한국환경농학회지 제26권 제1호 (2007)
Korean Journal of Environmental Agriculture Vol. 26, No. 1, pp. 17-24

연구보문

농촌유역의 수질평가를 위한 다변량분석 기법의 이용

김진호* · 최철만 · 김원일 · 이종식 · 정구복 · 한국헌 · 류종수 · 이정택 · 권순국[1)]

농촌진흥청 농업과학기술원 환경생태과, [1)]서울대학교 조경지역시스템공학부

(2007년 1월 5일 접수, 2007년 3월 15일 수리)

Multi-variate Statistical Analysis for Evaluation of Water Quality Properties in Korean Rural Watershed

Jin-Ho Kim*, Chul-Mann Choi, Won-Il Kim, Jong-Sik, Lee, Goo-Bok Jung, Kuk-Heon Han, Jong-Soo Ryu, Jung-Taek Lee, and Soon-Kuk Kwun[1)] (Div. of Environment and Ecology, National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA, Suwon 441-707, Korea, [1)]Dept. of Landscape Architecture and Rural System Engineering, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea)

ABSTRACT: This study was carried out to classify the streams at rural watersheds by characteristics of water quality. The water quality data of 319 streams at rural watersheds in Korea were selected. Multivariate analysis was used for this purpose. The cases were divided into 5 types, and then factor analysis and cluster analysis were done. The characteristics of water quality of rural watersheds can be showed more than 40% of total water quality by first factor(organic matters and nutrients). The cluster analysis of extracted factors using factor analysis was carried out. The results showed that the Case 1 and Case 2 were classified 4 communities, Case 3 was classified 5 communities and Case 4 and 5 were classified 3 communities. Among 5 types cases, to classified the streams of rural watersheds, Case 4 - 7 water quality items - was selected as a desirable case. Many kinds of statistical analysis can be used to classify the streams of rural watersheds. Our results showed a good example to evaluate the water quality properties in Korean rural watershed.

Key Words: Water quality assessment, Factor analysis, Cluster analysis, Watershed management

서 론

인구 증가와 각종 산업 발달로 인하여 오염물질이 하천으로 유입되고 자정능력의 범위를 넘어서게 되면 하천에서의 수질오염은 점점 증가하게 된다. 최근 우리나라에서는 오염물질 발생원에 대한 농도규제방식에서 유역내 모든 오염원 관리를 할 수 있는 수질오염총량관리제가 도입되게 되었다[1)]. 오염총량관리를 위해서는 점오염원과 비점오염원에 대한 철저한 기초연구가 선행되어야 한다. 농촌에서 발생되는 비점오염물질은 주로 강우에 의해 집중적으로 배출되는 특징을 가지며, 농촌유역에서는 축산폐수, 농경지 배수, 생활하수 등이 비점오염원으로서 출현하여 소하천의 주요 오염원이 되고 있다[2)]. 또한 이들은 현재 우리나라뿐 아니라 세계 각국에서도 아주 심각한 문제로 대두되고 있는 실정이다[3-5)]. 그러므로 이러한 농촌유역에서 발생하는 수질오염의 원인과 현황을 정량적으로 구명하고 수질오염을 저감하기 위한 최적관리방안을 마련하기 위해서는 대상유역에 대한 광범위한 수문·수질 모니터링이 필요한데, 우리나라에서는 농업 비점오염물질에 대한 체계적인 연구조사가 1990년대에 본격적으로 시작되어 현재까지 진행해 오고 있다[6-14)]. 국내에서 농업 비점오염원과 관련된 연구로는 수질변화예측을 위한 비점오염원 모델 적용[6)], 비점오염원 유출 특성[7,8)], 오염부하량 평가[9-11)], 오염원 규명[12)]과 특성[13,14)] 등 많이 연구되어 왔지만 이들은 모두 농촌유역 소하천 자체의 수질 오염에 대해서만 주로 언급했을 뿐 오염원들에 의한 하천의 유형화, 이에 따른 수질평가, 하천의 특

*연락저자:
Tel: +82-31-290-0221 Fax: +82-31-290-0206
E-mail: water@rda.go.kr

성별 관리 방안 모색에 대해서는 현재까지 연구된 바는 없다. 또한, 수역의 수질 평가나 특성 연구를 위해서 주성분 분석 등의 다변량 해석 기법을 현재 국내외적으로 많이 도입하고 있다[15-18].

