

## 통계적 분석을 이용한 간이급수시설의 오염원에 관한 연구

이흥근 · 김현용 · 백도현 · 김지영 · 이태호\*  
서울대학교 보건대학원 · 농어촌진흥공사 농어촌연구원\*

### A Study on the Pollution Sources of Simple Water Supply Piped System using Statistical Analysis

Hong-Keun Lee · Hyun-Yong Kim · Do-Hyun Paik · Ji-Young Kim · Tae-Ho Lee\*  
*Graduate School of Public Health, Seoul National University*  
*Rural Research Institute, Rural Development Corporation\**

#### Abstract

This study was performed to suggest the basic data and plans for the establishment of safe water supply plans in simple water supply piped system in the rural areas. In 4 different places, 24 points of water sources, 36 points of taps from water sources were sampled. Of the whole 60 points, 55 points were ground water and 5 points were surface water. 14 items were measured for the analysis of water quality on each samples. The measured items were analyzed again by statistical method ; cluster analysis and principle components analysis.

The results of this study are as followed. 1) In water quality analysis on water sources, 4 items, bacteria, *E.coli*,  $\text{NH}_3\text{-N}$  and Fe, exceed the standard. Of 24 points, 20 points(83%) on bacteria, 1 point(4%) on  $\text{NH}_3\text{-N}$  and Fe exceed the standard. 2) In water quality analysis on near and remote taps, 4 items, bacteria, *E.coli*,  $\text{NH}_3\text{-N}$  and Fe, exceed the standard. Of 36 points, 20 points(81%) on bacteria, 1 point(3%) on  $\text{NH}_3\text{-N}$  and Fe exceed the standard. 3) Cluster analysis on water quality shows the differences by the kinds of water sources, geographical characteristics and distance from water sources. 4) Principle components analysis on ground water shows that Factor 1 and Factor 3 are natural fluctuation by the content of soil. Also, Factor 2 and Factor 4 are penetration of pollutants to underground. Therefore, it is needed to take deeper ground water in order to prevent from pollution in the areas which have ground water as water source. 5) Principle components analysis on surface water shows that Factor 1 is penetration of bacteria from surface to water source when rainfalls. Also, Factor 2 is fluctuation of water quality by the geographical characteristics. Therefore, the counterplans against non-point pollution source must be taken. Filtration and disinfection facilities are needed in the areas which have surface water as water source.

## I. 서론

경제발전과 더불어 생활수준의 향상으로 물의 사용량이 증가하여 위생적인 측면에서의 안전급수의 확보는 매우 중요시되고 있다.<sup>1)</sup>

1994년말 현재 상수도 공급을 받고 있는 인구는 전체 국민의 82.1%인 37,251천명이며, 나머지 8,161천명은 상수도 혜택을 받지 못하고 있다. 급수지역 또한 특별시·광역시와 시급에 집중되어 있어 6대 도시의 상수도 보급률은 98.5%에 이르렀으나 도지역은 67.1%에 불과한 실정이다.<sup>2)</sup>

1970년대부터 10개년 계획에 의하여 전국 농·어촌지역에 설치한 간이급수시설은 농·어촌지역의 생활향상에 크게 기여한 바 있으나 현재 대부분의 간이급수시설은 설치 당시의 기술적 결함, 불완전한 정수처리 및 시설의 노화, 축산폐수, 생활하수, 공장폐수, 강우시 토양유출, 농경지에 투입되는 비료 및 농약사용 등에 의한 급수원의 수질악화, 수혜자들의 인식부족, 지속적인 유지관리의 소홀 등으로 인하여 식수 적합도가 현저히 낮은 수준을 보이는 등 많은 문제점이 지적되고 있다.<sup>3,4)</sup>

그러나 농·어촌지역의 오염원은 그 구분이 어렵고, 오염원이 간이급수시설의 수질에 끼치는 영향이 수원의 종류, 강수량, 토질의 상태 등 다양한 자연조건에 의해 크게 변동함에 따라 단순한 통계적 방법을 통한 오염원 평가가 미흡하다는 지적이 있으며, 최근에는 오염원의 종합적인 평가수단으로 다변량분석이 많이 이용되고 있다.<sup>5,7)</sup>

본 연구에서는 간이급수시설의 안전급수대책 수립의 기초자료를 제시할 목적으로 간이급수시설의 수원 및 수도전에서 수질을 조사하였으며, 통계적 방법 중 군집분석과 주성분분석 등을 이용하여 농·어촌 지역 간이급수시설의 오염원에 대한 종합적 평가를 수행하였다.

## II. 연구대상 및 방법

### 1. 연구기간 및 대상지역

본 연구는 1996년 7월과 8월에 4회에 걸쳐 간이급수시설 상수원 및 수도전의 수질과 오염원을 조

사하였으며, 연구 대상지역은 농·어촌 유형에 따라 수도권 근교촌, 내륙농업 중심촌, 내륙교통 중심촌, 해안 평야촌 등 4개 지역으로 구분하였다.

연구 대상지역 중 수도권 근교촌은 충북 청원군 북일면 비상리를 대상지역으로 선정하였으며, 내륙농업 중심촌은 충북 청원군 현도면 노산리, 내륙교통 중심촌은 충남 아산시 도고면 도산리, 해안 평야촌은 충남 보령시 천북면 사호리를 선정하였다.

## 2. 수질조사

### 2.1 조사대상 항목

원수와 수도전의 수질조사는 일반세균, 대장균군 등의 미생물 항목과  $Cr^{6+}$ ,  $NH_3-N$ ,  $NO_3-N$  등의 건강상 유해물질 및 경도,  $KMnO_4$ 소비량, Cu, pH, Zn, Fe, Mn, 탁도,  $SO_4^{2-}$  등의 심미적 영향물질 등 총 14개 항목에 대하여 실시하였다.

