한국환경농학회지 제27권 제1호 (2008)
Korean Journal of Environmental Agriculture Vol. 27, No. 1, pp. 1-9

연구보문

다변량분석법을 이용한 시설재배지 지하수 수질 특성

김진호* · 최철만 · 이종식 · 윤순강 · 이정택 · 조광래[1] · 임수정[2] · 최승출[2] · 이경자[3] · 권의석[3] · 경기천[4] · 엄미정[5] · 김희권[6] · 이유석[6] · 김찬용[7] · 이성태[8] · 류종수[9]

농촌진흥청 농업과학기술원 환경생태과, [1]경기도 농업기술원, [2]강원도 농업기술원, [3]충청북도 농업기술원, [4]충청남도 농업기술원, [5]전라북도 농업기술원, [6]전라남도 농업기술원, [7]경상북도 농업기술원, [8]경상남도 농업기술원, [9]고령지농업연구소

(2007년 5월 7일 접수, 2008년 4월 21일 수리)

Characteristics of Groundwater Quality for Agricultural Irrigation in Plastic Film House Using Multivariate Analysis

Jin-Ho Kim*, Chul-Mann Choi, Jong-Sik Lee, Sun-Gang Yun, Jung-Taek Lee, Kwang-Rae Cho[1], Su-jung Lim[2], Seung-Chul Choi[2], Gyeong-Ja Lee[3], Yeu-Seok Kwon[3], Ki-Chon Kyung[4], Mi-Jeong Uhm[5], Hee-Kwon Kim[6], You-Seok Lee[6], Chan-Yong Kim[7], Seong-Tae Lee[8], and Jong-Su Ryu[9] (Division of Environment and Ecology, National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA, Suwon 441-707, Korea, [1]Gyeonggi-do Agricultural Research & Extension Service, Hwaseong 445-972, Korea, [2]Gangwon-do Agricultural Research & Extension Service, Chuncheon 200-939, Korea, [3]Chungcheongbuk-do Agricultural Research & Extension Service, Cheongwon 363-883, Korea, [4]Chungcheongnam-do Agricultural Research & Extension Service, Yesan 340-861, Korea, [5]Jeollabuk-do Agricultural Research & Extension Service, Iksan 570-704, Korea, [6]Jeollanam-do Agricultural Research & Extension Service, Naju 520-715, Korea, [7]Gyeongsangbuk-do Agricultural Research & Extension Service, Daegu 702-708, Korea, [8]Gyeongsangnam-do Agricultural Research & Extension Service, Jinju 660-985, Korea, [9]National Institute of Highland Agriculture, Pyungchang 232-955, Korea)

ABSTRACT: The main purpose of this study is to accumulate the fundamental data representing groundwater of plastic film houses by means of water quality and its multivariate statistical analysis. Groundwater samples were collected in every two years since 2000 to 2004 from total 211 sites. According to the result of water quality analysis, ground water quality was suitable for irrigation purpose averagely. Correlation analysis showed that EC was highest positively correlated with Mg^{2+} to 0.810 ($p<0.01$), 0.776 ($p<0.01$) in April and July, respectively. NO_3-N was highest positively correlated with T-N to 0.794 ($p<0.01$) in October. This result shows that it can lead to a different result even in similar case sometimes. Four factors were extracted through factor analysis in April and July, but five factors were extracted in October. The proportions of cumulative variance by the factor were 64.9, 60.2, and 70.7 in April, July, and October, respectively. The first factor was highly related to anions and cations such as Ca^{2+}, Mg^{2+}, Cl^-, SO_4^{2-}, and EC in contrast to that of stream water. According to the cluster analysis, 211 sites are classified into four groups. Common type of ground water quality was shown in group A. The pH and PO_4-P were highest in Group B. The anions and cations were highest in Group C. COD_{Cr} was highest in Group D.

Key Words: Multivariate statistical analysis, Groundwater quality, Factor analysis, Irrigation water

서 론

우리나라의 농경지는 전체의 70% 정도가 산성모암인 화강암이나 화강편마암에서 풍화되어 생성되었고, 토양은 산성을 띠고 있으며, 점토함량과 양분 보유력이 낮다.[1] 그러므로 농작물의 생산성을 높이기 위해서 비료 및 퇴비 등 농자재의 시용에 의한 양분의 공급이 필수적으로 요구된다. 또한 우리나라의 농업활동은 집단적이고 집약적으로 이루어지고 있기 때문에 이러한 상황에서의 과다한 비료의 사용, 가축분 퇴비의 무분별한 사용량 증가, 이에 따른 유실량의 증가 및 적절한 폐수처리 시설의 미확보 등은 지하수와 하천수 오염을 가중시킨다.[2] 농업활동에 의해 과다하게 투입된 비료성분 중 작물에 흡수가 되지 않은 성분들은 대부분 영양물질이며 비

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

점원 오염물질로서 작용하여 지하수 오염의 잠재성을 갖게 되고, 지하수나 지표수에 관계없이 물을 오염시키는 가장 큰 오염원이 된다.[3)]

자연상태에서 빗물의 1/3 이상은 토양을 통과하여 지하로 스며들며 이 때 토양에 포함되어 있는 여러 성분이 빗물과 함께 용탈되는데, 하우스와 같이 강우가 차단된 곳에서는 소형관수인 경우, 하우스 내부 온도의 상승과 함께 물이 아래에서 위로 상승하여 토양중 염류가 표토에 집적된다. 또한 작물경작 횟수가 많고 시용한 비료 중 작물흡수량을 제외한 대부분이 토양에 남아있게 되어 염류집적을 야기시킨다.[4)] 토양내 축적된 염류의 성분 중 NO_3-N과 같은 음전하를 띤 성분은 토양에 흡착되는 양이 매우 적고, 수분과 결합시 토양내에서 빠르게 이동하기 때문에 토양으로 유입된 NO_3-N의 많은 양이 지하수로 유입되어 오염을 유발하게 된다.[5)] 염류의 용탈로 인한 지하수의 오염은 과거에 비해 급격히 증가하고 있는 실정이며, 지하수는 한번 오염되면 정화하기 매우 어렵기 때문에 오염문제는 장기간 지속될 수밖에 없다.

