

# 실내수영장 수질개선 방안 조사

유희종\*, 허은진, 조혜린, 한지은, 민성은, 성지홍, 박종수, 권문주  
인천보건환경연구원 수질보전과

## Improvement strategy of water quality in indoor swimming pool

Hee-Jong Yoo\*, Eun-Jin Huh, Hye-Rin Cho, Ji-Eun Han  
Seong-Een Min, Ji-Hong Seong, Jong-Su Park, Mun-Ju Kwon

Division of Water Quality Conservation, Incheon Research Institute of Public Health and Environment

### Abstract

Swimming pools are used for recreational, rehabilitation purposes and physical activity and therefore it is imperative that the water are maintained at safe levels to protect the health of bathers. Chlorine has been widely used for this purpose, usually by addition in the solid form or liquid form. An important drawback of chlorination is the formation of disinfection by-products (DBPs), some of which represent threats to human health. This study investigated the variability and toxicity of DBPs in relation to chlorination of swimming pool water over a period of one year in Incheon area. The significant correlations was obtained between DBPs and other water quality factors such as combined residual chlorine and  $\text{KMnO}_4$  consumption. There was significant variability in DBPs levels in pools supplied by the same municipal drinking water network, suggesting that both individual pool characteristics and management strategies play a major role in DBP formation. The toxicity result showed that chronic daily index (CR) for CF, BDCM and DBCM was detected not hazardous.

Survey result showed that specific care should be taken to assure cleanliness of water quality and circulation through media filters to reduce levels of various contaminants. In conclusion, the control of volatile DBPs in pools and reasonal free chlorine usage are needed to protect swimmers from elevated exposures of harmful compounds.

**Key words** : Swimming pool, Chlorination, Disinfection by-products, Toxicity

## I. 서론

경제발전과 생활수준 향상 등으로 건강에 관한 관심이 증가하면서 수영장을 이용하는 시민이 꾸준히 증가하는 추세다. 피부에 직접 접촉하는 수영장 물은 장기간 재사용되고 이에 따른 유기물 및 미생물 개체수 증가가 우려돼 이를 예방하기 위한 지속적인 소독 및 수질관리가 필수하다. 국내 수영장의 물의 소독은 주로 염소 소독법과 오존 소독법을 병행하며, 이 중 가장 널리 사용되는 방법은 염소 소독법이며, 최근에는 염분을 이용한 인공적으로 해수를 제조한 후 전기분해를 통해 복합 살균물질을 발생시켜 미생물을 소독하고 있다. 염소 소독은 경제성과 살균효과가 뛰어나 널리 쓰이고 있는 방법이지만(Lee J. Ha KT et al., 2006), 소독과정에서 트리할로메탄(Trihalomethanes, THMs), 할로아세트산(Haloacetic acids, HAAs), 클로랄하이드레이트(Chloral hydrate, CH), 할로아세트니트릴(Haloaceticnitrile, HANs) 등 여러 소독부산물 발생할 수 있다(Fantuzzi G et al., 2001).

THMs 생성농도는 유기물 등 전구물질농도, 염소 사용량, 온도 및 pH와 관련이 있으며, 휘발성이 높아 물에서 공기 중으로 휘발된다고 알려져 있다. 소독부산물 중에서 THMs가 가장 많이 발생하고 이중에서도 발암성이 의심되는 물질인 클로로포름이 가장 큰 비중을 차지하고 있어 이에 대한 관심이 높아지고 있다(Weaver WA et al., 2009).

최근 THMs의 인체 위해 영향을 평가 관련하여, 음용수 섭취과정에서 노출될 수 있는 THMs의 발암위험성에 대한 보고(Lee SC et al., 2004; Wang W et al., 2007), 수영장 물을 섭취하였을 때 THMs의 발암 위험성에 대한 보고가 있다.<sup>1)</sup> 음용수와 수영장의 THMs에 의한 발암위험성 평가에서 94 %가 수영에 의한 영향이었다고 보고하였고(Panyakapo M et al., 2

008), 샤워 또는 목욕을 할 때 노출되는 발암 위험성이  $4.3 \times 10^{-6} \sim 7.6 \times 10^{-6}$ 으로 보고하였다(Chowdhury S et al., 2009).

또한 수영장의 염소농도가 높을수록 피부 및 눈의 피해 경험률이 증가하였고, 이는 수영장수 미생물들의 증식을 막고 물을 청결하게 유지하기 위해 사용하는 소독제가 자극성 피부염을 일으킨다는 보고(Rycroft RJ et al., 1983; Kelsall HL et al., 2001)와 같이 상대적으로 덜 높은 염소농도는 더 많은 증상 경험률과 연관성이 있을 것으로 알려졌다. 또한 독일 등 선진 외국에서는 수영장 물의 화학적 검사항목 중 유리잔류염소, 결합잔류염소, pH,  $\text{KMnO}_4$  소비량과 함께 THMs를 규제하고 있지만 국내에서는 THMs 항목은 규제하고 있지 않다.

지금까지 수돗물 관련한 소독부산물 연구는 활발히 진행되었으나, 교체주기가 길고 일정농도의 유리잔류염소 농도가 유지하기 위해 지속적으로 약품을 투입하는 수영장의 소독부산물의 발생특성에 관한 연구는 부진한 실정이다.

본 연구는 수영장 물의 소독방법에 따른 생성되는 THMs, HAAs 등 소독부산물 발생특성을 파악하여 수영장 이용객에게 보다 안전하고 쾌적한 물환경을 제공하기 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

## II. 재료 및 방법

### 2.1. 연구기간 및 대상

2019년 2월부터 11월까지 인천지역의 공공기관이 운영하는 실내 수영장 25개소를 대상으로 현장방문을 통한 시설 점검 후 시료를 채취하여 분석하였다. 또한 미리 작성된 설문지를 배포하고, 수영장 이용객의 동의를 얻어 성별 연령 수영장 선호도 등 총 13항목으로

구성된 자기기입식 설문조사를 실시하였다.

## 2.2. 시료채취 및 전처리

수영장 욕조 수면 아래 40 cm 깊이에서 무균 채수병에 2 L 씩 채취하여 냉장보관 후 시료를 분석하였다. THMs 분석용 시료는 미리 증류수로 세척 후 유리병에 기포가 발생하지 않도록 하여 시료 40 mL 당 6N-HCl을 4방울을 추가하고 아비산나트륨을 넣어 잔류염소를 제거하고 밀봉 후 냉장 보관하였다.

