

맛있는 물 지표 개발을 통한 국내 약수 평가

Assessment of Korean spring waters using a new mineral water index

이승재¹ · 이상은² · 김종곤³ · 박희경^{1*}

Lee, Seungjae¹ · Lee, Sangeun² · Kim, Jong-gon³ · Park, Heekyung^{1*}

1 KAIST 건설 및 환경공학과, 2 KAIST 미래도시연구소, 3 (주)삼성 엔지니어링

(2010년 12월 1일 접수 ; 2011년 1월 24일 수정 ; 2011년 1월 28일 채택)

Abstract

This study was motivated by the purpose of improving the O-Index, currently used to quantify water tasty. The authors first develop the M-Index after normalizing Ca, K, and SiO₂ concentrations in the spring water, in that the concentrations are subject to their log-normal distributions. The M-Index is then compared with the O-Index based on the results of sensory tests, revealing that sensory tests are correlated with the M-Index much more than the O-Index. Furthermore, the developed index is applied to evaluate water sampled from 53 springs in Korea. It is concluded that water, sampled from five most famous springs, has high values in M-Index. In addition, water, collected from springs that are relatively accessible, contains low values, and thus is expected not to tasty good.

Key words : M-Index, Water Tasty, Spring Water, Mineral Contents

주제어 : 미네랄수 평가지표, 물맛, 약수, 미네랄 함량

1. 서론

소득 수준의 향상과 함께, 물맛이 소비자 식수 선택에 있어서 하나의 중요한 기준이 되어가고 있다 (Kolodziej, 2004; Whelton et al., 2007). 기존에는 수인성 질병으로부터 안전하고 깨끗한 물이 주된 관심사였지만, 점차 맛있는 물에 대한 소비자들의 요구가 선진국에서부터 증가되고 있는 것으로 알려진다. Levallois (1999)의 연구에 따르면, 과반수정도가 수돗물을 식수로 이용하고 있지만 이들 중 약 30%정도는 물맛에 만족하지 못하고 있다고 조사되었다. 이러한 맛있는 물에 대한 요구조건으로 인해 병물 시장은

급성장을 하고 있다 (환경부, 2005). 미국이나 캐나다에서 병물을 이용하는 사람을 대상으로 한 설문에 따르면, 응답자의 39%가 물맛이 더 좋기 때문에 선택한 데에 반해 약 18%만이 안전하다고 판단하여 선택한 경우이다 (Kolodziej, 2004). 즉, 많은 사람들이 더 맛있는 물을 찾고 있으며 (Whelton et al., 2007), 이러한 현상은 주로 선진국에서 나타나지만 추후 국내나 개발도상국에서도 소비자들의 동일한 요구가 발생될 것으로 전망된다.

최근 수증의 미네랄이 물맛에 큰 영향을 끼치는 것으로 최근 연구되고 있다 (Hashimoto et al., 1987; Whelton et al., 2007; Gaman and Sherrington, 1990). 특히, Ca,

* Corresponding author Tel:+82-42-350-3620, Fax:+82-42-350-3610, E-mail: hpark57@kaist.edu(Park, H.)

K, SiO₂ 은 물맛을 높이고, Mg, SO₄ 등은 물맛을 나쁘게 하는 미네랄로 일반적으로 인식되고 있지만, 좋은 물맛을 위해 미네랄 함량 지표에 대한 구체적인 연구는 미흡한 실정이다. 좋은 물맛을 판정하는 미네랄 지표로는 Hashimoto (1987)가 개발한 O-Index가 지금까지 거의 유일하고, 국내에서도 이 지표를 활용하여 미네랄수를 평가하고 있다 (이승호, 2005; 이정자 등, 2006). Hashimoto 에서, 일본 각지의 수돗물과 지하수의 미네랄 함량 분석과 관능검사를 통해 제시된 O-Index는 다음 식(1)과 같고, 이후 그 값이 2 이상이면 맛있는 물로 간주되고 있다.