### 2.2 수질분석 방법

채수된 시료의 항목별 분석방법 중 pH는 pH meter(HACH Co., model 43800)로 측정하였으며, 탁도는 탁도계(HACH Co. Turbidimeter 2100P)로,  $KMnO_4$ 소비량은  $KMnO_4$ 적정법으로,  $NH_3-N$ 는 인도페놀법으로,  $NO_3-N$ 는 카드뮴환원법으로, 경도는 EDTA적정법으로,  $SO_4^{2-}$ 는 염화바륨법으로 측정하였다. 중금속류는 원자흡광광도법(Varian AA-30A)으로, 대장균군은 MPN법으로, 일반세균은 수질오염공정시험법 중 일반세균시험법에 따라 Nutrient 배지를 사용하여 측정하였다.<sup>8,9)</sup>

## 3. 오염원 평가 방법

간이급수시설의 오염원 평가는 연구대상 지역에서 실시한 현지조사와 수질조사 결과를 바탕으로 통계적 방법인 군집분석과 주성분분석 등 다변량 분석을 이용하여 수행하였다.

군집분석은 수원과 수원으로부터 거리에 따른 수질상의 차이를 파악하였으며, 주성분분석은 수질 분석항목들을 서로 독립적인 소수의 새로운 요인들로 나타내고, 각 변수와 요인간의 관계를 검토하였다.

군집분석은 각 객체가 군집의 구성원이 됨을 객

체사이의 “상사성”(또는 비상사성)에 근거하여 식별함으로써 전체 다변량 자료의 구조를 파악하고 군집형성 과정과 그 특성, 그리고 식별된 군집간의 관계 등을 분석하는 과정이며,<sup>10)</sup> 주성분분석은 변수들간의 상관관계를 이용하여 서로 유사한 변수끼리 묶어주는 방법, 즉 상호간의 상관성을 갖는 여러 종류의 변수들의 정보를 큰 손실 없이 서로 독립적인 소수개의 종합 특성치로 요약해내는 과정이다.<sup>11)</sup>

### 3.1 군집분석

군집분석이란 각 객체들을 몇 개의 작은 집단으로 분류하여 다변량 자료를 구조적으로 단순하게 만들어 해석을 용이하게 할 수 있는 다변량 분석 기법이다. 군집분석을 수행하기 위해서는 먼저 군집되는 각 객체들 간의 상사성과 비상사성의 정도를 측정하는 기준척도가 필요하다. 이 기준 척도으로써 ‘거리’라는 개념을 생각해 볼 수 있다.

우선  $X_{jk}$ 를  $j$ 번째 객체의  $k$ 번째 변수에 대한 측정값이라 하고, 객체  $j$ 의  $p$ 개 변수에 대한 측정값들의 집합을  $j$ 번째 행벡터  $X_j'=(X_{j1}, X_{j2}, \dots, X_{jp})$ 라 하면 모든 객체수가  $N$ 인 자료행렬  $X$ 는 다음 식 (1)의  $(N \times P)$ 의 행렬로 표기된다.

$$X(N \times P) = \begin{pmatrix} X_{11} & X_{12} & \dots & X_{1P} \\ X_{21} & X_{22} & \dots & X_{2P} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ X_{M1} & X_{M2} & \dots & X_{MP} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \vdots \\ X_N \end{pmatrix} \quad (1)$$

어느 한 쌍의 관측벡터  $X_i'=(X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{ip})$ 와  $X_j'=(X_{j1}, X_{j2}, \dots, X_{jp})$  ( $i, j=1, \dots, N$ )사이의 비상사성을 측정하는 가장 기본적인 방법은  $X_i'$ 와  $X_j'$ 간의 “거리”,  $d_{ij}=d(X_i, X_j)$ 를 측정하는 것이다.

거리를 측정하는 방법은 상당히 많은데 그중 많이 고려되고 있는 Minkowski 거리를 보면 다음 식 (2)와 같다.

$$d_{ij} = d(X_i, X_j) = \left[ \sum_{k=1}^p |X_{ik} - X_{jk}|^m \right]^{1/m} \quad (2)$$

위의 식 (2)에서  $m=1$ 일 경우 도시의 block간의 거리를 나타내며,  $m=2$ 일 경우는 자주 사용되는 유클리드(Euclid)거리가 되며  $m$ 의 변화에 따라, 즉  $m$ 이 커질수록 거리는 작아진다. 그러나 위의 방법에 따른 거리들은 척도불변성(scale invariance)을 가지지 않아서 때로 각 관측벡터를 얻는데 사용되는 척도의 변화에 따라 크게 왜곡되므로 주의가 요구된다. 이와 같은 문제를 감안하여 본 논문에서 각 변수를 표준화하여 거리를 계산하였다.

위 식 (2)로  $N$ 개의 다변량 관찰값들로 부터 얻은 크기  $N \times N$  거리행렬,  $D$ 를 가지고 시작하는 계보적 군집방법(hierarchical clustering method)은 “가까운” 객체들끼리 묶어감으로써 군집을 만들어 가는 병합적(agglomerative)방법과, 반대로 “먼” 객체들을 나누어가는 분할적(divisive)방법으로 나눌 수 있다. 이와같은 계보적 군집방법은 어떤 객체가 일단 다른 군집에 속하면 다시는 같은 군집에 속하지 못하는 성질을 가지고 있다.

병합적 방법은 군집간의 거리를 어떻게 정의하느냐에 따라 달라진다. 본 논문에서는 최장연결법(Complete Linkage Method)을 사용하였으며 이 방법은 두 군집  $C_1$ 과  $C_2$  사이의 거리를, 두 군집에 속하는 객체들 사이의 거리 중 최장거리를 사용하며 아래와 같이 식 (3)으로 정의한다.

$$d\{(C_1)(C_2)\} = \max \{d(x, y) \mid x \in C_1, y \in C_2\} \quad (3)$$

### 3.2 주성분분석

여러개 ( $p \geq 2$ )의 반응변수(response variable)에 대하여 얻어진 다변량자료를 분석의 대상으로 하는 주성분 분석은 다차원적인 변수들을 축소, 요약하는 차원의 단순화와 더불어 일반적으로 서로 상관되어 있는 반응변수들 상호간의 복잡한 구조를 분석하는데 그 목적을 두고있다.

