

## 식수품질 저해요인 중 관리 우선순위 도출에 관한 연구

오희균 · 이희찬<sup>†</sup>

세종대학교 호텔관광대학

## Managerial Priority Derivation for Pollutants in Drinking Water

Hee-Kyun Oh · Hee-Chan Lee<sup>†</sup>

Department of Hospitality and Tourism Management, Sejong University

(Received 30 September 2015, Revised 30 December 2015, Accepted 31 December 2015)

### Abstract

The main purpose of this study was to derive managerial priority for pollutants in drinking water using the Delphi technique and analytic hierarchy process (AHP) method. We collected fundamental existing items based on a literature review for water pollutants, and deduced a total of 36 sub-items from nine core sectors, as follows: organic matter; inorganic substances; pathogenic organisms; chemicals; heavy metals; radioactive substances; sediment deposits; heat; and oil, and then conducted the first round of an expert study to ensure that objective indicators properly evaluate major issues for management of for drinking water quality. In the following round, the necessity and importance assessments of adjusted items were implemented using a content validity ratio index. Finally, items modified by Delphi surveys were applied to AHP. We computed weighted values by pair-wise comparison of sub-items and each of five sectors modified by the second round. According to the results of AHP, the managerial priority for pollutants in drinking water was as follows; while heavy metal placed first in importance, pathogenic organisms came second, followed by inorganic substances, organic matter and chemical substances from the sector perspective.

**Key words** : AHP, Delphi technique, Drinking water, Pollutants

### 1. Introduction

경제와 산업이 발전됨에 따라 갈수록 심화되는 환경오염과 수질오염으로 인해 마실 물의 질이 위협받고 있다. 환경적인 요인과 더불어 주요 기반시설의 파괴와 기능의 마비로 식수의 위생상태가 건강을 위협할 만큼 심각한 수준으로 발전할 수도 있다. 각종 생활하수, 공장폐수, 농축산폐수 등으로부터 야기된 화학물질들은 식수품질을 위협하는 가장 근원적인 문제로 제기되고 있기도 하다. 특히, 근래에 들어서는 녹조현상의 악화로 인해 식수원의 오염이 의심되는 상황이 발견되기도 하였다.

녹조 현상은 식물이 성장하는 데 필요한 영양물질이 과도하게 존재하는 수역에서 남조류의 대량 증식으로 물색이 녹색으로 변하는 수질오염을 의미한다. 근래에 들어 낙동강, 대청호 등 전국 각지에서 남조류의 대량증식에 따른 녹조현상 발생 빈도가 잦아진다는 보고가 있는데, 녹조현상은 시각적으로 착색되고 스킴 등을 형성하여 사람들로 하여금 불쾌감을 유발할 뿐 아니라 인체 및 가축에의 건강손상, 생태계 파괴 등을 야기할 수 있다. 경제적으로는 농업용수 및 산업용수의 부족 등을 가중시켜 지역경제에 부정적인 영향을 유발하기도 한다(Kim, 2010).

우리나라에는 약 3만 여종의 화학물질이 등록되어있고, 이중 약 1만 여종이 유통되는 것으로 보고되고 있으나, 관리대상은 1,000여종에 불과하다(Back et al., 2006). 1990년대의 금강 광역상수도에서 트리할로메탄의 수질기준 초과, 1991년 낙동강 수계의 폐놀유출 사건, 1994년 칠서정수장 수돗물의 이취미 발생, 2001년 수돗물에서 바이러스 검출 등 식수와 관련된 지속적인 사고를 거치면서 공공급수인 수돗물에 대한 불신은 정수기와 먹는 샘물 등의 수요를 촉발시키는 계기를 만들기도 하였다. 한국수자원공사가 2012년 국정감사용으로 제출한 자료에 의하면 우리나라 국민의 수돗물을 직접 마시는 비율은 3.7%에 불과한 것으로 나타났다.

식수품질에 부정적 영향을 미치는 요소를 전부 관리하고 개선할 수 있다면, 가장 이상적인 환경을 국민에게 제공할 수 있을 것이다. 그러나 현재 우리나라의 지방상수도 평균 요금은 1 m<sup>3</sup>당 약 610원으로 OECD 국가 중 최저수준이며, 일본의 절반, 유럽에 비해서는 15~20% 수준에 머물고 있어 수질 관리에 투입할 수 있는 예산이 한정적임을 알 수 있다. 수돗물 생산에 따른 예산 낭비를 저지한다는 측면에

<sup>†</sup> To whom correspondence should be addressed.  
leeheech@sejong.ac.kr

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

서도 식수품질 개선 노력은 필수적이거나 국민의 입장에서 어떠한 오염물질에 우선순위를 두어 관리하는 것이 사회 후생 증대를 도모하는지에 대한 연구는 미흡한 실정이다.

무엇보다, 정수기 이용률과 먹는 샘물 구매량의 증가 추세는 식수로서의 수돗물 가치가 하락하고 있음을 암시한다. 수돗물의 직접 음용이 감소하는 현 시점에서, 국민의 민감도를 자극하는 식수 품질 저해 요인을 규명하는 것은 환경정책적 측면에서도 중요성을 지닐 것이다. 따라서 식수 관련 소비자 행동을 관찰하는 데에 기초자료로 활용할 수 있는 체계적 가중치가 부여된 식수 품질의 항목 개발은 필요하다고 판단된다.

본 연구의 목적은 식수품질에 위해를 가하는 요소를 분석하여 관리적 측면에서의 우선순위를 도출하는 것이다. 수질 및 환경 분야의 전문가를 대상으로 델파이조사를 시행하여 식수 품질위해 요인을 도출하고, 계층화 분석기법 (Analytic Hierarchy Process: AHP)을 적용하여 상대적 중요도를 분석함으로써 선행적으로 관리방안을 수립해야 하는 요인을 제시한다. 본 연구의 결과는 식수품질관리에 요구되는 중요 쟁점들을 규명한다는 데서 의미가 있다. 또한 국민들의 수돗물 인식개선을 위해 공략해야 할 목표를 설정함으로써 안전한 음용수 공급체계 구축에 도움을 주고, 식수 품질에 대한 국민 인식 지표를 개발하는 데 있어 유용한 정보를 제공하는 데 목적이 있다.

## 2. Materials and Methods

### 2.1. 식수품질 저해요인의 기본 계층 설정

중요 식수 품질 저해요인을 도출하기 위한 기초 항목의 설정을 위해, 기존 문헌으로부터 36개의 수질 오염 원인물질을 기본 인자로 도출하였다. 선행 문헌에서 통상적으로 제시되고 있는 오염물질과 오염원 선정을 통해 전문가 조사설문의 기초 항목을 선정한 이유는 기존 세부 오염원에 대한 필요성과 중요성 그리고 상대성 파악이 가능하며, 전문가 의견 도출의 효율성을 높이기 위함이다. 수질오염물질의 구체적인 중분류 계층과 세부 지표는 Table 1에서 보는 것과 같다. 수질오염물질을 유기물, 무기영양소, 병원체, 화학물질, 중금속, 방사성물질, 침전물, 열, 기름 등으로 구분

하였다(Chun et al., 2010; Kim, 2010; Park et al., 2012).

