

판별분석을 통한 농촌유역 소하천의 수질등급모형(WQLM) 개발 및 적용

김진호* · 최철만 · 류종수 · 정구복 · 신중두 · 한국현 · 이정택 · 권순국*

농촌진흥청 농업과학기술원 환경생태과

*서울대학교 조경·지역시스템공학부

Development and Application of Water Quality Level Model (WQLM) for the Small Streams of Rural Watersheds with Discriminant Analysis

Jin-Ho Kim[†] · Chul-Mann Choi · Jong-Soo Ryu · Goo-Bok Jung · Joung-Du Shin ·
Kuk-Heon Han · Jung-Taek Lee · Soon-Kuk Kwun^{*}

Division of Environment and Ecology, National Institute of Agricultural Science & Technology, Rural Development Administration

*Department of Landscape Architecture and Rural System Engineering, Seoul National University

(Received 25 January 2007, Accepted 28 February 2007)

Abstract

This study was carried out to complement water quality standards and to establish new concept for water quality standards reflecting current state of water quality in small streams. By this purpose, discriminant analysis was performed and Water Quality Level Model (WQLM) was developed using the data such as EC, BOD, COD_{Mn}, SS, T-N, T-P, NH₃-N in 224 agricultural streams. To give water quality level for water quality parameters, it divided into 20% respectively in the order of excellent water quality. On the basis of the lowest water quality level, water quality level of small streams is granted. As a result of it, number of stream corresponding to Level I was no, Level II was 2 streams, Level III was 22 streams, Level IV was 70 streams, and Level V was 130 streams. Average of water quality in each level was the highest in Level V. EC, SS, and T-N of 7 parameters were selected in variance concerned water quality level. By standardized canonical discriminant function coefficient, EC of three variances was the highest in 0.625 at the discriminant power. The next was T-N (0.509), SS (0.414). By discriminant function for water quality level, Level II was equal to $-2.973 + 19.376 \times (EC) + 0.647 \times (T-N) + 0.009 \times (SS)$, Level III was equal to $-3.288 + 19.190 \times (EC) + 0.733 \times (T-N) + 0.041 \times (SS)$, Level IV was equal to $-4.462 + 27.097 \times (EC) + 0.792 \times (T-N) + 0.053 \times (SS)$, and Level V was equal to $-9.117 + 40.040 \times (EC) + 1.305 \times (T-N) + 0.111 \times (SS)$. As a result of test at real agricultural watershed of Jeongan and Euidang in Gongju city, the fitness of WQLM was high to 88.78%. But, to get accomplished water quality assessment more exactly in agricultural streams, we had to concentrate and get vast data, and WQLM was modified and complemented continually.

keywords : Discriminant analysis, Multivariate analysis, Rural watershed, Stream, Water Quality Level Model (WQLM)

1. 서론

농촌유역에서의 수질오염은 농경지 배수와 같은 비점원 오염들에 의해 증가되고 있고, 이들이 소하천으로 유입될 경우 하천의 부영양화 등 심각한 문제로 대두된다(Park et al., 1997; Chung et al., 1998; Liding et al., 2000; Peterson et al., 2001; 박 등, 2005). 이에 비점원오염에 의한 수계로의 유출부하 특성 및 부하량 산정에 관한 많은 연구가 진행되고 있다(엄 등, 2000; 최 등, 2003; 이 등, 2004; 고 등, 2006; 오 등, 2006; 신 등, 2006). 그러나 농촌유역 오염부하량은 지천을 통한 오염부하, 하천의 수리·수문학적 특성, 퇴적물의 오염상태, 유역의 기후, 기상, 지질 등 자연환경의 복합적인 상호작용과 인위적 환경 등에 의해 다양

