

State Indicator of Water Quality for Surface Water and Groundwater in Agriculture

Min-Kyeong Kim, Goo-Bok Jung*, An-Sung Ro¹, Seung-Chul Choi², Won-Il Choi³, Eun-Jeong Kim³, Jong-Eun Lee⁴, Yeo-Uk Yun⁴, Kab-Cheol Kim⁵, Do-Young Ko⁵, Byeong-Ho Kim⁶, Hyeon-Ji Kim⁶, Sang-Jo Park⁷, Seong-Tae Lee⁸, Jae-Young Heo⁸, Sang-Ho Yang⁹, and Seong-Soo Kang

National Academy of Agricultural Science, RDA, Wanju, 55365, Korea

¹*Gyeonggi Agricultural Research and Extension Services, Hwaseong, 18388, Korea*

²*Gangwon Agricultural Research and Extension Services, Chuncheon, 24226, Korea*

³*Chungbuk Agricultural Research and Extension Services, Cheongwon, 28130, Korea*

⁴*Chungnam Agricultural Research and Extension Services, Yessan, 32418, Korea*

⁵*Jeonbuk Agricultural Research and Extension Services, Iksan, 54591, Korea*

⁶*Jeonnam Agricultural Research and Extension Services, Naju, 58213, Korea*

⁷*Gyeongbuk Agricultural Research and Extension Services, Daegu, 41404, Korea*

⁸*Gyeongnam Agricultural Research and Extension Services, Jinju, 52733, Korea*

⁹*Agricultural Research and Extension Services, Jeju Special Self-Governing Province, 63556, Korea*

(Received: September 14 2015, Revised: October 21 2015, Accepted: October 21 2015)

Indicators of environmental conditions qualitatively and quantitatively describe the state of the environment and natural resources, and the OECD (Organization for Economic Cooperation and Development) has initiated and suggested AEs (Agri-Environmental Indicators) to assess trends over time of the effects of agriculture on the environment and the effectiveness and efficiency of agricultural and environmental policy measures since 1990's. This study aims to develop the state indicators of water quality for agricultural water, surface and groundwater, to evaluate the environmental impacts of agricultural activities and policies by qualifying the environmental levels of a nation. Status indicators were calculated according to the agricultural water quality standards of OECD and Korea, and their trends were analyzed over time. Particularly, nitrate (NO₃⁻) status indicators of ground water in 2013 were significantly lower than the ones in 2000. Overall, the water quality indicators of surface water in 2013 were higher than the ones in 2012, except for pH and DO. The groundwater quality indicators in 2013 were lower than those of previous years. The optimal management indicators were calculated to assess agricultural surface water and groundwater quality. The findings of this study indicated that the state indicators could play a significant role to establish policies and procedures for managing and conserving water resources. This study also discussed water pollution caused by agricultural and industrial effluents.

Key words: Surface water, Groundwater, State indicator, Water quality

Ratio of monitoring sites exceeding the national drinking water threshold limits for nitrates in groundwater.

Year	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Ratio (%)	15.2	14.4	14.6	16.5	17.7	12.9	12.3

* National drinking water threshold limits for nitrate nitrogen in Korea = 10 mg L⁻¹.

*Corresponding author : Phone: +82632382500, Fax: +82632383823, E-mail: gbjung@korea.kr

§Acknowledgement : This research was supported by Rural Development Administration (PJ00919807)

Introduction

농업용수의 양적 사용에 관심을 두었던 과거와는 달리, 최근에는 농업용수의 질적 사용에 대한 관심이 높아진 것은 농업환경 개선을 통한 안전한 농산물에 대한 소비자의 요구에서 비롯하였다. 이에 따라 정부기관 및 학계에서는 양질의 농업용수 확보 및 관리에 대한 연구들이 수행하였다 (Ko et al., 2006; Kim et al., 2008; Kim et al., 2013).