구체적으로,  $N$ 개의 측정에서  $p$ 종의 항목에 관하여 관측이 행하여졌다고 하면, 이들의 변수(관측치)를 식 (4)와 같이 열 벡터로써 표시할 수 있으며, 다시 식 (5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$x_1 = \begin{bmatrix} x_{11} \\ x_{12} \\ \vdots \\ x_{1N} \end{bmatrix}, x_2 = \begin{bmatrix} x_{21} \\ x_{22} \\ \vdots \\ x_{2N} \end{bmatrix}, \dots, x_p = \begin{bmatrix} x_{p1} \\ x_{p2} \\ \vdots \\ x_{pN} \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$X = [x_1, x_2, \dots, x_p]^T \quad (5)$$

그리고, 이 시스템의 변동은 선형결합으로 새로운 함수(주성분) 식 (6)의 Y로서 표시할 수 있다.

$$Y_1 = I_{11}x_1 + I_{12}x_2 + \dots + I_{1p}x_p = I_1^T X \quad (6)$$

$$Y_2 = I_{21}x_1 + I_{22}x_2 + \dots + I_{2p}x_p = I_2^T X$$

⋮  
⋮  
⋮

$$Y_p = I_{p1}x_1 + I_{p2}x_2 + \dots + I_{pp}x_p = I_p^T X$$

식 (6)에서 I은 계수 벡터이며, 상관행렬 R의 고유방정식  $|R - \lambda I| = 0$ 을 만족시키는 고유값  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_p$  ( $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_p$ )에 대한 고유 벡터로써 구하게 되며, 여기서 R는 식 (7)에 의하여 정의된다.

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1p} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ r_{ip} & r_{2p} & \dots & r_{pp} \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$r_{ij} = \frac{\sigma_{ij}}{\sqrt{\sigma_{ii}\sigma_{jj}}}, \sigma_{ij} = \frac{1}{N-1} a_{ij},$$

$$a_{ij} = \sum_{k=1}^N (x_{ik} - \bar{x}_i)(x_{jk} - \bar{x}_j)$$

여기서, 변수 X의 변동의 대부분을 소수개의 주성분의 변동으로 설명할 수 있어 많은 수의 변수를 일일이 검토하지 않아도 전체 시스템을 용이하게 파악할 수 있다.

첫 주성분부터 선택되어진 주성분까지 원래 data의 특징을 얼마만큼 설명할 수 있는가는 누적 기여율에서 구할 수 있다. i번째까지의 누적기여율은 다음과 같이 식 (8)로 정의된다.

$$\frac{\sum_{k=1}^i \lambda_k}{\sum_{k=1}^p \lambda_k} \times 100 = \frac{\sum_{k=1}^i \lambda_k}{p} (\%) \quad (8)$$

각 주성분과 변수와의 관련정도는 인자부하량에서 검토되며, 인자 부하량은 다음 식(9)와 같으며, 식 (10)의 성질을 갖는다.

$$r(Y_i, x_j) = \sqrt{\lambda_i} I_{ij} \quad (9)$$

$$\sum_{i=1}^p (\lambda_i I_{ij}^2) = 1, \sum_{j=1}^p (\lambda_j I_{ij}^2) = \lambda_i \quad (10)$$

## II. 결과 및 고찰

### 1. 수질현황

#### 1.1 상수원

상수원의 수질을 파악하기 위하여 연구대상 지역의 간이상수도 상수원 24개소를 대상으로 수질 조사를 실시하였으며, 그 결과는 Table 1과 같다.

Table 1에 나타낸 바와 같이 북일면의 경우 미생물 항목은 전 조사지점에서 모두 음용수 수질기준을 초과하고 있고 건강상 유해물질은 질산성질소가 1개소에서 기준치의 2배를 초과하고 있으며 심미적 영향물질은 모두 기준이내인 것으로 나타났다. 현도면은 미생물 항목의 경우 6개 조사지점 중 5개 지점에서 기준을 초과하고 있으나 건강상 유해물질과 심미적 영향물질은 전 조사지점에서 기준이내인 것으로 나타났다. 도고면은 미생물 항목 경우 전 조사지점에서 기준을 초과하고 있고 건강상 유해물질은 모두 기준이내인 것으로 나타났으며, 심미적 영향물질은 철분이 1개소에서 기준을 초과하는 것으로 나타났다. 천북면은 미생물 항목의 경우 5개 조사지점 중 2개 지점에서 기준을 초과하는 것으로 나타났으나 건강상 유해물질과 심미적 영향물질은 전 조사지점에서 기준 이내인 것으로 나타났다.

간이급수시설의 상수원 수질 분석결과, 음용수 수질기준을 초과하는 항목은 일반세균, 대장균군, 질산성질소 및 철분의 4개 항목이며, 미생물 항목은 총 24개 조사지점 중 83%인 20개소에서 기준을 상회하고 있으며, 질산성질소와 철분은 각각 1개소에서 기준을 초과하는 것으로 나타났다.

Table 1. Water quality in water sources of simple water supply piped system

Division	Item	standard	Bukilmyun (9 points)	Hyundomyun (6 points)	Dogomyun (4 points)	Cheonbukmyun (5 points)
Microbiological Items	Bacteria	<100/1ml	N.D.*-30,000	N.D.-30,000	N.D.-20,000	N.D.-3,200
	Coliform	N.D./50ml	negative-positive	negative-positive	negative-positive	negative-positive
	Standard excess number		9	5	4	2
Health-Hazardous materials	Cr <sup>6+</sup>	<0.05mg/ℓ	N.D.	N.D.-0.06	N.D.	N.D.
	NH <sub>3</sub> -N	<0.5mg/ℓ	N.D.-0.06	N.D.-0.06	N.D.-0.17	N.D.-0.11
	NO <sub>3</sub> -N	<10mg/ℓ	0.04-23.7	0.4-9.0	0.04-9.2	0.04-5.2
	Standard excess number		1	0	0	0
Aesthetical effect materials	Hardness	<300mg/ℓ	13.5-152.2	17.3-138.8	36.6-116.4	14.6-113.1
	KMnO <sub>4</sub> Consumption	<10mg/ℓ	0.4-6.5	0.2-3.6	0.2-3.7	N.D.-0.7
	Cu	<1mg/ℓ	N.D.-0.02	N.D.-0.02	N.D.-0.01	N.D.-0.01
	pH	5.8-5.3	6.1-7.4	6.3-7.3	6.2-7.6	6.8-7.8
	Zn	<1mg/ℓ	N.D.-0.19	N.D.-0.04	N.D.-0.11	N.D.-0.12
	Fe	<0.3mg/ℓ	N.D.-0.13	N.D.-0.13	N.D.-0.70	N.D.-0.08
	Mn	<0.3mg/ℓ	N.D.-0.03	N.D.-0.01	N.D.-0.14	N.D.-0.04
	Turbidity	<2	<2	<2	<2	<2
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	<200mg/ℓ	1.6-26.6	2.9-34.5	4.9-19.9	1.2-14.3
	Standard excess number		0	0	1	0