하게 변화하기 때문에, 비점원오염의 정확한 변동 특성을 파악하거나 평가하기에는 많은 어려움이 따른다(김, 2002). 이러한 농촌유역에서 발생하는 수질오염의 원인과 현황을 정량적으로 구명하고 수질오염을 저감하기 위한 최적관리 방안을 마련하기 위해서는 대상유역에 대한 광범위한 수문·수질 모니터링이 필요하다(류, 2004). 이에 농촌진흥청 농업과학기술원에서는 국책사업으로 전국의 농업용 지표수(소하천)를 대상으로 현재까지 농업용수 수질을 격년으로 모니터링해 오고 있다(농업과학기술원, 2001, 2003, 2005). 그러나 축적된 자료는 단지 기술적 통계에만 그치고 있어 활용에는 많은 한계가 있다. 반면, 이러한 복잡적이고 다양한 수질 특성을 정확히 파악하기 위한 방법으로 인자분석, 군집분석, 판별분석, 회귀분석 등의 다변량 분석법이 널리 쓰이고 있다(박 등, 1988; 임, 1999; 최 등, 2002; Oh et al., 2004). 그 중 판별분석(Discriminant analysis)은 정해진 2개 이상의 그룹을 가장 잘 판별하는 조합을 찾음으로써

[†] To whom correspondence should be addressed.

water@rda.go.kr

분류 및 예측을 하는데 이용되는 다변량 분석법이다(이 등, 1998; 박 등, 2005). 따라서 본 연구는 우리나라 농촌유역 소하천의 수질 상태를 파악한 후 이를 바탕으로 다변량 분석법 중 하나인 판별분석을 실시하여, 우리나라 소하천의 수질 상태에 맞는 수질등급모형을 개발하고자 하였다. 또한 모형의 적합성을 통하여 향후 농촌유역 소하천에서의 활용 가능성에 대해서도 알아보하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 판별분석의 개요

다변량 통계기법 중의 하나인 판별분석은 범주형의 집단 변수(종속변수)를 설명해 줄 수 있는 등간척도나 비유척도의 판별변수(독립변수)들을 찾아 이들의 선형결합에 의해 판별함수를 도출하고 분류하고자 하는 각 대상의 특성을 대입하여 각 대상들이 속하는 집단을 찾아내는 방법이다(정 등, 1999). 도출된 판별함수는 두 개 이상의 자연상태 그룹을 구별하기 위해 이용되는데, 어떤 독립변수가 판별에 도움이 되는지, 각 자료들이 어떤 집단으로 분류되는지, 어떠한 결과가 일어날 지, 일어나지 않을 지를 예측하는데 이용 가능하다. 따라서 이러한 판별함수를 이용하게 되면 측정된 수질 값이 어떤 등급의 수질기준에 속하게 되는지 알 수 있어 수질평가에 이용 가능하고, 측정된 여러 가지 수질 자료로서 미래에 담수에서의 부영양화 발생이나 적조가 발생할 지의 예측이 판별 가능하다.

2.2. 판별분석에 이용된 자료

본 연구에서 사용된 판별분석을 위한 농촌유역의 수질 자료는 2001~2005년 동안 농촌진흥청에서 수행한 국책과제인 농업환경변동조사사업(농업과학기술원, 2001, 2003, 2005)의 수질조사 결과를 이용하였다. 판별분석에 사용된 자료는 전국의 농촌유역 224개 소하천을 대상으로 하였으며, 일반적으로 농업용수 수질평가지 이용되는 항목들인 EC, BOD, COD_{Mn}, SS, T-N, T-P, NH₃-N의 7개 항목을 이용하였다.

2.3. 수질등급모형 개발을 위한 판별분석 방법

우리나라 농촌유역 소하천의 현재 수질상태를 고려하여 실제적으로 반영하는 하천 수질평가 방법인 수질등급모형 개발을 위하여, 농촌유역 소하천 224지점의 수질분석 결과를 토대로 각 수질 항목별로 상위 20%씩 나누어 Level I ~ Level V 까지 구분하여 각 수질항목별 수질등급을 부여하였다. 이때 농촌유역 소하천의 수질등급은 각 수질항목에서 최저 수준으로 부여된 수준을 기준으로 하여 각각 부여하였다. 입력 변수들의 경우, 종속변수(집단변수)로는 20%씩 나누어 부여한 Level I ~ Level V, 독립변수로는 분석에 이용된 수질항목을 입력하였으며, 독립변수들의 변수 선택방법으로는 모든 가능한 변수를 선택하는 방법(All possible selection), 후진제거법(Backward deletion), 전진선택법(Foreward selection), 단계적 선택법(Stepwise selection)