## 2.3. 조사항목 및 방법

유리잔류염소는 분해하기 쉬우므로 채수 후 바로 시료 10 mL와 DPD Free Chlorine 시약을 첨가한 후 20초간 흔들어 용해시킨 후 pocket colorimeter (Model : 46700-00, HACH, Japan) 로 측정하였다. pH,  $\text{KMnO}_4$  소비량은 먹는물 공정시험법에 준하여 측정하였다. 총 유기탄소는 시료에 인산을 수방울 첨가 후 sample dispenser (APG 64, analytik jena AG, Germany)에 의해 측정하였다. (Table 1)에서 알 수 있듯이, 소독부산물 분석의 경우, THMs는 US EPA 524.2, HANs와 CH는 EPA 551.1, HAAs는 US EPA 552.2의 방법으로 실험하였다. THMs는 purge & trap 법에 따라 시료를 주입하여 GC/MS로 분석하였고 HANs, CH는 50mL의 시험용액을 MTBE 3mL로 액액추출하여 GC/ECD로 분석하였다. HAAs는 40mL의 시험용액을 pH<1의 조건에서 MTBE 4mL로 액액추출 후 10%  $\text{H}_2\text{SO}_4$ /methanol으로 유도체화하여 과포화된  $\text{NaHCO}_3$ 용액으로 중화하고 GC/ECD로 분석하였다. 주요수질인자와 소독부산물간 상관성분석 및 군집분석은 통계프로그램 SPSS Win ver. 10을 이용하였다.

Table 1. Analytical items and method.

Water parameter	Analytical method
pH	Electrode
Turbidity	Nephelometric method
$\text{KMnO}_4$ consumption	Titration
TOC	TOC Analyzer
Free residual chlorine	DPD
THMs	P&T-GC-MS
HAAs	GC(ECD)
CH	
HANs	

## III. 연구결과 및 고찰

### 3.1. 수영장수 수질현황

(Fig. 1)에서 보는 바와 같이 실내 수영장의 총 237개 시료를 대상으로 수질분석 결과, 평균농도는 pH 7.6 (6.4~8.4), 탁도 0.35 NTU (0.06~0.95)를 나타냈고,  $\text{KMnO}_4$  소비량 2.3 mg/L (0.3~79.7), 유리잔류염소 0.71 mg/L (불검출~9.36)로 조사되었다.

유기물 지표인  $\text{KMnO}_4$  소비량은 3월부터 9월까지 지속적으로 감소세를 보이다 11월경에 다소 증가세를 보였고, 이와 반대로 소독제로 사용되는 유리잔류염소는 3월부터 꾸준히 증가하다 11월경에 감소세를 보였다. pH는 오르내림을 반복하는 가운데 11월에 가장 높았고, 탁도는 일정하게 봄철에서 가을로 감소세를 이어갔다.

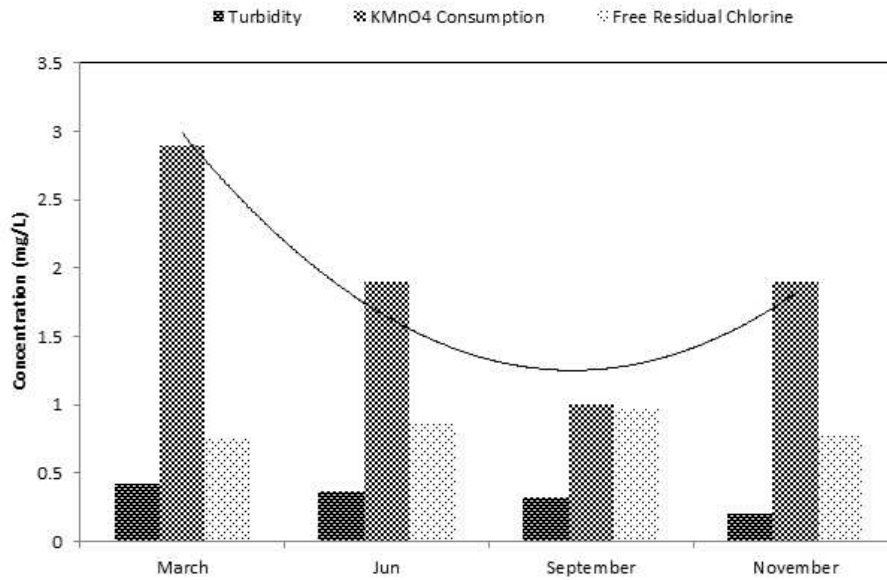


Fig. 1. Average water quality concentrations of swimming pools in Incheon.

### 3.2. 수영장수의 소독부산물 생성 특성

(Table 2)에서 보는 바와 같이 음용수 또는 수영장수의 소독과정에서 생성되는 대표적이고 중요한 소독부산물은 THMs을 비롯하여 HAAs, HANs, CH 등이 존재하며, 그 외 Haloacetaldehydes, Haloketones 등 원수 중에 포함된 물질과 소독방식 등에 따라 다양하다. 소

독부산물 중 HAAs는 휴믹 또는 펄빅 등 자연 유기물(Natural Organic Matters, NOM)과 염소 처리반응에 의해 DCAN(Dichloroacetic acid), TCAN(Trichloroacetic acid), MBAA(Monobromoacetic acid), DBMA(Dibromoacetic acid), MCAA(Monochloroacetic acids) 등 5종이 주로 생성된다.

Table 2. List of investigated compounds and chemical structure.

	Items	Structural Formula	LD50 (mg/kg)	Cancer Classification
THMs	Chloroform (CF)	$\text{CHCl}_3$	2,000	B2
	Bromodichloromethane (BDCM)	$\text{CHBrCl}_2$	900	B2
	Dibromochloromethane (DBCM)	$\text{CHBr}_2\text{Cl}$	1,200	C
	Bromoform (BF)	$\text{CHBr}_3$	1,400	B2
HAAs	Monochloroacetic acid (MCAA)	$\text{ClCH}_2\text{COOH}$	76	-
	Monobromoacetic acid (MBAA)	$\text{BrCH}_2\text{COOH}$	100	-
	Dichloroacetic acid (DCAA)	$\text{Cl}_2\text{CH}_2\text{COOH}$	2,820	B2
	Trichloroacetic acid (TCAA)	$\text{Cl}_3\text{CH}_2\text{COOH}$	400	C
	Dibromoacetic acid (DBAA)	$\text{Br}_2\text{CH}_2\text{COOH}$	-	-
HANs	Dichloroacetonitrile (DCAN)	$\text{C}_2\text{HCl}_2\text{N}$	245	-
	Trichloroaceticnitrile (TCAN)	$\text{C}_2\text{Cl}_3\text{N}$	245	C
	Dibromoacetonirile (DBAN)	$\text{C}_2\text{HBr}_2\text{N}$	2415	C
CH	Chloral hydrate	$\text{Cl}_3\text{CCH}(\text{OH})_2$	479	C

(Fig. 2)에서 나타난 바와 같이, 염소소독에 의해 발생하는 소독부산물 평균농도는 HAAs 0.089 mg/L(0.001~0.991), CH 0.021 mg/L (0.0005~0.1679), THMs 0.019 mg/L (0.004~0.095), DCAN 0.0045 mg/L (0.0005~0.0239) 및 DBAN 0.0012 mg/L (0.0005~0.0062) 순으로 조사되었다.

월별 분포를 알아보면 HAAs는 3월 0.022 mg/L, 6월 0.039 mg/L, 9월 0.038 mg/L, 11월 0.204 mg/L를 보여 지속적인 증가세를 보였으며, CH는 3월 0.0220 mg/L에서 출발해 약간의 감소세를 보이다 11월 0.0337 mg/L로 높아졌

다. 반면 THMs은 미량 증가세를 보였고, DCAN 및 DBAN은 다른 소독부산물에 비해 낮은 농도를 보였다.

