



수돗물 신뢰도 향상을 위한 품질 인증 제도 도입

Introduction of Water Quality Certification System for Confidence Improvement of Tap Water

김진근*
Jinkeun Kim*

제주대학교 환경공학과
Dept. of Environmental Engineering, Jeju National University

ABSTRACT

Many advanced treatment processes have been introduced to WTPs, however, the consumer confidence on tap water is still low and the percentage of drinking water directly from the tap is less than 2 %. One of the methods to improve the credibility of tap water is to introduce a drinking water certification system. By introducing the system, water treatment processes can be optimized, which in turn, can significantly improve drinking water quality. In this paper, 6 water quality parameters(i.e., turbidity, CT, residual chlorine, geosmin, 2-MIB, Mn) which have significant influences on tap water quality and consumer confidence were identified, and their recommended guidelines were proposed. 3-Star or 5-Star certification can be awarded to the WTPs which have met the certification criteria. The drinking water certification system can be carried out as a voluntary program among drinking water suppliers.

Key words: Drinking water certification, Consumer confidence, Process optimization, Performance limiting factor

주제어: 수돗물 품질 인증, 소비자 신뢰도, 공정최적화, 성능제한인자

1. 서 론

국내 상수도는 1908년 서울시 뚝도정수장에서 최초의 수돗물을 생산 공급한 이래 급속한 성장을 하였다. 1990년 이전에는 상수원의 수질도 상대적으로 양호하여 상수도는 주로 양적 공급 위주로 확대되었다. 이후 1991년 낙동강 페놀오염사고, THMs 및 중금속 관련 언론 보도 등을 통해 수돗물 수질에 대한 국민의 신뢰도가 급격하게 저하되었고, 이는 상수도에서 수돗물 수질관리의 중요성이 부각되는 계기로 작용하기도 하였다.

1990년대 말 수돗물에서의 미생물 검출 관련 논란은 2002년 원생동물과 바이러스에 대한 정수처리기준이 도입되는 계기가 되었고, 통합여과수에 대한 탁도

기준이 시설용량에 따라 순차적으로 0.3 NTU까지 강화되고, 개별여과지에 대한 탁도 연속 측정 시스템도 도입되면서 수돗물의 안전성을 대폭 향상시키는 계기가 되었다(MOE, 2015; NIER, 2015).

최근에는 수돗물에서 심미적 영향물질인 맛냄새 제거를 위하여 수도권지역에서도 고도정수처리공정이 도입되고 있으며, 맛있는 물에 대한 가이드라인을 제정하는 등 건강하고 맛있는 물 공급을 위해 수도사업자는 지속적으로 노력하고 있다. 그러나 2013년 환경부의 수돗물 음용실태 조사 결과, 수돗물의 직접 음용률은 2% 내외로 고객이 체감하는 수도꼭지 수돗물에 대한 신뢰도와 음용률은 여전히 낮은 실정이다(MOE, 2015).

수돗물 음용실태 조사결과에서 수돗물 불신의 가장 큰 이유는 막연한 불안감으로, 심리적 불안감 해소를 위해서는 법적 수질기준의 만족과 더불어 수돗물 품질에 대한 체계적인 관리 및 평가, 투명한 수돗물 수

Received 7 May 2014; Revised 2 April 2015; Accepted 6 April 2015
*Corresponding author: Jinkeun Kim (E-mail: kjinkeun@jejunu.ac.kr)

pp. 155-163
pp. 165-169
pp. 171-182
pp. 183-192
pp. 193-202
pp. 203-209
pp. 211-222
pp. 223-231
pp. 233-241
pp. 243-249
pp. 251-259
pp. 261-269
pp. 271-281

질검사 결과 공개 등이 필요하다. 또한 구체적인 수돗물 불신이유로 수돗물 품질과 관련한 ‘냄새가 나서’, ‘녹물 등 이물질’로 답한 비율이 2012년에 25.2 %로 나타나서 수돗물 품질의 고급화가 수돗물 신뢰도 향상에 여전히 중요한 과제를 시사하고 있다.

식품 분야에서는 소고기 품질 등급제, 우유 품질 등급제, 친환경농산물 인증제도, HACCP 인증 제도 등 제품의 생산과 유통 과정에서의 품질에 대해 소비자가 쉽게 알 수 있도록 품질 평가제 또는 인증제를 실시함으로써 제품에 대한 신뢰도를 향상시키기 위하여 꾸준히 노력하고 있으며, 고품질 제품을 생산하기 위한 동기를 지속적으로 부여하고 있다.

대구는 2015년에 국내 최초로 한국상하수도협회와 함께 탁도 항목에 대한 수돗물 품질 인증 시범사업을 2년간 실시하기로 하여 수돗물의 품질개선과 소비자 신뢰도 향상을 위하여 노력하고 있다(Yonhap news, 2015). 한편, 서울시는 2010년 물맛에 영향을 주는 외부조건, 건강에 영향을 미치는 물의 조건 등에 대해 연구를 수행하고 Table 1과 같이 법적 수질기준

Table 1. Guidelines of tasty water in Seoul(SMG, 2010)

Parameter	Guidelines
Mineral	20-100 mg/L
Residual chlorine	0.1-0.3 mg/L
2-MIB	8.0 ng/L
Geosmin	8.0 ng/L
Turbidity	0.3 NTU
Copper	0.05 mg/L
Iron	0.05 mg/L
Temperature	4-150C
TOC	1.0 mg/L

보다 강화된 맛있는 물 가이드라인을 제시하였으나 연도별 항목별 달성률 실적 평가 및 향후 연도별 달성률 계획 등에 대한 구체화가 일부 미흡한 것으로 평가된다(SMG, 2010; 2015).