$$O-Index = \frac{Ca + K + SiO_2}{Mg + SO_4} (mg/l) \quad (1)$$

한편, 위의 O-Index는 몇 가지 문제점을 가지고 있다. 첫째, O-Index는 각종 미네랄의 종류에 따른 용해도 차이를 무시하고 각각 절대농도를 사용하고 있다. 사실, Hashimoto의 연구에 따르면, SiO₂, SO₄, Ca와 같은 미네랄의 농도가 K나 Mg 보다 훨씬 더 높게 측정되었으며, 이러한 경향은 국내 약수 및 샘물을 대상으로 한 이정자 (2006)의 연구에서도 나타났다. 즉, O-Index와 같이 절대 농도를 통하여 지표를 개발한다면, 결국 물맛은 SiO₂, SO₄, Ca의 미네랄 농도에 의해서만 결정된다는 문제가 발생한다. 둘째, O-Index에는 Mg나 SO₄의 관능검사 결과간의 상관관계가 잘못 반영되어 있다. 일반적으로 Mg와 SO₄가 물맛을 나쁘게 하는 미네랄로 인식되어 O-Index에 분모항으로 고려한 것과는 달리, 관능검사 결과를 자세히 보면 Mg와 SO₄는 물맛과 큰 상관관계를 가지고 있지 않으며 오히려 물맛을 약간 증가시킬 수 있는 미네랄이라는 해석이 가능하다. 따라서 맛있는 물에 대한 보다 정확한 평가를 위해 해당 지표에 Mg와 SO₄ 들을 제외하는 경우에 대한 검토가 필요하다.

위와 같은 배경으로부터, 본 연구에서는 (1) 맛있는 물 평가지표 (mineral water index; M-Index)를 새롭게 제시하고, (2) Hashimoto (1987)의 동일한 관능검사 결과 자료를 이용하여 O-Index와 M-Index간의 비교우위를

검증하려는 목적을 갖는다. 또한 (3) M-Index를 국내의 약수들의 물맛을 평가하는 데에 적용한다. 이는 미네랄 농도를 토대로 물맛을 산정하는 M-Index가 국내 약수에 대한 오랜 인지도에 어떠한 의미가 있는 지를 추가적으로 고찰하려 함이다.

2. 연구 방법

2.1 맛있는 물 평가지표 개선

앞서 설명한 바와 같이, 기존의 O-Index는 특정 미네랄 농도에 의하여 좌우될 가능성이 높다. 특정 미네랄의 영향을 줄이기 위한 한 가지 방법으로 미네랄 농도의 절대값 대신 상대값을 이용하는 것을 고려할 만하다. 만일 여러 곳에서 약수들을 채수한 경우 각 미네랄 농도들의 확률분포를 추정된 뒤 각 분포의 특성에 따라 정규화시키는 것이 가능하다. 그리고 Hashimoto (1987) 연구의 관능검사 결과는 Mg와 SO₄가 물맛에 큰 영향을 주지 않았기 때문에 제외할 것을 고려할 수 있다. 결국 모든 미네랄 농도들이 각각 특정 형태의 확률분포를 따른다면, 물맛과 관련된 전체 미네랄 평가지표는 다음과 같이 수정될 수 있다.

$$M-Index = Z_{Ca} + Z_K + Z_{SiO_2} \quad (2)$$

여기서, Z_A은 해당 미네랄 A의 추정된 확률분포에 대해 정규화된 농도를 의미한다.

2.2 국내 약수 분류 및 샘플링

물맛은 과학적 설명이 부족한 주관적 판단에 따르기 때문에, 본 연구에서는 문헌 기록, 전문가 견해, 그리고 일반적인 인식을 종합하여 Table 1과 같이 국내 약수를 세 가지로 분류하였다. Class A는 국내에서 가장 유명하고 맛있다고 알려진 5곳으로 이루어져 있으며 (이정자 등, 2006), Class B는 전국적으로 크게 알려져 있지는 않지만, 맛있는 물로 제시된 23곳이 선별되었다 (민병준, 2000). Class C로는 시군에서 지정, 관리되며 접근성이 뛰어나고 평균 일

Table 1. 국내 약수의 분류

구분	약수명	비고
Class A	초정, 개인, 오전, 오색, 달기 (5곳)	국내 5대 유명약수
Class B	선령, 고내미 버루, 필레, 불바라기, 화암, 오동수, 감로수, 몽천, 놀미, 옥샘, 장춘사, 류의태, 가야산 굴샘, 상림샘, 찬우물, 보광사, 온조왕, 약사골, 옥출, 냉정, 풍혈냉천, 고란사, 정혜사 (23곳)	문헌상 기록된 약수
Class C	토골, 단병골, 갯골, 약물내기, 국향사, 성지골, 성골, 얼음골, 영천, 음양수, 은하사, 물망골, 경운사, 자은하구, 자산, 형제, 곱돌광산, LG아파트, 은고개, 용천, 좁은목, 장군산, 동림사, 완산칠봉, 남원관광단지 (25곳)	시군 지정 약수

