

## 국내 농업용수 수질기준의 적정성 평가 및 추가수질항목 제안

안 윤 주 · 이 우 미 · 윤 춘 경

건국대학교 환경과학과

Evaluation of Korean Water Quality Standards and Suggestion of Additional Water Parameters. An, Youn-Joo\*, Woo-Mi Lee and Chun-Gyeong Yoon (Department of Environmental Science, Konkuk University, Seoul 143-701, Korea)

Korean water quality standards for the protection of agricultural water uses were originally derived based on management of public water resource. They were not prepared to protect crop plants from contaminants, and therefore required water parameters in agricultural uses were excluded in current water quality standards. Korean water standards in river and lake have five levels, and level IV is correspondent to agricultural water uses. Currently, there is no Korean guidelines to protect crop plants from contaminants contained in agricultural water. In Canada, agricultural water guidelines are provided to protect crops from contaminants. In this study, agricultural water quality standards in Korea were compared with them in developed countries to evaluate the adequacy of Korean water quality standards for the protection of agricultural water uses. Additional water quality parameters in agricultural uses were also proposed. Suggested parameters include electric conductivity, sodium, chloride, boron, copper, iron, zinc, and microbiological quality. They are the required parameters to protect crop plants as well as human health. Current water quality standards in agricultural uses was not considered to be appropriate in terms of crop protection. Additional water parameters should be included in agricultural water quality standards.

**Key words :** agriculture, water quality standard, water quality parameter, crop, contaminant

### 서 론

우리나라 농업용수 수질기준은 공공수역의 수질관리를 위한 정책적 목표수질로써 이수목적의 수질기준과 차이점이 있다. 현행 농업용수 수질기준은 하천수질환경기준 중 4급수, 호수수질환경기준 중 4급수에 해당한다. 또한 지하수는 지하수법 13조 “지하수수질기준”에 따라 농업용수의 수질기준을 설정해 두고 있다. 이와 같이 환경정책기본법 시행령에 제시된 현행 수질기준은 등급별로 나

누어 이용목적에 제시되어 있으나 실질적으로 필요한 이수목적의 농업용수로서의 여러 가지 기준들을 포함하고 있지 않은 실정이다. 선진외국의 경우 실제 농업자료와 실질적인 작물의 피해사례를 적용하여 수질기준을 제시하고 있다(FAO, 1994, CCME, 2003). 그러나 우리나라는 농업용수 수질기준을 독립적으로 마련하지 않고 수질환경기준의 등급 내에 포함된 형태로 제시하고 있어 실제적으로 국내 농업형태에 적합한 이수목적의 수질기준이 부재로 사용자나 관리자 모두 불편한 상황이다.

농업이 우리나라에서 중요한 경제적 창출원 중에 하나

\* Corresponding author: Tel: 02) 2049-6090, Fax: 02) 2201-6295, E-mail: anyjoo@konkuk.ac.kr

임에도 불구하고 아직까지 농업용수에 대한 적합한 이수 목적 기준이 설정되어 있지 않은 상황이기 때문에 농업용수 내에 포함된 수질오염물질로 인한 작물의 장애가 발생할 경우 경제적 손실을 입을 우려가 크다. 수질오염으로 인한 농작물의 장애가 생길 경우 토양환경에도 문제를 발생시켜 여러 가지 문제를 야기시킬 수 있기 때문에 이에 따른 대책이 필요하다. 또한 간척농지의 개발로 인해 작물의 피해우려가 높아지고 있는데 간척지는 대부분이 공장이나 농지로 이용되고 있기 때문에 배출된 각종 오염물질이 관개용수로 유입될 수 있을 뿐만 아니라 바다를 막아 간척지를 만든 곳에는 염분에 의한 작물의 장애를 일으킬 우려가 높다. 본 연구에서는 국내 농업용수 수질기준의 적정성을 검토하고 농업용수 수질기준의 개선방안을 제안하여, 국내 농업형태에 적합한 이수목적의 수질기준 마련을 위한 기반을 마련하고자 한다.

## 연구 방법

본 연구는 3개의 장으로 구성되어 있다. 1장에서는 국제기구인 Food and Agriculture Organization (FAO)를 비롯하여, 선진외국인 미국, 캐나다, 유럽국가(이태리), 일

본의 농업용수 수질기준을 검토하였다. 또한 기타 아시아 국가의 기준을 참고하기 위해 중국을 비롯한 말레이시아, 필리핀, 그리고 태국의 농업용수 수질기준도 함께 고찰하였다. 2장에서는 1장에서 분석된 결과를 토대로 국내 농업용수 수질기준과 선진외국의 농업용수 수질기준을 항목별로 심층 비교분석하고, 현행 농업용수 수질기준의 적정성을 검토하였다. 항목 필요성의 검토는 국내 수질환경기준의 8항목과 사람의 건강보호항목 9항목(비소, 카드뮴, 6가크롬, 시안, 납, 수은, 음이온계면활성제, 유기인, PCBs)으로 나누어 식물독성 측면을 고려하여 세밀하게 검토하였다. 3장에서는 1, 2장을 토대로 국내 농업용수 수질기준의 추가수질항목의 필요성을 검토하고, 구체적인 수질항목을 도출하여 제시하였다. 제안된 추가수질항목에 대해서는 기준값이 설정되어 있는 외국의 자료와 비교분석하고 제안이 수질항목이 국내 농업용수 수질기준으로 추가되어야 할 과학적 근거를 제시하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 선진외국 및 기타국가의 농업용수 수질기준 검토

캐나다와 중국을 제외한 대부분의 국가에서는 농업용

**Table 1.** Comparison of agricultural water quality standards in different countries.

Country	Classification	
USA	Level IV in agriculture and wild life	Irrigation water protection of wild life, habitat, and public health
Italy	Level D in lake classification	Eutrophic lake-TP 50~100 mg m <sup>-3</sup> Agriculture and industrial uses. No acute effects to aquatic life.
Canada	Agricultural uses	Proposed the concentration of each parameter to each crops. Include pesticide parameter.
Japan	Level D within water quality standard in river Level B within water and lake standard in lake	River- pH: 6.0~7.5, BOD: 8 mg L <sup>-1</sup> , SS: 100 mg L <sup>-1</sup> , DO: 5 mg L <sup>-1</sup> Lake - pH: 6.5~7.5, BOD: 5 mg L <sup>-1</sup> , SS: 15 mg L <sup>-1</sup> , DO: 5 mg L <sup>-1</sup> , TP: 0.1 mg L <sup>-1</sup> , TN: 1 mg L <sup>-1</sup>
Malaysia	Level IV	BOD: 12 mg L <sup>-1</sup> , COD: 100 mg L <sup>-1</sup> , DO: 3 mg L <sup>-1</sup> , pH: 5~9 Conductivity: 6,000 µm hos cm <sup>-1</sup> , Salinity: 2%
Thailand	Level III within water quality standard in river	Require water treatment and disinfection Clean water resources for agricultural uses
Philippine	Level D within water quality standard in river	pH: 6.0~9.0, DO: 40 mg L <sup>-1</sup> , BOD: 10~15 mg L <sup>-1</sup> , SAR: 8~18
Korea	Level IV within water quality standard in river and lake	River- pH: 6.0~8.5, BOD: 8 mg L <sup>-1</sup> , SS: 100 mg L <sup>-1</sup> , DO: 2.0 mg L <sup>-1</sup> Lake- pH: 6.0~8.5, BOD: 5 mg L <sup>-1</sup> , SS: 15 mg L <sup>-1</sup> , DO: 2.0 mg L <sup>-1</sup> , TP: 0.1 mg L <sup>-1</sup> , TN: 1.0 mg L <sup>-1</sup>