따라서 본 연구에서도 전국의 농촌유역 소하천을 대상으로 농촌유역 소하천의 수질을 항목별로 분석한 자료를 바탕으로 다변량 분석법 중의 한 방법인 요인(인자)분석을 실시하여 공통요인을 탐색하고 이를 바탕으로 군집분석을 실시하여 농촌유역 소하천을 유형화하고자 하였다. 또한 이 유형화된 하천에 대하여 수질 평가를 실시하여 향후 하천의 특성별 관리 그리고 농업 환경 및 농업 정책에 있어서의 기초자료로서 활용하고자 하였다.

재료 및 방법

수질 자료

본 연구에서 사용된 다변량 분석을 위한 수질 자료는 2001~2005년 동안 농촌진흥청에서 수행한 국책과제인 농업환경변동조사사업[19-21]의 농업용수 수질조사 결과를 이용하였는데, 격년으로 영농활동 전인 4월, 강우기인 7월, 그리고 영농활동 후인 10월에 실시한 수질 분석 자료를 이용하였다. 다변량 분석에 사용된 수질 항목은 일반적인 수질 항목인 pH, EC, DO, BOD, COD_{Mn}, COD_{Cr}, T-N, T-P, SS, 음이온 계열 항목인 NO_3-N, Cl^-, SO_4^{2-}, PO_4-P, 양이온 계열 항목인 NH_3-N, Ca^{2+}, Na^+, K^+, Mg^{2+}으로 모두 18개 항목을 이용하였다.

다변량 분석

수질 측정 자료(총 319 하천)를 이용하여 요인(인자)분석(factor analysis)과 군집분석(cluster analysis)을 통계패키지인 SPSS ver. 12.0에서 실시하였다[22]. 요인분석은 수질에 영향을 주는 여러 항목들 중 수질의 해석에 기여도가 높은 인자들을 효과적으로 추출하기 위하여 5가지 Case로 분리하여 실시하였다. Case 1은 농업용수의 현장측정항목인 EC, pH, DO의 3항목과 유기물 항목인 BOD, COD_{Mn}, COD_{Cr}, SS의 4항목, 영양염류 항목인 T-N, T-P, NH_3-N, NO_3-N, PO_4-P의 5항목, 양이온 항목인 Na^+, K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}의 4항목, 음이온 Cl^-, SO_4^{2-}의 2항목 등 전체 18개 수질항목을 대상으로 하였다. Case 2는 18개 측정항목중 측정값이 역치인, 즉 측정치와 오염도가 반비례하는 경향을 나타내는 DO를 제외한 17개 수질항목을 대상으로 하였고, Case 3은 DO와 항목들간의 단위가 다른 pH, EC(dS/m)를 제외한 15항목을 대상으로 하였다. Case 4는 농업용수를 평가할 때 분석 대상 항목인 EC, BOD, COD_{Mn}, SS, T-N, T-P, NH_3-N의 7개 항목을 대상으로 하였고, Case 5는 수질오염총량관리제에서 일반적으로 이용되는 분석 대상 항목인 BOD, T-N, T-P, SS의 4개 항목을 대상으로 분석하였다(Table 1).

Table 1. Selected water quality parameters of each case used for factor analysis

Case	Analysis parameters	No. of parameters
1	EC, pH, DO, BOD, COD_{Mn}, COD_{Cr}, SS, T-N, T-P, NH_3-N, NO_3-N, PO_4-P, Na^+, K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, Cl^-, SO_4^{2-}	18
2	EC, pH, BOD, COD_{Mn}, COD_{Cr}, SS, T-N, T-P, NH_3-N, NO_3-N, PO_4-P, Na^+, K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, Cl^-, SO_4^{2-}	17
3	BOD, COD_{Mn}, COD_{Cr}, SS, T-N, T-P, NH_3-N, NO_3-N, PO_4-P, Na^+, K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, Cl^-, SO_4^{2-}	15
4	EC, BOD, COD_{Mn}, SS, T-N, T-P, NH_3-N	7
5	BOD, T-N, T-P, SS	4

319×18의 자료행렬을 이용하여 실시하였는데, 우선 모든 변수들에 대하여 상관관계 행렬을 구한 다음 주성분 분석(principal components analysis)을 이용하여 수질 자료를 가장 잘 기술할 수 있는 공통요인(common factor)을 추출하였다. 초기의 요인부하량(factor loading) 행렬을 검토하여 요인의 의미를 해석하기는 어렵기 때문에, 공통인자들 간의 상관관계를 높이고 변수의 의미를 명확히 할 목적으로 인자부하량이 갖는 분산의 제곱이 최대화되도록 인자를 회전시키는 베리맥스(varimax)법을 이용하여 요인들을 직교회전(orthogonal rotation)시켰다[23,24].

