한국환경보건학회지, 제32권 제2호(2006)
Kor. J. Env. Hlth., Vol. 32, No. 2, pp 171~178(2006)

수영장 욕조수의 소독방법에 따른 THMs 발생 특성

이 진 · 하광태 · 조경덕*†
서울시 보건환경연구원, *서울대학교 보건환경연구소

The Characteristics of THMs Production by Different Disinfection Methods in Swimming Pools Water

Jin Lee · Kwang-Tae Ha · Kyung-Duk Zoh*†
Seoul Metropolitan Government Research Institute of Public Health and Environment
**Institute of Health & Environment, Seoul National University*
(Received March 22, 2006/Accepted March 31, 2006)

ABSTRACT

The objectives of this study were to investigate the formation of trihalomethanes (THMs) and to compare the concentration level of THMs of swimming pools water by different disinfection methods such as chlorine, ozone-chlorine, and salt brine electrolysis generator (SBEG). The concentration of chloroform was the highest in the chlorine system, and the SBEG was the highest in the production of bromodichloromethane (BDCM), dibromochloromethane (DBCM) and bromoform. The average concentration of total trihalomethanes (TTHMs) in three disinfection systems were 64.5 ±27.4 mg/l (SBEG), 43.8±22.3 mg/l (chlorine), and 30.6±16.1 mg/l (ozone-chlorine), respectively. In chlorine and ozone-chlorine disinfection system, chloroform concentration was highest, followed by BDCM, then DBCM. In the SBEG, TTHMs was composed of 42% of chloroform, 28.9% of bromoform, 15.1% of BDCM and 14% of DBCM, respectively. The strongest correlation was obtained in the levels of chloroform and TTHMs in chlorine, and ozone-chlorine disinfection systems from both indoor and outdoor swimming pools ($r=0.989\sim0.999$, $p<0.01$). In the SBEG, the levels of BDCM and TTHMs showed a good correlation ($r=0.913$, $p<0.01$). In chlorine and ozone-chlorine disinfection systems at indoor swimming pools, pH, TOC and $KMnO_4$ consumption showed strong correlation with chloroform and TTHMs concentrations ($p<0.01$). In the SBEG, pH and TOC were also strongly correlated with chloroform ($p<0.01$). pH and TTHMs were correlated as well ($p<0.05$).

Keywords: THMs, total THMs, chlorine, ozone-chlorine, salt brine electrolysis generator

I. 서 론

현대인들은 스트레스로부터 건강을 유지하고, 개인의 여가시간의 활용을 위하여 생활체육에 참여하고 있으며, 1988년에는 국민전체의 37%에서 2000년에는 65.9%로 두 배에 가까운 증가율을 보이고 있다. 생활체육 종목 중 우리나라 국민이 가장 즐기는 운동은 배드민턴 165만 명, 수영 153만 명, 볼링 140만 명 순으로 나타났으며, 미래 체육활동 인구수를 예측한 결과로는 수영인구가 2010년 1천만 명까지 증가, 생활체육 종목 1위를 차지했다.[1)]

†Corresponding author : Department of Environmental Health, Seoul National University
Tel: 82-2-740-8891, Fax: 82-2-745-9104
E-mail : zohkd@snu.ac.kr

수영은 건강의 보호와 증진, 그리고 심신의 단련을 목적으로 행하여지는 운동으로써, 다른 운동과는 달리 물을 매개체로 행하기 때문에 특별한 건강관리와 그에 대한 올바른 지도를 필요로 하며, 이와 함께 항상 수질과 관련된 질병과 상해를 염두에 두고 면밀한 준비를 해야 한다. 염소는 뛰어난 살균력과 잔류성, 그리고 경제성 때문에 현재에도 가장 탁월한 소독제로 사용되고 있다. 염소이외의 소독제의 도입에 치중하게 되면서 국내에서 주목받는 소독제로는 오존을 들 수 있다. 하지만 설치 및 운영비용이 클 뿐만 아니라 잔류성이 없어서 잔류성이 충분한 보조소독제와 함께 사용되어야 한다. 근래에는 수영장 물의 소독방법으로 염분을 이용한 해수를 인공적으로 조성한 후 전기분해를 통해 복합 살균 물질을 발생시켜 사용하는 salt brine electrolysis generator(SBEG)를 수영장 물 소독에 사용하고 있다.[2)]

수영장 물을 소독할 경우 발생하는 대표적인 소독부산물인 THMs는 수영자가 수영 중 물이 입으로 들어오는 경우, 피부접촉 그리고 THMs의 휘발성 때문에 대기로 배출시 호흡을 통하여 노출되게 된다. 그러므로 독일, 스위스, 일본 등에서는 수영장 물의 화학적 검사항목 중 유리잔류염소, 결합잔류염소, pH, $KMnO_4$ 소비량과 함께 THMs를 규제하고 있다. 하지만 우리나라에서는 수영장 수질기준으로 THMs를 규제하지 않고 있는 실정이다.