등이 있는데 변수 등록 및 제거가 한꺼번에 이루어지지 않고 각 단계별로 분석되어지는 단계적 선택법을 이용하여 판별함수인 수질등급모형을 개발하였다. 독립변수의 수가 많으면 독립변수들끼리 높은 상관성을 보이며 영향을 미치는 다중공선성(Multicollinearity)의 문제를 유발시킬 가능성이 많으므로 불필요한 변수는 모형에서 선택하지 않는 것이 좋다. 따라서 독립변수를 단계별로 유의도에 따라 진입하거나 제거시키는 방법으로, 새로운 변수가 추가되면서 이미 선택된 변수가 중요성을 상실하여 제거될 수 있는지를 단계별로 검토하며 선택하는 방법으로 최적방정식을 찾는 가장 많이 이용되는 단계적 선택법을 이용하였다. 다시말해서, 이 단계적 선택법은 각 변수의 기여도를 수정 평균(adjusted mean)의 그룹간 차이로 보고 이에 대한 통계적 유의성(p값)을 평가하여 변수의 진입과 퇴출을 결정하는데 이미 진입한 변수들을 같은 수준으로 놓았을 때 고려 변수의 그룹 평균간 차이가 얼마나 되는가를 평가하여 변수의 선택여부를 결정한다. p값에 대한 디폴트 기준은 $\alpha=15\%$ 이며 일정 수준의 p값을 가진 변수가 더 이상 없을 때까지 변수 선택을 계속하되, 일단 선택된 변수라도 p값이 일정 수준이 되지 못하면 제거한다(정 등, 1999).

판별함수는 두 개 또는 그 이상의 자연상태 그룹을 구별하기 위해 어떤 변수가 도움을 주고 있는가를 결정하기 위하여 사용되어지므로 구해진 판별함수인 수질등급모형에 임의의 농촌유역 소하천에 있어서의 수질 값을 각각의 판별함수에 대입하여 가장 높은 값이 해당 수질등급이 된다.

2.4. 수질등급모형의 적합도 판정

2.4.1. 대상유역

판별분석을 통해 개발된 수질등급모형을 농촌진흥청 농업과학기술원에서 수행중인 농업비점오염물질 유출특성연구의 대상유역인 공주시 정안면과 의당면을 대상으로 하여 그 적합도를 판정하고자 했다(Fig. 1).

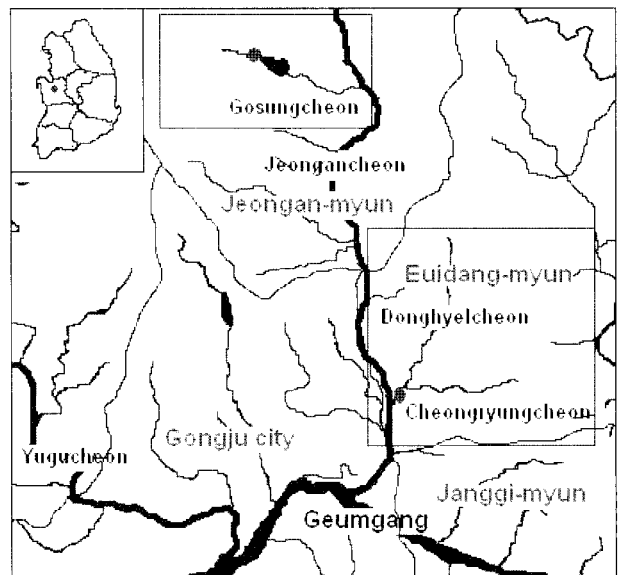


Fig. 1. A map showing the application areas of WQLM.

대상유역내 소유역별 수질특성을 각 수질항목의 평균농도로 파악해보면, 정안면의 경우 2005년과 2006년의 BOD가 2.02 mg/L 및 2.81 mg/L로, COD_{Mn}는 5.88 mg/L와 5.96 mg/L로, T-N은 3.26 mg/L와 2.79 mg/L로, T-P는 0.138 mg/L와 0.084mg/L로, SS는 48.73 mg/L와 34.11 mg/L로 조사되었다. 또한 의당면의 2006년의 수질항목별 평균농도는 BOD가 3.74 mg/L, COD_{Mn}는 9.41 mg/L, T-N은 2.96 mg/L, T-P는 0.203 mg/L, SS는 324.13 mg/L로 조사되었는데, 대다수 수질항목에서 의당면의 수질이 정안면보다 높은 것으로 나타났다.