군집분석은 요인분석과 마찬가지로 5가지 Case로 구분하여 실시하였다. 군집분석 방법은 Ma[25]와 Rim[26]의 연구에서와 같이 군집 형성에 있어서 일반적으로 이용하는 Ward 방법에 의하였다. 이는 모든 변수들의 군집 평균이 계산되며 군집 평균에 대한 각 케이스의 유클리디안 제곱거리(squared euclidean distance)가 계산되는 방법으로 이들 거리들은 모든 케이스를 합산한 것이다. 분류방법에 사용된 거리의 기준척도는 일반적인 제곱 유클리디안 거리를 이용하였다. 5가지 Case중 가장 바람직한 한 Case만을 대상으로 그 결과를 수형도(tree dendrogram)로 작성하여 하천을 유형화하였고 수질 평가를 실시하였다.

결과 및 고찰

측정된 수질 항목의 기초통계량

농촌지역 소하천(319지점)의 평균 수질중 BOD는 1.8 mg/L로 환경부의 하천수 수질환경기준[27] Ⅰb등급(매우 좋음) 수준이었고 SS는 10.4 mg/L로 Ⅰa등급(좋음) 수준이었으며, 모두 농업용수로 이용가능한 수준이었다(Table 2).

Table 2. Average and standard deviation of water quality parameters in the 319 streams of rural area (Unit: mg/ L)

Water quality parameters	Average	Standard deviation
EC	0.166 (dS/m)	0.078
pH	7.4	0.3
DO	9.0	1.5
BOD	1.8	1.1
COD_{Mn}	3.4	1.7
COD_{Cr}	6.1	3.4
SS	10.4	11.0
TN	3.480	1.760
TP	0.090	0.101
NH_3-N	0.287	0.637
NO_3-N	2.140	1.003
PO_4-P	0.049	0.054
Na^+	10.54	7.49
K^+	2.90	1.99
Ca^{2+}	16.00	13.22
Mg^{2+}	4.13	6.05
Cl^-	10.9	10.7
SO_4^{2-}	12.1	8.4

공통요인

5 Case에 대하여 주성분 요인분석을 실시한 결과 고유값(eigenvalue)이 1이상인 값을 기준으로 요인을 추출한 결과는 Table 3과 같다.

각 Case별로 인자추출의 수를 보면, Case 1과 Case 2는 각각 5개 인자(factor)가 추출되어 전체의 73.0%, 76.2%를 설명할 수 있었고 Case 3은 4개 인자가 추출되어 전체의 72.4%, Case 4와 Case 5는 각각 1개 인자가 추출되어 전체의 52.6%, 51.6%를 설명할 수 있었다.

본 연구에서 추출된 각 Case별 인자의 수는 주성분 즉, 인자의 수를 결정함에 있어 누적기여율이 60~80% 이상이어야 하고 최소 50% 이상은 되어야 한다는 Jung[28]의 연구와 수질을 해석함에 있어 전체로서의 복잡한 해석보다는 이를 보다 단순화시켜 해석한다는 인자분석의 본래 목적과도 부합된다.

Table 3에서 추출된 인자의 수에 대하여 각 Case별 인자에 의해 설명될 수 있는 변수들과 누적기여율(cumulative %)을 Table 4에 나타내었다. Table 4에서 보이는 우리나라 농촌유역 소하천들에 있어서의 대부분 주된 제 1인자(유기물과 영양염류)들은 Table 3에서 보는 바와 같이 각 Case별로 전체 수질의 약 40% 이상을 설명할 수 있었다.