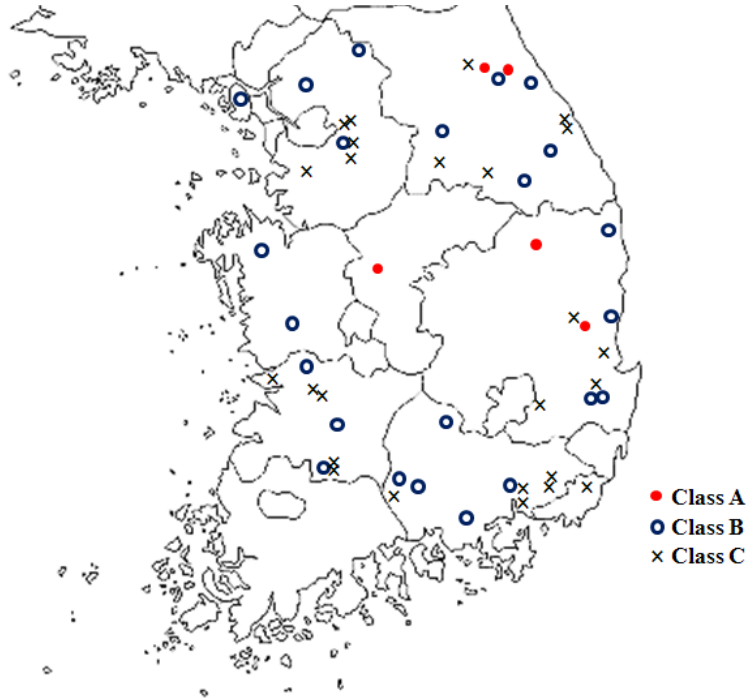


Figure 1. 국내 약수 샘플링 위치

일 이용자수가 50인 이상이 되는 일반적인 25곳의 약수를 선정하였다. 선정된 국내 약수는 Fig. 1과 같이 전국적으로 분포되어 있다.

선정된 국내 약수는 부유물질을 제거하기 위하여, 여과 직경이 0.45 μm 인 필터를 이용하여 여과되었다. 양이온, 음이온 분석을 위해서는 각각 2개씩의 50 ml 폴리에틸렌 채수병에 나누어 채수하여, 기포유입 없이 4°C 이하로 냉장보관 하였다. 또한 양이온 시료는 농축질산을 이용하여, pH 2가 되도록 조정하였다 (염재연, 2010).

2.3 국내 약수의 미네랄 측정

채취된 국내 약수들은 O-Index와 M-Index에 포함된 모든 미네랄들에 대해 다음과 같은 방식으로 성분분석을 실시하였다. 미네랄 성분 중 Ca, K, Mg와 같은 양이온은 Atomic Absorption Spectrometric (AAS) 방법을 이용하여 (APHA, 1985) 측정되었고, SiO_2 는 Induced Coupled Plasma Atomic Emission Spectroscopy (ICP-AES)으로 분석되었다 (Hoshino et al., 2001). SO_4 의 농도는 이온 크로마토그래피가 적용되었다 (이정자, 2006). 분석 정확도를 높이기 위해 모두 채수 후 24시간 이내에 성분분석이 수행되었다.

3. 결과 및 토의

3.1. 맛있는 물 평가지표(M-Index) 개발 및 검증

3.1.1 미네랄 농도의 정규화

Hashimoto (1987)의 자료를 재분석한 결과, 13개소 일반 수돗물, 약수, 병물 등에 포함된 미네랄 농도들은 모두 대수정규분포의 형태를 따름을 알 수 있었다. Fig.2에 나타난 것과 같이, 미네랄 농도의 대수값은 모두 정규확률지의 직선에 만족스럽게 배치되어 있으며, Kolmogorov-Smirnov 테스트 결과 또한 모두 상대적으로 낮은 값으로 미네랄 농도의 모집단이 대수정규분포를 따른다는 귀무가설을 기각할 수 없다. 이에, 임의의 미네랄 A의 농도에 대해, $\text{Log}[A] \sim N(\mu_A, \sigma_A^2)$ 이며, 각각의 미네랄 농도는 다음과 같은 식(3)으로 정규화하였다.

$$Z_A = \frac{\log[A] - \mu_A}{\sigma_A} \quad (3)$$

여기서, μ_A 는 전체샘플에서의 A 농도의 평균, σ_A 는 전체 샘플에서의 A 농도의 표준편차를 나타낸다.