현재까지의 연구 결과를 보면 하천수의 오염 정도가 지역에 따라 상당히 다르며 오염의 정도는 상당히 빠른 속도로 심화되고 있는 것으로 나타났다 (NIER, 2013). 농업용 지하수 오염에 대해서는 주요 질소원의 투입이 많고 연중 집약재배가 이루어지고 있는 시설재배지 인근의 지하수 중 $\text{NO}_3\text{-N}$ 오염에 관해 많은 연구가 진행되어 왔다 (Kim et al., 2008; Ko et al., 2005; Lee et al., 2005). 그러나 이러한 결과들은 농업지대에 대한 오염 실태 파악과 영농활동에 따른 환경영향 평가가 제대로 이루어지지 않은 상태에서 농업활동을 주요 오염원으로 보고 있다.

농업환경지표 (Agri-Environmental Indicators, AEIs)는 농업이 환경에 미치는 영향과 환경이 농업에 미치는 영향을 파악할 수 있는 분야를 선정하여 일정한 기준에 따라 산정된 대표적인 값이다 (OECD, 2001; Kim and Kim, 2005). 이러한 농업환경지표 중 농업용수 수질 상태지표는 농업생산 활동의 변화로 인한 수질변화를 나타낼 수 있는 수치이다. 미국과 유럽을 중심으로 국가 정책목표 차원에서 농업환경지표를 활용하여 정책 및 사회경제적 요구에 대응하고 있다 (OECD, 2013).

농업환경지표는 농업에서 나타나는 환경상태 및 변화에 대한 정보를 제공하여 정책 결정자로 하여금 농업활동과 농업정책이 환경에 미치는 영향의 인과관계를 더 잘 이해하도록 돕고 환경조건의 변화에 대한 적절한 대응책을 마련하기 위해 개발되었다 (Kim and Kim, 2005). 특히 OECD는 1996년부터 논의되어온 농업환경지표의 개발과 과제를 제시하였고 지표개발 이후의 후속과제에 대한 심층적인 논의가 이루어지고 있다 (OECD, 2008).

따라서 본 연구에서는 우리나라 농업용 하천수와 지하수

수질에 대한 변동 조사 결과를 활용하여 OECD 기준과 우리나라 농업용수 수질기준에 따라 수질 상태지표를 산정하여 농업용수 수질환경에 대한 평가를 실시하였다.

Materials and Methods

조사현황 농업용 하천수에 대한 수질조사는 농업지대 내 소하천의 맨 아래 하류지점을 조사지점으로 선정하였고, 조사시기는 홍수 전 갈수기인 4월, 홍수기인 7월, 홍수 후 갈수기인 10월로 연 3회씩 실시하였다.

지하수에 대한 조사는 전국에서 농업용 지하수를 사용하고 있는 지점을 대상으로 영농형태별로 구분하여 조사하였다. 조사지점은 각 도별로 논, 밭, 시설재배지를 각각 25%, 25%, 50%의 비율로 정하여 조사하였으며, 조사시기는 4월과 7월로 연 2회씩 실시하였다. 농업용 하천수와 지하수 조사지점 및 조사내역은 Table 1과 같다.

시료채취 및 분석방법 농업용 하천수의 수질조사는 농업용으로 사용하고 있는 하천수를 대상으로 채수병을 이용하여 직접 채수하여 시료로 사용하였다. 이때 pH, EC, DO 항목은 현장에서 측정된 후 채수용기를 ICE BOX에 넣어 실험실로 운반하였다. 지하수 수질시료는 지하수 양수관망 내에 잔류하고 있던 지하수를 완전히 배제하기 위해 pump를 최소한 2~3분 가동시킨 후 지하수 시료를 채수하였다. 지하수 시료의 pH, EC 및 수온은 현장에서 측정된 후 폴리에틸렌 용기 (2 L)에 채수한 후 ICE BOX에 넣어 실험실로 운반하여 분석 시료로 사용하였다.

