

먹는샘물과 병입수로 이용되는 천연 광천수의 국내외 관리와 연구 동향 분석

고동찬* · 고경석

한국지질자원연구원 지하수연구센터

Recent Trends of Domestic and International Management and Research of Natural Mineral Water Used for Bottled Water

Dong-Chan Koh* · Kyung-Seok Ko

Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources

ABSTRACT

In recent years, the sales of bottled spring water (BSW) have been drastically increasing in Korea and other countries, which accompanied great interests in conservation and reclamation of natural mineral water (NMW). In this study, management and research activities on NMW in Europe, USA, and Codex Alimentarius were reviewed. In each region, NMW is regulated with its own quality standards that differ from ordinary drinking water, and management actions are strictly implemented to protect water resources and to secure quality of NMW. Many studies on NMW were carried out for monitoring inorganic constituents including major and trace elements in national levels for bottled NMW, groundwater, and tap water in other countries. In Korea, NMW became commercialized in 1995 when BSW was legally approved as a drinking water. To further promote utilization of various types of NMW in Korea, regulations and policies for NMW need to be revised in accordance with international NMW management trends. Further, studies of NMW that compile a comprehensive set of physical and chemical parameters of NMW are also needed to properly understand occurrences, hydrogeological and geochemical processes of NMW, as well as to evaluate its potential use as a natural resource.

Key words : Natural mineral water, Regulation, Bottled water, Groundwater, Water industry

1. 서 론

광물질(mineral)이 함유되어 있는 자연기원의 물은 국내에서 광천수(鑛泉水, mineral water) 또는 천연 광천수(天然鑛泉水, natural mineral water)라고 지칭되는데 일반적인 의미로는 “비교적 많은 양의 광물질을 함유하고 있는 샘으로 독특한 맛을 내거나 치료의 효과가 있는 것을 광천(鑛泉)이라고 하고, 광천의 특성을 지닌 물을 광천수(鑛泉水)”라고 한다(NIKL). 일반적으로 지표수는 지하수에 비해 용존된 광물질의 양이 작고 화학 조성이 시기적으로 크게 변동하며, 전세계적으로도 광천수는 주로 지하수를 가리키므로 이번 연구에서 광천수는 지하수로 한정하여 논하고자 한다. 국내에는 역사적으로 치료 효과가 있

는 것으로 알려진 약수들이 많이 알려져 있다. 예를 들어, 조선왕조실록 세종 26년 기사를 보면 “청주에 물맛이 호초(胡椒) 맛과 같은 것이 있어 이름하기를 초수(椒水)라 하는데, 모든 질병을 고칠 수 있다는 물이 있어 행궁(行宮)을 세우게 했다”는 내용이 있다(NHCC). 초수는 CO₂를 함유한 탄산수를 말하는데 국내에는 많은 탄산수 산출지가 알려져 있고, 이에 대해서는 수리지구화학적 특성과 생성 과정에 대해 개별적인 수준에서는 다수의 연구들이 진행된 바 있다(Yoon and Kim, 2000). 또한 전국적으로 많은 약수터가 먹는물 공동시설로 지정되어 인근 주민들이 이용하고 있다(MOE, 2014). 그러나 자연적으로 큰 규모로 지하수가 유출되는 경우는 석회암이나(Choi, 1983)이나 현무암이 분포하는 지역(Yoon and Park, 1998) 등

*Corresponding author : chankoh@kigam.re.kr

Received : 2018. 11. 8 Reviewed : 2018. 12. 10 Accepted : 2018. 12. 15

Discussion until : 2019. 2. 28

에 국한되어 있으며, 먹는샘물 등 산업적으로 이용되는 경우에는 우물이나 관정 등을 통한 채취되는 것이 대부분이다. 이와 같이 다양한 조성과 수준의 광물질을 함유한 지하수가 먹는물로 오랫동안 이용되어 왔으나, 국내에서는 광천수에 대해 널리 받아들여지는 학술적 또는 법적인 정의나 기준은 아직 없다. 또한 국내 유명 샘물, 약수, 약수터는 주요 지점들에 대해서는 지방자치단체에서 먹는물 수질 관리를 시행하고 있으나 각 지점별로 체계적인 수질 특성 조사나 연구가 이루어지지 못하고 있어 광천수로서의 가치에 대해서는 잘 알려져 있지 않다.

국내에서는 샘물과 먹는샘물이 법적으로 광천수와 가장 유사하다고 볼 수 있으나 자연 상태의 수질이 안전하고 깨끗한 물로 정의되어 있을 뿐이고, 광물질의 함량과 조성 등에 대한 명확한 기준은 제시되어 있지 않다. 일반인과 관련업계에서는 먹는샘물을 소위 생수(生水) 또는 병입수 또는 병물(bottled water)이라고 칭하며, 광천수 또는 천연 광천수와 동일하게 인식하는 경향이 크다. 국내에서 공공 수도물 이외에 법적으로 허용된 최초의 먹는물인 먹는샘물은 1974년에 보존음료수 제조업이 신설되면서 처음 도입되어 1975년 보건사회부 고시로 전량수출조건으로 허가하도록 제한되었고, 1976년 1월에 한 업체가 최초의 허가를 받았다. 이후 1991년에 보존음료수의 명칭이 광천음료수로 변경되었고 1994년에 다시 먹는샘물로 개칭되었다. 이후 소득수준 향상과 반복되는 수도물 오염 파동으로 국내에서 먹는샘물을 마시는 인구가 늘었고, 1994년초 낙동강, 영산강 수계 식수 오염사고를 계기로 수질 관리 업무가 환경처로 일원화되면서 먹는샘물 관리업무도 보건사회부에서 환경처로 이관되었고, 먹는샘물에 대한 관리가 법제화된 먹는물관리법이 1995년에 제정, 공포되면서 공식적으로 국내 시판을 허용함으로써 샘물을 용기에 담아 판매하는 것이 일반화되었다(MOE, 1996).

기존 광천수 관련 국내 연구 사례를 보면 샘물 중 미네랄이나 용존 이산화탄소 농도가 높은 탄산수나 약수의 산출특성과 생성과정 등에 대해서는 많은 연구가 수행되었고(Koh et al., 1999; Yoon and Kim, 2000), 이용실태나 수질특성에 대해서도 연구된 바 있다(Kim et al., 1998; Song et al., 2006). 또한 광천수의 의학적, 영양학적 효과에 대한 연구도 다수 진행되고 있다(Ham et al., 2005; Kim et al., 2009; Kim et al., 2010). 먹는샘물이 법제화된 1995년 이후에는 국내에서 생산되는 먹는샘물의 수질특성, 수원지에서의 산출특성, 항목별 분석기법 등에 대한 연구가 수행되었다(Cho et al., 1998; Doo et al., 2000; Cho et al., 2002; Kim et al., 2006; Bong

et al., 2009; Lee et al., 2016). 국내에서 광천수의 분류 및 평가 기준에 대해서는 일부 연구에서 시도되고 있으나 방법론의 완성도가 높지 않고 폭넓게 활용되지는 못하고 있다(Nam, 1988; Lee and Ko, 2014).

광천수와 관련해서 국외, 특히 유럽에서는 매우 오래전부터 학술적이나 법적으로 광천수의 개념이 잘 확립되어 있고 많은 연구가 수행되고 있다. European Community는 1980년에 광천수에 대한 정의와 특성에 대해 지침을 제정하였고(EU Directive 1980/777/EEC, 1980a), 용존 물질에 대한 관리기준을 제정하였다(EU Directive 1980/778/EEC, 1980b). 이후 개정된 지침을 통해 광천수의 조성에 따른 구분과 명칭에 대해서 가이드라인이 제시되었다(van der Aa, 2003). 학술적으로는 광천수의 성분에 대한 연구가 체계적으로 수행되어 유럽전역의 광천수에 대한 수원소 및 미량원소에 대한 특성화가 지속적으로 수행되었고(Misund et al., 1999; Reimann and Birke, 2010; Bertoldi et al., 2011), 국가나 지역적인 수준에서 더 상세하게 광천수의 화학조성과 원소별 산출특성, 수리지구화학조성에 따른 분류법 등에 연구도 수행되었다(Dinelli et al., 2010; Smedley, 2010; Birke et al., 2010; Dinelli et al., 2012; Eggenkamp and Marques, 2013). 또한 광천수내의 용존 성분에 의한 건강상의 위해성(Krachler and Shotyky, 2009; Cicchella et al., 2010)과 유익성(Rylander et al., 2004; Wynn et al., 2008)에 대한 연구도 진행되고 있다.

국내뿐만 아니라 전 세계적으로 먹는물로서 광천수가 가장 큰 규모로 활용되는 분야는 공공급수를 제외하면 먹는샘물 또는 병입수 산업이라고 할 수 있다. 국내에서 먹는샘물 시장에 대한 통계는 1983년부터 공식적으로 집계되었는데, 1989년대부터 큰 폭으로 성장하여, 2015년에는 판매량 기준으로 1983년 대비 730배, 1995년 대비 7.7배로 증가하였고, 판매금액 기준으로 1983년 대비 1,800배, 1995년 대비 8.8배로 증가하였다(Fig. 1). 이러한 현상은 소비자들의 소득 증가와 더불어 위생에 대한 경각심 증가, 웰빙(well-being)에 대한 관심, 건강에 대한 관심의 증가된 반면, 수도물에 대한 불신은 높아졌기 때문이다(Yoon et al., 2015). 우리나라의 일인당 병입수 소비량은 전 세계 평균보다는 높은 수준이나 유럽 국가들이나 미국 등 병입수 소비 상위권 국가들의 절반 수준이다(Fig. 2). 물 산업을 제조업, 건설 및 시공, 시설 운영, 설계 및 컨설팅 등으로 구분할 때 국내기준으로 먹는샘물을 포함하는 병입수는 제조업으로 분류할 수 있으며, 2016년 매출액 기준으로 제조업 전체에서 차지하는 비중은 2.5%로 미미한

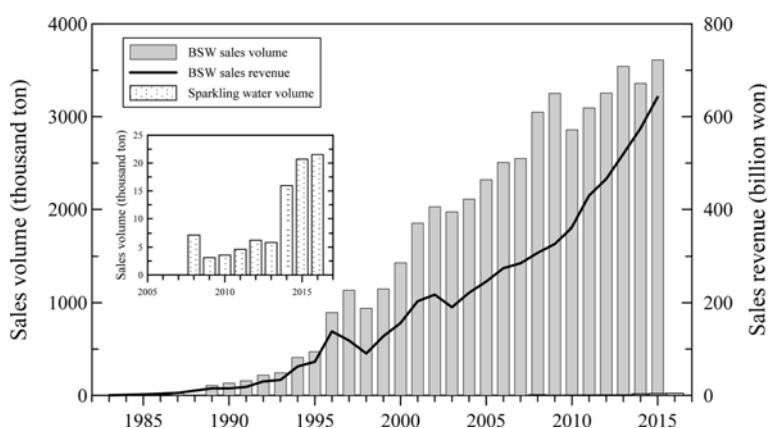


Fig. 1. Growth of bottled spring water (BSW) and sparkling water market in Korea. Data from MOE (1996 to 2014) and Korea Natural Mineral Water Association for BMW and from MOFDS (2009 to 2017) for sparkling water.

편이다(Impact, 2018).

국내에서 생산되는 먹는샘물의 CO₂ 함량은 일반지하수와 유사한 수준으로 탄산수로 보기 어렵다. 한편, 국내에서는 법적으로 탄산수는 자연적으로 산출되는 탄산수 외에 일반적인 먹는물에 CO₂를 첨가한 물을 포함하며 식품의약품안전처에서 관리하고 있다. 이에 따라 식품 및 식품 첨가물 통계(MOFDS, 2009-2017)에 의한 탄산수의 시장 동향을 보면 먹는샘물에 비해서는 아직은 미미한 수준이나 2014년부터 큰 폭으로 증가하고 있다(Fig. 1). 이 기준의 탄산수는 수원지 표시 의무가 없으며, 대부분 자연적인 탄산수가 아니라 인위적으로 제조된 것으로 추정되므로 국내에서 자연적으로 산출되는 탄산수 시장은 거의 형성되어 있지 않다고 할 수 있다.

