한국환경분석학회지 제11권 (제4호) 268~274, 2008
J. of the Korean Society for Environmental Analysis

서울시 실내수영장의 소독방식별 부산물 생성 특성

이만호 · 전명진 · 김홍제 · 엄석원 · 최한영*†
서울시보건환경연구원, *을지대학교 보건산업대학 보건환경과학부

Characteristics of Byproducts from Three Different Disinfection Technologies Applied to Indoor Swimming Pool in Seoul

Man-ho Lee, Myung-jin Jun, Hong-je Kim, Seog-won Eom, and Han-young Choi*†

Seoul Metropolitan Government Research Institute of Public Health and Environment, Seoul, 427-070, Korea
**School of Human & Environmental Science, Eulji University, Seoungnam 461-713, Korea*

Swimming pool water needs to be disinfected to keep swimmer from infection caused by water-born pathogens. However, use of chlorine and other disinfectants such as ozone and electrolytic disinfectant for disinfecting swimming pool water create new potential risks by producing by-products during the disinfection process. This study was carried out to investigate the characteristics of formed in swimming pool water disinfection Three different disinfection technologies including chlorination, combined disinfection (ozone+chlorine), and electrolytic disinfection were applied and their DBPs were compared. The average concentrations of total trihalomethans (TTHMs) of technologies were 37.49 μg/L for electrolytic disinfection, 16.41 μg/L for chlorination and 7.37 μg/L for combined disinfection. The major TTHM compound was chloroform and its concentration was 16.41 μg/L (chlorination), 7.37 μg/L (combined disinfection) and 14.49 μg/L (electrolytic disinfection). Bromodichloromethan (BDCM), Dibromochloromethan (DBCM) and Bromoform (BF) were only detected in electrolytic disinfection. The average concentrations of Haloacetic acids (HAAs) was 226.82 μg/L for chlorination, 170.71 μg/L for electrolytic disinfection and 76.54 μg/L for combined disinfection. About 85 percent of total DBPs was HAAs consisting of Trichloroacetic acid (TCAA) and Dichloroacetic acid (DCAA). TCAA and DCAA accounted for 59% and 26% of total DBPs from chlorination, 53% and 30% from combined disinfection, 54% and 19% from electrolytic disinfection respectively. Also TTHMs accounted for 16% of DBPs from electrolytic disinfection, 6% from chlorination and 8% from combined disinfection respectively. Chloral hydrate (CH) and Haloacetonitriles (HANs) were not detected much : they were 6% and 2% of DBPs from chlorination, 4% and 2% from combined disinfection and 4% and 4% from electrolytic disinfection, respectively. The compositions of DBPs were similar in Three different disinfection technologies, its concentrations was related to organic matters.

Key words : Swimming pool, Disinfection by-products (DBPs), THMs, HAAs

1. 서 론

개인건강과 여가활동에 대한 관심이 높아지면서 생활체육 활동종목의 하나인 수영은 남녀노소 구분 없이 누구나 참여할 수 있어 이용자의 수가 점차 증가하고 있다. 수영종목에 대한 미래 체육활동 인구수는 2010년에는 1천만명정도가 될 것이라 한다.[1] 실내수영장과 같은 다중이용시설에 대한 보건상의 문제는 매우 중요한 사안이라 할 수 있다. 따라서 수영장 물에 존재하는 병원성미생물에 의한 감염으로부터 수영자를 보호하기 위해 소독(disinfection)이 요구된다. 소독은 수인성질병을 감소시킬 수 있지만, 소독과정에서 소독부산물로 알려진 화합물을 생성할 수 있기 때문에 잠재적 위험을 초래할 수 있다.[2]