식(2)와 식(3)으로부터, 13개소의 물에 대한 M-Index 산정결과는 Table 2와 같다. 각 미네랄 농도가 정규화되었

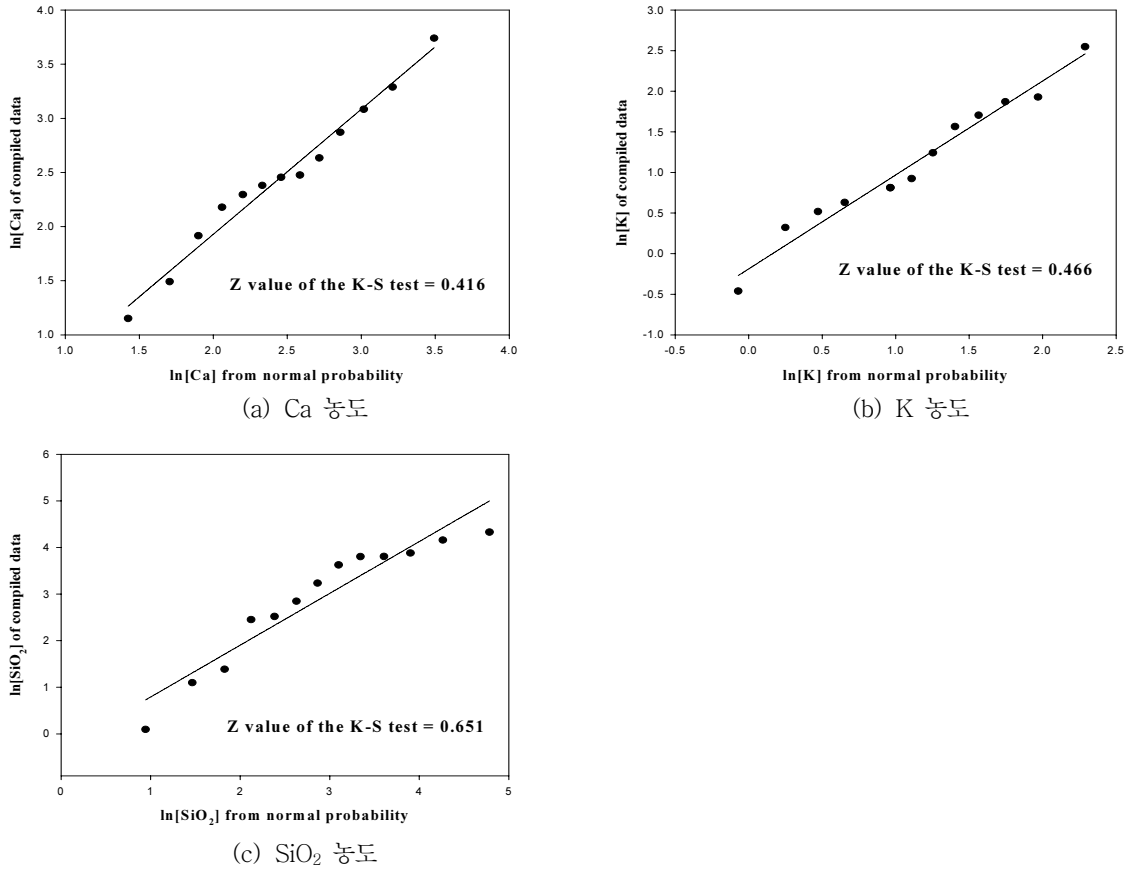


Figure 2. 일본 샘플에 포함된 각 미네랄 농도의 대수정규분포지

Table 2. M-Index 산정 결과

구분	Z_{Ca}	Z_K	Z_{SiO_2}	M-Index	O-Index
1	-1.85	-0.37	0.58	-1.64	10.36
2	-1.37	-0.98	-1.13	-3.48	6.20
3	-0.23	-0.59	-2.11	-2.93	11.88
4	-0.77	-1.95	-0.32	-3.04	8.26
5	0.25	-0.37	-1.35	-1.47	16.31
6	0.02	1.02	0.78	1.82	22.92
7	0.00	0.74	0.99	1.73	20.40
8	0.58	0.57	0.72	1.87	23.26
9	-0.11	-0.23	-0.01	-0.35	13.65
10	-0.40	0.16	1.12	0.88	21.41
11	1.18	1.79	0.28	3.25	40.19
12	0.88	0.95	0.72	2.55	30.07
13	1.82	-0.73	-0.26	0.83	44.10

기 때문에 M-Index의 음수(-)값을 갖는 6개소 약수는 평균치보다 낮은 함량의 미네랄이 포함되어 있으며, 반대로

양수(+) 값을 갖는 7개소는 평균보다 많은 미네랄이 용해되어 있음을 의미한다.