병입 광천수에 대한 소비 증가 경향은 국내에 국한된 상황이 아니라 수돗물에 대한 관리가 잘 되고 있는 유럽과 미국에서도 있었던 현상이다(Studlick and Bain, 1980; Misund et al., 1999). Walker(1992)는 영국의 경우 1976년부터 1986년까지 병입수 판매는 3,000 톤에서 128,000톤으로 43배 증가하였고 이는 주로 수돗물에 대한 불신에 기인한 것으로 추정되나, 영국 전역과 런던시에 대한 먹는물 평가 결과를 토대로 수돗물은 전반적으로 좋은 수질이며, 건강상의 위험성은 없는 것으로 판단하였다. 독일은 1950년에서 2007년 사이에 일인당 연간 병입수 소비가 3.8 L에서 136 L로 36배 증가하였다(Birke et al., 2010). 프랑스의 경우는 1940년대부터 병입수 일인당 소비량이 꾸준히 늘었는데 1946년에는 6 L에 불과했으나 1950년대 중반 천연 미네랄수에 대한 규제가 완화되면서 시장규모가 급격히 커지기 시작하여 2015년에는 141 L에 이른다(Brei, 2018). 이와 같이 천연 광천수의 전통이 긴 유럽에서도 본격적인 병입수 소비는 1960년대 이후부터

시작되었다고 볼 수 있다. 미국의 경우는 1981년에 병입수는 전체 음료소비량의 1.8%에 불과했으나 1990년대 중반 미국 여러 지역에서 수돗물 수질이 악화되는 사건들이 발생하면서 공공급수에 대한 불신이 커지게 되어 병입수에 대한 관심이 높아져서 1997년에는 6.9%까지 증가하였다(Opel, 1999). 전 세계도 2004년부터 2009년까지 병입수 소비의 연평균 증가율은 5.5%에 달하며, 많은 전문가들은 이러한 현상이 수돗물 수질에 대한 신뢰 부족, 병입수가 수돗물에 비해 우수한 맛과 건강상의 유익성, 병입수가 유행과 젊음의 상징이라는 마케팅 등에 기인한다고 추정하고 있다(Marcussen et al., 2013).

이번 연구에서는 현재 국내에서 먹는샘물, 약수, 샘물, 탄산수, 먹는물공동시설(약수터) 등 여러 가지 형태로 이용되고 있는 천연 광천수 중에서 먹는샘물이나 병입수로 이용되는 천연 광천수를 구분하고 평가하는 기준, 관리 법령, 규정에 대한 국외 사례와 국내 현황을 논평하고자 한다. 이를 통해 국내에서 먹는물로 이용되는 천연 광천수의 개념을 올바르게 정립하고 정책적 지원의 필요성을 파악하며, 관련 산업 육성을 위한 기반 구축에 기여하고자 한다. 천연 광천수는 자연적 기원에서 유래한 물의 고유한 특성에 중점을 두고 있으므로 특정한 제조나 처리장치, 첨가물 등에 의해 원래 자연적으로 가지고 있는 물의 특성이 크게 변화된 물은 이번 연구의 고려 대상에서 제외하였다.

2. 국제식품규격의 천연 광천수 규정

국제식품규격(Codex Alimentarius)은 국제적으로 채택된 식품 기준과 관련 문헌이 일치된 방식으로 제시된 규정집으로 소비자의 건강을 보호하고 식품 무역이 공정하

도록 하는 것을 목적으로 하여 유엔식량농업기구와 국제 보건기구가 공동으로 운영하는 국제식품규격위원회에서 관리하고 있다(www.codexalimentarius.net). 이 규격에는 병입수를 식품으로 간주하고 Codex Standard for Natural Mineral Waters(CODEX STAN 108-1981, adopted 1981, amendment 2001, revisions 1997, 2008), Recommended International Code of Hygienic Practice for the Collecting, Processing and Marketing of Natural Mineral Waters(CAC/RCP 33-1985, revised 2011), General Standard for Bottled/Packaged Drinking Waters(other than Natural Mineral Waters) (CODEX STAN 227-2001), Code of Hygienic Practice for Bottled/Packaged Drinking Waters(other than Natural Mineral Waters) (CAC/RCP 48-2001)을 포함하는 네 개의 관련 규정을 두고 있다(http://www.icbwa.org/index.php/standards/codex).

이 중 천연 광천수와 관련된 두 가지 규정을 보면, CODEX STAN 108-1981은 식품으로서 판매하기 위해 제공되는 모든 포장된 천연 광천수에 대한 것으로 특정 광물질과 미량원소가 함유된 특징이 있으며, 오염을 방지하기 위해 보호된 구역내에서 가능한 모든 주의사항이 적용된 지하 대수층으로부터 자연적 또는 관정에서 직접 채취되는 등으로 규정하여 천연 광천수는 일반적인 먹는물과는 분명히 구별된다. 천연 광천수는 1) 자연적 탄산 광천수, 2) 비탄산 광천수, 3) 탄산 제거 광천수, 4) 동일기원 CO₂ 첨가 광천수, 5) 외래기원 CO₂ 첨가 광천수의 다섯 가지로 구분된다. 여기서 탄산수와 관련된 세 가지 분류는 EU의 천연 광천수 지침(EU Directive 2009/54/

EC, 2009)과 같다. 수질기준도 대체로 EU의 천연 광천수 지침과 대체로 유사하나 Ba, F, Mn 농도 기준에서 약간의 수치적 차이가 있다(Table 2).

두번째 규정은 CAC/RCP 33-1985로서 천연 광천수의 채취, 처리, 마케팅과 관련된 위생 관례에 대한 것이다. 이 규정은 안전하고, 건강한 제품을 보장하기 위해 천연 광천수를 채취, 광천수의 처리, 병입, 포장, 저장, 운반, 배분, 직접 소비를 위한 판매와 관련된 적절한 위생적 방법을 추천하고 있다. 항목별로 일차 생산과 관련해서 대수층 보호를 포함한 환경 위생, 천연 광천수의 위생적 채수, 포장을 위한 천연 광천수의 처리와 보관 등에 대해 필요한 사항을 규정하고 있다. 대수층 보호와 관련해서는 천연 광천수의 기원, 지하에서의 체류기간, 물리화학적 특성에 대한 정밀한 분석이 이루어져야 하며, 천연 광천수가 오염되거나 수질이 악화될 수 있는 보호 구역을 결정하고, 이 구역에서 오염이나 수질에 영향을 주는 외부적 영향을 피하도록 모든 가능한 조치가 취해져야 함을 제시하고 있다. 수량과 수질에 대한 잠재적 위협을 평가하기 위해서는 보호 구역에서 토지 소유권, 토지 이용을 검토하고, 오염물질, 오염사고, 오염으로부터 물을 보호하기 위한 법적 규제를 수집하며, 각각의 토지이용과 활동에 대한 평가가 수행되어야 함도 규정하고 있다. 또한, 이 규정에는 원수, 제조과정, 최종 제품에서 준수되어야 할 미생물학적인 수질기준이 제시되어 있다. 대체로 유럽의 천연 광천수에서 제시된 미생물학적인 수질기준과 유사하다(Table 1).

전반적으로 Codex Alimentarius는 유럽의 천연 광천수 규정과 유사하게 천연 광천수가 일반 먹는물과는 분명히

Table 1. Microbiological standards or criteria for natural mineral water

Parameters	EU mineral water directive	Codex Alimentarius	Korea
Total colony counts	100/mL (20-22°C, 72 hrs), 20/mL (37°C, 24 hrs) in bottled water, 20/mL (20-22°C, 72 hrs), 5/mL (37°C, 24 hrs) at the source	-	100CFU/mL (low temp.), 20 CFU/mL (intermediate temp.) in bottled water 20 CFU/mL(low temp.), 5 CFU/mL (intermediate temp.) at the source
Escherichia coli	N.D. in 250 mL	N.D. in 250 mL	-
Total coliforms	N.D. in 250 mL	N.D. in 250 mL	N.D. in 250 mL
Fecal streptococci	N.D. in 250 mL	-	N.D. in 250 mL
Enterococci	-	N.D. in 250 mL	-
Spore-forming sulphite-reducing anaerobes	N.D. in 50 mL	N.D. in 50 mL	N.D. in 50 mL
Pseudomonas aeruginosa	N.D. in 250 mL	N.D. in 250 mL	N.D. in 250 mL
Aerobic mesophilic count / heterotrophic plate count	-	100 cfu/mL	-
Salmonella	-	-	N.D. in 250 mL
Shigella	-	-	N.D. in 250 mL

구별되며, 공공급수와 달리 하나의 식품으로 간주해야 함을 명시하고 있다. 탄산수와 비탄산수와 관련해서는 세 가지 유형의 탄산수와 두 가지 유형의 비탄산수를 포함하여 총 다섯 가지의 유형의 천연 광천수를 명확히 구분하여 제시하고 있다. 또한, 천연 광천수의 품질을 확보하기 위해서는 수원지 관리를 철저히 수행할 것을 제시하고 있다. 점에서 국내에서 천연 광천수를 단순히 먹는물의 하나로 보고 있는 것과는 확연히 다른 시각이라고 할 수 있다.

3. 국외 천연 광천수 관리 현황

3.1. 유럽연합(EU)의 천연 광천수 역사

유럽에서 온천수를 포함한 천연 광천수와 관련된 역사는 수천년에 이르러 근대의학이 성립되기 이전에 광천수나 온천수가 다양한 질환 치료에 이용되었다. 영국의 경우 로마시대에 목욕이나 음용목적으로 물을 구하기 위해 전국을 여행하는 건강 여행(Health tourism)이 유행하였다가 18세기와 19세기 들어 다시 부흥기를 맞기도 했으며, 16세기에 이탈리아의 한 지역의 물이 담석에 특별한 치료 효과가 있다고 기록되어 있을 정도로 천연 광천수를 이용해온 역사가 길다(Petraccia et al., 2006). 샘물을 음용, 치료, 장식적 목적으로 이용하는 것은 로마시대에 기원을 두고 있고, 이러한 역사적 배경으로 이탈리아에는 로마인들에 의해 인정된 다양한 특성의 광천수가 존재하고 있다. 예를 들어, 나폴리 인근의 Ferrarelle 광천수는 로마시대 이전인 Oscian과 Etruscan 사람들에게 알려져 있었고, BC 1세기에 특별한 치료 효과가 있을 것으로 여겨지던 산성의 샘물들에 대한 언급이 있었으며, 이후 Plinio the Old, Cicero, Horace 등 로마시대의 여러 명사들이 이 광천수에 대해 언급하였다. 이 광천수는 수리적으로 연결된 카르스트와 화산암 저류층에서 유래하며 높은 CO₂ 함량, Ca과 SiO₂ 농도가 특징적이다(Bono and Boni, 2001).

영국의 대표적인 휴양지인 Bath는 BC 863년에 영국의 한 신화적인 왕에 의해 그 지역의 지하수가 치료효과가 있는 것이 처음 발견되어 도시가 형성되었고, 로마제국 멸망까지 4백년간 온천장으로 이용되었다(Robins and Smedley, 2013). 세계적으로 잘 알려진 온천 휴양지인 체코의 Karlovy Vary는 이미 AD 6세기에 그 지역의 원주민에게 알려져 있었고 1348년 보헤미아의 왕이었던 카를 4세에 의해 도시가 건설되어 온천수를 사용할 수 있는 특권을 가지게 되었다. 16세기 초에 음용과 온천욕이 치료 효과가 있는 것으로 처방된 이래 이 온천은 다양한 질환에 대한 온천치료와 병입수로 이용되고 있다(Vrba, 1996).

광천이나 광천이 있는 휴양지를 의미하는 Spa라는 말의 어원이 된 벨기에 동부지역의 Spa지역에는 300개 이상의 샘이 있는데 이중 59개가 광천수로 등록되어 있고, 400년 이상 수출되었으며 1700년 이후에는 미국으로도 수출되었다고 한다(Aubin et al., 2004). 프랑스 남부의 Vergeze라는 소도시에 위치한 Les Bouillens 샘물은 탄산광천수인 Perrier 병입수의 수원지로 Source Perrier로도 알려져 있다. 이 샘물은 개발이전에는 유출지점에서 CO₂ 기포가 발생하였으며, 고고학적 증거는 로마시대까지 거슬러 올라가고, 한니발 군대가 이용했다고 알려져 있다. 1863년에 나폴레옹 3세가 이 샘물에서 유래되는 광천수를 약용으로 생산하는 것을 승인하였고, 1906년에 광천수 회사가 설립되어 1914년에 2백만병, 1964년에는 260백만병이 생산되었다(LaMoreaux, 2001). 독일의 경우 19세기 초에 광천수가 약수(medicinal water; Heilwasser)로서 판매되었고, 19세기 후반에는 독일 여러 지역에 광천수를 병입하는 공장들이 설립되었고, 독일의 온천수와 약수의 수리학과 수리지구화학에 대한 많은 연구가 진행되어 오고 있다(Birke et al., 2010). 유럽 각국은 역사적 상황에 따라 320년 이상동안 서로 다른 의학적 전통과 정의에 근거하여 독자적인 천연 광천수의 수질 기준을 가지고 있을 정도로 광천수에 대한 전통이 오랫동안 유지되어 왔다(Fricke, 1993).