광역상수도를 운영관리하는 K-water는 1990년대부터 수돗물 목표제라는 제도 운영을 통해 법적 기준보다 한 단계 높은 수돗물 품질관리제도를 운영해왔으며, 2003년부터는 QPI(Quality Performance Index)라는 명칭으로 제도를 운영하고 있다. 제도 시행 초기에는 수돗물 생산과 관련한 가장 중요한 수질항목인 탁도, 잔류염소, 맛, 냄새 4개 항목에 대해 수질등급 평가를 실시하였고, 이후 소독부산물, 망간 등에 대한 항목을 추가하여 2014년 기준으로 Table 2와 같이 12개 항목에 대한 평가를 실시하고 있다(K-water, 2015).

일본은 수돗물에 대해 먹는물 수질기준과는 별도로 국가 차원에서 보다 엄격한 수질 관리 목표 설정 항목을 운영하고 있다. 일본의 수질기준 항목은 총 50 항목이며 수돗물에서 검출 가능성이 있는 등 수질 관리상 유의해야 할 27 항목에 대해서는 수질 관리 목표 설정 항목으로 운영하고 있다. 수도사업자는 법적 기준인 항목별 수질기준을 반드시 준수해야 하며, 수질 관리 목표 설정 항목의 목표치도 준수하기 위해 노력하고 있다. 예를 들면, 흑수의 원인이 되는 망간의 경우 일본의 법적 수질기준은 0.05 mg/L이지만 수질관리목표는 0.01 mg/L로서 수도사업자는 실질적으로 수돗물의 망간농도를 법적 기준보다 5배 강화된 0.01 mg/L 이하의 수준으로 관리하고 있다고 볼 수 있다(MHLW, 2015).

한편, 일본 동경도에서는 법적인 수질기준과 수질 관리 목표 설정 항목에 추가하여 자체 수질목표를 설정하여 운영하고 있다. 크게 냄새, 맛, 외관의 3개 부

Table 2. Guidelines for QPI in K-water(K-water, 2015)

Parameter	Turbidity	Residual Chlorine		CTcal /CTreq	geosmin	2-MIB
		Max. conc.	Equalization rate			
Guidelines	Combined filtered water turbidity less than 0.10 NTU 95 % of the monthly measurements(15 min time interval) with maximum turbidity equal to or less than 0.30 NTU	1.0 mg/L	±0.09 mg/L	> 1.1	10 ng/L for advanced treatment processes and 20 ng/L for conventional treatment processes	
Parameter	Al	Mn	THMs	HAAs	CH	CHCl ₃
Guidelines	0.05 mg/L	0.02 mg/L	80 ng/L	60 ng/L	20 ng/L	60 ng/L



분 8항목으로 구분되며, 냄새와 관련해서는 잔류염소, 트리클로라민, 취기강도(TON), 2-MIB, geosmin 5개 항목, 맛과 관련해서는 총유기탄소(TOC) 1개 항목, 외관과 관련해서는 색도와 탁도 2개 항목에 대한 수질목표치를 설정하여 운영하고 있다. 잔류염소 농도의 목표치는 공급과정에서 0.1~0.4 mg/L이며, 2012년 기준 61.2%를 달성한 것으로 나타났다. 2-MIB, geosmin의 경우 일본의 법적 수질기준은 10 ng/L이나 동경도의 수질목표는 0으로 설정하였으며, 2012년에 100% 달성한 것으로 나타났다. 탁도는 0.1도가 수질목표치이며, 2012년에 99.8%를 달성한 것으로 나타났다(TMG, 2015).

미국에서는 환경청(USEPA)의 수돗물 수질기준에 대한 관리와 더불어 많은 수도사업자들이 법적 수질기준을 상회하는 고품질의 수돗물 생산공급을 위하여 자율적인 협의체를 구성하여 노력하고 있다. 미국수도협회는 정수처리공정 운영관리 최적화, 수돗물 품질평가 등을 통한 수질안전성 향상을 위해 수도사업자간의 자발적인 참여를 바탕으로 Partnership for Safe Water(PSW)를 운영하고 있다. PSW에는 6개 먹는물 관련 조직과 다양한 수도사업자들이 자발적으로 동참하고 있다. 6개의 먹는물 관련 조직은 USEPA(U.S. Environmental Protection Agency), AMWA(Association of Metropolitan Water Agencies), AWWA(American Water Works Association), NAWC(National Association of Water Companies), ASDWA(Association of Safe Drinking Water Administrators), WRF(Water Research

Foundation)이다. PSW의 궁극적인 목적은 수돗물 생산 및 공급과정의 최적화를 통해 고품질의 수돗물의 생산과 공급이다. PSW는 1995년에 결성된 이래, 2013년 기준으로 미국내 230여개의 수도사업자가 회원으로 등록되어 있으며, 400개소 이상의 정수장이 PSW 프로그램에 참여하고 있다(AWWA, 2015).