실험실로 옮겨진 하천수와 지하수 시료는 수질오염공정시험방법 (MOE, 2011)과 Standard Methods (APAH, 1992)에 준하여 분석하였다. BOD와 DO는 BOD와 DO meter법에 준하여 분석하였고, COD는 산화제로 과망간산칼륨을 이용하여 분석하였다. $\text{NH}_4\text{-N}$ 과 $\text{PO}_4\text{-P}$ 는 0.45 μm membrane filter로 여과한 후 Indophenol법과 흡광광도법 중 염화제일 주석 환원법으로 분석하였다. $\text{NO}_3\text{-N}$, Cl^- , SO_4^{2-} 는 0.45 μm membrane filter로 여과한 후 Ion Chromatography법으로 분석하였다. 또한 양이온은 0.45 μm membrane filter로

Table 1. Number of monitoring sites for surface water and groundwater in agriculture.

	GG	GW	CB	CN	JB	JN	GB	GN	JJ	Total
Surface water	32	34	56	43	31	37	28	39	-	300
Ground water	Paddy	5	5	5	5	6	5	5	3	44
	Upland	5	5	4	5	5	5	5	28	67
	Plastic film	10	10	11	10	10	10	10	9	90
Total	52	54	76	63	52	57	48	59	40	501

* GG; Gyeonggi, GW; Gangwon, CB; Chungbuk, CN; Chungnam, JB; Jeonbuk, JN; Jeonnam, GB; Gyeongbuk, GN; Gyeongnam, JJ; Jeju

여과한 후 ICP-AES (Inductively Coupled Plasma-Automatic Emission Spectroscopy)을 이용하여 측정하였다. 중금속은 질산을 이용하여 열판에서 분해한 후 ICP-AES를 이용하여 분석하였다. 또한 T-N과 T-P는 자외선 흡광광도법과 아스코르빈산환원법을 이용하여 분석하였다.

농업용수 수질 상태지표 산정 수질 상태지표는 현재의 농업용수 수질을 가장 잘 표현할 수 있는 지표로 OECD (2001)에 의하면 수질 상태지표의 접근 및 평가는 농업활동으로부터 발생하는 질소, 인, COD, 잔류농약 등의 농도를 측정하여 이루어진다. 수질 상태지표는 질산염 (NO₃⁻)과 인 (T-P)의 농도가 국가 기준치 (National threshold standard)를 초과하는 하천수와 지하수의 비율로 정의하고 있다. 수질 상태지표의 산출방법은 질산염의 경우 농업에 의한 오염이 우려되는 지역에서 지하수는 질산염 농도를 취하고 하천수는 질산염의 유량가 중평균농도를 취하여 구한다. 그러나 본 연구에서는 우리나라 먹는 물 수질기준은 질산염 질소 (NO₃-N)가 10 mg L⁻¹이며, 인 (T-P)에 대한 기준과 하천수의 유량자료가 없어 지하수의 질산염 초과 비율만으로 산정하였다.

우리나라 농업용수 수질기준에 따른 수질 상태지표는 우리나라 농업용수 수질 기준치를 초과한 하천수와 지하수 조사지점 비율로 산정하였다. 우리나라 농업용수 수질기준은 하천수의 경우 환경정책기본법의 생활환경기준 4등급을 따르며, 지하수의 경우 지하수법의 농·어업용수 기준을 따른다 (Table 2).

Results and Discussion

농업용 하천수와 지하수의 수질 현황 조사연도별

Table 2. Water quality standards for agricultural water in Korea.

	pH	DO	BOD	COD _{Mn}	NO ₃ -N	T-P	SS	Cl ⁻	Cd	As	Pb
Surface water	6.0~8.5	> 2	< 8	< 9		< 0.3	< 100				
Groundwater	6.0~8.5				< 20			< 250	< 0.01	< 0.05	< 0.1

Table 3. Averaged water quality results of agricultural surface water by year.

