

연구논문

다변량기법을 활용한 용담호 수질측정지점 유사성 연구

이요상* · 권세혁**

K-water연구원 수자원연구소*, 한남대학교 비즈니스 통계학과**
(2009년 11월 02일 접수, 2009년 12월 24일 승인)

A Study on Measuring the Similarity Among Sampling Sites in Lake Yongdam with Water Quality Data Using Multivariate Techniques

Lee, Yosang* · Kwon, Sehyug**

Korea Institute of Water and Environment, Kwater, Daejeon 305-730, Korea*
Department of Statistics, Hannam University, Daejeon 306-791, Korea**
(Manuscript received 2 November 2009; accepted 24 December 2009)

Abstract

Multivariate statistical approaches to classify sampling sites with measuring their similarity by water quality data and understand the characteristics of classified clusters have been discussed for the optimal water quality monitoring network. For empirical study, data of two years (2005, 2006) at the 9 sampling sites with the combination of 2 depth levels and 7 important variables related to water quality is collected in Yongdam reservoir. The similarity among sampling sites is measured with Euclidean distances of water quality related variables and they are classified by hierarchical clustering method. The clustered sites are discussed with principal component variables in the view of the geographical characteristics of them and reducing the number of measuring sites.

Nine sampling sites are clustered as follows; One cluster of 5, 6, and 7 sampling sites shows the characteristic of low water depth and main stream of water. The sites of 2 and 4 are clustered into the same group by characteristics of hydraulics which come from that of main stream. But their changing pattern of water quality looks like different since the site of 2 is near to dam. The sampling sites of 3, 8, and 9 are individually positioned due to the different tributary.

Keywords : water quality, similarity, clustering method, principal component analysis

I. 서론

1960년대 초부터 시작된 경제개발 정책으로 인한 오염배출량의 급격한 증가로 국내 하천 및 저수지 등의 수질오염이 심화되었다. 이에 따라 정부에서는 1977년부터 주요 수질오염 물질에 대한 농도규제로 제도적인 수질관리를 시작하였으며, 1990년대부터는 삶의 질이 향상되면서 원수 수질에 대한 관심과 환경보전에 대한 국민의 기대가 커지게 되었다.

수질측정망은 전국 하천 및 호수 등 수질보전대상 공공 수역에 대한 수질현황을 종합적으로 파악하여 수질변화 추세를 파악하고 이미 집행된 주요 정책 사업의 효과를 분석하여 장래 수질보전정책 수립을 위한 기초 데이터를 확보하기 위해서 운영된다. 국내에서는 1970년대 후반부터 수질측정망 단위의 정기적 수질측정이 이루어지기 시작하여 1993년에는 1,348개였던 수질측정지점이 2008년에는 1,476개 지점으로 확대 운영되고 있다. 수문관측 매뉴얼(건설교통부, 2004)에 의하면 수질측정지점은 하천수의 오염 및 용수의 목적에 따라 채수 지점을 선정할 수 있다고만 적고 있을 뿐 수질측정지점 선정 방법이나 절차에 대한 내용은 없다. 그리하여 새로운 수질측정망 선정이나 기존 수질측정망 변경 요인이 발생하면 과학적으로 수립된 절차에 따른 체계적 설계 방법에 기초한 것이라기보다는 수질 관리자의 경험과 주관적 판단에 의해 이루어지고 있다. 이로 인하여 수질이 유사한 지역을 중복 측정하거나 다른 측정지점과는 수질 패턴이 상이한 지점이 누락되는 경우가 발생하게 되어 현재의 수질측정망 운영 시스템으로는 수계 관리를 위해 요구되는 다양한 수질 정보를 효율적으로 생산하는데 한계와 문제점을 내포하고 있다.

수질데이터는 충분한 자료의 취득이 상대적으로 어렵고 대상항목이 다양하며 고려하는 수질항목에 따라 영향이 상이하게 나타나기 때문에 수질측정망에 관련된 연구는 활발하게 이루어지지 않고 있는 실정이다. 더구나 수질은 대상수체 주변의 환경변화에 쉽게 영향을 받기 때문에 현재 상태에서 적절

히 구성된 측정망도 시간이 지나면서 부적절한 측정망으로 변화될 수 있다. 이러한 문제로 수질측정망의 설계와 평가는 어려우며 특히 규모가 크고 복잡한 유역일 경우에는 더욱 어렵게 된다. 수질측정망과 관련된 연구를 살펴보면 유전자 알고리즘을 사용하여 낙동강 수계에 대한 과학적인 수질측정망 설계방법을 제시(박수영 등, 2007)한 바 있으며, 수질모델을 이용해 모의된 수질데이터를 바탕으로 최적화 기법을 적용하여 하천 수질 관측망을 구성(경민수 등, 2006)하기도 하였다. 수질특성 파악과 새롭게 도입되는 물관리 제도와 기술에 대한 원활한 지원이 가능한 한강수계 수질측정망에 대한 합리적 설계기법을 제시(왕수균 등, 2005)하였으며, 현재까지 측정된 데이터를 근거로 엔트로피 방법을 이용하여 대청댐 유역의 수질측정망 평가방법을 제시(권상우 등, 2001)하기도 하였다.