농촌유역의 지하수 수질은 토지이용과 밀접한 관계가 있으며 하천 수질에까지 영향을 미친다. 지하수의 수질 변화를 예측하기 위해서는 단위토지별 지하수의 농도변화를 장기간 모니터링하여야 하지만 지하수 사용량의 대부분을 차지하고 있는 농업용수의 수질에 대한 모니터링 연구는 미흡한 실정이다. 이러한 상황에서 지하수 오염 현황 파악은 더욱더 어려운 현실이다. 현재 농촌진흥청 농업과학기술원에서는 2000년부터 시설재배지의 농업용 지하수에 대한 장기 모니터링을 실시해오고 있으며 오염 현황을 파악해오고 있다. 또한 다변량 분석법을 이용한 통계기법의 적용은 오염 현황 파악이 어려운 시점에서 수질 현황을 정확히 파악하는데 도움을 주는 수단으로서 이용될 수 있어 다각적인 접근이 가능하도록 한다.

본 연구는 농촌유역 시설재배지에 대한 농업용 지하수의 수질 변동을 장기간 모니터링하여 지하수 수질에 대한 기초자료를 확보하고 이를 바탕으로 향후 농업용 지하수의 오염원인 및 대책 마련 등에 적절하게 이용하고자 하는 측면에서 실시되었다. 또한 시설재배지에 대한 농업용 지하수의 오염에 대한 정확한 수질 현황 파악과 분석을 위하여 여러 가지 통계적 분석 기법을 이용하여 다각적인 접근을 시도하고자 하였다.

재료 및 방법

수질 조사 지역

시설재배지 지하수의 수질 조사 지역은 각 지역별 대표적인 시설재배지인 총 211지점을 대상으로 2000 ~ 2004년 동안 격년으로 연 3회(4월, 7월, 10월) 실시하였다(Table 1).

수질 분석 방법

수질 분석 방법은 수질오염공정시험방법[6)]으로 실시하였다. pH, EC는 DO meter (YSI 600XL, USA)로 현장에서 즉시 측정하였고, COD는 산성법으로, T-N 및 T-P는 Autoanalyzer (AACS, Bran+rubbe)를 이용하여 분석하였다. NH_3-N 및 PO_4-P는 UV/Visible Spectrophotometer (CARY 300, Varian)를 이용하여 인도페놀법 및 몰리브덴산 암모늄법으로 분석하였고, NO_3-N, Cl-, SO_4^{2-}은 Ion chromatography (DX-320, Dionex)를 이용하여 분석하였다. 양이온은 유리섬유여지(0.45 ㎛)로 여과한 후 ICP (Integra XL dual, GBC)를 이용하여 분석하였다.

통계 분석

pH, EC의 현장 측정 항목, COD_{Mn}, COD_{Cr}, NH_3-N, NO_3-N, PO_4-P, T-N, T-P의 유기물 오염 항목, Na^+, Mg^{2+}, K^+, Ca^{2+}의 양이온 항목, Cl^-, SO_4^{2-}의 음이온 항목이 다변량 통계 분석(인자 및 군집분석)을 위해 이용되었고, 모든 통계분석은 SPSS ver. 12에서 수행되었다.[7)] 다변량 통계분석 중 인자분석(factor analysis)은 수질 항목들 사이의 상호작용과 시설재배지의 수질에 영향을 미치는 인자(요인)를 파악하기 위하여 실시하였고, 분석방법으로는 주성분 분석법(principal component analysis)을 이용하였다. 군집분석은 각 조사지역별 수질 경향 파악과 오염 정도의 유사성을 알아보기 위하여 실시하였는데, 인자분석의 결과 산출된 인자점수(factor score)로서 유클리디안 제곱거리(squared euclidean distance)를 이용하여 Ward의 방법으로 분석하였다.

결과 및 고찰

시기 및 지역별 수질 현황

pH는 5.1 ~ 10.0의 범위로 조사되었는데, 대체적으로 농업용수 수질기준[8)]에 적합하였다. EC는 N.D. ~ 38.000 dSm^{-1}의 범위로 조사되었고 시기별 평균은 4월이 높은 편이었다. Kim[9)]은 우리나라 관개수중의 EC에 의한 농작물의 피해 농도를 1.0 dSm^{-1} 이하로 보고하고 있는데, 이에 의하면 본 연구에서는 2000년 10월 경기도를 제외한 다른 시설재배지들에서는 농작물에 피해가 없는 비교적 양호한 것으로 조사되었고, 피해 농도를 초과했던 경기도 역시 조사지점 중 한 지점만 일시적으로 높았기 때문에 평균 농도에서도 초과한 것으로 조사되었다. 또한 An 등[10)]은 장기적인 관개를 통해 염축적이 심화되면 염장해가 발생할 우려가 크다고 했는데, 본 연구결과로 볼 때 염축적에 의한 염장해는 발생하지는 않은 것으로

Table 1. Number of monitoring sites for water quality by province

Province	Gyunggi (GG)	Gangwon (GW)	Choongbuk (CB)	Choognam (CN)	Jeonbuk (JB)	Jeonnam (JN)	Gyungbuk (GB)	Gyungnam (GN)	Total
No.	30	20	26	26	26	24	29	30	211

조사되었다.

COD_{Mn}는 N.D. ~ 14.00 mgL^{-1}의 범위로 조사되었고, 평균 농도는 7월이 높았으나 우리나라 농업용 지하수의 경우 COD_{Mn}의 한계 수준[9]이 8 mgL^{-1}임을 생각해 볼 때 시기별로는 대부분이 한계수준 이하였다. COD_{Cr}은 N.D. ~ 300.90 mgL^{-1}의 범위로 조사되었고, 시기별로는 4월이 다소 높았으며, 농업용수 중의 COD_{Cr}에 의한 농작물 피해 기준[9]이 50 mgL^{-1}임을 감안해 볼 때 농작물에 대한 피해가 없음을 알 수 있었다.

