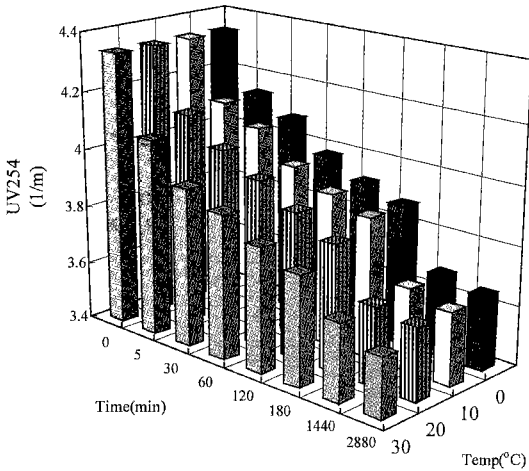


Fig. 11. Change of UV₂₅₄ in the presence of humic acid depending on temperature.

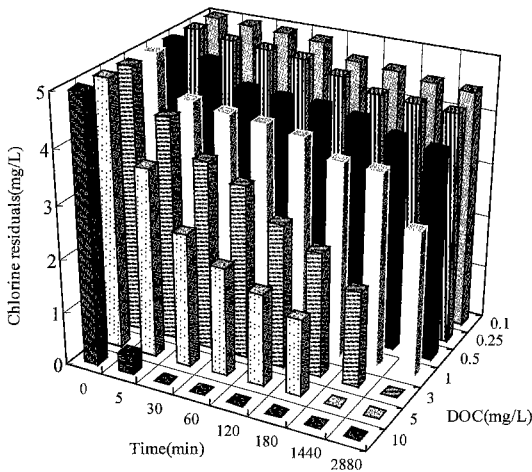


Fig. 12. Chlorine decay reaction in the presence of humic acid depending on DOC.

유리염소가 잔류하는데 비해 30°C에서는 유리염소가 모두 고갈되었다. 따라서 여름철 고온시에는 저류조나 배급수 계통에서 장시간 체류할 경우 저온시에 비해 상당량의 염소가 더 소모되므로 온도 조건에 따라 요구량을 결정하여 투입하여야 할 것으로 판단된다.

3시간 동안의 염소소모량을 추세해 보면 Fig. 10과 같이 온도와 선형적인 관계를 보였고 유기물이 존재하지 않는 경우에 온도 10°C 증가함에 따라 0.25 mg/l의 염소가 소모되었다. 유기물과 유리염소의 비가 1(5 mg/l):1(5 mg/l)로 존재하는 경우에는 단위온도 10°C 증가할 때 마다 유리염소 3.4 mg/l가 소모되었다.

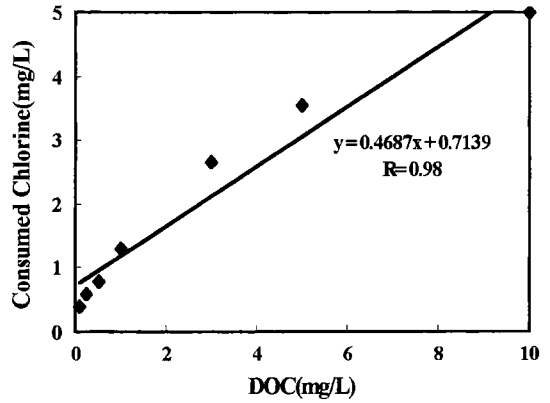


Fig. 13. Correlation with consumed chlorine residuals and DOC.

Fig. 11은 Fig. 9의 염소와 유기물간의 수중 반응시에 UV₂₅₄농도 변화를 나타내었다. UV₂₅₄는 염소의 소모 반응의 경향과 유사하게 온도가 높을수록 더 많이 감소하였다. 온도가 높아질수록 염소의 반응이 활발해져 유기물의 농도가 더 많이 감소하였다. 24시간 이후에 염소농도는 이미 고갈되었음에도 불구하고 모든 온도에서 UV₂₅₄는 여전히 감소하는 현상을 보였다.