기존의 연구방법은 측정 목적, 입지환경이나 지류 수, 유입량과 유출량, 유량이나 유속 등을 고려하여 관측지점망을 구성하는 방법들을 제시하고 있다. 그러나 수질측정망 구성 시 관측지점의 수질에 대한 측정 항목들의 패턴을 고려하여 관측지점의 수질 유사성을 판별하는 연구는 전무하다. 본 연구에서는 용담댐의 9개 수질관측지점, 각 2개의 수심에서 2년 동안 관측된 7개 수질항목 데이터를 이용하여 관측지점간 수질 패턴 유사성을 유클리디언 거리로 측정하고 이를 바탕으로 계층적 군집분석에 의해 유사 관측지점을 분류하였다. 분류된 관측지점의 특성을 주성분 분석과 수질 관점에서 평가하여 과학적이며 효율적인 수질측정망지점선정에 활용 가능한 방법을 제시하고자 한다.

II. 기본이론

유사성에 의한 개체분류는 관심변수들에 의해 개체 간 유사성을 측정하고 이를 이용하여 유사한 개체를 분류하는 방법으로 군집분석(clustering analysis)이라 한다. 군집분석은 주어진 데이터의 구조에 의해 사전지식 없이 개체에 대한 의미 있는

정보를 찾아내는 탐색적 자료분석으로 유사성이 높은 개체 순으로 개체를 묶어가는 계층적(hierarchical) 방법과 일정수준의 유사성을 기준으로 개체를 묶거나 사전에 결정된 군집의 개수에 의해 개체를 분류하는 비계층적 방법이 있다. 계층적 군집분석 방법은 사용이 용이하나 개체가 일단 어느 군집에 소속되면 다른 군집으로 이동될 수 없고 이상 개체는 제거되지 않고 반드시 어느 군집에 속하게 된다. 비계층적 군집분석은 일정한 군집 수준을 보장하나 사전에 군집 수를 결정해야 사용이 가능하다. 그러므로 군집분석의 일반적인 순서는 계층적 군집분석 방법에 의해 적절한 군집 개수를 결정하고 비계층적 방법에 의해 개체를 분류하게 된다. 군집변수의 수가 분류하려는 개체 수에 비해 상대적으로 큰 경우 비계층적 방법은 적절하지 못하다.

계층적 군집분석의 경우 개체의 유사성은 변수들의 거리(distance)에 의해 계산된다. 그러므로 군집 변수들 중 범주형 변수가 있으면 수량화 방법(Tanaka *et. al.*, 1994)에 의해 측정형 변수로 변환하거나 이진형 변수로 변환하여(Johnson *et. al.*, 2007, pp. 674) 개체의 유사성을 측정하게 된다. 측정형 군집변수 개수가 p 이고 개체 수를 n 이라 하자. 그리고 r 번째 개체의 측정치를 $(x_r = (x_{r1}, x_{r2} \cdots x_{rp})')$, s 번째 개체 측정치를 $(x_s = (x_{s1}, x_{s2} \cdots x_{sp})')$ 라 하면 개체의 유사성으로 가장 널리 사용되는 Euclidean (유클리디안) 거리(ED)와 Pearson 거리(PD)는 다음과 같이 정의된다(Johnson, 1994). Pearson 거리의 Σ 는 변수들의 군집내 공분산 행렬이다.

$$ED_{rs} = [(x_r - x_s)'(x_r - x_s)]^{1/2} \quad (1)$$

$$PD_{rs} = [(x_r - x_s)' \Sigma^{-1}(x_r - x_s)]^{1/2} \quad (2)$$

계층적 군집분석에서 적절한 군집 개수를 결정하는 방법은 덴드로그램(Dengram)을 이용하는 시각적 방법과 CCC (Cubic Clustering Criterion), Pseudo Hotelling T^2 통계량을 이용하는 방법이 있다(Johnson, 1998). CCC나 Hotelling T^2 통계량에 대한 표본분포가 없어 적절한 군집개수에 대

한 가설을 검정하지 못해 사용하기 용이한 덴드로그램 방법이 활용된다. 군집분석에 의해 묶여진 군집의 특성을 파악하기 위해서는 군집 내 개체들의 속성에 대한 정보인 군집변수들의 값을 이용하게 된다. 군집변수가 많은 경우 전체적인 관점에서 개체들의 속성을 파악하는 것은 쉽지 않으므로 변수를 축약하는 주성분 분석을 활용하게 된다.