수 수질기준을 독립적으로 마련하지 않고, 기타 수질환경 기준 내에 등급으로 제시하고 있다. 캐나다는 농업용수를 관개용수와 축산용수로 구분하여 각각 기준을 제시하고 있다. 중국은 작물을 벼, 밭작물, 채소류로 구분하여 무기물질, 유기물질, 그리고 미생물항목에 대해 농업용수 기준을 마련하고 있다. 반면, 미국 미네소타 주는 지표수에 대한 수질환경기준을 이용목적에 따라 7등급(1~7등급)으로 분류하는데, 이중 4등급이 농업용수 수질기준에 해당된다. 이태리는 호소영양상태 분류기준인 5등급(A, B, C, D, I)중 부영양호인 등급 D는 총인 50~100 mg m<sup>-3</sup>, 어업 2등급으로 잉어과가 서식하고, 농·공업용수로도 사용된다고 제시되어 있다. 일본의 농업용수의 수질은 하천수 수질환경기준인 6등급(AA, A, B, C, D, E)에서 D등급, 그리고 천연호소 및 저수량 천만 톤 이상의 인공저수지에 대한 호소수질환경기준인 4등급(AA, A, B, C)에서 B등급에 준한다고 되어 있다. 한편 질소와 인의 농도에 따라 호소의 유형을 I~V로 총 다섯 단계로 나누고 있

는데 농업용수의 경우 V유형에 포함되어 있다. 말레이시아는 수질상황을 6등급으로 나누며 이중 IV등급이 관개용수에 해당한다(표 1 참조). 한편 유럽연합에서는 회원국의 주권영토에 직접적인 효력이 발생하는 규정으로서 유럽연합이사회지침에 따라 음용수 원수로서의 지표수 수질기준을 정하고 있으며 따로 농업용수의 수질기준을 정하고 있지는 않다(이, 2000). 한편 우리나라 농업용수 수질기준은 하천수질환경기준 중 4급수, 호수수질환경기준 중 4급수에 해당한다. 또한 지하수는 지하수법 13조 “지하수수질기준”에 따라 농업용수의 수질기준을 설정해 두고 있다. FAO와 국가별 농업용수 수질기준에 관한 자세한 사항은 다음과 같다.

**1) FAO(Food and Agriculture Organization of the United Nations)**

FAO에서는 미국서부지역의 농업자료를 근간으로 하여 발관개용수의 수질에 대한 농업용수 지침을 제시하고

**Table 2.** Guideline for interpretation of water quality for irrigation<sup>1</sup> (FAO, 1994).

Potential irrigation problem		Units	Degree of restriction on use		
			None	Slight to moderate	Severe
Salinity (affects crop water availability) <sup>2</sup>					
or	EC <sub>w</sub>	dS m <sup>-1</sup>	< 0.7	0.7 ~ 3.0	> 3.0
	TDS	mg L <sup>-1</sup>	< 450	450 ~ 2000	> 2000
Infiltration (affects infiltration rate of water into the soil. Evaluate using EC <sub>w</sub> and SAR together) <sup>3</sup>					
	=0 ~ 3		> 0.7	0.7 ~ 0.2	< 0.2
	=3 ~ 6		> 1.2	1.2 ~ 0.3	< 0.3
SAR	=6 ~ 12 and EC <sub>w</sub>		> 1.9	1.9 ~ 0.5	< 0.5
	=12 ~ 20		> 2.9	2.9 ~ 1.3	< 1.3
	=20 ~ 40		> 5.0	5.0 ~ 2.9	< 2.9
Specific Ion Toxicity (affects sensitivity crops)					
Sodium <sup>4</sup>	Surface irrigation	SAR	< 3	3 ~ 9	> 9
	Sprinkler irrigation	me L <sup>-16</sup>	< 3	> 3	
Chloride <sup>4</sup>	Surface irrigation	me L <sup>-1</sup>	< 4	4 ~ 10	> 10
	Sprinkler irrigation	me L <sup>-1</sup>	< 3	> 3	
Boron		mg L <sup>-1</sup>	< 0.7	0.7 ~ 3.0	> 3.0
Miscellaneous effects (affects susceptible crops)					
Nitrogen (NO <sub>3</sub> -N) <sup>5</sup>		mg L <sup>-1</sup>	< 5	5 ~ 30	> 30
Bicarbonate (Sprinkler irrigation only)		me L <sup>-1</sup>	< 1.5	1.5 ~ 8.5	> 8.5
pH			Normal rang 6.5 ~ 8.4		

<sup>1</sup>Adapted from University of California Committee of Consultants 1974. <sup>2</sup>EC<sub>w</sub> means electrical conductivity, a measure of the water salinity, reported in decisiemens per metre at 25°C (dS m<sup>-1</sup>) or in units millimhos per centimeter (mmho cm<sup>-1</sup>). Both are equivalent. TDS means total dissolved solids, reported in milligrams per liter (mg L<sup>-1</sup>). <sup>3</sup>SAR means sodium adsorption ratio. At a given SAR, infiltration rate increases as water salinity increases. Evaluate the potential infiltration problem by SAR as modified by EC<sub>w</sub>. Adapted from Rhoades 1977, and Oster and Schroer 1979. <sup>4</sup>For surface irrigation, most tree crops and woody plants are sensitive to sodium and chloride; use the values shown. Most annual crops are not sensitive; use the salinity tolerance tables. With overhead sprinkler irrigation and low humidity (<30 percent), sodium and chloride may be absorbed through the leaves of sensitive crops. <sup>5</sup>NO<sub>3</sub>-N means nitrate nitrogen reported in terms of elemental nitrogen (NH<sub>4</sub>-N & Organic-N should be included when wastewater is being tested). <sup>6</sup>me L<sup>-1</sup>=milliequivalent per liter (mg L<sup>-1</sup> ÷ equivalent weight).

있다. FAO의 지침서는 용수사용에 있어서 발생할 수 있는 문제점과 제한점에 대해 설명하고 있다. 그러나 용수 사용시의 특정한 조건이나 사용자의 관리능력 또한 용수 사용에 영향을 미친다고 언급하고 있다. 주요 항목으로는 관개용수의 염도 (Salinity), 토양침투율 (Soil infiltration rate), 특성이온독성 (Specific ion toxicity), 그리고 다량원소 (질소, 인, 칼슘, 나트륨, 염소, 붕소)가 있으며 관개용수로 인한 작물 및 토양에 대한 영향에 대해 Table 2와 같이 몇 개의 등급으로 나누어 제시하고 있다. FAO지침에 있는 항목 중 염도와 다량원소는 각각 농작물의 수분흡수율과 양분공급과 관련이 있는 항목이다. 농업용수의 토양침투율은 SAR와 전기전도도 (Electronic conductivity, EC)에 의해 결정되고 있는데 SAR (Sodium adsorption ratio)에 따라 5가지로 분류하고 EC의 값을 구분하여 제시하고 있다. 나트륨, 염소, 붕소에 대해 제시되어 있는 특성이온독성 항목은 지표관개와 스프링클러관개의 두 가지 방법에 따라 민감한 농작물에 미치는 독성을 고려한 항목이다. 또한 질산염, 중탄산염에 대한 항목과 pH의 평균값을 제시하고 있다.