Choi[29]의 안산시 하천 연구에 의하면, 추출된 4개 인자의 고유치가 14.34로 본 연구에서 보다는 조금 높았지만 Choi

Table 3. Eigenvalue and cumulative proportion after rotation of factor in Case 1~5

Case \ Factor		Factor 1	2	3	4	5
Case 1	E*	7.0	2.2	1.5	1.3	1.1
	V**	39.0	12.2	8.5	7.2	6.0
	C***	39.0	51.2	59.7	66.9	73.0
Case 2	E	7.0	2.1	1.5	1.2	1.1
	V	41.2	12.5	9.0	7.2	6.3
	C	41.2	53.7	62.6	69.9	76.2
Case 3	E	6.4	1.9	1.5	1.1	
	V	42.8	12.4	10.2	7.1	
	C	42.8	55.2	65.4	72.4	
Case 4	E	3.7				
	V	52.6				
	C	52.6				
Case 5	E	2.1				
	V	51.6				
	C	51.6				

*E: Eigenvalue. **V: % of Variance. ***C: Cumulative %.

Table 4. Cumulative proportion and factor which are selected by the factor analysis

Case	Factor	Variable	Cumulative (%)
1	1	NH_3-N, BOD, COD_{Mn}, COD_{Cr}, T-P, PO_4-P, K^+	73.0
	2	Cl^-, EC, Na^+, SO_4^{2-}	
	3	NO_3-N, T-N	
	4	Ca^{2+}, Mg^{2+}	
	5	SS, pH, DO	
2	1	NH_3-N, BOD, COD_{Mn}, COD_{Cr}, T-P, PO_4-P, K^+	76.2
	2	Cl^-, EC, Na^+, SO_4^{2-}	
	3	NO_3-N, T-N	
	4	Ca^{2+}, Mg^{2+}	
	5	SS, pH	
3	1	NH_3-N, BOD, COD_{Mn}, COD_{Cr}, T-P, PO_4-P, SS	72.4
	2	Na^+, SO_4^{2-}, Cl^-, K^+	
	3	NO_3-N, T-N	
	4	Ca^{2+}, Mg^{2+}	
4	1	NH_3-N, BOD, COD_{Mn}, T-P, SS, T-N, EC	52.6
5	1	BOD, T-P, SS, T-N	51.6

등[30]의 연구에서는 약 10이하로 본 연구에서보다는 조금 낮았는데 이는 연구 대상 규모에서 국지적인 지역과 우리나라 전체 지역을 대상으로 한 차이 때문인 것으로 생각되며 추출된 인자로서는 Choi[29]의 경우, 분석한 수질 측정 항목간의 차이로 인하여 객관적으로 비교할 수는 없었으나 Choi 등[30]의 경우에서는 조사지역인 소양강댐 상류 유역에서 제 1인자에 속하는 항목들이 BOD, COD, T-N, T-P로 조사되어 본 연구에서와 비슷한 경향을 보였음을 알 수 있었다. 또한 Kim[31]의 연구에서도 제 1인자가 유기오염물질의 지표인 BOD, COD과 영양염류인 T-N, T-P, NH_3-N, NO_3-N로 조사되었는데 BOD, COD, T-P의 경우는 특히 전국을 대상으로 한 본 연구에서도 제 1인자에 포함되고 있었으므로 이 항목들은 우리나라 전국의 각 하천에서 유사한 변동 특성을 지니고 있음을 객관적으로 알 수 있었다. Kim[32]의 연구에서는 남강하류권역에서 군집분석을 실시한 후 인자분석을 실시하여 본 연구와는 통계 분석 순서에서 차이가 났지만 인자분석의 결과 공통으로 추출된 제 2인자에서 수질오염 유발 유기물질(BOD, COD)과 영양염류(T-N, T-P)가 변동 요인으로 작용하는 것으로 조사되어 이들이 하천에서 수질 특성을 반영해 주는 주된 인자임을 간접적으로 알 수 있었다.

수질항목에 의한 군집분석

인자분석의 결과 추출된 인자로서 군집분석을 실시한 결과, Case 1과 2의 경우 4개 군집, Case 3의 경우 5개 군집, Case 4와 5의 경우 2개의 군집으로 유형화되었으나, 5개의 Case중 군집에 의한 수질 항목들의 일반적 경향, 그룹화된 군집 내의 하천의 개수 등에 의하여 Case 4의 경우인 7개의 수질항목으로 분석한 군집분석의 결과로서 우리나라 농촌유역 하천을 유형화하는 것이 가장 바람직할 것으로 생각되었다.