영양염류 항목인 NH_3-N은 N.D. ~ 11.66 mgL^{-1}의 범위로 조사되었고, 시기별로는 평균적으로 10월이 다소 높은 편이었는데, 일반적인 관개수 중 농작물의 피해 한계 농도[9]인 5.0 mgL^{-1}에는 미치지 못하는 것으로 조사되었다. NH_3-N는 유기성 질소화합물 질산화의 첫 번째 단계로서, 일반적으로 지하수 중에는 다량으로 검출되는 경우가 드물지만, 천층지하수에서 NH_3^+와 NO_2^-이 검출될 경우에는 하수, 분뇨의 오염원에 의한 세균 오염을 의심해 볼 필요가 있기 때문에 반드시 오염원을 확인하여 이에 대한 대책을 마련하여야만 한다. NO_3-N은 N.D. ~ 152.81 mgL^{-1}의 범위로 조사되었고 시기별로는 7월과 10월이 높은 편이었다. 조사시기 모두 지하수법에 의한 수질기준인 20 mgL^{-1} 이하로 조사되었지만, 일반적으로 여름에 토양 중의 NO_3-N이 작물에 이용되기 때문에 지하수중의 농도가 낮아진다는 Johnson 등[11]의 연구결과와는 상이하게 조사되었는데, 이에 대한 원인 규명은 향후 반드시 필요할 것으로 생각된다. 또한 Madison 등[12]는 지하수 수질 연구에서 NO_3-N이 3 mgL^{-1}을 초과할 경우 인간의 활동에 의한 오염이라 하였는데, 본 연구에서도 대부분 초과하여 조사되었지만, 질산태 질소의 오염경로가 매우 복잡하여 오염원과 부하량을 명확하게 파악하기란 매우 어렵기 때문에[13] 어느 특정한 활동에 의한 것이라고 일반화시키기로는 상당한 어려움이 있을 것으로 판단된다. PO_4-P는 N.D. ~ 3.280 mgL^{-1}의 범위로 조사되었고 시기별로는 7월이 다소 높은 경향이었다. T-N은 0.01 ~ 154.61 mgL^{-1}의 범위로 조사되었고, 시기별로 4월이 다소 높은 경향이었다. T-P는 N.D. ~ 4.560 mgL^{-1}의 범위로 조사되었는데, 시기별로는 7월이 다소 높은 경향이었다.

음이온 항목인 Cl^-는 N.D. ~ 359.14 mgL^{-1}의 범위로 조사되었고 시기별로는 7월과 10월에 다소 높은 경향이었다. 지하수법에서 규정하고 있는 농업용수로서의 수질기준은 250 mgL^{-1} 이하인데 조사 시기 모두 수질기준에는 크게 미치지 못하였다. SO_4^{2-}는 N.D. ~ 306.33 mgL^{-1}의 범위로 조사되었고 시기별로는 7월이 높은 경향을 보여, 영양염류와 마찬가지로 음이온 역시 대체적으로 여름에 높은 농도를 보이고 있음을 알 수 있었다.

양이온 항목인 Ca^{2+}는 N.D. ~ 274.27 mgL^{-1}의 범위로 조사되었고 시기별로는 10월이 높은 경향이었다. K^+는 N.D. ~ 64.30 mgL^{-1}의 범위로 조사되었고 시기별로 별차이가 없었다. Na^+는 0.01 ~ 320.40 mgL^{-1}의 범위로 조사되었고 시기별로는 4월에 높은 경향이었다. Mg^{2+}는 N.D. ~ 116.20 mgL^{-1}의 범위로 조사되었으며 시기별로는 10월에 높은 경향이었는데, 여름에 높은 농도를 보이는 음이온 항목과는 달리 양이온 항목들은 대체적으로 가을에 높은 농도를 보이고 있음을 알 수 있었다(Table 2).

Table 2. Summary statistics of ground water quality for the survey period in plastic film house of Korea

(unit : mgL^{-1})

Parameters		2000			2002			2004		
		April	July	October	April	July	October	April	July	October
pH	Avg.	6.7	6.6	6.6	6.6	6.6	6.5	6.7	6.6	6.6
	Min~Max	5.8~8.1	5.1~8.5	5.4~8.2	5.5~10.0	5.4~9.9	5.3~9.1	5.6~8.3	5.4~8.9	5.4~7.9
	SD	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
EC (dSm^{-1})	Avg.	0.305	0.327	0.511	0.322	0.315	0.319	0.310	0.306	0.308
	Min~Max	0.050~1.560	0.050~1.330	0.069~38.000	N.D.~1.490	0.022~1.730	0.045~1.328	0.045~1.172	0.018~1.670	0.025~1.187
	SD	0.216	0.210	2.602	0.204	0.204	0.203	0.208	0.216	0.187
COD_{Mn}	Avg.	-	-	-	-	-	-	1.40	1.60	1.09
	Min~Max	-	-	-	-	-	-	N.D.~13.80	N.D.~14.00	N.D.~9.20
	SD	-	-	-	-	-	-	1.89	2.30	1.31
COD_{Cr}	Avg.	3.67	3.23	4.07	3.71	4.00	2.84	3.13	2.96	2.82
	Min~Max	N.D.~35.84	N.D.~28.61	N.D.~300.00	N.D.~24.00	N.D.~41.72	N.D.~22.50	N.D.~20.50	N.D.~20.80	N.D.~15.60
	SD	4.54	4.15	20.74	3.94	4.82	3.59	2.64	2.87	2.47
NH_3-N	Avg.	0.26	0.25	0.57	0.31	0.41	0.36	0.39	0.42	0.35
	Min~Max	N.D.~10.30	N.D.~6.60	N.D.~9.05	N.D.~10.30	N.D.~6.60	N.D.~5.22	N.D.~11.66	N.D.~8.29	N.D.~3.58
	SD	0.75	0.55	1.24	0.78	0.74	0.63	0.96	0.85	0.54