PSW는 모두 4단계(Phase I, II, III, IV)를 통해 정수처리 효율향상을 도모하고 있다. PSW의 최고 단계는 Phase IV인데, 1,2,3단계를 통해 향상된 정수처리 효율에 근거하여 정수장의 수돗물 품질관리 수준을 평가하는 것이다. 수돗물 생산과 관련된 PSW Phase IV 인증은 탁도와 소독능의 2개 항목으로 평가하는데, 가장 중요한 요소는 여과수 탁도이다. 15분 간격으로 측정한 개별 여과수 탁도가 월간 0.1 NTU 이하 95% 이상이고, 최고탁도가 0.3 NTU 이하여야 한다. Phase III, Phase IV를 인증 받은 정수장에 대해서는 매년 6월에 개최되는 미국수도협회 연례총회에서 시상하고 있으며, 2013년 기준으로 미국내 정수장중 최고 수준의 수돗물 품질상태를 나타내는 Phase IV 가이드라인을 모두 만족하여 Excellence in Water Treatment Award를 수상한 정수장 12개소이다.

PSW에는 생산과 관련한 Treatment Program과 공급과 관련한 Distribution Program이 있으며, Treatment Program은 Fig. 1과 같은 4단계 절차로 구성되어 있다. PSW 운영을 위해서 수도사업자는 전년도 6.1일부터 당해 연도 5.31일까지의 자료에 대한 연차보고서(annual report)를 매년 6.30일까지 AWWA에 제출해야 하며, 제출된 자료는

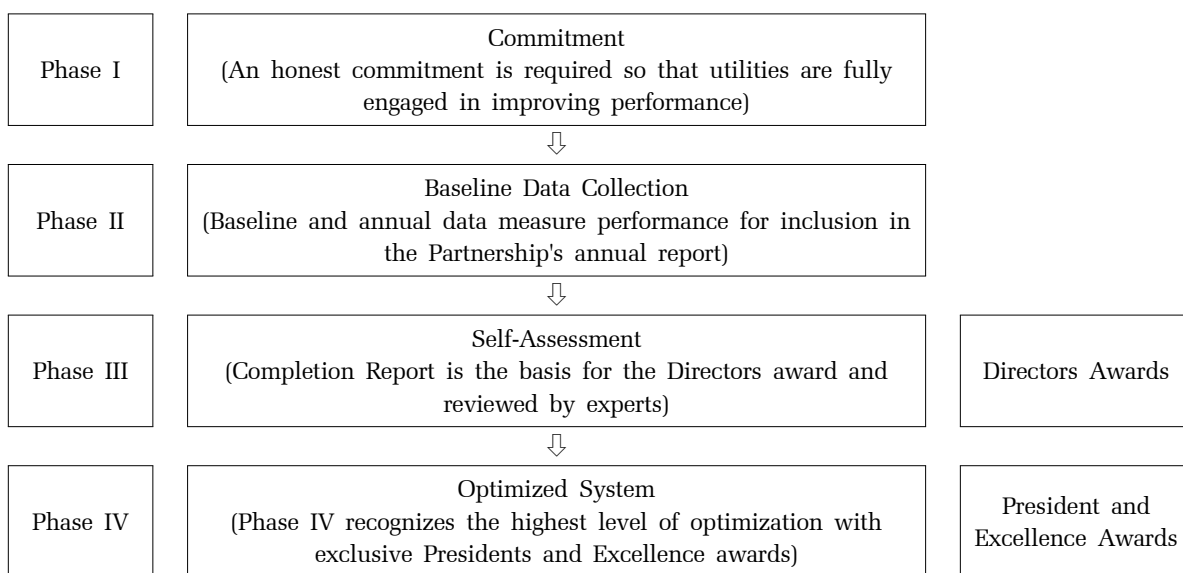


Fig. 1. Flowchart of AWWA partnership for safe water(AWWA, 2015).

pp. 155-163
pp. 165-169
pp. 171-182
pp. 183-192
pp. 193-202
pp. 203-209
pp. 211-222
pp. 223-231
pp. 233-241
pp. 243-249
pp. 251-259
pp. 261-269
pp. 271-281

전문가 그룹인 PEAC(Program Effectiveness Assessment Committee)에서 검증하게 된다(AWWA, 2015).

한편, 국내에서는 2000년부터 환경부 주관으로 수도 사업자의 경쟁력 강화를 위하여 수도사업 운영 및 관리 실태 평가 규정을 제정하고 전국 500여개 정수장을 대상으로 주기적인 평가를 실시하고 있으나, 이는 시설, 설비, 서비스, 경영 등에 대한 전반적인 평가로 가장 핵심적인 수돗물 품질에 대한 세부적인 평가 및 인증은 미흡한 실정이다. 정부에서는 수돗물에 대한 법적 기준 여부의 달성도를 중심으로 평가하고 있으며, 우수한 품질에 대한 추가 인증 제도는 전무한 실정이다.