3.2. 유럽연합(EU)의 천연 광천수 관리

광천수의 정의는 1911년에 독일 Nauheim에서 개최된 International Balneological Congress에서 용존 미네랄 함량이 최소 1000 mg/L인 물로 정의되어 이 학회에 참석한 모든 국가에 의해 채택된 것이 최초이다. 그러나 이후 국가별로 광천수라는 명칭 사용과 관련된 미네랄 함량 기준은 낮아져서 폴란드의 경우 200 mg/L이다(Diduch et al., 2011). 유럽연합은 천연 광천수의 개발과 판매와 관련하여 소비자의 건강을 보호하고, 소비자가 오도되는 것을 방지하며, 공정무역을 보장하기 위해 1980년에 천연 광천수(Natural mineral water)에 대한 두 가지 지침을 제정하였고(EU Directive 1980/777/EEC, 1980a; EU Directive 1980/778/EEC, 1980b), 현재의 지침으로 개정하였다(EU Directive 2009/54/EC, 2009). 이 지침에서 천연 광천수를 “지하에 있는 수면이나 지층에서 유래하고 자연적 또는 관정 출구를 통해 유출되며, 미생물학적으로 건강상 위해성이 없는 물”로 정의하고 있다. 또한 천연 광천수는 일반적인 먹는물과 미네랄 함량, 미량원소 등의 구성성분과 특정 효과에 의해 특성화되는 성질과 원래의 순수성의

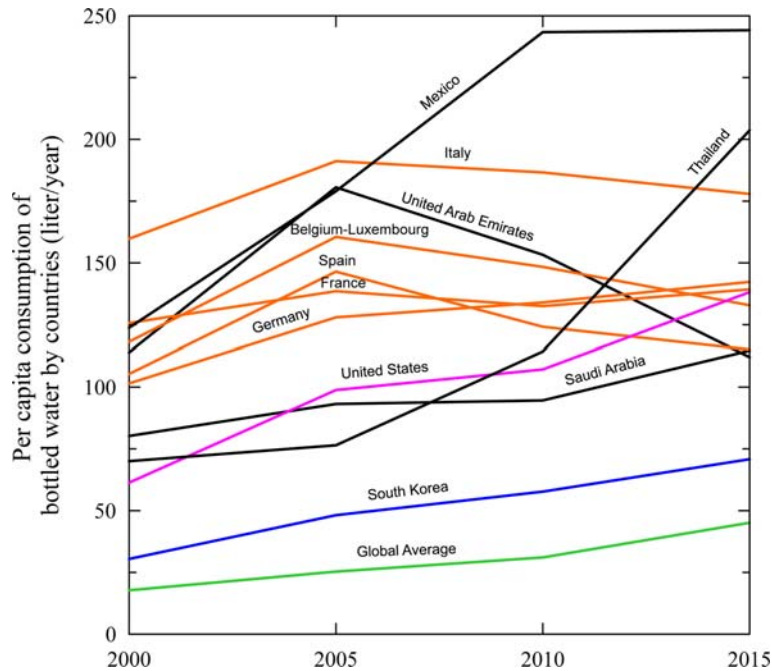


Fig. 2. Per capita consumption of bottled water by countries with highest consumption rate (www.bottledwater.org/economics/industry-statistics).

두 가지 측면에서 분명하게 구분될 수 있고, 이러한 특성은 모든 오염 위험성으로부터 보호될 수 있는 지하기원으로 인해 보존된다고 명시하고 있다.

국가별 병입수 판매동향을 보면 유럽 국가들이 일부 식수 상황이 좋지 않은 국가를 제외하면 전세계적으로 상위권에 있음을 알 수 있다(Fig. 2). 탄산수(Sparkling water)와 비탄산수(Still water)로 구분하여 살펴보면, 2000년대 초반에 전세계의 병입수 판매량에서 탄산수가 차지하는 비율은 1/3 였고(Redondo, 2005), 2016년에 유럽 소비자들의 39%가 탄산수를 선호하는 것으로 나타났다(www.efbw.org). 이러한 경향은 전체 병입 광천수에서 비탄산수가 우세해지는 하지만, 탄산수 시장의 비중도 상당한 수준임을 보여준다.

천연 광천수는 수원지에서의 상태를 기준으로 수처리가 허용되지 않으나 광천수의 특징과 관련된 핵심적인 성분의 조성을 변화시키는 않는 범위에서 1) 여과, 산소주입, 상등액 제거 등을 이용한 철, 황 화합물 분리, 2) 오존에 의한 철, 망간, 황 화합물, 비소 등의 분리, 3) 물리적 방법에 의한 유리 이산화탄소의 제거 등은 허용된다. 또한 이산화탄소의 주입이나 재주입 이외에는 물질의 첨가는 허용되지 않는다. 용존 F를 활성 알루미늄(activated alumina)에 의한 흡착으로 제거하는 수처리는 추가적인 규정(EU, 2010, COMMISSION REGULATION(EU) No

115/2010)에 의해 허용하고 있다.

미생물학적인 수질기준으로 agar-agar 배양조건에서 total colony count는 병입수에서 100/mL(20-22°C, 72시간), 20/mL(37°C, 24시간), 수원에서 20/mL(20-22°C, 72시간), 5/mL(37°C, 24시간)를 초과하지 않아야 하고, 기생충과 병원체가 없어야 하며, 250 mL 시료에서 대장균(Escherichia coli)이나 다른 대장균군, 분원성연쇄상구균(faecal streptococci), Pseudomonas aeruginosa, 50 mL 시료에서 sulphite-reducing anaerobes이 검출되지 않아야 한다는 기준이 있다.

CO₂ 등에 의해 거품이 발생하는 천연 광천수 즉 탄산수는 CO₂와 광천수의 관계에 따라 다음 세 가지로 구분된다.

- 자연적으로 탄산화된 천연 광천수(Naturally carbonated natural mineral water): 채수한 물의 CO₂ 함량이 채수과정에서 손실된 CO₂의 양만큼 동일 기원의 CO₂를 재주입하는 것을 포함하여 수원에서의 함량과 같은 물
- 샘에서 유래된 기체를 첨가한 천연 광천수(Natural mineral water fortified with gas from the spring): 수원에서의 상태보다 CO₂ 함량이 높은 물
- 탄산화된 천연 광천수(Carbonated natural mineral water): 물이 유래한 지층과 다른 기원을 가지는 CO₂를 첨가한 물

Table 2. Indications and criteria in EU directive for the exploitation and marketing of natural mineral waters (2009/54/EC)

Indications	Criteria
Very low mineral content	fixed residue ²⁾ ≤ 50 mg/L
Low mineral content	fixed residue ≤ 500 mg/L
Intermediate mineral content ¹⁾	fixed residue: 500 to 1,500 mg/L
Rich in mineral salts	fixed residue > 1,500 mg/L
Contains bicarbonate	HCO ₃ ⁻ > 600 mg/L
Contains sulphate	SO ₄ ²⁻ > 200 mg/L
Contains chloride	Cl ⁻ > 200 mg/L
Contains calcium	Ca ²⁺ > 150 mg/L
Contains magnesium	Mg ²⁺ > 50 mg/L
Contains fluoride	F ⁻ > 1 mg/L
Contains iron	Fe ²⁺ > 1 mg/L
Acidic	CO ₂ (aq) > 250 mg/L
Contains sodium	Na ⁺ > 200 mg/L
Suitable for a low-sodium diet	Na ⁺ < 20 mg/L

1) not defined in the directive but suggested in this study considering the context (e.g., van der Aa, 2003)

2) dry residues at 180°C and 260°C

천연 광천수의 표시(indication)와 관련한 기준도 규정되어 있다(Table 2). 총용존고체량(total dissolved solids; TDS)이라고 볼 수 있는 fixed residue 함량에 따라 미네랄 성분 함량 등급을 구분하고 있는데 500 mg/L 이하면 low mineral content, 1500 mg/L보다 크면 rich in mineral salts로 표시할 수 있도록 한다. 이러한 관점에서 일반적인 광천수의 TDS는 500 mg/L에서 1500 mg/L 범위를 지칭한다고 할 수 있다. 주요 미네랄 성분의 함유에 대해서는 유럽지역의 자연적인 지하수의 산출범위를 고려하여 기준을 설정한 것으로 추정된다. 광천수의 TDS 기준과 관련해서 초기 지침(EU Directive 1980/777/EEC, 1980a)에서는 mineral water는 TDS가 최소 150 mg/L을 함유해야 하고 이보다 적으면 spring water로 구분하였으나(van der Aa, 2003) 이후 개정된 지침에서는 이 기준은 삭제되었다. 이것은 TDS가 초기에는 천연 광천수를 일반적인 먹는물과 구분하는 중요한 척도로 사용하였으나 TDS 자체만으로 물의 가치를 구분하는 것에 한계가 있기 때문으로 추정된다.

EU는 인간의 섭취 목적의 물에 대한 수질에 대해 EU Directive 1998/83/EC(1998)로 수질기준을 제시하고 있으며, 이를 EU의 먹는물 수질기준(drinking water standards)으로 볼 수 있다. 한편, 천연 광천수에 대해서는 이와 별도로 구성 물질에 대한 항목, 농도기준, 표시 요건 등을 명시한 EU Directive 2003/40/EC(2003)를 제정하였다. 두 지침에서 제시된 수질기준 중에서 무기물질항목의 기준치는 Table 3과 같다. 두 지침 사이에 차이가 있는 항

목들은 대부분 공공급수 수질관리 측면에서 참고하는 수질 지시항목(indicator parameter)으로 건강상 위해성과는 관련이 없으며, 일부 항목은 공공 급수와 음용 목적의 천연 광천수간의 위해성을 다르게 평가하여 기준치에 차이를 보이고 있다. 또한 Ba은 일반적인 먹는물보다 천연 광천수에서 산출될 가능성이 더 크므로 후자에만 기준을 두고 있다.

EU는 EU Directive 2009/54/EC(2009)의 1조에 따라 각 회원국에 의해 인정된 천연 광천수 목록을 주기적으로 발표하고 있는데, 국가별로 상품명(Trade description), 수원지(Name of source), 채취 지역(Place of exploitation)로 구분하여 제시하고 있으며 채취 지역이 다르거나, 지역이 같더라도 수원지가 다른 경우에만 개별적인 상품명을 가지는 하나의 품목으로 인정하고 있다(OJEU, 2010). 이와 같이 유럽은 지역과 수원지를 포함하는 산출지의 지역적 가치와 천연 광천수의 가치를 연계하고 있다. 유럽 내에서 천연 광천수 시장의 활성도를 추정하기 위해 2017년에 갱신된 목록에서 국가별로 인정된 천연 광천수 품목수를 비교해보면, EU 회원국 전체 품목수는 총 2157개이며, 이중 독일이 압도적으로 많은 869개이고 이탈리아가 320개, 헝가리가 231개의 순이며, 스페인, 폴란드, 프랑스, 루마니아, 영국 등이 뒤를 잇고 있다(Fig. 3). 또한, EU내에는 각 회원국에서 인정한 EU외 제3국에서 생산되는 천연 광천수까지 포함하면 총 2243개 품목의 천연 광천수가 인정되어 있다.

Table 3. Regulatory water quality standards of inorganic constituents established by EU directives and USA for drinking water and mineral water, Codex Alimentarius for natural mineral water, and Korea for drinking mineral water

Constituents/ Chemicals	EU Directive ¹⁾		USA		Codex Alimentarius	Korea
	Drinking water (98/83/EC)	Mineral water (2003/40/EC)	Drinking water (EPA ²⁾)	Mineral water (FDA ³⁾)	Natural mineral water (CODEX STAN 108-1981)	Drinking mineral water (2016)
Aluminum (µg/L)	200 ⁴⁾	-	50 to 200 ⁵⁾	200	-	200
Ammonium (µg/L)	500 ⁴⁾	-	-	-	-	500
Antimony (µg/L)	5	5	6	6	5	-
Arsenic (µg/L)	10	10	10	10	10	10
Barium (µg/L)	-	1,000	2000	2000	700	-
Beryllium (µg/L)	-	-	4	4	-	-
Boron (µg/L)	1,000	-	-	-	-	1,000
Cadmium (µg/L)	5	3	5	5	3	5
Chloride (mg/L)	250 ⁴⁾	-	250 ⁵⁾	-	-	250
Chromium (µg/L)	50	50	100 ⁶⁾	100	50	50
Copper (µg/L)	2,000	1,000	1,300 ⁷⁾	1,000	1,000	1,000
Cyanide (µg/L)	50	70	200	200	70	10
Fluoride (µg/L)	1,500	5,000	4,000	1,400 to 2,400 ⁸⁾	- ⁹⁾	2,000
Iron (µg/L)	200 ⁴⁾	-	0.3 ⁵⁾	-	-	300
Lead (µg/L)	10	10	15 ⁷⁾	5	10	10
Manganese (µg/L)	50 ⁴⁾	500	50 ⁵⁾	-	400	300
Mercury (µg/L)	1	1	2	2	1	1
Nickel (µg/L)	20	20	-	100	20	-
Nitrates (mg/L)	50	50	44.3	44.3	50	44.3
Nitrites (µg/L)	500	100	3,300	3,300	100	-
Selenium (µg/L)	10	10	50	50	10	10
Silver (µg/L)	-	-	100 ⁵⁾	100	-	-
Sodium (mg/L)	200 ⁴⁾	-	-	-	-	-
Sulfate (mg/L)	250 ⁴⁾	-	250 ⁵⁾	-	-	250
Thallium (µg/L)	-	-	2	2	-	-
Uranium (µg/L)	-	-	30	30	-	30
Zinc (µg/L)	-	-	5000 ⁵⁾	-	-	3,000
Hardness (mg/L)	-	-	-	-	-	1,000
pH	6.5-9.5 ⁴⁾	-	6.5-8.5 ⁵⁾	-	-	4.5-9.5
Dissolved ozone (µg/L)	-	50	-	-	-	-
Bromates (µg/L)	10	3	10	10	-	10
Bromoforms (µg/L)	-	1	-	-	-	-
Chlorite (µg/L)	-	-	1000	1000	-	-
Haloacetic acids (HAA5) (µg/L)	-	-	60	60	-	-
Total Trihalomethanes (TTHMs) (µg/L)	-	-	80	80	-	-

1) Maximum limits, 2) Maximum contaminant levels (US-EPA, 2012), 3) Allowable levels (21CFR165.110 as of Apr. 1, 2017), 4) Indicator parameters, 5) Secondary drinking water regulations (non-enforceable guidelines), 6) Total, 7) Treatment technique action levels, 8) depending on air temperatures, 9) The following term “The product is not suitable for infants and children under the age of seven years” should be included on the label where the product contains more than 1.5 mg/l fluorides.