Table 2. Continued

Parameters		2000			2002			2004		
		April	July	October	April	July	October	April	July	October
	Avg.	6.66	7.07	7.52	8.02	7.87	8.96	7.12	7.49	7.06
NO_3-N	Min~Max	N.D.~131.70	N.D.~76.80	N.D.~122.53	0.05~71.46	N.D.~152.81	N.D.~127.35	N.D.~55.60	0.04~66.99	N.D.~58.73
	SD	13.54	11.09	12.02	11.26	13.64	16.21	10.02	11.17	10.70
	Avg.	0.248	0.219	0.114	0.054	0.071	0.072	0.050	0.064	0.046
PO_4-P	Min~Max	N.D.~3.280	N.D.~2.000	N.D.~2.700	N.D.~0.997	N.D.~1.359	N.D.~1.555	N.D.~0.880	N.D.~1.278	N.D.~1.084
	SD	0.495	0.461	0.287	0.121	0.176	0.174	0.100	0.122	0.109
	Avg.	-	-	-	10.50	10.08	11.58	12.33	11.11	11.41
T-N	Min~Max	-	-	-	0.05~91.25	0.01~154.62	0.14~127.01	0.06~130.30	0.05~75.62	0.02~96.53
	SD	-	-	-	14.31	15.56	17.63	16.95	12.84	14.87
	Avg.	-	-	-	0.101	0.079	0.080	0.164	0.189	0.076
T-P	Min~Max	-	-	-	N.D.~0.890	N.D.~1.417	N.D.~1.224	N.D.~4.560	N.D.~1.410	N.D.~1.192
	SD	-	-	-	0.140	0.181	0.141	0.421	0.266	0.140
	Avg.	30.08	32.13	24.92	29.21	28.74	28.53	26.77	26.91	27.31
Cl^-	Min~Max	0.35~359.14	3.19~182.50	0.59~321.40	0.17~359.14	0.67~154.00	N.D.~234.57	2.17~266.73	1.02~166.53	N.D.~254.54
	SD	30.94	25.35	31.36	34.02	24.61	29.47	29.40	24.15	29.16
	Avg.	22.08	24.47	29.41	21.40	25.84	25.21	19.30	25.09	23.63
SO_4^{2-}	Min~Max	0.41~306.33	0.17~247.10	1.30~176.30	N.D.~121.64	N.D.~247.10	0.35~196.95	0.30~114.80	0.25~299.16	0.02~133.82
	SD	29.59	29.48	25.70	21.65	29.16	28.35	20.69	30.42	26.53
	Avg.	21.96	24.47	25.96	29.02	30.34	32.08	29.24	32.82	29.50
Ca^{2+}	Min~Max	0.01~207.90	0.07~178.60	0.05~219.33	0.22~243.10	0.20~189.50	0.28~274.27	1.02~158.56	0.21~261.10	N.D.~160.90
	SD	22.75	24.70	25.31	32.06	31.24	34.81	24.93	33.38	24.81
	Avg.	2.56	2.70	2.41	3.50	3.24	3.19	3.00	3.12	4.02
K^+	Min~Max	N.D.~64.30	N.D.~27.80	N.D.~19.50	0.08~31.61	0.16~27.80	0.25~17.46	N.D.~32.12	N.D.~26.83	N.D.~41.28
	SD	5.07	3.73	2.70	4.17	3.54	2.94	4.48	4.31	6.40
	Avg.	8.51	7.64	7.52	9.39	8.76	10.09	7.73	8.19	8.60
Mg^{2+}	Min~Max	0.42~116.20	0.75~47.60	N.D.~64.58	0.43~81.42	N.D.~64.61	0.16~65.20	0.06~48.95	0.03~55.87	0.08~54.76
	SD	11.16	7.31	7.74	9.65	7.83	10.49	7.64	8.48	7.79
	Avg.	17.22	17.26	16.09	22.97	20.58	20.18	16.90	20.67	20.08
Na^+	Min~Max	0.96~143.22	0.79~159.50	0.42~148.90	4.28~320.40	4.83~91.41	4.07~161.40	1.13~156.00	0.77~156.60	0.01~163.20
	SD	17.55	16.88	14.87	27.69	16.30	18.40	14.73	16.72	18.27

수질항목간 상관관계

수질항목간 상관관계는 Table 3 ~ 5와 같고 각 시기별 상관관계를 보면, 4월의 경우 EC는 pH를 제외한 수질항목과 양의 상관관계를 보였고 pH는 대부분의 수질항목과 음의 상관관계를 보였다. SO_4^{2-}는 PO_4-P를 제외한 수질항목과 상관관계가 있었으며 pH와는 음의 상관관계를 보였다. Mg^{2+}은 pH와 PO_4-P를 제외한 수질항목과 양의 상관관계를 보였다. EC와 Mg^{2+}는 0.810($p<0.01$)으로 가장 높은 양의 상관관계를 보여 Mg^{2+}이 EC에 미치는 영향을 간접적으로 알 수 있었고, pH의 경우는 NO_3-N과 -0.275($p<0.01$)로 가장 높은 음의 상관관계를 보였다. 4월의 경우와 마찬가지로 7월의 경우, EC는 pH와 PO_4-P를 제외한 수질항목과 양의 상관관계를 보였고, SO_4^{2-}와 Mg^{2+}도 4월과 마찬가지의 결과로 조사되었다. Ca^{2+}은 pH와 COD_{Mn}을 제외한 수질항목과 상관성을 보였는데, PO_4-P를 제외하고는 양의 상관관계를 보였다. EC와 Mg^{2+}가 0.776($p<0.01$)로 가장 높은 양의 상관관계를 보였고, PO_4-P와 COD_{Cr}은 -0.285($p<0.01$)로 가장 높은 음의 상관관계를 보였다. 이와는 달리 10월의 경우는 다른 경향을 보였는데, COD_{Mn}은 COD_{Cr}과 상관관계가 있을 뿐 다른 수질항목과는 상관관계가 없었다. Cl^-은 COD_{Mn}과 T-P를 제외한 수질항목과 상관관계가 있었고 pH와는 음의 상관관계를 보였다. 하지만, Ca^{2+}은 7월과 마찬가지로 pH와 COD_{Mn}을 제외한 수질항목과 상관성을 보였고, T-P, PO_4-P와는 음의 상관관계를 보였다. NO_3-N은 T-N과 0.794($p<0.01$)로 가장 높은 양의 상관관계를 보였으며, pH와는 -0.323($p<0.01$)으로 가장 높은 음의 상관관계를 보였다. Rheem 등[14]의 연구결과에서도 Mg^{2+}이 EC와 높은 정의 상관관계가 있다고 하여 본 연구와 유사한 결과를 보였으며, 음이온인 Cl^-, NO_3-N,