Fig.3은 동일한 미네랄 농도에 대해 O-Index와 M-Index의 값들을 서로 비교한 결과를 나타낸다. 지표값이 낮은 경우 (미네랄 농도가 전체적으로 평균 이하인 샘플)에서는 선형적인 상관관계를 가지고 있어 두 지표는 물맛을 평가하는 데 큰 차이를 주지 않을 것으로 예상된다. 하지만 지표값이 높은 경우 (미네랄 농도가 전체적으로 높은 샘플)에서는 상관관계가 줄어들어 두 지표간에 큰 차이가 발생하는 것을 예상할 수 있다.

3.1.2 관능검사결과와의 비교 평가

물맛이 수중 미네랄 성분에 의하여 영향을 받을지라도, 물맛은 주관적이고 상대적이며 정성적 항목임이 분명하다

(Whelton et al., 2007). 따라서 맛있는 물 평가지표에 대한 검증을 위해서는 관능검사 결과에 의존하는 방법밖에 없을 것이다. 마찬가지로, Hashimoto (1987)의 연구에 포함된 관능검사 결과를 토대로 기존의 O-Index와 새롭게 개발된 M-Index간의 비교우위를 평가하였다. Hashimoto (1987)의 연구에서는 앞에서 사용된 총 13개소 가운데 7개소의 수돗물, 지하수, 병물에 대한 물맛을 10명의 패널들이 심사하였다. 또한 관능검사에서 물맛을 평가할 때에는 물맛이 좋은 경우 낮은 값을 배점하였다. 이 결과를 이용하여, M-Index와 O-Index를 비교한 결과는 **Fig.4**와 같다. O-Index와 M-Index 모두 관능검사 결과와 음(-)의 상관관계를 가지고 있기 때문에, 두 값 모두 높을수록 더 맛있

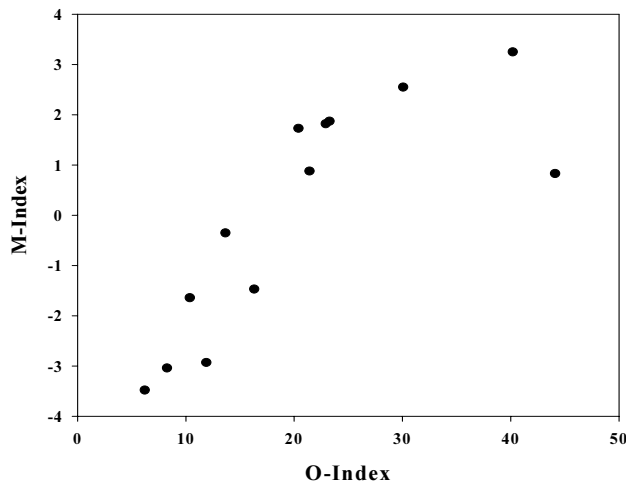


Figure 3. M-Index와 O-Index의 비교

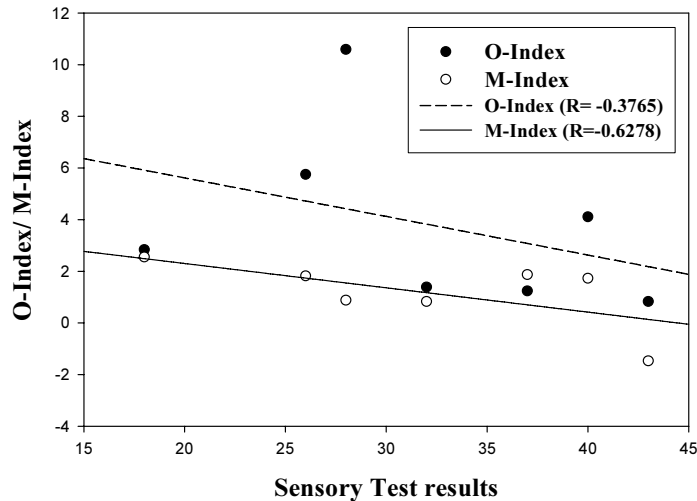


Figure 4. 일본의 관능검사 결과를 이용한 M-Index와 O-Index의 검증

는 물을 나타냄을 설명할 수 있다. 하지만 기존의 O-Index는 관능검사 결과와 다소 낮은 상관계수 ($R=-0.3765$)를 보임에 반해, 개발된 M-Index는 비교적 높은 상관계수 ($R=-0.6278$)를 갖는다는 것을 알 수 있다. 즉, M-Index는 물맛을 평가한 관능검사 결과를 더욱 잘 설명할 수 있으며 이는 곧 맛있는 물에 대한 지표로서 더 적절함을 알 수 있다.