4. DOC에 따른 변화

Fig 12는 DOC농도에 따른 유리염소의 변화를 나타낸 것이다. 유기물의 농도가 높아질수록 염소의 소모율은 증가하였다.

염소나 클로라민소독제가 수중에 첨가될 때 초기 요구량은 수분이내에 소모된다고 보고되고 있다.¹⁶⁾ 따라서 초기 요구량을 5분간의 반응후에 소모된 염소농도로 산정한다면 DOC 0.1, 0.25, 0.5, 1, 3, 5, 10 mg/l의 수질조건에서 초기 염소요구량은 각각 0.03, 0.10, 0.25, 0.75, 0.8, 1.45, 4.65 mg/l이었고 이들을 추세해 보면 DOC 단위 1 mg/l당 염소는 0.43 mg/l소모되었다.

3시간의 반응 후 유리 염소는 0.1, 0.25, 0.5, 1, 3, 5, 10 mg/l에서 각각 전체 투입량의 8, 12, 16, 26, 53, 71, 100%가 소모되었고 48시간 반응 후에는 10.8, 13.6, 22, 45, 100, 100, 100% 소모되어 시간에 경과할수록 전환율이 증가하였다.

DOC의 농도가 높을수록 반응속도가 증가하여, DOC 농도 3 mg/l일때는 반응 30분에서는 잔류염소가 모두 소모된 반면 DOC농도 1 mg/l일때에는 48시간 반응 후에도 투입염소의 10%미만이 소모되었다.

본 연구에서 3시간의 반응시간동안 DOC와 염소와의 관계를 Fig. 13과 같이 추세해 본 결과는 유리염소 소

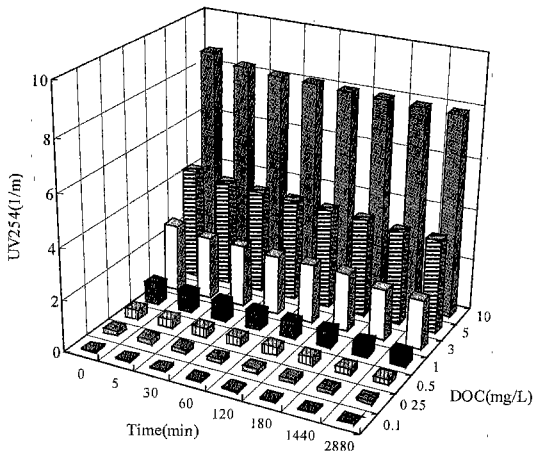


Fig. 14. Change of UV₂₅₄ in the presence of humic acid depending on DOC.

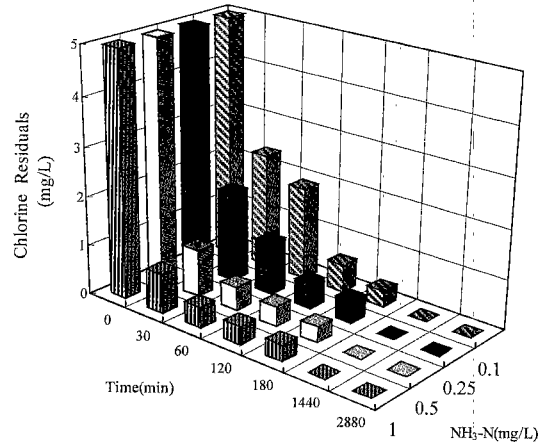


Fig. 16. Chlorine decay reaction depending on NH₃-N.