따라서 수돗물에 대해서도 먹는물 수질기준은 수도 사업자가 준수하여야 할 최소한의 법적 기준으로 간주하고, 수도사업자간의 품질 경쟁을 유도하고, 수돗물 품질 상태에 대한 다양한 정보를 제공하여 수돗물의 신뢰도를 향상시키기 위해 수돗물 품질 인증 제도의 도입이 필요한 시점이다. 본 논문에서는 한국형 수돗물 품질 인증 제도의 도입 필요성, 국내외 사례 조사, 주요 인증 필요 항목 및 정수장에서의 달성 가능성을 토대로 항목별 인증기준을 제시하고자 한다.

2. 연구방법

한국형 수돗물 품질 인증 제도는 크게 수돗물의 생산과 공급에 대한 인증으로 구분할 수 있으며, 본 논문에서는 수돗물 생산에 대한 품질 인증으로 한정하였다.

품질 인증 항목은 수돗물의 생산과정에서 품질과 관련이 크고, 고객의 신뢰도 및 수돗물 음용물에 가장 직접적으로 영향을 미칠 수 있는 인자를 핵심성과지표(KPI, Key Performance Indicator)로 선정하고 각각의 기준(안)을 제안하였다. 수돗물 품질 인증 제도의 KPI 도출 절차는 ① 수돗물 소비자의 니즈 분석, ② 수도 사업자의 정책 방향 분석, ③ 인증 항목 도출, ④ 인증 기준(안) 도출의 순서로 진행되었다. 우선 수돗물 소비자의 니즈 분석을 위해서는 수돗물 음용실태 분석, 국내외 안전하고 맛있고 건강에 좋은 물의 항목 및 기준에 대한 분석 등을 실시하였고, 수도사업자의 정책 방향 분석을 위해서는 국내외 수도사업자의 수도 비전과 주요 업무방향 등을 분석하였다. 인증 항목 및 기준(안) 도출을 위해서는 고객의 니즈와 수도사업자의 정책방향을 토대로 정수처리 공정관리 및 고객 체

감 수질과 가장 관련성이 높은 수질 항목을 중심으로 국내외의 관련 법 및 가이드라인, 문헌, 국내 정수장에서의 달성도를 종합적으로 검토하여 인증 항목 및 권장 기준(안)을 제시하였다.

3. 인증 항목 및 인증 기준(안)

인증 항목은 국내외 수질기준 및 인증사례, 정수장에서의 달성 난이도 등을 종합적으로 고려하여 도출하였다. 수돗물 품질 인증등급은 미국수도협회 PSW에서의 수돗물에 대한 2단계 평가체계(Phase III, Phase IV)를 참고하여 3-Star, 5-Star의 2단계를 제안한다. 먹는물 수질기준을 만족하는 범위내에서 먹는물 수질기준보다 엄격한 등급기준을 설정하고 해당 등급 달성 시 3-Star 또는 5-Star를 인증하는 것이다. 인증 항목별 설정 배경 및 등급기준(안)의 다음과 같다.

3.1 탁도

탁도는 수돗물 품질을 나타내는 가장 대표적인 지표이다. 탁도와 병원성 미생물간에는 일정한 상관관계가 존재하고, 탁도누출 발생시 대규모 수인성 질병 발생사례가 보고됨에 따라 국내외에서 수돗물에 대한 탁도기준을 지속적으로 강화하였다(LeChevallier and Norton, 1992; USEPA, 2015; MOE, 2015).

국내에서도 병원성 미생물에 대한 수질 안전성 향상을 위하여 탁도기준을 2도→1.0 NTU→0.5 NTU로 지속적으로 강화하였다. 2002년 도입된 정수처리기준은 통합 여과수에 대해 4시간 간격으로 측정할 탁도가 월간 0.3 NTU 이하 95 % 이상이고, 최고 탁도는 1.0 NTU 이하일 것으로 규정하고 있다. 정수처리기준은 병원성 미생물에 대한 불활성화 기준 준수를 위한 규정으로, 일반적으로 사용되는 급속여과공정에서 Giardia는 99.9 %, Virus는 99.99 % 불활성화를 목표로 하고 있다(MOE, 2015).

약품응집-침전-여과-소독공정으로 구성된 일반적인 정수처리공정에서 여과공정은 입자물질 제거의 최종 공정이므로, 탁도물질의 효율적인 제거를 위해서는 여과공정의 최적화가 매우 중요하다. 여과효율은 물리화학적 요소에 많은 영향을 받으며, 화학적 요소로는 전처리 공정에서 입자물질의 불안정화 정도가 가장 중요하다. 여과공정은 다른 형태의 응집공정이므



로 응집공정 효율은 여과효율에 직접적인 영향을 준다. 다음으로 물리적 요소 측면에서는 여과속도, 즉 수류전단력이 영향을 줄 수 있다. 수류전단력이 입자 물질의 파과에 미치는 영향 정도는 입자물질의 플록 강도에 영향을 받는데 이는 결국 화학적 요소에도 지배 받음을 의미한다(AWWA, 2011; Kim et al., 2010).