\* N.D. : Not detected

## 1.2 수도전

수도전의 수질을 파악하기 위하여 연구대상 지역의 간이상수도 수도전 36개소를 대상으로 수질 조사를 실시하였으며, 그 결과는 Table 2와 같다.

Table 2에 나타난 바와 같이 북일면의 경우 미생물 항목은 전 조사지점에서 모두 음용수 수질기준을 초과하고 있고 건강상 유해물질은 질산성질소가 1개소에서 기준치의 2배를 초과하고 있으며 심미적 영향물질은 모두 기준이내인 것으로 나타났다. 현도면은 미생물 항목의 경우 11개 조사지점 중 9개 지점에서 기준을 초과하고 있으나 건강상 유해물질과 심미적 영향물질은 모두 기준이내인 것으로 나타났다. 도고면은 미생물 항목 경우 전 조사지점에서 기준을 초과하고 있고 심미적 영향물질은 철분이 1개소에서 기준을 초과하고 있으며, 건강상 유해물질은 전 조사지점에서 기준이내인

것으로 나타났다. 천북면은 미생물 항목의 경우 9개 조사지점 중 4개 지점에서 기준을 초과하고 있으며, 건강상 유해물질과 심미적 영향물질은 전 조사지점에서 기준이내인 것으로 나타났다.

간이급수시설의 수도전 수질 분석결과, 음용수 수질기준을 초과하는 항목은 일반세균, 대장균군, 질산성질소 및 철분의 4개 항목이며, 미생물 항목은 총 조사지점 36개소 중 81%인 29개소에서 기준치를 초과하고 있으며, 질산성질소와 철분은 각각 1개소에서 기준치를 초과하고 있어 상수원에서 수질 분석결과와 비슷한 경향을 보이는 것으로 나타났다.

## 2. 균집분석

균집분석에 사용된 자료는 수질 측정항목 중 12개의 항목(일반세균, 대장균군, NH<sub>3</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N, 경

Table 2. Water quality in tap water of simple water supply piped system

Division	Item	standard	Bukilmyun (10 points)	Hyundomyun (11 points)	Dogomyun (6 points)	Cheonbukmyun (9 points)
Microbiological Items	Bacteria	<100/1ml	N.D.*-30,000	N.D.*-29,000	N.D.*-30,000	N.D.*-4,100
	Coliform	N.D./50ml	negative-positive	negative-positive	negative-positive	negative-positive
	Standard excess number		10	9	6	4
Health-Hazardous materials	Cr <sup>6+</sup>	<0.05mg/ℓ	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
	NH <sub>3</sub> -N	<0.5mg/ℓ	N.D.-0.16	N.D.-0.11	N.D.-0.17	N.D.-0.23
	NO <sub>3</sub> -N	<10mg/ℓ	0.09-23.6	0.4-21.3	0.04-21.2	0.04-3.8
	Standard excess number		1	0	0	0
Aesthetical effect materials	Hardness	<300mg/ℓ	13.5-152.4	17.3-166.2	36.6-117.9	14.6-96.0
	KMnO <sub>4</sub> Consumption	<10mg/ℓ	0.2-6.5	0.2-8.2	0.1-2.3	N.D.-0.9
	Cu	<1mg/ℓ	N.D.-0.04	N.D.-7.1	N.D.-0.01	N.D.-0.01
	pH	5.8-5.3	6.1-7.4	6.3-7.3	6.2-7.7	6.0-7.8
	Zn	<1mg/ℓ	N.D.-0.5	N.D.-0.73	N.D.-0.07	N.D.-0.14
	Fe	<0.3mg/ℓ	N.D.-0.02	N.D.-0.04	N.D.-0.35	N.D.-0.08
	Mn	<0.3mg/ℓ	N.D.-0.03	N.D.-0.01	N.D.-0.16	N.D.-0.04
	Turbidity	<2	<2	<2	<2	<2
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	<200mg/ℓ	1.6-37.1	2.9-49.5	4.9-19.5	0.6-14.3
	Standard excess number		0	0	1	0

\* N.D. : Not detected

도, KMnO<sub>4</sub>소비량, pH, Zn, Fe, Mn, Turbidity, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)을 이용하였다. 분석항목 중 12개 항목만을 사용한 이유는 Cu와 Cr<sup>6+</sup> 등의 농도가 음용수 수질 기준에 비해 훨씬 낮아 오염원인이 아니면서도 군집형성에 잡음(White Noise)으로 작용할 것으로 판단되기 때문이다. 또 이론에서도 언급한 바와 같이 각 변수의 영향을 고르게 나타내기 위해 변수들의 농도를 Z값으로 표준화하여 분석에 사용하였다.

군집 분석의 결과는 Fig. 1에서 나타난 바와 같이 rescaled 거리가 8.5인 곳에서 '-----' 선으로 군집을 분류한다면 군집은 1~3, 4~5, 6~7, 8~13, 14~18, 19~20, 21~24, 25~27, 28~37, 38~40, 41~44, 45~46, 47~53, 54~56, 57, 58~59, 60로 나누어진다.