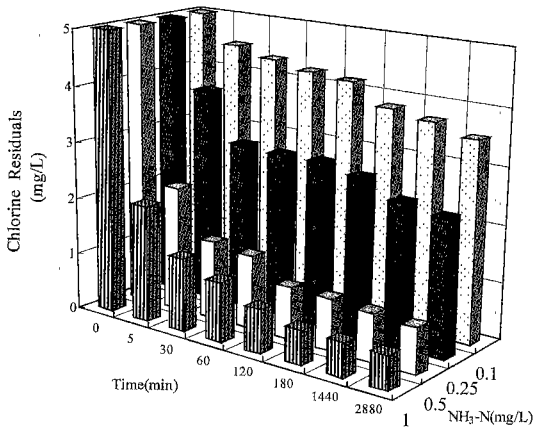


Fig. 15. Chlorine decay reaction without humic acid depending on NH₃-N.

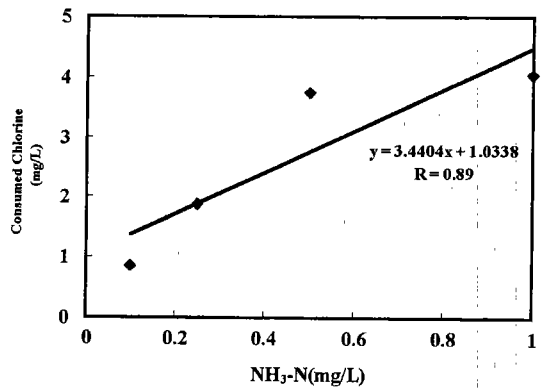


Fig. 17. Correlation with consumed chlorine residuals and NH₃-N.

비량(mg/l) = 0.47 × DOC(mg/l) + 0.71의 관계를 보였고 상관계수도 0.98로 비교적 높았다. 즉 반응 3시간동안 DOC 단위 1 mg/l당 염소는 0.47 mg/l을 소모하였다.

수중 유기물의 농도에 따른 UV₂₅₄의 변화는 Fig. 14와 같다. 시간이 경과함에 따라 유기물의 농도는 점차 분해되었고, 반응 3시간동안 일반적인 정수처리 범위인 DOC 1~3 mg/l에서는 초기 농도의 약 20%가 분해되었다. 2일 후 분해된 UV₂₅₄에 대한 초기 UV₂₅₄ 비의 백분율은 DOC 0.1, 0.25, 0.5, 1, 3, 5, 10 mg/l에 대해 각각 43, 42, 40, 36, 27, 16, 9%로 수중의 DOC농도가 낮을수록 많은 분율의 유기물이 분해되었다.

5. 암모니아성 질소에 따른 변화

수중에 암모니아성 질소만이 존재할때 염소의 소비량은 Fig. 15, 암모니아와 유기물이 동시에 존재하는 경우의 염소소비량은 Fig. 16과 같다. 중성 pH범위에서 염소는 암모니아와 반응하여 모노클로라민(NH₂Cl)을 형성하므로 이로 인해 잔류 염소는 급격히 감소한다.¹⁾

암모니아성 질소와 염소의 반응에서 초기 염소 요구량은 암모니아성 질소농도 0.1, 0.25, 0.5, 1 mg/l일 때 각각 0.50, 1.20, 2.80, 2.95, 3.05 mg/l이었고 이값은 총 소비량의 33.8, 45.8, 66.7, 66.9%에 해당된다. 3시간의 반응동안 암모니아성 질소 농도가 0.1, 0.25, 0.5, 1 mg/l일 때 총 소비량의 81.1, 84.7, 97.4, 99.5%가 소모되어 두 인자간의 반응은 3시간안에 대부분 완결되었고 그 이후에는 소모반응이 비교적 완만하게 진행되었다.