따라서, 여과공정에서 입자물질 제거율 향상을 위해서는 이러한 물리화학적 요소에 대한 성능제한 인자 파악 및 개선이 필요하며, 수도사업자별로는 법적 수질기준 보다 훨씬 강화된 자체 기준을 수립하고 시설 및 공정을 개선하는 등 다양한 노력이 필요하다. 구체적인 개선방안으로는 응집공정 최적화, 여과속도 상승폭 제한, 여과지 포설 깊이와 여재 유효경 개선 등이 포함될 수 있다(Kim et al., 2010).

국내외 탁도 관련 규정, 국내 정수장의 여과지 운영 실태 등을 고려하여 탁도에 대한 품질 인증 등급(안)을 Table 3과 같이 제안한다. Table 3에서 3-Star 수준의 탁도 인증은 통합여과수를 대상으로 1일 6회(6/D) 측정한 결과값이 가이드라인의 기준치를 만족할 경우에 부여될 수 있다.

3.2 소독능(CT)

소독능의 경우 별도의 기준을 설정하지 않고, 정수 처리기준을 만족하면 미생물 관련 수돗물 안전성을 확보한 것으로 판단한다. 정수장에서의 소독능 인증과 관련해서는 국립환경과학원의 보고서(NIER, 2013)를 참조하여 판단하도록 한다.

3.3 잔류염소

안전한 수돗물의 생산공급을 위해 정수처리 공정에

서 염소 소독에 의한 미생물의 불활성화(inactivation)는 필수적인 요소이다. 병원성 미생물은 대부분 일정한 크기를 갖는 입자성 물질로 일반적인 정수처리공정에서 여과 공정을 통해 일부 불활성화가 가능하지만 충분한 안전성 확보를 위해서는 후속되는 소독공정에서 일정한 소독능을 유지하여 한다. 국내 정수장에서는 충분한 소독능 확보를 위하여 원수의 수질, 전처리 및 정수지내 도류벽 설치 유무 등에 따라 차이는 있지만 일반적으로 정수지에서 유리 잔류염소를 1.0 mg/L 내외, 체류시간을 2~5시간 정도 유지하고 있다(KWWA, 2010).

국내 수돗물에서 잔류염소의 법적 수질기준은 0.1 mg/L~4.0 mg/L이며, 최종 수도꼭지에서 잔류염소 농도를 0.1 mg/L 이상으로 유지하기 위해 정수장에서 1.0 mg/L 이상으로 유지하는 경우도 발생하고 있다. 실제 국가상수도정보시스템(www.waternow.go.kr) 또는 지자체의 홈페이지를 통해 자료를 검색한 결과 정수장에서 잔류염소 농도가 0.8 mg/L를 초과하는 경우도 다수 관찰할 수 있었다. 이 경우 많은 지역에서 높은 잔류염소 냄새로 인해 수돗물 음용을 기피하게 되며, 소독 부산물의 농도도 증가하게 된다.

잔류염소의 농도에 따른 시민들의 인식률을 조사한 결과 0.1 mg/L, 0.2 mg/L에서 염소냄새를 느끼는 비율은 각각 20% 이하, 25% 이하로 낮았으나, 0.3 mg/L 이상에서 인식률이 40% 이상으로 증가하였고, 0.4 mg/L 이상에서는 과반수 이상이 잔류염소를 인식하였다. 일반적으로 잔류염소 농도가 약 0.2 mg/L에서는 염소의 맛을 느끼기 보다는 염소냄새를 후각으로 느끼고, 잔류염소 농도가 약 0.4 mg/L에서 염소에 대한 맛을 느낀다고 조사되었다(K-water, 2004).

수도사업자는 병원성 미생물의 불활성화, 법정 잔류

Table 3. Recommended guidelines for turbidity

Grade	Sampling		Guidelines	Basis
	Site	Frequency		
Legal standards	Combined Filter Eff.	6/D	<ul style="list-style-type: none"> Filtered water turbidity less than 0.10 NTU 95 % of the monthly measurements(4 hr time interval) Maximum filtered turbidity equal to or less than 1 NTU 	Treatment Technique
3-Star			<ul style="list-style-type: none"> Filtered water turbidity less than 0.10 NTU 95 % of the monthly measurements(4 hr time interval) Maximum filtered turbidity equal to or less than 0.30 NTU 	AWWA Phase III level
5-Star	Individual Filter Eff.	4/H	<ul style="list-style-type: none"> Filtered water turbidity less than 0.10 NTU 95 % of the monthly measurements(15 min time interval) Maximum filtered turbidity equal to or less than 0.30 NTU 	AWWA Phase IV level

pp. 155-163
pp. 165-169
pp. 171-182
pp. 183-192
pp. 193-202
pp. 203-209
pp. 211-222
pp. 223-231
pp. 233-241
pp. 243-249
pp. 251-259
pp. 261-269
pp. 271-281

Table 4. Recommended guidelines for residual chlorine

Grade	Sampling		Guidelines (mg/L)	Basis
	Site	Frequency		
Legal standards	Clearwell	1/D	0.1~4.0	
3-Star		6/D	0.1~0.80	
5-Star		1/H	0.1~0.60	

염소 농도 유지, 소독부산물 관련 기준 준수, 이취미 발생 저감의 4가지 목적을 동시에 이루는 방향으로 잔류염소 농도를 관리하여야 한다(Uber et al., 2003). 정수장에서 생산된 고품질의 수돗물을 소비자가 쾌적하게 이용하기 위해서는 충분한 소독능이 확보되고, 법적 최소 잔류염소 기준이 만족되는 조건에서는 잔류염소 농도를 최대한 낮게 유지하는 것이 바람직하다. 이를 위해 공급과정에서의 재염소 주입 지점을 확대하여 수도꼭지에서의 잔류염소 농도를 저감하고 균등화하는 방향으로 정책이 추진되어야 한다(SMG, 2015; K-water, 2015).

