

## Establishment of Best Management Indicator for Sustainable Agricultural Water Quality using Delphi Survey Method

Min-Kyeong Kim, Goo-Bok Jung, Seong-Chang Hong, Myung-Hyun Kim, Soon-Kun Choi,  
Soon-Ik Kwon<sup>1\*</sup>, and Kyu-Ho So

*Climate Change and Agroecology Division, National Academy of Agricultural Science, RDA, Wanju, 55365, Korea*

<sup>1</sup>*National Agrobiodiversity Center, National Academy of Agricultural Science, Jeonju, 54874, Korea*

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

**Indicators of environmental conditions describe the state of the environment and the quantity and quality of natural resources. This study deduced the evaluation items to assess each sub-indicator for agricultural water quality and conducted the surveying using the Delphi method based on agricultural water quality experts. Considering its importance, environmental, state, and management indicators showed that state indicator such as COD concentration for surface water and NO<sub>3</sub>-N concentration for groundwater was ranked as first and followed by amount of fertilizer. Its indicators were correlated with state and environmental indicators in surface water and groundwater. The best management indicators were calculated to assess the agricultural surface water and ground water quality. The indicator could be used in established policies for management and conservation of water resources.**

**Key words:** Agricultural water, Delphi survey method, Groundwater, Surface water, Water quality

### Result of Delphi method on each sub-indicator of surface water and groundwater.

Surface water			Groundwater		
Rank	Sub-indicator	Ave.±SD	Rank	Sub-indicator	Ave.±SD
1	Water quality (COD)	75 ± 22	1	Water quality (NO <sub>3</sub> -N)	71 ± 13
2	Amount of fertilizer	73 ± 24	2	Amount of fertilizer	70 ± 21
3	Level of collaboration among the branches of the government	72 ± 13	3	Soil chemistry	68 ± 21
4	Rainfall	67 ± 23	4	Land-use type	65 ± 21
5	Soil chemistry	67 ± 22	5	Rainfall	60 ± 20
6	Excess rate of water quality standard	63 ± 19	6	Ratio of environmentally-friendly farming	45 ± 25
7	Land-use type	60 ± 23	7	Ratio of environmentally-friendly farmer	44 ± 24

\*Corresponding author : Phone: +82632384850, Fax: +82632384859, E-mail: sikwon@korea.kr

§Acknowledgement : This study was carried out with the support of "Research Program for Agricultural Science & Technology Development (Project No. PJ010890)", National Academy of Agricultural Science, Rural Development Administration, Republic of Korea.

## Introduction

국가단위 혹은 지역단위에서 농업 및 환경정책의 영향을 평가하기 위해서는 농업환경지표를 설정하고 활용해야 한다 (Kim et al., 2008). 이를 위해서는 우선적으로 농업환경 상태를 진단할 수 있는 과학적이고 논리적인 농업환경지표 설정이 필요한데 이를 위해서는 농업환경자원의 DB 구축 및 관리기술 개발이 절실하다 (Kim et al., 2011). 우리나라는 1999년부터 농업환경자원의 최적관리를 통하여 지속 가능한 친환경 농업을 육성하고 있으며 최근에는 농림축산식품부의 제3차 친환경농업육성 5개년 ('11~'15) 계획에서 농업환경자원의 모니터링, DB화 및 다양한 농업환경지표 개발이 핵심 사업으로 구성되고 있다.

미국과 유럽을 중심으로 국가 정책목표 차원에서 농업환경지표를 활용하여 정책 및 사회경제적 요구에 대응하고 있다. 특히 OECD는 1996년부터 논의되어온 농업환경지표의 개발과 과제를 제시하였고 지표개발 이후의 후속과제에 대한 심층적인 논의가 이루어지고 있다 (OECD 2008). 따라서 국내 농업여건에 적합한 농업환경지표 개발 및 관리기술의 요구도 증가하고 있는 실정이다. 이에 농업과 관련된 자연 자원 및 환경문제를 해결하고 정책 및 사업 개발에 유용하게 활용될 수 있도록 농업 생태계를 구성하고 있는 환경요소 가운데 현실을 가장 잘 설명해 줄 수 있는 지표 개발이 필요하다. 이렇게 설정된 환경지표는 정책과 연계한 관리대책이 마련되어야 국가별 또는 지역별 농업환경상태를 평가하고 이에 적절한 농업환경 대책을 마련할 수 있다 (Kim, 2002).