†To whom correspondence should be addressed.
E-mail: choihan@eulji.ac.kr

수영장에서 일반적으로 사용되는 염소소독방식은 잔류성, 살균성 그리고 경제성이 우수하여 오랫동안 가장 많이 사용되었다. 최근에는 염소보다 살균력과 안전성이 우수하지만 유지관리비용이 높고 잔류성은 없는 오존과 잔류성 유지를 위해 액체 또는 고체분말의 차아염소산나트륨 등의 염소계 보조소독제를 첨가한 오존 병행방식을 적용하는 곳도 있다. 또한 안전성 측면에서 염소와 오존보다 우수하여 최근 각광을 받으며 시설수가 증가하고 있는 소독방식은 소금, 물, 전기를 이용한 전해소독방식이 있다. 이러한 소독공정에서 염소와 수중에 포함된 유기물이 반응하여 소독부산물(DBPs; Disinfection by-products)이 생성되고, 수영자의 입과 피부접촉, 호흡을 통해 이런 물질에 노출될 수 있다.[3-4]

DBPs는 저체중아출산, 중추신경계 결함, 신경관 결함, 유산, 사산, 유아발달지체와 같은 생식 및 발생 독성과[5-7]함께 방광암, 직장암, 결장암 등의 암 발생률을 증가시킬 수 있는 것으로 보고되고 있다.[8-10] 특히, 클로로포름(CF; Chloroform)과 브로모디클로로메탄(BDCM; Bromodichloromethan), 디클로로아세트산(DCAA; Dichloroacetic acid)은 발암성물질로 분류되어 있어 수영장의 안전성을 파악을 위해 DBPs에 대한 발생량 조사연구는 매우 중요한 일이라 할 수 있다. 이와 관련하여 독일, 스위스, 일본 등 일부 선진 국가에서는 수영장수의 THMs 등과 같은 소독부산물에 대해 법적 규제가 이루어지고 있는데 일예로 독일은 chloroform 20 μg/L, 일본은 TTHMs 200 μg/L 등이다. 하지만 우리나라는 대장균군, 탁도, pH, $KMnO_4$소비량, 잔류염소 5개 항목만을 수영장수의 법정수질항목으로 규제하고 있고, DBPs에 대한 연구조사 자료도 부족함을 감안하여 본 연구에서는 수영장 소독방법에 따른 DBPs의 발생현황과 분포특성을 조사하였다.

2. 연구방법

2.1 대상 및 기간

서울시의 실내수영장이 지역적으로 편중되고 집중되는 있는 지역을 대상으로 염소소독만을 실시하는 수영장 3개소, 오존과 액상 차아염소산나트륨을 보조소독제로 병용하는 수영장 3개소, 그리고 현장에서 소금을 전기분해한 소독방식을 사용하는 수영장 3개소에 대해 소독방식별로 조사를 실시하였다. 시료채취기간은 2006년 6월부터 11월까지 월 2회씩 주기적으로 9개 시설에 대해 총 81회 실시하였다. 채취지점은 실내수영장 욕조 수면아래 40 cm 깊이에서 무균 채수병에 2 L를 채취하여 탁도 등 이화학적인 항목을 분석하였다. THMs 등 소독부산물 분석을 위해서 40 mL 바이알 병에 기포가 생기지 않도록 하고, 잔류염소를 제거하기 위해 6N-HCl 수 방울과 아비산나트륨을 첨가하여 밀봉한 후 냉장 보관하여 분석하였다.

2.2 분석항목 및 방법

THMs는 US EPA 524.2[11], HANs와 CH는 US EPA 551.1[12], HAAs는 US EPA 552.2[13-14]의 방법으로 시험하였다. THMs는 purge & trap 법을 사용하여 시료를 주입하여 GC/MS로 분석하였고, HANs, CH는 50 mL의 시험용액을 MTBE (methyl *t*-butyl ether) 3 mL로 액액추출하여 GC/ECD로 분석하였다. HAAs는 40 mL의 시험용액을 pH<1의 조건에서 MTBE 4 mL로 액액추출한 후 10% H_2SO_4/methanol을 이용하여 유도체화 하여 과포화된 $NaHCO_3$용액으로 중화하고 GC/ECD로 분석하였다.