군집분석을 이용한 농촌유역 하천을 유형화하기 위해서는 우선 변수들 간의 거리가 얼마나 가까운 지를 나타내어야 하는데 이러한 변수들 간의 가깝고 먼 정도 즉 유클리디안 거리를 나타내는 것이 근접성 행렬(proximity matrix)이다. 근접성 행렬에서 가장 유사한 수질 특성을 나타내는 지점은 유클리디안 거리가 0으로 CB-40(40)지점과 JB-33(203)지점, CB-47(47)지점과 CB-59(59)지점, CN-9(67)지점과 JN-10(216)지점, GG-1(104)지점과 GG-2(105)지점, GG-43(136)지점과 GN-4(284)지점, JB-2(172)지점과 JN-20(226)지점, JB-5 (175)지점과 GN-36(316)지점, JB-11(181)지점과 GN-11(291)지점, JB-22(192)지점과 JN-40(245)지점, GN-14(294)지점, GN-16(296)지점, JB-32(202)지점과 JN-40(245)지점, JB-38(206)지점과 JN-34(240)지점, GN-38(319)지점, JN-42(247)과 GN-13(294)지점, JN-43(248)지점과 GN-39(320)지점, GN-35(316)지점과 GN-21(301)지점, GN-33(313)지점이었고 가장 상이한 지점은 유클리디안 거리가 2.787로서 JB-18(188)지점과 GW-16(150)지점으로 조사되어 같은 지역내 또는 경남과 전북, 경남과 전남지역에서의 대다수 지점이 가장 유사한 수질 특성을 지니고 있음을 알 수 있었다(Table 5).

군집을 분류하고자 할 때 군집화일정표에서의 작은 계수(coefficient)는 동질적인 군집이 결합되었다는 것을 의미하고 큰 계수는 매우 다른 군집들이 결합되었다는 것을 의미하므로 계수가 크게 바뀌고 있는 지점에서 군집의 수를 결정하는 것이 타당하다[22]. 본 연구에서의 군집화일정표에 의하면 316단계에서 317단계로 넘어갈 때 계수가 10이상으로 바뀌

Table 5. Proximity matrix of the results of the cluster analysis

Sites	CB-1*	CN-9**	GG-43***	JB-18****	JB-32	JN-42*****	GN-38******
CB-2	0.006	0.056	0.087	0.204	0.116	0.154	0.107
...	...	...	...	...	...	...	...
GW-16*******	1.664	2.006	2.047	2.787	2.447	2.560	2.297
...	...	...	...	...	...	...	...
JN-10	0.039	0.000	0.010	0.064	0.023	0.035	0.010
...	...	...	...	...	...	...	...
JN-40	0.089	0.019	0.028	0.015	0.000	0.004	0.003
...	...	...	...	...	...	...	...
GN-5	0.066	0.012	0.000	0.075	0.036	0.037	0.021
...	...	...	...	...	...	...	...
GN-13	0.126	0.033	0.034	0.007	0.004	0.000	0.007
...	...	...	...	...	...	...	...
GN-39	0.078	0.015	0.021	0.023	0.002	0.007	0.003

*CB : Chungbuk. **CN : Chungnam. ***GG : Gyeonggi. ****JB : Jeonbuk.
*****JN : Jeonnam. ******GN : Gyeongnam. *******GW : Gangwon.

고 있으므로 1단계에서 316단계까지 한 군집으로, 나머지 단계를 각각 한 군집으로 나누어 3개의 군집으로 분류하는 것이 타당할 것으로 생각된다(Table 6).

A그룹은 대부분의 하천들이 속하는 유형으로 우리나라의 평균적인 하천이라고 할 수 있으며 B그룹은 충북과 경기의 일부 하천들이 속하는 유형으로 SS의 농도는 평균적인 농도의 경향을 보이고 있지만, 질소와 인의 농도가 일반적인 하천보다는 조금 높은 수준을 보이는 하천들이었으며 유기물의 농도도 높은 경향을 보이고 있으므로 도시인근이나 농촌마을 등 점오염원에 의한 영향을 많이 받는 하천들이라고 판단되었다. C그룹은 강원도의 하천들이 대부분 속하는 유형으로 이 하천들의 특성으로는 질소와 인의 농도가 낮으며, 특히 SS가 낮아 상대적으로 수질이 우수한 경향을 보이는 하천들이었다(Fig 1).