Table 3. Pearson correlation coefficient among ground water parameters in April

Parameters	pH	EC	COD_{Cr}	COD_{Mn}	NH_3-N	NO_3-N	PO_4-P	Cl^-	SO_4^{2-}	T-N	T-P	Ca^{2+}	K^+	Na^+	Mg^{2+}
pH	1.000														
EC	-0.001	1.000													
COD_{Cr}	-0.202*	0.256*	1.000												
COD_{Mn}	-0.175*	0.427*	0.403*	1.000											
NH_3-N	-0.026	0.358*	0.155**	0.137**	1.000										
NO_3-N	-0.275*	0.536*	0.000	0.176*	-0.005	1.000									
PO_4-P	0.347*	0.123**	-0.249*	-0.010	-0.008	0.069	1.000								
Cl^-	-0.043	0.744*	0.110	0.375*	0.473*	0.233*	0.113	1.000							
SO_4^{2-}	-0.206*	0.690*	0.231*	0.433*	0.202*	0.380*	-0.019	0.476*	1.000						
T-N	-0.206*	0.381*	0.180*	0.175*	-0.023	0.758*	-0.006	0.112	0.177*	1.000					
T-P	-0.013	0.208*	0.036	0.214*	0.391*	-0.032	0.256*	0.248*	0.151**	-0.017	1.000				
Ca^{2+}	-0.041	0.641*	0.237*	0.314*	0.045	0.516*	-0.038	0.331*	0.450*	0.336*	0.038	1.000			
K^+	-0.095	0.351*	0.123**	0.161**	0.363*	0.066	0.050	0.292*	0.294*	0.006	0.237*	0.192*	1.000		
Na^+	0.126**	0.514*	0.100	0.297*	0.221*	0.028	0.266*	0.603*	0.214*	-0.046	0.321*	0.184*	0.227*	1.000	
Mg^{2+}	-0.103	0.810*	0.292*	0.369*	0.382*	0.488*	-0.017	0.543*	0.606*	0.299*	0.268*	0.747*	0.353*	0.423*	1.000

*** Significant at α <0.01**
**** Significant at α <0.05**

Table 4. Pearson correlation coefficient among ground water parameters in July

Parameters	pH	EC	COD_{Cr}	COD_{Mn}	NH_3-N	NO_3-N	PO_4-P	Cl^-	SO_4^{2-}	T-N	T-P	Ca^{2+}	K^+	Na^+	Mg^{2+}
pH	1.000														
EC	0.100	1.000													
COD_{Cr}	0.240*	0.221*	1.000												
COD_{Mn}	0.192*	0.237*	0.255*	1.000											
NH_3-N	0.027	0.214*	0.183*	0.150**	1.000										
NO_3-N	-0.266*	0.520*	0.031	-0.074	0.024	1.000									
PO_4-P	0.168*	0.111	-0.285*	-0.132**	-0.025	-0.005	1.000								
Cl^-	-0.074	0.681*	0.137**	0.170*	0.096	0.281*	0.078	1.000							
SO_4^{2-}	-0.128**	0.686*	0.194*	0.117**	0.247*	0.397*	0.003	0.488*	1.000						
T-N	-0.271*	0.437*	0.066	0.055	0.096	0.914*	-0.096	0.188*	0.314*	1.000					
T-P	0.029	0.169*	0.097	0.056	0.416*	0.013	0.177*	0.071	0.135**	0.057	1.000				
Ca^{2+}	0.036	0.566*	0.269*	0.073	0.145**	0.536*	-0.118**	0.400*	0.445*	0.491*	0.137**	1.000			
K^+	-0.078	0.306*	0.173*	0.033	0.222*	0.143**	-0.034	0.256*	0.364*	0.096	0.080	0.258*	1.000		
Na^+	0.123**	0.493*	0.171*	0.048	0.136**	0.064	0.092	0.617*	0.280*	0.028	0.407*	0.263*	0.205*	1.000	
Mg^{2+}	-0.008	0.776*	0.299*	0.170*	0.253*	0.510*	-0.018	0.642*	0.600*	0.469*	0.147**	0.731*	0.329*	0.414*	1.000

*** Significant at α <0.01**
**** Significant at α <0.05**

SO_4^{2-} 등이 양이온과 정의 상관관계를 나타내고 있다는 결과도 본 연구와 유사한 결과였지만, Ca^{2+}이 EC와 매우 높은 상관을 보이고 있다는 점에서는 상이한 결과로 조사되었다. Suk 등[15], Kim 등[16]의 연구결과에서도 EC가 Na^+, Mg^{2+} 등의 양이온들 그리고 Cl^-, SO_4^{2-} 등의 음이온들과 높은 양의 상관관계를 보이는 것으로 미루어 볼 때, 지하수 수질에서 EC와 양이온들 사이에는 어떤 밀접한 상관성이 있는 것으로 짐작될 뿐 아니라 EC에 미치는 영향이 크다는 것을 간접적으로 파악할 수 있었다.

시설재배지의 수질에 영향을 미치는 인자와 기여도 산정

인자분석시 추출하는 인자의 개수가 많으면 많을수록 설명력은 높아질 수 있지만, 인자분석을 하는 기본 목적을 상실하는 단점이 있으므로, 적절한 인자의 수를 결정하는 것은 매우 중요하다. 또한 이를 결정하는 방법에도 고유값 1 이상인 값을 기준으로 추출하는 방법, 산비탈 그림(scree plot)을 이용하는 방법, 고유값의 누적기여율에 일정 기준을 적용하는 방법 등 여러 가지가 있지만,[17] 본 연구에서는 시기별로 시설재배지의 지하수 수질에 영향을 주는 인자를 분석하기 위하

Table 5. Pearson correlation coefficient among ground water parameters in October

Parameters	pH	EC	COD_{Cr}	COD_{Mn}	NH_3-N	NO_3-N	PO_4-P	Cl^-	SO_4^{2-}	T-N	T-P	Ca^{2+}	K^+	Na^+	Mg^{2+}
pH	1.000														
EC	0.008	1.000													
COD_{Cr}	0.077	-0.009	1.000												
COD_{Mn}	0.020	0.005	0.120**	1.000											
NH_3-N	0.080	-0.006	0.446*	0.084	1.000										
NO_3-N	-0.323*	0.103	0.230*	0.048	0.089	1.000									
PO_4-P	0.144**	0.005	-0.098	0.002	-0.025	-0.108	1.000								
Cl^-	-0.125**	0.295*	0.164*	0.038	0.126**	0.402*	0.149**	1.000							
SO_4^{2-}	-0.274*	0.194*	0.319*	0.059	0.181*	0.461*	-0.010	0.697*	1.000						
T-N	-0.312*	0.054	0.129**	0.024	-0.038	0.794*	-0.142**	0.305*	0.371*	1.000					
T-P	0.136**	-0.009	0.026	0.005	0.086	-0.094	0.460*	0.016	0.010	-0.104	1.000				
Ca^{2+}	0.035	0.226*	0.342*	0.096	0.205*	0.550*	-0.238*	0.481*	0.473*	0.457*	-0.155**	1.000			
K^+	-0.225*	0.045	0.192*	0.077	0.183*	0.176*	-0.038	0.165*	0.314*	0.257*	-0.015	0.187*	1.000		
Na^+	0.094	0.154**	0.121**	-0.002	0.036	0.103	0.239*	0.581*	0.438*	0.064	0.360*	0.206*	0.123**	1.000	
Mg^{2+}	-0.004	0.239*	0.293*	0.057	0.247*	0.451*	-0.068	0.636*	0.620*	0.329*	-0.024	0.716*	0.273*	0.387*	1.000