Year	pH	EC	DO	BOD	COD _{Mn}	NH ₄ -N	T-N	T-P	SS	Ca	K	Mg	Na
		dS m ⁻¹											
2007	7.7	0.18	9.7	1.1	2.7	0.18	2.92	0.07	5.6	9.1	3.39	5.17	10.5
2008	7.5	0.20	9.0	1.8	3.2	0.36	2.90	0.08	5.9	19.5	3.39	4.65	12.0
2009	7.6	0.22	8.6	1.6	3.5	0.68	2.57	0.08	6.6	18.9	3.08	4.61	11.6
2010	7.6	0.20	9.3	1.9	3.4	0.27	3.29	0.09	5.6	19.9	3.26	4.30	10.7
2011	7.6	0.19	9.1	1.8	3.1	0.29	3.05	0.06	6.3	19.1	2.90	4.28	10.8
2012	7.7	0.20	9.2	2.0	3.4	0.36	3.30	0.07	5.5	20.3	3.06	4.61	10.6
2013	7.5	0.19	9.3	1.8	2.9	0.32	3.41	0.09	6.2	18.9	3.03	4.09	11.2
Ave.	7.6	0.20	9.2	1.7	3.2	0.35	3.06	0.08	6.0	18.0	2.87	4.53	11.1

우리나라 농업지대내 하천수의 평균 수질은 다음의 Table 3과 같았다. 하천수의 pH는 7.6으로 약알칼리성을 나타내고 있었는데, 관개용수의 pH는 수량구성요소 및 수확량과 높은 상관관계가 있으나 쌀의 외관적 품위와는 유의적인 상관관계가 없는 것으로 보고되고 있다 (RRI, 2004).

EC는 평균 0.20 dS m⁻¹로 현재 우리나라에서는 농업용수의 수질기준 중 EC에 대한 기준이 없으나, USDA Salinity Staff (1953)에서는 농업용수를 평가하기 위한 가장 중요한 척도로 제시한 기준 중 EC 농도가 0.25 dS m⁻¹ 이하의 관개수는 어떠한 작물에서도 염해를 일으키지 않는 양질의 관개수라고 하였다 (FAO, 1997).

관개용수 중 DO는 뿌리의 형성 및 생육에 필수적인 항목으로 (Soffer and Burger, 1988) 평균 농도는 9.2 mg L⁻¹으로 농업용수 수질기준 (2.0 mg L⁻¹이상)에 적합하였다. BOD가 높으면 유기물이 분해되는 과정에서 수중의 산소를 소비하여 혐기성 상태를 일으키며 분해과정에서 Fe³⁺, Mn⁵⁺, SO₄²⁻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 (An et al., 2006). 우리나라 농업용 하천수의 BOD 평균 농도는 1.7 mg L⁻¹로 농업용수 수질기준인 8.0 mg L⁻¹ 이하 수준이었다. 또한 우리나라 농업용 하천수의 연차별 COD_{Mn} 평균 농도는 3.2로 농업용수에 의한 농작물 피해기준인 50 mg L⁻¹보다 훨씬 낮았다.

하천오염의 주요 지표 중 하나인 암모늄태 질소의 농도는 0.35 mg L⁻¹이었는데 동경도 농업시험장에서 시행한 조사사례와 시험결과에 따르면 암모늄태 질소의 농도가 5.0 mg L⁻¹ 이상이면 농작물의 피해가 나타나는 수준이라고 하

Table 4. Averaged water quality results of agricultural groundwater by year.

Year	pH	EC	NO ₃ -N	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca	K	Mg	Na
		dS m ⁻¹	mg L ⁻¹						
2007	7.7	0.19	3.04	14.6	5.7	9.9	3.04	6.13	16.5
2008	6.8	0.26	5.45	23.3	19.9	22.1	3.24	6.67	15.4
2009	6.8	0.27	5.13	20.5	20.4	23.4	2.68	6.52	14.8
2010	6.9	0.27	5.78	20.6	-	25.9	2.88	7.31	15.7
2011	6.9	0.27	6.06	21.2	15.1	25.7	2.73	7.62	15.5
2012	6.8	0.28	5.08	22.6	16.8	29.1	2.71	8.20	15.9
2013	6.9	0.27	5.00	20.1	28.1	44.5	2.62	6.98	15.3
Ave.	7.0	0.26	5.08	20.4	17.7	25.8	2.84	7.06	15.6

* - : Not monitored

Table 5. Ratio of monitoring sites exceeding the national drinking water threshold limits for nitrates in groundwater.