수돗물에서의 최적 잔류염소 농도는 시민들이 안전하면서도 잔류염소의 맛냄새에 대해서는 인지하지 못하는 비율이 높은 0.1~0.4 mg/L의 범위가 적절할 것으로 판단된다. 정수지에서의 잔류염소는 공급과정에서의 감소 요인을 고려하여 Table 4와 같이 3-Star는 0.1~0.8 mg/L, 5-Star는 0.1~0.6 mg/L로 제안한다. 다만, 수도시설의 청소 및 위생 등에 관한 규칙에서 병원미생물에 의하여 오염되었거나 오염될 우려가 있는 경우에는 유리잔류염소를 0.4 mg/L 이상이 되도록 할 것으로 규정하고 있으므로, 상기의 경우에 해당하는 시기는 수돗물 품질 인증 기간에서 제외하도록 한다.

3.4 Geosmin, 2-MIB

최근 기후변화, 상수원에서의 영양물질 증가 등과 더불어 조류의 개체수가 증가하고 있으며, 지표수를 사용하는 정수장의 경우 조류 농도 증가로 인한 맛냄새 물질의 증가가 꾸준히 보고되고 있다. 조류에 기인한 맛냄새 발생은 수돗물 품질에 큰 영향을 미치게 되고 수돗물 음용 기피의 주요 원인으로 작용한다. 조류 자체는 일정한 크기를 갖는 입자성 물질로 일반적인 정수처리공정에서 일정 부분 제거될 수 있으나, 조류에 기인하는 2-MIB, geosmin은 매우 낮은 농도에서도 맛냄새를 유발할 수 있다. 2-MIB, geosmin은 오존

산화 및 활성탄흡착에 의해 효과적으로 제거될 수 있으나, 일반적인 정수처리공정에서 일정 수준이하로 유지하기에는 구조적인 한계가 있다.

정부에서는 2-MIB와 geosmin에 대해 2009.7.1일부터 먹는물 감시항목으로 지정하여 특광역시 정수장, 한국수자원공사가 운영하는 광역상수도 정수장, 일반 수도사업자가 운영하는 시설규모 50,000 m³/일 이상인 정수장에서는 농도를 모니터링 하도록 규정하였다. 2-MIB, geosmin에 대해 국내 수질기준은 없으며, 먹는물 수질 감시항목상의 권고기준은 20 ng/L이다. 한편, 일본은 각각에 대해 먹는물 수질기준을 10 ng/L 이하로 설정하여 운영중이다(MOE, 2015; MHLW, 2015).

Fig. 2는 2008.7월의 팔당호소수의 geosmin, 2-MIB 농도를 나타내고 있다. 7월에 매우 높은 농도로 geosmin이 검출되었으며, 2-MIB는 geosmin과 비교시 농도가 낮은 것으로 조사되었다. 7월의 경우 특히 *Anabaena*, *Aulacoseira*, *Cryptomonas*, *Microcystis* 등의 조류 개체수가 높았는데 *Anabaena* 속의 경우 geosmin 농도 발생과 매우 관련성이 높은 것으로 알려져 있으며, 수온이 20°C이며 일사량이 높을수록 발생농도가 높게 나타나는 것으로 보고되기도 하였다(Kim et al., 2009).

Geosmin, 2-MIB의 최저 감지 농도는 문헌마다 약간의 차이가 있는데, 각각 4 ng/L, 9 ng/L로 알려져 있으며, 각각 7 ng/L, 12 ng/L가 넘으면 고객불만이 접수되는 것으로 보고되고 있다(Crittenden et al. 2012). 국내외 문헌, 국내외 수질기준 등을 고려할 경우 8 ng/L 이하일 경우에는 일반적인 사람이 냄새를 인지하지 못하는 수준으로 판단되어 geosmin, 2-MIB에 대해서는 Table 5와 같은 등급(안)을 제안한다.

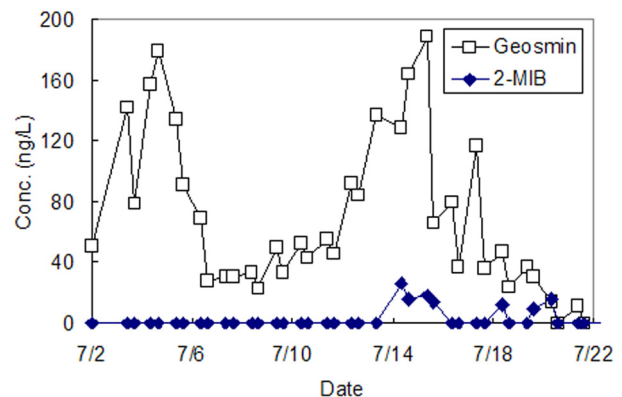


Fig. 2. Concentration of gosmin, 2-MIB in Paldang lake(2008) (Kim et al., 2009).