군집형성을 우선 수원별로 살펴보면, 군집의 대부분이 수원의 종류가 같은 것끼리 묶여 수원에 따라 수질이 다르다는 것을 나타내고 있다.

수원으로부터의 거리에 따른 군집형성을 살펴보

면 도고면 봉당리, 북일면 인평, 도고면 석당리, 천북면 천궁, 현도면 대원이 등 비교적 많은 지역에서 같은 수원을 가지고 있는 수도전의 수질이 다른 군집에 속해 있어 배수과정 중에 오염물질의 유입이 있는 것으로 판단된다. 이들 지역의 수질을 살펴보면, 특히 미생물 항목이 수원(A), 수원에서 가까운 수도전(B), 수원에서 먼 수도전(C)에서 서로 다른 수질을 보이고 있어 배수관의 노후나 파손 등으로 인하여 하수구나 축산폐수의 오염물질이 관으로 유입되고 있음을 알 수 있었다.

군집형성을 전체적으로 보았을 때, 수원의 종류, 지역적 특성, 수원으로부터의 거리 등의 요인에 의해 군집이 나뉘어 지고 있어 다소 복잡한 구조를 보이는 것으로 나타났다.

### 3. 주성분 분석

주성분 분석에서는 군집분석의 결과에서 나타난 바와 같이 수원의 종류별로 수질이 다르고 또 오

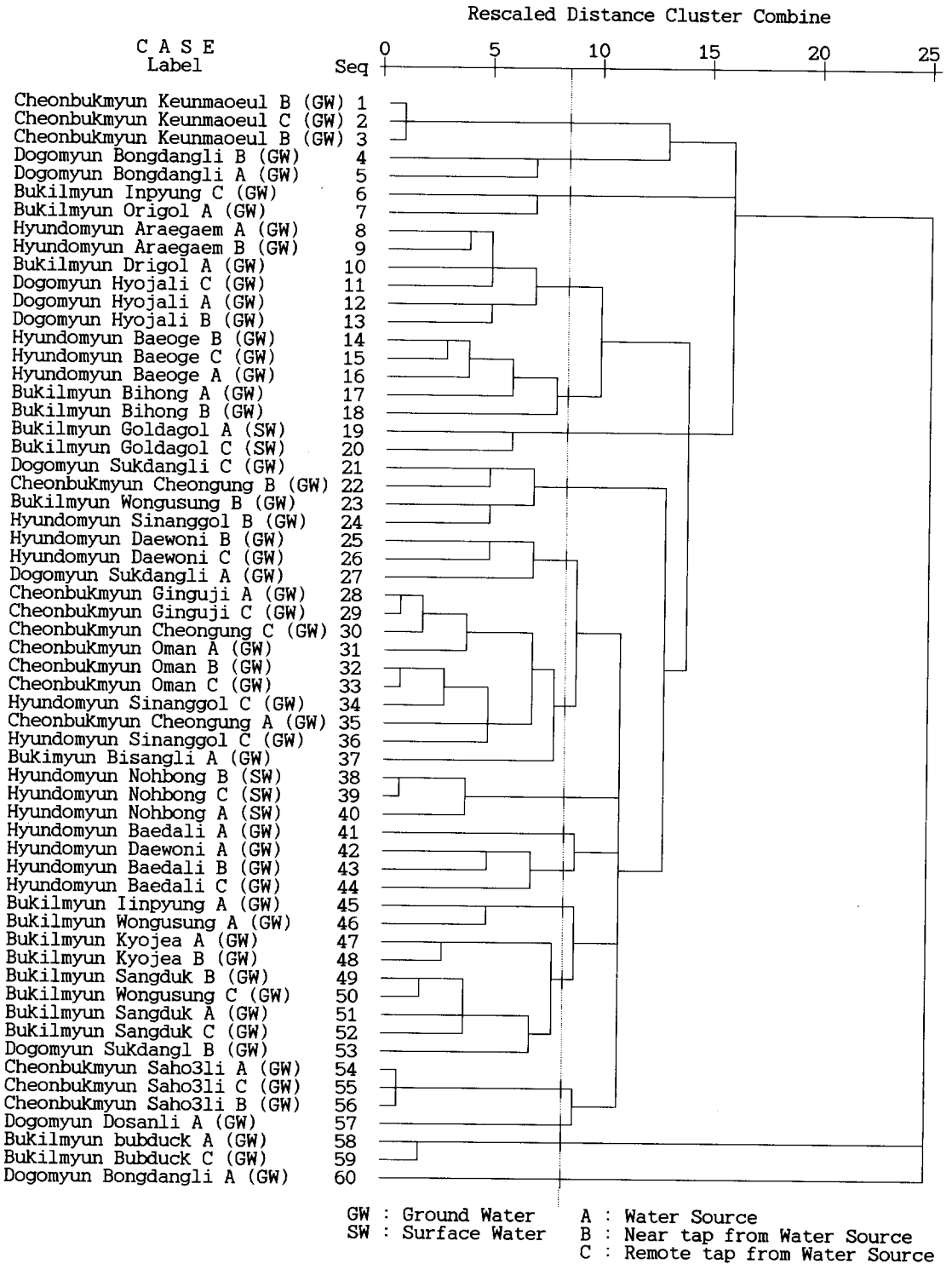


Fig. 1. Dendrogram of Cluster Analysis.

염원인이 다르다는 전제하에 수원별로 구분하여 분석하였다. 주성분 분석에서 사용한 수질항목은 군집분석에서 마찬가지로 12개 항목을 사용하였으며 Z값으로 표준화하여 사용하였다.

### 3.1 지하수의 주성분 분석

지하수가 수원인 55개 지점에 대한 수질측정치의 주성분 분석을 실시하여 산출한 고유치와 기여율은 Table 3.과 같다.

요인 1의 고유치는 3.93346, 기여율은 32.8%로서 이는 전체 수질변동의 분산 중에서 요인 1이 32.8%를 설명하고 있음을 의미한다. 요인 2와 요인 3, 요인 4의 고유치와 기여율은 각각 2.03540, 1.58857, 1.22471과 17%, 13.2%, 10.2%를 나타내고 있다.