군집분석의 결과, 유형화된 3개의 그룹은 수질 등급과는 별개로 수질 특성에 따라서 구분되어진 것(Table 7)으로 수질 특성별로 구분된 우리나라의 농촌유역 소하천 형태로도 생각할 수 있다. 또한 조사된 자료의 질소와 인의 경우를 볼 때 우리나라 농촌유역 소하천의 평균보다 약간 높은 B그룹도 일반적인 하천으로 분류되는 A그룹이 함께 우리나라 농촌유역 소하천들을 대표한다고 사료된다.

현재 농촌유역의 하천들은 수질 오염의 정도인 수질 등급으로 분류하여 관리되고 있으나 농업용수로 이용 가능한 지의 판단에는 수질 기준이 있는 몇 가지 수질 항목만으로 판정을 하고 있으므로, 이런 수질 기준에 의한 농촌유역의 하천 관리보다는 여러 가지 수질 항목들을 고려하여 군집분석 한 결과를 이용한 농촌유역 하천들을 특성별로 관리하는 것이 더 체계적이고 효율적인 하천 관리 방안이 될 것으로 사료된다. 또한 수질 기준에 있어서도 여러 가지 수질 항목들의 기준을 추가한 수질 기준을 마련하여 농촌유역의 하천을 관리하는 것이 바람직할 것으로 판단되며, 두 가지 모두를 고려하여 농촌유역의 하천을 관리하는 것이 향후 농촌유역에 있어서 바람직한 하천 관리 방향이라 생각된다.

Table 6. List of community showing the stage of joint community

Stage	Joint community		Coefficient	Next stage
	Community 1	Community2		
1	247	293	0.000	37
2	104	105	0.000	81
3	172	226	0.000	54
4	291	296	0.000	17
5	40	203	0.000	33
6	206	239	0.001	21
...	...	...	...	...
...	...	...	...	...
313	7	9	15.644	316
314	12	99	18.093	316
315	1	4	21.453	317
316	7	12	27.721	318
317	1	28	37.980	318
318	1	7	78.633	0

Table 7. Classification of the water quality characteristics of the small streams by cluster analysis

Groups of stream	Characteristics of water quality	Sites	Number of stream
A	Common water quality	CB-3, CN-1	126
B	Average SS High nitrate and phosphate	CB-32, CB-43	98
C	Low nitrate, phosphate and SS	GW-4, GW-8	95

요 약

본 연구는 농업용 하천의 특성별 관리 그리고 농업 환경 및 농업 정책에 있어서의 기초자료로서 활용하기 위하여, 전국의 농촌유역 319 하천에 대한 농업용수 수질분석자료를 이용하여 요인분석과 군집분석을 5가지 Case로 구분하여 실시하였다. 각 Case별 인자추출의 수는, Case 1과 Case 2는 각각 5개 인자(factor)가 추출되어 전체의 73.0%, 76.2%를 설명할 수 있었고 Case 3은 4개 인자가 추출되어 전체의 72.4%, Case 4와 Case 5는 각각 1개 인자가 추출되어 전체의 52.6%, 51.6%를 설명할 수 있었다. 인자분석의 결과 추출된 인자로서 군집분석을 실시한 결과, Case 1과 2의 경우 4개 군집, Case 3의 경우 5개 군집, Case 4와 5의 경우 3개의 군집으로 유형화되었으나, 5개의 Case중 군집에 의한 수질 항목들의 일반적 경향, 그룹화된 군집 내의 하천의 개수 등에 의하여 Case 4의 경우인 7개의 수질항목으로 분석한 군집분석의 결과인, 3그룹으로 우리나라 농촌유역 하천을 유형화하는 것이 가장 바람직할 것으로 생각되었다. A그룹은 대부분의 하천들이 속하는 유형으로 우리나라의 평균적인 하천, B그룹은 충북과 경기의 일부 하천들이 속하는 유형으로 SS의 농도는 평균적인 경향, 질소와 인의 농도가 일반적인 하천보다는 조금 높은 수준을 보이는 하천들로 유기물의 농도도 높은 경향을 보여 도시인근이나 농촌마을 등 점오염원에 의한 영향을 많이 받는 하천들이었다. C그룹은 강원도의 하천들이 대부분 속하는 유형으로 질소와 인의 농도가 낮으며, 특히 SS가 낮아 상대적으로 수질이 우수한 경향을 보이는 하천들이었다.