먼저, 유기물은 생물체로부터 주로 발생하는 오염물질로 사람과 동물의 배설물, 낙엽과 같은 식물 잔해, 음식물 쓰레기와 같은 식품산업체로부터 배출된다. 물속에 유기물이 유입될 시 호기성 미생물들이 증식되며, 용존 산소가 소모되는 과정이 발생함에 따라 생물의 호흡곤란으로 생존이 어렵게 된다. 이러한 현상이 지속될 시 혐기성화가 진행되고, 사람들은 물에서 나는 악취를 감지하게 된다. 무기물질 가운데 수계 유입 시 환경에 영향을 크게 미치는 대표적인 물질은 가축분뇨, 생활하수, 화학비료 등으로부터 발생하는 인(phosphorus)과 질소(nitrogen)가 주원인이다. 이는 수생태계 내의 수중광합성 생물인 남조류 등의 성장 제한요인으로 작용함에 따라, 인과 질소 성분이 과다하게 유입되는 경우 부영양화(eutrophication)가 진행되어 식물성 플랑크톤의 수가 증가하게 되고, 결국 국민이 인식 가능한 녹조 현상을 발생시킨다.

변-구강 경로를 통해 주로 감염되는 수인성전염병은 물에 오염된 병원체 미생물이 원인이다. 온혈동물의 장에서 변으로 배설되며, 이는 다시 물을 통해 사람의 입으로 들어오고 위장 내에서 증식하여 질병을 야기한다. 보편적으로 세균, 바이러스, 원생동물 등의 미생물이 전염병을 일으키는 것으로 알려져 있으며, 이에 따른 질병인 장티푸스, 콜레라 등은 국민도 위험성을 인지하고 있다고 판단된다. 일반적으로 국민이 유해하다고 생각하는 화학물질 중에는 발암성이 있는 것으로 확인된 물질도 많이 있다. 이는 주로 물질 생성 공정이나 저장 시설, 또는 운반과정, 사용 과정에서 유출되어 수질을 오염시킨다. 가령, 잔디밭에 뿌려져 있는 살충제, 제초제 등은 지하수나 하천으로 유입되어 인간에게 부정적 영향을 미친다.

중금속에 대한 인체 노출경로는 먹는 물 섭취이외에도 호흡기나 음식을 통하여 인간에게 흡수되며, 다양한 질병의 원인이 된다. 생물체에서 배출되는 속도가 현저히 느려 농축현상을 보이며, 이는 분해가 용이하지 않아 배출도 어렵게 만드는 오염물질이다. 예를 들어, 수은 중독에 의한 미나마타병과 카드뮴이 원인인 이타이이타이병은 중금속 관련 질병으로도 국민에게 익히 알려져 있는 질병이다. 방사성노출의 경우, 식품 섭취에 따른 국민의 평균 방사능

Table 1. Establishment of core pollutants in drinking water

Category	Pollutants
Organic matter	(1) Draff, (2) Human and Animal excrement, (3) Livestock-related Feed and Fertilizer, (4) Animal and Plants carcasses (e.g., mass strandings, fallen leaves)
Inorganic substance	(5) Livestock excretions (nitrogen-phosphorus increase), (6) Plant debris, (7) Sewage (e.g., Dishwashing water), (8) Chemical fertilizers
Pathogens	(9) Bacteria, (10) Virus, (11) Protozoa, (12) Mold
Chemicals	(13) industrial waste water (e.g., washing water), (14) Synthetic detergent, (15) Insecticide, (16) Herbicide
Heavy metals	(17) Wastewater, (18) Farm waste (e.g., pesticides), (19) Mining waste, (20) Particulate matter (e.g., dust)
Radioactive substances	(21) Nuclear power plant waste, (22) Industrial waste (e.g., uranium), (23) Waste for science, (24) Medical waste
Sediment deposit	(25) Cropland deposit, (26) Construction Site deposit, (27) Outdoor light deposit, (28) Car exhaust deposit
Heat	(29) Thermal power plant cooling water, (30) Nuclear power plant cooling water, (31) Industrial cooling plants, (32) smelting factory cooling water
Oil	(33) Waste cooking oil, (34) Automotive oil spill, (35) Ship oil spill, (36) Pipeline spill

연간 노출수준은 0.008~0.081 mSv으로 실제 먹는 물로 인한 인체 건강영향은 미미한 수준이지만, 생물 유전자에 치명적인 영향이 미칠 수도 있다. 인간에게는 암 발병이나 기형아 출산 등으로 나타나게 되는데, 방사성물질의 주 오염원은 원자력 시설의 폐기물, 의학 그리고 과학계 방사능 물질로부터 발생한다.

침전물은 물의 탁도 증가로 이어져 빛의 투과성 감소 및 수생물 광합성 방해로까지 이어진다. 또한, 하천 지형을 변화시켜 어류의 산란 장소가 파괴되는 등 수생태계의 교란을 야기한다. 이는 농경지, 노천광, 건설현장의 점토나 모래의 형태로 배출되며, 인간에게는 물의 심미적 기능을 저감시키는 주원인이 된다. 열은 발전소 등의 고온 냉각수로 방류되는데, 고온의 물은 수온을 상승시켜 수중생태계를 교란시킨다. 열 쇼크 상태에 따른 용존 산소 감소 현상은 어류의 산란을 교란시켜 죽음을 야기하며, 이러한 현상이 지속될 경우 어류의 질병과 생물종의 변화를 가져와 인간에게까지 위해요인으로 작용한다. 기름은 자동차를 비롯한 배, 송유관, 기름 저장 탱크에서 유출되어 지하수 및 지표수를 오염시키는 물질이다. 기름막이 물에 형성되면 기체의 확산을 저해하여, 수중생물들의 산소활동을 방해하고 분해되지 못한 기름은 침적토 부근에 침전되어 수생물의 생리적 특성을 변화시키게 된다.

## 2.2. Delphi 조사 방법

델파이 조사기법은 집단의 의견이 개인보다 질적인 면에서 우월하다는 가정을 두고 있으며, 전문가 패널의 제언을 통해 예측이 어렵거나 불확실한 사회문제에 대해 해결책을 마련하는 방법으로 발전해왔다. 이는 특정 사회문제에 대한 일치도가 떨어지거나, 관련 지식이 부족하다고 판단될 때 주로 수행되는 기법으로(Delbecq et al., 1975; Rowe and Wright, 2001), 보편적으로 2회 이상의 전문가 견해를 수집하고 정리하는 반복 과정을 거치게 된다.