주성분분석(principal component analysis : PCA)은 선형상관 관계가 있는 다수의 변수들을 서로 독립인 주성분변수로 변환하여 데이터의 차원을 줄이는 다변량분석방법이다. 주성분변수는 원 변수들의 선형결합($Y_{ij} = \sum_{j=1}^p l_{ij} X_{ij}$, $j=1, 2, \dots, n$, x_{ij} 는 i -번째 변수의 j -번째 관측치)으로 계산된다. 원변수 x_i 들의 공분산행렬(Σ ; 원변수의 측정단위가 다른 경우 상관계수행렬)로부터 얻은 고유치($\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_p$)에 대응하는 고유벡터(eigen vector)를 구하여 이를 선형계수로 사용한다. 주성분변수는 서로 독립이고($cov(Y_i, Y_j) = 0$ for $i \neq j$), 각 주성분변수의 분산은 $V(Y_i) = \lambda_i$ 이다. 고유치 λ_i 는 i 번째 주성분변수가 원 변수의 변동을 설명하는 비율이다. 누적 설명기여율이 80%인 주성분변수만을 활용하여 2차분석을 함으로써 원 데이터의 차원을 축약하게 되며, 주성분변수 이름은 선형계수의 크기에 의해 부여되어 선형계수(l_{ij})를 부하(loading) 값이라고도 한다.

III. 연구지역

국내 저수지의 수면적은 계획홍수위 기준으로 용담댐 36.2km², 대청댐 72.8km², 충주댐 97.0km² 등으로 크기가 다양하다. 이에 따라 현재 운영되고 있는 수질측정망에서 저수지별 수질조사 지점은 대청댐이 6 지점, 충주댐이 3지점, 용담댐이 4지점 등과 같이 일반적으로 각 댐별 수질조사 지점은 측정망 기준으로 2~6개 지점으로 운영되고 있다. 본 연구의 대상인 용담댐은 상기한 바와같이 4지점의 조사지점이 운영되고 있으나 조사지점만 수질 유사성 분석을 위해서는 수질관측지점을 늘려 저수지 전역에 관측 위치가 고밀도로 분포되도록 관측지점을

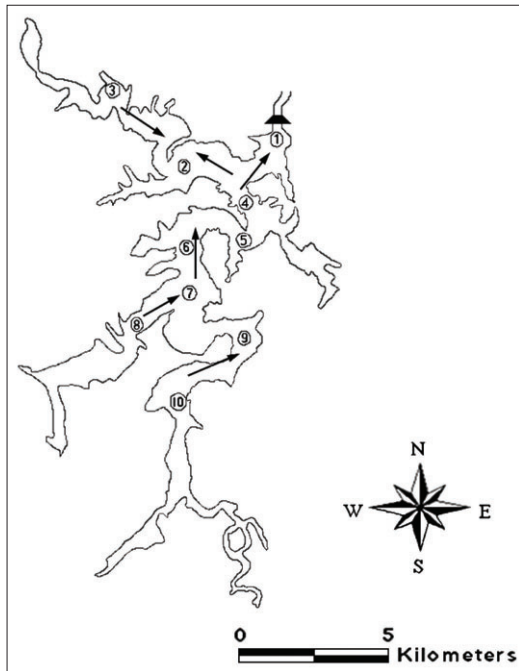


Fig. 1. Sampling sites at Yongdam reservoir

선정할 필요가 있다. 이를 위해 용담저수지 내의 수질측정 지점은 그림 1과 같이 댐 앞에 1개(1번) 지점에서부터 시작하여 주자천 유입 지류에 2개(2번, 3번) 지점을 설정하였고, 저수지 본류에 6개 지점(4번~7번, 9번과 10번)을 선정하였으며 진안천 지류에 1개(8번) 지점을 선정하였다(Fig. 1, 화살표는 하천 흐름 표시). 각 지점별 수질변화 관측을 위해 2005년과 2006년에 걸쳐 1월부터 12월까지 월 1~4회씩 각 관측지점의 표층, 상층, 중층, 하층 위치에서 19개 수질항목에 대한 수질 조사를 실시하였다.

IV. 적용 및 분석

1. 용담호 수문 특성

용담호에서 2005년부터 3년간 강수량과 저수지 수위변화는 Fig. 2와 같으며 연간 총 강수량에서는 큰 변화가 없었다. 지난 3년간 연 평균 유입량(Fig. 4)은 25.8CMS이었고 방류량(Fig. 3) 평균은 23.4CMS로 유입량보다 방류량이 적은 댐 운영으