2.4.2. 적합도 판정방법

개발된 수질등급모형의 적합도를 판정하기 위하여 적용지역의 말단부분을 중심으로 2005년 5월부터 2006년 11월 까지 매 2주마다 수질 측정을 실시하여 얻은 수질 자료 중 수질등급모형에 이용된 수질항목만으로 실제 수질에 의한 등급과 수질등급모형에 의한 수질 등급을 비교하여 적합도를 판정하였다. 수질등급모형에 의한 수질등급 적합도는 모형과 실제 하천에서의 수질등급이 정확하게 일치하는 것을 100%로 하여 한 등급(Level)이 차이가 날 때마다 20%씩 감소시켜 적용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 판별분석에 이용된 자료의 기초통계량

농촌유역 소하천의 현재 수질상태를 반영하는 하천 수질 평가를 위한 수질등급모형 개발을 목적으로 하였기 때문에 농촌유역 소하천 224지점의 수질등급 부여를 우선적으로 하였다. 소하천 224지점의 수질분석 결과에서 7개의 각 수질 항목별로 상위 20%씩 나누어 수질등급(I ~ V)을 부여하고, 각 수질 항목별 수질등급 중 가장 낮은 수질등급을 기준으로 해당 하천의 수질등급으로 부여하였다. 따라서 7개의 수질 항목 모두 Level I에 해당하여 하천 수질등급 Level I으로 조사된 하천은 없었고, Level II인 하천은 2

지점, Level III인 하천은 22지점, Level IV인 하천은 70지점, Level V인 하천은 130지점으로 등급이 낮은 Level V로 갈수록 많은 하천들이 속하는 경향을 보였다. 본 연구에 이용된 자료의 기초 통계량을 보면, 각 Level별 수질 항목에 대한 평균값도 Level V의 모든 항목에서 가장 높은 경향임을 알 수 있다(Table 2).

3.2. 집단평균의 동질성에 대한 검정

집단 간의 차이가 있는 변수들만이 판별분석에 이용되는데, 이를 위하여 집단 평균의 동질성에 대한 검정을 실시하였다. Wilks lambda가 1이면 관측된 집단의 평균이 동일하다는 것을 의미하고 0에 가까우면 집단 내의 분산이 총 분산에 비해 적기 때문에 집단평균 간에 차이가 있다는 것을 나타낸다. 따라서 F값이 크면 집단 간의 분산이 크다는 것을 의미하고 유의확률이 0.05보다 크면 집단 간에 차이가 없는 것으로 간주된다(정 등, 1999). NH₃-N의 경우는 Wilks lambda가 0.968로 1에 가깝고 유의확률도 0.065로서 0.05보다 크며 F값도 2.438로 작았으므로 집단 간에 차이가 없었고 판별분석에서는 제외된 변수였다(Table 3).

Table 3. Test of identification about average of group

Parameters	Wilks lambda	F	Significance
EC	0.725	27.827	0.000
BOD	0.869	11.036	0.000
COD _{Mn}	0.776	21.221	0.000
SS	0.787	19.842	0.000
T-N	0.868	11.168	0.000
T-P	0.855	12.456	0.000
NH ₃ -N	0.968	2.438	0.065

3.3. 정준 상관관계

판별점수와 집단들 간의 관련 정도를 알기 위해 정준상관관계(Canonical correlation)를 구하였다. 이 정준상관관계의 값이 클수록 판별력이 뛰어나다는 것을 의미하며 Wilks

Table 1. Water quality characteristics for application areas of WQLM

Sub-watersheds		BOD	COD _{Mn}	T-N	T-P	SS
Jeongan-myun	2005	2.02	5.88	3.26	0.138	48.73
	2006	2.81	5.59	2.79	0.084	34.11
Euidang-myun	2006	3.74	9.41	2.95	0.203	324.13