3.2 국내 약수의 적용

Fig.5는 국내 53개의 약수에서 분석된 미네랄에 대한 대수정규분포지를 나타낸다. 앞에서 일본 연구자료를 가지고 분석한 것과 마찬가지로, 전체적으로 수중에 포함된 미네랄의 대수값은 정규확률지에 직선의 경향성을 보이며, Kolmogorov-Smirnov 테스트 결과 또한 모두 상대적으로 낮은 값으로 미네랄 농도의 모집단이 대수정규분포를 따른다는 귀무가설을 기각할 수 없다.

측정된 각각의 미네랄 농도를 식(2)와 식(3)에 적용해 M-Index를 계산한 결과는 Table 3 및 Fig.6과 같다. 국내에서 가장 유명한 약수가 포함된 Class A는 전체적으로 타 약수보다 많은 미네랄을 함유하여, M-Index 값이 3.19~5.64까지 나타났다. Class B의 경우, M-Index 값의 편차가 다른 분류보다 크게 발생하였다. 불바라기 약수에서는 6.36으로 샘플된 모든 약수들 가운데 가장 지표값이 높았지만, 보광사 약수는 -5.15로 가장 낮은 값을 기록하였다. 일반시민들의 접근성이 뛰어난 Class C의 M-Index 값은 -4.71~0.95로 대부분 0에 근접한 평균값이거나, 미네랄 함량이 적게 측정이 되었다. 결과적으로, 인지도가 높은 Class A에 속하는 물일수록 물맛을 좋게 하는 미네랄이 많이 함유되어 있고, 이에 따라 높은 M-Index 값을 나타내었다. 다른 말로 하면, M-Index는 물맛에 대해 오랫동안 형성된 인지도와 높은 연관성이 있음을 알 수 있다.