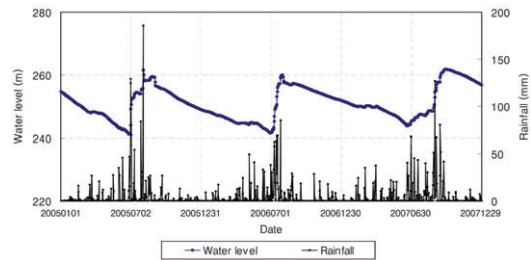


Fig. 2. Variation of rainfall and water level

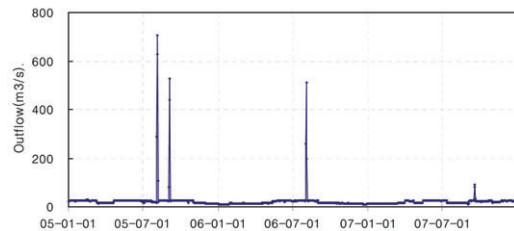


Fig. 3. Variation of outflow

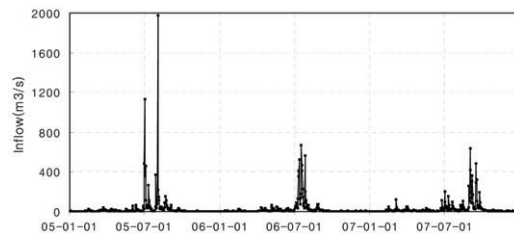


Fig. 4. Variation of inflow

로 인해 2005년초에는 254.61EL.m 였던 저수지 수위가 2007년 말에는 256.83EL.m로 다소 상승하였다.

방류량은 저수지 수문을 이용해 조절하므로 최대 705CMS('05. 8. 6)였으며 12~27CMS 범위에서 방류량이 관리되었고, 유입량은 비강우기에는 매우 적은량이 유입되나 강우기에는 최대 1979.8CMS('05. 8. 3)였으며 강우기에 집중적으로 유입되는 특징을 나타내었다. 특히 2007년에는 강우가 집중되지 않고 400CMS 이상의 유입이 6월부터 8월까지 몇차례로 나뉘어 분산되어 급격한 방류는 없었으며 최대 방류가 89.6CMS('07. 9. 18)를 나타낼 정도로 안정적인 방류가 기록되었다.

2. 저수지 수질변화

용담댐 저수지는 2000년 12월에 완공되어 2001

년부터 담수를 시작하였으며, 지금은 초기 담수에 의한 수질영향이 사라지고 저수지 수질이 안정기에 접어든 것으로 보인다. 본 연구에서는 용담댐 저수지에서 2005년부터 2년 간 9개 관측지점, 4개 관측 위치(표층, 상층, 중층, 하층)에서 월 1~4회 측정된 수질 데이터 중 주요 7개 지표(SD, SS, COD_{Mn}, T-P, PO₄-P, T-N, Chl-a)를 이용하여 관측지점의 유사성을 측정하고 이를 이용하여 수질변화 측면에서 유사성 높은 관측지점의 분류를 위해 우선 연도별, 월별 수질 변화를 관찰하여 유사성 분석에

사용될 데이터 형태를 설정하고자 한다. Fig. 5 부터 Fig. 11은 수질관련 변수의 월별 시계열도표로 9개 관측지점이며, 실선은 상층 관측치 월별 평균, 점선은 하층 관측치 월별 평균을 의미한다.

2년간 투명도의 변화(Fig. 5)를 살펴보면, 저수지에서 주흐름이 이루어지는 1, 2, 4, 5, 6, 7지점은 봄철에 투명도가 가장 좋게 나타나고 하절기에 투명도가 감소하는 전형적인 저수지 수질변화패턴을 유지하나, 지류유입 하천에 영향을 많이 받는 3, 8, 9지점은 년중 투명도가 크게 개선되지는 않았다.