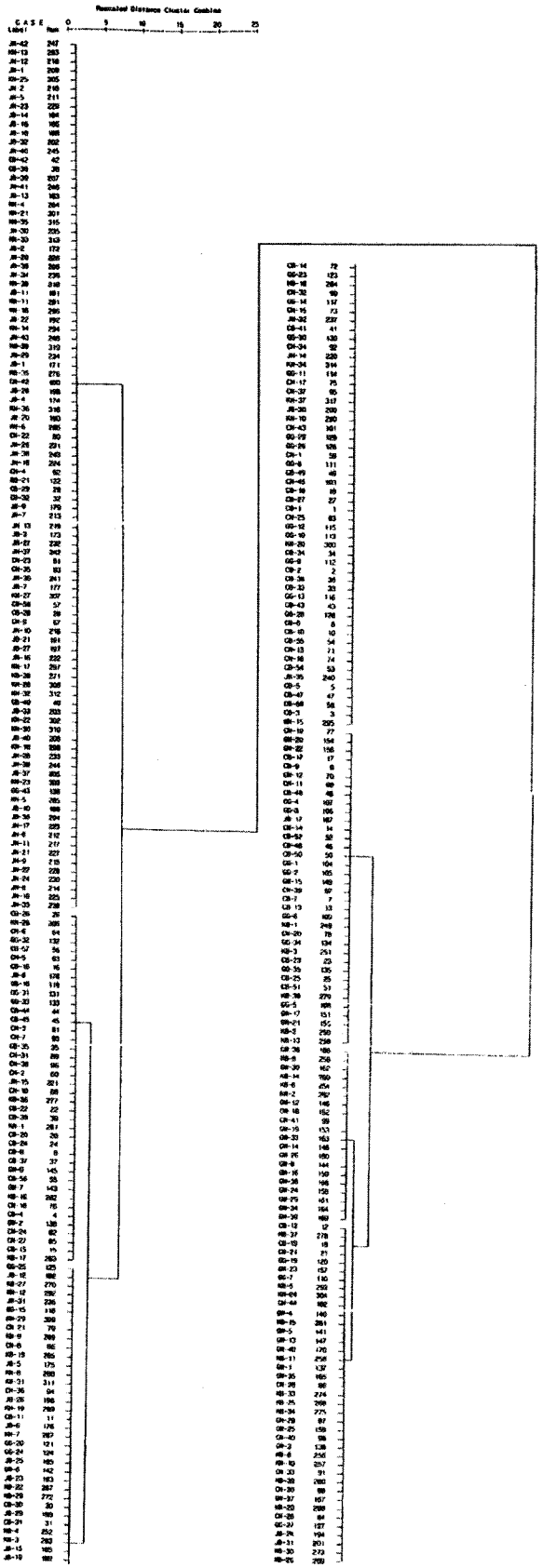

Fig. 1. Dendrogram by cluster analysis of 319 rural areas in Korea.