한편 FAO (1994)는 관개수준 ( $10,000 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ )에 근거하여 연속적으로 같은 지점에서 사용되는 관개용수에 대해 미량원소 최대권고농도 (Recommended maximum concentration)를 제안하고 있다. 그 예로는 알루미늄, 철이  $5.0 \text{ mg L}^{-1}$ , 아연이  $2.0 \text{ mg L}^{-1}$ , 불소가  $1.0 \text{ mg L}^{-1}$ , 그리고 유해중금속인 크롬  $0.10 \text{ mg L}^{-1}$ , 카드뮴이  $0.01 \text{ mg L}^{-1}$  등이다.

## 2) 미국

미국에서의 수질환경기준은 크게 두 가지로 나눌 수 있는데 수질 준거치 (Criteria)와 수질기준으로 분류할 수 있다. 수질준거치의 경우에는 설정 및 수정·보완을 연방정부에서 담당하고 있고 수질기준의 경우 주정부에서 담당하고 있기 때문에 각 주마다 수질기준이 상이하다. 예를 들면 미네소타 주에서는 수질기준을 이용목적에 따라 7등급으로 나누어 제시하고 있는데 이 중 농업용수는 4등급에 해당된다. 4등급은 농업 및 야생동물에 대한 이용목적에 가지고 있는데, 세부적으로 4A, 4B, 4C로 나뉘어진다. 미네소타 주는 이용목적별로 등급을 구분하여 제시하고 있고 항목별 기준치를 제시하고 있는 반면, 워싱턴주는 등급별로 용수이용목적에 제시하고 항목별로 기준치를 제시하고 있다. 이수목적에는 급수 (가정용, 산업용, 농업용), 어패류, 레크레이션용, 가축용, 야생동물용, 상업용 등이 포함되어 있다. 또한 독성물질에 대한 수질기준치를 해수와 담수로 나누어 각각 급성농도와 만성농도

를 제시하고 있다 (환경부, 2004).

## 3) 캐나다

캐나다는 CCME (Canadian Council of Ministers of the Environment)에 의해 농업용수 지침을 마련하고 있다. 농업용수의 기준은 관개용수와 축산용수로 구분되어 설정되어 있는데, 실제농작물의 피해를 근거로 한 기준을 제시하고 있다는 점이 특징이다. 각 물질의 농도별로 피해 작물에 대해 상세히 설명하고 또한 축산용수 수질기준을 설정함으로써 먹이망을 통한 농약의 생물축적을 사전에 예방하고 있다는 점에서 우리나라를 비롯한 기타국가에 비해 보다 발달된 기준을 가지고 있다고 볼 수 있다. 캐나다의 농업용수 수질지침은 Table 3과 같다 (CCME, 2003).

## 4) 이태리

이태리의 수질환경기준은 총인항목과 호소 분류기준, 그리고 이수범위에 근거하여 5개의 등급 (A, B, C, D, I)으로 구분되어 있다. 이 중 부영양호인 등급 D가 농업용수에 해당하는데, 총인농도  $50 \sim 100 \text{ mg m}^{-3}$ , 어업 2등급으로 잉어과가 서식하고 수서생물에 급성영향이 없는 물을 의미한다.

## 5) 일본

일본은 우리나라와 수질환경기준이 유사하며 인간건강 보호에 대한 기준과 생활환경보전에 대한 기준으로 나누어 기준을 고시하고 있다. 생활환경보전을 위한 환경기준은 AA, A, B, C, D, E (D, E는 하천에만 적용됨) 등급으로 구분되어 있는데, 하천수와 호소에 관한 기준을 약간 다르게 제시하고 있다. 하천에 대한 기준에서는 농업용수의 등급은 D이고 같은 D등급의 용수라도 농업용수는 pH와 DO에 대해 다른 기준을 제시하고 있는데 농업용수의 경우 pH  $6.0 \sim 7.5$ , DO는  $5 \text{ mg L}^{-1}$  이상이어야 한다고 고시하고 있다. 하천수에 대한 기준과 호소에 대한 기준의 차이는 하천수의 경우 SS는  $100 \text{ mg L}^{-1}$  이하인 반면, 호소수의 경우  $5 \text{ mg L}^{-1}$  이하로 고시하고 있다는 점이다. 대장균수에 대한 기준은 B등급 이상에서만 설정되어 있으므로 D등급에 속하는 농업용수에는 대장균수 항목이 없다. 호소수를 농업용수로 쓰고자 할 때는 B등급 이상의 수준에 해당하는 수질을 이용해야 하는데, 농업용수의 경우 총인에 대한 기준을 적용하지 않는다.

일본의 수질장해 대책사업 관련한 농업용수 수질기준으로 기준별 농도는 작물의 종류나 개체, 생육시기, 환경조건, 오염물질간의 상호작용에 의해 달라질 수 있으며 토양의 종류, 오염물질의 형태에 따라라도 달라질 수 있

**Table 3.** Canada water quality guidelines for the protection of agricultural water uses (CCME, 2003).

Parametre	Concentration ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	Parameter	Concentration ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )
Aldicarb	54.9	Diclofop-methyl	0.18
Aluminum	5000	Dinoseb	16
Arsenic	100	Fluoride	1,000
Atrazine	10	Iron	5,000
Beryllium	100	Lead	200
Boron	500~6,000	Linuron	0.071
Bromacil	0.2	Lithium	2,500
Bromoxynil	0.33	Manganese	200
Cadimium	5.1	MCPA	0.025
Chloride	100,000~700,000	Metolachlor	28
Chlorothalonil	5.8	Metribuzin	0.5
Chromium (III)	4.9	Molybdenum	10~50
Chromium (VI)	8.0	Nickel	200
Cobalt	50	Selenium	20~50
Coliforms, fecal	100/100 mL	Simazine	0.5
Coliforms, total	1,000/100 mL	Tebuthiuron	0.27
Copper	200~1,000	TDS (salinity)	500,000~3,500,000
Cyanazine	0.5	Uranium	10
Dicamba	0.006	Vanadium	100
Zinc	1,000~5,000		

으므로 자연조건이나 토양조건에 대한 고려가 필요하다고 말하고 있다. 일본은 지역에 따라 약간 다른 농업용수 지침이 존재하는데 일본 천엽현의 벼의 허용한계농도가 한 예이다(농어촌진흥공사, 1997).

**6) 중국**

중국의 수질환경기준은 1급, 2급, 그리고 3급으로 나누어 제시되어 있으며 무기물질, 유기물질, 그리고 미생물 항목에 대해 농업용수 기준을 마련하고 있다. 또한 농작물을 벼, 밭작물, 채소류로 구분하여 수질항목을 설정하고 있다는 점이 특징이다. 항목에 대한 내용도 비교적 자세하여 인, 염류, 염소, 황, 중금속류(Hg, Cd, As, Cr, Pb, Cu, Zn, Se), 불소, 붕소의 다양한 수질항목을 포함하고 있다. 예를 들어 붕소의 경우, 붕소민감작물, 붕소저항작물, 붕소저항이 큰 작물로 나누어, 기준을 각각 1, 2, 3 mg L<sup>-1</sup>로 세분화하고 있다. 유기물질 항목으로는 BOD, COD, 킬달질소, SS, LAS, CN화합물, 휘발성 페놀 등이 있으며, 미생물항목에는 대장균을 비롯하여 회충알이 포함되어 있다.