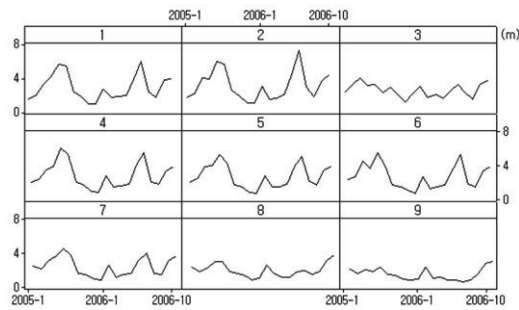


Fig. 5. Time series of SD at sampling sites

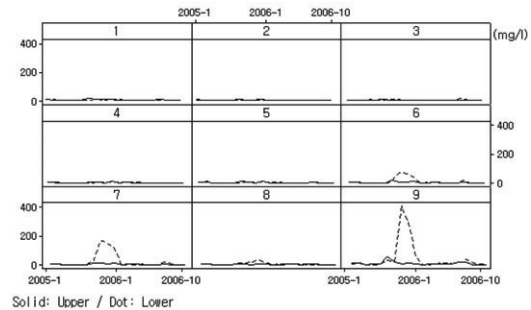


Fig. 6. Time series of SS at sampling sites

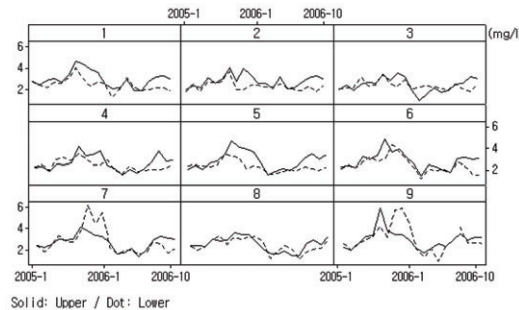


Fig. 7. Time series of COD_{Mn} at sampling sites

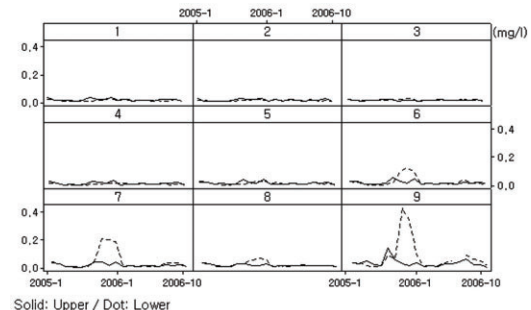


Fig. 8. Time series of T-P at sampling site

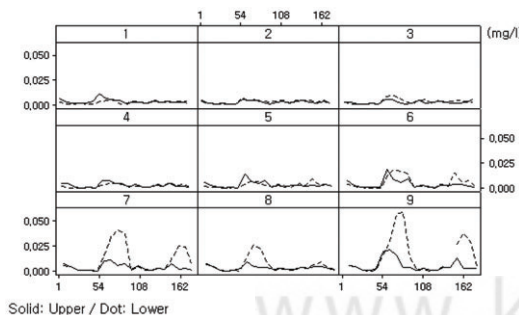


Fig. 9. Time series of PO₄-P at sampling sites

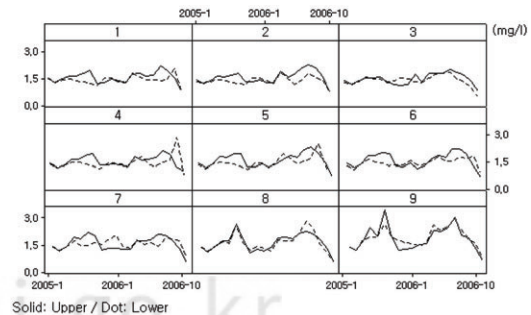


Fig. 10. Time series of T-N at sampling sites

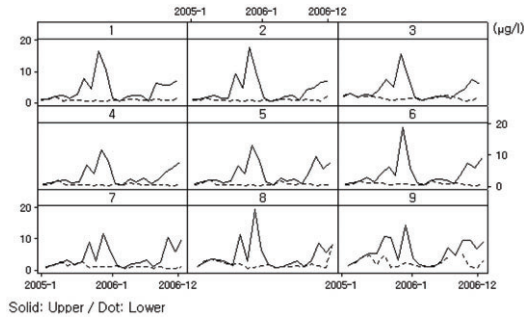


Fig. 11. Time series of Chl-a at sampling sites

저수지에서 SS는 평수기에 전지점에 걸쳐 큰 변화를 보이지는 않으나, 강우기에 유입되는 탁수가 장기간 저수지에 머무는 동안에는 높은 SS농도를 나타냈다. 특히 금강분류가 유입되는 주 흐름인 9번 지점에서 가장 높게 나타나며 하류로 가면서 7번 지점과 6번지점에서는 점차 농도가 낮아지다가 4번지점 부근에서는 거의 침강 소멸되는 경향을 나타냈다(Fig. 6).

COD_{Mn}(Fig. 7)와 T-N(Fig. 10)의 경우에는 전형적인 댐저수지의 계절별 수질변화를 나타냈으며, T-P(Fig. 8)와 PO₄-P(Fig. 9)도 거의 유사한 계절별 수질변화를 나타냈으나 하절기에 SS에 부착되어 유입되는 특성으로 인해 하절기에 높게 측정되었고 하류로 갈수록 급격히 농도가 낮아지는 현상을 나타내고 있다. Chl-a(Fig. 11)도 전형적인 댐저수지의 계절별 변화양상을 나타내었다.

3. 관측지점 유사성 분석

본 연구에서의 실증분석은 수질을 군집변수로 하여 관측위치에 대한 군집분석을 실시하였다. 관측위치간 유사성은 앞 절에서 설정한 주요 수질변수들에 의해 측정된 후 각 개체들은 평균연결방법에 의해 계층적 군집화하고, 이 과정에서 얻어진 덴드로그램에 의해 적절한 군집개수를 결정하였다. 분류하려는 개체 수에 비해 군집변수가 상대적으로 많아 비계층적 군집분석은 효율적인 분석방법이 아니므로 본 연구에 적용하지 않았다. 대신 군집개수 설정의 적절성 및 분류된 군집의 특성 파악을 위하여 상관계수

행렬을 사용하는 주성분분석을 적용하였다.