델파이는 다음과 같은 세 가지 주요 특징을 지닌다. 첫째, 응답자 패널로 참여하는 사람들은 익명성을 보장받은 상황 아래, 서로 간의 대면이 없이 공식적 설문서를 통해 서면 의견을 제시하게 되며, 둘째, 반복 설문을 진행하는 동안 신중히 정제된 피드백으로 상호작용한다는 것이고, 셋째, 개별 응답을 종합한 집단 수준에서 평가되는 통계적 반응이 존재한다는 점이다. 이러한 특성을 통해 권위에 의한 개인 효과, 다수 의견에 순응하게 되는 동조 효과, 주제에 벗어난 대화 등을 통제하게 되고, 응답의 오류를 줄이며 정확도를 높게 된다.

델파이 조사에서 면밀히 검토되어야 하는 사항 중 하나는 패널 참가자의 선정 여부이다. 동조사의 결과는 패널의 협력과 지식수준에 큰 영향을 받기 때문에 신중한 검토를 통한 전문가 선별 작업이 우선시 되어야 한다(Gordon, 1994). 패널 집단이 대표성을 반드시 지녀야 하지는 않지만 해결하고자 하는 연구문제에 대해 전문적인 의견을 제시할 수 있어야 한다(Fink and Kosecoff, 1985). 델파이 조사 패널 규모와 관련하여, 일부 연구에서는 15명~30명 사이의 전문

가 의견이 활용되고 있다고 알려져 있으며(Gordon, 1994), 델파이 조사 결과의 외적 타당도는 전문가 패널이 모집단에 대한 대표성을 지닐 경우 패널 특성에 따라 자체적으로 증가하게 된다(Lee, 2001).

본 델파이 전문가 조사의 패널 집단은 현재 국내 수질 및 환경 분야에서 권위자로 인정받고 있는 대학교수, 연구원 그리고 사업체 실무자로 다양하게 구성하였다. 델파이 1차 조사에서는 9명의 전문가 의견을 통해 기존 문헌으로부터 선정된 9개의 수질 오염물질 중위 지표와 36개의 하위 세부 지표에 대한 검사와 개발을 의뢰하였다. 이는 보편적인 지표를 수정·보완하기 위한 절차로, ‘조사 목표에 부합되는 중위 계층이 설정되었는지’, ‘구분은 타당성을 지니는지’, ‘하위 항목들은 절제한지’, ‘추가 사항은 없는지’, ‘현시점에서 고려될 필요성이 있는지’에 대한 검토를 위함이다. 1차 델파이에서는 일반적으로 개방형 질문이 주가 되므로, 지나친 설문서의 구조화나 세분화는 지양하였다.

2차 조사에서는 1차 조사를 통해 정제된 항목은 확정된 중위 계층과 하위 지표를 구성하게 되며, 패널 수를 확장시킨 43명의 수질 및 환경 분야의 대학교수, 연구원 그리고 사업체 실무자를 통해 각 지표의 중요도를 검사하게 된다. 폐쇄형 질문을 통해 얻어진 중요도는 평균과 중위수를 비롯한 내용타당성비율(content validity ratio: CVR)값을 통해 내용 타당성을 분석하며, 타당도가 확보된 응답을 최종 항목으로 채택하는 방식을 따른다. CVR값을 구하는 방법은 다음 식 (1)에서 보는 것과 같다.

$$CVR = (n_e - \frac{N}{2}) / \frac{N}{2} \quad (1)$$

여기에서,  $n_e$ 은 Likert 7점 척도를 기준으로 5~7에 해당하는 점수를 뜻하며,  $N$ 은 전체 패널 수를 나타낸다. CVR값은 통상적으로 Lawshe (1975)가 제시한 유의수준 5% 이내의 타당도에서 측정되며, 패널 수에 기초하여 검정값이 결정된다.

## 2.3. 계층적 의사결정 방법

AHP는 자연 과학적 측면에서 측정이 어려운 사안을 사람의 판단에 의해 합리적 결과를 도출하는 방식으로, 절대 평가가 아닌 쌍대비교(pairwise comparison) 행렬을 이용한 상대평가 측정법이다. AHP는 의사결정과 관련한 여러 대안을 체계적으로 계층화시켜, 가중치를 비율측정으로 산정한 후, 일관성 수치에 따라 질을 평가하게 된다.

다 기준 의사결정기법으로도 알려져 있는 AHP는 대안 평가 시 의사 결정자의 객관적 수치와 주관적 요소를 동시에 포괄한 가중치가 부여되며, 이에 따른 우선순위가 도출될 수 있다는 장점이 있다. 다시 말해, 의사결정자의 학계 및 실무의 경험과 직관이 반영된 정량적 수치뿐만 아니라 계량으로 다루기 어려운 질적 정보를 반영한다는 것이다.

AHP 기법은 국내 수질 관련 연구에서도 다양한 주제에 사용되어 왔는데, 하천 수질개선 우선순위에 따른 등급화

모델 개발(Park and Rhee, 2015)을 비롯하여 균향의 수질관리 우선순위 도출(Nam, 2009), 마을 하천 복원의 우선순위 선정법(Kim, 2014), 먹는 샘물 평가지표개발(Lee and Ko, 2014) 등의 연구에서도 그 유용성이 인정되었다고 볼 수 있다.

AHP는 일반적으로 4단계에 걸친 분석체계를 이루고 있다. 1단계에서는 연구의 목표라 할 수 있는 상위 계층을 기준으로 상호 관련성이 있는 의사결정 대안을 기준별로 구체화하는 의사결정 계층도를 설정한다. 2단계에서는 상위 계층을 구성하는 중위계층을 기준으로 하위계층에 속해 있는 세부 지표 간에 상대평가가 가능하도록 쌍대비교 행렬을 구성한다. 3단계에서는 쌍대비교 분석을 통해 도출된 행렬을 기초로 각 계층에 속해 있는 항목 간의 상대적 중요도 가중치를 산정한다. 마지막 단계에서는 중위계층 및 하위계층 항목의 상대적 가중치 합산을 통하여 계층 및 세부지표 간의 우선순위를 정하게 된다. 결론적으로 연구 목표의 달성을 위한 종합 가중치를 이용하여, 영향력에 따른 기준의 서열을 나열할 수 있게 된다.