**7) 기타국가**

말레이시아에서는 수질환경기준이 6등급(I, IIA, IIB, III, IV, V)으로 나누어져 있는데, 이 중 IV등급이 관개용수에 해당한다. 농업용수에 비해 축산용수의 수질이 더 강화되어 있으며, 중금속, 농약성분, 방사선을 포함한 많은 항목에 대한 기준을 설정하고 있다. 필리핀의 수질환

경기준은 5등급(AA, A, B, C, D)으로 기준치는 우리나라와 대체로 비슷한 수준으로 설정되어 있으며 농업용수에 해당하는 수질은 D등급이다. 하천수의 수질기준에는 색도, 온도 등을 포함하여 16개 항목을 그리고 독성물질과 유해성 기질에 대한 하천수질기준에서는 잔류성 유기오염물질인 DDT, PCB, endrin을 포함하여 16개 항목을 제시하고 있다. 또한 농업용수로 사용하기 위해서는 SAR가 8~18, 붕소는 0.75 mg L<sup>-1</sup> 미만이어야 된다고 규정되어 있다. 태국은 하천을 5등급(1, 2, 3, 4, 5)으로 나누어 수질환경기준을 설정하고 있다. 이 중 3등급은 다소 오염된 수질상태로서 소독을 포함한 수처리가 요구되며, 농업용수로 사용할 수 있다. 항목으로는 기본 항목을 비롯하여 미생물항목과 유독 중금속항목이 포함되어 있다.

**2. 우리나라 농업용수 수질기준의 적정성 검토**

**1) 우리나라의 농업용수 수질기준**

우리나라의 수질환경기준은 환경정책기본법 제10조, 동법 시행령 제2조(별표 1)에 따라 수역별, 항목별로 기준이 설정되어 있다. 수역별로는 하천, 호소로 구분되어 있고, 항목별로는 pH, BOD, COD, SS, DO를 포함한 8개 항목과 사람의 건강보호항목인 Cd, As, CN, Hg, 유기인을 포함한 9개 항목으로 구분하고 있으며, 하천 호소별로 등급을 나누어 관리하고 있다. 우리나라 농업용수 수질기준은 수원별로 구분되어 환경정책기본법과 지하수법에서 각각 다른 기준을 적용하고 있다. 환경정책기본법 10조

**Table 4.** Standards for agricultural water quality in river, lake and groundwater in Korea. (Unit: mg L<sup>-1</sup>)

Parameter	River	Lake	Groundwater
pH	6.0~8.5	6.0~8.5	6.0~8.5
BOD	8	-	-
COD	-	8	8
SS	100	15	-
DO	≥2	≥2	-
T-N	-	1.0	-
T-P	-	0.1	-
NO <sub>3</sub> -N	-	-	20
Cl	-	-	250
Cd	0.01	0.01	0.01
As	0.05	0.05	0.05
Pb	0.1	0.1	0.1
Cr <sup>+6</sup>	0.05	0.05	0.05
Hg <sup>1</sup>	N.D	N.D	N.D
CN <sup>2</sup>	N.D	N.D	N.D
Organic P <sup>3</sup>	N.D	N.D	N.D
Phenol	-	-	0.005
ABS	0.5	0.5	-
PCB <sup>4</sup>	N.D	N.D	-
TCE	-	-	0.03
TeCE	-	-	0.01

Detection limits: <sup>1</sup>0.0005 mg L<sup>-1</sup> (Atomic absorption; Cold Vapor Generation Method), <sup>2</sup>0.01 mg L<sup>-1</sup> (Atomic absorption), <sup>3</sup>0.0005 mg L<sup>-1</sup> (Gas chromatography), <sup>4</sup>0.0005 mg L<sup>-1</sup> (Gas chromatography)

에 따라 하천수와 호소수는 각각 “하천수질환경기준”과 “호소수질환경기준”의 4급수를 농업용수로 하고 있다. 또한 지하수는 지하수법 13조 “지하수수질기준”에 따라 농업용수의 수질기준을 마련하고 있다. 이렇게 현재 농업용수의 수질기준은 이수목적이 아닌 관리목적으로 설정되어 있어 각 목적별 실질적인 용수이용에는 적절하지 않다는 지적이 있다. 현재 우리나라의 하천, 호수, 지하수 수질환경기준에서의 농업용수등급의 기준은 Table 4와 같다.

## 2) 외국과 우리나라의 농업용수 수질기준 비교

FAO에서는 농업용수지침을 마련하고 있는데 이는 미서부의 농업자료를 근간으로 제시하고 있다. 발관개용수 중심으로 제시하고 있지만 작물의 피해정도를 자세하게 실험결과를 토대로 나타내고 있으며 고려해야 할 주요항목으로는 염분도, 전기전도도, 독성물질, 그리고 발생할 수 있는 여러 가지 문제에 대해서 제시하고 있다. FAO에서는 질소는 식물의 양분이고 작물의 생장을 도모하여 5 mg L<sup>-1</sup> 이하에서는 작물에 해가 없고 5~30 mg L<sup>-1</sup> 약간 장애를 일으키는 정도로 나타내고 있다. 캐나다는 다른 나라에 비해 자세하게 농업용수기준을 설정해 놓고 있는데 농약과 비료에 의한 오염 등을 고려하여 항목에 포함

하고 있으며 실제 작물의 피해를 바탕으로 기준을 제시하고 있고 또한 작물별로 기준을 달리하고 있다. 일본의 경우에는 농업용수 수질기준으로 COD와 DO를 우리나라 수질환경기준의 3등급에 해당하는 5 mg L<sup>-1</sup> 이하와 5 mg L<sup>-1</sup> 이상으로 정하고 있으며, 우리나라와 달리 EC, Zn, 그리고 Cu항목을 정해놓고 있다. 중국은 1992년 제정한 관개용수 수질기준에서 벼, 밭작물, 채소로 분류하여 각기 다른 기준을 설정하고 있다. 벼에 대한 기준에서 BOD를 80 mg L<sup>-1</sup>으로 COD는 200 mg L<sup>-1</sup>으로 각각 우리나라의 기준치보다 10배, 25배가 높다. 그리고 염류, 염소, Cu, B, 그리고 Zn에 대한 기준이 마련되어 있으며 미생물 항목에 회충알에 대한 항목까지 설정되어 있다. Table 5는 우리나라 현행 수질기준(생활환경기준 및 사람의 건강보호기준)에서 농업용수에 해당하는 등급의 수질기준과 각국의 농업용수수질기준에 대해 비교하였다.

## 3) 수질항목별 필요성 검토

BOD가 높으면 유기물이 분해되는 과정에서 수중의 산소를 소비하여 혐기성 상태를 일으키며 분해과정에서 Fe<sup>+3</sup>, Mn<sup>+5</sup>, SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>와 같은 토양 내 산화물들이 산소를 소비하여 산소결핍에 따른 토양의 산화환원전위가 낮아지게 된다. 따라서 Fe, Mn, 황화물 등이 생성되고 이러한 물질들이 유기산과 함께 양분흡수를 방해하고 체내대사를 저해하여 결국은 벼의 수확량 감소를 가져올 수 있다. 중국의 실험결과에 의하면 BOD농도가 30 mg L<sup>-1</sup> 이상이 되면 수확량이 4.2%, 80 mg L<sup>-1</sup>에서는 12.2% 감소하는 것으로 나타났다(농어촌진흥공사, 1997).