TOC(Total organic carbon)는 TOC-5000A(Shimadzu사), 탁도는 WA2000(SECOS사), 질산성질소는 Dionex사(ICS-3000) 분석기기로 분석하였다. COD는 수질오염공정시험방법[15], $KMnO_4$소비량은 먹는물공정시험방법[16]에 따라 분석하였고, 주요수질인자와 소독방식별 유의성 검토를 위해서 통계프로그램은 SPSS Win ver.10을 이용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 소독방식별 처리수의 수질특성

수영장수에 대한 법적기준은 체육시설의 설치·이용에 관한 법률로서 법적수질기준은 5개 항목이며 소독부산물 항목은 규정하고 있지 않다.

대상 시설의 수영장수에 대한 법적기준항목의 준수여부를 평가하고자 소독방식별 처리수의 수질를 조사한 결과 Table 1과 같이 법적 이화학기준항목이 모두 적합하였을 뿐 아니라, 미생물 항목인 대장균군도 적합하였다.

본 연구와 관련한 소독부산물 생성의 주요 영향인자들은 수중 유기물질의 농도와 특성, 소독제의 종류, 투입량과 잔류량, pH, 수온 및 브롬이온의 농도 등 여러 가지 요인이 있으나 그 중에서 유기물의 농도와 특성이 소독부산물의 생성에 가장 많은 영향을 미치는 것으로 알려져 있다.[8,9]

Table 1. Swimming pool water standards and treated water quality

Items	Standards	Treated water quality (Disinfection types)		
		chlorine	ozone+chlorine	electrolytic disinfectant
$KMnO_4$ (mg/L)	<12	4.6±3.73	0.7±0.37	6.0±2.34
COD (mg/L)	-	3.5±1.87	0.9±0.55	5.4±2.35
TOC (mg/L)	-	2.3±1.50	0.7±0.46	3.2±1.01
Turbidity (NTU)	<2.8	0.2±0.24	0.1±0.05	0.1±0.10
Residuals chlorine (mg/L)	0.4-1.0	0.7±0.33	0.5±0.28	0.6±0.24
pH	5.8-8.6	7.8±0.25	7.6±0.30	7.8±0.34
NO_3-N	-	2.4±1.08	4.0±0.95	5.5±2.75

이에 소독부산물의 생성 영향인자들의 상관성 파악을 위해 유기물질의 지표로서 $KMnO_4$소비량, COD, TOC(Total organic carbon)와 탁도, 잔류염소, pH, NO_3-N 등을 분석하였다.

대상 수영장의 원수는 수돗물로서 소독방식별 수영장수에 대한 유기물질의 처리효율은 오존병행방식>염소방식>전해소독방식 순으로 소독방식별로 차이가 있었는데, 이는 소독방식에 따라 유기물질의 산화력 차이에 의한 것으로 판단된다. 하지만 탁도, pH 등 이화학적 항목의 차이는 거의 없는 것으로 나타났다.

3.2 소독방식별 THMs생성 및 분포특성

염소계소독부산물로서 대표적 물질인 THMs은 단탄소의 할로겐치환화합물이며, Trichloromethane(Chloroform, $CHCl_3$), Bromodichloromethane(BDCM, $CHBrCl_2$), Dibromochloromethane(DBCM, $CHBr_2Cl$), Bromoform(BF, $CHBr_3$) 등 4종류가 중요하며, 이를 합한 값인 TTHMs이 주요지표로 사용된다.

수영장수로 사용되는 수돗물의 TTHMs은 3~68 μg/L(평균 25 μg/L)으로서 계절에 따라 하절기가 동절기에 비해 일반적으로 높은 특징이 있다. 수영장수의 소독방법별 THMs의 조사결과는 Table 2와 같고, 평균 TTHMs농도는 전해소독방식(37.49 μg/L)>염소단독방식(16.41 μg/L)>오존과 염소병행방식(7.37 μg/L) 순으로 높았고, 주요 TTHMs 구성물질로서 CF가 가장 높게 나타났는데, 이는 소독방식별 잔류염소와 유기물의 산화력에 의한 영향으로 판단된다. 수영장수에 대한 평균 CF농도는 염소소독방식이 16.41 μg/L으로 오존과 염소병행방식 7.37 μg/L과 전해소독방식 14.49 μg/L보다 높게 나타났다. BDCM, DBCM, BF은 전해소독방식에서만 각각 10.06 μg/L, 8.88 μg/L, 4.07 μg/L으로 나타났다.