Year	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Ratio (%)	15.2	14.4	14.6	16.5	17.7	12.9	12.3

* National drinking water threshold limits for nitrate nitrogen in Korea = 10 mg L⁻¹.

였다 (Toda, 1969). 이 기준에 따르면 우리나라 농업용 하천수의 평균 수질 중 암모늄태 질소의 농도 수준은 안전한 것으로 나타났다.

조사 하천수 중 SS 평균 농도는 6.0 mg L⁻¹로 농업용 하천수의 총부유물질인 SS의 수질기준은 100 mg L⁻¹에 훨씬 낮은 수준이었다. 따라서 우리나라 농업용 하천수의 평균 수질은 농업용수로 사용이 가능한 것으로 나타났고 대부분의 조사항목에서 수질이 개선되고 있는 것으로 조사되었다. 또한 연차별로 하천수의 평균 수질은 큰 차이가 없는 것으로 조사되었다.

조사연도별 우리나라 농업지대내 지하수의 평균 수질은 다음의 Table 4와 같았다. 지하수의 평균 pH는 7.0, NO₃-N은 5.08 mg L⁻¹, Cl⁻은 20.4 mg L⁻¹, SO₄²⁻는 17.7 mg L⁻¹이었으며 연차별로 큰 차이는 없었다. 특히 지하수 수질 오염 지표인 NO₃-N 농도는 농업용수 수질기준인 20 mg L⁻¹을 초과하지 않았다. 그러나 지하수 오염의 위험은 어떤 특정한 활동에 의한 것이라고 일반화시키기 매우 어렵는데 그 이유는 지하수위의 깊이, 관정의 위치, 토양과 불포화층의 특성 등 여러 가지 요인에 의한 결과로 나타나 지하수 중의 질산태 질소가 증가하기 때문이다 (Knox et al., 1991).

염소이온 (Cl⁻)은 식물체가 과다 흡수할 경우 식물체의 광합성 감소, 탄수화물 이동 및 호흡과 수분흡수 저해를 일으키는 원인이 되는 것으로 알려져 있다 (Hedal et al., 1981; Hiroshi et al., 1978). 우리나라 농업용 지하수의 수질기준과 관개수 중의 Cl⁻ 성분으로 인한 농작물 피해농도는 250 mg L⁻¹ (Kim, 1988)로 평균 농도 (20.4 mg L⁻¹)가 이 기준치보다 현저히 낮은 안전한 수준이었다. 황산이온 (SO₄²⁻)은 토양의 영향을 많이 받는 항목 중의 하나로 평균 농도

(17.7 mg L⁻¹)가 관개수 중 SO₄²⁻이 농작물 수량에 영향을 미치는 54.9 mg L⁻¹ (Kim, 1988)에는 미치지 않는 수준이었다.

최근 농업용수 수질 측정기술의 개선을 통해 농업활동에 따른 농업용수 수질에 대한 환경적 및 사회적 중요도를 포함하는 자료와 농업용수 수질 지표의 범위를 확대할 필요성이 높아지고 있다 (OECD, 2008). 따라서 본 연구는 농업용 하천수와 지하수 수질의 현재 상태를 잘 표현할 수 있는 상태지표로 활용이 가능할 것으로 생각된다.