관개용수의 평균 pH 범위는 6.5~8.4이고, pH를 측정하는 주요이유는 비정상적인 용수를 검출하는 것이다(FAO, 1994). pH는 관개와 배수에 있어서 5.5보다 낮을 때, 그리고 8.5보다 높을 때 주요한 위험요인이 될 수 있다(WHO, 2004c). 또한 부유물질은 토양의 투수성을 저해하여 산소의 공급을 저해하고 수체 내 태양광선을 분산시켜 미생물 살균을 방해함으로써 작물생육에 영향을 미치게 된다. 농업용수 기준에서는 100 mg L<sup>-1</sup> 이하 정도면 큰 문제가 없을 것으로 보인다고 제시하고 있다(환경부, 2000). 또한 관개용수에서 용존산소는 뿌리의 형성 및 생육에 필수적이다(Soffer and Burger, 1988). DO가 5.0 mg L<sup>-1</sup> 이하일 때 뿌리가 부패할 수 있으므로(환경부, 2000) 농업용수 수질기준으로는 5.0 mg L<sup>-1</sup> 이상이 적절할 것으로 사료된다.

질소는 식물의 필수원소이지만 식물이 이용하는 형태로 존재하는 양이 적으므로 주로 비료로 공급된다. 지난 20년 이상 인공비료에 의해 질산염의 농도가 증가하였는

**Table 5.** Korean agricultural water quality standard compared with foreign countries. (Unit: mg L<sup>-1</sup>)

Parameter	Korea	FAO	Canada	Japan	China (rice)	Malaysia	Thailand	
Environment	pH	6.0~8.5	6.5~8.4	-	6.0~7.5 <sup>3</sup>	5.5~8.5	5.0~9.0	5.0~9.0
	BOD	8 <sup>1</sup>	-	-	8 <sup>1</sup>	80	12	2
	COD	8 <sup>2</sup>	-	-	6 <sup>3</sup>	200	100	-
	DO	2	-	-	5 <sup>3</sup>	-	3	4
	SS	100 <sup>1</sup> , 15 <sup>2</sup>	-	-	100 <sup>3</sup>	150	-	-
	T-N	1.0 <sup>2</sup>	NO <sub>3</sub> -N: 5	-	1 <sup>3</sup>	Kjeldahl-N: 12	NH <sub>3</sub> -N: 2.7 NO <sub>3</sub> /NO <sub>2</sub> : 5	NO <sub>3</sub> -N: 5 NH <sub>3</sub> -N: 0.5
	T-P	0.1 <sup>2</sup>	-	-	-	P: 5.0	-	-
Human health	Cd	0.01	0.01	0.0051	0.01 <sup>4</sup>	0.005	0.01	0.005 <sup>6</sup> , 0.05 <sup>7</sup>
	As	0.05	0.1	0.1	0.05 <sup>3</sup>	0.05	0.1	0.01
	CN	ND	-	-	Total: ND <sup>4</sup>	0.5	-	0.005
	Hg	ND	-	-	total: 0.0005 <sup>4</sup> alkyl: ND <sup>4</sup>	0.001	0.002	0.002
	Org-P	ND	-	chemical specific	chemical specific	-	-	pesticide parameter
	PCB	ND	-	-	ND <sup>4</sup>	-	-	-
	Pb	0.1	5.0	0.2	0.01 <sup>4</sup>	0.1	5	0.05
	Cr (VI)	0.05	Cr: 0.10	0.008	0.05 <sup>4</sup>	Cr: 0.1	0.1	0.05
ABS	0.5	-	-	5 <sup>5</sup>	LAS: 5	-	-	

<sup>1</sup>Water quality standard of river, <sup>2</sup>Water quality standard of lake, <sup>3</sup>Irrigation water quality standard on Japan, <sup>4</sup>Human health protection parameter, <sup>5</sup>Tolerance limit concentration of paddy rice at Chonhyubhyun in Japan, <sup>6</sup>Hardness ≤ 100 mg L<sup>-1</sup> as CaCO<sub>3</sub>, <sup>7</sup>Hardness > 100 mg L<sup>-1</sup> as CaCO<sub>3</sub>

데, 네덜란드의 경우 몇 지역에서 매년 0.2~1.3 mg L<sup>-1</sup>의 농도가 증가한다고 한다. 질소에 민감한 식물은 5 mg L<sup>-1</sup> 이상에서도 영향을 받는데 대부분의 다른 식물들은 30 mg L<sup>-1</sup>에도 큰 영향을 받지 않는다(FAO, 1994). 인은 수중에 많이 함유되어 있지는 않지만 비료의 과다시비와 합성세제가 혼합된 용수로 인해 문제가 될 수 있다. 인은 식물생장의 필수원소로 식물체로 흡수된 후 단백질합성 및 호흡대사 등 여러 반응과 대사에 관여하는 에너지 대사의 주체이다. 따라서 인이 결핍될 경우 줄기가 짧고 가늘어지며 길쭉하게 자라고 생장이 저해되며 호흡작용도 저해된다. 그러나 토양이나 용수 내에 인이 다량 존재해도 벼는 0.8~1.0 mg L<sup>-1</sup> 이상을 흡수하지 않기 때문에 과잉장해는 발생하지 않는다(농림부, 2004).

중금속 항목 중 카드뮴은 농작물 생장에 독성을 미치는 것으로 알려져 있으며 실험에서 가장 민감한 값을 나타낸 수수의 무영향농도는 20 mg L<sup>-1</sup>을 보고된 바 있다(An, 2004). 미환경청의 ECOTOX Database에서 카드뮴에 대한 *Oryza sativa*의 독성영향을 살펴본 결과에서 25% 정도 영향을 받는 농도가 0.6 mg L<sup>-1</sup> 이상인 것으로 나타났다. WHO는 카드뮴에 대한 먹는 물 섭취허용한계량을 0.003 mg L<sup>-1</sup>로 제시하고 있다. 시안화물은 2000여 종 이상의 식물에 자연적으로 cyanogenic glucosides 형

태로 존재한다. 1975년 이후로 시안화물이 수계로 노출되는 큰 사고가 30여건 이상 보고되고 있는데 미국 내에서 지표수와 지하수 그리고 침출수에서 검출된 평균량은 지표수는 0.070 mg L<sup>-1</sup>, 지하수는 0.16 mg L<sup>-1</sup>, 그리고 침출수는 0.479 mg L<sup>-1</sup>였다(WHO, 2004b). 시안은 대개 산업 활동의 부산물로서 먹는 물에서 발견된다(WHO, 2003a). 시안은 비타민 B<sub>12</sub>의 흡수를 저해하는데, WHO의 먹는 물 기준에서는 0.07 mg L<sup>-1</sup>를 제시하고 있다. 일본은 우리나라와 비슷하게 인간건강보호항목에서 CN을 불검출로 규정하고 있고 중국은 벼에 대한 관개용수 기준에서 0.5 mg L<sup>-1</sup>로 정하고 있다.