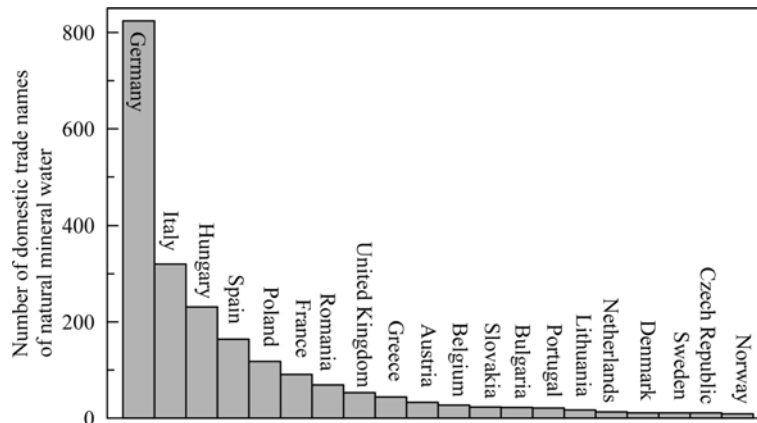


Fig. 3. Number of domestic trade names of natural mineral water on the market in Europe as of 2017.

3.3. 독일의 천연 광천수 관리

유럽 국가 중에서 독일에서는 2000년 이상 천연 광천수가 의학적으로 사용되어 왔으며, 실제로 Aachen, Bad Bertich, Baden-Baden 등의 잘 알려진 휴양지는 이 지역에 로마시대에 설치된 목욕탕이 기원이다. 이처럼 천연 광천수 이용 역사가 길고 유럽 연합의 관련 지침이전부터 독자적인 관리 체계를 가지고 있었던 독일의 천연 광천수 관리에 대해 더 자세히 살펴볼 필요가 있다. 독일에서 천연 광천수는 특별한 화학적 물리적 특성을 가지는 물을 의미하며 법적으로는 광천수(Mineralwasser; Mineral water)와 약용 광천수(Heilwasser; Medicinal water)로 구분된다. 2001년 기준으로 650개의 광천수와 70개의 약수 브랜드, 235개의 광천수 업체가 있고, 1일당 104 L를 소비하였으며, 독일내 370개의 건강 휴양소 중 160개소가 광천수와 약수를 치료 목적으로 사용한다(Zaepke, 2003).

광천수는 법적으로 Regulations for Natural Mineral Spring Water and Table Water) (Mineral Und Tafelwas-

serverordnung(MTVO) 1984, BGBl. I, p. 1036, revised on 29 October 2001, BGBl. I, p. 2785에 의해 규정된다. 이에 따르면 광천수는 자연적인 샘이나 관정에서 채수되는 보호된 지하수로부터 유래되어야 하고, 자연적으로 순수하고 미생물을 포함하지 않아야 하며, 이용을 위해서는 공식적으로 인정되고 허가된 샘이나 관정이 있는 현장에서 물이 병입되어야 한다. 화학조성면에서 물의 총 용존고체량이 1000 mg/L보다 크거나 유리 CO₂가 250 mg/L보다 커야 광천수로 인정되며, 이를 만족하지 못하는 경우에 광천수로서 공인받으려면 생리적인 영양물질의 특성을 증명해야 한다.

약용 광천수는 Definition of Terms: Quality Standards for the Certification of Health Resorts and Mineral Water Springs and Wells(Deutscher Heilb derverband e.V. & Deutscher Tourismusverband e.V. 1998)에 제시되어 있으나, 법적 구속력은 없다. 이 기준에 따르면 천연 약용 광천수는 샘이나 관정에서 채수되며 약리학적인 목

Table 4. Minimum contents required to be classified as mineral water and medicinal water (modified from Zaepke, 2003)

Type	Criteria
Mineral water	≥ 1000 mg/L total dissolved solids
	≥ 250 mg/l free dissolved carbon dioxide (CO ₂)
-	≥ 1000 mg/L total dissolved solids
iron-bearing water	≥ 20 mg/L iron (Fe ²⁺)
fluoride-bearing water	≥ 1 mg/l fluoride (F ⁻)
iodide-bearing water	≥ 1 mg/l iodide (I ⁻)
Medicinal water	sulfur-bearing water ≥ 1 mg/l sulfide (S ²⁻)
radon-bearing water	≥ 666 Bq/l radon (Rn)
carbonated water for bathing	≥ 500 mg/l free dissolved carbon dioxide (CO ₂)
carbonated water for drinking	≥ 1000 mg/l free dissolved carbon dioxide (CO ₂)
brine	≥ 5.5 g/l sodium (Na ⁺) and 8.5 g/l chloride (Cl ⁻) ≈ 14 g/l NaCl

적으로 이용하기에 적절하여야 하며, 치료 목적에 대한 적합성은 의학적 연구로 증명되어야 하고, 정기적인 조사로 박테리아가 없음을 증명해야 하며, 특징적인 성분 농도는 20% 이상, CO₂ 함량은 50% 이상 변동하지 않아야 한다. 또한, 약용 광천수는 TDS가 1000 mg/L 이상이거나 Table 4에 제시된 기준보다 농도가 커야 하며, 이러한 기준을 만족하지 못할 경우에는 의학적 목적에 대한 적합성은 전문가 보고서나 임상 실험에 의해 증명되어야 하고, 이 물이 병입되거나 운송되면, 약품으로서 취급되며 독일 연방 의약품의료기기 관리처(Bundesinstitut für Arzneimittel und Medizinprodukte(BfArM))에 의한 인정이 요구된다(Fricke, 1993; Zaepke, 2003). 이러한 약수의 치료효과는 특정 용존 성분들 또는 그들의 조합에 기인한다고 보며 수처리가 전혀 허용되지 않는다(van der Aa, 2003).

TDS가 1000 mg/L을 넘어야 한다는 조건은 광천수와 약용 광천수에 모두 적용되는데 이 기준은 TDS를 광천수로 인정되는 기준으로 설정하지 않고 있는 EU 규정과 맞지 않아 1984년에 적용이 보류되었으나 독일내에서 광천수에 대한 개념과 관련하여 이 기준은 지속적으로 의미를 가질 것으로 추정된다(Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe(BGR)의 Klaus Duscher와의 개인통신, 2018).

3.4. 유럽의 천연 광천수 연구사례

유럽지역의 광천수에 관한 연구는 광천수가 먹는물로 많이 이용되기 시작한 1990년대부터 활발하게 수행되었다. Misund et al.(1999)은 유럽 전체 국가에서 판매되는 것 중 무작위로 선별된 56개의 광천수 중 우라늄, 납, 희토류 원소 등 66개 원소를 ICP-AES, ICP-MS, IC를 이용하여 측정된 결과, 최대 10⁶배의 광범위한 농도 범위를 보였는데, 이는 지역과 지질학적 환경의 차이에 기인하며, 납과 같은 독성 원소 농도는 플라스틱 병보다 유리병에서 더 높다고 보고하였다. 먹는물 수질기준은 없으나 독성이 강한 원소의 농도가 높을 수 있음을 강조하였고, 조사된 원소들 중에서 As, Ba, Be, Br, F, Sr, TI이 건강에 대한 잠재적 위해성 측면에서 중요한 원소임을 제시하였다. 실제로 조사대상 광천수 중 15개만이 당시 EU의 먹는물 수질기준을 만족하는 것으로 나타났다. 이와 같이 광천수에 대한 수질관리가 먹는물에 비해 미비하고, 특히 미국 등에서는 수질기준항목이 있으나 유럽에는 아직 수질기준이 설정되지 않은 항목에 대한 관리가 중요함을 지적하였다. 이후 Bertoldi et al.(2011)은 유럽 23개 국가에서 판매되는 571개의 광천수의 수질 특성(전기전도도, pH, 알

칼리도, 주요원소, 미량원소 농도 등)을 조사한 결과, Se, NO₂, Mn, Ni, Ba, F, NO₃ 중 한 항목이상의 농도가 EU의 먹는물 수질기준을 초과하는 광천수가 전체의 2.8%이며, B, NO₂, NO₃ 농도는 전체의 9%에서 유럽 국가들의 법적제한수치 이상이라고 보고하였다(Table 5).

국가 수준에서는 이탈리아에서 판매되는 158개 업체에서 생산되는 186종의 병입수에 대해 69개 원소를 분석한 결과 EC에 0.64를 곱하여 환산한 TDS는 12 mg/L - 1900 mg/L(중앙값 250 mg/L)의 범위이다(Cicchella et al., 2010). 주요 이온에 의한 수질 유형은 TDS가 낮은 경우는 대부분 Ca-HCO₃이며, 백운암 등 Mg를 포함한 퇴적암들이 분포하는 곳에서는 Ca-Mg-HCO₃ 유형이 나타났고, TDS가 중간 수준이거나 높은 광천수나 탄산수는 Na-Ca-HCO₃와 Ca-Na-Mg-HCO₃이며, 알칼리 화산암류 분포지역과 관련이 있고, Na-Cl-HCO₃는 증발잔류암이나 퇴적물내 잔존 해수의 영향을 받아 형성되었고, Ca-SO₄는 증발잔류암이나 황화광물을 함유하는 대수층에서 나타나는 등 매우 다양한 유형을 보여준다(Dinelli et al., 2010). NO₃는 <0.01 mg/L에서 35 mg/L의 범위이며(중앙값=2.8 mg/L), 일부 원소의 경우 10⁴ 배까지 농도 범위를 보였으며, F, U 등은 수질기준을 초과하였고, 산출이 거의 없을 것으로 추정되는 Be를 포함하여, Co, Li, Mo, Sn, U 등이 높은 농도를 보였다(Cicchella et al., 2010). 또한 수질기준에 비해 상당히 농도가 낮아 건강상 위해를 줄 수준은 아니지만 PET 용기에서는 Sb가, 유리병에서는 Al, Co, Cr, Cu, Fe, Pb, Sn 등이 의미있게 높은 수준으로 검출됨을 보여주었다. Cidu et al.(2011)은 이탈리아에서 판매되는 37종의 병입수와 15종의 수돗물 중의 57종의 용존 무기물을 분석하여 독성 원소인 Cr, Cd, Hg, Pb에 대해서는 이탈리아와 WHO의 먹는물 수질기준을 만족하였으나, 병입수의 20% 정도는 Cl, SO₄, NO₃, F, As, B, U 중 하나 이상이 기준을 초과하였다고 보고하였다. 이를 바탕으로 유해 성분의 농도가 과도한 병입수에 대해서는 건강위험을 고려하여 최대 일일 섭취량을 라벨에 명확히 표시할 필요가 있음을 제시하였다. 또한 이탈리아에서 판매되는 187개의 병입수와 157개의 수돗물에 대해 주원소를 포함한 69개의 원소 농도를 측정된 결과, 수돗물에는 Al, Cd, Cu, Fe, Ni, Pb, Zn의 농도가 병입수에 비해 상대적으로 높고, Be, Cs, Sb, Sn, TI의 경우는 병입수가 수돗물보다 상대적으로 농도가 높았다(Dinelli et al., 2012).