요인수의 결정방식은 고유치(Eigen vaule)를 기준으로 결정하는 방법과 총분산 중에서 요인이 설명해 주는 정도를 기준으로 정하는 방법, 연구자가 사전에 요인의 수를 결정하는 방법이 있으나, 본 논문에서는 고유치 1.0을 기준으로 하여 새로운 요인의 수를 추출하였다.

위의 방법으로 요인을 추출하면 요인이 4개가 되며 요인 1부터 요인 4까지의 누적 기여율은 73.2%이다. 이것은 4개의 요인이 수원이 지하수인 간이 상수도의 수질변동의 전체 분산을 73.2%까지

설명하고 있음을 나타내고 있다.

본 논문에서는 요인의 해석을 명확히 하기 위한 방법으로 회전축이 직각을 유지하면서 회전하는 동시에 하나의 요인에 높이 적재되는 변수의 수를 줄여서 요인의 해석에 중점을 둔 VARIMAX 방식을 사용하였다.

회전 후의 각 요인과 변수의 관계는 Table 4.에 나타난 바와 같이 요인 1은 전기전도도, 경도, 황산이온, 질산성 질소 등과 밀접한 관련이 있으며 요인 2는 대장균군과 암모니아성질소, 아연 등과 요인 3은 철, 망간 등과 요인 4는 KMnO<sub>4</sub>소비량, 일반세균, pH 등과 높은 상관성을 보이고 있음을 알 수 있다.

요인 1은 Table 4.와 Fig. 2.~4.에 나타낸 바와 같이 전기전도도와 경도, 황산이온, 질산성질소등이 각각 0.955, 0.944, 0.926, 0.851로써 높은 정상관을 보이고 있으며 요인 3은 Table 4.와 Fig. 3, 5, 7.에 나타낸 바와 같이 철과 망간이 각각 0.835, 0.785로 높은 정상관을 보이고 있다. 따라서 요인 1과 요인 3은 관련된 수질변수가 음용수 수질기준에 비해 매우 낮은 값을 나타내고 있어 오염으로 간주하기 어렵고 토질의 상태나 기타 지하환경의 변화요인에 의한 자연발생적 변동이라고 말할 수 있다.

요인 2는 Table 4.와 Fig. 3, 5, 6.에 나타낸 바와 같이 대장균군과 암모니아성 질소가 각각 0.824, 0.712로 높은 정상관을 보이고 있고 아연에 대해서는 -0.665로 역상관을 보이고 있다. 요인 4는 Table 4.와 Fig. 4, 6, 7.에 나타낸 바와 같이 KMnO<sub>4</sub>소비량과 일반세균이 각각 0.808, 0.779로 정상관을 보이고 있고 pH와는 -0.532의 역상관을 보이고 있다. 요인 2와 요인 3은 각각 대장균군과 일반세균이 수질기준을 초과하는 곳이 많아 오염원인으로 생각할 수 있으며 이는 수원이나 배수과정에서 가축분뇨, 생활하수 등의 유입이 원인인 것으로 말할 수 있다.

따라서 지하수를 수원으로 하는 간이급수시설의 오염 방지를 위해서는 지하수 취수정의 깊이를 가능한 한 깊게 하는 것이 바람직 한 것으로 판단된다.

Table 3. Eigen Value and Cumulative Percentage for Ground Water

Factor	Eigen value	Percentage of Variance	Cumulative Percentage
1	3.93346	32.8	32.8
2	2.03540	17.0	49.7
3	1.58857	13.2	63.0
4	1.22471	10.2	73.2
5	.76629	6.4	79.6
6	.68253	5.7	85.3
7	.54988	4.6	89.8
8	.44685	3.7	93.6
9	.43693	3.6	97.2
10	.19504	1.6	98.8
11	.11104	.9	99.8
12	.02930	.2	100.0



Table 4. Rotated Factor Matrix for Ground Water

Symbol	Term	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4
1	Bacteria	.06648	-.01432	.20403	.77991
2	<i>E-Coli</i>	.04032	.82406	-.03464	-.10638
3	NH <sub>3</sub> -N	-.24563	.71178	-.10488	-.02427
4	Hardness	.94413	-.11014	.13118	.00252
5	NO <sub>3</sub> -N	.85126	-.06026	-.15713	.31052
6	KMnO <sub>4</sub> Consumption	.09680	-.18307	-.12385	.80849
7	Zn	-.19681	-.66452	-.27524	.09355
8	Fe	-.04850	-.14681	.83488	.05807
9	Mn	.10746	.19921	.78448	-.03870
10	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	.92633	.07486	-.08973	.07247
11	Conductivity	.95528	.95528	.13326	.08771
12	pH	-.35483	.04458	.43246	-.53196

Horizontal Factor 1    Vertical Factor 2

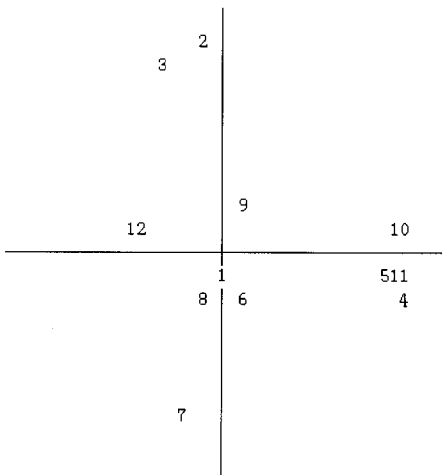


Fig. 2. Factor loading after Varimax rotation of Factor 1 & 2 for ground water.

Horizontal Factor 1    Vertical Factor 3

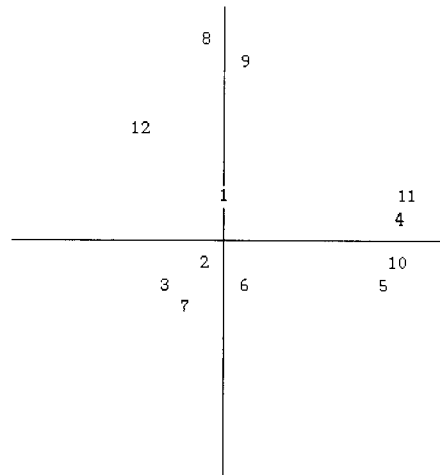


Fig. 3. Factor loading after Varimax rotation for Factor 1 & 3 of ground water.