THMs발생량은 수영장 원수의 수질, 수질관리 방식의 차이 및 이용객 현황에 의해 변화될 수 있다. 전해소독방식의 경우 THMs 구성이 염소소독, 오존-염소소독과 다른 이유는 소독 시 사용하는 소금에 함유된 브롬이온(Br^-)성분에 의한 것으로 판단된다. 이[17]등은 바닷물 1 kg에 브롬이온이 약 0.0646 g 함유되어 있으며 가장 많이 사용되는 천일염의 경우 브롬화마그네슘이 0.23% 함유되어 있어, 소금 종류에 따라 브롬치환 THMs발생량 구성에 영향이 있다고 보고한 바 있다.

3.2 HAAs생성 및 분포특성

소독부산물중 Haloacetic acids(HAAs)는 휴믹 또는 펄빅 등 자연유기물(NOM)과 염소처리반응에 의해 생성되는 부산물질로서 모두 9종류가 발생가능하며, USEPA는 HAA_5합에 대한 최대허용기준(MCL)을 설정하고 있다. HAA_5라 함은 Dichloroacetic acid, Trichloroacetic acid(HAA_2), Monobromoacetic acid, Di-

Table 2. THMs levels depending on disinfection types

Item	Treated water quality (unit : μg/L)		
	Chlorine[1]	Ozone+ chlorine[2]	Electrolytic disinfectant[3]
	Mean±SD (Min~Max)	Mean±SD (Min~Max)	Mean±SD (Min~Max)
CF	16.41±12.43 (N.D~40.78)	7.37±5.89 (N.D~21.24)	14.49±10.74 (N.D~40.07)
BDCM	N.D	N.D	10.06±8.67 (N.D~34.06)
DBCM	N.D	N.D	8.88±7.35 (N.D~32.29)
BF	N.D	N.D	4.07±4.75 (N.D~17.98)
TTHMs	16.41 ± 12.43 (N.D~40.78)	7.37 ± 5.89 (N.D~21.24)	37.49±27.75 (N.D~118.64)

1) Number of Chlorine disinfection = 30
2) Number of Ozone disinfection = 30
3) Number of Electrolytic disinfection = 21

bromoacetic acid(HAA_4), Monochloroacetic acid을 의미하며, 국내에서는 HAA_2인 Dichloroacetic acid, Trichloroacetic acid만을 먹는물 법적기준농도로 규제하고 있다. 독성학적으로 HAA_2은 동물에게 발암잠재성이 있어 WHO에서는 음용수에 대한 잠재적 권장치를 각각 50 μg/L, 200 μg/L으로 정하고 있다.[22,23] 본 조사는 HAAs물질의 대표적인 건강상의 유해물질을 중심으로 실내수영장의 소독방식별 분포특성조사결과를 Table 3에 나타내었다. 각 부산물의 평균농도로서 MCAA은 2.12~6.47 μg/L로 낮게 검출되었으며 소독방식별 차이도 거의 없었다. 염소소독시 DCAA 평균농도는 68.29 μg/L으로 전해소독방식 43.5 μg/L과 오존과 염소병행소독 26.58 μg/L보다 높게 나타났다. TCAA는 염소소독 156.41 μg/L, 전해소독방식 120.73 μg/L, 오존소독 47.69 μg/L이였으며, HAAs농도는 염소단독방식이 226.82 μg/L로 가장 높았고, 전해소독방식은 170.71 μg/L, 오존소독방식은 76.54 μg/L로서 소독방식별 수영장수의 pH 및 유기물의 처리효율 등에 의한 처리수의 수질특성에 따른 영향으로 판단되며, 두개 소독방식에서 높은 값을 나타내었다.

소독방식별 HAAs의 주요 구성물질에 대한 생성비율을 Fig. 1에 나타내었다. 본 결과에서 HAAs의 구성물질 중에 TCAA가 가장 많이 생성되었으며, HAA_2가 90%이상을 포함한다는 민[18] 등의 결과와 유사했다.