본 연구는 수영장 물의 소독방법에 따른 부산물로 생성되는 THMs의 생성특성과 발생현황 및 THMs 생성인자를 파악하여 수영장 종사자 및 이용자들에게 보다 쾌적하고 위생적인 환경을 조성하기 위한 기초적 자료를 제공하는 것을 목적으로 한다.

II. 재료 및 방법

1. 시료 채취 및 전처리

수영장 욕조 수면 아래 40 cm 깊이에서 무균 채수병에 2 *l*씩 채취하여 냉장 보관하여 분석하였다. THMs 분석용 시료는 미리 증류수로 잘 씻은 유리병에 기포가 생기지 아니하도록 조용히 채취하고 시료 40 m*l*당 6N-HCl을 4방울을 추가하고 아비산나트륨용액을 넣어 잔류염소를 제거한 후 물을 추가하여 꽉 채워 밀봉한 후 냉장 보관하였다.

2. 기간 및 대상

서울시에 소재하고 있는 실내 · 외수영장을 2004년 7월 16일부터 8월 24일까지 시료를 채취하였다. 염소소독을 실시한 실내수영장 72개, 실외수영장 17개, 오존소독은 잔류성이 충분한 보조소독제로 차아염소산나트륨과 함께 사용하고 있는 실내수영장 86개, 그리고 SBEG를 사용하는 실내수영장 25개를 대상으로 하였다.

3. 분석 방법

유리잔류 염소는 분해되기 쉬우므로 채수 후 바로 시료 10 m*l*와 DPD Free Chlorine 시약을 첨가한 후 20초간 흔들어 용해시킨 후 pocket colorimeter (Model : 46700-00, HACH, Japane)로 측정하였다. pH, $KMnO_4$ 소비량은 먹는 물 공정시험법에 준하여 측정하였다.[3] $KMnO_4$ 소비량 분석시 SBEG으로 소독한 수영장 물은 Ag_2SO_4를 첨가하여 염소이온의 영향을 제거하였다. 총유기탄소는 시료에 인산을 수 방울을 첨가한 후 sample dispenser(APG 64, analytik jena AG, Germany)에 의하여 산소가스로 탈기시켜 무기탄소성분을 제거한 다음 TOC analyzer (multi N/C 3000, analytik jena AG, Germany)로 측정하였다. THMs은 Standard Method 6232 C. (Purge & Trap/Gas Chromatographic/Mass Spectrometric Method)법을 응용하여 분석하였다.[4] 분석기기로는 Liquid Autosampler (AQUA Tek 70, TEKMAR DOHRMANN, USA)와 Purge and Trap (3100 sample concentrator, TEKMAR DOHRMANN, USA)을 Gas Chromatograph (6890 Series, Hewlett Packard, USA)와 Mass Selective Detector (Agilent 5976Network, Hewlett Packard, USA)에 연결하여 사용하였고 분석조건은 Table 1과 같다.

Table 1. Operating condition of GC/MSD for volatile organic compounds

Item	Condition
Injection port	Splitless injector port connected to purge trap transfer line
Carrier gas	99.999% He
Column	Model No. Aglient 122-1334 DB-624 (30.0 m×250 μm×1.40 μm nominal)
Detector temperature	240°C
Column flow rate	1.0 m*l*/min
Integrator	MSD Chemstation
Oven temperature	Init. ; 5 min at 35°C 1 step ; 5°C/min to 100°C, 1 min holding 2 step ; 2.8°C/min to 110°C, 1 min holding 3 step ; 3°C/min to 130°C

본 연구에서 측정된 자료는 SAS(statistical analysis system) 통계 패키지(Release 8.01, SAS Institute Inc., USA)를 이용하여 분석하였다. 소독방법에 따른 각각의 THMs(chloroform, BDCM, DBCM, bromoform)의 발생량과 소독부산물 생성요인의 차이를 검정하기 위하여 Kruskal-wallis test를 실시하였고, THMs 각각의 항목과 소독부산물 생성요인과 THMs, TTHMs간의 spearman rank correlation을 분석하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 소독방법에 따른 THMs 농도

소독방법과 실내 · 외 수영장에 따른 trihalomethanes (THMs)인 chloroform (CF), bromodichloromethane (BDCM), dibromochloromethane (DBCM), bromoform (BF), 그리고 total THMs (TTHMs)의 농도는 Table 2와 같다. 실내수영장의 경우 소독방법에 따른 THMs의 각각의 평균농도를 살펴보면, chloroform는 염소소독의 경우 40.74±21.37 μg/*l*로 오존-염소소독(28.54±

Table 2. THMs and TTHMs levels by disinfection methods (unit: μg/l)