*** Significant at α <0.01**
**** Significant at α <0.05**

여 주성분 분석법을 이용, 고유값(eigenvalue) 1 이상인 값을 기준으로 하여 인자를 추출하였다. 인자 추출 결과, 4월과 10월의 건조기에는 4개의 인자가 추출되었고 누적기여율이 각각 64.9%, 60.2%이었다. 그러나 7월의 강우기에는 5개의 인자로 추출되었으며 누적기여율은 70.7%이었다. 인자의 수를 결정함에 있어서 누적기여율은 60 ~ 80% 이상 되어야 하는데,[18] 본 연구에서도 60% 이상으로 조사되어 인자의 수를 결정하는 데는 무리가 없었다. 추출된 인자의 수에 의한 고유치는 4월 9.74, 7월 10.60, 10월 9.04로 분석되었는데, Choi[19]의 하천수 14.34보다는 낮은 결과로 조사되어 하천수에서와는 다른 경향임을 알 수 있었다(Table 6).

시설재배지의 지하수 수질에 영향을 미치는 추출된 인자 중 제일 큰 영향을 주는 제1인자는 시기별로 모두 EC, Ca^{2+}, Mg^{2+}, Cl^-, SO_4^{2-}와 같은 양이온 및 음이온들이었다(Table 7). 이들 항목들은 수질항목들 사이의 상관관계 분석에서도 서로 밀접한 상관성이 있는 것으로 조사되어, 시설재배지에서의 수질을 연구할 때에는 다른 항목들에 비해 이들 항목들에 대한 분석이 우선적으로 이루어져야 할 것으로 생각된다. 김 등[16], Helena 등[20], Papatheodorou 등[21]의 연구에서도 본 연구에서와 유사하게 시설재배지의 수질에 가장 영향을 미치는 제1인자로 EC, Ca^{2+}, Mg^{2+}, Cl^-, SO_4^{2-}, K^+, Na^+, Br^- 이 조사되었는데, 이것을 해수가 침입한 영향인 것으로 생각하였지만, 본 연구결과에서는 작물피해가 발견되지 않은 점으로 보아, 해수 침입에 의한 직접적인 영향은 아닌 것으로 판단된다. 또한 Choi[22], Kim[23]의 하천수 연구에서는 주인자인 제1인자에 속하는 항목들이 유기물 지표인 BOD와 COD, 영양염류 지표인 T-N, T-P로 조사된 결과에서 알 수 있듯이, 지하수에 영향을 미치는 인자와 하천수에 영향을 미치는 인자와는 확연한 차이를 나타내고 있음을 본 연구에서 알 수 있었다.

인자분석 결과를 이용한 군집분석

인자분석의 결과 추출된 인자의 인자점수를 이용하여 군집분석을 실시한 결과 군집의 수는 모두 4개의 군집으로 분류되었다. 군집의 수를 결정하는 방법에는 RMSSTD(root-mean-square standard deviation), SPR(semi-partial R2)의 증가 폭이 큰 지점에서 결정하는 방법, R^2의 감소 폭이 큰 지점에서 결정하는 방법, CCC(cubic clustering criterion) 값이 급격이 감소하는 지점에서 결정하는 방법 등 여러 가지 방법들이 있고, 연구자의 주관적 입장에 의존하지만, 대체적으로 첫 번째 방법인 군집화일정표에서의 계수(coefficient) 변동이 큰 지점을 이용한다.[17] 군집을 분류하고자 할 때, 군집화일정표에서의 작은 계수는 동질적인 군집이 결합되었다는 것을 의미하고 큰 계수는 매우 다른 군집들이 결합되었다는 것을 의미하므로, 계수가 크게 바뀌고 있는 지점에서 군집의 수를 결정하는 것이 타당하다.[7] 따라서 본 연구에서는 207단계에서 208단계로 넘어갈 때 계수가 110이상으로 크게 바뀌고 있으므로 1단계에서 207단계까지 한 군집으로, 208단계부터 210단계까지 각 단계를 한 군집씩으로 분류하여 모두 4개의 군집으로 분류하는 것이 타당할 것으로 생각된다(Table 8).

전체 211개 지점 중 대부분인 149개 지점이 속했던 A그룹은 COD_{Mn}이 높게 조사된 그룹으로, 우리나라 시설재배지의 일반적인 지하수 수질 경향이라 생각할 수 있으며, 두 번째로 41개 지점이 속하는 B그룹은 대부분의 충북지역과 경

Table 6. Eigenvalues of factors extracted from factor analysis and the proportion of variance explained by the factor for the data sets of the two dry periods and one wet period

Component	Dry period						Wet period		
	April			October			July		
	Eigenvalue	% Variance	Cumulative variance %	Eigenvalue	% Variance	Cumulative variance %	Eigenvalue	% Variance	Cumulative variance %
1	4.951	33.007	33.007	4.231	28.207	28.207	4.784	31.892	31.892
2	2.147	14.312	47.319	2.034	13.558	41.765	1.995	13.300	45.192
3	1.557	10.382	57.701	1.530	10.199	51.963	1.482	9.880	55.072
4	1.087	7.245	64.946	1.242	8.280	60.243	1.249	8.326	63.399
5	0.964	6.428	71.374	0.990	6.597	66.840	1.092	7.283	70.682
6	0.805	5.367	76.741	0.967	6.448	73.288	0.874	5.826	76.508
7	0.761	5.071	81.812	0.806	5.373	78.661	0.869	5.792	82.300
8	0.661	4.404	86.216	0.728	4.853	83.514	0.605	4.035	86.336
9	0.595	3.968	90.183	0.607	4.048	87.561	0.539	3.596	89.931
10	0.465	3.101	93.285	0.541	3.604	91.166	0.476	3.173	93.104
11	0.397	2.649	95.934	0.429	2.859	94.025	0.432	2.883	95.987
12	0.261	1.738	97.672	0.308	2.051	96.076	0.215	1.431	97.418
13	0.139	0.926	98.598	0.215	1.435	97.510	0.188	1.253	98.671
14	0.128	0.852	99.450	0.205	1.367	98.877	0.142	0.947	99.618
15	0.082	0.550	100.000	0.168	1.123	100.000	0.057	0.382	100.000