Table 2. Statistical data was used in discriminant analysis

WQ Level	Parameters	EC (dS/m)	BOD (mg/L)	COD _{Mn} (mg/L)	SS (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)	NH ₃ -N (mg/L)	No. of stream
II	Average	0.097	1.060	2.135	3.050	1.970	0.034	0.040	2
	S.D.	0.040	0.085	0.134	0.354	0.863	0.021	0.042	
III	Average	0.099	0.951	1.952	6.848	2.209	0.054	0.136	22
	S.D.	0.027	0.335	0.502	2.769	0.566	0.018	0.086	
IV	Average	0.136	1.258	2.782	9.008	2.507	0.063	0.200	70
	S.D.	0.041	0.421	0.799	3.793	0.923	0.029	0.116	
V	Average	0.206	1.940	4.236	17.255	4.071	0.144	0.447	130
	S.D.	0.080	1.258	1.993	13.912	1.942	0.137	0.956	

lambda의 값이 작아질수록 관별력에 대한 공헌도가 높다고 할 수 있다(정 등, 1999). 전체 7개의 수질 항목 중 EC, SS, T-N의 3개 항목이 수질등급에 관여하는 변수로 선택되었다. 또한 3개의 함수 중 함수 1이 P=0.000(Wilks lambda = 0.596, Chi-square = 113.627) 수준에서 유의한 관별함수임을 알 수 있었다(Table 4).

3.4. 관별함수 계수

세 변수 중 관별력이 가장 높은 변수는 EC로서 표준화된 정준 관별함수(Standardized canonical discriminant function coefficient)가 0.625로 가장 높은 관별함수 계수를 보였고, 다음은 T-N (0.509), SS (0.414) 순이었다(Table 5). 이러한 결과는 EC가 농업용수 수질평가에 있어서 아주 중요한 역할을 하고 있다는 것을 간접적으로 암시해 주고 있는데, EC의 경우 현행 우리나라에서는 농업용수의 수질 기준에 EC항목이 없고 수질 평가에 있어서도 고려 대상 수질 항목이 아니지만 국외에서는 각 국의 실정에 맞게 설정되어 운영되고 있다. 일본의 경우, 농업용수(수도용수) 수질기준이 0.3 dS/m이하, 수도의 생육에 있어서도 허용한계농도가 1 dS/m이하로 설정되어 있고, FAO (Food and Agriculture Organization)에서는 3등급으로 구분하여 염농도에 대한 guideline을 제시하고 있다. 따라서 0.7 dS/m이상에서 작물에 대한 영향이 있다고 하는 점을 감안할 때 수질에 대하여 EC가 미치는 영향을 간접적으로 시사해 주고 있다(Ayers et al., 1976; 농업과학기술원, 2006). 또한 관개수나 토양용액 중 염류농도가 높아질 경우, 작물은 농도장해를 크게 받을 수 있기 때문에(Munns et al., 1986; Linghe et al., 2000) 농업용수 수질에 있어서 EC가 수질등급에 관여하는 바는 클 것으로 예상된다.

각 수질등급별 분류함수 계수에 의해 도출된 수질등급모형은 Table 6과 같다. 구축된 각 수질 Level별 관별함수에서 변수 앞의 계수는 관측자료를 그대로 사용하여 얻어진 값(raw coefficients)으로서 이들 계수는 각 변수의 관별함수에 대한 독자적인 공헌도를 나타내는데 계수값이 클수록

Table 6. Models of water quality level derived from classification function coefficient

Level	Model
II	-2.973 - 19.376 × (A) + 0.647 × (B) + 0.009 × (C)
III	-3.288 + 19.190 × (A) + 0.733 × (B) - 0.041 × (C)
IV	-4.462 + 27.097 × (A) + 0.792 × (B) + 0.053 × (C)
V	-9.117 + 40.040 × (A) + 1.305 × (B) + 0.111 × (C)

* Note) A, EC; B, T-N; C, SS

관별에 대한 기여도가 크다고 할 수 있다. 또한 수질등급은 구축된 수질등급모형 각각에 각 하천에서의 수질 항목 값을 입력하여 가장 큰 값을 갖는 Level이 그 하천에서의 수질등급에 해당하게 된다.

3.5. 수질등급모형의 적합도

농촌유역인 공주시 정안면의 고성천 상류 유역과 의당면의 청룡천 상류유역의 소유역 수질 시료 중 41점의 분석 결과를 수질등급모형에 적용한 결과, 평균 적합도는 88.78%로 조사되어 높은 적합도를 보였다. 향후 농촌유역 소하천에서 좀 더 적합도가 높은 정확한 수질 평가가 이루어지기 위해서는 전국의 많은 농촌유역 소하천들에 대한 방대한 자료의 확보 및 축적이 우선시되어야 할 것이고, 강우기의 자료 확보 등 여러 가지 측면에서의 자료 확보도 필요할 것으로 생각된다. 또한 향후 확보된 이 자료들을 바탕으로 수질등급모형을 수정, 보완한다면, 농촌유역 소하천에서의 정확한 수질 평가에도 이바지할 것으로 기대된다 (Table 7).