THMs \ Disinfection method / Site	Chlorine		Ozone-chlorine	SBEG
	Indoor Mean±SD (Range)	Outdoor Mean±SD (Range)	Indoor Mean±SD (Range)	Indoor Mean±SD (Range)
CF	40.74±21.37 (0.2~101.7)	141.94±90.81 (N.D~300.9)	28.54±15.57 (0.2~64.9)	27.31±14.84 (6.8~55.6)
BDCM	2.99±1.74 (N.D~10.5)	4.64±2.19 (N.D~8.5)	2.39±0.93 (N.D~5.7)	9.81±6.17 (1.6~36.9)
DBCM	0.49±1.21 (N.D~5.6)	0.61±1.42 (N.D~4.4)	0.19±0.71 (N.D~3.4)	9.10±6.72 (N.D~30.1)
BF	N.D	N.D	N.D	18.76±12.29 (N.D~36.2)
TTHMs	43.77±22.29 (1.0~104)	146.70±90.62 (N.D~305)	30.61±16.08 (N.D~68)	64.52±27.36 (12~135)

15.57)이나, SBEG(27.31±14.84)보다 높은 편이었다(p=0.0003). BDCM 농도는 SBEG가 9.81±6.17 μg/l로 염소소독(2.99±1.74), 오존-염소소독(2.39±0.93)보다 높게 나타났다(p<0.0001). 또한 DBCM 농도는 SBEG이 9.10±6.72 μg/l로 염소소독(0.49±1.22), 오존-염소소독(0.19±0.71)보다 높게 나타났다(p<0.0001). Bromoform는 SBEG이 18.76±12.29 μg/l이고 염소소독, 오존-염소소독을 실시한 수영장에서는 검출되지 않았다. TTHMs의 농도를 살펴보면 SBEG이 64.52±27.36 μg/l로 가장 높고, 염소소독(43.77±22.29), 오존-염소소독(30.61±16.08) 순으로 나타났다(p<0.0001). 위의 결과와 같이 실내수영장의 3가지 소독방법에 따른 THMs과 TTHMs의 발생량에는 유의한 차이가 있었다.

Chu와 Mieuwenhuijsen[5]은 염소소독을 실시한 실내수영장 물의 chloroform 45~212 μg/l, BDCM 2.5~23 μg/l, DBCM 0.67~7 μg/l, bromoform 0.67~2 μg/l 그리고 TTHMs 57~222.5 μg/l, Fantuzzi 등[6]은 chloroform 6.1~68.4 μg/l, BDCM 2~5.3 μg/l, DBCM 0.4~5.4 μg/l, bromoform N.D~1.3 μg/l 그리고 TTHMs 17.8~70.8 μg/l이었다. 또한 Chambon 등[7]과 Aggazzotti 등[8]은 chloroform의 농도가 83~665 μg/l, 9~179 μg/l이었고 다른 연구들[9-11]에서는 위의 연구들 보다 chloroform의 농도가 낮았다. THMs 발생량은 수영장의 원수의 수질, 수질관리 방식의 차이 및 이용객 현황 등을 고려할 경우 본 연구와 다른 연구들의 THMs과 TTHMs 농도를 직접비교하는 것은 어렵다. 하지만 chloroform이 BDCM, DBCM 그리고 bromoform 보다 많이 발생하였고 농도범위도 넓게 분포하는 것을 알 수 있었다. 오존과 염소를 함께 사용하는 실내수영장 물의 chloroform 농도는 Jo와 Weisel[12]의 연구와 같이 오존-염소소독에서 chloroform의 발생량이 염소소독보다 낮음을 알 수 있었다. 그러나 SBEG와 염소를 이용하여 물을 소독한 경우 Gonzalez[13]는 Coto Laurel plant의 TTHMs의 발생량을 조사하였는데 SBEG는 67 μg/l, 염소소독은 95 μg/l이었다. 그리고 SBEG로 전처리한 경우 TTHMs과 5종의 haloactic acid의 발생량이 50% 정도 감소하는 경향을 보였다. Goodrich[14]의 연구에서는 chloroform의 발생량이 염소소독 보다 SBEG가 더 낮았지만, TTHMs의 경우는 SBEG에서 발생한 브롬치환 THMs의 농도가 높기 때문에 염소소독에서 발생하는 TTHMs와 비슷하였다. 본 연구에서는 Goodrich의 연구와 같이 chloroform의 발생량이 염소소독 보다 SBEG가 더 낮았지만, TTHMs은 염소소독 보다 SBEG가 더 많이 발생하였는데 이는 수영장 물이 계속 순환하고 SBEG에서 살균물질의 생성을 위해 소금을 투입하게 되므로 수영장 물 속에 브롬이온의 성분이 계속 높아지므로 브롬 치환 THMs의 발생량이 더 많아진 것으로 생각한다.

염소소독을 실시하는 실내수영장과 실외수영장의 THMs의 농도를 살펴보면 chloroform, BDCM, DBCM 모두 실외수영장이 높게 나타났고 bromoform는 실내·외수영장 모두 검출되지 않았다. TTHMs의 농도를 보면 실외수영장이 실내수영장의 약 3배 이상 검출되었다. 이는 실내수영장의 대부분이 자동염소주입장치를 사용하는 반면 실외수영장의 대부분은 수동으로 염소를 주입하고 있었고 실외수영장의 특성상 여름철만 사용하기 때문에 실내수영장에 비하여 유지보수가 미비하고 시설이 노후화되었기 때문이라 생각한다.