독일의 경우, 502개의 수원지나 관정에서 생산되는 908개의 병입수에 대해 71개의 원소를 분석한 결과, TDS는 25 - 4120 mg/L의 범위(중앙값 570 mg/L)이고, 주요 이온

Table 5. Major and trace elements considered in national-level investigations of mineral water in EU countries

Elements	Occurrences, sources, and sinks	References
B, NO ₂ , NO ₃ , F, Mn, Ni, Ba, As, Se, U	Exceeding drinking water standards in some samples	Bertoldi et al. (2011) Cidu et al. (2011)
Be, Cs, Co, Li, Mo, Sn, Tl	Detected at significant levels in some samples though they are normally assumed to be negligible in natural water	Cicchella et al. (2010) Dinelli et al. (2012) Birke et al. (2010)
Sb	Released from PET containers at the level of negligible health effect	Smedley (2010), Birke et al. (2010) Cicchella et al. (2010)
Al, Cu, Pb, Sn	Released from glass containers at the level of negligible health effect	Smedley (2010), Birke et al. (2010) Cicchella et al. (2010)
Al, Fe, Mn, Cd, Cu, Pb, Zn	Can be significantly modified from natural compositions in situ due to aeration, settling, filtration resulting in co- and precipitation with adsorption to metal oxides	Smedley (2010)

에 의한 수질 유형은 Ca-HCO₃이 절반 정도를 차지하며, 나머지는 Ca-SO₄, Na-HCO₃, Na-Cl 등 다양하게 나타났다. NO₃는 검출한계이하에서 54 mg/L(중앙값 0.74 mg/L)의 범위이며, 조사된 병입수 중 70% 만이 독일과 EU의 먹는물 수질기준을 만족시킨다고 보고하였고 10종의 병입수는 당시 독일의 우라늄 권고 수준인 10 µg/L을 초과한다고 보고하였다(Birke et al., 2010). 이탈리아 지역 조사와 유사하게 Be, Li, Co, Cs 등은 비교적 높은 농도가 검출되었다. 병입수의 화학적 조성은 지역적으로 명확한 차이를 보였는데, 석회암 대수층, 사암 대수층, 석고를 포함한 지층, 편마암 기반암 지역의 대수층에 의해 지구화학적 영향이 두드러졌다. 용기 재질과 관련해서는 유리병에서는 Pb, Al이 PET에서는 Sb가 의미 있는 수준으로 검출됨을 확인하였다.

영국 전역의 67개 수원지에서 생산되는 85개의 병입수에 대한 무기화학적 조성에 대한 조사를 통해 TDS는 58 - 800 mg/L(중앙값 224 mg/L)의 범위이고, 주요 이온에 의한 수질 유형은 Ca-HCO₃이 가장 많았고, Ca-Cl, Na-HCO₃ 등도 있었다. NO₃-N은 상당수에서 1 mg/L 이하이나 일부 시료는 5 mg/L에 달하는 것으로 나타났다(Smedley, 2010). Ba과 U이 일부 시료에서 높은 농도로 나타났는데 최대값은 각각 1010 µg/L와 14 µg/L였다. 용기에 의해서는 PET병은 Sb가 유의미하게 높았으나 최대 1.4 µg/L로 수질기준에 비해서는 낮은 수준이었고, 유리병은 Al, Cu, Mn, Sn, Zn 등이 미세하게 높은 수준으로 나타났다. 병입수와 지하수 원수를 비교했을 때 Al, Cd, Cu, Fe, Mn, Pb, Zn는 병입수가 더 낮은 농도 수준을 보였으며 일부는 10배 또는 100배 정도 낮았는데, 이는 병입전에 이뤄지는 포기, 침전, 여과 등의 과정에서 침전되는 금속산화물에 이러한 원소들이 공침 또는 흡착되기

때문으로 추정되었다.

천연 광천수의 수질 특성과 관련하여 유럽의 주요 대수층내 지하수의 주원소와 미량 원소, 유기물 특성, 지하수 연령 추적자 등에 대해 종합적이고 체계적으로 수행된 연구를 참고할 필요가 있다(Edmunds and Shand, 2008). 이 연구는 유럽 물 기본지침(European Water Framework Directive; WFD)의 일환으로 지하수 수질에 대한 세부적인 사항을 파악하고 지하수의 우수한 상태를 보장하기 위해 도입된 지하수 지침(Groundwater Directive; GD)을 뒷받침하기 위해 대수층내 지구화학적 과정과 오염 평가를 위한 기초자료로서 지하수의 자연배경수질에 초점을 맞추어 유럽 12개국의 25개 대표 대수층에 대한 조사를 수행하였다. 이러한 연구결과는 천연 광천수를 포함한 지하수 수질 특성과 관련하여 비교 자료로서 활용되고 있다(Dinelli, et al., 2010; Smedley, 2010).

3.5. 미국의 광천수 관리

미국내에서도 오래전부터 건강과 관련하여 효과가 있는 것으로 알려진 광천수 산출지역이 알려져 있었다. New York 주의 Saratoga Springs는 13°C의 탄산수로 음용과 목욕용으로 활용되어 왔는데 인디언들이 오래전부터 이용하고 있었고 1823년부터 병입수로 활용되기 시작하였다. West Virginia 주의 White Sulphur Springs는 17°C의 황산과 황화수소이온의 함량이 높은 광천수로 초기에는 휴양지로 개발되어 목욕과 음용으로 이용되었고, 1840년대 초부터는 병입수나 통으로 판매되기 시작하였다(Lund, 1996). 이와 같이 미국도 19세기까지는 유럽과 마찬가지로 광천수의 이용과 산업화가 활발하였으나 19세기말에 확립되기 시작한 근대 의학, 1907년에 발효된 Pure Food and Drug Act, 1920년대까지 미국 도시에 구축된 안전한

물 공급 체계 등으로 인해 광천수의 치료 효과에 대한 신뢰가 상대적으로 낮아졌다(Back et al., 1995). 그러다가 1970년대 중반부터 병입수가 미국에 수입됨에 따라 광천수에 대한 관심이 크게 증가하기 시작하였다(Studlick and Bain, 1980). 2006년 기준으로 미국내 병입수 소비량은 320억 L로 과거 10년에 비해 3배 증가하였으며, 연간 일인당 소비량은 90.5L로 당시 전세계 평균인 24.2L의 약 4배에 이른다(Saleh et al., 2008). 국가별 일인당 연간 병입수 소비량을 보면 이탈리아, 벨기에, 독일, 프랑스, 스페인 등의 국가들이 미국을 앞섰다(Rodwan Jr., 2010). 그러나 최근 15년간 일인당 병입수 소비량을 보면 2015년에는 미국도 유럽 국가 수준으로 소비량이 증가했음이 확인된다(Rodwan Jr., 2016; Fig. 2).

미국에서는 병입수(bottled drinking water)는 식품의약품(Food and Drug Administration; FDA)에서, 공공 먹는물(tap water)은 환경보호청(Environmental Protection Agency; EPA)에서 규제하고 있다. 병입수는 미국 FDA의 규정(21CFR165.110 as of April 1, 2015)에서 물의 특성, 채취법, 제조법에 따라 피압수(artesian water), 지하수(ground water), 광천수(mineral water), 정화수(purified water), 발포성 병입수(sparkling bottled water), 샘물(spring water), 관정수(well water) 등 다양한 명칭으로 구분하도록 하고 있다. 이 중 광천수는 TDS가 250 ppm 보다 크거나 같으며, 지질학적으로 물리적으로 보호된 지하의 물 공급원에서 유래하며, 관정이나 샘에서 채수되는 물로 정의하고 있다. 또한 광천수는 미네랄 성분과 미량원소의 농도수준과 상대적 조성이 일정하여 다른 유형의 물과 구분되어야 하고, 미네랄 성분을 첨가할 수 없다고 규정하고 있다. 광천수 라벨 표시와 관련해서는 TDS가 500 ppm 이하면 low mineral content, 1,500 ppm보다 크면 high mineral content라고 표시할 수 있으며, 500 - 1500 ppm 범위이면 별도의 표시를 할 필요가 없다고 규정하고 있어 대체로 EU의 천연 광천수의 미네랄함량 표시 규정과 유사하다. 광천수의 용존 CO₂와 관련해서는 CO₂의 처리나 대체 후에 자연적으로 배출될 때와 같은 함량의 동일 기원 CO₂를 포함한다면 발포성 병입수로 명명할 수 있다고 규정하고 있다. 병입수는 공공급수시설의 물을 이용하여 제조할 수도 있는데 이 경우는 그 내용을 라벨에 기재하도록 하고 있다. 전반적으로 미국 FDA의 규정은 병입수를 증류수, 지하수, 천연 광천수, 샘물, 공공급수 등 모든 유형의 물로 제조하는 것을 허용하며, 천연 광천수나 샘물에 대한 별도의 규정을 두고 있는 EU와는 차이를 보이고 있다. 또한 광천수의 수처리에 대한 별도의 언급

을 하지 않고 있는데 제한적인 수처리만을 허용하는 EU의 천연 광천수 규정이나 어떤 수처리도 허용하지 않는 독일의 약용 광천수 규정과는 역시 차이를 보인다. 이에 따라 FDA에서는 병입수에 대해 염소, 오존 등의 소독제 사용에 따른 잔류 소독제와 소독부산물에 대해서는 수돗물과 동일한 기준을 적용하고 있다(Table 2).

미국 FDA는 건강상 위해성을 기준으로 하는 광천수를 포함한 병입수에 대해 EPA의 먹는물 수질기준(Maximum contaminant level)과 대체로 같은 허용기준(Allowable level)을 정하고 있으나, 일부 항목에 대해서는 약간의 차이를 보이고 있다. 불소의 경우 EPA에서는 4 mg/L를 수질기준으로 정하고 있으나, FDA에서는 인위적인 불소 첨가가 없는 경우에 불소농도는 판매되는 지역의 최대일기온의 연평균에 따라 1.4~2.4 mg/L 범위의 기준을 정하고 있으며, 인위적으로 불소를 첨가하는 경우는 0.8 - 1.7 mg/L 범위의 기준을 정하고 있어 물 섭취량을 고려한 다양한 기준을 설정하고 있다(Table 2). 또한 Aluminum과 Silver에 대해서는 EPA에서는 강제성이 없는 Secondary drinking water regulations을 정하고 있으나 FDA에서는 이러한 구분 없이 이 항목들에 대해서도 허용기준을 정하고 있다. Cu와 Pb에 대해서도 차이를 보이는데 EPA의 MCL에서는 수처리 조치기준을 제시하고 있으나 FDA에서는 이보다 낮은 수준에서 허용기준을 정하고 있다. Ni에 대해서는 FDA에서만 허용기준을 정하고 있다.

4. 국내 천연 광천수 관련 규정과 관리 현황

4.1. 국내 광천수 관리 기준

현재 국내에서는 천연 광천수와 관련한 법적 기준이 뚜렷하게 제시되어 있지 않다. 가장 관련성이 높은 먹는물 관리법에서는 제3조에서 “샘물이란 암반대수층 안의 지하수 또는 용천수 등 수질의 안전성을 계속 유지할 수 있는 자연 상태의 깨끗한 물을 먹는 용도로 사용할 원수(原水)를 말하며, 먹는샘물이란 샘물을 먹기에 적합하도록 물리적으로 처리하는 등의 방법으로 제조한 물을 말한다”고만 제시되어 있어, 용존 광물질에 대한 언급은 없다. 제8조에서 인체에 이로운 무기물질이 많이 함유되어 있어 먹는샘물의 원수(原水)로 이용가치가 높은 샘물이 부존되어 있는 지역을 샘물보전구역으로 지정할 수 있다고 하여 광물질에 대해 언급하고 있으나 함량이나 조성과의 관련된 기준이 제시되어 있지 않다. 다만, 염분 등 총용존고체량이 2000 mg/L 이상인 암반대수층 안의 지하수로서 수질의 안전성을 계속 유지할 수 있는 자연 상태의 물을 먹는 용

도로 사용할 원수는 먹는물 관리법 제3조에서 염지하수로 정의하고 있다. 염지하수를 먹기에 적합하도록 물리적으로 처리하는 등의 방법으로 제조한 물은 먹는염지하수라고 한다.

먹는샘물의 산출지와 관련해서 국내에서는 먹는샘물의 수원지와 상품명을 별개로 보고 있어 일부 업체는 수원지 자체를 상품명으로 쓰고 있으나 상당수 업체는 수원지가 같더라도 판매자에 따라 상품명을 다르게 쓰는 경우가 많다. 이는 천연 광천수를 채수하는 지역과 수원지 기준으로 산출지별로 각각 하나의 상품명만 인정하는 등 수원지의 특성을 강조하는 유럽과는 큰 차이가 있다. 최근 들어 국내 먹는샘물도 병입수 제품에 수원지 위치를 크고 명확하게 표시하여 산출지를 쉽게 인지하도록 하고 있는 점은 천연 광천수의 가치를 제대로 인식하는데 기여한다고 볼 수 있다.