PCB는 1929년 이후로 유전체와 열전도용액 등 다양한 용도로 사용되지만 1966년까지 환경에 분포되지 않았다. 논에서 높은 농도의 PCB는 뿌리에 흡수되어 줄기로 이동하며, 벼를 포함한 여러 식물 내에 축적된다고 보고되었다(Chu *et al.*, 1999; Bi *et al.*, 2002; Lin *et al.*, 2006). ABS(음이온계면활성제)는 환경 내 배경농도수준에서는 급성독성을 유발하지 않지만, ABS 0.1 mg L<sup>-1</sup> 이상이면 수서만성독성농도에 해당하는 것으로 알려져 있다(Ying, 2005). 기존에 보고된 음이온계면활성제의 한 종류인 LAS에 대한 식물독성자료에 의하면 LAS는 식물 대사작용에 영향을 미치며 bush bean, grass, 무의 현장

**Table 6.** Proposed parameters of agricultural water quality standards.(Unit: mg L<sup>-1</sup>)

Parameter	FAO <sup>1</sup>	Canada	Japan	Chinese (rice)	Malaysia	Thailand
EC	0.7 dS m <sup>-1</sup>	-	0.3 mS cm <sup>-1 2</sup>	-	6,000 µmhos cm <sup>-1</sup>	
Na	3 SAR	-	-	1,000 (non saline alkaline area) 2,000 (saline alkaline area)	3 SAR salinity: 2%	
Cl	4 me L <sup>-1</sup>	100~700	500~700 <sup>3</sup>	250	79	
Boron	0.7	0.5~6.0	1 <sup>4</sup>	1 (B sensitive) 2~3 (B resistants)	0.75	
Cu	0.20	0.2~1.0	0.02 <sup>2</sup>	1	0.2	0.1
Fe	5.0	5.0	-	-	1 (leaf) 5 (others)	
Zn	2.0	1.0~5.0	0.5 <sup>2</sup>	2	2	1.0
Microorganism (T. Coliform, F. Coliform)	-	1,000 100 mL <sup>-1</sup> 100 100 mL <sup>-1</sup>	-	Coliforms: 10,000 n L <sup>-1</sup> ascarid egg: 2 eggs L <sup>-1</sup>	5000 100 mL <sup>-1</sup> 5000 100 mL <sup>-1</sup>	20000 4000

<sup>1</sup>Recommended maximum concentrations of trace elements in irrigation water, <sup>2</sup>Water quality standard on Japan, <sup>3</sup>Tolerance limit concentration of paddy rice at Chonhyubhyun in Japan, <sup>4</sup>Human health protection parameter

시험의 무영향농도는 16 mg kg<sup>-1</sup>로 측정되었으며 이러한 결과로 보았을 때 LAS는 육상생물종에 크게 독성을 미치지 않는 것으로 간주된다 (Ying, 2006). 한편 유기인은 농약사용과 연관이 있는데, 벼 내에 축적되어 있는 Tebufenzoide를 인간이 섭취하는 양은 0.0012 mg day<sup>-1</sup>으로 산정된 바 있다 (WHO, 1997).

### 3. 우리나라 농업용수 수질기준의 추가수질항목 제안

본 연구에서는 국내 농업용수 수질기준에 추가될 필요가 있는 수질항목으로 나트륨, 전기전도도, 미생물항목, 그리고 5개의 미량원소(염소, 붕소, 구리, 철, 아연)를 제안하였다. 제안된 추가수질항목은 외국의 경우 이미 기준값이 설정되어 있는 항목들로, 추가제안항목에 대한 외국의 기준 값은 Table 6과 같다.

위의 표에서도 알 수 있듯이 추가로 제안한 수질항목인 EC(전기전도도)와 미생물(*E. coil*, Fecal coilform), 그리고 독성물질인 염소, 붕소, 철, 아연 등에 대한 항목은 선진국에서는 이미 기준이 설정되어 있을 뿐 아니라, 이들 항목은 작물의 생산과 인간의 건강을 위하여 반드시 고려되어 할 항목이므로 우리나라에서도 기준설정이 필요한 수질항목으로 판단된다.

#### 1) 염도와 전기전도도

전기전도도(EC)는 염도의 지표로 식물뿌리 주변에 염농도가 높으면 수분결핍과 이온독성을 유발한다. 자연조

건에서는 해안 염습지와 내륙의 건조한 지역에서 강우량이 적어 축적된 염을 씻어내지 못하여 염스트레스가 높은 경우와 관개를 많이 한 농지에서 고농도의 염을 함유하고 있는 경우가 있다. 관개는 특히 건조한 지역에서 많이 이루어지는데 이곳에서는 증발과 증산이 혼합된 대규모 수분손실이 일어나게 된다. 그 결과 관개수를 따라 온 반된 염이 토양에 농축되는데 농업지역의 염퇴적은 해당 지역의 토양에서 생산을 할 수 없는 심각한 결과를 초래하게 된다. 농업적으로 중요한 대부분의 작물은 염스트레스에 약한데, 특히 콩, 벼, 옥수수 등은 염도에 아주 민감하다. 이와 같이 염농도에 민감한 식물들은 저농도에서만 견딜 수 있어 50 mM 미만의 염도에서도 회복할 수 없는 손상을 입을 수 있다. 염스트레스로 인한 식물체가 받을 수 있는 손상은 크게 세 가지로 정리되는데, 첫째 높은 나트륨농도는 토양의 구조를 변화시켜 토양의 다공성이 감소되기 때문에 토양의 통풍과 수분전도도를 저하시킨다. 둘째, 고농도의 염은 토양수분 포텐셜을 낮추어 식물체가 수분과 영양분을 흡수하기 어렵게 만든다. 셋째, 고농도의 나트륨이 막에 문제를 일으키거나, 효소의 저해 또는 대사기능의 장애를 일으킬 수 있다(홍 등, 2001). 외국에서는 각 국가별 실정에 맞는 EC기준을 설정하고 있는데 일본은 농업용수의 EC기준값으로 0.3 dS m<sup>-1</sup> 이하로 정하고 있고, FAO에서는 각 염분도별 EC에 따른 작물에 대한 영향을 3단계로 나누어 제시하고 있을 뿐만 아니라 염분도별 EC값에 따른 영향도 제시하고 있다. 우

리나라의 간척농지는 전체 농경지의 13.5%이고 이는 전체 논 면적의 22.1%를 차지하고 있다(최 등, 2004). 또한 간척지 외의 일반 농지에서도 장기적인 관개를 통해 염 축적이 심화되면 염장해가 발생할 우려가 크므로 염장해 대책차원에서 염도와 전기전도도에 대한 기준설정이 필요하다.

## 2) 미생물항목

환경부(생활하수과)는 하수처리장 방류수(하수처리수)를 농업용수로 공급하여 대체수자원으로 개발하기 위해 재이용 활성화방안을 추진하고 있다. 그러나 재이용에 필요한 초기설치비 및 유지관리비가 많이 소요될 뿐 아니라, 재이용수의 수질기준이 마련되어 있지 않아 하수처리수 재이용이 확산되지 못하고 있는 실정이다. 하수처리수가 농업용수로 공급될 경우, 반드시 고려해야 하는 수질 항목은 분변성 오염으로부터 기인하는 미생물항목이다. 따라서 총대장균군(Total Coliforms)뿐 아니라 분변성 오염의 지표가 되는 분변성 대장균군(Fecal Coliforms)이나 *E. coli* 항목이 반드시 추가되어 할 것으로 판단된다. 미국 환경청은 수질환경에서 분변성오염의 지표로 분변성 대장균군보다 *E. coli*를 더 나은 지표로 추천하고 있다. *E. coli*의 검출은 분변성오염의 지표가 될 뿐 아니라, 다른 병원성 미생물의 공존가능성을 시사하므로 공중위생상 문제가 된다(An et al., 2005) 따라서 하수처리수가 관개용수로 재이용되는 농업용수의 수질기준에 *E. coli* 항목이 추가되어야 할 것이다.

## 3) 독성문제

식물의 생장에 필요로 하는 원소는 자연계의 여러 원소 중 일부이다. 식물이 필요로 하는 필수원소는 17개 정도가 있는데 이러한 여러 무기양분은 식물의 생장에 필수적이지만 과잉 공급되면 독성을 나타내게 된다. 독성문제는 보통 특정이온이 토양수분에 의해 흡수되고 증산작용을 통해 잎에 축적되어 식물체가 손상을 입어 야기된다. 손상의 정도는 시간, 농도, 작물의 민감도, 그리고 작물의 수분이용에 따라 다르게 나타나고 작물량의 감소로 이어진다. 보통 관개용수 내의 독성이온들은 염소(Chloride), 나트륨(Sodium), 구리(Copper), 붕소(Boron), 그리고 아연(Zinc)이 있다.