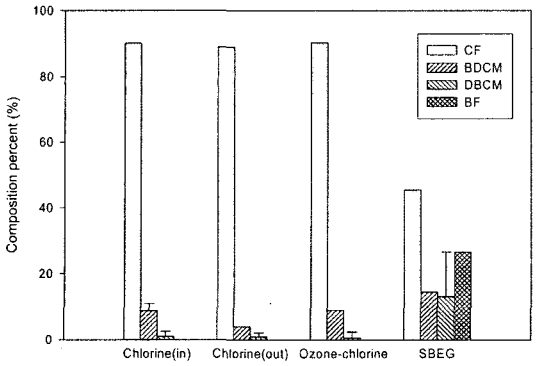

Fig. 1. Composition of THMs in the different disinfection methods at swimming pool water.

2. 소독방법에 따른 THMs의 구성성분의 특성

Fig. 1은 실내 · 외 수영장 물의 소독방법에 따른 THMs의 구성성분을 나타내었다. 염소소독, 오존소독을 한 실내 · 외 수영장 물의 THMs의 구성을 보면 chloroform이 90% 이상으로 가장 많고 그 다음으로는 BDCM, DBCM 순이었다. 하지만 SBEG으로 소독한 수영장 물은 chloroform가 42%, bromoform 28.9%, BDCM 15.1% 그리고 DBCM 14% 순으로 구성되었다.

Chang 등[15]의 연구에 따르면 서울시 수돗물의 수도꼭지수의 THMs의 구성 비율은 chloroform 79.6%, BDCM 20.4%이었다. 서울시 수영장의 67%는 수영장 욕조수의 원수로 수도꼭지수를 사용하고 있는 것으로 조사되었으며, 수도꼭지수와 수영장 물의 THMs 구성 비율에는 차이가 있었다. 황 등[16]의 연구에 따르면 군산지역 3개의 실내수영장에서 chloroform의 생성비중이 64.8%인 것으로 나타났으며, 본 연구와도 상당한 차이가 있었다. 이러한 차이의 주요인들로는 서울과 군산지역의 원수 수질, 수영장 수질 관리 방식 및 이용객의 현황에 따른 유기대사물의 분비양상 등을 고려할 수 있을 것이다. SBEG의 THMs 구성이 염소소독, 오존-염소소독과 다른 이유는 사용하는 소금에 함유된 브롬이온의 성분으로 바닷물 1 kg에 대하여 브롬 이온이 약 0.0646 g 함유되어 있으며,[17] 소금의 종류에 따라 다르지만 우리나라에서 가장 많이 나오는 천일염의 경우 브롬화마그네슘이 0.23% 함유되어 있고 천일염을 정제한 대부분의 소금에서는 그 성분이 상당히 많이 조절되어 진다.[18] 이와 같이 수영장에서 사용되는 소금의 종류에 따라 브롬 치환 THMs의 발생량에 영향을 준다고 사료된다.

Table 3. Spearman correlation coefficients between THMs concentrations

Disinfection method	Site		CF	BDCM	DBCM	BF	TTHMs
Chlorine	Indoor	CF	1	0.461**	0.104	.	0.989**
		BDCM		1	0.602**	.	0.547**
		DBCM			1	.	0.222
		BF				.	.
		TTHMs					1
	Outdoor	CF	1	0.060	-0.543*	.	0.999**
		BDCM		1	0.571*	.	0.060
		DBCM			1	.	-0.543*
		BF				.	.
		TTHMs					1
Ozone -chlorine	Indoor	CF	1	0.572**	0.009	.	0.995**
		BDCM		1	0.406**	.	0.626**
		DBCM			1	.	0.085
		BF				.	.
		TTHMs					1
SBEG	Indoor	CF	1	0.252	-0.085	-0.252	0.491**
		BDCM		1	0.896**	0.652**	0.913**
		DBCM			1	0.885**	0.754**
		BF				1	0.577**
		TTHMs					1

*p<0.05, **p<0.01.

3. 소독방법에 따른 THMs 항목과 TTHMs간의 상관관계

다음으로 소독방법에 따른 THMs(chloroform, BDCM, DBCM, bromoform)과 TTHMs의 spearman rank 상관관계를 Table 3에 나타내었다. 염소소독을 한 실내·외수영장, 오존-염소소독 한 실내수영장의 경우 chloroform는 TTHMs과 r=0.989, 0.999, 0.995로 강한 상관관계를 보였다($p<0.01$). 염소소독과 오존-염소소독을 한 실내수영장의 경우 BDCM과 TTHMs, chloroform과 BDCM, 그리고 BDCM과 DBCM도 중간정도의 상관관계를 나타내었다. 그러나 SBEG의 경우 BDCM과 TTHMs의 r=0.913으로 가장 강한 상관관계를 그리고 BDCM과 DBCM, DBCM과 bromoform의 r=0.896, 0.885의 상관관계를 나타내었다($p<0.01$).