CO₂ 함량과 관련해서는 먹는물관리법에서는 시행규칙 제20조에서 “제조공정에서 탄산가스를 제거하거나 첨가할 수 있다. 다만, 탄산가스를 첨가하는 경우에는 원수 중에 자연 상태로 함유되어 있는 탄산가스를 별도로 포집(包集)하여 사용하여야 한다”고 규정되어 있어 외래기원의 CO₂ 첨가도 허용하고 있는 EU의 규정과는 차이가 있다. 또한, 먹는샘물에 함유된 탄산가스의 최종 농도가 0.1퍼센트(CO₂ 농도=1000 mg/L, 25°C에서 CO₂ 분압=0.667 atm) 미만인 되도록 규정하고 있어 탄산가스 농도의 상한에 대한 규정이 없는 EU와 역시 차이가 있다. 또한 법적으로 탄산수는 식품의약품안전처의 행정규칙에서 “천연적으로 탄산가스를 함유하고 있는 물이거나 먹는물에 탄산가스를 가하여 탄산가스압이 1.0 kg/cm²(CO₂ 분압=0.968 atm; 25°C에서 CO₂ 농도=1450 mg/L) 이상인 물”로 규정하고 있어 먹는샘물과는 별도로 관리되고 있다. 여기서 탄산수의 원수로 일반적인 먹는물을 허용한 것과 사용하는 탄산가스의 기원을 명시하지 않은 것은 EU와 미국의 관련 규정과 차이가 있다. 특히, 탄산수 원수로서 먹는물을 인정 한 것은 수원지가 강조되는 천연 광천수의 기본 특성과는 거리가 있다. 최근 급속히 규모가 커지고 있는 국내 탄산수 시장을 고려할 때 원수를 명시하여 소비자가 천연 광천수로서의 탄산수를 선택할 수 있도록 할 필요가 있다 (Kim and Jang, 2015). 또한 사용하는 탄산가스의 기원이 천연 광천수와 동일하지 아닌지를 구분하여 제시하여 광천수의 수원지 뿐 아니라 CO₂의 기원지에 대한 정보도 소비자에게 명확히 제공할 필요가 있다.

한편, 해수의 활용과 관련해서는 해양심층수의 개발 및 관리에 관한 법률 제2조에서 “해양심층수란 일정 수심 이

하의 바다에 존재하면서 수질의 안전성을 계속 유지할 수 있는 바닷물로서 특정 수질기준에 적합한 것”으로 정의되어 있다. 해양심층수를 사람이 일상적으로 먹을 수 있도록 적합하게 제조 또는 가공한 물로서 특정한 수질기준에 적합한 것은 먹는해양심층수라고 한다.

먹는샘물, 먹는염지하수, 먹는해양심층수에 대해서는 먹는물 수질기준 및 검사 등에 관한 규칙 제2조에서 건강상 유해영향과 심미적 영향물질과 관련하여 먹는물의 수질기준이 제시되어 있다. 이 중 일반적으로 미네랄성분의 지표로 간주할 수 있는 경도, pH, 중발산류물, 염소이온, 황산이온, 불소, 철에 대한 상한 기준치는 Table 6과 같다. 또한 수돗물과 기준이 상이한 무기물질 항목에 대해서도 제시하였다. 국내는 유럽이나 미국과 달리 심미적 기준도 법적 구속력이 있으므로 샘물이나 먹는샘물에 대해 별도의 기준을 두거나 적용하지 않는다는 단서 조항을 두고 있다.

국내 먹는샘물의 수질기준과 국제적인 천연 광천수에 대한 수질기준을 비교하면 항목간의 차이가 상당히 크다 (Table 3). 또한 유럽과 미국에서는 단일 기준을 두고 있는 반면, 국내에서는 원수와 수처리후의 수질을 모두 규제하기 위해 샘물과 먹는샘물의 두 가지 수질 기준을 두고 있어 복잡한 규제 체계를 가지고 있는 특징이 있다 (Table 6). 예를 들어 망간의 경우에 샘물에서는 규제하고 있지 않으나 먹는샘물에서는 0.3 mg/L의 기준치를 적용한다. 무기물 항목을 살펴보면 Cl, Fe, SO₄, Zn는 국제적으로 규제하지 않고 있는데 국내에서는 심미적 영향물질에 관한 기준항목으로서 Cl, SO₄, Zn는 샘물과 먹는샘물 모두에서, Fe는 먹는샘물에서 규제치를 두고 있다. 국외에서는 수질기준에서 건강상 유해영향 물질에 대해서는 법적 구속력이 있는 규제치를 두지만, 심미적 영향물질이나 수질 관리를 위한 항목들은 법적인 구속력을 두고 있지 않다. 그러나, 국내는 이러한 구분 없이 모두 법적 구속력이 있으므로 심미적 영향을 기준으로 규제치를 두는 것은 다양한 수질 특성을 가질 수 있는 천연 광천수의 활용을 제한할 수 있다. 이와 관련하여 가장 대표적인 항목이 경도이다. 경도는 Ca과 Mg 농도의 합으로 표현되는데 Ca과 Mg는 천연 광천수에서 건강에 유익할 가능성이 있는 대표적인 미네랄 항목들로 알려져 있으며(Edmunds and Smedley, 1996; WHO, 2009), 광천수와 관련하여 수질 규제를 하는 것은 국외에서 유사한 사례를 찾기 어렵다. 또한 F는 먹는샘물에서 수돗물보다는 높은 기준을 두고 있으나 국외 기준보다 엄격한 기준을 적용하고 있다.

반면, Sb, Ni, Ba, Be, Tl 등의 항목은 국외에서는 수

Table 6. Selected Korean drinking water standards of various types of water including natural mineral water as of Oct 31, 2016

Constituents	Tap water	Spring water	Drinking spring water	Saline groundwater	Drinking saline groundwater	Drinking deep seawater
Fluoride (mg/L)	1.5	2.0	2.0	2.0	2.0	1.5
Arsenic ($\mu\text{g/L}$)	10	50	10	50	10	10
Selenium ($\mu\text{g/L}$)	10	10	10	50	10	10
Boron (mg/L)	1.0	1.0	1.0	-	1.0	1.0
Strontium (mg/L)	-	-	-	-	4	4
Uranium ($\mu\text{g/L}$)	-	30	30	-	30	-
Hardness (mg/L)	300	-	1000	-	1200	1200
pH	5.8 - 8.5	4.5 - 9.5	4.5 - 9.5	5.8 - 8.5	5.8 - 8.5	5.8 - 8.5
Evaporation residue (mg/L)	500	-	-	-	500	500
Chloride (mg/L)	250	250	250	-	250	250
Sulfate (mg/L)	200	250	250	-	200	200
Iron (mg/L)	0.3	-	0.3	-	0.3	0.3
Manganese (mg/L)	0.05	-	0.3	-	0.3	0.3
Bromate	0.01	-	0.01	0.01	0.01	0.01

질기준을 두고 있으나 국내에서는 샘물이나 먹는샘물 모두에서 기준치를 두고 있지 않다. 다만 Sb는 먹는샘물에 대해 수질감시항목으로 설정하여 15 $\mu\text{g/L}$ 의 감시기준이 있다. 기존 유럽의 천연 광천수에 대한 연구사례에서 Ni, Ba은 일부시료에서 국외 수질기준치를 초과한 사례가 있고, Be, Tl은 자연수에서 일반적으로 예상되는 수준보다 높게 검출되는 경우가 있었음을 감안할 때(Table 5) 국내 천연 광천수에서 이러한 원소들의 산출특성을 조사하여 법적인 기준치를 설정하여 관리하여야 하는지를 평가할 필요가 있다.

소독부산물에 대해서는 국내에서는 유럽과 같이 먹는샘물 제조와 관련하여 오존만을 허용하므로 오존 소독과 관련된 브롬산염에 대해서만 수질기준을 적용하고 있다. 그러나 잔류오존이나 브로모폼은 기준치를 두고 있지 않다.

샘물과 먹는샘물에 대한 국내 미생물 수질기준은 대장균을 제외하면 유럽 천연 광천수 기준과 같고, 국외와 달리 살모넬라, 쉬겔라 등은 추가로 기준치를 두고 있어 대체로 미생물학적인 수질항목은 국외 수준 또는 더 엄격하게 관리하고 있다(Table 1). 그러나, 분원성 오염과 관련하여 분원성 연쇄상구균, 총 대장균군이 기준치로 설정되어 있으나, 또 다른 대표적인 분원성 오염지시자인 대장균(*Escherichia coli*)은 기준에 없는데 이에 대해서는 검토가 필요해 보인다.

먹는샘물의 제조방법과 관련해서는 먹는물관리법 제30조, 먹는물관리법 시행규칙 제20조 및 별표 5에 명시되어 있다. 침전, 여과, 폭기 또는 자외선을 이용한 광학적 살균 또는 유해성분을 제거하기 위한 흡착 등의 물리적 처

리뿐만 아니라 막여과나 오존을 이용한 화학적 처리도 인정하고 있다. 막여과와 관련해서는 역삼투막은 허용하고 있지 않으나, 나노필터는 허용하고 있는데 이는 역삼투막 처리를 하면 대부분의 미네랄이 제거될 수 있기 때문으로 보인다(Kozisek, 2005). 그러나 나노필터 역시 먹는샘물내 미네랄 함량을 상당한 수준으로 저감시킬 수 있다(Kouti, et al., 2004). 실제로 시행규칙에서도 이러한 점을 고려하여 주요 무기물의 함량, 증발잔류물, pH의 변화가 20% 이내이어야 한다고 규정하고 있다. CO₂ 첨가와 관련해서는 동일기원의 CO₂를 첨가하는 것은 허용하나 외래기원의 CO₂ 첨가는 허용하지 않고 있다. 오존을 이용한 수처리는 효과적인 미생물 제거뿐만 아니라 염소 소독시 발생할 수 있는 trihalomethanes 발생이 적어 널리 이용되고 있다. 그러나 오존 역시 다양한 소독부산물을 발생시키며 유기 소독부산물로는 aldehydes, ketones, ketoaldehydes 등이 있고, 무기 소독부산물로는 브롬산염(bromate), hypobromite, 과산화수소 등이 있다(Richardson et al., 1999). 특히 브롬산염은 Br 농도가 높을 경우에 발생할 수 있는데 이를 고려하여 먹는샘물에도 수돗물과 같이 브롬산염 수질기준을 0.01 mg/L로 설정하고 있다(Table 6).

국내 수처리 규정을 EU와 비교하면, EU에서는 기본적으로 광천수의 특징을 나타내는 핵심성분을 변화시키지 않는 범위에서 처리를 허용하고 있으며, 처리방식도 막여과는 허용하지 않고, 오존 처리는 허용은 하나 미생물 제거보다는 철, 황, 비소 등 무기물 제거를 목적으로 허용하는 등 많은 면에서 차이를 보이고 있다.

4.2. 국내 천연 광천수 관련 연구사례

국내의 천연 광천수 연구 사례는 먹는샘물이 일반화되기 이전에는 주로 탄산수, 약수 산출 지점에 대한 수리지질학, 수리지구화학, 동위원소 조성 등에 대한 개별적 연구가 이루어진 정도이고(Koh et al., 1999; Yoon and Kim, 2000 등), 국내 광천수 분포나 특성에 대한 광역적, 체계적 연구는 아직까지 수행되지 못하고 있다. 또한, 먹는샘물이 일반화된 1995년 이후에는 먹는샘물 수원지 원수나 병입수에 대한 주요원소를 중심으로 한 수리지질학적, 수리지구화학적 연구가 주로 수행되었다(Cho et al., 1998; Doo et al., 2000 등). 그러나 국내 먹는샘물은 미네랄 함량이 낮고 수질 특성도 다양하지 않아 국내 광천수에 대한 대표성이 높다고 볼 수 없다. 또한 수리지구화학적 특성 측면에서 기존에 대부분의 국내 연구는 주요 성분과 용존 CO₂를 대상으로 하였으며 미량원소, CO₂ 이외의 용존 기체, 다양한 동위원소 등은 다루지 않아 국내 천연 광천수의 세부적인 수리지구화학적 특성과 생성 과정에 대한 자료나 근거가 상당히 부족하다.

국내에서 산출되는 지하수로 제조된 병입수의 수리지구화학적 특성과 관련하여 Bong et al.(2009)는 대표적인 12종의 비탄산수 먹는샘물 제품수를 조사하였는데, TDS는 60 - 150 mg/L의 범위이며(평균 95 mg/L)이며 양이온과 음이온별로 대표적인 이온의 평균 농도는 Ca가 15.2 mg/L, Na는 6.9 mg/L, HCO₃가 64.6, SO₄가 8.6 mg/L 이고, 주요 이온에 의한 수질 유형은 대부분 Ca-HCO₃형이었다. 이 자료를 국내 병입수의 대푯값으로 가정하고 유럽지역의 천연 광천수 병입수와 비교하면 TDS 기준으로 최소값은 유사하나 중앙값과 최대값은 상당히 낮아 전반적인 TDS 수준이 낮고 화학적 특성의 다양성도 낮다고 할 수 있다.

국내에서 광천수의 특성 분류 기준은 Nam(1988)에 의해 약수와 당시 보존음료로 허가된 지하수 병입수에 대해 특정 원소나 성분, 주요 이온, CO₂ 함량, pH, TDS 또는 NaCl를 기준으로 포천의 한 광천수를 단순천, 중탄산염천, 저장천, 약알칼리성천, 냉천, 비탄산염천, 비염천으로 구분하여 일반적인 식수와의 명확히 구분됨을 제시하였다. 저자는 이러한 분류기준을 인체생리를 중심으로 설정했다고 하였으나 명확한 근거는 제시하지 않았고, 일부항목에 대해서는 기준치가 없고 주관적으로 평가하고 있다. 예를 들어 특정성분이 유의성이 있을 정도로 존재하지 않는 물을 단순광천수라고 분류하였는데 유의성에 대한 기준이 없으며, 중탄산이온이 주된 성분인 경우 중탄산천염천이라 하였으나 역시 뚜렷한 기준이 없다. 탄산수소이온 농도가

600 mg/L를 초과하면 변비의 완화 또는 이뇨특성이 있다고 하였으나 근거가 제시되지 않았고, 유리탄산(free CO₂) 함량이 250 mg/L(25°C에서의 CO₂ 분압=0.167 기압)를 초과하면 탄산광천수로 구분하였으나 역시 그 근거가 뚜렷하지 않다.