특히 HAAs와 CH는 지속적인 소독에 의해 대체로 높은 농도를 보였으나, THMs은 수영장 가온 및 발차기로 인한 폭기 효과 등에 의해 공기 중으로 휘발돼 친수성 소독부산물에 비해 수중 농도가 낮게 나타났다. 수영장 원수는 일반적으로 수돗물을 사용하고 있는데 수중에 소독제 주입량 및 소독부산물 농도가 시설별로 차이가 컸다.

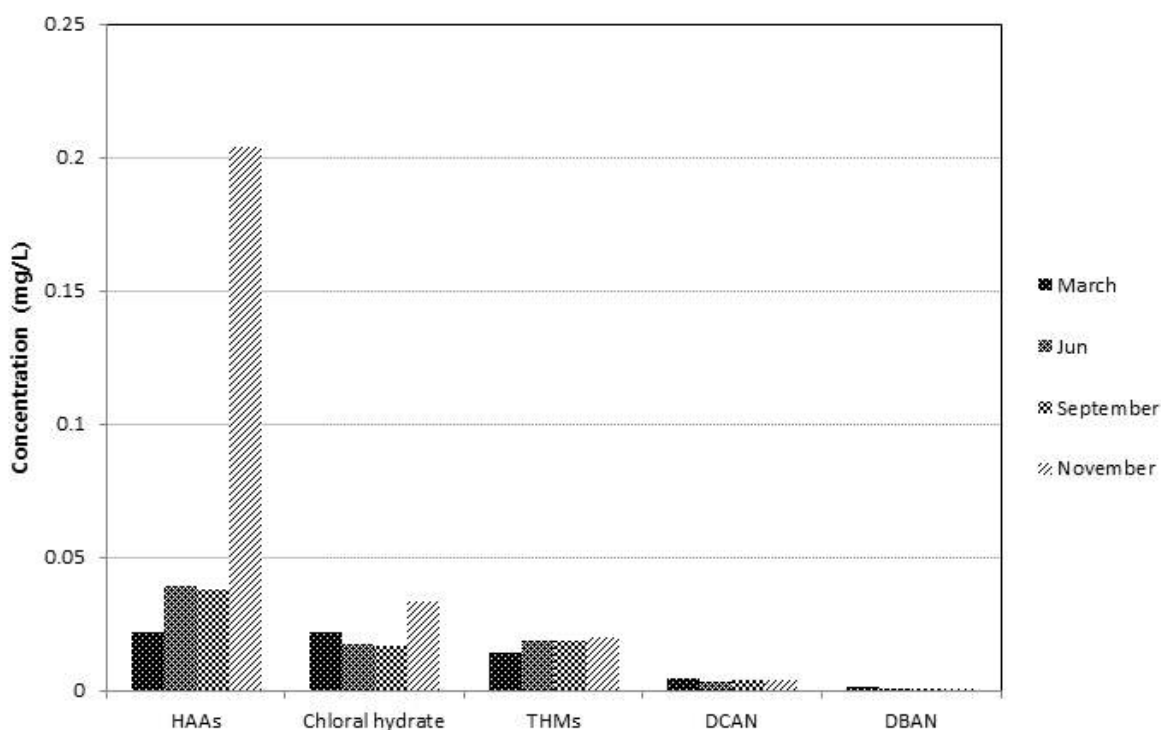


Fig. 2. The average concentration of different categories of DBPs by month.

(Fig. 3)은 월별 소독부산물물 구성비율을 분석한 결과로서, 가장 높은 농도를 보인 HAAs는 3월 34 %, 6월 49 %, 9월 48 %, 11월 78 %로 증가세를 보인 반면, 두 번째로 높은 Chloral hydrate 34 %, 22 %, 22 %, 13 %로 점차 감소세를 보였으며, THMs은 3월~9월은 유사한 분포를 보이다가 11월에 8 %로 감소하였다. 수영장수의 HAAs가 THMs에 비해 상당히 높은 비율로 생성되는 이유는 수영장수의 염소주입량과 잔류염소량이 수도꼭지수보다 높기 때문이다.

소수성물질인 THMs은 CF의 헨리상수가 크기 때문에 공기 중으로 휘발돼 수중에서 제거되는 반면, 친수성인 HAAs는 휘발이나 열에 의해 분해가 잘 되지 않고 농축된다. 즉 수영장수의 순환과정에서 지속적으로 염소가 주입되면서 HAAs는 잔류성이 높아 농축되어 증가

하는 반면 THMs 는 휘발되어 상대적으로 작은 비율을 차지하게 된다. 이외에도 수영장수는 사용하는 과정에서 원수의 pH, 유기물의 특성 등을 포함한 수질특성이 변화되며, 일반적으로 HAAs가 THMs 보다 반응속도가 빠르기 때문에 판단된다. 그 외에도 CH와 HANs는 비교적 적은 비율을 차지하였다.

염소계 소독부산물로서 대표적인 물질인 THMs은 탄탄소의 할로겐치환화합물이며, CF, BDCM, BDCM, BF 등 4종류가 중요하며, 이를 합한 TTHMs값이 주요지표로 사용되고 있다. 수영장 원수로 사용되는 수돗물의 TTHMs은 0.003~0.068 mg/L(평균 0.025 mg/L)로서 계절에 따라 하절기가 동절기에 비해 일반적으로 높은 특징이 있다.