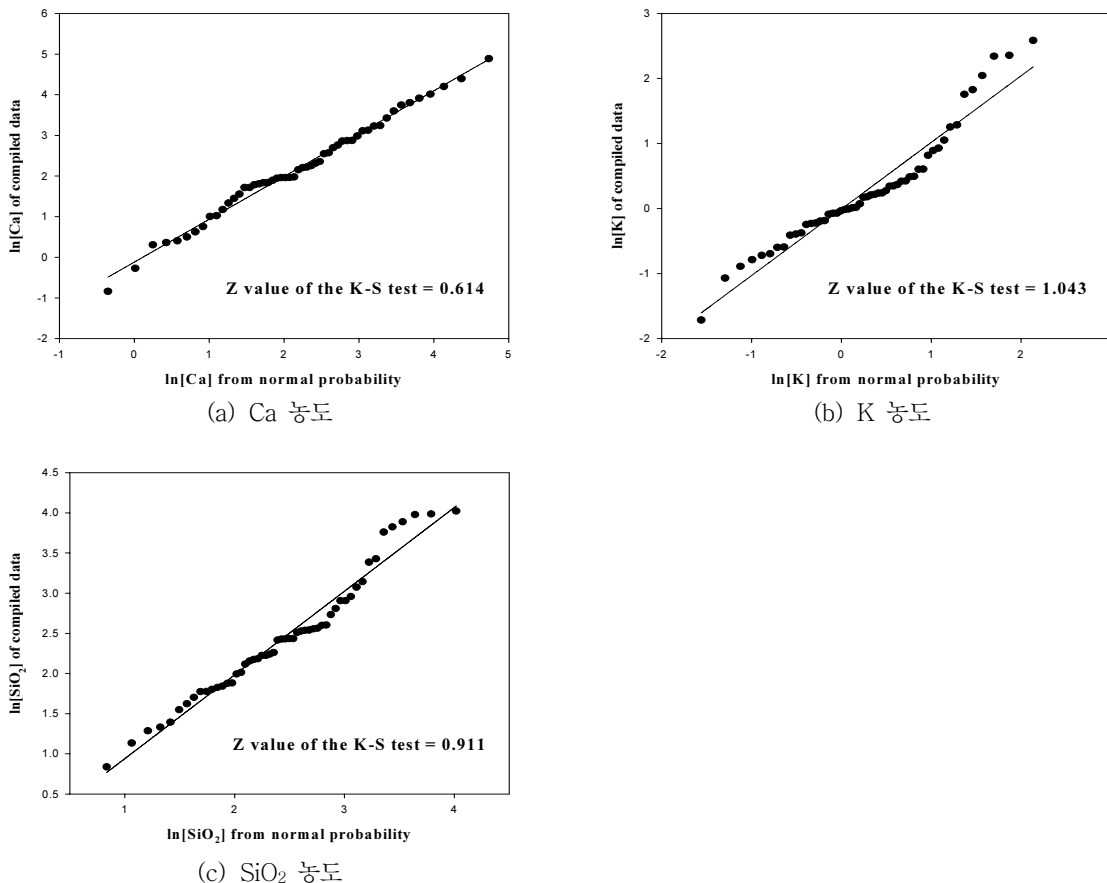


Figure 5. 국내 53개소 샘플에 포함된 각 미네랄의 대수정규분포지

Table 3. 국내 약수에 대한 M-Index 산정

구분	약수	M-Index	구분	약수	M-Index
Class A	조정	3.19	Class C	정혜사	-2.69
	개인	4.83		토골	0.47
	오천	5.07		단병골	-4.71
	오색	5.64		갯골	-1.45
Class B	달기	5.19		약물내기	-0.31
	선령	-3.40		국향사	-0.74
	고내미 벼루	1.23		성지골	0.11
	필레	4.15		성골	-0.23
	불바라기	6.36		얼음골	-1.12
	화암	0.69		영천	-0.84
	오동수	0.04		음양수	-1.05
	감로수	-1.73		은하사	0.24
	몽천	0.43		물망골	-1.96
	눌미	5.05		경운사	-1.25
	옥샘	-1.32		자은하구	0.50
	장춘사	-0.45		자산	0.30
	류의태	-1.58	형제	-0.72	
	가야산 굴샘,	-3.97	곱돌광산	0.09	
	상림샘	2.38	LG아파트	0.71	
	찬우물	-0.86	은고개	-4.32	
	보광사	-5.15	용천	-0.71	
	온조왕	-0.10	좁은목	0.95	
	약사골	-1.02	장군산	-0.85	
	옥출	-1.96	동림사	-0.59	
냉정	-0.17	완산칠봉	-0.55		
풍혈냉천	-0.94	남원관광단지	0.06		
고란사	-0.94				

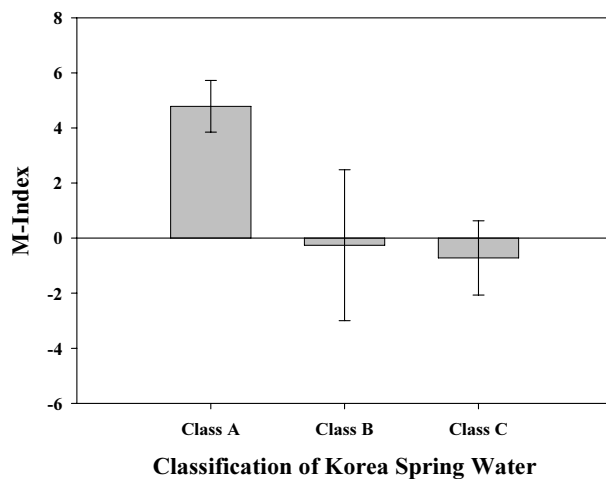


Figure 6. 국내 샘물 분류별 M-Index

좋은 물맛을 가졌다고 판단되는 Class A의 M-Index값이 높다는 점을 확인하였음에도 불구하고, 이 결과만으로 맛있는 물에 대한 가이드라인 제시를 하기에는 부족하다. 향후 연구에서는 신뢰구간 평가 등의 통계적 처리를 통하

여, 분석된 M-Index값을 일반화하고, 맛있는 물에 대한 가이드 라인을 제시할 것이다. 또한, 이러한 맛있는 물을 만들기 위한 방법 즉, 충분한 미네랄이 용해될 수 있는 방법론에 대한 고찰도 필요로 할 것이다.