국내에서 광천수의 평가와 분류와 관련해서 가장 널리 이용되는 기준은 Hashimoto et al.(1987)에서 제시된 맛있는 물 지표(O index)와 건강한 물 지표(K index)이다. O index는 mg/L 농도 단위로 다음과 같이 정의되고, 이 값이 2.0 이상이면 맛있는 물로 분류하였다.

$$O \text{ Index} = (Ca + K + SiO_2) / (Mg + SO_4) \tag{1}$$

K index는 mg/L 농도 단위로 다음과 같이 정의되고, 이 값이 5.2 이상이면 건강한 물로 분류하였다.

$$K \text{ Index} = Ca - 0.87 \cdot Na \tag{2}$$

Hashimoto(1988)에서는 위 지표들의 근거를 상세히 제시하고 있다. K index는 1947 - 1950년의 4년 동안 일본 전역에서 지역적으로 평균적인 뇌졸중 수정 사망률과 양이온 조성을 반영한 지표간의 상관성을 분석하여 Ca - 0.87 Na를 지표로 선정하였고, 가장 사망률이 낮은 지역의 하천수 조성인 5.2를 건강한 물의 최저치로 설정하였다. O index는 물맛에 좋은 영향을 주는 성분과 나쁜 영향을 주는 성분으로 구분하여 도출하였고, 이를 대표적인 식수와 광천수에 적용하여 맛있는 물과 그렇지 않은 물의 경계를 2로 설정하였다.

이 지표는 많은 국내 연구에서 물의 맛과 건강성을 분류하는 기준으로 활용되었다(Kim et al., 1999; Song et al., 2006). Lee et al.(2011)는 O index와 K index의 도출 근거가 되는 Hashimoto(1987)의 수질 자료와 저자들의 연구자료 모두에서 물의 용존 성분 농도가 대수 정규분포하는 것을 고려하여 각 성분의 로그 농도를 정규화하여 수정한 M index를 제시하고, 이 지수가 O index보다 관능검사 결과와 더 높은 상관성을 보임을 제시하기도 하였다. 그러나 이 지표들과 관련 기준치는 일본에서 제한된 자료를 토대로 결정되었고 국내나 다른 국가의 자료에 근거한 후속 연구는 찾아보기 어려우며 특히 건강한 물의 지표는 의학이나 보건관련 문헌에서 검증된 사례가 없다. 따라서 이 지표들을 국내 자료에 적용할 때에는 여러 제한들이 있을 수 있다는 점에 주의할 필요가 있다.

국내에서 천연 광천수와 관련하여 용존 성분 기반의 분류와 평가 기준 외에 좀 더 기본적인 수준에서 평가지표를 도출하려는 시도도 있었다. Lee and Ko(2014)은 먹는

샘물의 평가지표 항목을 도출하기 위해 60명의 전문가 집단에 대해 델파이 기법으로 설문조사를 실시하여 지역, 성분, 가격, 맛, 건강, 패키지도자이라는 6개의 중위 개념의 평가 지표를 도출하고 각 지표를 구성하는 32개의 하위 평가요소를 도출하였다. 이중 성분 지표에는 정확한 성분표기, 유해원소 함량 표기, 마그네슘 함량, 칼슘 함량, 칼륨 함량이 있고, 맛 지표에는 순수도, TDS 표기, 경도 표기, pH 지수 표기, 탄산화 정도 표기가 있으며, 건강 지표에는 깨끗한 물의 정도, 건강에 좋은 미네랄 표기, 유통기간, 건강기능성 특성, 성분 함량의 균형성, 건강특성별 라벨표기, 영양성의 요소가 있다. 이 연구는 광천수의 분류와 평가 지표를 설정할 때 다양한 평가 지표를 반영해야 함을 보여주고 있으며 특히, 소비자에게 물의 특성에 대한 정보를 전달하는 것이 상당히 중요함을 잘 보여 주어 국내 먹는샘물의 표시 사항을 개선할 필요가 있음을 시사하고 있다. 또한, 맛과 건강에 대한 유해성과 유익성, 영양적 가치 등에 대한 관심이 높음을 확인할 수 있어 향후 이 분야에 대한 연구가 필요함을 명확하게 보여준다.

5. 결론과 제언

최근 들어 전세계적으로 병입된 천연 광천수의 수요가 크게 증가하고 있다. 국내에서는 오랫동안 관행적으로 이용되던 약수, 샘물 외에 음용 목적으로 천연 광천수를 먹는샘물이라는 명칭으로 병입수 형태로 판매하는 것이 1995년에 공식적으로 허용되면서 천연 광천수에 대한 관심이 크게 증가하였다. 천연 광천수 이용의 역사가 길고 활발했던 유럽연합(EU)에서는 1980년대에 천연 광천수의 분류와 표시 기준, 먹는샘물과는 다른 별도의 수질기준을 법적 지침으로 규정하였고, 유럽 국가 중에서 독일은 추가적으로 약용 광천수를 별도로 구분하고 의약품으로 관리하고 있는 등 천연 광천수에 대한 관리가 일찍부터 제도화되었다. 국제식품규격에도 천연 광천수에 관한 규정이 제시되어 있는데 천연 광천수의 품질 확보를 위해 수원지 관리를 철저히 수행할 것을 강조하고 있는 점이 특징적이다. 천연 광천수 연구는 2000년대 들어 유럽지역의 병입 광천수의 전반적인 무기성분에 대해 국가적 규모에서 병입 광천수, 지하수 원수, 수돗물 등에 대해 많은 연구가 수행되었다. 미국에서는 근대이후에 천연 광천수에 대한 관심이 상대적으로 적었으나, 최근 들어 병입 광천수에 대한 수요가 급증하고 있다. 미국에서 병입수는 식품의약품안전국에서 관리하고 있으며 먹는물 수질기준과 유사하지만 별도의 수질기준을 두고 있고, 광천수로 명명할 수 있

는 조건을 규정하고 있다. 미국은 유럽에 비해서는 천연 광천수에 대한 체계적 연구는 빈약한데 이는 유럽에 비해서는 천연 광천수 이용 역사가 짧고 잘 알려진 수원지도 적기 때문으로 보인다.

먹는샘물의 도입 초기에는 수질기준에 건강상의 영향과 상관없는 심미적 항목들까지 법적 규제치가 설정되어 있어 국외에 비해 미네랄 함량이 상대적으로 적었다. 최근 들어 이러한 항목들에 대한 수질기준이 개정되었으나 여전히 미네랄 함량이 높거나 특징적인 수질특성을 가지는 수원지는 개발되지 못하고 있다. 탄산수는 용존 CO₂ 농도에 따라 환경부에서 관리하는 먹는샘물과 식품의약품안전처에서 관리하는 탄산수로 이원화되어 있고, 자연적인 탄산수뿐만 아니라 일반적인 먹는물에 CO₂를 첨가한 것도 탄산수로 간주하고 있다. 국내에서 천연 광천수의 수처리는 유럽보다는 더 넓은 범위의 수처리를 허용하고 있다. 국내에서 천연 광천수의 특성에 대한 연구는 먹는샘물, 탄산수, 약수의 주요원소에 대한 개별 연구사례들은 다수 수행되었으나, 미량원소 등을 포함한 다양한 물리, 화학적 항목에 대한 연구는 아직까지 없는 실정이다. 평가나 분류 기준과 관련해서는 일본에서 유래한 K-index와 O-index가 널리 활용되고 있고, 최근에는 전문가 설문조사를 통해 먹는샘물의 평가 지표 도출 연구가 수행된 바 있다.

지금까지 언급한 국제적인 천연 광천수 관리와 연구 동향을 고려할 때 우수한 수질을 가지는 국내 천연 광천수를 확보하기 위해서는 먹는샘물과는 명확히 구별하여 관리하고, 수질기준과 관련해서는 먹는샘물의 수질 기준 중 심미적 영향물질에 대한 규제를 더 완화할 필요가 있다. 또한, 천연 광천수의 특성을 표현할 수 있는 TDS나 특정성분의 농도 등에 대한 표시 기준을 도출하여 병입수뿐만 아니라 식품, 향장품, 보건, 의료 등 다양한 분야에서 천연 광천수를 활용할 수 있도록 정책적인 지원을 할 필요가 있다. 또한 전세계적으로 천연 광천수의 상당부분을 차지하는 탄산수와 관련해서는 국내에 산출지도 다수 알려져 있고, 인근 주민이나 현지 방문을 통해 관행적으로 음용되고 있으나 병입수를 포함하여 산업적으로 활용되지는 못하고 있다. 국내에서 자연적으로 산출되는 탄산수 이용을 활성화하기 위해서 탄산수의 원수를 천연 광천수로 제한하고, CO₂ 기원을 명시하며 관리주체를 일원화하는 것이 고려되는 것이 바람직해 보인다. 먹는샘물 수처리는 EU와 같이 핵심적인 미네랄 성분의 함량을 변화시키지 않도록 수처리의 범위를 제한하여 각 광천수가 가지는 고유의 특성을 보존하도록 하는 방안을 도출하는 것도 중요

해 보인다. 마지막으로, 국내 천연 광천수의 가치를 제대로 파악하기 위해서는 주요 수원지별로 물리적, 화학적 특성에 대한 체계적이고 종합적인 조사와 연구를 수행하여 천연 자원으로서의 천연 광천수의 산출 특성, 생성과정을 이해하고, 활용 분야와 지속이용가능성 등을 평가하는 것이 필요하다.

사 사

본 연구는 2017년 정부(미래창조과학부)의 재원으로 국가과학기술연구회 창의형 융합연구사업(CAP-17-05-KIGAM)의 지원을 받아 수행되었습니다. 유럽지역 천연 광천수와 관련하여 자료를 제공해 주신 European Federation of Bottled Waters(EFBW)의 Patricia Fosselard, Water Institute by Evian의 Dr. Patrick Lachassagne, 독일 Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)의 Klaus Duscher에게 감사드립니다. 또한 세심하고 건설적인 조언을 통해 원고를 크게 향상시켜주신 함세영 교수님과 익명의 심사자에게 감사드립니다.

References

Aubin, D., Cornut, P., and Varone, F., 2004, Resource Ownership in Drinking Water Production, Comparing Public and Private Operators' Strategies in Belgium, Governance for industrial transformation, Environmental Policy Research Centre, Berlin, 257-276.

Back, W., Landa, E. R., and Meeks, L., 1995, Bottled water, spas, and early years of water chemistry, *Ground Water*, **33**(4), 605-614.

Bertoldi, D., Bontempo, L., Larcher, R., Nicolini, G., Voerkelius, S., Lorenz, G.D., Ueckermann, H., Froeschl, H., Baxter, M.J., Hoogewerff, J., and Brereton, P., 2011, Survey of the chemical composition of 571 European bottled mineral waters, *J. Food Compos. Anal.*, **24**(3), 376-385.

Birke, M., Rauch, U., Harazim, B., Lorenz, H., and Glatte, W., 2010, Major and trace elements in German bottled water, their regional distribution, and accordance with national and international standards, *J. Geochem. Explor.*, **107**(3), 245-271.

Bong, Y.S., Ryu, J.S., and Lee, K.S., 2009, Characterizing the origins of bottled water on the South Korean market using chemical and isotopic compositions, *Anal. Chim. Acta*, **631**(2), 189-195.

Bono, P. and Boni, C., 2001, Mineral Waters in Italy, In: LaMoureaux, P.E., Tanner, J.T. (eds.), *Springs and Bottled Waters of the World: Ancient History, Source, Occurrence, Quality and*

Use, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, p.183-189.

Brei, V.A., 2018, How is a bottled water market created?, *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, **5**(1), e1220.

Cho, B., Lee, B., Lee, I., and Choo, C., 2002, Speculation on the water quality for the natural mineral water, *Kor. Soc. Eng. Geol.*, **12**(4), 395-404 (in Korean with English abstract).

Cho, B., Sung, I., Choo, C., Lee, B., and Kim, T., 1998, Hydrochemical characteristics of natural mineral water in the Daebo and Bulguksa granites, *Kor. Soc. Eng. Geol.*, **8**(3), 247-259 (in Korean with English abstract).

Choi, S., 1983, Ground water from crystalline rocks in Korea, *J. Geol. Soc. Korea*, **19**(2), 57-62 (in Korean with English abstract).