4. 결론

우리나라의 대표적인 농촌유역 소하천 224지점에 대한 관별분석을 실시하여 현재의 수질 상태를 기초로 한 수질 등급모형을 개발한 결과는 다음과 같다. 수질등급모형을 개발하기 위해 각 수질 항목별로 상위 20%씩 나누어 수질등급을 우선적으로 부여하고, 가장 낮은 수질등급을 기준으로 소하천의 수질등급으로 재부여하였다. 그 결과, Level I에

Table 4. Canonical discriminant function

Function	Eigenvalue	% of variance	Cumulative %	Canonical correlation	Wilks lambda	Chi-square	Significance
1	0.669	99.2	99.2	0.633	0.596	113.627	0.000
2	0.005	0.7	99.9	0.069	0.995	1.137	0.888
3	0.000	0.1	100.0	0.020	1.000	0.091	0.763

Table 5. Discriminant function coefficient of each parameter

Parameter	SCDFC	USCDF	CFC			
			II	III	IV	V
EC	0.625	9.455	19.376	19.190	27.097	40.040
SS	0.414	0.038	0.009	0.041	0.053	0.111
T-N	0.509	0.321	0.647	0.733	0.792	1.305
Constant		-3.230	-2.973	-3.288	-4.462	-9.117

* Note) SCDFC : Standardized Canonical Discriminant Function Coefficient
 USCDF : Unstandardized Canonical Discriminant Function Coefficient
 CFC : Classification Function Coefficient

해당하는 하천은 없었고 Level II는 2지점, Level III는 22 지점, Level IV는 70지점, Level V에 해당하는 하천은 130 지점으로 조사되었으며 등급이 낮은 Level V로 갈수록 많은 하천들이 속하는 경향을 보였다. 집단 간의 차이가 있는 변수들만이 판별분석에 이용되는데, 이를 위하여 집단 평균의 동질성에 대한 검정을 실시한 결과, NH₃-N의 경우는 집단 간에 차이가 없어 판별분석에서 제외시켰다. 판별

력이 뛰어난 변수를 알아보기 위하여 정준 상관관계를 구한 결과 전체 7개의 수질 항목중 EC, SS, T-N의 3개 항목이 수질등급에 관여하는 변수로 선택되었고 그 중 EC는 판별함수계수 0.625로 판별력이 가장 높은 변수였다. 각 수질등급별 분류함수계수에 의해 도출된 수질등급모형은 Level II = $-2.973 + 19.376 \times (EC) + 0.647 \times (T-N) + 0.009 \times (SS)$, Level III = $-3.288 + 19.190 \times (EC) +$

Table 7. Water quality levels by real data to verify the WQLM in this study areas