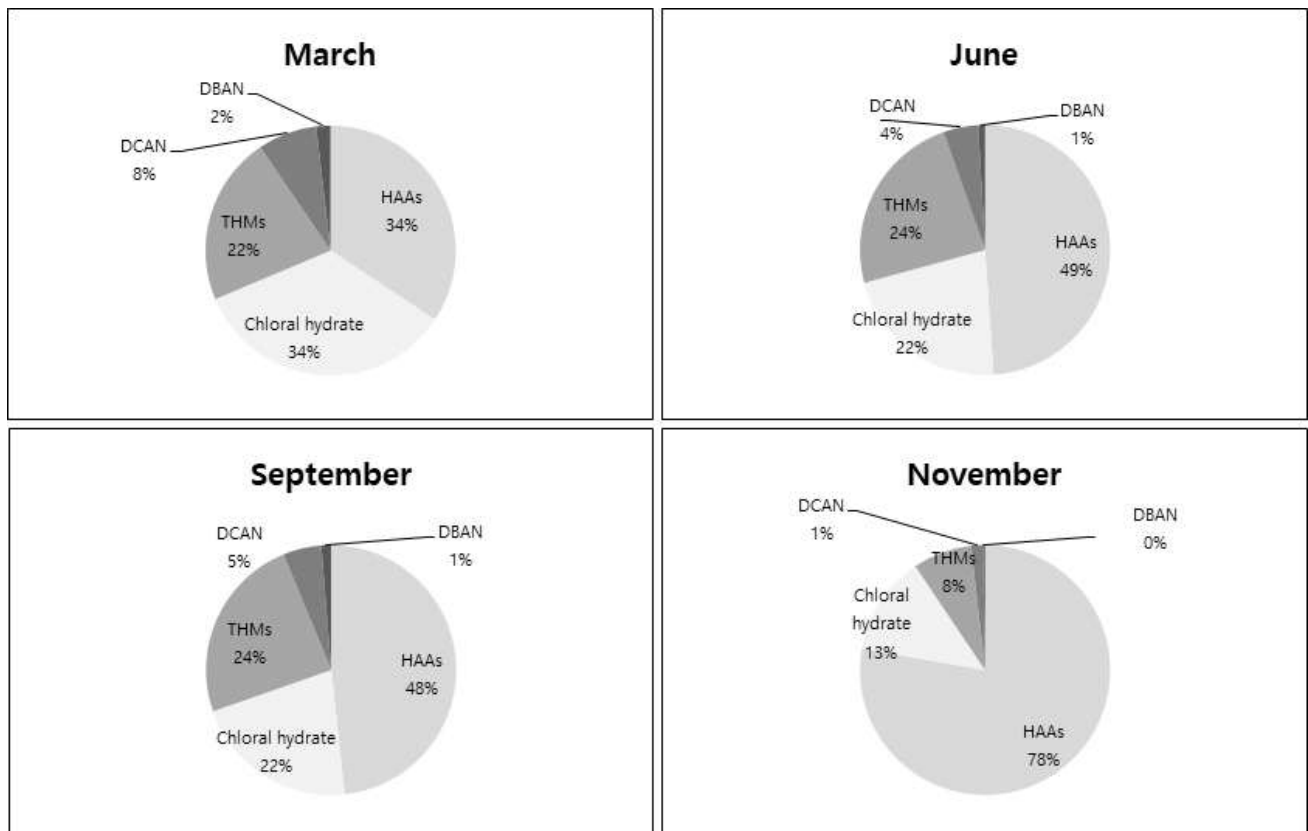


Fig. 3. Pie chart of the ratio of different DBPs by month.

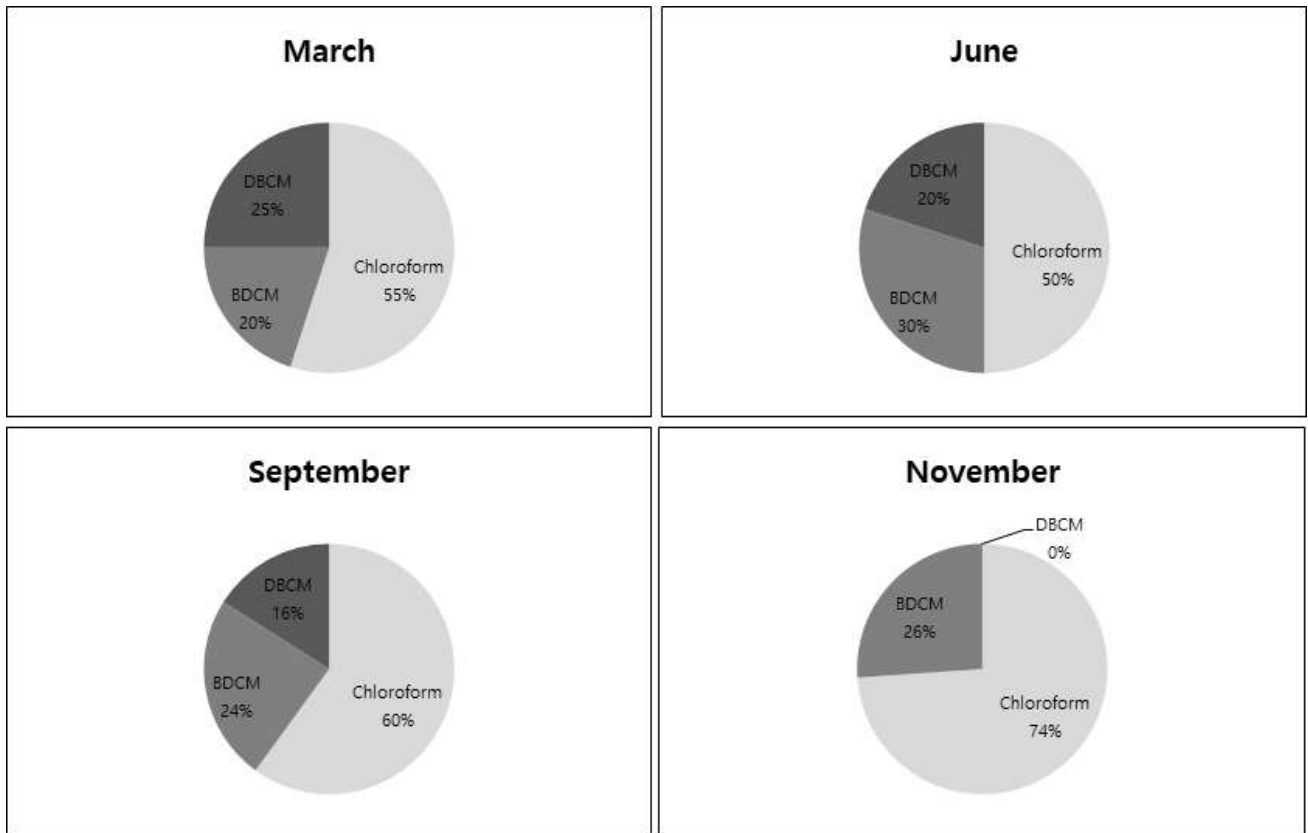


Fig. 4. Pie chart of the ratio of THMs by month.

수영장수의 THMs 조사결과, (Fig. 4)에서 보는 바와 같이 THMs을 구성하고 있는 전체 성분분포는 CF(79 %)이 대부분을 차지하였고, BDCM(16 %), DBCM(5 %)이 그 뒤를 이었다. 월별 THMs 구성 비율을 분석한 결과로서, 가장 높은 농도를 보인 THMs는 3월 55 %, 6월 50 %, 9월 60 %, 11월 74 %로 전반적으로 증가세를 보인 반면, 두 번째로 높은 BDCM 20 % ~ 30 %, DBCM 16 % ~ 26 %의 분포를 보였다.

### 3.3. 통계분석 활용한 수질특성 패턴 분석

#### 3.3.1 주요 수질인자간 상관성 분석

(Table 3)에서는 수영장 수중의 과망간산칼륨 소비량, 결합잔류염소와 소독부산물간 상관성을 보여주고 있다. 소독부산물 생성영향 인자인 과망간산칼륨 소비량은  $HCHO(0.778^{**})$

와 결합잔류염소( $0.558^{**}$ )와 양의 상관성을 보였으며, 기타 소독부산물과는 별다른 상관성을 보이지 않았다. 소독제로 사용되는 결합잔류염소는 THMs( $0.322^{**}$ ) 및 CH( $0.325^{**}$ )와 양의 상관성을 보인 반면, HAAs 등 기타 소독부산물과는 별다른 상관관계를 보이지 않았다.