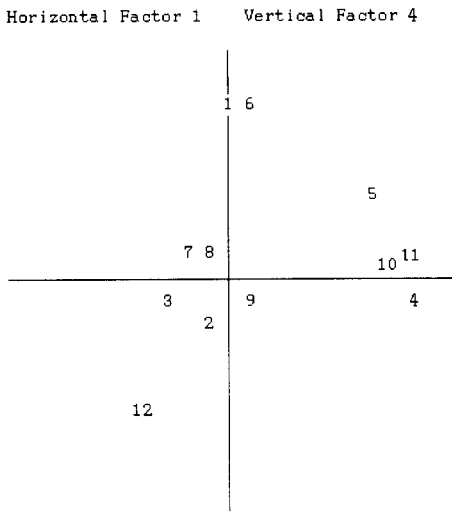


Fig. 4. Factor loading after Varimax rotation of Factor 1 & 4 for ground water.

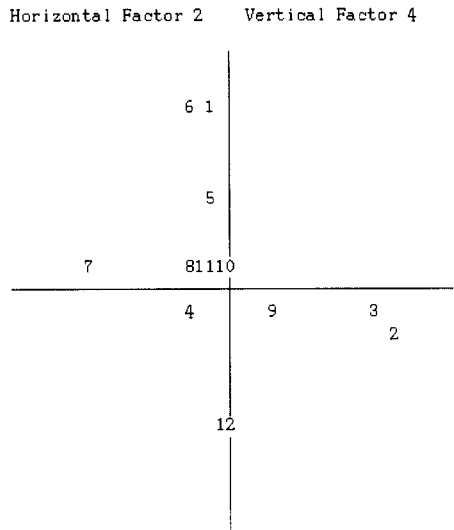


Fig. 6. Factor loading after Varimax rotation of Factor 2 & 4 for ground water.

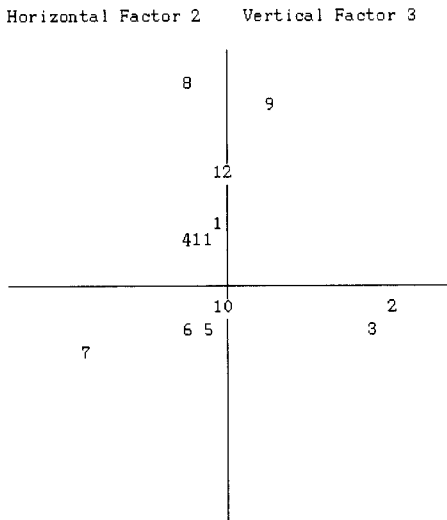


Fig. 5. Factor loading after Varimax rotation of Factor 2 & 3 for ground water.

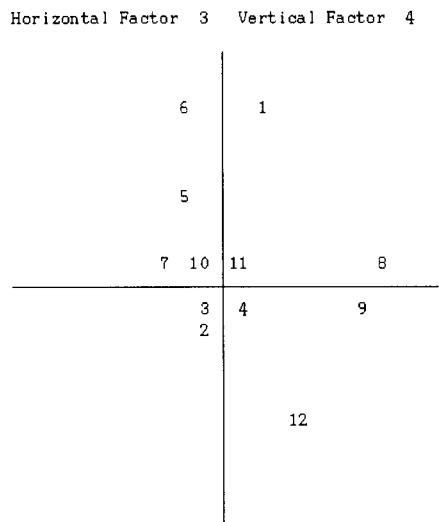


Fig. 7. Factor loading after Varimax rotation of Factor 3 & 4 for ground water.

Table 5. Eigen Value and Cumulative Percentage for Surface Water.

Factor	Eigen value	Percentage of Variance	Cumulative Percentage
1	9.07363	75.6	75.6
2	2.41274	20.1	95.7
3	.32461	2.7	98.4
4	.16008	1.3	99.8
5	.02895	.2	100.0
6	.00000	.0	100.0
7	.00000	.0	100.0
8	.00000	.0	100.0
9	.00000	.0	100.0
10	.00000	.0	100.0
11	.00000	.0	100.0
12	.00000	.0	100.0

Table 6. Rotated Factor Matrix for Surface Water.

Symbol	Term	Factor 1	Factor 2
1	Bacteria	.89356	.22263
2	E-Cori	.98412	.11637
3	NH <sub>3</sub> -N	.90017	-.20197
4	Hardness	-.91811	.38296
5	NO <sub>3</sub> -N	.90318	.42175
6	KMnO <sub>4</sub> consumption	.24807	.96010
7	Zn	.91552	.29966
8	Fe	-.76423	.63412
9	Mn	-.38806	-.91964
10	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	.71841	.69412
11	Conductivity	.91031	.37076
12	pH	-.07458	.97630

출되며, 이들의 고유치는 각각 9.07, 2.41이며, 기여율은 75.6%, 20.1%이다. 추출된 요인 2가지의 누적 기여율은 95.7%로 수원이 지표수인 간이상수도의 수질변동의 전체분산을 95.7%까지 설명하고 있음을 나타내고 있어, 매우 높은 설명력을 보여 주고 있다.

지하수 분석과 같이 VARIMAX 방식에 의해 요인을 회전시켰으며 회전 후의 요인행렬의 적재형태는 Table 6. 및 Fig. 8.과 같다.

요인 1은 Table 6.과 Fig. 8.에 나타난 바와 같이 대장균군, 아연, 전기전도도, 질산성 질소, 암모니아성 질소, 일반세균, 황산이온이 각각 0.984, 0.916, 0.910, 0.903, 0.900, 0.894, 0.718로 높은 정상관을 보이고 있으며 경도와 철이 0.918, -0.764로 역상관을 나타내고 있다. 이것은 정상관을 보이고 있는 수질변수 중 대장균군과 일반세균이 음용수 수질기준을 초과하고 있어 오염원인으로 볼 수 있으며 지표면에 존재하는 미생물이 강우에 의해 수원에 유입되는 것으로 판단된다.