염소이온( $Cl^-$ )은 독성을 유발하는 관개용수내의 가장 일반적인 물질이다. 염소는 자연 상태에서 공급원이 풍부하며 결핍되는 경우는 드물다. 염소는 망간과 함께 광합성에서 산소방출 반응에 필요한 역할을 할 뿐만 아니라 액포 내에서는 삼투압 조절물질 중 하나이며, 염소이온은 잎과 뿌리의 세포분열에 필요하다(홍 등, 2001). 염소의

결핍은 양액재배이외의 다른 재배형태에서는 거의 발생하지 않고 대부분은 과잉으로 인한 문제가 발생한다(박과 김, 1999). 염소는 쉽게 흡수되고 식물체 내 이동성이 뛰어나기 때문에 적정량을 초과하며 식물체내에 축적되어 뿌리를 손상시키고, 수분 및 양분의 흡수를 방해한다. FAO는  $4\text{ me L}^{-1}$  미만, 캐나다는 작물별로 분류하여  $100\sim 700\text{ mg L}^{-1}$ , 일본 수도생육에 있어서 허용한계농도로는  $500\sim 700\text{ mg L}^{-1}$  이하, 중국은  $250\text{ mg L}^{-1}$ 로 제시하고 있다.

붕소는 식물의 생장조절제의 생장과 밀접한 관계를 가지고 있는데, 주로 토양입자에 흡착되어 있어 식물체내에서는 결핍되기 쉽다. 토양이 알칼리화 되면 뿌리의 흡수력이 약해지고 토양 중의 붕소가 난용성이 되기 때문에 식물체내에서는 붕소가 결핍된다. 붕소가 결핍되면 식물의 길이가 짧아지고 분열조직이 괴사하거나 세포막의 형성이 약해지기 때문에 통기조직이 피해를 입어 체내의 양분이동, 수분흡수, 칼슘의 흡수와 이동이 방해받는다. 따라서 신엽에 칼슘이 부족하게 되고 정아(식물체의 정해진 위치에서 나는 눈)나 중심부 등의 세포액이 강산성이 되기 때문에 세포분열이 왕성한 부위가 검게 고사할 수 있다. 붕소는 식물 생장에 필수적인 원소로서 대부분의 자연하천에 존재하고 비료와 일부 폐수에서 발견되기도 한다. 붕소는 미량으로 모든 식물의 생장에 필수적이지만 일정량 이상에서는 식물에 손상을 일으킨다. 기존자료에 의하면 수초를 28일간 붕소에 노출시켰을 때  $1\text{ mg L}^{-1}$ 의 농도에서 광합성이 감소하였다고 보고되었다(USGS, 1998). 지표수에서는 붕소의 독성이 거의 없으나 우물물이나 샘물에서는 종종 독성을 떨 만큼 다량의 붕소가 존재하기도 한다. 붕소의 독성은 거의 모든 작물에 영향을 미치나, 염분에서와 같이 각각의 작물의 내성은 매우 큰 범위로 다양하다. 대부분 작물의 독성징후는 붕소농도가 잎에서  $250\sim 300\text{ mg kg}^{-1}$ 를 초과하면 나타난다. 붕소에 대한 기준은 FAO, 캐나다, 일본, 중국 등이 정하고 있는데, FAO는  $0.7\text{ mg L}^{-1}$  미만, 캐나다는  $0.5\sim 0.6\text{ mg L}^{-1}$ , 일본은 주요감시항목 및 지침치에서  $0.2\text{ mg L}^{-1}$  이하, 중국의 경우 붕소에 민감한 작물과 저항작물, 그리고 붕소저항이 큰 작물로 나누어 기준치를 제시하고 있다.

구리도 붕소와 마찬가지로 식물생장에 있어 필수원소으로써 효소의 구조를 형성하는 일부분으로 2가 구리( $Cu^{2+}$ ) 또는 구리킬레이트로 식물에 흡수된다(An, 2005). 식물영양분으로서 구리는 산화 효소 활성화 및 탄소동화 작용시에 전자전달체계에 관여하며, 구리 결핍시에는 생장이 억제되고 벼과 식물의 경우 황백화된다. 밀에 대한

중금속의 독성영향의 실험에 의하면 6개의 중금속 중 카드뮴 다음으로 높은 독성을 나타냈다. 높은 구리농도는 벼의 생장과 발달에 독성영향을 끼치는데 토양 내 농도가  $100 \text{ mg kg}^{-1}$ 일 때에 10%가 감소하고,  $300 \sim 500 \text{ mg kg}^{-1}$ 의 구리농도에서는 전제작물의 반 정도의 양이, 그리고  $1,000 \text{ mg kg}^{-1}$ 의 구리농도에서는 거의 수확을 할 수 없는 것으로 나타났다 (Xu *et al.*, 2006). FAO의 경우 구리의 최대허용농도로  $0.2 \text{ mg L}^{-1}$ , 캐나다는  $0.2 \sim 1.0 \text{ mg L}^{-1}$ , 일본의 농업용수수질기준에서는  $0.02 \text{ mg L}^{-1}$  이하, 중국의 경우  $1 \text{ mg L}^{-1}$ 로 정하고 있다. 토양과 작물내의 축적된 구리의 농도는 음식의 안전에 영향을 끼쳐 인간의 건강에도 위협이 된다 (Xu *et al.*, 2006). 미국에서 연구된 자료에 의하면 지표수의 구리의 농도는  $0.0005 \sim 41 \text{ mg L}^{-1}$ 이며, 중앙값은  $0.01 \text{ mg L}^{-1}$  정도인 것으로 나타났다 (WHO, 2004a).

철은 식물에 있어 광합성, 호흡, 단백질 합성, 각종 효소작용, 그리고 엽록소를 합성하는데 중요한 역할을 한다. 철이 과잉 공급시에는 마디에 집적되어 인간의 이동을 억제한다 (박과 김, 1999). 현행 수질환경기준에는 철에 대한 기준이 제시되어 있지 않으나 지하수에는 철분함량이 지나치게 높아 농업용수로 이용할 수 없는 경우가 많다. 캐나다의 경우 관개용수의 철의 기준량이  $5 \text{ mg L}^{-1}$ 로 제시되어 있고 미국 플로리다 주 또한 농업용수 기준에  $1 \text{ mg L}^{-1}$  이하로 정하고 있다.

아연은 2가의 양이온으로 흡수가 되는데, 산성토양에서 독성을 일으키며 벼의 생장을 방해한다 (Dong, 2006). 아연은 알코탈수효소와 탄산무수효소 등의 효소를 활성화시키며 부족시에는 식물호르몬 중 하나인 옥신호르몬의 대사에 영향을 끼치는 것으로 알려져 있다 (홍 등, 2001). 아연이 결핍되면 마디사이가 짧아지고, 잎이 변색되고 오래된 잎들은 갈변화된다 (Dong, 2006). 아연에 대한 농업용수 수질기준을 FAO에서는  $2.0 \text{ mg L}^{-1}$ , 캐나다는  $1.0 \sim 5.0 \text{ mg L}^{-1}$ , 일본은  $0.5 \text{ mg L}^{-1}$  이하, 그리고 중국은  $2 \text{ mg L}^{-1}$ 로 정하고 있다. 자연 내 지표수에 함유되어 있는 아연의 농도는  $10 \mu\text{g L}^{-1}$  정도이며, 필란드의 폐쇄공에 대한 검사결과 6,000여개의 거의 모든 우물에서  $24 \text{ mg L}^{-1}$  이상의 높은 농도의 아연이 검출되었다 (WHO, 2003b).