한편 소독부산물 상호간 분석결과, THMs-HAAs( $0.233^{**}$ ), CH-HAAs( $0.491^{**}$ ),  $HCHO-CH(0.710^{**})$ , THMs-CH( $0.293^{**}$ ) 등으로 높은 상관성을 보였다. 소독부산물 생성의 주요 영향인자는 수중 유기물질 농도와 특성, 소독제 종류, 투입량과 잔류량, pH, 수온 등 여러 요인이 있으나 그 중에서 유기물질의 농도와 특성이 소독부산물의 생성에 가장 많은 영향을 미치는 것으로 보고되고 있다(H.P. Kim et al., 2002; S.J Judd et al., 2003).

Table 3. Pearson correlation coefficients of water quality parameter.

Parameter	KMnO <sub>4</sub> Consumption	HAAs	THMs	CH	HCHO	DBAN	Combined Chlorine
KMnO <sub>4</sub> Consumption	1.000						
HAAs	0.023	1.000					
THMs	0.255	0.223**	1.000				
CH	0.105	0.491**	0.293**	1.000			
HCHO	0.778**	-0.034	0.002	0.710**	1.000		
DBAN	0.260	-0.051	0.221	0.036	-0.094	1.000	
Combined Chlorine	0.555**	0.111	0.322**	0.325**	0.191	-0.054	1.000

\* Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

\*\* Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

### 3.3.2 군집분석을 활용한 수질패턴 분석

(Fig. 5)는 대표적인 9개수영장을 대상으로 수질인자(결합잔류염소, TOC, THMs, HAAs, CH)을 활용하여 수질특성이 유사한 그룹별로 분류한 군집분석의 덴드로그램을 보여주고 있다.

그룹-A는 비교적 수질이 안정적인 경향을 보인 7개 수영장(A1-CB, F1-SC, I2-JG, J2-GG, B1-MB, L3-YG, M3-DS)이 포함된 반면, 2개 수영장(K2-GB, P3-SS)이 속한 그룹-B는 (Fig. 6)에서와 같이 결합잔류염소 및 TOC 농도가 높았고, 이에 따라 생성되는 소독부산

물(HAAs, THMs, CH) 역시 높은 함량을 보였다.

계절별 평균 수영장 이용객수는 50,586명이었으며, 이용객수가 적절한 수영장은 비교적 수질관리가 양호하였으나, 아주 적은 수영장의 경우는 소홀한 시설관리 문제가 있었고, 많은 경우는 이용객에 의한 수질오염물질이 높게 나타나 적극적인 수질관리가 요구되었다. 본 분석기법은 여러 수질인자의 패턴분류를 시도한 것으로 향후, 시료채취 장소 및 시간 등을 다양화하면 수영장 운영현황 해석에 도움을 줄 수 있을 것이다.

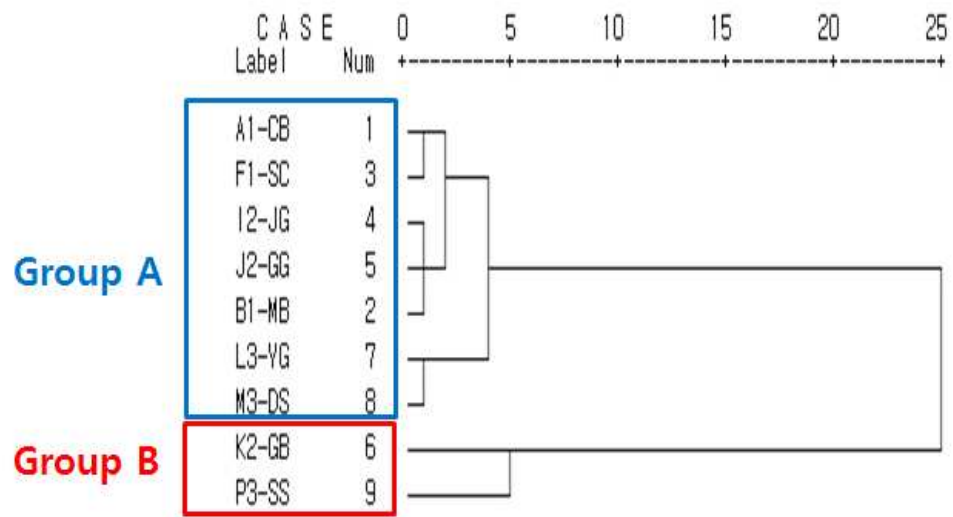


Fig. 5. Swimming pool pattern from cluster analysis for five water quality parameters.

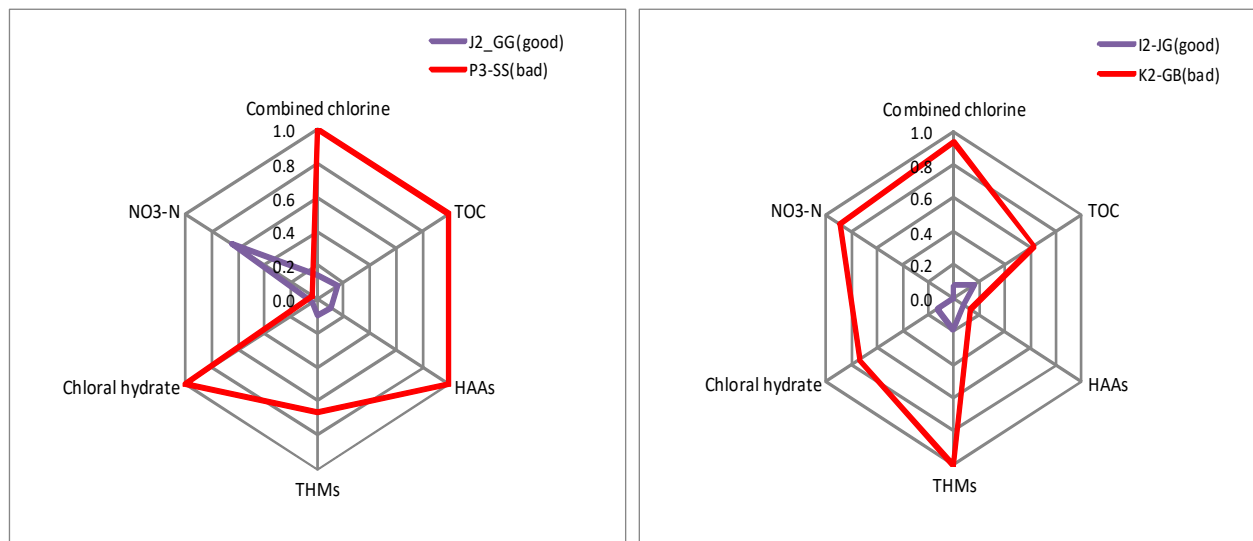


Fig. 6. Comparison of water quality of high area (left) and low area (right) by swimming pool users.

### 3.4. 소독부산물 노출로 인한 인체위해성 평가

수영장 육조수의 THMs 자료를 이용하여 성인 남성을 대상으로 경구 및 호흡 경로를 통한 인체 위해성 평가를 실시하였다. 인체 위해성 평가는 비발암성의 경우 노출평가에서 산정된 인체노출량(Chronic daily intake, CDI)을 용량-반응 평가를 통해 산출된 독성참고치(Reference dose, RfD)로 나누어 위해지수(hazard index, HI)를 계산하였다.