델파이 조사에서 확정된 항목은 AHP 분석을 위한 계층도에 배치된다. 이후 구조화된 중위계층과 하위계층 지표 간의 쌍대비교 행렬을 사용해 각 항목의 상대적 가중치를 산정하게 되는데, 이때의 타당성은 일관성비율(consistency ratio: CR)에 기초해 판단한다. 즉 쌍대비교 질문에 대한 각 응답이 모순 없이 도출되었는가를 판별하는 것으로 이는 일관성지수(consistency index: CI)와 난수지수(random index: RI)의 비교를 통해 나타난다. 본 연구는 일관성 비율이 10% 이하를 보일 경우, 비일관적인 응답으로 간주하여 분석에서 제거하는 절차를 따른다(Saaty, 1990). CR값은 다음 식 (2)에서 보는 것과 같다.

$$CR = \left( \frac{CI}{RI} \right) \times 100 \quad (2)$$

여기에서  $CI = (\lambda_{max} - n) / (n - 1)$ 로 표현되며,  $\lambda_{max}$ 는 행렬의 가장 큰 고유치를 나타낸다.  $RI=1$ 부터 9까지 임의로 설정된 수치의 역수행렬로부터 평균 CI를 산출한 값으로서 일관성의 허용치를 의미한다.

본 분석의 마지막 단계는 각 의사결정 항목의 상대적 가중치의 총합으로 순위를 도출하는 것으로 앞서 산출된 중위계층과 하위계층 항목 간의 가중치를 합산하여 종합적인 중요성 벡터를 구한다. 이러한 방법으로 각각 1명의 응답자의 의사결정에 대한 결과치를 산정한 후, 패널의 쌍대비교 행렬을 합하여 평가치를 구하게 된다. 적용의 효율성을 위해 사용되는 이 방법에서는 개별 평가자가 제시한 쌍대비교 행렬 중 각 원소에 대한 기하평균의 이용이 권장된다(Ibid.).

### 3. Results and Discussion

#### 3.1. Delphi 1차 조사 결과

델파이 1차 조사는 중요 식수 품질 저해요인을 도출하기 위한 것으로서 기존 문헌을 통해 도출된 36개의 수질 오염

원인물질에 대한 수정·보완을 목적으로 한다. 전문가적 입장에서 제거가 요구되는 항목을 선택하게 하였으며 추가 요인에 대한 제언을 개방형 응답으로 받았다. 1차 조사의 패널은 수질(N=5) 및 환경(N=4) 분야의 대학교수(N=5), 책임연구원(N=2), 실무분야의 소장급 대표이사(N=2) 등으로 이루어진 전문가 집단이며, 20년 이상의 경력을 보유하고 있다.

먼저, 유기물의 경우 필요성\*이 0.78 이상으로 도출된 가운데, ‘인간·가축 분뇨’ 항목은 ‘인간 배설물’과 ‘동물 배설물’로, ‘축산폐수(사료, 비료)’는 축산 관련 ‘사료’와 ‘비료’로, ‘동·식물 사체’는 ‘동물 사체’와 ‘식물 사체’로 오염원의 비중이 다르다는 의견 하에 각각 개별 항목으로 세분화되었다. 무기영양소의 경우, 항목 전부가 0.67 이상의 필요성을 보였으며, ‘분뇨’는 ‘가축분뇨’로 구체화되었다. ‘화학비료’는 무기영양소 오염과 관련한 예시가 추가되었고, 하수처리장 방류수가 새로운 항목으로 추가되었다.

병원체 부문은 모든 항목이 0.67~0.78의 필요성을 나타냄에 따라 다음 차수로 이전되었으며, 병원체 ‘프라이온’이 추가 항목으로 구조를 보완하였다. 화학물질 계층 역시 0.67~1.00의 필요성을 보이는 가운데, ‘산업폐수’와 ‘합성세제’가 ‘살균제’, ‘세척제’, ‘착색제’, ‘방부제’ 등으로 구체화된 항목으로 제시될 것을 권고 받았다. 추가 항목은 의약품질과 개인위생용품(화장품, 손 소독제 등), 정수 과정 시 과다 투입된 염소 등이었다.

중금속 부문의 필요성은 0.67~0.89를 도출하였으며, 각 항목에 대한 예시가 추가되었다. 따라서 공장폐수에 대한 ‘주물공장 피해’ 사례, 농장폐수에 관한 ‘농약’ 등으로 보완되었고, ‘쓰레기 매립장 중금속’ 항목이 추가되었다.

방사성 물질 또한 0.67~0.78의 오염 관리에 대한 필요성이 나타났으며, ‘자연 방사성 물질(라듐, 라돈 등)’과 ‘방사성 요오드(빗물 등)’가 추가 항목으로 설정되었다. 침전물은 0.67~1.00의 필요성을 보여, 2차 조사에서 검정이 확실시되었으며, 열 부분도 ‘밸러스트 워터(선박 등)’ 추가만을 제외하고는 모두 다음 라운드의 필요성(0.67~0.89)이 확인되었다. 기름의 경우, ‘송유관 유출’에 대한 사례(예: 유전 사고)가 보완되었고, ‘연안시설 유출(기계공장 등)’ 항목이 추가되었다.

델파이 1차 조사를 통해 조정된 식수원 오염물질을 정리하면 Table 2에서 보는 것과 같다. 총 51개의 세부지표를 도출하였으며, 2차 조사에서는 1차 조사결과로 정리된 중위 및 하위 계층 요소들에 대해 각각의 중요도를 Likert 7점 척도로 질문하게 된다.

#### 3.2. Delphi 2차 조사 결과

구조화된 모형의 도출을 위해 1차 설문에서는 개방형 질문을 위주로 각 항목의 수정·보완이 목적이었지만, 2차 설문은 확정된 구조 내에서 오염물질과 오염원에 대한 관리

\* 각 항목에 대한 패널의 응답 빈도가 50%일 시, 그 문항은 어느 정도의 내용타당성을 지닌다는 내용타당도 비율(CVR)의 전체에 입각하여 0.5 이상으로 나타난 항목은 2차 조사에서 검사가 요구된다고 판단함

**Table 2.** Core pollutant list adjusted using the Delphi-survey method

Category	Pollutants
Organic matter	(1) Draff, (2) Human excrement, (3) Animal waste, (4) Feed (livestock related), (5) Fertilizer (livestock related), (6) Animal carcasses (e.g., mass strandings), (7) Plants carcasses (e.g., fallen leaves)
Inorganic substance	(8) Livestock excretions (nitrogen-phosphorus increase), (9) Plant debris, (10) Dishwashing water (sewage), (11) Chemical fertilizers (e.g., phosphate, silicate), (12) Sewage Treatment Plant Effluent
Pathogens	(13) Bacteria, (14) Virus, (15) Protozoa, (16) Prions, (17) Mold
Chemicals	(18) Insecticide, (19) Herbicide, (20) Disinfectant, (21) Cleaning solution, (22) Coloringagent, (23) Antiseptic, (24) Medicinal substances, (25) Personal hygiene item (e.g., handsanitizer), (26) overdose of chlorine for water treatment
Heavy metals	(27) Wastewater (foundry damage), (28) Farm waste (e.g., pesticides), (29) Mining waste (e.g., waste coal), (30) Particulate matter (e.g., dust), (31) Landfill
Radioactive substances	(32) Nuclear power plant waste, (33) Industrial waste (including uranium), (34) Waste for science, (35) Medical waste, (36) Natural radioactive substances (e.g., radium, radon), (37) Radioactive iodine (e.g., rain)
Sediment deposit	(38) Cropland deposit, (39) Construction Site deposit, (40) Outdoor light deposit, (41) Car exhaust deposit
Heat	(42) Thermal power plant cooling water, (43) Nuclear power plant cooling water, (44) Industrial cooling plants, (45) Smelting factory cooling water, (46) Water ballast (e.g., ships)
Oil	(47) Waste cooking oil, (48) Automotive oil spill, (49) Ship oil spill, (50) Pipeline spill (e.g., oil field accidents), (51) Coastal outflow (e.g., machine shop)