Chu와 Mieuwenhuijsen[5]은 chloroform과 TTHMs, BDCM과 DBCM의 상관계수가 r=1.0, 0.9로 본 연구보다 강한 상관관계를 보였다($p<0.01$). SBEG을 이용하여 소독한 수영장 물의 THMs과 TTHMs의 상관관계가 염소소독, 오존-염소소독과는 다르게 가장 비슷한 THMs사이에 강한 상관관계를 나타내고 있는데 이는 Krasner 등[19]과 Whitaker 등[20]의 연구와 같이 염소처리한 물의 브롬농도가 증가함에 따라서 chloroform에서 BDCM으로 BDCM에서 DBCM으로 DBCM에서 bromoform으로 전환하기 때문으로 TTHMs중 브롬 치환된 THMs의 구성비율이 클수록 BDCM과 DBCM, BDCM과 TTHMs 사이에 강한 상관관계를 나타내고 있었다.

4. 소독방법에 따른 TTHMs의 생성인자

THMs의 생성은 pH, 유리잔류염소, 총유기탄소량(TOC) 그리고 $KMnO_4$ 소비량등에 영향을 받는 것으로 알려져 있다. Table 4와 5는 소독방법에 따른 THMs 생성인자의 특성과 spearman rank 상관관계를 나타내었다. 염소, 오존-염소소독을 실시한 실내수영장의 경우 pH, TOC, $KMnO_4$ 소비량과 chloroform, TTHMs과

Table 4. The values of pH, free chlorine residulas, TOC and $KMnO_4$ consumption by different disinfection methods

Disinfection method	Site	pH	Free chlorine residuals (mg/*l*)	TOC (mg/*l*)	$KMnO_4$ consumption (mg/*l*)
Chlorine	Indoor	7.6±0.42	0.7±0.39	4.3±9.51	3.9±2.37
	Outdoor	7.6±0.30	0.6±0.27	2.7±2.41	4.1±2.53
Ozone-chlorine	Indoor	7.5±0.39	0.4±0.21	3.7±10.39	3.4±2.60
SBEG	Indoor	7.7±0.25	0.4±0.20	3.4±2.59	7.7±0.25

Table 5. Spearman correlation coefficients of THMs and other factors

Disinfection method	Site		CF	BDCM	DBCM	BF	TTHMs
Chlorine	Indoor	pH	0.453**	0.245*	0.246*	.	0.463**
		Free chlorine residual	0.236*	0.124	0.032	.	0.241*
		TOC	0.479**	-0.022	-0.029	.	0.445**
		$KMnO_4$ consumption	0.486**	0.147	0.072	.	0.467**
	Outdoor	pH	-0.393	0.139	0.539*	.	-0.393
		Free chlorine residual	0.262	0.382	0.054	.	0.262
		TOC	0.433	-0.023	-0.285	.	0.433
		$KMnO_4$ consumption	0.465	-0.060	-0.223	.	0.465
Ozone -chlorine	Indoor	pH	0.278**	0.151	0.121	.	0.293**
		Free chlorine residual	0.114	-0.057	0.041	.	0.116
		TOC	0.414**	-0.025	-0.010	.	0.403**
		$KMnO_4$ consumption	0.553**	0.157	-0.006	.	0.544**
SBEG	Indoor	pH	0.565**	0.266	0.110	0.030	0.404*
		Free chlorine residual	0.166	0.106	-0.068	-0.321	0.053
		TOC	0.859**	0.073	-0.205	-0.335	0.265
		$KMnO_4$ consumption	0.254	0.082	0.094	0.053	0.105

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

양의 상관관계를 나타내었다($p<0.01$). 또한 수중의 유기물의 지표항목인 $KMnO_4$ 소비량은 TOC보다 상관관계가 더 크게 나타났다. SBEG로 소독한 수영장 물은 pH와 chloroform, TOC와 chloroform가 양의 상관관계가 있었고, 상관계수 $r=0.565$, 0.859로 나타내었다($p<0.01$). Suffet 등[21]은 비특이적 유기물 측정지표들이 THMs생성과의 높은 상관성을 보여주지 못한 다고 보고 하였으며 황[22]은 수영장 물에 대해 주요 수질측정지표들과 THMs생성과의 상관관계를 검토한 결과 $KMnO_4$ 소비량과 THMs생성과 상관관계가 가장 높고 다른 측정지표들과 THMs생성과의 매우 미미한 상관관계가 있음을 보고하였다. 본 연구에서도 Suffet 등,[21] 황[22] 그리고 황 등[23]의 연구들과 같이 염소소독, 오존-염소소독 한 실내수영장의 THMs과 THMs 생성인자들 사이에는 양의 상관관계를 나타내었지만 강한 상관관계를 나타내지는 않았다.

5. 외국의 수영장 욕조수 수질기준에 따른 chloroform와 TTHMs의 부적합 현황

수영장 욕조수의 수질기준을 살펴보면 소독부산물인 THMs의 기준을 정하고 있지 않다. 외국의 수영장 욕조수 수질기준에 따르면 독일은 chloroform 20 μg/l, 일본은 TTHMs 200 μg/l이다. 외국의 수영장 욕조수 수질기준에 따른 chloroform, TTHMs의 부적합 현황은 Table 6, 7과 같다.