Cicchella, D., Albanese, S., De Vivo, B., Dinelli, E., Giaccio, L., Lima, A., and Valera, P., 2010, Trace elements and ions in Italian bottled mineral waters: identification of anomalous values and human health related effects, *J. Geochem. Explor.*, **107**(3), 336-349.

Diduch, M., Polkowska, Z., and Namieśnik, J., 2011, Chemical quality of bottled waters: a review, *J. Food Sci.*, **76**(9), R178-R196.

Dinelli, E., Lima, A., Albanese, S., Birke, M., Cicchella, D., Giaccio, L., Valera, P., and De Vivo, B., 2012, Comparative study between bottled mineral and tap water in Italy, *J. Geochem. Explor.*, **112**, 368-389.

Dinelli, E., Lima, A., De Vivo, B., Albanese, S., Cicchella, D., and Valera, P., 2010, Hydrogeochemical analysis on Italian bottled mineral waters: effects of geology, *J. Geochem. Explor.*, **107**(3), 317-335.

Doo, Y., Kim, J., Kim, C., and Chang, D., 2000, Comparison of water quality of domestic natural mineral water, *J. Env. Sanit. Eng.*, **15**(1), 88-94 (in Korean with English abstract).

Edmunds, W.M. and Shand, P. (eds.), 2008, Natural Groundwater Quality. Blackwell Publishing, London, U.K.

Edmunds, W.M. and Smedley, P.L., 1996, Groundwater geochemistry and health: an overview, *Geological Society, London, Special Publications*, **113**(1), 91-105.

Eggenkamp, H.G.M. and Marques, J.M., 2013, A comparison of mineral water classification techniques: Occurrence and distribution of different water types in Portugal (including Madeira and the Azores), *J. Geochem. Explor.*, **132**, 125-139.

EU Directive 1980/777/EEC, 1980a, Council directive 1980/778/EEC of 15 July 1980 on the approximation of the laws of the Member States relating to the exploitation and marketing of natural mineral water. *Off. J. Eur. Communities* **L229**, 30.08.1980, 1-10.

EU Directive 1980/778/EEC, 1980b, Council directive 1980/778/EEC of 15 July 1980 relating to the quality of water

- intended for human consumption. *Off. J. Eur. Communities* **L229**, 30.08.1980, 11-29.
- EU Directive 2009/54/EC, 2009, Directive 2009/54/EC of the European Parliament and of the Council on the exploitation and marketing of natural mineral waters, *Off. J. Eur. Union* **L164**, 26/6/2009, 45-58.
- EU Directive, 1998/83/EC, 1998, Council Directive of 3 November 1998 on the quality of water intended for human consumption, *Off. J. Eur. Union*, **L330**, 5.12.1998, 32-54.
- EU Directive, 2003/40/EC, 2003, Council Directive of 16 May 2003 establishing the list, concentration limits and labeling requirements for the constituents of natural mineral waters and the conditions for using ozone-enriched air for the treatment of natural mineral waters and spring waters. *Off. J. Eur. Union*, **L126**, 22.5.2003, 34-39.
- EU, 2010, COMMISSION REGULATION No 115/2010 of 9 February 2010 laying down the conditions for use of activated alumina for the removal of fluoride from natural mineral waters and spring waters, *Off. J. Eur. Union*, **L37**, 10.2.2010, 13-15.
- Fricke, M., 1993, Natural mineral waters, curative-medical waters and their protection, *Environ. Geol.*, **22**(2), 153-161.
- Ham, S., Kim, S., Moon, S., Jeon, M., Oh, D., and Choi, S., 2005, Antioxidative, antimutagenic and cytotoxic effects of the mineral water, *J. Food Hyg. Saf.*, **20**(1), 53-57 (in Korean with English abstract).
- Hashimoto, S., 1988, Mineral balance indicator for healthy water. *Chemistry and Biology*, **26**(1), 65-68 (in Japanese).
- Hashimoto, S., Fujita, M., Furukawa, K., and Minami, J.I., 1987, Indices of drinking water concerned with taste and health, *J. Ferment. Technol.*, **65**(2), 185-192.
- Impact, 2018, Current Situation of Water Industry and Business Prospect. Impact. 648p (in Korean).
- Kim, I., Ha, H., Seo, W., Bae, J., Moon, H., Park, C., Oh, E., Lee, S., and Kim, M., 1998, A study of water quality characteristic of natural mineral water in Chonnam area, *J. Environ. Heal. Sci.*, **24**(1), 87-97 (in Korean with English abstract).
- Kim, K.-M. and Jang, Y.-J., 2015. Current situation of domestic and international management of carbonated water and its implication, National Assembly Legislation Bureau, *Issue and Point*, 1071 (in Korean).
- Kim, M.-K., Sim, J.-A., Eom, H.-J., Kim, M.-H., and Choi, M.-K., 2010, Mineral contents in bottled natural water and estimation of their intake by Korean adults, *J. Kor. Dietetic Assoc.*, **16**(2), 116-121.
- Kim, W., Li, H., Yoon, T., Sim, J., Choi, S., and Lee, K., 2009, Inhibitory activity of brine mineral water on cancer cell growth, metastasis and angiogenesis, *Kor. J. Food Nutr.*, **22**(4), 542-547 (in Korean with English abstract).
- Kim, Y., Lee, D., Yu, K., Kang, B., and Ha, N., 2006, Assessment of bacterial contamination of bottled water in Korea, 2005, *J. Environ. Toxicol.*, **21**, 283-289 (in Korean with English abstract).
- Koh, Y., Kim, C., Bae, D., Kim, K., and Jeong, H., 1999, Geochemical studies of the CO₂-rich water in the Chojeong area I. Water chemistry, *J. Kor. Soc. Groundwater Environ.*, **6**, 159-170 (in Korean with English abstract).
- Košutić, K., Novak, I., Sipos, L., and Kunst, B., 2004, Removal of sulfates and other inorganics from potable water by nanofiltration membranes of characterized porosity, *Sep. Purif. Technol.*, **37**(3), 177-185.
- Kozisek, F., 2005, Health risks from drinking demineralised water, In: *Nutrients in Drinking Water*, World Health Organization, 148-163.
- Krachler, M. and Shotyky, W., 2009, Trace and ultratrace metals in bottled waters: survey of sources worldwide and comparison with refillable metal bottles, *Sci. Total Environ.*, **407**(3), 1089-1096.
- LaMoreaux, P.E., 2001, Les Bouillens, Source Perier, Nimes, France, In: LaMoreaux, P.E., Tanner, J.T. (eds.), *Springs and Bottled Waters of the World: Ancient History, Source, Occurrence, Quality and Use*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, p.227-229.
- Lee, L., Ahn, K., Min, B., Yang, M., Choi, I., Chung, H., and Park, J., 2016, The study on the ion water characteristics of raw water in the domestic natural mineral water, *J. Kor. Soc. Water Environ.*, **32**(5), 442-449 (in Korean with English abstract).
- Lee, S. and Ko, J., 2014, The study of the development of bottled water quality index item, *J. Foodservice Management Soc. Kor.*, **17**, 279-301 (in Korean with English abstract).
- Lee, S., Lee, S., Kim, J. and Park, H., 2011, Assessment of Korean spring waters using a new mineral water index, *J. Kor. Soc. Water Wastewater*, **25**, 7-14 (in Korean with English abstract).
- Loveless, S. and Smedley, P., 2016, Mineral and thermal waters in the UK, *Wonder Water: the value of water*, 3p.
- Marcussen, H., Holm, P.E., and Hansen, H.C., 2013, Composition, flavor, chemical foodsafety, and consumer preferences of bottled water, *Compr. Rev. Food. Sci. Food Saf.*, **12**(4), 333-352.
- Ministry of Environment (MOE), 1996 to 2014, White Paper of Environment.
- Ministry of Environment (MOE), 2014, Study on the Investigation of Spring Site and Management for Various Mineral Waters.
- Ministry of Food and Drug Safety (MOFDS), 2009 to 2017, Production of Food and Food Additives.
- Misund, A., Frengstad, B., Siewers, U., and Reimann, C., 1999, Variation of 66 elements in European bottled mineral waters,

- Sci. Total Environ.*, **243**, 21-41.
- Nam, S., 1988, A study on a classification technique of natural mineral waters by its constitution and physico-chemical properties, *J. Environ. Heal. Sci.*, **14**(1), 33-38 (in Korean with English abstract).
- National History Compilation Committee (NHCC), Veritable records of the Joseon dynasty, <http://sillok.history.go.kr> [accessed 18.12.12].
- National Institute of Korean Language (NIKL), Standard Korean Dictionary, <http://stdweb2.korean.go.kr> [accessed 18.12.12].
- OJEU C65/01 of 16.3.2010, 2010. List Of Natural Mineral Waters Recognised By Member States (Last update: 5 April 2017).
- Opel, A., 1999, Constructing purity: Bottled water and the commodification of nature, *J. American Culture*, **22**(4), 67-76.
- Petraccia, L., Liberati, G., Masciullo, S.G., Grassi, M., and Fraioli, A., 2006, Water, mineral waters and health, *Clin. Nutr.*, **25**(3), 377-385.
- Redondo, R., and Yélamos, J.G., 2005, Determination of CO₂ origin (natural or industrial) in sparkling bottled waters by ¹³C/¹²C isotope ratio analysis, *Food Chem.*, **92**(3), 507-514.
- Reimann, C. and Birke, M. (ed.), 2010, *Geochemistry of European Bottled Water*, Stuttgart: Born-traeger Science Publishers, 268p.
- Richardson, S.D., Thruston, A.D., Caughran, T.V., Chen, P.H., Collette, T.W., Floyd, T.L., Schenck, K.M., Lykins, B.W.J., Sun, G.J., and Majetich, G., 1999, Identification of new ozone disinfection by products in drinking water, *Environ. Sci. Technol.*, **33**(19), 3368-3377.
- Robins, N.S. and Smedley, P.L., 2013, Groundwater-Medicine by the Glassful?, *Geological Society, London, Special Publications*, **375**(1), 261-267.
- Rodwan Jr, J.G., 2016, Bottled Water 2015. Acceleration: US and international developments and statistics, *Bottled Water Reporter*, **Jul/Aug**.
- Rodwan Jr, J. G., 2010, Bottled water 2009, Challenging circumstances persist: future growth anticipated. U.S. and Intl. developments and statistics. *Bottled Water Reporter*, **April/May**.
- Rylander, R. and Arnaud, M.J., 2004, Mineral water intake reduces blood pressure among subjects with low urinary magnesium and calcium levels, *BMC Public Health*, **4**(1), 56.
- Saleh, M.A., Abdel-Rahman, F.H., Woodard, B.B., Clark, S., Wallace, C., Zhang, W., and Nance, J.H., 2008, Chemical, microbial and physical evaluation of commercial bottled waters in greater Houston area of Texas, *J. Environ. Sci. Heal. A*, **43**(4), 335-347.
- Smedley, P.L., 2010, A survey of the inorganic chemistry of bottled mineral waters from the British Isles, *Appl. Geochem.*, **25**(12), 1872-1888.
- Song, E., Kim, E., and Woo, N., 2006, Survey on the Local residential utilization and the mineral content of mineral water in Chungnam area, *Kor. J. Food Nutr.*, **19**(4), 515-525 (in Korean with English abstract).
- Studlick, J.R., and Bain, R.C., 1980, Bottled waters^{OTM}expensive ground water, *Ground Water*, **18**(4), 340-345.
- US-EPA, 2012, 2012 Edition of the Drinking Water Standards and Health Advisories. EPA 822-S-12-001, Office of Water, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC.
- van der Aa, M., 2003, Classification of mineral water types and comparison with drinking water standards, *Environ. Geol.*, **44**(5), 554-563.
- Vrba, J., 1996, Thermal mineral water springs in Karlovy Vary, *Environ. Geol.*, **27**(2), 120-125.
- Walker, A., 1992, Drinking water - doubts about quality, *BMJ*, **304**, 175-178.
- World Health Organization (WHO), 2009, Calcium and magnesium in drinking-water: public health significance. World Health Organization.
- Wynn, E., Raetz, E., and Burckhardt, P., 2008, The composition of mineral waters sourced from Europe and North America in respect to bone health: composition of mineral water optimal for bone, *Brit. J. Nutr.*, **101**(8), 1195-1199.
- Yoon, D., Lee, B., and Wang, C., 2015, A study on the history of the Korean bottled water market, *Rev. Business History*, **73**, 137-161 (in Korean).
- Yoon, J. and Kim, K., 2000, Geochemistry and stable isotopes of carbonated waters in South Korea, *J. Kor. Soc. Groundwater Environ.*, **7**, 116-124 (in Korean with English abstract).
- Yoon, J. and Park, S., 1998, Hydrochemical characteristics of spring water in Cheju Island, *J. Kor. Soc. Groundwater Environ.*, **5**, 66-79 (in Korean with English abstract).
- Zaepke, M., 2003, *Mineral Water, Thermal Water and Medicinal Water*. - BMUNR (Ed.): Hydrologic Atlas of Germany (HAD), 3. Edition, Map 5.9, BGR, Bonn/Berlin, Germany.