반응이 대부분 완결된 반응 3시간이후의 암모니아성 질소의 농도와 염소의 소모량과의 관계는 Fig. 17과 같

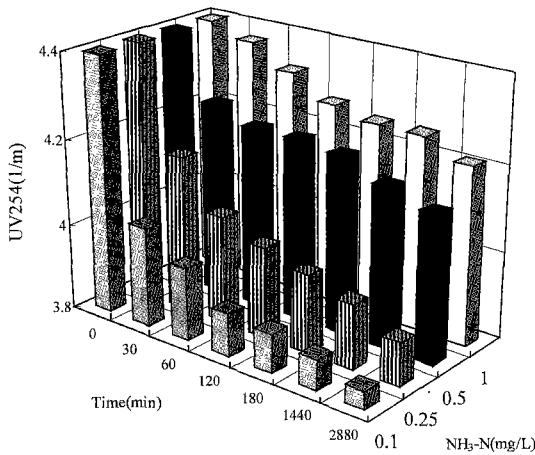


Fig. 18. Change of UV₂₅₄ in the presence of humic acid depending on NH₃-N.

다. 수중에 주입된 암모니아성 질소농도와 염소의 소비량과는 비례관계를 보였다. 따라서, 수중의 단위 1mg/l의 암모니아 질소 당 3.4 mg/l의 유리 염소를 소비하는 것으로 나타났다.

암모니아성 질소와 유기물이 공존하는 경우 반응 30분에 암모니아성 질소의 농도가 0.1, 0.25, 0.5, 1 mg/l일 때 유리염소는 주입농도의 각각 63, 80.8, 84, 90.8%가 소모되었다. 그리고, 3시간 이후에는 이미 대부분의 염소가 거의 소모되었다.

반응 5분 이내에 암모니아성 질소의 농도가 0.1, 0.25, 0.5, 1 mg/l일 때 UV₂₅₄는 각각 3.89, 3.98, 4.21, 4.25 m⁻¹로 암모니아성 질소의 농도가 낮을수록 유기물의 분해가 보다 빠른 속도로 이루어졌다. 반응 2일 동안 암모니아성 질소의 농도가 0.1, 0.25, 0.5, 1 mg/l일 때 UV₂₅₄는 각각 3.84, 3.90, 4.14, 4.21, 4.34 m⁻¹이었다. 암모니아성 질소의 농도가 1 mg/l일 때 유기물은 반응 1시간 이후에는 거의 분해되지 않았으나 0.1, 0.25 mg/l의 저농도에서는 접촉시간이 증가함에 따라 빠른 속도로 분해가 이루어졌다.

6. 잔류 염소와 영향인자간의 상관 분석

본 실험에서 분석 측정된 자료를 기초하여 SPSS를 이용하여 다중회기분석을 한 결과는 다음과 같다. 모델의 상관계수는 0.85로 비교적 높았다.

$$C_t = 1.239 + 0.707(C_o) - 0.000529(\text{Time}) - 0.0112(\text{Temp}) + 0.02227(\text{pH}) - 0.421(\text{DOC}) - 2.132(\text{NH}_3\text{-N})$$

IV. 결 론

본 연구는 염소의 소모 반응과 관련된 영향 인자들에 대해 검토하여 각 수질조건에서의 최적 염소요구량을 산정하고, 영향 인자들간의 함수관계를 정립하여 상수의 정수처리 및 배급수계통에서 적용할 수 있는 모델식을 도출해 내기 위해 수행되었다. 연구결과로부터 얻은 결론은 다음과 같다.

1. 주입 염소 0.1~10 mg/l범위에서 유리염소는 자연분해만으로도 최대 0.51 mg/l 소모되었다. 유기물의 분해율은 염소에 대한 유기물의 비가 낮을수록 높았으므로 유기물 산화를 목적으로 염소를 투입할 경우 이 값에 대응하는 염소를 주입하여 할 것으로 판단된다.