농업용 지하수에 대한 OECD의 수질 상태지표 본 연구에서는 OECD 농업용수 수질지표 산정방식으로 하천수와 지하수내 질산염 (NO₃)과 인산 (TP)에 대한 먹는 물 수질 기준을 초과하는 농업지역내 조사지점의 비율로 산정하였다. 그러나 우리나라 먹는 물 수질기준에는 질산태 질소 기준만 10 mg L⁻¹로 설정되어 있다. 따라서 국립농업과학원이 각 도 농업기술원과 공동으로 수행하고 있는 농업용수 수질 조사 결과를 활용하여 농업용 지하수 수질 중 질산염에 대한 상태지표만을 산정하였다 (Table 5). 우리나라 농업용 지하수의 질산염 상태지표는 2007년 15.2%에 비해 2013년에는 12.3%로 좋아진 경향을 보여주었다. 이는 토양검정 시비, 친환경 농자재 개발 등과 같은 여러 가지 친환경 농업 정책의 추진에 따른 결과로 생각된다.

1990년 이후 OECD 국가들의 농업분야 환경평가 보고서 (OECD, 2008)에 의하면 상당수의 회원국에서 질산염에 의한 지표수의 총 오염 중 농업이 차지하는 비율이 40% 이상을 차지하고 있다. 또한 지하수 오염에 대한 농업의 기여도는 낮지만 많은 연안이나 해수의 질소부하에 대한 농업의 기여도는 40% 이상으로 부영양화의 주된 요인으로 보고되

고 있다. 국가 먹는 물 수질기준을 초과한 질산염을 함유하는 지표수와 지하수의 농업지역내 조사지점 비율이 벨기에, 네덜란드와 같이 일부 국가에서는 25% 이상이나 대부분의 국가에서는 10% 이하로 나타났다. 또한 오스트리아, 프랑스, 독일, 스페인과 미국에서는 질산염에 의한 국가 먹는 물 수질기준을 초과하는 비율이 지표수보다 지하수가 더 높게 나타나는 것으로 보고되었다 (OECD, 2006; OECD 2008).

우리나라 농업용수 수질 상태지표 우리나라 농업용 하천수와 지하수 수질기준에 따른 상태지표 변화를 분석한 결과는 다음의 Fig. 1, Fig. 2와 같다. 우리나라 농업용수 수질기준으로 한 2013년 하천수의 수질 상태지표는 pH와 DO를 제외하고는 예년에 비해 높은 경향으로 pH 4.5%, DO 0.2%, BOD 0.8%, COD 0.8%, T-P 2.4%, SS 0.3% 이었다 (Fig. 1). 2013년 지하수의 수질 상태지표는 pH 4.5%, NO₃-N 3.0%, Cl⁻ 0.1%이었고 Cd, As 및 Pb은 기준을 초과하지 않아 0.0%이었으며 이는 예년에 비해 낮은 경향을 보였다 (Fig. 2). 하천수의 경우 강수량과 같은 자연환경과 비료 사용량, 토양 유기물, 형태 및 함량, 농경지 면적 변화 등의 농업환경에 영향을 직접적으로 받기 때문에 상태지표의 변동 폭이 큰 것으로 생각된다.

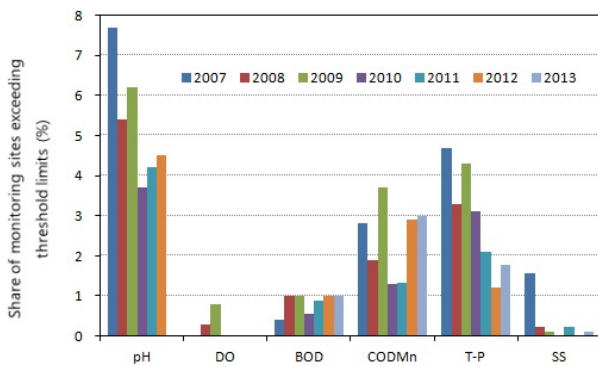


Fig. 1. Share of monitoring sites exceeding the national drinking water threshold limits for water quality items in surface water.