Sites	Date	Parameters			WQLM by survey	Level				WQLM by model
		EC	T-N	SS		II	III	IV	V	
JA (2005)	05/04	0.221	3.70	3.0	5	3.727	3.785	4.613	4.888	5
	05/17	0.221	2.88	5.0	5	3.217	3.269	4.072	3.645	4
	06/01	0.135	2.22	3.0	2	1.105	1.051	1.111	-0.485	4
	06/14	0.111	3.72	5.0	4	1.630	1.774	1.757	0.737	3
	06/29	0.087	4.01	4.0	4	1.342	1.483	1.282	0.041	3
	07/13	0.082	0.27	5.0	1	-1.166	-1.314	-1.764	-4.930	2
	07/27	0.115	2.45	0.0	2	0.838	0.713	0.592	-1.319	2
	08/10	0.079	2.41	5.0	2	0.161	0.199	-0.148	-2.255	3
	08/20	0.080	2.25	4.0	2	0.069	0.061	-0.299	-2.532	2
	09/07	0.100	2.42	4.0	2	0.569	0.572	0.380	-1.506	3
	09/22	0.061	2.02	10.0	3	-0.395	-0.227	-0.680	-2.930	3
	10/04	0.086	2.43	0.0	2	0.268	0.146	-0.204	-2.497	2
	10/24	0.111	3.79	0.0	4	1.630	1.620	1.547	0.273	5
	11/02	0.086	1.52	4.0	1	-0.285	-0.357	-0.713	-3.241	2
12/02	0.115	2.82	4.0	3	1.114	1.148	1.098	-0.391	3	
JA (2006)	05/02	0.107	2.09	0.0	2	0.451	0.296	0.091	-2.108	2
	05/15	0.102	1.97	10.0	3	0.367	0.523	0.391	-1.353	3
	06/02	0.151	3.81	25.0	5	2.640	3.424	3.968	4.670	5
	06/16	0.109	3.67	15.0	4	1.650	2.110	2.195	1.704	4
	06/28	0.126	2.51	2.5	2	1.115	1.072	1.073	-0.519	2
	07/11	0.086	2.49	4.0	2	0.340	0.352	0.052	-1.980	3
	07/28	0.074	2.19	8.0	2	-0.050	0.065	-0.298	-2.408	3
	08/14	0.111	2.68	5.0	2	0.958	1.013	0.935	-0.618	3
	08/24	0.154	2.96	5.0	3	1.971	2.042	2.320	1.467	4
	09/11	0.120	2.13	5.0	2	0.777	0.783	0.744	-0.974	3
	09/25	0.131	2.33	0.0	2	1.075	0.936	0.935	-0.827	3
	10/12	0.172	2.80	2.5	3	2.191	2.164	2.545	1.695	4
	11/02	0.165	2.67	5.0	3	1.997	2.041	2.389	1.530	4
ED (2006)	05/02	0.168	1.76	5.0	3	1.465	1.430	1.748	0.460	4
	05/15	0.129	3.69	5.0	4	1.959	2.097	2.221	1.419	4
	06/02	0.163	1.74	5.0	3	1.357	1.322	1.599	0.238	4
	06/16	0.194	3.24	10.0	4	2.974	3.221	3.892	3.992	5
	06/28	0.199	1.77	15.0	4	2.165	2.445	3.130	2.830	4
	07/11	0.127	2.36	12.0	3	1.123	1.372	1.485	0.381	4
	07/28	0.104	2.36	40.0	5	0.932	2.081	2.348	2.572	5
	08/14	0.126	1.41	6.7	2	0.442	0.438	0.424	-1.489	2
	08/24	0.151	1.21	7.5	3	0.020	-0.083	0.027	-2.238	4
	09/11	0.138	1.12	7.5	2	-0.232	-0.332	-0.325	-2.759	2
	09/25	0.190	1.40	6.7	4	1.674	1.657	2.148	1.056	4
	10/12	0.260	1.88	10.0	5	3.370	3.488	4.601	4.854	5
	11/02	0.291	1.53	6.7	5	3.715	3.691	4.988	5.271	5

* Note) JA, Jeongan; ED : Euidang

$0.733 \times (T-N) + 0.041 \times (SS)$, Level IV = $-4.462 + 27.097 \times (EC) + 0.792 \times (T-N) + 0.053 \times (SS)$, Level V = $-9.117 + 40.040 \times (EC) + 1.305 \times (T-N) + 0.111 \times (SS)$ 로 구축되었다. 이 수질 등급모형의 적합도를 평가하기 위하여 농촌유역(정안면과 의당면)의 실측값을 이용한 결과, 수질등급모형의 적합도는 88.78%로 조사되어 높은 적합도를 보였다. 따라서 향후 많은 자료의 축적과 함께 현재 개발된 수질등급모형의 수정과 보완이 이루어진다면 농촌유역 소하천에서의 활용성은 더 높을 것이다.

참고문헌

고지연, 이재생, 김춘송, 정기열, 최영대, 윤을수, 박성태, 강항원, 김복진, 수질성분 분포도를 이용한 서낙동강 수계 농업용수 수질 평가, *한국환경농학회지*, **25**(2), pp. 138-146 (2006).

김종구, 통계분석 기법을 이용한 금강수계의 수질평가, *한국환경과학회지*, **11**(12), pp. 1281-1289 (2002).

농업과학기술원, 농업환경변동조사사업, 농촌진흥청, 수원, pp. 1-361 (2001).