독일의 수질기준에 따른 chloroform의 부적합 현황을 보면 염소소독을 한 실내수영장은 62곳, 실외수영장은 16곳이었으며, 오존-염소소독은 55곳 그리고 SBEG는 15곳이었다. 일본의 수질기준에 따른 TTHMs의 부적합 현황을 보면 염소소독을 한 실외수영장이 5곳이었으며, 염소, 오존-염소 그리고 SBEG로 소독한 실내수영장에서는 모두 기준이내였다.

6. 수영장에서 THMs의 노출에 의한 인체에 대한 영향

본 연구의 수영장 욕조수의 THMs 자료를 이용하여 성인 남성과 여성을 대상으로 경구투입, 피부 접촉 그리고 호흡을 통한 인체 위해성 평가를 실시하였다. 인체 위해성 평가는 용량-반응 평가를 통해 산출된 발암잠재력값(Cancer Potency Factor)과 노출평가에서 산정된 인체노출량을 곱하여 추정한다. THMs의 노출경로에 따른 발암잠재력값은 Table 8에 나타내었고, 인체노출량 평가를 위한 가정들은 다음과 같다. 평균 체중 남성 70 kg, 여성 60 kg, 평균 체표면적 남성 1.94 m^2, 여성 1.69 m^2, 수영 중에 입으로 들어오는 물의 양은 50 ml, 수영 노출 주기 0.41시간/일 (1시간/일×3일/7일×50주/52주), 평균 수영 노출 기간 35년, 평균 수명 70년, 평균 호흡률 1 m^3/시간 그리고 호흡을 통한 노출 평가에는 chloroform만을 고려하여 휘발계수 0.5 l/m^3을 적용하였다.[24-26]

소독방법에 따른 THMs의 인체 위해성 평가 결과는 Table 9에 나타난 바와 같이 cancer risk assessment에서 남성, 여성의 경구투입과 피부접촉에 의한 risk가 10^{-6}보다 작았지만, 호흡을 통한 risk는 10^{-6}보다 크게 나타났다. Aggazzotti 등[8]은 12곳의 실내수영장의 물 속 chloroform의 농도는 9~179 μg/l이고 공기 중의 농도는 16~853 μg/m^3으로 물 속의 chloroform와

Table 8. Cancer potency factor

Parameters	PF_{oral} $(mg/kg/day)^{-1}$	PF_{dermal} $(mg/kg/day)^{-1}$	$PF_{inhalation}$ $(mg/kg/day)^{-1}$
CF	6.10×10^{-3}	3.05×10^{-2}	8.10×10^{-2}
BDCM	6.20×10^{-2}	6.33×10^{-2}	-
DBCM	8.40×10^{-2}	0.14	-
BF	7.90×10^{-3}	1.32×10^{-2}	-

source : http://rais.ornl.gov/cgi-bin/tox/TOX_select?select=nrad

Table 6. Number of excess German swimming pool water standard in CF

Disinfection methods	Chlorine		Ozone-chlorine	SBEG
Site	Indoor	Outdoor	Indoor	Indoor
No. of samples	72	17	86	25
No. of excess standard	62	16	55	15
Percentage (%)	86.1	94.1	63.9	60

Table 7. Number of excess Japanese swimming pool water standard in TTHMs

Disinfection methods	Chlorine		Ozone-chlorine	SBEG
Site	Indoor	Outdoor	Indoor	Indoor
No. of samples	72	17	86	25
No. of excess standard	0	5	0	0
Percentage (%)	0	29.4	0	0

Table 9. Average cancer risk from THMs at indoor swimming pools water

Gender	Exposure route	Disinfection method: Chlorine	Ozone-chlorine	SBEG
Male	Ingestion route	6.99×10^{-8}	4.98×10^{-8}	2.48×10^{-7}
	Dermal absorption	6.79×10^{-7}	4.75×10^{-7}	8.27×10^{-7}
	Inhalation exposure	4.85×10^{-6}	3.40×10^{-6}	3.25×10^{-6}
Female	Ingestion route	8.19×10^{-8}	5.84×10^{-8}	2.90×10^{-7}
	Dermal absorption	6.92×10^{-7}	4.84×10^{-7}	8.38×10^{-7}
	Inhalation exposure	5.66×10^{-6}	3.97×10^{-6}	3.80×10^{-6}