서울소재 정수장의 수돗물을 조사한 장[5] 등은 정수, 직수, 물탱크수의 배급수계통에서 HAAs물질에 대한 모니터링 결과에서 HAA_2(TCAA+DCAA)의 경우, 정수에서는 평균 14.2 μg/L(3.1~25.7 μg/L), 직수에서 평균 17.6 μg/L(7.6~34.0 μg/L), 물탱크수에서 평균 20.6 μg/L(7.6~36.2 μg/L)로 조사한 바 있었다. 이와

Table 3. HAAs levels depending on disinfection types

Item	Treated water quality (unit : μg/L)		
	Chlorine	Ozone	electrolytic disinfectant
	Mean±SD (Min~Max)	Mean±SD (Min~Max)	Mean±SD (Min~Max)
MCAA	2.12±3.52 (N.D~12.60)	2.27±3.43 (N.D~10.00)	6.47±16.68 (N.D~63.48)
DCAA	68.29±69.15 (14.06~246.00)	26.58±62.63 (N.D~318.90)	43.50±55.33 (1.51~281.91)
TCAA	156.41±180.93 (19.71~635.98)	47.69±138.78 (1.30~724.70)	120.73±149.49 (1.00~679.48)
HAAs	226.82±239.74 (35.20~759.70)	76.54±201.25 (4.96~1048.80)	170.71±200.35 (4.10~961.54)

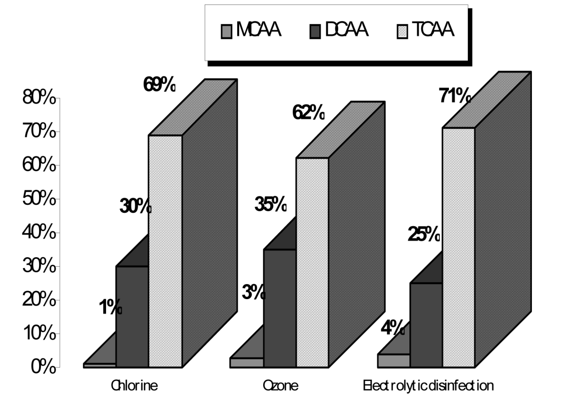

Fig. 1. Composition of HAAs formation by disinfection types.

비교할 때 수영장수의 HAA_2는 물탱크 수에 비해 4~11배 정도 높게 검출되었는데, 이는 수영장수의 pH, 잔류염소량, 유기물질의 친수성 또는 소수성 등 구성비율과 농도 그리고 잔존 유기물과의 지속적인 접촉에 기인한 것으로 추정된다. 미국의 먹는물 수질기준치 HAAs 60 μg/L[6]과 국내 수질기준치인 HAAs 100 μg/L보다 높은 수치를 나타내 수영장수의 소독부산물에 대한 대책이 강구되어야 할 것으로 나타났다.

3.3 생성부산물의 분포특성

음용수 또는 수영장수의 소독과정에서 생성되는 대표적이고 중요한 소독부산물은 THMs을 비롯하여, HAAs, HANs, CH 등이 있으며, 그 외 Haloacetaldehydes, Haloketones 등 원수 중에 포함하는 물질과 소독방식에 따라 DBPs의 생성특성은 다양하다.[22] 수영장수에 대한 소독방식별 대표적인 소독부산물인 THMs, HAAs, HANs, CH 분포비율의 결과를 Fig. 2에 나타내었다. 이러한 4개 소독부산물화합물 중에 소독방식별 분포특성은 HAAs이 76~85%로 가장 높은 비율을 차지하였다. 특히 HAAs중 TCAA, DCAA은 각각 염소소독에서는 69%, 30%, 오존소독에서는 62%, 35%, 전해소독방식에서 71%, 25%로 소독방식별 분포특성 변화는 거의 없는 것으로 나타났다.