델파이 방법은 통제된 피드백이 제공되는 설문조사를 통하여 어떤 분야에 전문가들의 합의를 이루는데 유용한 의사결정 수단으로 집단으로 하여금 개별적 차원이 아닌 전체적 차원에서 복잡한 문제에 효율적으로 대응하도록 하는 기법이다 (Lee, 2001). 미래에 실현될 주요 기술의 실현시기, 중요도 등에 대하여 다수 전문가의 직관을 수립하는 기술예측의 한 방법으로 선진국은 물론 국내에서도 과학기술 예측조사를 위해 유용하게 활용되고 있는 방법이다. 이 방법은 조사결과를 응답자에게 제시하여 수정 응답할 기회를 부여함으로써 다수 전문가의 의견을 수립할 수 있고 익명성의 보장으로 자신의 의견 및 주장을 자유롭게 개진할 수 있도록 유도하여 다양한 정보를 교환할 수 있는 장점이 있다 (Kim et al., 2012).

따라서 본 연구에서는 농업용수 수질의 효율적인 관리를 위하여 농업용 하천수와 지하수의 최적관리지표를 선정하고 이를 평가항목으로 하여 국내 농업용수 수질 전문가를 대상으로 델파이 설문 조사를 실시하였다.

**Table 1. Constitution of expert panel surveyed for expert focus group analysis.**

Organization of expert panel	No. of expert
Research institute	15
University	5
Total	20

\* Each expert belongs to research institute or university

## Materials and Methods

본 연구는 Table 1와 같이 델파이 조사를 위한 전문성 확보를 위해 농업용수 수질 연구를 최소 5년 이상 수행한 경험이 있는 교수와 연구기관에 소속된 전문가 20명을 전문가 패널로 선정하였다

본 연구에서는 10점 리커트척도의 폐쇄성 설문을 이용한 수정 델파이 (Modified Delphi Technique) 방법이 사용되었으며 설문 결과의 분석은 엑셀 프로그램을 이용하였다. 수정 델파이는 다양한 자료를 통해 예비 항목을 선정하여 첫 번째 단계부터 이를 제시하는 폐쇄형 전문으로 시작되며 이 방법은 초기단계의 응답율을 높이고 선행연구를 통해 기초를 다질 수 있게 한다. 또한 익명성으로 인한 그룹 반응의 편향을 줄이고 참가자들에게 통제된 피드백을 제공하는 장점을 가진다 (Custer et al., 1999).

농업용수 지표간의 연관성 분석을 위해 환경지표 자료로 농경지 면적, 비료 사용량, 강수량, 토양 화학성 등의 자료를 이용하였고, 상태지표 자료로는 농업용 하천수와 지하수의 수질 자료를 이용하였다. 조사대상은 2012년도 농업환경 변동조사사업 보고서 (RDA, 2013)의 농업용수 수질 변동평가 연구의 조사지점에 기반하였는데, 하천수 144 지점과 지하수 96 지점을 대상으로 하였다. 농경지 면적은 농림통계 연보의 시군별 자료, 비료 사용량은 농협이 비료 판매실적 자료, 강수량은 기상청 국가기후데이터센터의 강수량 자료, 그리고 토양 화학성은 2012년도 일반농경지 토양화학성 변동평가 자료를 이용하였다. 또한 농업용수 수질자료는 농업용수 수질 변동평가 자료를 이용하였다.

## Results and Discussion

최근 농업용수 수질 측정기술에 대한 개선을 통해 농업 활동에 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 수질에 영향을 미칠 수 있는 지표를 환경지표, 상태지표, 반응지표로 설정하여 각 지표별 수질환경에 영향을 줄 수 있는 요인들을 이와 관련된 선행 자료들 (Kim, 1988; Kim et al., 2008, Knox and Moody, 1991;

**Table 2. Best management indicators for quality control of surface water and groundwater in agriculture.**

Properties	Indicator	Indicator item	List of indicator item
Surface water	Environment	Land-use type	Total area, Agricultural field
		Rainfall	Monthly rainfall, Normal annual rainfall
		Amount of fertilizer used	Chemical fertilizer, Compound fertilizer
	State	Soil chemistry	Soil organic matter, Phosphorous content
		Water quality	pH, EC, T-P, Cations, etc.
	Management	Excess rate of water quality standard	No. of standard item, No. of standard excess item
		Level of collaboration among the branches of the government	Water quality control, Nonpoint source pollution, Policies of total maximum nutrient loading
Ground water	Environment	Well depth	Rockiness, Shallow
		Land-use type	Total area of agricultural field, Area of land use
		Amount of fertilizer used	Amount of chemical fertilizer, Ratio of compound fertilizer
	State	Soil chemistry	Organic matter content, Phosphorous content
		Water quality	pH, EC, T-P, Cl <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , etc.
	Management	Excess rate of water quality standard	No. of standard item, No. of standard excess item
		Level of collaboration among the branches of the government	Water quality control, Nonpoint source pollution, Policies of total maximum nutrient loading

Ko et al., 2005; Lee et al., 2005; NIER, 2013)을 분석하여 세부지표로 설정하였다 (Table 2).