앞 절의 수질 관련 변수의 시계열 도표에서 보았듯이 상층과 하층 관측치의 패턴과 연관성은 월별에 따라 상이하므로 상층과 하층의 평균을 이용하기 보다는 개별적인 군집변수로 사용하는 것이 적절하다. 따라서 본 연구의 실증분석 데이터는 군집화 하려는 개체인 관측지점의 수 9개, 7개 수질변수의 각 상층 하층 관측치에 의해 얻어진 13개, 각 관측지점별 7개 수질, 2개 관측위치에 대한 월별 관측치의 평균으로 구성되어 있다. 관측지점의 유사성을 계산하는 군집변수로는 13개의 수질변수나 20개의 월별변수를 활용할 수 있다. 군집변수의 군이 2개 이상인 경우 군집분석을 하려면 하나의 군집변수 군을 군집변수로 정하고 다른 하나 변수 군에 대해 총합화(aggregate) 하여 군집분석을 실시하게 된다. 군집변수를 13개 수질변수로 하는 경우 행은 관측지점, 열은 수질변수들, 관측치는 년별 데이터 평균이다. 월별변수를 군집변수로 사용하는 경우 특성이 다른 수질변수들을 평균과 같은 총합화는 적절하지 않다. 본 연구의 목적은 수질에 의한 관측지점 유사성 측정이므로 13개 수질변수를 군집변수로 하고 년도 전체 평균을 관측치로 하여 실증분석을 실시하였다. 년도별 수질 분포의 차이를 고려하여 2005년, 2006년 데이터에 개별적으로 군집분석을 실시하였다.

Fig. 12는 13개 수질변수를 군집변수로 하여 관측지점 9개의 유사성을 표준화 유클리디안 거리로 계산하고 평균연결법에 의해 얻은 덴드로그램이다. 덴드로그램의 수평 점선 (2005년 유사성 수준=74, 2006년 유사성 수준=72)은 주관적인 판단에 의해 설정한 군집분류 기준선이다. Table 1은 덴드로그램에서 설정된 기준선의 유사성 수준과 관측위치 군집 결과를 정리한 것이다. □, △, ▽, ○로 표시한 군집기호는 특성이 동일한 지점을 표시한 것이며, 지점 5, 6, 7은 측정된 수질 면에서 2년 모두 유사한 지점으로 판단되었고 지점 3은 2005년에는 지점 2와 2006년에는 지점 4와 유사한 것으로 분류되었다.

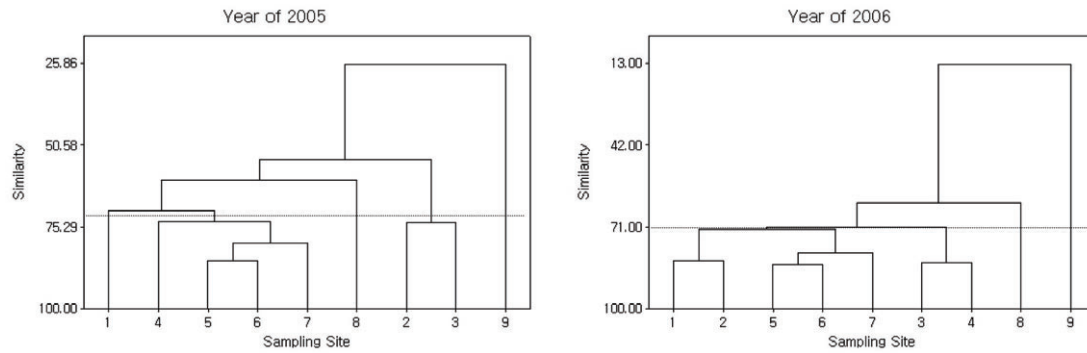


Fig. 12. Dendrogram by Average Linkage

Table 1. Result of Clustering Analysis

Year	Similarity level	1	2	3	4	5	6	7	8	9
2005	74		△	△		○	○	○		
2006	72	□	□	▽	▽	○	○	○		

관측지점 2는 2005년에는 관측지점 3과 2006년에는 관측지점 1과 유사한 지점으로 분석되었다. 한편 관측지점 8과 9는 2년 모두 상이한 관측지점으로 분류되었다. 그러므로 군집분석 결과 저수지 특성을 보이는 지점 (5, 6, 7), 하천적 특성을 갖는 지점 (1, 2, 3, 4), 그리고 상류 지류가 다른 지점 두 지점 8과 9를 하나의 권역으로 간주하여, 즉 4개 권

역에서 적절한 실험설계 방법에 의해 관측 지점과 관측 빈도를 결정하면 된다.

Table 2는 군집분석 결과 얻어진 군집의 특성 파악을 위하여 13개 특성 변수의 상관계수 행렬을 이용하여 실시한 주성분분석 결과이며 Fig. 13은 묶여진 군집(Table 1의 군집 기호 사용)을 그룹 표시로 하여 제1 주성분과 제2 주성분 산점도를 그린 것

Table 2. Result of principal component analysis (PCA)