2. 대상수의 pH가 중성범위일 때 pH가 낮을수록, 온도가 높을수록 유기물의 분해율 및 염소의 소모량이 컸다. 유리염소는 유기물이 존재하지 않는 경우 및 유기물과 유리염소가 1(5 mg/l):1(5 mg/l)로 존재하는 경우에 온도가 10°C 증가함에 따라 각각 0.25 mg/l, 3.4 mg/l가 추가로 소모되었다. 따라서 여름철 고온시 장시간 배급수계통에서 체류할 경우 이에 대응하는 요구량을 산정하여 염소가 주입되어야 할 것으로 생각된다

3. 수중 유기물 및 암모니아성 질소에 대한 초기 염소요구량은 각각 0.43, 2.69 mg/l이었고, 소독 공정에서의 염소의 체류시간인 3시간동안의 염소요구량은 각각 0.47, 3.40 mg/l이었다. 유기물과 염소의 반응은 2일간의 최종반응시간까지 지속적으로 일어나는 반면, 암모니아성 질소와 염소의 반응은 3시간 이내에 대부분 완결되었다. 수중 유기물과 암모니아성 질소의 농도가 낮을수록 유기물의 분해가 용이하게 이루어졌다.

4. 분석 측정된 자료를 기초하여 SPSS를 이용하여 다중회기분석을 하여 산정한 잔류염소농도와 각 영향 인자와의 관계는 다음과 같았다.

$$C_t = 1.239 + 0.707(C_o) - 0.000529(\text{Time}) - 0.0112(\text{Temp}) + 0.02227(\text{pH}) - 0.421(\text{DOC}) - 2.132(\text{NH}_3\text{-N})$$

참고문헌

- 1) Gerald, F. C.: The Chlorination/Chloramination Handbook, AWWA, Denver, 45-47, 1997.
- 2) Geo, C. W.: The Handbook of Chlorination and Alternative Disinfectants, Van Nostrand Reinhold, New York, 290-478, 1992.
- 3) 박성주 : 상수도 급수계통에서의 세균 재생장장 및 생물막 형성에 관한 연구, 서울대학교 박사학위 논문, 98-104, 1993.

- 4) 한국수자원공사 : 수돗물의 2차오염 방지기술(2차년도 연차보고서), 환경부, 31-64, 1997.
- 5) 조영희 : 수돗물에서 BDOC가 세균의 소독과 재증식에 미치는 영향, 건국대학교 석사학위 논문, 3-15, 1996.
- 6) EPA.: Guidance Manual for Compliance with the Filtration and Disinfection Requirement for Public Water, AWWA, Denver, 141-152, 1991.
- 7) 한국수도협회 : 상수도시설기준(유지 관리편), 환경부, 서울, 128-132, 1998.
- 8) 한국 수자원 공사 : 고도 정수 기술(기존 정수장 효율 향상 기술), 환경부, 554-597, 1997.
- 9) AWWA: Water Treatment Plant Design, McGRAW-Hill, New York, 221-280, 1998.
- 10) Egil, T. G.: Physical and chemical characteristics of aquatic humus, Ann arbor science publishers, Michigan, 3-15, 1975.
- 11) 옥치상, 황인철, 이보영 : 염소 및 이산화염소에 의한 상수의 소독처리, 대한환경공학회지, **11**(2), 27-36, 1989.
- 12) Brandstetter, A., Sletten, R. S., Mentler, A. and Wenzel, W. W.: Estimating Dissolved Organic Carbon in Natural Waters by UV Absorbance, *J. of Plant Nutrition and Soil Science*, **159**(6), 605-607, 1996.
- 13) Bartels, U.: Abschätzung der Organischen Kohlenstoffeinträge in Waldökosysteme durch Messung der UV-Absorption(254 nm) im Niederschlagswasser, *J. Pflanzenernähr, Bodenkd*, **151**(2), 405-406, 1988.
- 14) Bartels, U.: Organischer Kohlenstoff im Niederschlag nordrhein westfälischer Fichten- und Buchenbestände, *J. Pflanzenernähr, Bodenkd*, **153**(1), 125-127, 1990.
- 15) APHA, AWWA and WEF.: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (19th edition), American Public Health Association, Washinton, 1995.
- 16) Fang, H, West, J. R., Barker, R. A. and Forster, C. F.: Modelling of Chlorine Decay in Municipal Water Supplies. *Wat. Res.*, **33**(12), 2735-2746, 1999.