**Table 5.** Recommended guidelines for geosmin and 2-MIB

Grade	Sampling		Guidelines (ng/L)	Basis
	Site	Frequency		
Legal guidelines	Clearwell	1/M	20	Guidelines set by MOE for water quality monitoring parameters
3-Star		2/M	10.0	Japanese drinking water standards
5-Star		1/W	8.0	Threshold concentration

Table 6. Recommended guidelines for Mn

Grade	Sampling		Guidelines (mg/L)	Basis
	Site	Frequency		
Legal standards	Clearwell	1/M	0.05	-
3-Star		2/M	0.020	AWWA positive step
5-Star		1/W	0.010	AWWA ideal step and Japanese water quality management goal

3.5 망간

흑수의 원인이 되는 망간은 지각의 약 0.1 %를 구성하는 금속 성분 중의 하나이며, 대개 철과 함께 검출된다. 망간은 환경조건에 따라 다양한 산화수와 색도를 갖는다. 흑수는 주로 정수처리 공정에서 충분히 제거되지 않은 망간 이온이 수돗물 공급과정에서 소독제로 사용되는 염소에 의해 이산화망간으로 산화되면서 수도관에 침착하여 발생하는 것으로 알려져 있다. 용존 망간이 이산화망간으로 산화될 경우 색도는 약 300-400배 증가한다. 따라서 흑수의 발생을 최소화하기 위해서는 정수처리 공정에서 망간 제거율을 극대화시켜야 한다(JWWA, 2000; Sommerfeld, 1999).

수돗물에서 망간의 국내 법적 수질기준은 0.05 mg/L 이하이다. 한국은 2010년까지는 망간의 수돗물 수질기준을 0.3 mg/L 이하로 관리하였으나 2011년부터 0.05 mg/L 이하로 대폭 강화하였다. 일본의 수돗물 수질기준은 국내와 동일한 0.05 mg/L이나, 수질관리측면에서 특히 유의할 필요가 있는 항목과 기준을 규정한 수질관리목표 설정 항목에서는 망간의 목표 기준을 0.01 mg/L 이하로 관리하고 있어 실질적으로 상수도사업자는 0.01 mg/L 이하로 망간 농도를 관리하고 있다고 볼 수 있다.

수돗물 공급과정 중 망간의 농도가 0.02 mg/L일 경우에도 흑수가 실제 발생된 사례를 고려할 경우 수돗물에서 흑수 발생을 최소화하기 위해서는 정수처리공정에서 망간의 농도를 일본의 망간 수질관리목표값과

동일한 0.01 mg/L 이하로 강화할 필요가 있다. 한편, 미국에서는 2차 음용수 수질기준(Secondary Drinking Water Standards)에서 망간의 농도를 0.05 mg/L로 규정하고 있으나, 망간 제거의 긍정적인 조치단계는 0.02 mg/L 이하, 이상적인 수준은 0.01 mg/L 이하로 권장하고 있다(MHLW, 2015; MOE, 2015; USEPA, 2015; Sommerfeld, 1999; Sly et al., 1990; Williams and Culp, 1986).

국내 광역상수도 정수장의 원수에서는 지역적 편차는 있지만 망간 농도가 1 mg/L에 근접하는 경우도 관찰되었다. 한편, 용존 망간은 정수처리 공정에서 망간 이온 흡착능력이 있는 산화망간피복여재(MOCM; manganese oxide coated media)로 충전된 여재의 표면에 용존망간을 흡착시켜 안정적으로 제거할 수 있다(JWRC, 2000; Knocke et al., 1991). 광역상수도 정수장을 대상으로 망간제거 효율을 조사한 결과에 의하면 원수의 망간농도와 정수의 망간농도 간에는 상관성이 거의 없는 것으로 나타나 정수처리 공정에서 효과적으로 대응하면 기존 정수처리 공정에서 95 % 이상의 제거율을 거둘 수 있는 것으로 조사되었다(Kim et al., 2005).

망간은 수돗물 공급과정에서 흑수의 원인 물질로 작용하며, 흑수발생은 공급과정 보다는 생산과정에서의 망간 제거율에 영향을 받으므로, 수돗물 품질 인증 항목으로 포함시키며, 망간 관련 수돗물 품질 인증 등급(안)은 Table 6과 같이 제안한다.