농업용수 수질의 환경지표는 농업에서 수질 상태지표의 변화를 일으키는 원인이 되는 지표로 농업용수 수질 악화를 가져오는 여러 요인들을 세부지표로 선정하였다. 이 지표에는 농경지 이용형태, 비료 사용량, 토양의 화학성, 강수량이나 관정 깊이와 같은 환경정보가 포함된다. 상태지표는 현재의 농업용수 수질을 가장 잘 표현할 수 있는 지표로 수질의 상태를 표현할 수 있는 항목들을 세부지표로 선정하였다. 이 지표에는 수질상태 및 수질기준 초과율이 포함된다. 관리지표는 농업용수 수질의 건전성을 위하여 상태지표에 따라 필요한 기술 투입 및 정책을 시행하는 지표로 농업에 의한 실제적 수질변화나 시장선호에 대한 사회와 정책 결정자의 반응을 세부지표로 선정하였다. 이 지표에는 부처간 협력 수준이 포함된다.

본 연구는 현재까지 진행된 수질환경 영향에 대한 정량적 및 정성적 평가 지표에 대한 현황을 파악하고 관련 자료를 확보하고자 농업용수 수질 전문가 집단을 중심으로 델파이 조사를 하여 보다 전문적이고 객관적인 결과를 도출하고자 하였다.

전문가 델파이 조사는 농업용 하천수와 지하수로 나누어 Table 1에서 설정된 3개의 지표별 각각의 세부지표에 대한 상대적 평가로 이루어졌다. 농업용 하천수와 지하수 수질에 대한 환경지표, 상태지표 및 관리지표의 가중치는 상대적 중요도에 따라 1에서 5까지 부여하였는데 상태지표 (4) = 환경지표 (4) > 관리지표 (3) 순이었다.

농업용수 수질지표에 대한 전문가 조사는 전문가별로 13

개 세부 평가지표별로 부여한 상태적 점수에다 3개의 지표에 대한 가중치를 반영하여 총 점수로 산정하였다 (Table 3). 그 결과 하천수 수질의 평가지표는 수질상태 (COD) > 비료사용량 > 부처간 협력수준 등의 순이었으며, 지하수 수질 평가지표는 수질상태 (NO<sub>3</sub>-N) > 비료사용량 > 토양 화학성 등의 순이었다. 또한 각 전문가별 조사 결과는 p-값 (p=0.785)의 5% 이상으로 유의한 차이가 인정되지 않아 전문가별로 차이가 없었다.

또한, 농업용수 수질관리에 적합한 지표간의 연관성을 분석하고자 하천수와 지하수별로 전문가 델파이 조사 결과에서 순위가 높은 상태지표와 환경지표 간의 상관관계를 분석하였다 (Table 4). 농업용 하천수의 상태지표와 환경지표와의 상관관계를 보면, COD<sub>Mn</sub>은 토양 유기물 함량이나 농경지 면적과 유의성 높은 상관이 있었고 pH는 강수량 그리고 T-P는 강수량과 토양 유기물 함량이 유의성이 있는 상관이 있었다. 농업용 지하수의 상태지표와 환경지표와의 상관관계를 보면, NO<sub>3</sub>-N은 비료 사용량과 유의성이 높은 상관이 있었고 농경지 면적과도 유의성 있는 상관이 있었다. EC와 Cl<sup>-</sup>도 비료 사용량과 유의성 있는 상관이 있었다. 따라서 농업용 하천수와 지하수에 대해 유의성이 있는 상관관계를 가진 환경지표를 잘 관리하면 수질의 상태지표도 좋아질 것으로 생각된다.