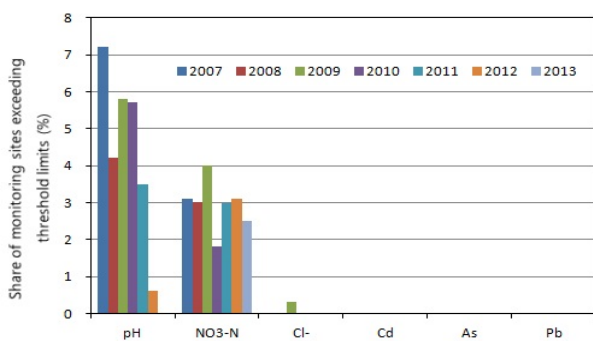


Fig. 2. Share of monitoring sites exceeding the national drinking water threshold limits for water quality items in groundwater.

따라서 수질 상태지표와 관련된 여러 환경 및 관리지표들에 대한 명확한 방법론 설정이나 관련 분야에 대한 지속적인 장기적인 연구가 수행되어야 정책적으로 활용할 뒷받침이 될 것으로 생각된다. 또한 농업활동이 수계에 미치는 영향을 해석하기 위해서는 발생량 및 부하량에 대한 평가가 선행되어야 한다. 이러한 평가를 위해서는 물 사용지표와 양분지표가 공동으로 이루어져야 하므로 지표 개발에 관한 보다 명확한 방법이 설정되어야 할 것이다.

또한 농업용수 수질기준 항목 중 농작물에 필수 영양성분인 질소와 인에 대한 기준이 너무 엄격하게 설정되어 있어 수질기준을 초과하는 것으로 나타났다. 이는 농산물 생산의 걸림돌이 되는 동시에 우리나라 수자원의 상당량을 활용하지 못하게 되는 결과를 초래할 수 있다. 따라서 우리나라 농업용수 수질 현황을 고려한 이용목적의 농업용수 수질 기준 및 정책 수립이 절실히 필요하다고 생각된다.

Conclusion

농업용수 수질환경에 대한 농업의 긍정적 및 부정적 영향을 평가하기 위하여 2007년부터 2013년까지 우리나라 농업용 하천수와 지하수 수질에 대한 변동 조사 결과를 활용하여 OECD 기준과 우리나라 농업용수 수질기준에 따라 수질 상태지표를 산정하였다. OECD 수질 상태지표의 기준은 우리나라 먹는 물 수질기준치를 초과한 질산염과 인을 함유하는 하천수와 지하수 조사지점 비율을 나타내는데 우리나라 먹는 물 수질기준은 질산염 질소가 10 mg L⁻¹이며 인에 대한 기준은 없다. 또한 우리나라 농업용수 수질기준은 하천수의 경우 환경정책기본법의 생활환경기준 4등급을 따르며 지하수의 경우 지하수법의 농업용수 기준을 따르는데 이 기준치를 초과한 하천수와 지하수의 조사지점 비율을 나타낸다. OECD 기준에 의한 우리나라 농업용 지하수의 질산염 상태지표는 12.3~17.7%이었는데 본 연구에 활용된 수질 변동 자료는 지하수의 질산염 질소만 있어 OECD 수질 상태지표의 경우 이에 대한 수질 상태지표만을 산정하였다. 또한 우리나라 수질기준에 의한 하천수의 수질 상태지표는 pH 0.0~7.7%, DO 0.0~0.8%, BOD 0.4~1.0%, COD_{Mn} 1.3~3.7%, T-P 1.2~4.7%, SS 0.0~1.6%이었으며 지하수의 수질 상태지표는 pH 0.0~7.2%, NO₃-N 2.0~4.0%, Cl⁻ 0.0~0.3%, Cd 0.0%, As 0.0~14.2%, Pb 0.0~0.82%이었다. 농업용수 수질 상태지표를 통해서 나타난 것처럼 최근 문제시 되고 있는 농업용수 수질기준 항목 중 농작물에 필수 영양성분인 질소와 인에 대한 기준이 너무 엄격하게 설정되어 있어 우리나라 농업용수의 상당부분이 수질기준을 초과하는 것으로 나타났다. 이는 농산물 생산의 걸림돌이 되는 동시에 우리나라 수자원의 상당량을 활용하지 못하게 하는 결과를 초래하고 있다. 따라서 우리나라 농업용수 수

질 현황을 고려한 이수목적의 농업용수 수질기준 및 정책 수립이 절실히 필요한 실정이다.