발암성의 경우 발암잠재력값(slope factor, SF)에 인체노출량을 곱하여 초과발암 위해도

를 계산하였다. THMs의 노출경로에 따른 독성참고치와 발암잠재력값은 (Table 4)에 나타내었고, 인체 노출량 평가를 위한 가정들은 다음과 같다. 평균체중 69.2 kg, 수영 중에 입으로 들어오는 물의 양은 0.6 L/일, 평균 수영 일수 120 일/년, 평균 수영시간 50 분/회, 평균 수영주기 0.01 회/일, 평균 수영 노출기간 30년, 평균 수명 27776.5 일, 평균 호흡률 0.022 m<sup>3</sup>/분 그리고 호흡을 통한 노출 평가에는 chloroform 만을 고려해 휘발계수 0.5 L/m<sup>3</sup>을 적용하였다.

#### < 경구 및 호흡에 의한 비발암 위해성 평가 >

$$\text{위해지수(Hazard index, HI)} = \frac{\text{만성일일노출량}_{\text{경구}}}{\text{독성참고치}_{\text{경구}}} + \frac{\text{만성일일노출량}_{\text{호흡}}}{\text{독성참고치}_{\text{호흡}}}$$

#### < 경구 및 호흡에 의한 발암위해성 평가 >

$$\text{초과발암 위해도} = \text{만성일일노출량}_{\text{경구}} \times \text{slope factor}_{\text{경구}} + \text{만성일일노출량}_{\text{호흡}} \times \text{slope factor}_{\text{호흡}}$$

#### <일일평균 인체노출량 산출식>

$$\text{일일평균 노출량} \left( \frac{\text{mg}}{\text{kg} \cdot \text{day}} \right) = \frac{\text{오염물질농도} \left( \frac{\text{mg}}{\text{m}^3}, \frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) \times \text{접촉률} \left( \frac{\text{m}^3}{\text{day}}, \frac{\text{L}}{\text{day}} \right) \times \text{노출기간} \left( \frac{\text{day}}{\text{day}} \right) \times \text{흡수율}}{\text{평균체중} \left( \text{kg} \right) \times \text{평균기간} \left( \text{day} \right)}$$

$$\text{평생일일 평균노출량} \left( \frac{\text{mg}}{\text{kg} \cdot \text{day}} \right) = \frac{\text{오염물질농도} \left( \frac{\text{mg}}{\text{m}^3}, \frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) \times \text{접촉률} \left( \frac{\text{m}^3}{\text{day}}, \frac{\text{L}}{\text{day}} \right) \times \text{노출기간} \left( \frac{\text{day}}{\text{day}} \right) \times \text{흡수율}}{\text{평균체중} \left( \text{kg} \right) \times \text{평균수명} \left( \text{day} \right)}$$

$$\text{연령 보정 일일평균노출량} \left( \frac{\text{mg}}{\text{kg} \cdot \text{day}} \right) = \frac{\sum_i^N \text{일일평균노출량}_i}{\sum_i^N \text{평균기간}_i}$$

※ 국립환경과학원 고시 제2014-48호 「화학물질 위해성평가의 구체적 방법 등에 관한 규정」

Table 4. Reference dose (RfD) and slope factor (SF) for disinfection by-products.

Parameter	Reference dose mg/kg/day			Slope factor (mg/kg/day) <sup>-1</sup>		
	oral	dermal	inhalation	oral	dermal	inhalation
CF	$100 \times 10^{-2}$	$100 \times 10^{-2}$	$300 \times 10^{-2}$	$6.10 \times 10^{-3}$	$3.05 \times 10^{-2}$	$8.10 \times 10^{-2}$
BDCM	$200 \times 10^{-2}$	$200 \times 10^{-2}$	-	$6.20 \times 10^{-2}$	$6.33 \times 10^{-2}$	-
DBCM	$200 \times 10^{-2}$	$200 \times 10^{-2}$	-	$8.40 \times 10^{-2}$	0.14	-
BF	$200 \times 10^{-2}$	$200 \times 10^{-2}$	-	$7.90 \times 10^{-3}$	$1.32 \times 10^{-2}$	-

출처 : 이진 등, 제32권 제2호, 171-178, 한국환경보건학회지(2006)

Source : [http://rais.ornl.gov/cgi-bin/tox/TOX\\_select?select](http://rais.ornl.gov/cgi-bin/tox/TOX_select?select)

Table 5. Risk assessment results of disinfection by-products.

Parameter		CF	BDCM	DBCM
HI (total lifetime hazard index)		$2.00 \times 10^{-6}$	$3.00 \times 10^{-9}$	$3.00 \times 10^{-9}$
CR (life time carcinogenic risk)		$4.00 \times 10^{-9}$	$1.00 \times 10^{-9}$	$3.00 \times 10^{-10}$
CDI (Chronic daily intake)	ingestion	$2.00 \times 10^{-10}$	$6.00 \times 10^{-11}$	$6.00 \times 10^{-11}$
	inhalation	$5.00 \times 10^{-8}$	$1.00 \times 10^{-8}$	$3.00 \times 10^{-9}$

(Table 5)에서 알 수 있듯이, 수영장 소독 부산물 위해성 평가결과, CF, BDCM, DBCM 순으로 비발암위해성(HI)는  $2 \times 10^{-6}$ ,  $3 \times 10^{-9}$ ,  $3 \times 10^{-9}$ 으로 0보다 낮아 모두 위해하지 않았고 발암위해도(CR) 역시  $4 \times 10^{-9}$ ,  $1 \times 10^{-9}$ ,  $3 \times 10^{-10}$ 으로  $10^{-6}$ 보다 낮아 모두 위해하지 않는 것으로 나타났다.

수영장 물의 소독으로 발생하는 THMs는 수영인구가 많을수록 물의 난류증가로 인해 물속의 THMs 농도가 높아지고 이로 인해 수

영 중 호흡에 의해 THMs 양이 증가함을 알 수 있었다. 또한 개인의 생리적 상태, 운동강도 그리고 수영기술의 숙련도에 따라 개인에게 흡수되는 THMs 양이 차이가 났다. 현재 국내 생활체육활성화로 인해 수영인구가 증가해 유아에서부터 노인에 이르기까지 소독부산물의 노출횟수가 많아지고 있다. 따라서 수영장 물의 THMs를 비롯한 소독부산물 발생량에 대한 연구 및 이와 관련한 위해성 평가는 중요한 의미를 갖는다.

### 3.6. 수영장수 만족도 조사

(Fig. 7)은 시민 110명을 대상으로 한 설문 조사 결과, 이용자의 88 %가 여자였으며 연령 분포는 10대와 50대 이용자의 비율이 높았다. 수영장 이용횟수는 스포츠센터 수업 횟수와 유사한 주 1~2회가 가장 많았고, 수영장 선택 기준을 묻는 질문에는 수영장의 시설상태가 우선, 다음으로 집과의 거리 순으로 조사되었다. 이는 수영장수가 직접적으로 신체와의 접촉이 이루어지며, 때때로 음용까지 이루어진다는 특성에서 시설관리와 관련이 밀접한 수질 상태에 높은 관심이 나타났다. 세부적인

사항으로는 수영장수의 특성인 소독으로 인한 냄새 및 피부 접촉 시 불편함 등을 우려가 가장 많았다. 수영장 이용 시 불편함 정도는 매우만족(100점), 만족(80), 보통(60점), 불만족(40점)으로 분류하여 점수화하였으며, 평균 71.5점으로 만족수준을 보였다. 불편감의 원인을 구체화한 질문에는 냄새, 피부, 구강섭취 시 불안감 순으로 조사되었다.