THMs의 경우는 전해소독방식이 16%로 염소소독 6%, 오존소독 8%에 비해 높은 비율을 차지하였다. 전해소독방식의 THMs 생성비율이 타 소독방식에 비해 높은 것은 Table 2와 같이 브롬치환 THMs이 증가한 결과로서, 소금・물・전기를 사용하여 소독제를 생성하는 과정에서 소금속에 포함된 브롬이온(Br^-)에 의한

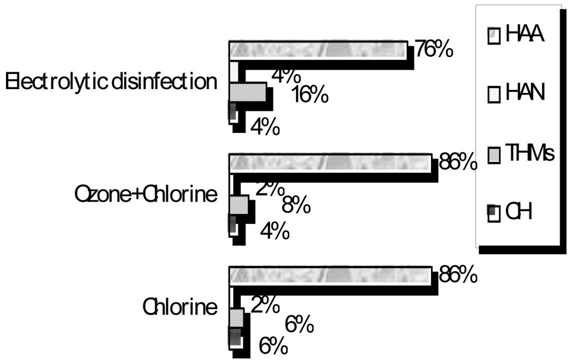

Fig. 2. Composition of DBPs formation by disinfection types.

영향으로 판단된다. 타 소독공정에 대한 브롬치환 THMs의 변화는 거의 나타나지 않았다.

이와 관련하여 서울시 수돗물을 대상으로 소독부산물 생성특성을 조사한 장[5] 등의 연구에서 THMs와 HAAs(DCAA+TCAA)이 80% 이상을 포함하였고, 지점별 생성특성은 정수에서 각각 42.0%, 40.9%, 직수 42.9%, 40.4%, 물탱크수 43.4%, 38.9%로 두 물질이 서로 비슷한 비율을 나타내었다. 또한 국내 정수장에 대한 김[19] 등의 연구에서도 THMs 생성농도가 HAAs의 1.07배로 서로 비슷한 분포비율로 검출된 것으로 나타났다.

그러나 수영장수의 HAAs는 THMs에 비해 상당히 높은 비율로 생성되는 것으로 나타났다. 이러한 차이는 수영장수의 염소주입량과 잔류염소량(0.4~0.9 mg/L)이 수도꼭지수(0.3~0.5 mg/L) 보다 높고, THMs의 대부분을 차지하는 CF의 헨리상수가 커서 공기중으로 휘발됨으로써 수중에서 제거[20]되는 반면 HAAs 중의 DCAA는 휘발이나 열에 의해 분해가 잘 되지 않고 농축되는 경향[21] 때문인 것으로 판단된다. 다시 말해 수영장수의 순환과정에서 지속적으로 염소가 주입되면서 HAAs는 잔류성이 있어 농축되어 증가하는 반면 THMs는 휘발되어 소독부산물중의 THMs이 상대적으로 작은 비율을 차지하게 된다. 또한 수영장수는 사용하는 과정에서 원수의 pH, 유기물의 특성 등을 포함한 수질특성이 변화하였을 뿐 아니라, HAAs은 THMs보다 일반적으로 반응속도가 빠른 결과에 의한 것으로 판단된다.

CH, HANs의 경우 염소소독에서 6%, 2% 오존소독에서는 4%, 2% 전해소독방식에서는 4%, 4%로 소독방식별 수영장수에 대한 소독부산물의 생성특성 차이가 거의 없고, 다른 소독부산물에 비해 비교적 적은 분율을 나타내었다.

이에 소독부산물의 각각 분포 구성비율을 살펴보면, THMs의 대부분은 CF이 차지하였으며, CH, HANs은 상대적으로 낮은 농도로 검출될 뿐 아니라 구성비율이 염소소독, 오존소독, 전해소독방식에서 거의 일정하게 나타났다.

3.4 수질인자와 소독부산물생성의 상관성

소독방식별 수영장용수의 수질인자들과 소독부산물들 간의 상관관계를 비교하고자 통계프로그램은 SPSS Win ver.10을 이용한 분석결과를 Table 4에 나타내었다.