농업과학기술원, 농업환경변동조사사업, 농촌진흥청, 수원, pp. 1-368 (2003).

농업과학기술원, 농업환경변동조사사업, 농촌진흥청, 수원, pp. 1-334 (2005).

농업과학기술원, 농업용수수질분석 이론과실무, 농촌진흥청, 수원, pp. 19-22 (2006).

류재근, 수질자동모니터링에 의한 시스템의 설치 현황과 전망, *한국물환경학회지*, **20**(1), pp. 1-11 (2004).

박성천, 오창열, 진영훈, 김동수, 섬진강 유역 농촌지역의 비점오염원 배출특성에 관한 연구, *한국환경과학회지*, **14**(11), pp. 1057-1062 (2005).

박영규, 이철희, 김인환, 다변량분석에 의한 낙동강 수질의 평가, *영남대학교 환경연구소 논문집*, **7**(1), pp. 151-165 (1988).

신용철, 류창원, 최예환, 임경재, 최종대, 농업소하천 유역의 기저유출에 의한 오염부하 특성, *한국물환경학회지*, **22**(2), pp. 244-249 (2006).

엄미정, 최경식, 한수곤, 김갑철, 문영훈, 동진강 수계 농업용수 수질평가, *한국환경농학회지*, **19**(2), pp. 110-115 (2000).

오영주, 강병화, 김병우, 김성필, 한민수, 김진호, 나영은, 토지이용패턴에 따른 하천수질과 식생분포, *한국환경농학*

회지, **25**(1), pp. 34-39 (2006).

이문옥, 백상호, 판별함수에 의한 진해만 적조예측, *한국환경과학회지*, **7**(1), pp. 8-19 (1998).

이종식, 정구복, 김진호, 윤순강, 김원일, 신중두, 만경강 및 동진강 수계의 BOD에 의한 수질 평가, *한국환경농학회지*, **23**(2), pp. 81-84 (2004).

입창수, 금강유역 14개 관측점의 수질자료를 이용한 수질의 다변량 분석, *한국환경과학회지*, **8**(3), pp. 331-336 (1999).

정충영, 최이규, *SPSSWIN을 이용한 통계분석*, 무역경영사, 서울, pp. 359-388 (1999).

최한규, 백효진, 허준영, 다변량 분석법을 이용한 소양강댐 상류 유역의 하천 수질 평가, *강원대학교 산업기술연구소 논문집*, **22**(A), pp. 201-210 (2002).

최형섭, 조인철, 변종환, 문병현, 허종수, 함천호 수질 및 영양 단계에 의한 평가, *한국환경농학회지*, **22**(1), pp. 1-6 (2003).

Ayers, R. S. and Westcot, D. W., *Water quality for agriculture*, FAO Irrigation and Drainage Paper 29, FAO, Rome, pp. 1-97 (1976).

Chung, J. B., Kim, B. J., Kim, J. K. and Kim, M. K., Water quality of streams in some agricultural areas of different agricultural practices along Nakdong river basin, *Kor. J. Environ. Agri.*, **17**, pp. 140-144 (1998).

Liding, C. and Bojic, F., Farm Ecosystem Management and Control of Nonpoint Source Pollution, *Chinese J. Environ. Sci.*, **21**, pp. 98-100 (2000).

Linghe, Z. and Shannon, M. C., Salinity effects on seedling growth and yield components of rice, *Crop science*, **40**(4), pp. 996-1003 (2000).

Mumms, R. and Termaat, A., Whole-plant responses to salinity, *Aust. J. Plant Physiol.*, **13**, pp. 143-160 (1986).

Oh, Y. C., Lee, N. D. and Kim, J. G., The Evaluation of Water Quality in the Mankyung River using Multivariate Analysis, *J. Korean Env. Sci.*, **13**(3), pp. 233-244 (2004).

Park, S. W., Yoo, S. H. and Kang, M. S., Non point source pollution loading from land uses on small watersheds, *J. Kor. Soc. Agri. Eng.*, **39**, pp. 127-135 (1997).

Peterson, J. M. and Boisvert, R. N., Control of Nonpoint Source Pollution through Voluntary Incentive-Based Policies: An Application to Nitrate Contamination in New York, *Agricultural and Resource Economics Review*, **30**, pp. 127-138 (2001).