(Fig. 8)은 수영장 이용시 불편사항을 조금 더 세부적으로 나타낸 결과로서 응답자의 반수 이상이 건강상 염려 여부를 나타냈다.

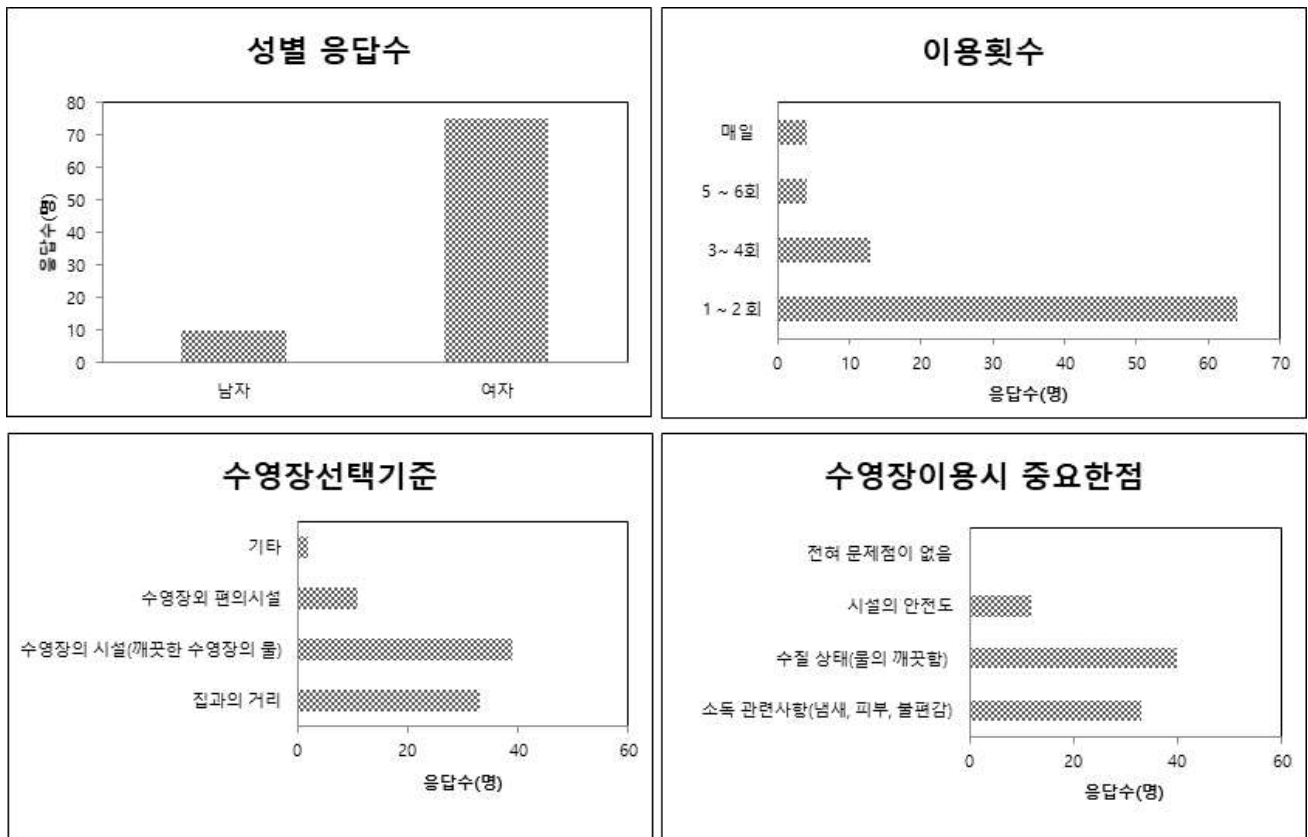


Fig. 7. Survey result (1) on the facility by swimming pool users.

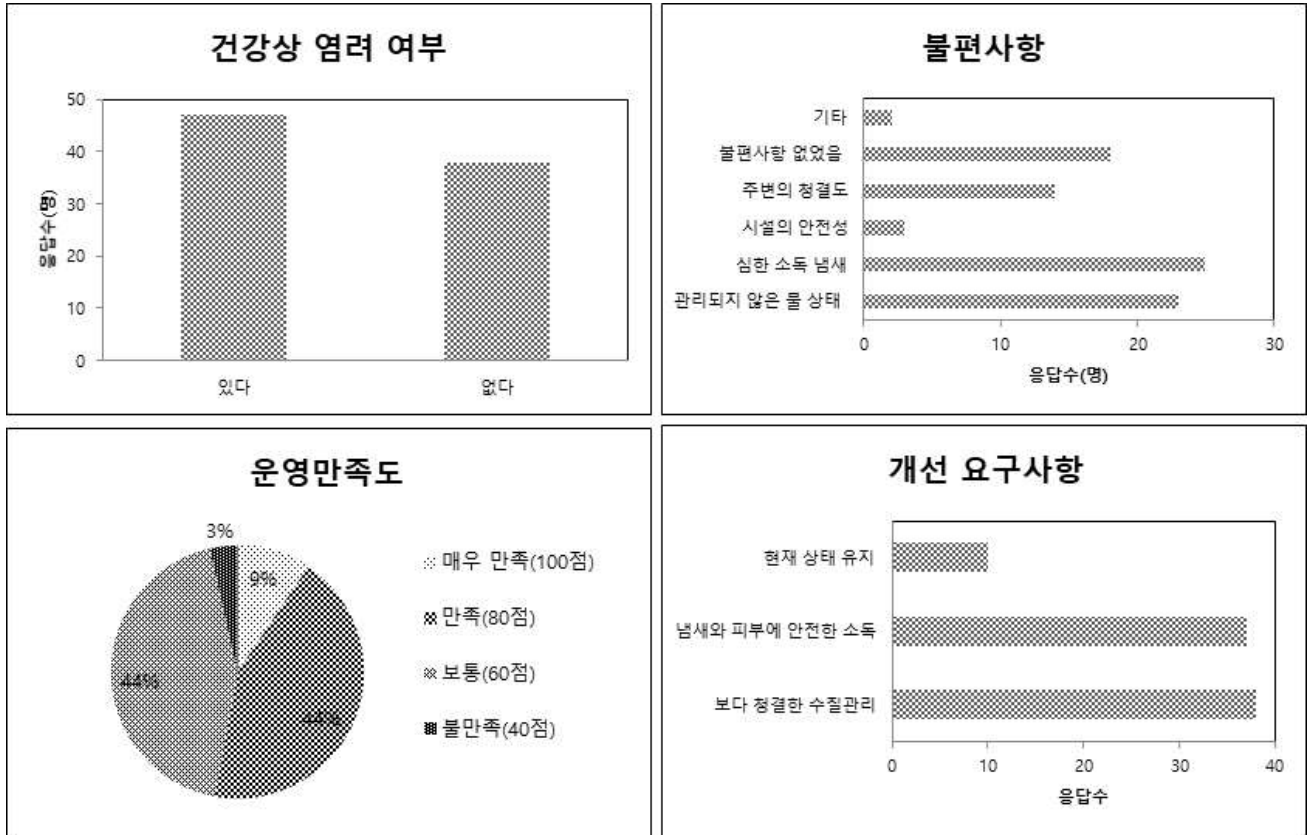


Fig. 8. Survey result (2) on the facility by swimming pool users.