Table 7. Parameters and recommended guidelines for tap water quality certification

Parameter	Grade	Sampling		Guidelines
		Site	Frequency	
Turbidity	3-Star	Combined Filter Eff.	6/D	<ul style="list-style-type: none"> Filtered water turbidity less than 0.10 NTU 95 % of the monthly measurements(4 hr time interval) Maximum filtered turbidity equal to or less than 0.30 NTU
	5-Star	Individual Filter Eff.	4/H	<ul style="list-style-type: none"> Filtered water turbidity less than 0.10 NTU 95 % of the monthly measurements(15 min time interval) Maximum filtered turbidity equal to or less than 0.30 NTU
CT	-	Clearwell	-	• Meet the Treatment Technique Rule
Residual Chlorine	3-Star		6/D	• 0.1~0.80 mg/L(4 hr time interval)
	5-Star		1/H	• 0.1~0.60 mg/L(1 hr time interval)
Geosmin, 2-MIB	3-Star		2/M	• 10.0 ng/L
	5-Star		1/W	• 8.0 ng/L
Mn	3-Star		2/M	• 0.020 mg/L
	5-Star	1/W	• 0.010 mg/L	

4. 결 론

수돗물의 품질과 신뢰도에 가장 큰 영향을 미치는 수돗물 생산과 관련된 주요 6개 수질항목으로 탁도, 소독능, 잔류염소, geosmin, 2-MIB, Mn을 도출하고, 국내외 수질기준 및 수돗물 품질 인증 제도, 정수장에서의 달성난이도 등을 고려하여 국내 실정에 적합한 한국형 수돗물 품질 인증 제도를 도출하였다. 수돗물 품질 인증 제도는 수도사업자의 자발적인 참여를 바탕으로 한 프로그램으로 운영을 하도록 하며, 3-Star, 5-Star의 2단계 등급 인증을 제안한다. 본 연구를 통해 도출된 수돗물 품질 인증 제도 항목 및 인증기준(안)은 Table 7과 같다. 한편, 국내 정수장에서의 적용과 관련해서는 수도사업자의 특성 등을 고려하여 연차별로 Table 7의 전항목 또는 일부 항목에 대해 단계적으로 도입할 수 있을 것으로 판단된다.

사 사

이 논문은 2014년도 제주대학교 학술연구지원 사업에 의하여 연구되었음. 연구에 도움을 주신 상수도공동연구협의회 관계자님께 감사드립니다.

References

AWWA(American Water Works Association) (2015) www.awwa.org.

Crittenden, J.C. Trussell, R.R. Hand, D.W. Howe, K.J. Tchobanoglous, G (2012) Water treatment principles and design, 3rd Ed. John Wiley and Sons Inc.

JWRC(Japan Water Research Center) (2000) Water Treatment Technology Guideline.

JWWA(Japan Water Works Association) (2000) Water Works Facilities Standards.

Kim, J. Lee, S. Bang, H. Hwang, S. (2009) Characteristics of algae occurrence in lake Paldang. *J. of Korean Society of Environmental Engineers*, 31(5) 325-331.

Kim, J. Lee, S. Kim, J. (2010) Cause of filtrate deterioration and its improvement in rapid filtration. *J. of Korean Society of Water and Wastewater*, 24(3) 333-339.

Kim, J. Jeong, S. Kim, J. Park, S. (2005) Manganese removal in water treatment processes, *J. of Korean Society of Water and Wastewater*, 29(5) 595-604.

Knocke, W.R. Occiano, S.C. Hungate, R. (1991) Removal of Soluble Manganese by Oxide-coated Filter Media: Sorption Rate and Removal Mechanism Issues. *J. AWWA*, 83(8), 64-69.

K-water (2004) A study on characteristics and evaluation methods of tasty water.

K-water (2010) Masterplan for water treatment processes optimization.

K-water (2015) www.kwater.or.kr.

KWWA(Korea Water Works Association) (2010) Waterworks facilities standards.

LeChevallier, M.W., and Norton, W.D. (1992) Examining Relationship Between Particle Counts, *Giardia*,



- Cryptosporidium*, and Turbidity. *J. AWWA*, 84(12), 54-60.
- MHLW(Ministry of Health, Labor and Welfare in Japan) (2015) www.mhlw.go.jp.
- MOE(Ministry of Environment) (2015) www.me.go.kr.
- NIER(National Institute of Environmental Research) (2013) Treatment Technique Handbook.
- Sly, L.I., Hodgkinson, M.C., Arunpairojana, V. (1990) Deposition of Manganese in a Drinking Water Distribution System. *Applied and Environmental Microbiology*, 56, 628-639.
- SMG(Seoul Metropolitan Government) (2015) arisu.seoul.go.kr.
- SMG(Seoul Metropolitan Government) (2010) Guidelines for tasty tap water.
- Sommerfeld, E.O. (1999) Iron and Manganese Removal Handbook, AWWA.
- TMG(Tokyo metropolitan government), Bureau of waterworks (2015) www.waterworks.metro.tokyo.jp.
- Tobiason, J.E., Cleasby, J.L., Logsdon, G.S., O'Melia, C.R. (2011) Granular Media Filtration. In: Edzwald, J. (Ed.) Water Quality and Treatment 6th Ed. McGraw-Hill.
- Uber, J.G. Boccelli, D.L. Summers, R.S. Tryby, M.E. (2003) Maintaining distribution system residuals through booster chlorination. AWWARF.
- USEPA(U.S. Environmental Protection Agency) (2015) www.epa.gov.
- Williams, R.B. and Culp, G.L. (1986) Handbook of Public Water System, Van Nostrand Reinhold Company, New York.
- Yonhap News (2015) www.yonhapnews.co.kr(2015.03.26).