공기 중의 chloroform는 r = 0.2785의 상관관계를 나타냈다($p<0.009$). 혈액의 chloroform농도와 물 속의 chloroform 농도 (r = 0.48), 수영장 실내 공기의 chloroform 농도 (r = 0.74)와 각각의 양의 상관관계가 있는 것으로 나타났다. 하지만 호기내의 chloroform농도와 수영자의 나이와는 음의 상관관계를 나타냈다(r = −0.310, $p<0.009$). 이는 수영자의 나이가 어릴수록 chloroform의 흡수가 빠름을 알 수가 있었다. Jo와 Weisel[12]은 40분간의 수영으로 인한 호기내의 CF농도는 수영 전의 호기 농도에 비해 64~266배 정도 높게 나타났다. 수영전의 호기 농도 범위가 0.07~0.19 μg/m^{3}인 반면 40분간의 수영 후 호기 농도 범위는 10.5~21.3 μg/m^{3}로 나타났다. Fantuzzi 등[6]은 수영장 물의 THMs 농도는 17.8~70.8 μg/l이고 수영자의 공기 중 THMs의 농도는 25.6±24.5 μg/m^3(engine room), 26.1±24.3 μg/m^3(reception area), 58.0±22.1 μg/m^3(pool side)로 나타났다. 호기시 THMs의 농도와 수영장 공기 중의 THMs의 농도가 서로 상관관계가 있는 것으로 나타났다(r = 0.57, $p<0.001$). 실내수영장에 근무자는 일반인에 비하여 공기 중의 THMs에 높게 노출됨을 알 수 있었다. 그리고 Levesque 등[27]은 실내수영장의 물과 공기로 인한 chloroform의 인체부담을 측정하였다. 1시간 동안 수영을 한 후 chloroform의 노출량은(65 μg/kg/day) 10분간의 샤워시 노출량(0.46 μg/kg/day)의 141배 높게 나타났다. 수영장 물의 소독으로 발생하는 THMs는 수영인구가 많을수록 물의 난류의 증가로 인하여 물 속의 THMs의 휘발되는 양이 많아짐으로 공기 중의 THMs 농도가 높아지고 이로 인하여 수영 후 호기 내 THMs의 양이 증가함을 알 수 있었다. 또한 개인의 생리적 상태, 운동의 강도 그리고 수영기술의 숙련도에 따라 개개인의 흡수되는 THMs의 양이 달랐다.[6,7,9,10]

현재 우리나라는 수영이 생활체육 종목으로 보편화되면서 수영 인구의 증가와 함께 유아에서부터 노인에 이르기까지 수영장 물의 THMs을 비롯한 소독부산물의 노출 횟수가 많을 것으로 생각된다. 따라서 수영장 물의 THMs을 비롯한 소독부산물 발생량에 대한 연구 및 위해성 평가가 필요하다고 여겨진다. 또한 수영장 종사자 및 이용자들에게 보다 쾌적하고 위생적인 환경을 조성하고 THMs의 노출을 줄이기 위해서는 수영장 물의 THMs의 규제가 필요하다고 생각한다.

IV. 결 론

본 연구에서는 수영장 물의 오염물질 산화와 살균을 목적으로 하는 소독방법에 따른 부산물로 생성되고 있는 THMs 생성특성과 발생현황 및 THMs 생성인자를 파악하여 다음과 같은 결과를 도출하였다.

1. 실내수영장의 소독방법에 따른 THMs의 각각의 평균농도를 살펴보면, chloroform는 염소소독에서 40.74±21.37 μg/l 가장 높았고, BDCM, DBCM 그리고 BF는 SBEG에서 9.81±6.17 μg/l, 9.10±6.72 μg/l, 18.76±12.29 μg/l로 가장 높게 나타났다. TTHMs의 평균농도를 살펴보면 SBEG는 64.52±27.36 μg/l로 가장 높고, 염소소독 43.77±22.29 μg/l, 오존-염소소독 30.61±16.08 μg/l순으로 나타났다.

2. 염소소독을 실시한 실내·외수영장과, 오존-염소소독을 실시한 실내수영장 물의 THMs의 구성을 보면 chloroform가 90% 이상으로 가장 많고 그 다음으로는 BDCM, DBCM 순이었다. 하지만 SBEG으로 소독한 실내수영장 물은 chloroform가 42%, bromoform 28.9%, BDCM 15.1% 그리고 DBCM 14% 순으로 구성되었다.

3. 염소소독을 실시한 실내·외수영장과, 오존소독을 실시한 실내수영장 물의 경우 chloroform는 TTHMs과의 상관계수가 0.989~0.999로 강한 상관관계를 가지며, SBEG의 경우 TTHMs과 BDCM의 r = 0.913으로

가장 강한 상관관계를 나타내었다.

4. 염소소독을 실시한 실내수영장과, 오존-염소소독을 실시한 실내수영장의 경우 pH, TOC, $KMnO_4$ 소비량과 chloroform, TTHMs과는 양의 상관관계를 나타내었다($p<0.01$). SBEG은 pH와 chloroform, TOC와 chloroform가 양의 상관관계를 나타내었다($p<0.01$). 또한 pH와 TTHMs도 양의 상관관계를 나타내었다($p<0.05$).