실질적으로 대부분의 관개용수에는 저농도의 미량원소들이 포함되어 있지만 지속적인 관개에 따른 미량원소들의 농작물 내 생물축적 (Bioaccumulation)은 식물독성 (Phytotoxicity)을 유발하고 나아가 인체건강을 위협하므로 기준설정이 필요한 수질항목이다.

## 적 요

본 연구에서는 (1) 선진외국 및 기타국가의 농업용수 수질기준을 검토하고 (2) 선진외국과 국내의 농업용수 수질기준을 항목별로 심층 비교 분석하여, 현행 농업용수 수질기준의 적정성을 평가하였다. 또한 (3) 국내 농업용수 수질기준의 문제점을 파악하고 추가로 기준설정이 요구되는 수질기준 항목을 도출하였다. 우리나라의 농업용수 수질기준은 따로 마련되어 있는 것이 아니라, 수질환경기준의 4등급에 해당하는데, 이는 관리목적의 기준으로 이수목적의 농업용수로 필요한 항목들이 누락되어 있는 실정이다. 예를 들어 캐나다의 경우 농약과 비료에 의한 오염 등을 고려하여 관개용수 수질기준을 제시하고 있으며 일본의 경우 우리나라와 달리 EC, Zn, 그리고 Cu항목을 설정해 두고 있다. FAO에서도 주요항목으로 염도와 토양 침투율 그리고 특정이온의 독성에 대해 제시하고 있으며 중국의 경우 벼에 대한 농업용수 수질기준을 따로 제시하고 있는 실정이다. 국내 농업용수 수질기준의 추가 항목 필요성은 수질환경기준의 8항목과 사람의 건강보호 항목 9항목으로 나누어 세밀하게 검토한 결과, 국내 농업용수 수질기준에 추가되어야 할 수질항목으로 나트륨, 전기전도도, 미생물항목, 그리고 5개의 미량원소(염소, 붕소, 구리, 철, 아연)가 제안되었다. 전기전도도 (EC)는 염도의 지표로 식물뿌리 주변에 염농도가 높으면 수분결핍과 이온 독성을 나타낸다. 하수처리수를 재이용하여 농업용수로 이용할 경우 분변성 오염은 공중위생상 문제가 되며 병원성 미생물의 공존가능성을 시사하기 때문에 미생물항목이 필요하다. 또한, 염소, 붕소, 구리, 철, 아연의 5개의 원소는 이미 선진국에서는 기준설정이 되어 있는 수질항목들로, 식물생장에 필수원소들이지만 일정량 이상이 되면 식물독성을 유발하는 원소로 제시되었다. 우리나라의 농업용수 수질기준이 농작물을 보호하고, 나아가 인체건강을 고려하는 실질적인 이수목적의 기준이 되기 위해서는 추가로 제안된 수질항목들에 대한 기준이 설정될 필요가 있는 것으로 사료된다.

## 사 사

본 연구는 농촌진흥청 농업특정연구사업 (농업용수의 수질오염 방지기술 개발)의 지원으로 수행되었습니다.

## 인용문헌

- 농림부, 2004. 농업용수 수질오염이 벼생육에 미치는 영향연구 (최종).
- 농어촌진흥공사. 1997. 농업용수 수질기준 제정 등 제도개선에 관한 연구.
- 박권우, 김영식. 1999. 양액재배. 아카데미서적.
- 이상훈. 2000. 농업용수수질기준 개선 방안에 관한 연구. 사업 기술연구소논문집. **15**: 379-385.
- 최선화, 김호일, 이광식, 장정렬, 오종민. 2004. 농업용수 EC 수준이 벼 생육, 수량, 미질에 미치는 영향. p. 63-66. 한국물 환경학회 2004 춘계학술발표 논문집.
- 하오성, 김복영. 우리나라 지속농업을 위한 토양환경의 문제점과 개선방향. 친환경정밀농업연구회. [http://www.precisionag.or.kr/information/data\\_17.htm](http://www.precisionag.or.kr/information/data_17.htm)
- 홍영남, 진창덕, 전성수, 박연일, 권덕기 역 [Hopkins, W.G.]. 2001. 식물생리학. 을유문화사.
- 환경부. 2000. 수질환경기준 개선방안.
- 환경부. 2004. 물환경종합평가방법 개발 조사연구 (I) 최종보고서.
- An, Y.J. 2004. Soil ecotoxicity assessment using cadmium sensitive plants. *Environmental Pollution*. **127**(1): 21-26.
- An, Y.J. 2005. Assessment of comparative toxicities of lead and copper using plant assay. *Chemosphere*. **62**(8): 1359-1365.
- An, Y.J. and G. Peter Breindenbach. 2005. Monitoring E. coli and total coliforms in natural spring water as related to recreational mountain areas. *Environ. Monitor. Assess.* **102**(1/3): 131-137.
- Bi, X., S. Chu, Q. Meng and X. Xu. 2002. Movement and retention of polychlorinated biphenyls in a paddy field of WenTai area in China. *Agri. Ecosys. Environ.* **89**: 241-252.
- CCME. 2003. Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Agricultural Water Uses. Canadian Council of Ministers of the Environment.
- Chu, S., M. Cai, and X. Xu. 1999. Soil-plant transfer of polychlorinated biphenyls in paddy fields. *Sci. Tot. Environ.* **234**: 119-126.
- Dong, Y., T. Ogawa, D. Lin, H.J. Koh, H. Kamiunten, M. Matsuo and S. Cheng. 2006. Molecular mapping of quantitative trait loci for zinc toxicity tolerance in rice seedling (*Oryza sativa* L.). *Field Crops Research*. **95**: 420-425.
- FAO. 1994. Water quality for agriculture. Food and Agricultural Organization of the United Nations. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Lin, Y.-J., H.C. Liu, Z.Y. Hseu and W.J. Wu. 2006. Study of transportation and distribution of PCBs using an ecologically simulated growth chamber. *Chemosphere*. **64** (4): 565-573.
- Soffer, H. and D.W. Burger. 1988. Effects of dissolved oxygen concentrations in aero-hydroponics on the formation and growth of adventitious roots. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* **113**: 218-221.
- USGS. 1998. Guidelines for Interpretation of the Biological Effects of Selected Constituents in Biota, Water, and Sediment. U.S. Geological Survey.
- Xu, J., L. Yang, Z. Wang, G. Dong, J. Huang and Y. Wang. 2006. Toxicity of copper on rice growth and accumulation of copper in rice grain in copper contaminated soil. *Chemosphere*. **62**: 602-607.
- WHO. 1997. Guildelines for predicting dietary intake of pesticide residues. World Health Organization.
- WHO. 2003a. Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality (Cyanide in Drinking-water). World Health Organization.
- WHO. 2003b. Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality (Zinc in Drinking-water). World Health Organization.
- WHO. 2004a. Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality (Copper in Drinking-water). World Health Organization.
- WHO. 2004b. Concise International Chemical Assessment Document 61. Hydrogen Cyanide and Cyanides: Human Health Aspect. World Health Organization.
- WHO. 2004c. Rolling revision of the WHO Guidelines for Drinking-Water Quality. World Health Organization.
- Ying, G.G. 2006. Fate, behavior and effects of surfactants and their degradation products in the environmental. *Environmental International*, **32**: 417-431.

(Manuscript received 26 May 2006,  
Revision accepted 17 August 2006)