Table 7. Varimax rotated factor loadings and communalities for the two dry periods and one wet period

Parameters	Dry period										Wet period					
	April					October					July					
	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Communalities	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Communalities	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Factor 5	Communalities
pH	0.056	-0.314	-0.216	0.699	0.637	0.127	-0.758	0.041	0.159	0.617	-0.018	-0.209	0.728	-0.020	0.400	0.735
EC	0.786	0.402	0.300	0.166	0.897	0.556	-0.159	-0.076	-0.227	0.392	0.748	0.462	0.225	0.074	0.111	0.842
COD_{Mn}	0.668	-0.019	0.090	-0.199	0.494	-0.019	0.030	0.002	0.330	0.110	0.081	0.031	0.636	0.056	-0.142	0.436
COD_{Cr}	0.542	-0.145	-0.032	-0.530	0.596	0.198	0.039	-0.057	0.771	0.638	0.167	0.063	0.643	0.144	-0.394	0.621
NH_3-N	0.164	-0.056	0.782	-0.074	0.647	0.082	-0.080	0.028	0.784	0.629	0.103	0.067	0.117	0.805	-0.180	0.709
NO_3-N	0.225	0.925	-0.004	0.010	0.906	0.416	0.704	-0.170	0.108	0.709	0.179	0.927	-0.156	-0.027	0.005	0.916
PO_4-P	-0.037	0.080	0.143	0.776	0.630	-0.015	-0.075	0.780	-0.094	0.623	0.124	-0.061	-0.182	0.105	0.800	0.703
T-N	0.125	0.822	-0.061	-0.099	0.705	0.297	0.758	-0.176	0.012	0.694	0.053	0.937	-0.073	0.058	-0.065	0.895
T-P	0.075	-0.045	0.693	0.171	0.517	-0.032	-0.073	0.789	0.107	0.640	0.123	0.020	0.027	0.834	0.245	0.772
Cl^-	0.627	0.091	0.467	0.196	0.658	0.808	0.235	0.231	0.025	0.762	0.864	0.133	0.046	-0.083	0.060	0.776
SO_4^{2-}	0.637	0.287	0.227	-0.120	0.553	0.656	0.432	0.145	0.217	0.685	0.655	0.338	-0.012	0.141	-0.175	0.594
Na^+	0.572	-0.165	0.315	0.415	0.627	0.590	-0.013	0.568	0.017	0.670	0.722	-0.099	0.103	0.230	0.226	0.646
K^+	0.197	0.056	0.623	-0.082	0.436	0.063	0.467	0.108	0.371	0.372	0.527	-0.035	-0.145	0.209	-0.417	0.518
Mg^{2+}	0.730	0.385	0.314	0.006	0.779	0.797	0.174	-0.046	0.284	0.748	0.690	0.522	0.212	0.094	-0.066	0.807
Ca^{2+}	0.665	0.459	-0.080	0.014	0.659	0.719	0.187	-0.326	0.296	0.746	0.436	0.614	0.232	0.064	-0.093	0.633

북지역 시설재배지가 속한 그룹으로서, pH와 PO_4-P가 높은 그룹이었다. 세 번째 그룹은 16개 지점이 속하는 C그룹으로, 양이온, 음이온, EC가 높은 경향으로 특히 NH_3-N, NO_3-N, T-N이 높은 그룹이었는데, 이 그룹에 속하는 지점들에서는 지하수를 관개용수로 이용시 작물에 영향을 미치는 EC농도와 영양염류의 농도가 높은 점을 감안하여 특히 주의해서 이용하여야 할 것으로 생각된다. 또한 마지막 그룹은 5개 지점이 속하는 D그룹으로서 수질기준항목인 COD_{Cr}이 높은 그룹으로 분류되었는데, 이처럼 군집을 분류하여 수질의 특성을 파악하게 된다면, 향후 지하수 오염지역의 집단 관리 측면에서나 수질 특성에 따른 비료의 적정량 투입 등의 농업환경보전 측면에서도 용이하게 이용가능 할 것이라 판단된다(Fig. 1).

Table 8. List of community showing the stage of joint community

Stage	Joint community		Coefficient	Next stage
	Community 1	Community 2		
1	15	30	0.010	90
2	144	192	0.020	16
3	154	175	0.034	22
4	86	114	0.055	38
5	98	150	0.078	19
...	...	...	...	...
...	...	...	...	...
205	5	20	548.573	206
206	1	5	610.634	207
207	1	11	676.961	209
208	2	80	786.624	209
209	1	2	911.904	210
210	1	12	1050.000	0

요 약

본 연구는 농촌유역 시설재배지에 대한 농업용 지하수의 수질 경향을 파악하여 기초자료로서 이용하고자 하였고, 또한 이들 결과들에 대한 특성을 파악하기 위하여 다변량 분석을 이용하는 등 다각적인 방법을 시도하고자 하였다. 수질분석 결과, 일부 지점에 대하여 한시적으로 농도가 높은 경우는 있었지만, 평균 농도로 볼 때, 농업용수 수질기준에 적합하였고, 농작물에 대한 피해가 없는 비교적 양호한 것으로 조사되었다. 수질항목간의 상관관계는 영농활동 전인 4월과 영농활동기인 7월에는 EC와 Mg^{2+}가 각각 0.810($p<0.01$), 0.776($p<0.01$)으로 가장 높은 양의 상관관계를 보여 EC와 양이온 간에는 상관성이 있음을 보여 주었고, 영농활동후인 10월은 NO_3-N과 T-N이 0.794($p<0.01$)로 가장 높은 양의 상관관계를 보여, 4월과의 상관성 차이가 뚜렷하여 같은 건조기라 할지라도 상이한 결과가 나타날 수 있음을 간접적으로 알 수 있었다. 또한 시설재배지의 지하수 수질에 영향을 주는 인자로 건조기인 4월과 10월에는 4개의 인자가 각각 64.9%, 60.2%의 누적기여율로 추출되었고, 7월의 경우는 5개의 인자가 70.7%로 추출되었는데, 주인자인 제1인자에 속하는 수질항목들이 시기별로 모두 EC, Ca^{2+}, Mg^{2+}, Cl^-, SO_4^{2-}와 같은 양이온 및 음이온들이었으므로 시설재배지에서의 지하수 수질은 이들에 의해 영향을 많이 받고 있는 특성임을 알 수 있었다. 인자점수를 이용한 군집분석 결과 4개의 군집으로 분류되었는데, 이들 중 COD_{Mn}의 농도가 높고, 평균적인 시설재배지 지하수 수질의 경향을 보이는 149개 지점의 A그룹은 우리나라에서의 일반적인 시설재배지 지하수 수질특성을 보여주고 있다고 할 수 있다. 뿐만 아니라 pH와 PO_4-P가 높