본 결과에서 염소소독의 경우 DBPs는 $KMnO_4$소비량, COD, TOC, 질산성 질소와 양의 상관성이 있는 것으로 나타났다. 오존병행소독의 경우 CH는 $KMnO_4$ 소비량, COD, TOC와 양의 상관관계를 나타냈고, 전해소독방식에서 THMs은 $KMnO_4$소비량과 CH는 $KMnO_4$ 소비량, TOC와 강한 양의 상관관계를 나타났다. 이러한 결과로부터 수중 유기물의 간접지표인 $KMnO_4$소비량이 높을 때, 수영장수의 CH, THMs 등 소독부산물의 생성을 증가시키는 것을 확인할 수 있었다. 수영장수의 주요 수질측정지표들과 THMs의 상관관계를 검토한 황[10] 등은 $KMnO_4$소비량과 THMs생성의 상관성이 가장 높았다는 보고와도 일치하였다.

Table 4. Pearson Correlation coefficients of DBPs and other factors depending on disinfection types

Item	chlorination					ozonation + chlorination					electrolytic disinfection				
	HAAs	HANs	CH	THMs	DBPS	HAAs	HANs	CH	THMs	DBPS	HAAs	HANs	CH	THMs	DBPS
$KMnO_4$	0.468*	0.615**	0.816**	0.334	0.479*	-0.13	0.292	0.672**	0.241	-0.114	0.216	0.668**	0.896**	0.416*	0.306
COD	0.520**	0.585**	0.723**	0.355	0.528**	-0.205	0.638**	0.401*	0.165	-0.201	0.061	0.063	-0.259	0.157	0.071
Turbidity	0.338	0.482**	0.461*	0.193	0.342	0.15	-0.331	0.103	-0.015	0.151	0.22	-0.253	0.202	-0.200	0.181
NO_3-N	0.622**	0.761**	0.783**	0.559**	0.658**	-0.18	0.3	0.329	0.364*	-0.164	-0.324	-0.484*	-0.519**	-0.213	-0.364
TOC	0.674**	0.559**	0.765**	0.572**	0.696**	0.117	0.332	0.527**	0.285	0.136	0.154	0.3	0.704**	0.323	0.219

* $p<0.05$, ** $p<0.01$.

4. 결 론

본 연구의 수영장수의 소독방식에 따른 소독부산물의 발생현황과 분포특성 그리고 수질인자의 상관성 관계조사를 통해 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 조사대상 수영장수의 수질은 법적기준에 모두 적합하였으며, 소독방법에 따른 부산물 생성에서 총 THMs 중에 CF비율이 가장 높았고, 평균농도는 염소단독방식, 전해소독방식, 오존염소병행방식 순으로 높게 나타났다. 브롬치환 THMs은 전해소독방식에서만 검출되었는데. 이는 전해소독방식에 사용된 소금중의 포함된 브롬이온의 영향으로 판단된다.

2. 소독방법별 평균 HAAs농도는 염소소독(226.82 μg/L)이 가장 높았고, 전해소독방식(170.71 μg/L), 오존소독(76.54 μg/L)순으로 나타났다. HAAs농도의 90% 이상은 TCAA와 DCAA으로 구성되었으며, 수영장수의 생성 HAAs는 물탱크의 수도수에 비해 4~11배 정도 높아 향후 지속적인 감시와 관리가 시급한 것으로 나타났다.

3. 수영장수에 대한 소독부산물 중에서 HAAs가 76~85%로 가장 높았으며 대부분은 TCAA, DCAA로 나타났다. 이외 CH, HANs은 소독방식별로 2~4% 범위로 낮고 큰 차이는 없는 것으로 나타났다.

4. 수질인자와 소독부산물의 상관관계에서 수중 유기물의 간접지표로서 $KMnO_4$소비량 등은 CH, THMs 등 소독부산물의 발생량에 비례한 것으로 나타났다. 향후 소독부산물이 법적 기준항목으로 추가될 경우 발생량의 감소를 위해 수영장수의 순환과정에 활성탄공정과 같은 유기물제거공정을 추가하는 것을 검토하는 것도 소독부산물 제거 및 저감방안으로 바람직할 것이라 판단된다.