**Table 3.** Profiles of panel members

Variable	Category	Frequency	Ratio (%)	Variable	Category	Frequency	Ratio (%)
Gender	Male	36	83.7	Job Tenure	5~9Y	3	7.0
	Female	7	16.3		10~14Y	7	16.3
Age	35 ~ 39Y	6	14.0		15~19Y	16	37.2
	40 ~ 44Y	12	27.9		20~24Y	7	16.3
	45 ~ 49Y	11	25.6		25~29Y	8	18.6
	50 ~ 54Y	8	18.6		Over 30Y	2	4.7
	55 ~ 59Y	4	9.3		Vocation	Professor	19
	over 60Y	2	4.7	Researcher		15	34.9
	Area of Expertise	Water Quality	21	48.8		Executives	9
Environment		22	51.2				

측면의 중요도를 폐쇄형으로 의뢰하는 것이다. 따라서 1차 패널을 포함하여 더 많은 전문가의 의견을 수렴하도록 하였다. 델파이 2차 조사의 패널 수는 총 43명이며, 이들 응답전문가의 기본 정보는 Table 3에서 보는 것과 같다.

델파이 2차 조사결과는 Table 4에서 보는 것과 같다. 요약컨대, 9개의 오염물질 부분 중 ‘유기물’, ‘무기영양소’, ‘병원체’, ‘화학물질’, ‘중금속’ 계층만이 채택되었고, 나머지 ‘방사성 물질’과 ‘침전물’, ‘열’, ‘기름’ 부분은 식수품질 저해요인 관리의 중요도가 현시점을 기반으로 했을 시 낮다고 판별되어 제외되었다. 이러한 결과가 의미하는 것은 식수품질은 지표수나 지하수 관련 오염물질이 해양 관련 물질보다 관리 측면에서 우선시 되어야 함을 나타내는 것으로 현재의 국내 실정을 적절히 반영한 것이라 사료된다.

구체적으로 부문 간 결과를 살펴보면, 유기물 관리의 경우 동물 배설물과 축산 관련 사료와 비료가 각각 CVR = 0.349, 0.395, 0.535로 내용 타당성을 입증하였으며, 평균값 역시 5.0 이상, 중위수는 6.0 이상으로 안정적인 수치를 보였다. 세 항목의 신뢰도 Cronbach  $\alpha$  값은 0.895로 유기물 관리의 중요도를 설명하기에 적합한 것으로 나타났다. 무기

영양소는 가축분뇨(Mean = 6.28, Median = 7.0, CVR = .860)으로 높은 관리의 중요성을 보였으며, 화학비료(Mean = 5.70, Median = 6.0, CVR = .767)와 하수처리장 방류수(Mean = 5.56, Median = 6.0, CVR = .581) 역시 중요한 것으로 판별되었다. 무기영양소 관리의 중요도를 구성하는 세 항목의 신뢰도는 0.771로 매우 안정적인 수치를 나타냈다.

병원체 관리는 박테리아, 바이러스, 원생동물이 각각 CVR = 0.535; 0.628; 0.349로 채택되었으며, 평균(5.29~5.57)과 중위수(5.5~6.0) 역시 안정적인 값을 도출하였고, 세 항목에 대한 신뢰도 계수는 0.726로 나타났다. 반면, 프라이온(CVR = -0.256)과 곰팡이(CVR = -0.349)는 패널 사이에서 내용타당성을 얻지 못하였다. 화학물질은 살충제(CVR = 0.860)를 비롯하여, 제초제(CVR = .907), 의약품(CVR = .814)이 채택되었으며, 구성 항목의 신뢰도 역시 0.760으로 안정적이었고, 세 항목의 평균보다 5.24 이상, 중위수 역시 6.0을 나타냈다. 한편, 이들을 제외한 살균제, 세척제, 착색제, 방부제, 개인위생용품, 정수 과정 시 염소 과다 투입 항목은 필요성 면에서 50% 이상을 보였지만, Panel 42명 기준, CVR 최솟값인 0.29( $p < .05$ )를 넘지 못하여 제외되었다.