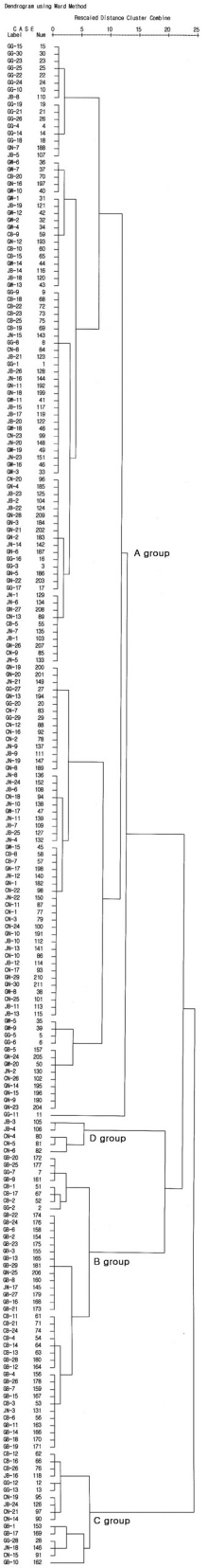

Fig. 1. Dendrogram by cluster analysis of 211 monitoring sites in Korea.

은 41개 지점의 B그룹, 양이온, 음이온, EC가 높은 경향으로 특히 NH_3-N, NO_3-N, T-N이 높은 16개 지점의 C그룹, 그리고 COD_{Cr}이 높은 5개 지점의 D그룹으로 분류되어 시설재배지 지하수 수질 특성은 각각 그룹별로 뚜렷하게 구분되고 있음을 알 수 있었다.

참고문헌

1. Duda, A. M. (1993) Addressing nonpoint sources of water pollution must become an international priority. *Water Sci. Technol*. **28,** 1-11.
2. Jung, G. B., Lee, J. S. and Kim, B. Y. (1996) Survey on groundwater quality under plastic film house cultivation areas in southern part of Gyeonggi province. *Kor. J. Soil Sci. Fert*. **29**(4), 389-395.
3. Bergstrom, L. (1987) Nitrate leaching and drainage from annual and perennial crops in tile-drained plots and lysimeters. *J. Environ. Qual*. **16**, 11-18.
4. Lee, D. B., Lee, K. B. and Rhee, K. S. (1996) Changes of chemical contents in groundwater at controlled horticulture in Honam area. *Kor. J. Environ. Agric*. **15**(3), 348-354.
5. Yun, S. G. and Yoo, S. H. (1993) Behaviour of NO_3-N in soil and groundwater quality. *Kor. J. Environ. Agri*. **12**(3), 281-297.
6. Ministry of Environment (2002) Korean standard methods for water quality. Gwacheon, Korea.
7. Park, S. H., Cho, S. S. and Kim, S. S. (2005) SPSS (ver. 12.0k). Datasolution, Seoul. p. 519.
8. Ministry of Environment (2003) Standard of water for agriculture. Gwacheon, Korea.
9. Kim, B. Y. (1988). Water pollution and agriculture. *Kor. J. Environ. Agric*. **7**, 152-169.
10. An, Y. J., Lee, W. M. and Yoon, C. G. (2006) Evaluation of Korean water quality standards and suggestion of additional water parameters. *Kor. J. Limnol.* **39**(3), 285-295.
11. Johnson, A. H., Bouldin, D. R., Goyette, E. A. and Hedges, A. M. (1976) Nitrate dynamics in Fall Creek, New York. *J. Environ. Qual*. **5**, 386-391.
12. Madison, R. J. and Brunett, J. O. (1985) Overview of the occurrence of nitrate in ground water in the United State. In U.S.G.S National water summary 1984, *U.S. Geol. Surv.*, **2275**, 93-105.
13. Knox, E. and Moody, D. W. (1991) Influence of hydrology, soil properties, and agricultural land use on nitrogen in ground water. In managing nitrogen for ground water quality and farm profitability. *Soil Sci. Soc. Am.* **55**(1), 19-57.
14. Rheem, C. H. and Choi, M. Y. (2004) A study on the factor analysis and water properties of groundwater in Ansan city. *The Geographical J. of Korea* **38**(3), 307-318.
15. Suk, H. J. and Lee, K. K. (1999) Characterization of a ground water hydrochemical system through multivariate analysis: clustering into ground water zones. Ground Water 37(3), 358-366.
16. Kim, J. H., Kim, R. H., Lee, J. H., Cheong, T. J., Yum, B. W. and Chang, H. W. (2005) Multivariate statistical analysis to identify the major factors governing groundwater quality in the coastal area of Kimje, South Korea. *Hydrol. Process*. 19, 1261-1276.
17. Huh, M. H. (2005) Multivariate data analysis for social sciences. Freedom Academy, Paju, p. 223.
18. 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, Korea.
19. Choi, M. Y. (2001) A study on the properties of regional water quality in Ansan. MS. Thesis, Kyeonggi University, Suwon, Korea.
20. Helena, B., Pardo, R., Vega, M., Barrado, E., Fernandez, J. M. and Fernandez, L. (2000) Temporal evolution of groundwater composition in an alluvial aquifer (Pisuerga river, Spain) by principal component analysis. *Wat. Res*. **34**, 807-816.
21. Papatheodorou, G., Lambrakis, N. and Panagopoulos, G. (2007) Application of multivariate statistical procedures to the hydrochemical study of a coastal aquifer: an example from Crete, Greece. *Hydrol. Process*. **21**, 1482-1495.
22. 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.
23. Kim, J. G. (2005) Evaluation of water quality in the Keum river using statistics analysis. *J. Kor. Env. Sci*. **11**, 1281-1289.