참고문헌

1. 고재근, 나상준, 한국체육학회지, **2001,** 40(4), 371-384.
2. R.L. Letterman, *Water quality and treatment* 15th, American water works Association, McGraw-Hill, **1999**, section 2.54-66.
3. S.D. Boyce, J.F. Hornig, *Reaction pathways of trihalomethane formation from the halogenation of dihydroxyaromatic model compounds for humic acid*, Environ, Sci. Technol., 17(4), **1983**, 202-211.
4. R.R. Trussel, M.D. Umphres, *The formation of trihalomethanes*, J. AWWA, **1978** 70, 604-612.
5. 장현성, 이도원, 김창모: 서울시 수돗물 배급수 계통에서 소독부산물 분포특성, 한국화학공학회, **2006**, 44(2), 216-226.
6. 환경부, **2001**, 먹는물 수질감시항목 운영지침 및 시험방법.
7. D.A. Reckhow, T.L. Platt, A..L. MacNeill, and J.N McClellan, *Formation and Degradation of Dichloroacetonitrile in Drinking water*, J. IWA. AQUA, **2001**, 50(1), 1-13().
8. H.P. Kim., J.H. Shim, S.H. Lee, *Formation of disinfection by-products in chlorinated swimming pool water*, Chemosphere, **2002**, 46, 123-130.
9. S.J Judd, G. Bullock, *The fate of chlorine and organic materials in swimming pools*, Chemosphere, **2003**, 51, 869-879,
10. 황갑수, 군산시 가정 수돗물 및 실내 풀장수에 있어 THMs 생성에 관한 연구, 한국위생학회지, **2000**, 26(1), 78-84,
11. Method 524.2, **1992**, *Measurement of Purgeable Organic Compounds in Water by Capillary Column Gas Chromatography /Mass Spectrometry* National Exposure Reserch Laboratory, U.S. Environmental Protection Agency.
12. Method 551.1, **1992**, *Determination of Chlorination Disinfection Byproducts, Chlorinated Solvents, and Halogenated Pesticides/ Herbicides in Drinking Water by Liquid-Liquid Extraction and Gas Chromatography with Electron Capture Detection.* National Exposure Research Laboratory, U.S. Environmental Protection Agency
13. Method 552.2, **1995**, *Determination of Haloacetic Acids and Dalapon in Drinking Water by Liquid-Liquid Extraction, Derivatization, and Gas Chromatography with Electron Capture Detection.*, National Exposure Research Laboratory, U.S. Environmental Protection Agency.
14. Method 552.3, **2003**, *Determination of Haloacetic Acids and Dalapon in Drinking Water by Liquid-Liquid Extraction, Derivatization, and Gas Chromatography with Electron Capture Detection.*, National Exposure Research Laboratory, U.S. Environmental Protection Agency.
15. 환경부, **2006**, 수질오염공정시험방법.
16. 환경부, **2006**, 먹는물 공정시험방법.
17. 이진, 하광태, 조경덕: 수영장 욕조수의 소독방법에 따른 THMs 발생특성, 한국환경보건학회지, **2006**, 32(2), 171~178.
18. 민병섭, 이동석, 류재근: 정수장에서의 할로초산의 생성 특성, 한국환경분석학회지, **2003**, 6(1), 41~48.

19. 김진근, 정상기, 신창수: 국내 정수장의 소독부산물 생성특성, 상하수도 학회지, **2005** 19(3) 301-311.
20. 박수진, 박소진, **2004**, 휘발성 유기화합물의 헨리상수 결정 및 추산방법 비교. 공업화학, 15(8), 967-975.
21. 김창모, 최인철, 장현성 : 음용수에서 소독부산물과 이취미 유발물질의 끓임 효과, 한국환경보건학회지, **2006**, 32(4), 262~267.
22. A.E. Greenberg, L.S. Clesceri, A.D. Eaton, E.W. Rice, *Standard methods for the examination of water waste-water 21st,* American Public Health Association, **2005**, section 2.46-47, 2.54-66.
23. 환경부, **1999,** 세계보건기구 먹는물 수질관리지침, 707-716.