References

- An, Y.J., W.M. Lee, and C.G. Yoon. 2006. Evaluation of Korean water quality standards and suggestion of additional water parameters. *Korean J. Limnol.* 39:285-295.
- APAH-AWWA-WEF. 1992. Standard methods for the examination of water and waste water. 18th APHA.
- FAO. 1997. Management of Agricultural Drainage Water Quality.
- Hedal, H.M. and K. Mengel. 1981. Interaction between light intensity and NaCl salinity and their effects on growth, CO₂ assimilation and photosynthate conversion in young broad beans. *Plant Physiol.* 67:999-1210.
- Hiroshi I. and T. Akiya. 1978. Effect of chlorine on growth and quality of tobacco. *JARQ.* 12:1-12.
- Kim, B.Y. 1988. Water pollution and agriculture. *Korean J. Environ. Agric.* 7:153-169.
- Kim, C.G. and T.Y. Kim. 2005. Directions for linkages between policy measures and the OECD agricultural environmental indicators. *Korean J. Environ. Agric.* 24: 303-313.
- Kim, J.H., C.M. Choi, J.S. Lee, S.G. Yun, J.T. Lee, K.R. Cho, S.J. Lim, S.C. Choi, G.J. Lee, Y.S. Kwon, K.C. Kyung, M.J. Uhm, H.K. Kim, Y.S. Lee, C.Y. Kim, S.T. Lee, and J.S. Ryu. 2008. Characteristics of groundwater quality for agricultural irrigation in plastic film house using multivariate analysis. *Korean J. Environ. Agric.* 27:1-9.
- Kim, M.K., S.I. Kwon, G.B. Jung, S.C. Hong, M.J. Chae, S.G. Yun, and K.H. So. 2013. Small-scale pond effects on reducing pollutants load from a paddy field. *Korean J. Environ. Agric.* 32:347-350.
- Knox, E.D. and W. Moody. 1991. Influence of hydrology, soil properties and agricultural land use on nitrogen in groundwater. In managing nitrogen for groundwater quality and farm profitability. *Soil Sci. Soc. Am.* pp.19-57.
- Ko, J.Y., J.S. Lee, M.T. Kim, C.S. Kim, U.G. Kang, and H.W. Kang. 2005. Effects of farming practice and NO₃-N contents of groundwater with different locations under intensive greenhouse area. *Korean J. Environ. Agric.* 24: 261-269.
- Lee, Y.H., S.T. Lee, S.D. Lee, and Y.B. Kim. 2005. Chemical characteristics of soil and groundwater in plastic film house fields under fertigation system. *Korean J. Environ. Agric.* 24:326-333.
- Ministry of Environment. 2011. Standard methods of water sampling and analysis, Ministry of Environment, Incheon, Korea.
- National Institute of Environmental Research. 2013. A study on long-term water quality assessment (I). NIER-RP2013-297. Ministry of Environment, Incheon, Korea.
- OECD. 2001. Environmental Indicators for Agriculture, Volume 3: Methods and Results. OECD Publishing.
- OECD. 2006. Environmental Indicators for Agriculture, Volume 4: Draft Report Chapter 6. OECD Publishing.
- OECD. 2008. Environmental Performance of Agriculture in OECD countries since 1990. OECD Publishing.
- OECD. 2013. OECD Compendium of Agri-environmental Indicators. OECD Publishing.
- Rural Research Institute. 2004. A study on the effects of pollution of agricultural water on rice culture. Korea Rural Community Corporation.
- 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.
- Toda, M. 1969. Excess nitrogen and crop damage, Agriculture and Pollution, Conservation of water quality in agricultural water, Earth Press. pp.173-214. (In Japanese).
- USDA, Salinity Staff. 1953. Saline and Alkaline Soils. USDA HB60. pp.160.