참고문헌

1. Yoo, K. H. and Kang, M. S. (2004) Agricultural nonpoint source pollution and best management practices in the United States. In international symposium on management strategies for agricultural and rural nonpoint source pollution. NIAST, Suwon, Korea.
2. Park, S. W., Yoo, S. H. and Hyun, B. K. (1997) Non point source pollution loading from land uses on small watersheds. *J. Kor. Soc. Agri. Eng.* 39, 127-135.
3. Chung, J. B., Kim, B. J. Kim, J. K. and Kim, M. K. (1998) Water quality of streams in some agricultural areas of different agricultural practices along Nakdong river basin. *Korean J. Environ. Agri.* 17, 140-144.
4. Liding, C. and Bojie, F. (2000) Farm ecosystem management and control of nonpoint source pollution. *Chinese J. Environ. Sci.* 21, 98-100.
5. Peterson, J. M. and Boisvert, R. N. (2001) Control of nonpoint source pollution through voluntary incentive-based policies: An application to nitrate contamination in New York. *Agricultural and Resource Economics Review* 30, 127-138.
6. Choi, K. S., Na, E. H. and Park, S. S. (2000) Application of a non-point source model for the prediction of land use impact on water qualities. *J. KSWQ.* 16(5), 565-572.
7. Oh, Y. T., Park, J. C., Kim, D. S. and Rhyu, J. K. (2004) Pollutant characteristics of nonpoint source runoff in Okcheon stream. *J. KSWQ.* 20(6), 657-663.
8. Jung, Y. J., Nam, K. H. and Min, K. S. (2004) Generation discharge characteristics of non-point pollutants from farmlands of small watershed for Nak-dong river. *J. KSWQ.* 20(4), 333-338.
9. Choi, C. H., Han, K. W., Cho, J. Y., Chun, J. C. and Kim, S. C. (2000) Pollutant loading and changes of water quality at the Namdae-cheon watershed in Keum river districts. *Korean J. Environ. Agric.* 19, 26-31.
10. Lee, K. B., Kim, J. C., Kim, J. G., Lee, D. B., Park, C. W. and Kim, J. D. (2005) Assessment of pollutant loads for water enhancement in the Mankyeong river. *Korean J. Environ. Agric.* 23, 41-46.
11. Lee, K. B., Kim, J. C., Park, J. H., Lee, D. B. and Kim, J. G. (2004) Assessement of pollutant loads for water enhancement in the Jeongeupcheon of Dongjin river. *Korean J. Environ. Agric.* 23, 41-46.
12. Lee, Y. D., Hyun, S. K. and Song, H. K. (2003) Estimation of sources for nitrate in groundwater at Ongpo stream watershed in Jeju island. *J. KSWQ.* 9, 455-461.
13. Kim, H. T. and Kwun, S. K. (1993) A study on the characteristics of water pollution in rural area. *Korean J. Environ. Agric.* 12, 129-143.
14. Oh, J. M. and Lee, S. H. (1997) A study on the characteristics of water quality of Shin-Gal reservoir and tributaries. *J. KSWQ.* 13, 9-16.
15. Buckingham, G. (2004) Analysis of water quantity and quality in the Englishman river: an examination of vulnerability to land use impact. Ms. Thesis, Royal Road University, Ottawa, Canada.
16. Zhang, L. (2005) Multivariate hydrological frequency analysis and risk mapping. Ph.D. Thesis, Louisiana State University, Louisiana, USA.
17. Oh, Y. C. Lee, N. D. and Kim, J. G. (2004) The evaluation of water quality in the Mankyung river using multivariate analysis. *J. of Korean Env. Sci.* 13(3), 233-244.
18. Rheem, C. H. and Choi, M. Y. (2004) A study on the factor analysis and water properties of groundwater in *the Ansan city. The Geographical Journal of Korea* 38(3), 307-318.
19. NIAST. (2001) Annual report of the monitoring project on agro-environmental quality. RDA, Suwon, Korea.
20. NIAST. (2003) Annual report of the monitoring project on agro-environmental quality. RDA, Suwon, Korea.
21. NIAST. (2005) Annual report of the monitoring project on agro-environmental quality. RDA, Suwon, Korea.
22. Park, S. H., Cho, S. S. and Kim, S. S. (2005). SPSS (ver. SPSS 12.0k), Datasolution, Seoul. p. 519.
23. Ohta, R, Shima, K. and Takayanagi, T. (1986) Water quality analysis of the Mikawa bay by principal component analysis. *Water and Waste* 22, 1118-1121.
24. Shin, S. K., Park, C. K. and Song, K. O. (1998) Evaluation of water quality using principal component analysis in the Nakdong river estuary. *J. of Korean Env. Sci.* 7(2), 171-176.

25. Ma, S. H. (2000) The study on the regional water quality characteristics in Kunpo city. Ms. Thesis, Kyunghee University, Seoul.
26. Rim, C. S. (1999) Multivariate analysis of water quality data 14 stations in the Geum-river watershed. *J. of Korean Env. Sci.* 8(3), 331-336.
27. Ministry of Environment. (2006) Environmental standard. (in Korean)
28. Jung, H. G. (2000) A study on the characteristics of varying quality of water in the vicinity of development area by component's analysis. Ms. Thesis, Chonnam National University, Gwangju.
29. Choi, M. Y. (2001) A study on the properties of regional water quality in Ansan. Ms. Thesis, Kyeonggi University, Suwon.
30. Choi, H. K., Baek, H. S. and Heo, J. Y. (2002) Evaluation of water quality on the upstreams of the Soyanggang dam by using multivariate analysis. *J. Industrial Tech. Kangwon Natl. Univ.* 22(A), 201-210.
31. Kim, J. G. (2002) Evaluation of water quality in the Keum river using statistics analysis. J. *of Korean Env. Sci.* 11, 1281-1289.
32. Kim, O. S. (2005) A study on the applicaiton of total maximum daily loads management in lower watershed in Nam river, Korea. Ph.D. Thesis, Gyeongsang National University, Jinju.