Parameter	Year of 2005		Year of 2006	
	First PC ^{*)}	Second PC	First PC	Second PC
SD	-0.26	0.35	-0.27	0.40
SS upper	0.31	0.15	0.31	0.02
COD _{Mn} upper	0.12	0.54	0.10	0.79
T-P upper	0.31	0.14	0.31	0.05
PO ₄ -P upper	0.29	0.28	0.30	-0.10
T-N upper	0.29	0.19	0.26	0.16
Chl-a upper	0.07	-0.44	0.30	0.11
SS lower	0.32	0.01	0.30	0.06
COD _{Mn} lower	0.30	0.08	0.27	0.03
T-P lower	0.32	-0.01	0.31	0.07
PO ₄ -P lower	0.31	-0.08	0.29	0.08
T-N lower	0.31	-0.21	0.27	-0.03
Chl-a lower	0.25	-0.43	0.26	-0.38
Eigen value	9.28	2.09	10.29	1.42
Cumulative percentage (%)	71.4	87.5	79.1	90.0

*) PC : 주성분(Cumulative percentage(%))

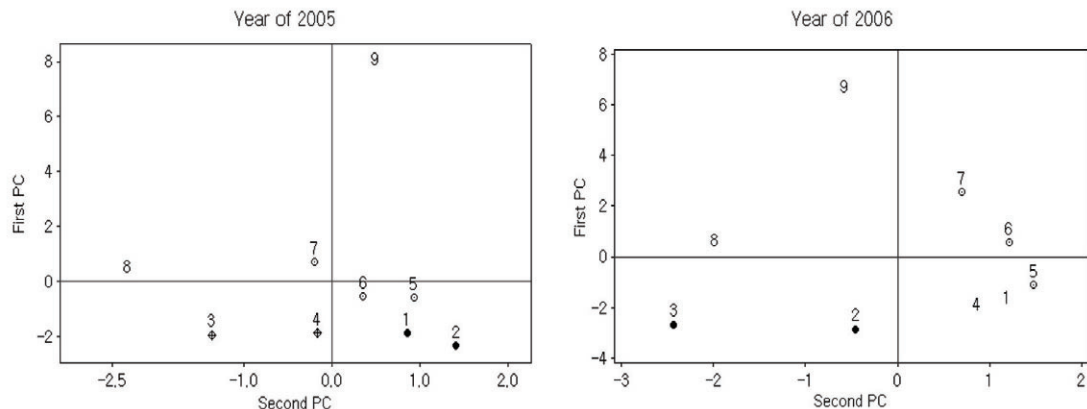


Fig. 13. Scatter Plot of PC Variables

이다. 주성분변수 2의 크기는 부하의 크기가 큰 SD, COD_{Mn}상, Chl-a 하(음의 부호), Chl-a상(음의 부호, 2005년만)에 의해 주로 결정된다. 음의 의미는 Chl-a 값은 SD나 COD_{Mn}는 음의 상관관계를 가짐을 의미한다. 주성분 1은 주성분 2의 크기에 영향을 미치지 않은 나머지 수질 변수들에 의해 크기가 결정된다.

2005년 주성분 산점도로부터 다음 사실을 얻을 수 있다. 관측지점 9번은 제1 주성분 수질에 의해 다른 관측지점들과 전혀 다른 패턴을 보이고 있으며 제2 주성분 수질에 의하면 3번과 8번지점이 완전히 독립적으로 위치하고 1, 2, 4, 5, 6, 7번 지점이 비슷한 거동을 보이고 있다. 이 중에서 1, 4, 5, 6, 7번 지점은 본류 흐름구간이어서 수질특성 면에서 유사한 속성을 보이는 것이 가능하며 2번 지점은 용담댐 도수터널의 방류량이 많아 4번까지 유입된 흐름이 2번 지점까지 영향을 미치기 때문에 본류의 수질특성을 나타내기 때문으로 판단된다.

2006년의 9번 지점은 2005년과 같이 제1 주성분 수질에 의해 완전히 독립적으로 거동한다. 제2 주성분 수질에 의하면 8번 지점은 다른 지점들과 완전히 독립적으로 거동하며 3번과 2번지점이 독립적으로 거동한다. 결론적으로 1, 4, 5, 6, 7번 지점이 수질특성 면에서 유사하다는 것을 의미하는데, 이는 다음과 같이 두가지 이유를 찾아볼 수 있다.

첫 번째는 2번 지점이 2005년과는 달리 상이한 수질특성을 보이는 것은 2005년 강우특성 때문인

것으로 판단된다. 2005년의 총 강우량은 1474.8mm를 나타냈으며 강우가 하절기에 집중되어 180mm/day의 강우가 발생하기도 하였다. 이로 인해 1979.8CMS의 유입이 발생하였고 7월 2일에는 1127.4CMS가 유입되는 등 2005년에는 대량유입으로 많은 유출을 기록한 반면 2006년에는 최대 유입이 671.3CMS와 565.4CMS로 2005년에 비해 유입이 적었으며 총 강우량도 1378.2mm로 2005년에 비해 적어 본류흐름이 2번지점에 미치는 영향이 상대적으로 적게 나타났기 때문에 수질도 차이를 보이는 것으로 평가된다.