**Table 4.** Evaluation of the managerial importance of pollutants in drinking water

Pollutants	Source of pollution	M	S.D.	Me	CVR		$\alpha$	Z-value (MW)	$\chi^2$ (KW)
Organic matter M=5.32 S.D=1.29	Draff	4.79	1.67	5.0	0.163	×	.895	-0.425	2.74
	Human excrement	4.86	1.46	5.0	0.116	×		-0.464	0.34
	Animal waste	5.34	1.42	6.0	0.349	○		-0.267	1.43
	Feed (livestock related)	5.35	1.33	6.0	0.395	○		-0.749	2.89
	Fertilizer (livestock related)	5.60	1.35	6.0	0.535	○		-1.055	0.33
	Animal carcasses (e.g. mass strandings)	4.70	1.67	5.0	0.070	×		-0.569	1.53
	Plants carcasses (e.g. fallen leaves)	3.67	1.52	4.0	-0.302	×		-0.533	0.26
Inorganic substance M=5.72 S.D=1.24	Livestock excretions (nitrogen-phosphorus)	6.28	0.91	7.0	0.860	○	.771	-0.267	0.79
	Plant debris	3.88	1.27	4.0	-0.349	×		-1.069	1.39
	Dishwashing water (sewage)	4.74	1.29	5.0	0.070	×		-0.195	0.83
	Chemical fertilizers (e.g. phosphate, silicate)	5.70	0.99	6.0	0.767	○		-0.937	0.06
	Sewage Treatment Plant Effluent	5.56	1.05	6.0	0.581	○		-0.415	1.40
Pathogens M=5.65 S.D=1.29	Bacteria	5.57	1.31	6.0	0.535	○	.726	-1.961	0.28
	Virus	5.57	1.23	6.0	0.628	○		-1.081	0.06
	Protozoa	5.29	1.24	5.5	0.349	○		-0.013	1.98
	Prions	4.29	1.17	4.0	-0.256	×		-0.507	0.63
	Mold	4.44	1.32	4.0	-0.349	×		-1.076	2.85
Chemicals M=5.84 S.D=0.84	Insecticide	5.88	0.91	6.0	0.860	○	.760	-0.487	0.58
	Herbicide	5.93	0.88	6.0	0.907	○		-0.154	2.07
	Disinfectant	5.24	1.20	5.0	0.349	×		-0.094	0.14
	Cleaning solution	4.90	1.03	5.0	0.256	×		-0.446	0.56
	Coloring agent	4.76	1.12	5.0	0.116	×		-0.026	1.81
	Antiseptic	4.74	1.18	5.0	0.116	×		-0.251	0.09
	Medicinal substances	5.77	0.90	6.0	0.814	○		-1.283	4.63
	Personal hygiene item (hand sanitizer) overdoseofchlorineforwatertreatment	4.86 4.93	1.18 1.30	5.0 5.0	0.023 0.116	×		-0.446 -0.627	4.09 0.78
Heavy metals M=5.49 S.D=1.22	Wastewater (foundry damage)	5.76	1.30	6.0	0.488	○	.750	-0.593	1.03
	Farm waste (e.g. pesticides)	5.90	0.91	6.0	0.814	○		-1.516	3.90
	Mining waste (e.g. waste coal)	5.65	1.25	6.0	0.581	○		-0.126	0.89
	Particulate matter (e.g. dust)	4.56	1.33	5.0	0.023	×		-0.126	0.08
	Landfill	4.91	1.49	5.0	0.116	×		-0.608	0.43
Radioactive substance M=4.74 S.D=1.61	Nuclear power plant waste	5.00	1.88	5.0	0.116	×	-	-0.138	0.92
	Industrial waste (including uranium)	5.02	1.70	5.0	0.302	×		-0.074	0.24
	Waste for science	4.88	1.68	5.0	0.302	×		-0.807	0.72
	Medical waste	5.10	1.46	5.0	0.349	×		-0.541	0.62
	Natural radioactive substances (radium, radon)	4.91	1.17	5.0	0.209	×		-1.156	1.43
	Radioactive iodine (e.g. rain)	4.60	1.27	4.0	-0.116	×		-0.221	1.91
Sediment deposit M=4.15 S.D=1.39	Cropland deposit	4.65	1.56	5.0	0.023	×	-	-0.683	0.98
	Construction Site deposit	4.60	1.31	5.0	0.209	×		-0.925	1.48
	Outdoor light deposit	4.74	1.54	5.0	0.163	×		-1.714	1.77
	Car exhaust deposit	4.12	1.53	4.0	-0.163	×		-0.509	1.88
Heat M=3.58 S.D=1.46	Thermal power plant cooling water	4.28	1.79	5.0	-0.023	×	-	-1.904	1.79
	Nuclear power plant cooling water	4.44	1.88	5.0	0.163	×		-0.905	0.44
	Industrial cooling plants	4.53	1.65	5.0	-0.023	×		-1.985*	0.70
	smelting factory cooling water	4.23	1.69	4.0	-0.116	×		-0.866	0.10
	Water ballast (e.g. ships)	3.95	1.84	4.0	-0.302	×		-0.530	0.97
Oil M=4.42 S.D=1.56	Waste cooking oil	4.51	1.35	5.0	0.023	×	-	-0.100	0.74
	Automotive Oil Spill	4.70	1.26	5.0	0.209	×		-1.287	0.87
	Ship Oil Spill	4.63	1.65	5.0	0.163	×		-0.062	0.62
	Pipeline spills (e.g. oil field accidents)	4.65	1.69	5.0	0.116	×		-0.296	0.45
	Coastal outflow (e.g. machine shop)	4.60	1.72	5.0	0.116	×		-0.037	0.07

Notes) Importance: 1=Very low~7=Very high; CVR(Content Validity Ratio): CVR Minimum=0.29(p<.05) based on panel 40 members (Lawshe, 1975); ○: Maintenance, ×: Removal; Mann Whitney U test for groups of major: Water quality N=21, Environment N=22 \*: p<.05 (Average ranking: Water quality=18.19 < Environment=25.64); Kruskal Wallis test for groups of occupation: Professor N=19, Researcher N=15, Executives N=9; None of items significant within 10% significance level; N=43

중금속 관리의 경우, 미세먼지 중금속, 쓰레기 매립장 중금속이 제거된 결과 공장폐수중금속(주물공장폐해), 농장폐수 중금속(농약 등), 광산폐수 중금속(폐탄광 등)이 중요 관리 요인으로 확정되었으며, 이들의 평균은 각각 5.76, 5.90, 5.65, 중위는 모두 6.0, CVR값은 0.488, 0.814, 0.581로 나타났다고, 신뢰도 계수는 0.750이었다. 한편, 방사성물질을 비롯한 침전물, 열, 기름 관리의 중위계층 중요도는 평균이 모두 5.0 이하로 나타났으며, 모든 하위계층의 세부지표 역시 CVR값 0.290을 넘지 못하였다. 이러한 결과가 전문가의 직업과 분야에 따라 차이가 있는지를 살펴보기 위하여, Mann-Whitney U 검정과 Kruskal Wallis 검정을 실시하였으며, 그 결과 유의수준 5%에서 집단 간의 차이는 존재하지 않는 것으로 나타나 본 조사 결과의 타당성을 재입증 해주었다.

3.3. AHP 분석 결과

다음 단계는 1, 2차 델파이 조사를 통해 최종 정리된 의미 있는 수준의 식수원 오염물질과 오염원에 대해 AHP를 적용함으로써 관리차원에서 식수원 위해요인의 우선순위를

를 도출하는 과정이다. AHP적용을 위한 계층도는 Fig. 1에서 보는 것과 같다. AHP를 위한 구조화된 설문은 델파이 2차 조사 때와 동일한 패넬에게 전달되었으며, 총 31명이 응답하여 72.1%의 회수율을 보였다.

분석결과는 Table 5에 제시된 내용과 같다. 먼저, 중위계층의 상대적 중요도를 살펴보면, 화학물질(L:0.209) > 병원체(L:0.208) > 무기영양소(L:0.204) > 유기물(L:0.180) > 중금속(L:0.199) 순으로 식수품질 관리의 우선순위가 판별되었다. 하위계층 내 세부항목 간의 중요도 순위는 다음과 같다. 유기물의 경우, 동물 배설물(L:0.385) > 비료(L:0.335) > 사료(L:0.280)로, 무기영양소는 가축분뇨(L:0.433) > 하수처리장방류수(L:0.297) > 화학비료(L:0.270)의 서열을 나타냈다. 병원체 부문은 바이러스(L:0.369) > 박테리아(L:0.359) > 원생동물(L:0.272) 순이었으며, 화학물질은 살충제(L:0.383) > 제초제(L:0.346) > 의약품(L:0.271)순으로, 중금속은 공장폐수(L:0.445) > 광산폐수(L:0.304) > 농장폐수(L:0.251) 순서인 것으로 확인되었다.