이와 같이 제시되는 수질지표를 이용하여 체계적인 농업 환경정책 수립과 평가를 위해서는 정책과 연계된 관리대책이 마련되어야 국가단위 및 지역단위로 농업환경상태를 평가하고 이에 적절한 농업환경 대책을 마련할 수 있을 것이다. 이를 위해서는 관련 분야 정책 담당자의 지표의 개념과

**Table 3. Result of Delphi method on each sub-indicator of surface water and groundwater.**

Surface water			Groundwater		
Rank	Sub-indicator	Ave.±SD	Rank	Sub-indicator	Ave.±SD
1	Water quality (COD)	75 ± 22	1	Water quality (NO <sub>3</sub> -N)	71 ± 13
2	Amount of fertilizer	73 ± 24	2	Amount of fertilizer	70 ± 21
3	Level of collaboration among the branches of the government	72 ± 13	3	Soil chemistry	68 ± 21
4	Rainfall	67 ± 23	4	Land-use type	65 ± 21
5	Soil chemistry	67 ± 22	5	Rainfall	60 ± 20
6	Excess rate of water quality standard	63 ± 19	6	Ratio of environmentally-friendly farming	45 ± 25
7	Land-use type	60 ± 23	7	Ratio of environmentally-friendly farmer	44 ± 24
8	Ratio of environmentally-friendly farming	46 ± 24	8	Level of collaboration among the branches of the government	38 ± 22
9	Ratio of environmentally-friendly farmer	38 ± 23	9	Excess rate of water quality standard	37 ± 16
10	Ratio of policy reflection for field problem	33 ± 23	10	Ratio of policy reflection for field problem	31 ± 21
11	Implemental level of environmentally-friendly agricultural policy	27 ± 19	11	Level of investment for water supply	27 ± 21
12	Level of investment for water supply	26 ± 19	12	Financial independence rate	25 ± 21
13	Financial independence rate	24 ± 18	13	Implemental level of environmentally-friendly agricultural policy	24 ± 16

**Table 4. Quality use and environmental indicators of agricultural water and their correlation.**

		Environmental indicator				
			Fertilizer amount	Rainfall	Organic matter in soil	Area of agricultural field
Surface Water	State indicator	COD <sub>Mn</sub>	0.269*	NS	0.445**	0.494**
		pH	NS	0.412*	NS	NS
		T-P	NS	0.416*	0.442*	NS
Ground water	State indicator	NO <sub>3</sub> -N	0.424**	NS	NS	0.294*
		EC	0.317*	NS	NS	0.194*
		Cl	0.279*	NS	NS	NS

\*, \*\*, \*\*\* indicate statistical significance when P-value were less than 0.05, 0.01, 0.001 respectively, NS : Not significant

활용에 대한 적극적인 이해와 적절한 교육 프로그램이 마련되어야 한다.

## References

- Custer, R.I., B.R. Scarcella, and B.R. Stewart. 1999. The modified Delphi technique - A rotational modification. *JVTE*. 15:50-58.
- Kim, B.Y. 1988. Water pollution and agriculture. *Korean J. Environ. Agric.* 7:153-169.
- Kim, C.G., H.J. Joo, T.Y. Kim, and S.G. Lee. 2008. Analysis and evaluation of policy linkage using agricultural environmental indicators, C2008-57, Policy Report, Korean Rural Economy Institute.
- Kim, C.G., H.K. Jeong, Y.H. Kim, T.H. Kim, and D.H. Moon. 2011. Establishment of system for managing agri-environmental resources using agri-environmental indicators, C2011-28, Policy Report, Korean Rural Economy Institute.
- Kim, E.J., C.H. Lee, C.S. Lim, J.A. Choi, and S.W. Lee. 2012. A study on the development of planning technique in low carbon rural village by using Delphi method. *J. Korean Soc. Rural Planning*. 18:29-45.
- 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, S.S. 2002. Indicators for agricultural landscapes and policy implications: A Korean Perspective in Agricultural Landscape Indicators. Proceedings of the NIJOS/OECD Export Meeting, Oslo, Norway. October 7-9.

- 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 NO<sub>3</sub>-N contents of groundwater with different locations under intensive greenhouse area. Korean J. Environ. Agric. 24: 261-269.
- Lee, J.S. 2001. Delphi Method. Kyoyookbook press, Gyeonggi, Korea.
- 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.
- National Institute of Environmental Research. 2013. A study on long-term water quality assessment (I). NIER-RP2013-297. Ministry of Environment, Incheon, Korea.
- OECD. 2008. Environmental Performance of Agriculture in OECD countries since 1990.
- RDA (Rural Development Administration). 2013. The Monitoring Project on Agro-Environmental Quality. Annual Report 2012.