두 번째는 2006년의 2번지점이 2005년과는 달리 상이한 수질특성을 보이는 또 하나의 요인은 다음과 같은 저수지 운영특성 때문인 것으로 판단된다. 2005년은 앞에서 언급한 바와 같이 유입량이 많기도 했지만, 방류량도 많아서 2번 지점의 수질이 본류와 유사한 경향을 나타낸 한 원인으로 판단되었다. 2005년 1월 1일에 저수지 수위는 254.61m였으며 12월 31일에는 248.92m로 약 5.69m의 하락이 발생하였다. 이런 저수지 운영으로 인해 방류량이 많았다. 반면 2006년은 1월 1일에 248.87m였던 저수지 수위가 12월 31일에는 251.91m를 기록하여 약 3.04m의 수위가 상승되었으며 이로 인해 상류인 4번지점의 수체가 2번지점으로 흘러오는 비율이 적어짐으로서 2번지점의 수질이 상이한 수질특성을 보이는 것으로 평가되었다.

V. 결 론

용담댐 9개 관측지점에서 7개 수질항목에 대하여 측정된 데이터를 활용하여 2005년과 2006년 용담댐 월별 수질변화 특성을 정리하였다. 이를 바탕으로 관측지점간 유사성을 분석하였으며 유사한 관측지점을 분류하기 위하여 월별 관측치를 평균하여 통합화하고 수질 특성 7개와 관측지점 2개의 결합 조건 13개를 군집변수로 사용하여 년도별로 개별적인 계층적 군집분석을 실시하였다. 군집화 된 관측지점의 특성을 파악하기 위하여 주성분 분석을 실시하여 13개 군집변수가 2개의 변수군, 제1 주성분(SD, COD_{Mn}상, Chl-a)특성과 나머지 수질 특성(제2 주성분)들로 축약됨을 보였다.

수심이 깊고 저수지의 주 흐름을 형성하는 1, 4, 5, 6, 7번 지점은 저수지적 수질 특성을 나타내는 것으로 평가되었다. 특히 5, 6, 7번 지점은 측정값이 유사한 것으로 나타났으나, 1번과 4번은 수질변화 경향은 유사하나 수질값은 상이한 것으로 나타났다. 2번 지점은 본류흐름에 영향을 받으나 수문특성에 따라 큰 영향을 받을 경우에는 저수지 본류의 수질특성을 나타내고, 본류의 영향을 적게 받는 해에는 본류와 상이한 수질특성을 나타내는 지점으로 평가되었다. 3, 8, 9번 지점은 유입하천에 영향을 직접 받아, 본류수질과 상이한 특징을 나타낼 뿐만 아니라 각각 유입하천의 오염도가 다르기 때문에 서로 다른 수질특성을 나타내는 것으로 분석되었다. 9번 지점은 제1 주성분에 의해 다른 관측지점과 상이하였고, 관측지점 3, 8은 제2주성분(SD, COD_{Mn}상, Chl-a 수질 특성) 특성에 의해 다른 관측지점과 상이함을 보였다.

이상과 같이 용담댐저수지 9지점에 대한 2년간 수질자료를 적용하여 다변량 통계기법을 활용한 측정 지점별 분석을 실시하였으며, 각 지점별 수질특성에 따른 유사성 분석결과를 제시하였다. 분석된 결과는 활용목적에 따라 새롭게 측정망을 구축하는데 적용할수 있으며, 이를 통해 수집된 자료는 저수

지 수질현황 파악을 정확하고 용이하게 하고 장래 수질보전정책 수립을 위한 기초자료로 활용이 가능할 뿐만 아니라 다양한 연구나 업무에 활용 될 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

- 건설교통부, 2004. 수문관측 매뉴얼
 경민수, 김상단, 김형수, 박석근, 2006, 통계적 기법을 이용한 경안천 유역의 수질 측정망 구성, 대한토목학회논문집, 26(3B), 291-300.
 권상우, 유철상, 2001, 엔트로피 방법을 이용한 수질측정망의 평가, 대한토목학회논문집, 21(5-B), 501-509.
 박수영, 왕수균, 최정현, 박석순, 2007, 유전자 알고리즘을 이용한 낙동강 유역의 수질 측정망 설계에 관한 연구, 한국물환경학회지, 23(5), 697-704.
 왕수균, 나은혜, 박석순, 2005, 한강수계 수질측정망 개선을 위한 목적 지향 설계 방안에 관한 연구, 대한환경공학학회지, 27(5), 453-460.
 한국수자원공사, 2005, 2006, 2007. 용담댐 일원 하천유량측정 등 수문조사보고서
 Johnson, Dallas E., 1998, Applies Multivariate Methods for Data Analysis, Duxbury Press.
 Johnson, Richard A. and Wichern Dean W., 2007, Applies Multivariate Statistical Analysis, 6th edition, Pearson Prentice Hall.
 Tanaka, Y., Tarumi, T., and Huh, M. H., 1994, Research and Applications of Quantification Methods, in New Approaches in classification and Data Analysis, Springer-Verlag, Berlin.

최종원고채택 09. 12. 24