요인 2는 Table 6.과 Fig. 8.에 나타난 바와 같이 pH와 KMnO<sub>4</sub>소비량이 각각 0.976, 0.960으로 높은 정상관 관계를 보이고 땅간과는 -0.919로 역상관을 보이고 있어 이들 수질변수가 조사대상지역에서는 수질기준에 크게 못미치고 있으므로 수질 오염원이라기 보다는 지역적 특성에 따른 수질변동이라고 판단된다.

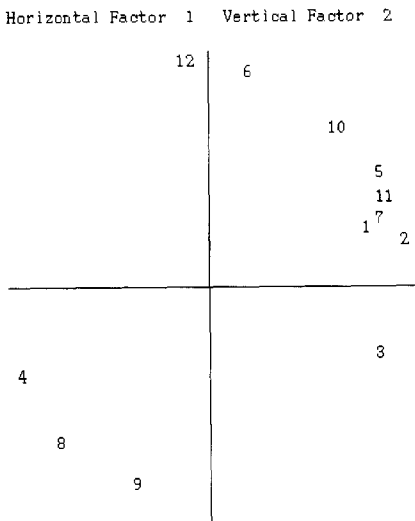


Fig. 8. Factor loading after Varimax rotation of Factor 1 & 2 for surface water.

### 3.2 지표수의 주성분 분석

지표수가 수원인 5개 지점의 수질측정치의 주성분 분석을 실시하여 산출한 고유치와 기여율은 Table 5.와 같다.

지하수의 분석에서와 같이 고유치 1.0을 기준으로 새로운 요인의 수를 결정한다면 요인 2까지 추

따라서 지표수를 수원으로 하는 간이급수시설의 오염 방지를 위해서는 강우시 비점오염원에 의한 오염물질 유입에 대한 차단조치와 함께 여과 및 소독장치 등의 간이정수시설이 설치되어야 할 것으로 판단된다.

#### IV. 결 론

간이급수시설의 안전급수대책 수립의 기초자료를 제시할 목적으로 충북 청원군 북일면, 충북 청원군 현도면, 충남 아산시 도고면, 보령시 천북면 등 4개 지역 간이급수시설의 수원 및 수도전에서 수질을 조사하고 군집분석과 주성분분석 등을 이용하여 농·어촌 지역 간이급수시설의 오염원에 대한 평가를 수행한 결과는 다음과 같다.

1. 간이급수시설의 상수원 수질 분석결과, 음용수 수질기준을 초과하는 항목은 일반세균, 대장균군, 질산성질소 및 철분의 4개 항목이며, 미생물 항목은 총 24개 조사지점 중 83%인 20개소에서 기준치를 상회하고 있으며, 질산성질소와 철분은 각각 4%인 1개소에서 기준치를 초과하는 것으로 나타났다.
2. 간이급수시설의 수도전 수질 분석결과, 음용수 수질기준을 초과하는 항목은 일반세균, 대장균군, 질산성질소 및 철분 등 4개 항목이며, 미생물 항목은 총 조사지점 36개소 중 81%인 29개소에서 기준치를 초과하고 있으며, 질산성질소와 철분은 각각 3%인 1개소에서 기준치를 초과하는 것으로 나타났다.
3. 군집분석 결과, 간이급수시설의 수질은 수원의 종류, 지역적 특성, 수원으로부터의 거리 등에 따라 차이를 보이는 것으로 나타났다.
4. 지하수의 주성분분석 결과 요인 1과 요인 3은 토질의 상태에 따른 자연 발생적 변동이며, 요인 2와 요인 4는 오염물질의 지하침투에 의한 오염으로 분석되어 지하수를 수원으로 하는 간이급수시설의 오염 방지를 위해서는 취수정의 깊이를 가능한 한 깊게 하는 것이 바람직한 것으로 나타났다.
5. 지표수의 주성분분석 결과 요인 1은 강우시 지표면 미생물의 수원으로의 유입이며, 요인

2는 지역적 특성에 따른 수질변동으로 분석되어 지표수를 수원으로 하는 간이급수시설의 오염 방지를 위해서는 강우시 비점오염원에 의한 오염물질 유입에 대한 차단조치와 함께 여과 및 소독장치를 설치해야 할 것으로 나타났다.

#### 감사의 글

본 연구는 농림수산특정연구사업에 의하여 수행되었으며, 이에 감사의 뜻을 포함합니다.

#### 참 고 문 헌

1. 김영규: 일부 농촌지역 간이상수도의 운영실태와 수질에 관한 조사연구, 한국환경위생학회, 제18권 제2호, 39-51, 1992.
2. 농어촌진흥공사: 농어촌지역 상수보존 및 오폐수처리에 관한 연구, 농림부, 1997.
3. 이흥근, 백남원, 백도현: 농촌지역의 효율적인 간이 상수처리에 관한 연구, 한국환경위생학회, 제22권 제 3호, 103-115, 1996.
4. 이흥근: 상수공급 취약지역의 안전급수에 대한 연구, 한국과학재단, 1993.
5. 백도현: 다변량분석에 의한 간이상수도의 오염원에 관한 연구, 서울대학교 석사학위 논문, 1992.
6. 서영화, 조순행: 침출수 분석 항목간의 상관관계분석과 주성분분석, 대한환경공학회, 제20권 제12호, 1705-1715, 1998.
7. 양운진: 울산지역의 지하수 수질에 관한 통계학적 연구, 한국환경과학회, 제7권 제4호, 461-466, 1998.
8. 환경처: 수질오염공정시험법, 1992.
9. APHA, AWWA and WPCF: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 18th Edition. Washington D.C, 1992.
10. 김기영, 전명식: SAS 군집분석, 자유아카데미, 1989.
11. 김기영, 전명식: SAS 주성분분석, 자유아카데미, 1989.