참고문헌

1. 고재근, 나상준 : 지역별에 따른 종목별 스포츠 참여 인구수 예측. 한국체육학회지, **40**(4), 371-384, 2001.
2. 서금아쿠아(주), http://www.seokumaqua.com.
3. 먹는 물 수질 공정시험법, http://www.nier.go.kr:8181/113905.hwp.
4. APHA, AWWA, WEF : Standard Method of the Examination of Water & Wastewater, 20th ed., American Public Health Association, Washington, 6-41, 1998.
5. Chu, H. and Nieuwenhuijsen, M. J. : Distribution and determinants of trihalomethane concentrations in indoor swimming pools. *Occupational and Environmental Medicine*, **59**, 243-247, 2002.
6. Fantuzzi, G., Righi, E., Predieri, G., Ceppelli, G., Gobba, F. and Aggazzotti, G. : Occupational exposure to trihalomethanes in indoor swimming pools. *The Science of the Total Environment*, **264**, 257-265, 2001.
7. Chambon, P., Taveau, M., Morin, M., Chambon, R. and Vial, J. : Estimates on the formation of chloroform in wastewater treatment plants and swimming pools. *Water Research*, **17**, 65-69, 1983.
8. Aggazzotti, G., Fantuzzi, G., Righi, E. and Predieri, G. : Environmental and biological monitoring of chloroform in indoor swimming pools. *Journal of Chromatography A*, **710**, 181-190, 1995.
9. Aggazzotti, G., Fantuzzi, G., Righi, E. and Predieri, G. : Blood and breath analyses as biological indicators of exposure to trihalomethanes in indoor swimming pools. *The Science of the Total Environment*, **217**, 155-163, 1998.
10. Eridger, L., Kühn, K. P., Kirsch, F., Feldhues, R., Fröbel, T., Nohynek, B. and Gabrio, T. : Pathways of trihalomethane uptake in swimming pools. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, **207**, 571-575, 2004.
11. Cammann, K. and Hübner, K. : Trihalomethane concentrations in swimmers' and bath attendants' blood and urine after swimming or working in indoor swimming pools. *Archives of Environmental Health*, **50**(1), 61-65, 1995.
12. Jo, W. K. and Weisel, C. P. : Chloroform body burden from swimming in indoor swimming pools. *J. of the Korean Environmental Science Society*, **4**(4), 357-365, 1995.
13. On-Site Mixed Oxidants Demonstrate Benefits in Puerto Rico, http://www. wcponline.com/PDF/0902gonzalez.pdf.
14. Controlling Disinfection By-Products and Microbial Contaminants in Small Public Water Systems, http://www.epa.gov/ORD/NRMRL/pubs/600r01110/600r01116chapll.pdf.
15. Chang, H. S., Lee, D. W., Kim, C. M., Lee, I. S. and Park, H. : Characteristics of disinfected byproducts in tap water of Seoul. *Journal of the Industrial Technology*, **12**, 97-102, 2004.
16. 황갑수, 이영남, 김강주, 여성구, 김진삼 : 군산지역용·폐수중의 THMs 생성 및 배출에 관한 연구. 한국환경위생학회지, **27**(4), 41-46, 2001.
17. 브롬, http://cont1.edunet4u.net/cobac2/period/Br.html.
18. 소금, http://kdap.empas.com/qna/3421839.
19. Krasner, S. W., Sclimenti, M. J. and Means, E. G. : Quality degradation : Implications for DBP formation. *Journal of American Water Works Association*, **86**(6), 34, 1994.
20. Whitaker, H., Nieuwenhuijsen, M. J., Best, N., Fawell, J., Gowers, A. and Elliot, P. : Description of trihalomethane levels in three UK water suppliers. *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology*, **13**, 17-23, 2003.
21. Suffet, I. H., Brenner L., Coyle, G. T. and Cairo, P. R. : Evaluation of the capability of GAC and XAD-2 resin to remove trace organics from treated drinking water. *Environmental Science and Technology*, **12**(12), 1315-1322, 1978.
22. 황갑수 : 군산시 가정 수돗물 및 실내 풀장수에 있어 THMs 생성에 관한 연구. 한국환경위생학회지, **26**(1), 78-84, 2000.
23. 황갑수, 이장훈 : J정수장의 하절기 THMs 생성현황과 분말활성탄 처리에 의한 저감효과. 한국환경위생학회지, **25**(3), 1-6, 1999.
24. Estimation of the Health Risks and Safety from Exposures to Chlorine and Chloroform for Swimmers in Pools, http://c3.org/chlorine_knowledge_center/RA_Cl2-CHCl3_pools-fnl.pdf.
25. Lee, S. C., Guo, H., Lam, S. M. J. and Lau, S. L. A. : Multipathway risk assessment on disinfection byproducts of drinking water in Hong kong. *Environmental Research*, **94**, 47-56, 2004.
26. Hsu, C. H., Jeng, W. L., Chang, R. M., Chien, L. C. and Han, B. C. : Estimation of potential lifetime cancer risks for trihalomethanes from consuming chlorinated drinking water in Taiwan. *Environmental Research Section A*, **85**, 77-82, 2001.
27. Levesque, B., Ayotte, P. and LeBlanc, A. : Evaluation of dermal and respiratory chloroform exposure in humans. *Environmental Health Perspectives*, **102**, 1082-1087, 1994.