중위계층의 Local값과 하위계층의 Local값을 합산하여, 최종 Global값을 도출한 결과, 최종적인 오염원 간의 관리

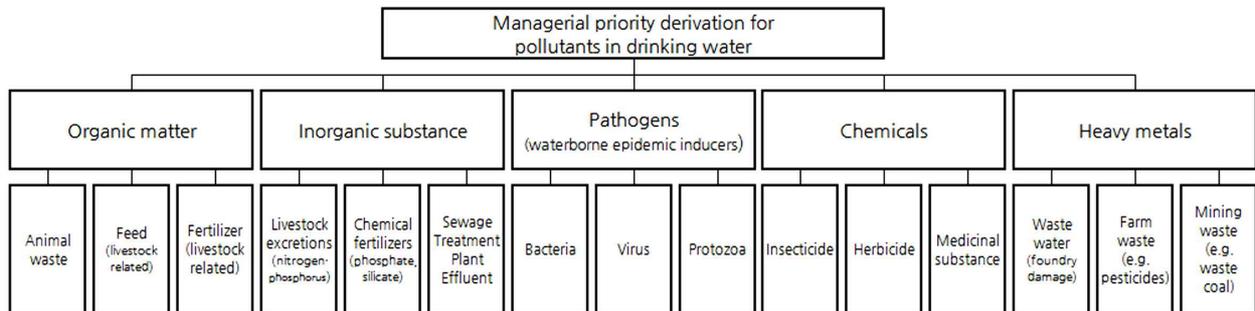


Fig. 1. Hierarchy diagram of derivation of managerial priority for pollutants.

Table 5. Derivation of managerial priority for pollutants in drinking water

Pollutants	Source of pollution	Priority
Organic matter (L:0.180)	Animal waste (L:0.385, G:0.0695)	⑦
	Feed (livestock related) (L:0.280, G:0.0504)	⑭
	Fertilizer (livestock related) (L:0.335, G:0.0604)	⑩
Inorganic substance (L:0.204)	Livestock excretions (nitrogen·phosphorus) (L:0.433, G:0.0882)	②
	Chemical fertilizers (e.g. phosphate, silicate) (L:0.270, G:0.0550)	⑬
	Sewage Treatment Plant Effluent (L:0.297, G:0.0606)	⑧
Pathogens (L:0.208)	Bacteria (L:0.359, G:0.0747)	⑤
	Virus (L:0.369, G:0.0767)	④
	Protozoa (L:0.272, G:0.0565)	⑫
Chemicals (L:0.209)	Insecticide (L:0.383, G:0.0799)	③
	Herbicide (L:0.346, G:0.0722)	⑥
	Medicinal substances (L:0.271, G:0.0566)	⑪
Heavy metals (L:0.199)	Wastewater (foundry damage) (L:0.445, G:0.0887)	①
	Farm waste (e.g. pesticides) (L:0.251, G:0.0499)	⑮
	Mining waste (e.g. waste coal) (L:0.304, G:0.0605)	⑨

Note 1) C.R: Pollutants=.004, Source of pollution: Organic matter=.001; Inorganic substance=.001; Pathogens=.001; Chemicals=.000; Heavy metals=.001  
 Note 2) L: Local (value of each subclass for each hierarchy); G: Global (integrated weight values including sub-hierarchies)

적 중요도 우선순위가 선정되었으며, 그 순서는 공장폐수중금속(G:0.0887) > 가축분뇨(G:0.0882) > 살충제(G:0.0799) > 바이러스(G:0.0767) > 박테리아(G:0.0747) > 제초제(G:0.0722) > 동물배설물(G:0.0695) > 하수처리장 방류수(G:0.0606) > 광산폐수 중금속(G:0.0605) > 비료(G:0.0604) > 의약품질(G:0.0566) > 원생동물(G:0.0565) > 화학비료(G:0.0550) > 사료(G:0.0504) > 농장폐수중금속(G:0.0499)이었다. 5개 항목씩 상·중·하위권을 구분할 경우, 상위권에 가장 많이 속한 오염물질은 병원체였으며 중위권은 유기물이었고, 하위권은 각각 한 항목씩 포함되었다.

녹조현상과 깊은 연관성을 지닌 무기영양소 부문은 5개 부문 중 3위에 위치해 있었으나, 세부항목인 가축분뇨의 관리적 중요도는 2위를 차지하였고, 하수처리장 방류수는 8위, 그리고 화학비료는 13위로 한 오염원씩 상·중·하위권에 속했다. 이러한 결과를 종합해 볼 때, 오염물질만을 기준으로 하거나, 오염원만을 토대로 관리 측면의 중요성을 판단하는 것은 비효율적임을 알 수 있다. 다시 말해, 중위계층과 하위계층 항목 간의 식수품질 관리의 상대적 중요도는 존재하나, 이는 가중치가 합산된 하위계층의 중요도로 판별되어야만 의미가 있다는 것이다.

#### 4. Conclusion

본 연구의 목적은 델파이(Delphi) 전문가 조사와 AHP 분석을 활용하여, 식수품질 저해요인에 대한 관리 측면의 우선순위를 도출함으로써, 다양한 오염원 중 녹조현상 관리의 중요도가 차지하는 비중을 파악하고, 나아가 국민을 위한 맑은 음용수 공급 정책 수립 시 유용한 정보를 제공함이였다. 이를 위해, 기존 문헌에서 보편적으로 제시되고 있는 9개 오염물질 부문(유기물, 무기영양소, 병원체, 화학물질, 중금속, 방사성물질, 침전물, 열, 기름) 내 36개 오염원 항목을 기본 틀로 설정하였으며, 수정·보완을 위한 델파이 1차 조사를 경력 20년 이상의 수질 및 환경 분야 전문가(대학교수, 책임연구원, 사업체 대표)에게 시행하였다. 1차 조사의 분석은 각 항목의 관리적 필요성을 기준으로 36개 항목을 51개로 추가 및 세분화·구체화·예시화하는 정제 작업을 하였다.

델파이 2차 조사에서는 패널 수를 43명으로 확장시켜 타당도를 증가시키고자 하였으며, Likert 7점 척도로 중위계층과 하위계층 내 개별 항목의 관리적 중요도에 대한 평가를 의뢰하였다. 분석 결과, 방사성물질, 침전물, 열, 기름 등 4개 부문은 제거되었는데, 이는 현재 시점의 국내 상황을 고려했을 시 식수품질의 관리적 중요도가 크지 않다는 것을 의미하며, 동 부문들이 해양 관련 오염과 더 깊은 관련성이 있다는 점에서 그 이유를 추론해 볼 수 있다.