4. 결론

생활 여건의 개선으로 물에 대한 소비자들의 요구가 안전한 물에서, 맛있는 물로 변하고 있다. 물맛은 수중의 미네랄에 의하여 크게 영향을 받기 때문에, 맛있는 물에 대한 연구를 위해서는 수중 미네랄 함량에 대한 분석이 필수적이다. 동 연구를 통해 Hashimoto가 제시한 O-Index의 문제점을 분석한 뒤 새롭게 M-Index를 제시하였고 개발된 지표를 통해 국내 53개 약수를 평가하였다. 그 결과는 다음과 같이 요약된다.

1. 물맛에 영향을 준다고 알려진 수중 미네랄 (Ca, K, SiO₂)은 대수정규분포를 따르고, 각 미네랄 함량의 정규화하여, 다음과 같은 M-Index가 제시되었다.

$$M-Index = Z_{[Ca]} + Z_{[K]} + Z_{[SiO_2]} = \frac{\log[Ca] - \mu_{Ca}}{\sigma_{Ca}} + \frac{\log[K] - \mu_K}{\sigma_K} + \frac{\log[SiO_2] - \mu_{SiO_2}}{\sigma_{SiO_2}}$$

2. 일본의 자료를 통해 비교한 결과, 기존의 O-Index보다 M-Index가 관능검사 결과와 더 높은 상관성을 나타내었다. 이는 M-Index가 물맛을 더욱 잘 분별한다는 것을 의미한다.
3. 국내 53개 약수를 평가한 결과, 가장 인지도가 높은 약수에서는 M-Index가 평균 4 이상의 높은 값을 갖고, 접근성이 뛰어난 일반 시군 약수터의 많은 경우 음(-)의 지표값을 가졌다. 이는 곧 인지도가 높은 물의 물맛은 다량의 미네랄 함유로 인한 것임을 추론할 수 있게 되었다.

사 사

본 연구는 한국수자원공사의 물산업 핵심분야 지원사업 (과제번호: WI08STU06)과 국토해양부가 주관하고 한국건설교통기술평가원이 시행하는 2007년도 첨단도시개발사업(과제번호:07도시재생B04) 지원 사업의 일환으로 수행되었고, 이에 감사드립니다. 또한 이 연구는 국내 약수터 내의 미네랄 농도를 분석한 것으로, 먹는물 수질기준과는 무관하다는 것을 알려드립니다.

참고문헌

- 민병준 (2000) *한국의 샘물*, 대원사
- 엄재연, 이병선, 김영인, 최종학 (2010) "간척지 인근 지하수를 이용한 대규모 농어업회사 용수공급 가능성 분석 연구", *한국관개배수논문집*, 17(1), pp.24-29
- 이승호 (2005) "우리나라 일부지역 약수의 미네랄 함량과 특성에 관한 조사", *서울대보건대학원 석사학위논문*
- 이정자, 김오목, 이병욱, 정유진, 김경태, 최춘석 (2006) "맛있고, 건강한 물의 미네랄 발란스에 관한 연구", *한국물환경학회대 한상하수도학회 공동추계학술 발표회*, 대구
- 환경부 (2005) 먹는물 다원화에 대한 정책방안 수립
- APHA, AWWA, WPCF (1985) *Standard Methods: For the Examination of Water and Wastewater* (16th edition), Washington, USA
- Gaman, P.M., & Sherrington, K.B. (1990) *The Science of Food: Introduction to Food Science, Nutrition and Microbiology* (3rd ed.), Oxford: Pergamon
- Hashimoto, S., Fujita, M., Furukawa, K., and Minami, J. (1987) "Indices of drinking water concerned with taste and health", *Journal of Fermentation Technology*, 65(2), pp.185-192
- Hoshino, T., Kurata, Y., Terasaki, Y., and Susa, K. (2001) "Mechanism of polishing of SiO₂ films by CeO₂ particles", *Journal of Non-Crystalline Solids*, 283, pp.129-136
- Kolodziej, E. (2004) "The bottled water story - here's what the consumers said!", *AWWA Annual Conference and Exposition*
- Levallois, P., Grondin, J. and Gingras, S. (1999) "Evaluation of consumer attitudes on taste and tap water alternatives in Quebec", *Water Science and Technology*, 40(6), pp.135-139
- Whelton, A. J., Dietrich, A. M., Burlingame, G. A., Schechs, M., & Duncan, S. E. (2007) "Minerals in drinking water: Impacts on taste and importance to consumer health", *Water Science and Technology*, 55(5), pp.283-291