수영은 생활에서 쉽게 접할 수 있는 생활 체육이며, 건강증진 및 여가활동으로 많은 시민들이 이용하고 있지만 이번 조사결과 수질에 대한 우려가 높았다.

이용자의 56 %가 수영장수의 심한 소독 냄새와 지속적으로 유지되지 않는 수질상태를 불편한 점으로 꼽았으며, 그에 따른 개선요구사항으로 청결한 수질관리 및 냄새와 피부에 안전한 적정수준의 소독관리를 88 %의 이용자가 선택하였다. 이와 같은 결과를 종합하여 이용자가 만족하는 운영관리의 핵심은 수질관리임을 확인 할 수 있었다.

#### IV. 결 론

2019년 2월부터 11월까지 인천지역의 공공

기관이 운영하는 실내 수영장 25개소를 대상으로 염소소독에 의해 생성되는 THMs, HAA s 등 소독부산물 발생특성을 파악하고, 수영장 선호도 등 총 13항목으로 구성된 설문조사를 실시하여 이용객에게 보다 안전하고 쾌적한 물환경을 제공하기 위해 본 연구를 수행하였다.

1. 소독부산물 중 HAAs와 CH는 지속적인 소독에 의해 전반적으로 높은 농도를 보인 반면, THMs은 수영장수 가온 및 발차기로 인한 폭기 효과 등에 의해 공기중으로 휘발돼 친수성 소독부산물에 비해 수중 농도가 낮게 나타났다. 또한 수영장에 따라 수돗물 원수를 사용하고 있지만 수중에 소독제 농도 및 소독부산물 농도가 시설별로 차이가 컸다.

- THMs 구성성분 분포분석 결과, 클로로포름 (79 %)이 대부분을 차지하였고, BDCM(16 %), DBCM(5 %)이 그 뒤를 이었다. 분포가 가장 높았던 CF 월별분포는 3월 55 %, 6월 50 %, 9월 60 %, 11월 74 %로 전반적으로 증가세를 보인 반면, 두 번째로 높은 BDCM 20 % ~ 30 %, DBCM 16 % ~ 26 %의 분포를 보였다.
- 소독부산물 상호간 상관성 분석결과, THMs-HAAs(0.233\*\*), CH-HAAs(0.491\*\*), HCHO-CH(0.710\*\*), THMs-CH(0.293\*\*) 등으로 높은 상관성을 보였으며, 이는 수중 유기물질 농도와 특성, 소독제 종류, 투입량과 잔류량, pH, 수온 등 여러 요인에 의해 각 소독부산물 생성에 영향을 미치며 또한 상호간에도 연관성이 있음을 알 수 있었다.
- 수질인자(결합잔류염소, TOC, THMs, HAAs, CH)을 활용하여 수질특성이 유사한 그룹별로 분류한 군집분석 결과, 이용객수가 적절한 수영장은 비교적 수질관리가 양호한 편인 반면, 아주 적은 수영장의 경우는 소홀한 시설관리 문제가 있었고, 많은 곳은 이용객에 의한 수질오염물질이 높게 나타나 적극적인 수질관리가 요구되었다.
- THMs 자료를 이용하여 성인 남성을 대상으로 경구 및 호흡 경로를 통한 소독부산물 인체 위해성 평가결과, CF, BDCM, DBCM 순으로 비발암위해성(HI)는  $2 \times 10^{-6}$ ,  $3 \times 10^{-9}$ ,  $3 \times 10^{-9}$ 으로 0보다 낮아 모두 위해하지 않았고, 발암위해도(CR) 역시  $4 \times 10^{-9}$ ,  $1 \times 10^{-9}$ ,  $3 \times 10^{-10}$ 으로  $10^{-6}$ 보다 낮아 모두 위해하지 않았다.
- 시민을 대상으로 설문조사 결과, 이용횟수는 대부분 주 1~2회로 나타났고, 수영장을 선택할 때 접근성과 시설의 편의성에 따라

결정됨을 확인할 수 있었다. 한편 소독으로 인한 냄새와 피부 문제 등을 우려하여 수질 관리를 가장 중요시 여겼다.

- 향후, 수영장 이용객 및 종사자에게 보다 쾌적한 수질환경 조성을 위해서 소독부산물 수질기준 설정 및 잔류염소 적정농도 유지 등이 요구되었다. 향후 소독부산물 분석자료를 활용하여 경구투입, 피부접촉 및 호흡을 통한 인체 위해성 영향 평가를 통해 시민들이 보다 쾌적하게 수영장을 이용할 수 있을 것으로 기대된다.

## V. 참고문헌

- Lee J., Ha KT, Joh KD. (2006). The characteristics of THMs production by different disinfection methods in swimming pools water, J Environ Health Sci., 32(2), 171-178.
- Fantuzzi G, Righi E, Predieri G, Ceppelli G, Gobba F, Aggazzotti G. (2001). Occupational exposure to trihalomethanes in indoor swimming pools, Sci Environ., 264(3), 257-265.
- Weaver WA, Li J, Wen Y, Johnston J, Blatchley MR, Blatchley ER 3rd. (2009). Volatile disinfection by-product analysis from chlorinated indoor swimming pools, Water Res., 43(13), 3308-3318.
- Lee SC, Guo H, Lam SM, Lau SL. (2004). Multipathway risk assessment on disinfection by-products of drinking water in Hong Kong, Environ Res., 94(1), 47-56
- Wang W, Ye B, Yang K, Li Y, Wang Y. (2007). Risk assessment on disinfection by-products of drinking water of different water sources and disinfection processes, Environ Int., 33(2), 219-225.

6. Panyakapo M, Soontornchai S, Paopuree P. (2008). Cancer risk assessment from exposure to trihalomethanes in tap water and swimming pool water, *J Environ Sci.*, 20(3), 372-378.
7. Chowdhury S, Champagne P. (2009). Risk from exposure to trihalomethanes during shower: probabilistic assessment and control, *Sci Total Environ.*, 407(5), 1570-1578.
8. Rycroft RJ, Penny PT. (1983). Dermatoses associated with brominated swimming pools, *Br Med J.*, 287(6390), 462.
9. Kelsall HL, Sim MR. (2001). Skin irritation in users of brominated pools, *Int J Environ Health Res.*, 11(1), 29-40.
10. H.P. Kim., J.H. Shim, S.H. Lee. (2002). Formation of disinfection by-products in chlorinated swimming pool water, *Chemosphere*, 46, 123-130.
11. S.J Judd, G. Bullock. (2003). The fate of chlorine and organic materials in swimming pools, *Chemosphere*, 51, 869-879.