따라서 델파이 2차 조사로부터 중요성이 검증된 항목들이 AHP 계층도를 이루었으며, 총 5개 오염물질 부문(유기물, 무기영양소, 병원체, 화학물질, 중금속), 15개 오염원 세부항목으로 구성되었다. 계층 간 항목의 쌍대비교로 진행된 AHP 분석 결과에 따르면, 중위 계층 항목의 우선순위가

화학물질 > 병원체 > 무기영양소 > 유기물 > 중금속 순으로 나타났다. 하위계층 항목의 우선순위가 상·중·하위권(5개 항목씩 서열로 구분할 경우)에 고르게 퍼져있어 큰 의미를 찾기는 어려웠다. 상위권에 속해 있는 5개 항목, 즉 식수품질 저해요인으로서 관리가 시급하다고 판단되는 중요 항목은 ‘공장폐수 중금속 > 가축분뇨(질소·인 함유) > 살충제 > 바이러스 > 박테리아’였다. 이를 정리해보면, 관리적 측면에서의 식수 품질 요인의 중요도는 오염물질로 가중치를 판단하기 어려우며, 각각의 오염원으로 판단함이 정확하다는 것을 의미한다.

본 연구가 제안하는 실무적 시사점은 다음과 같다. 오염물질이 수돗물에 맛과 냄새 문제를 발생시킬 경우, 국민에게 수질에 대한 심리적 불안감 및 정수처리비용 증가 등 직접·간접적 피해를 유발할 수 있다. 이를 제어하기 위해, 도시 지역의 경우 하수 및 분뇨 처리시설의 방류수 기준에 따라, 이를 초과할 시 배출부담금이 지방자치단체에 부과되고 있으며, 농·어촌 지역의 경우는 개별로 하수도를 설치하여 오염물질을 처리하고 있다. 그러나 기본적으로 환경부는 지방상수도과 정수장 관리업무를 담당하고, 국토해양부는 광역상수도 및 공업용수도, 댐 개발 등을 관리하며, 농림수산식품부는 농업용수 개발 및 공급관리를 이행하는 다원화된 체계임에 따라 상호 간 연계성을 약화시키는 것으로 보인다. 더불어 지방·광역 상수도로 이원화된 관리체계는 중복·과잉투자에 대한 협의·조정엔 한계를 나타내고 있다. 이렇듯, 오염물질과 오염원의 관리가 중요한 현 시점에서, 행정 체계의 정리가 선행되어야 할 것으로 사료된다.

본 연구의 한계점은 다음과 같다. 먼저, 정량적 및 정성적 수치를 결합함으로써 식수품질 요인에 대한 관리적 우선순위를 새로운 관점에서 제시하였으나, 이는 현안을 전체적 관점에서 다루는 데에 그쳤다는 점이다. 따라서 향후 연구에서는 식수품질 저해요인에 대한 조사 설계 시, 지역 특성에 기초한 항목의 세분화도 기대해볼 수 있으며, 국내 먹는 물의 수질 항목별 노출빈도 및 노출수준 변화 등을 함께 제시하여, 우선순위에 대한 시계열 분석을 시행하는 것도 구체적인 것으로 판단된다. 또한, 전문가 의견을 기초로 도출된 저해 요인이라는 점에서 국민의 인식이 반영되지 못한 점을 들 수 있다. 따라서 후속 연구에서는 보다 넓은 연구 범위를 기초로 하여 식수품질의 중요도를 평가하는 것도 의미가 있을 것으로 예상되며, 본 연구를 비롯한 기존의 식수품질의 평가 결과를 국민 지각 수준과 비교해 보는 것도 가치가 있으리라 판단된다.

#### Acknowledgement

본 연구는 국토교통부 물관리사업의 연구비지원(14AWMP-B082564-01)에 의해 수행되었음

#### References

Baek, Y. M., Chung, Y., Park, J. C., and Kim, H. J. (2006).

- Risk Assessment of Drinking Water Pollutants, *Journal of Korean Society on Water Environment*, 22(6), pp. 1107-1118. [Korean Literature]
- Chun, S. J., Song, J. J., Yoo, K. W., Lee, Y. S., and Chang, B. G. (2010). *An Introduction Water Pollution*, Shingwang Publisher, pp. 26-53. [Korean Literature]
- Delbecq, A. L., Van de Ven, A. H., and Gustafson, D. H. (1975). *Group Techniques for Program Planning: A Guide to Nominal and Delphi Processes*, Glenview, Foresman, IL.
- Fink, A. and Kosecoff, J. (1985). *How to Conduct Surveys: A Step-by-step Guide*, Sage Publications, London.
- Gordon, T. J. (1994). *The Delphi Method in Futures Research Methodology*, AC/UNU Millenium Project Version3.
- Kim, J. K. (2010). *An Introduction Water Pollution*, Donghwa Technology Publisher, pp. 36-76. [Korean Literature]
- Kim, J. S. (2014). *A Study on the Priority Order Selection Method for Restoration of Rural Stream*, Doctor's Thesis, Jeonju, Korea. [Korean Literature]
- Lawshe, C. H. (1975). A Quantitative Approach to Content Validity, *Personnel Psychology*, 28(4), pp. 563-575.
- Lee, J. S. (2001). *Delphi Method*, Education Science Publisher, pp. 7-32. [Korean Literature]
- Lee, S. S. and Ko, J. Y. (2014). The Study of the Development of Bottled Water Quality Index Item, *Journal of Foodservice Management*, 17(3), pp. 279-301. [Korean Literature]
- Nam, M. K. (2009). *Analysis on Priority of Management of Water Quality Around Naval Base Using AHP*, Master's Thesis, Seoul, Korea. [Korean Literature]
- Rowe, G. and Wright, G. (2001). Expert Opinions in Forecasting: The Role of the Delphi Technique. In: J. S. Armstrong, Editor, *Principles of Forecasting*, Kluwer Academic Publishers: Boston, pp. 125-144.
- Park, C. H., Kim, S. S., Ryu, B. R., and Yang, Y. W. (2012). *An Introduction Water Pollution*, Donghwa Technology Publisher, pp. 30-55. [Korean Literature]
- Park, J. S. and Rhee, K. H. (2015). Items and Indicators of Evaluation for Decision of Priority in Improving River Water Quality, *The Korea Spatial Planning Review*, 80, pp. 83-100. [Korean Literature]
- Saaty, T. L. (1990). How to Make a Decision: The Analytic Hierarchy Process, *European Journal of Operational Research*, 48(1), pp. 9-26.